

УДК 681.325 (088.8)

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В КОД

В.А. Кузнецов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрен метод преобразования линейных или угловых перемещений в кодовый сигнал, основанный на пространственной развертке оптического излучения. Показаны функциональные возможности и преимущества этого метода преобразования перемещений. При использовании дискретных оптических линеек частота тактовых импульсов, с помощью которых производится развертка оптического излучения, не влияет на точность преобразования, которая в этом случае определяется только шагом квантования оптической линейки. Представлены структурные схемы преобразователей перемещений с развертывающим и следящим принципами преобразования. Приведены функции преобразования этих преобразователей и показаны их преимущества.

Ключевые слова: преобразователь перемещений, оптическая развертка, кодирование.

В связи с широким применением цифровых систем управления технологическими процессами и компьютерных методов обработки измерительной информации актуальной является задача разработки измерительных преобразователей физических величин непосредственно в код. Наличие кодового выходного сигнала позволяет без промежуточных аналого-цифровых преобразователей подавать его на вход управляющего контроллера или компьютера, а также облегчает дистанционную помехоустойчивую передачу измерительной информации.

Одной из задач измерительной техники является разработка измерительных преобразователей перемещений (линейных и угловых) с цифровым выходным сигналом. Такие преобразователи используются для определения местоположения рабочего инструмента, регулирующих органов, а также при измерении физических величин, предварительно преобразованных в перемещение, например силы, веса, давления, крутящего момента, уровня и др. В настоящее время эта задача решается с помощью масочных кодирующих преобразователей перемещений и растровых оптических преобразователей [1].

Для создания высокоточного масочного кодирующего преобразователя необходимы многодорожечные (многоуровневые) кодирующие маски с кодом Грея и блок считывающих элементов, что усложняет конструкцию устройства и увеличивает его габариты. Недостатки оптических растровых преобразователей перемещения связаны с необходимостью формирования дополнительно сигнала начала отсчета, задающего начало диапазона измерения, и потерей информации о предыдущем положении объекта измерения при отключении питания.

На кафедре «Информационно-измерительная техника» СамГТУ разработаны кодирующие оптоэлектронные преобразователи перемещений с пространствен-

Владимир Андреевич Кузнецов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».

ной разверткой оптического излучения, свободные от перечисленных недостатков [2, 3].

Принцип действия этих преобразователей основан на развертке светового луча вдоль диапазона перемещения объекта измерения и восприятию луча фотоприемником, связанным с этим объектом. Если каким-либо образом организовать периодическую пространственную развертку светового луча по диапазону перемещения по линейному закону $L_p = k t$, где k – постоянный коэффициент, t – время развертки луча, а измеряемое перемещение будет задаваться положением фотоприемника L_x , то время от начала развертки луча до засветки фотоприемника будет пропорционально положению фотоприемника:

$$L_n = L_p = k t,$$

отсюда $t = L_n/k$.

Таким образом, положение объекта измерения преобразуется во временной интервал, который далее легко преобразуется в код заполнением этого интервала тактовыми электрическими импульсами образцовой частоты f_0 и подсчетом числа этих импульсов электронным счетчиком в требуемой системе кодирования. Код на выходе счетчика определяется выражением

$$N = f_0 t = f_0 L_n/k. \quad (1)$$

При f_0 и $k = \text{const}$ функция преобразования этого преобразователя является линейной.

Работа измерительного преобразователя перемещений поясняется рис. 1.

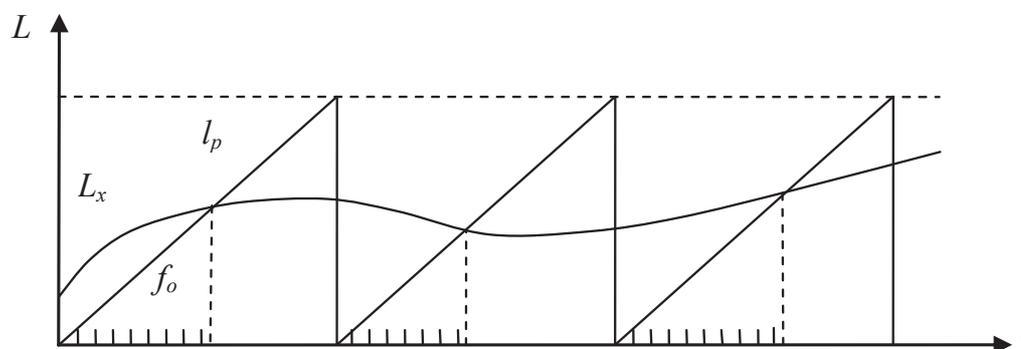


Рис. 1. Схема преобразования перемещения во временной интервал:
 L_p – периодическая развертка оптического излучения; L_x – измеряемое перемещение; f_0 – частота образцовых заполняющих временной интервал импульсов

