

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОМПАНИИ HEIDENHAIN

Е.И. Фомин (ООО "ХАЙДЕНХАЙН")

Рассматриваются характеристики, особенности, функциональные возможности и преимущества измерительных систем производства компании HEIDENHAIN. Представлены основные типы измерительных систем, приведено описание новейших технологий, улучшающих качество и точность измерений.

Ключевые слова: измерительная шкала, считывающая головка, датчики линейных перемещений, угла, вращения, измерительный щуп, фотоэлектрический принцип, отображающий и интерферентный методы считывания, инкрементальный и абсолютный метод измерения.

Введение

Высокое качество продукции компании HEIDENHAIN обеспечивается специальным производственным оборудованием и средствами измерения. Эталоны и рабочие копии для изготовления шкал производятся в так называемых чистых комнатах при сохранении особых условий стабилизации температуры и изоляции от внешних колебаний и воздействий. Оборудование, необходимое для изготовления и проверки линейных и круговых шкал, а также копирующие устройства компания HEIDENHAIN разрабатывает и изготавливает практически полностью на собственном производстве. Знания в области измерительной техники, особенно в области измерения длины и угла позволяют компании находить решения для нестандартных задач. К ним относятся сконструированные и построенные специально для лаборатории стандартизации измерительные и контрольные установки так же, как и датчики угла для телескопов и приемников спутниковой связи. Опыт таких разработок используется и в серийном производстве.

Одной из основных составляющих измерительных систем компании HEIDENHAIN являются прецизионные шкалы с делениями, преимущественно в виде последовательности штрихов. Деления наносятся специальным методом, разработанным компанией HEIDENHAIN (рис. 1) (например, DIADUR, AURODUR или METALLUR), и являются решающим фактором в конечной точности измерительных систем. Деления состоят из штрихов и зазоров, обладающих высокой точностью периода нанесения, а их профиль имеет ровные и четкие края. Они устойчивы к механическим и

химическим воздействиям, а также нечувствительны к нагрузке, вибрациям и ударам, кроме того, обладают известными термическими свойствами.

Принципы измерения

Измерительные датчики HEIDENHAIN, основанные на оптическом методе считывания, имеют шкалу с равномерной текстурой — так называемые штрихи. В качестве носителей для штрихов служит стекло или сталь. В линейных датчиках больших длин в качестве носителя шкалы служит стальная лента. Высокоточные штрихи наносятся на носитель различными фотолитографическими методами. Шкалы изготавливаются, например, по следующим принципам: штрихи

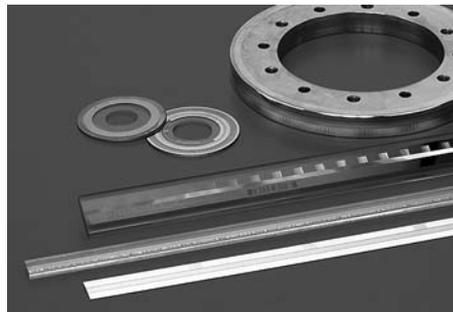


Рис. 1. Деления типа DIADUR и AURODUR на различных носителях

из хрома на носителе из стекла, вытравленные матовые штрихи на позолоченной стальной ленте, трехмерные структурные решетки на стекле или стали. Разработанные компанией HEIDENHAIN фотолитографические методы нанесения штрихов позволяют добиваться периода сигнала 40...4 мкм. Помимо очень точного периода шкалы, имеет профиль с очень четкими и ровными краями. В сочетании с фотоэлектрическим методом считывания эти шкалы позволяют получать высококачественный выходной сигнал. Шкалы и эталоны изготавливаются на прецизионных станках.