Если перемещение фотоприемника связано с измеряемой величиной функциональной зависимостью, то код на выходе преобразователя будет воспроизводить эту зависимость. Например, положение фотоприемника L_x связано с измеряемой величиной X квадратичной зависимостью

$$L_x = a X^2,$$

где a – постоянный коэффициент.

При линейной развертке оптического луча $L_p = k t$ время от начала развертки до момента освещения фотоприемника ($L_x = L_p$) определяется выражением

$$t = a X^2 / k,$$

а код на выходе преобразователя будет иметь вид

$$N = f_o t = f_o a X^2 / k.$$

Значение кода будет также квадратично зависеть от измеряемой величины X .

Оптическая развертка позволяет автоматически корректировать нелинейность функции преобразования первичного измерительного преобразователя измеряемой величины. Если первичный преобразователь имеет нелинейную функцию преобразования измеряемой величины X вида

$$L_x = a X^2,$$

то, задавая функцию развертки оптического луча во времени такого же вида

$$L_p = k t^2,$$

получим, что в момент засветки фотоприемника, связанного с объектом измерения ($L_p = L_x$), будет сформирован временной интервал, определяемый выражением

$$k t^2 = a X^2, \quad t^2 = a/k X^2,$$

отсюда

$$t = X \sqrt{a/k}.$$

При заполнении этого интервала импульсами образцовой частоты f_o и подсчете числа этих импульсов электронным счетчиком на выходе счетчика будет сформирован код:

$$N = f_o X \sqrt{a/k}.$$

Таким образом, при развертке оптического луча во времени с той же нелинейностью, что и нелинейность первичного преобразователя измеряемой величины в перемещение, автоматически корректируется нелинейность первичного измерительного преобразователя. Аналогично корректируются нелинейности других видов.

Для пространственной развертки оптического излучения могут применяться различные устройства как аналогового, так и цифрового принципа действия. Например, преобразователем напряжения в длину светящегося столба газа является линейный газоразрядный индикатор ЛГИ [2]. У этого преобразователя длина светящегося столба газа пропорциональна приложенному напряжению. Подавая на вход ЛГИ пилообразное напряжение, получим линейную развертку оптического луча, как показано на рис. 1. Однако эти преобразователи не отличаются высокой точностью.

Для получения квадратичной развертки оптического излучения можно воспользоваться прямой ветвью вольтамперной характеристики диодного р-п перехода, которая на начальном участке воспроизводит эту функцию. Другие способы построения аналоговых функциональных преобразователей представлены в [4].

Более перспективными являются цифровые способы пространственной развертки оптического излучения. Некоторые преобразователи, работающие на этом принципе, используются в качестве дискретных шкальных отсчетных устройств, основанных на применении специально разработанных дешифраторов-распределителей [5]. Однако в качестве универсального функционального пре-

образователя удобно использовать микроконтроллер, с помощью которого любую функцию можно воспроизвести программным способом.

По принципу действия оптоэлектронные преобразователи перемещений с пространственной разверткой оптического излучения могут быть двух типов:

- развертывающего преобразования;
- следящего преобразования.

В преобразователях развертывающего преобразования создается периодическая развертка светового луча, каждый раз начинающаяся от начала диапазона измерения перемещения (рис. 1). В аналоговых преобразователях с линейной функцией преобразования развертка луча определяется зависимостью

$$L_p = k t,$$

где коэффициент k характеризует скорость развертки луча, а следовательно, и периодичность преобразования измеряемой величины. Измерительная информация формируется через определенные интервалы времени, равные периоду развертки, и определяется зависимостью (1).

Если для развертки оптического излучения применяется дискретный излучатель с числом светоизлучающих элементов n , то дискретность измерения будет зависеть от шага дискретизации l :

$$l = L_\delta/n,$$

где L_δ – диапазон измерения.