При инкрементальном методе измерения (рис. 2) шкала состоит только из одного ряда равномерных штрихов. Данные о положении получают путем подсчета отдельных инкрементов (шагов измерения) относительно выбранной нулевой точки. Для определения положения требуется абсолютная точка отсчета, в качестве которой на шкале используется отдельный ряд штрихов, несущий референтную метку (РМ). РМ имеет такой же период сигнала, как и инкрементальный сигнал. Чтобы восстановить или установить заново нулевую точку необходимо проехать РМ. В самом невыгодном случае, чтобы пересечь РМ, придется проехать большую часть измеряемого пути. Чтобы уменьшить этот участок, многие измерительные системы компании HEIDENHAIN имеют кодированные РМ: дополнительный ряд штрихов с нанесенными РМ на различном расстоянии друг от друга. Электро-

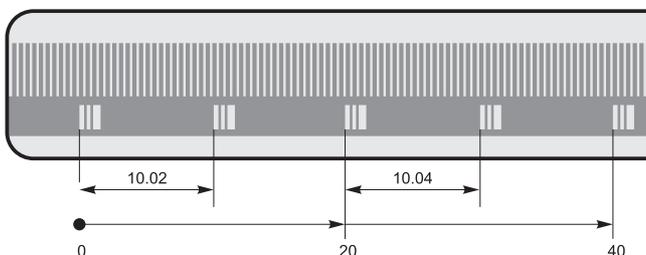


Рис. 2. Схематическое представление инкрементальной шкалы с кодированными референтными метками

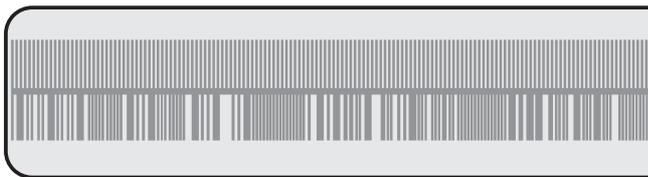


Рис. 3. Схематическое представление абсолютной шкалы с дополнительной инкрементальной дорожкой

ника определяет абсолютное положение уже после пересечения двух РМ, то есть всего через несколько миллиметров пройденного пути.

При абсолютном методе измерения (рис. 3) после включения аппаратуры сразу же становится доступным абсолютное значение положения оси в данный момент, которое может быть считано измерительной электроникой. Прохождение какого-то участка пути для определения положения в данном случае не требуется. Информация об актуальном положении считывается с закодированной специальным образом шкалы. Для генерации выходного инкрементального сигнала используется отдельная дорожка со штрихами.

Фотоэлектрический метод считывания

Работа большинства измерительных систем HEIDENHAIN основана на фотоэлектрическом способе считывания. Фотоэлектрическое считывание производится без контакта, поэтому отсутствуют изнашиваемые элементы. Этот способ позволяет распознавать штрихи шириной в несколько микрометров и генерировать выходной сигнал с очень маленьким периодом. Чем меньше период штрихов шкалы, тем большее влияние оказывает дифракция на фотоэлектрическое считывание. HEIDENHAIN использует в линейных датчиках два метода считывания:

- отображающий метод для периодов штрихов шкалы 20...40 мкм
- интерферентный метод для очень маленьких периодов штрихов, например, 8 мкм.

Отображающий метод считывания

В упрощенном виде отображающий метод — это генерирование сигнала на основе значений свет/тень: две шкалы со штрихами одинакового или похожего периода (шкала и шаблон) двигаются друг относительно друга (рис. 4). Носитель штрихов шаблона делается из прозрачного материала, носитель самой шкалы тоже может быть прозрачным или иметь металлическую рефлектирующую поверхность. После прохождения параллельных лучей света через шаблон образуется определенная свето-теневая последовательность. Далее прошедшее излучение попадает на шкалу. При движении шаблона вдоль шкалы штрихи на шаблоне могут совпадать со штрихами на шкале, образуя в местах просветов на выходе "свет", либо штрихи накладываются на просветы и на выходе получается "тень". Ряд фотоэлементов преобразует этот световой сигнал в электрический. Штрихи на шаблоне, структурирован-

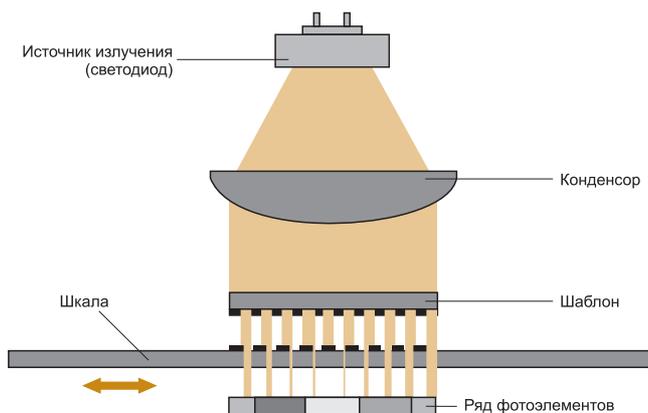


Рис. 4. Отображающий метод считывания (схема)

ные специальным образом, фильтруют световой поток так, чтобы он приближался к синусоидальной форме. Чем меньше расстояние между штрихами, тем меньше и точнее должно быть расстояние между шкалой и считывающим элементом.

Интерферентный метод считывания

Интерферентный метод основан на дифракции и интерференции света при прохождении его сквозь прецизионные штрихи шаблона (рис. 5). Из полученного сигнала впоследствии можно вычислить пройденный путь. В качестве шкалы используется дифракционная ступенчатая решетка — на рефлектирующую поверхность наносятся рефлектирующие штрихи высотой 0,2 мкм. Перед ней находится пропускающий излучение шаблон с фазовой решеткой такого же периода, как и у шкалы. При попадании световой волны на шаблон, она разделяется на три волны 1, 0 и -1 порядков, с примерно равной интенсивностью. От шкалы с фазовой решеткой они отражаются таким образом, что наибольшая интенсив-

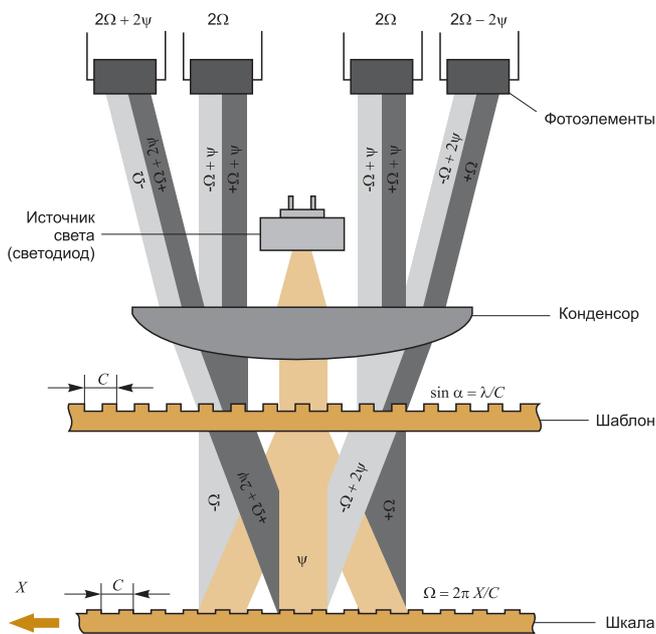


Рис. 5. Интерферентный метод считывания (оптическая схема)

Как точность мысли обуславливает точность выражений, так и точные науки определяют точность измерений.

Журнал "Автоматизация в промышленности"

ность оказывается у волн 1 и -1 порядков. Эти волны снова встречаются на шаблоне и, накладываясь друг на друга, огибают его штрихи. При этом образуются две группы волн, которые покидают шаблон под разными углами. Фотоэлементы преобразуют интенсивность волн в электрический сигнал.