Для создания развертки оптического излучения на каждый светоизлучающий элемент последовательно подаются электрические импульсы с частотой f , в этом случае функция развертки имеет вид

$$L_p = l f t.$$

Если положение фотоприемника связано с измеряемой величиной X линейной зависимостью

$$L_x = aX,$$

то интервал времени от начала развертки до момента освещения фотоприемника определится выражением

$$L_p = L_x,$$

отсюда

$$t = Xa/lf.$$

При заполнении этого интервала времени электрическими импульсами от того же генератора, который используется для развертки оптического излучения с частотой следования импульсов f , код, формируемый на выходе счетчика импульсов, будет иметь вид

$$N = f t = X a/l. \quad (2)$$

Из этого выражения видно, что нестабильность частоты f генератора импульсов не влияет на точность преобразователя, так как эта частота полностью исключена из функции преобразования. Точность преобразования измеряемой величины в код определяется двумя параметрами: стабильностью коэффициента преобразования a первичного преобразователя измеряемой величины X в перемещение L_x и шагом квантования оптической линейки l (расстоянием между светоизлучающими элементами). В этом заключается преимущество дискретного способа развертки оптического излучения перед аналоговым.

Преобразователи развертывающего преобразования не требуют фиксации

начала диапазона измерения, так как развертка луча всегда начинается от начала шкалы, а число накопленных в счетчике импульсов отражает текущее положение фотоприемника относительно начала диапазона измерения. Периодическая развертка оптического излучения позволяет использовать метод накопления и усреднения измерительной информации для повышения точности измерения. Счетчик может накапливать импульсы за несколько периодов развертки, что позволяет снизить влияние случайной погрешности преобразования. Если импульсы накапливаются за число периодов развертки, кратное десяти, то усреднение измерительной информации производится автоматически отбрасыванием соответствующего числа младших разрядов полученного кода.

Структурная схема оптоэлектронного преобразователя перемещений в код с развертывающим преобразованием представлена на рис. 2.

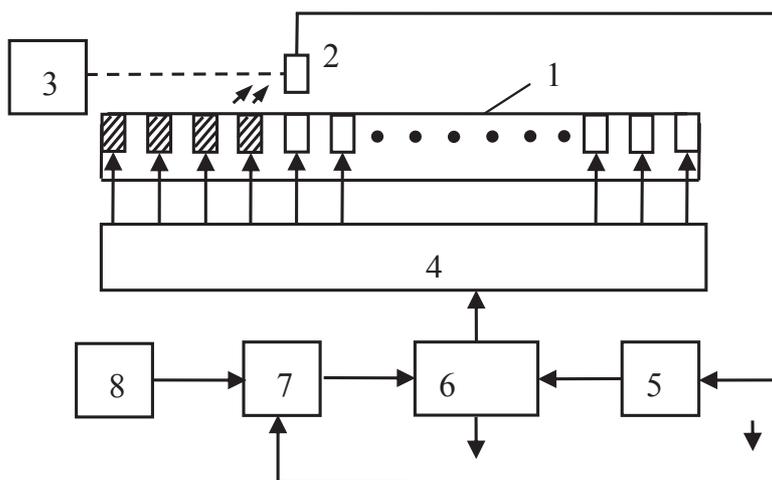


Рис. 2. Структурная схема оптоэлектронного преобразователя перемещений в код с развертывающим преобразованием

Преобразователь содержит светоизлучающую дискретную линейку 1, фотоприемник 2, механически связанный с перемещающимся объектом измерения 3, дешифратор-распределитель импульсов 4, счетчик – формирователь импульсов 5, счетчик импульсов 6, ключ 7 и генератор импульсов 8.

Преобразователь работает следующим образом. Импульсы генератора 8 через открытый ключ 7 поступают на вход счетчика импульсов 6, при этом код счетчика посредством дешифратора-распределителя 4 преобразуется в последовательность импульсов, подаваемых на светоизлучающие элементы линейки 1. Каждый новый импульс в счетчике приводит к включению очередного светоизлучающего элемента, вследствие чего происходит линейная развертка оптического излучения по диапазону измерения.

Когда оптическое излучение достигает фотоприемника 2, на его выходе генерируется электрический импульс, который поступает на счетчик – формирователь импульсов 5. При однократном измерении счетчик – формирователь импульсов 5 прекращает счет импульсов в счетчике 6 за один период развертки, выводит код результата измерения потребителю информации, а затем обнуляет счетчик 6. Далее процесс измерения повторяется.