Одно поле сканирования

До недавнего времени на всех оптических измерительных системах HEIDENHAIN использовался чувствительный элемент с четырьмя полями сканирования + одно дополнительное поле для считывания сигнала РМ. Каждый из четырех фотоэлементов отвечает за свой полупериод сигнала, что в конечном итоге позволяло генерировать две синусоидальные последовательности, сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90°.

В настоящее время компанией HEIDENHAIN разработан метод считывания при помощи одного поля сканирования, который успешно применяется на новейших измерительных системах. Суть метода в использовании одного структурированного фотосенсора, на который нанесена матрица из множества фотоэлементов. За каждый участок информации отвечает группа фотоэлементов, что многократно увеличивает качество выходного сигнала. Например, при наличии загрязнений или повреждений шкалы датчики с одним полем сканирования выдают сигнал хорошего качества даже в тех случаях, в которых датчики с четырьмя полями сканирования показывают его отсутствие (рис. 6).

Точность измерений

Точность измерения длины зависит от качества следующих параметров: точность штрихов шкалы; качество считывания; качество электроники, обрабатывающей сигнал; погрешность взаимного расположения считывающей головки и шкалы.

Важно понимать различия между погрешностью шкалы, отнесенной ко всей длине шкалы, и погреш-

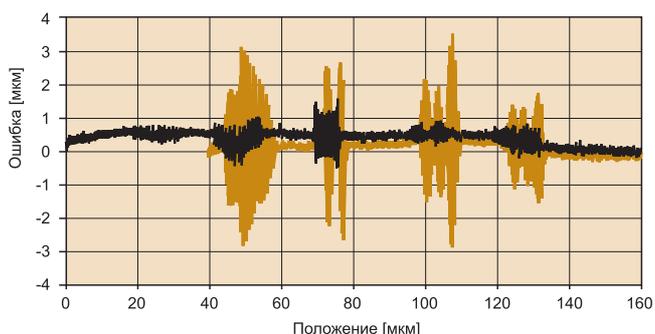


Рис. 6. Качество выходного сигнала при загрязнении шкалы: темное – одно поле сканирования, светлое – четыре поля сканирования

ностью шкалы, отнесенной к одному периоду сигнала (рис. 7).

Погрешность измерения, отнесенная ко всей длине шкалы. Например, точность датчиков линейных перемещений задается в классах, которые имеют следующее определение:

Предельные значения $\pm F$ кривой погрешности измерений для любого пути измерения (максимум 1 м) лежат в пределах класса точности $\pm a$. Они определяются при заключительном контроле датчика и заносятся в протокол измерений.

В закрытых линейных датчиках эти величины задаются для всей измерительной системы, включая считывающую головку, и называются точностью системы. Точность круговых датчиков подразумевает точность системы на один оборот.

Погрешность измерения, отнесенная к одному периоду сигнала, определяется как величиной периода сигнала шкалы, так и качеством штрихов и качеством их считывания. В любой точке измерения по всей длине шкалы она не превышает $\pm 1...2\%$. Погрешность измерения уменьшается с уменьшением периода сигнала шкалы.

Измерение линейного перемещения

Датчики линейных перемещений определяют положение линейной оси без дополнительных механических передаточных элементов. Если определение положения производится при помощи датчика линейного перемещения, то контур регулирования охватывает механику приводов. Таким образом, датчиком линейного перемещения определяется ошибка передачи механики оси и компенсируется в управляющей электронике. Данный способ помогает исключить целый ряд источников погрешностей: ошибку позиционирования, вызванную нагревом шарико-винтовой пары (ШВП), ошибку, вызванную наличием зазоров в ШВП и кинематическую ошибку, вызванную позиционной ошибкой ШВП. Для станков с высокими требованиями к точности позицио-



Рис. 7. Погрешности измерения

нирования и к скорости обработки использование линейных датчиков является необходимым.

Для определения величин линейных перемещений компания HEIDENHAIN производит датчики закрытого и открытого типа, а также измерительные щупы. Датчики открытого типа применяются в условиях, где нет смазывающих охлаждающих жидкостей, пыли и стружки. Измерительные щупы применяются в тех случаях, где есть высокие требования к точности при малых длинах перемещения.