При многократном измерении счетчик 6 суммирует импульсы за определенное число периодов развертки, а счетчик-формирователь 5 подсчитывает количество периодов развертки оптического излучения, и когда оно достигнет заданного значения, выводит код усредненного результата измерения. Усреднение изме-

рительной информации за несколько периодов развертки позволяет уменьшить влияние случайной погрешности. Например, таким способом можно устранить нечеткость срабатывания фотоприемника 2 при его перемещении вдоль светящейся линейки. Наиболее просто измерительная информация усредняется за десять периодов развертки. В этом случае усреднение заключается в исключении младшего разряда полученного десятичного кода.

Так как счетчик импульсов 6 используется и для формирования развертки оптического излучения, и для накопления информативных импульсов перемещения, то работа этого преобразователя происходит по алгоритму (2), а это значит, что в измерительном преобразователе со структурной схемой по рис. 2 полностью исключена погрешность, связанная с нестабильностью частоты генератора импульсов, а погрешность измерения перемещений определяется только шагом дискретизации (числом светящихся элементов).

Структурная схема оптоэлектронного преобразователя перемещений в код со следящим преобразованием [3] представлена на рис. 3.

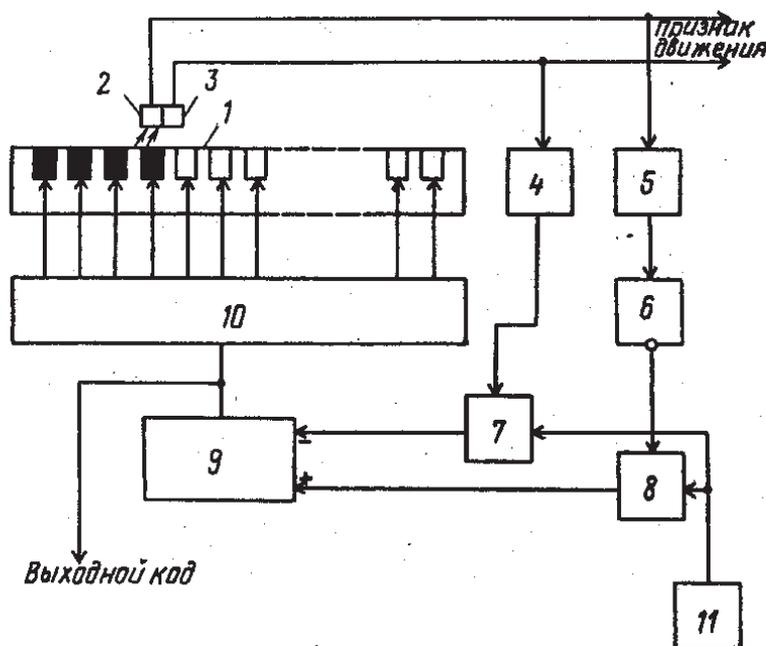


Рис. 3. Структурная схема оптоэлектронного преобразователя перемещений в код со следящим преобразованием

Преобразователь содержит дискретную светящуюся линейку 1, фотоприемники 2 и 3, формирователи 4 и 5 импульсов, элемент НЕ 6, ключи 7 и 8, реверсивный счетчик импульсов 9, дешифратор-распределитель 10 и генератор импульсов 11.

Преобразователь перемещения в код работает следующим образом.

В исходном состоянии фотоприемники 2 и 3, механически связанные с объектом измерения, находятся в произвольном положении относительно начала светящейся линейки 1. При включении преобразователя реверсивный счетчик 9 находится в нулевом состоянии, сигналы на выходах дешифратора-распределителя 10 равны нулю, светящиеся элементы линейки 1 не светятся и сигналы на выходах фотоприемников 2 и 3, а следовательно, на выходах формирователей 4 и 5 импульсов также равны нулю.

Элемент НЕ 6 преобразует нулевой входной сигнал в единичный сигнал на выходе, который открывает ключ 8, и импульсы от генератора 11 поступают на суммирующий вход реверсивного счетчика 9 и накапливаются в нем.

Выходной код реверсивного счетчика 9 преобразуется дешифратором-распределителем 10 в последовательность выходных сигналов, поочередно, начиная с первого, поступающих на излучающие элементы линейки 1. Эти элементы начинают светиться, и оптическое излучение по мере поступления импульсов в реверсивный счетчик 9 последовательно распространяется по линейке 1. Когда оптическое излучение достигает фотоприемника 2, на его выходе появляется сигнал, который после формирования формирователем 5 и инвертирования элементом НЕ 6 закрывает ключ 8. Суммирование импульсов прекращается, а на выходе реверсивного счетчика 9 устанавливается код, соответствующий положению фотоприемников 2 и 3 относительно начала диапазона измерения перемещения.

Если после этого сместить фотоприемники 2 и 3 влево, то засветится фотоприемник 3, который через формирователь 4 импульсов открывает ключ 7, и импульсы от генератора 11 начинают поступать на вычитающий вход реверсивного счетчика 9. Число импульсов, находящихся в счетчике 9, уменьшается, соответственно уменьшается число светящихся элементов справа налево по линейке 1. Как только прекратится засветка фотоприемника 3, закрывается ключ 7 и на выходе реверсивного счетчика 9 устанавливается код, соответствующий новому положению фотоприемников 2 и 3.

При смещении фотоприемников 2 и 3 вправо прекращается засветка фотоприемника 2, открывается ключ 8 и импульсы от генератора 11 снова поступают на суммирующий вход реверсивного счетчика 9, а оптическое излучение распространяется вправо по линейке 1 до тех пор, пока не засветится фотоприемник 2.

Таким образом, оптическое излучение, создаваемое линейкой 1, постоянно «следит» за положением фотоприемников 2 и 3, при этом установившийся режим достигается тогда, когда фотоприемник 2 освещен, а фотоприемник 3 не освещен, что соответствует неподвижному состоянию объекта измерения.

Код реверсивного счетчика 9 однозначно соответствует положению фотоприемников 2 и 3 относительно начала линейки 1.

Диапазон преобразуемых перемещений определяется длиной линейки 1, а дискретность измерения – числом светоизлучающих элементов на этой линейке.

Преобразователь работает в режиме непрерывного следящего преобразования и может быть использован как для линейных перемещений, так и для угловых. В последнем случае светоизлучающая линейка выполняется в виде дуги или кольца. Как и в случае преобразователя с развертывающим преобразованием, у преобразователя со следящим преобразованием нестабильность частоты генератора импульсов 11 не влияет на точность преобразования перемещения в код. Погрешность преобразования определяется только шагом квантования светоизлучающей линейки.

Для построения дискретных светоизлучающих линеек могут быть использованы светодиодные структуры, жидкокристаллические излучающие элементы или другие источники оптического излучения, обладающие минимальными размерами [5]. Спектр излучения может быть любым, но предпочтительнее инфракрасный диапазон, обеспечивающий помехоустойчивость от внешней засветки.

В качестве фотоприемников используются миниатюрные фотодиоды, совме-

стимые по спектру с излучателями. Оптическое излучение от светоизлучающей линейки может передаваться на фотоприемник через волоконный световод, что расширяет функциональные возможности преобразователей и позволяет минимизировать шаг дискретизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вульвет Дж.* Датчики в цифровых системах / Пер. с англ. под ред. А.С. Яроменка. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
2. А.с. 824254 СССР, МКИ G 08 C 9/00. Преобразователь перемещений в длительность импульса / В.А. Кузнецов (СССР). – № 2782389/18-24; заявл. 18.04.79; опубл. 23.04.81, Бюл. № 15. – 3 с.
3. А.с. 1363465 СССР, МКИ В 03 М 1/26. Преобразователь перемещений в код / В.А. Кузнецов (СССР). – № 3974816/24-24; заявл. 10.11.85; опубл. 30.12.87, Бюл. № 48. – 3 с.
4. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
5. *Иванов В.И. и др.* Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксёнов, А.М. Юшин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 448 с.

Статья поступила в редакцию 7 декабря 2015 г.

OPTOELECTRONIC MEASURING TRANSDUCERS OF DISPLACEMENTS INTO CODE

V.A. Kuznetsov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The method of transformation of linear and angular displacements into the code signal, which is based on spatial unfolding of optical radiation was considered. The functional capabilities and advantages of this method of displacement transformation are shown. By the use the optical discrete rulers, the clock pulses frequency, with the help of which the unfolding of optical radiation is produced, does not affect the accuracy of the conversion, which is determined in this case only by the quantization step of the optical ruler. Also here structural schemes of displacement transducers with deploying and tracking principles of transformation were presented. The conversion functions of these transducers and their advantages are given.

Keywords: displacement transducer, optical unfolding, coding.