Датчики закрытого типа применяются в основном в металлообработке, так как они защищены от попадания внутрь влаги и пыли. Они предназначены для применения на станках и установках с регулируемой линейными осями, например, фрезерных, токарных и шлифовальных станках, обрабатывающих центрах и горизонтально-расточных станках.

Датчики линейного перемещения закрытого типа

В качестве линейных датчиков для станков с ЧПУ используются закрытые датчики, шкала и считывающий элемент которых защищены алюминиевым корпусом от пыли, стружки и воды (рис. 8). Уплотнение защищает корпус снизу. Считывающий элемент передвигается вдоль шкалы без контакта с ней. Подвеска соединяет считывающий элемент с корпусом считывающей головки, компенсируя таким образом непараллельность между шкалой и суппортом станка.

Датчики линейных перемещений с мелкопрофильным корпусом шкалы предназначены для использования при ограниченном монтажном пространстве. Относительно большие длины измерения и устойчивость к ускорению достигаются использованием монтажной шины или крепежных элементов.

Датчики линейных перемещений с крупнопрофильным корпусом шкалы отличаются особо прочным исполнением, устойчивостью к вибрациям и большими длинами измерения. Специальное крепление считывающей головки с элементом сканирования позволяет устанавливать данные датчики в вертикальном и горизонтальном положениях при неизменной степени защиты.

Отличительными особенностями датчиков линейных перемещений закрытого типа являются простой и быстрый монтаж, устойчивость к нагрузкам и ускорениям, защита от загрязнения, возможность изготовления датчиков с длинами измерения до 40 м.

Датчики линейных перемещений открытого типа

Открытые датчики линейных перемещений HEIDENHAIN работают без механического контакта между считывающей головкой и измерительной шкалой. Типичными областями применения этих уст-

ройств являются измерительные установки, компараторы и другие прецизионные устройства, такие как производственное и измерительное оборудование, например, в полупроводниковой индустрии.

Измерительные инкрементальные щупы

Щупы компании HEIDENHAIN имеют выдвижной измерительный стержень. Они применяются для контроля средств измерения, в производственной и измерительной технике, а также в качестве датчиков пути. Отличительной особенностью измерительных щупов является высокая точность системы до $\pm 0,1 \text{ мкм}$ и шаг измерения до $0,005 \text{ мкм}$ (5 нм) при небольших длинах перемещений (до 100 мм).

Измерение углового перемещения

В компании HEIDENHAIN существует негласное разделение всех круговых измерительных систем на два основных типа: датчики вращения и датчики угла (рис. 9). Датчики угла компании HEIDENHAIN имеют более высокую точность: до десятых долей угловых секунд. Шаг измерения подобных измерительных систем достигает тысячных долей угловых секунд для инкрементальных датчиков и 29 бит или около 536 млн. позиций на оборот для абсолютных датчиков. Областью применения этих устройств являются поворотные столы и поворотные головки на станках, делительные головки, прецизионные платформы для измерения угла, прецизионные установки измерения угла, антенны и телескопы.

Датчики вращения HEIDENHAIN служат для измерения скорости вращения, а при их монтаже на ходовом винте или шарико-винтовой паре — для измерения линейных перемещений. Они применяются в электродвигателях, станках, прессах, деревообрабатывающих и текстильных станках, роботах и манипуляторах, измерительном и контрольном оборудовании.



Рис. 9. Круговые датчики

Датчики вращения HEIDENHAIN служат для измерения скорости вращения, а при их монтаже на ходовом винте или шарико-винтовой паре — для измерения линейных перемещений. Они применяются в электродвигателях, станках, прессах, деревообрабатывающих и текстильных станках, роботах и манипуляторах, измерительном и контрольном оборудовании.

Измерительные щупы для обмера детали и инструмента

Для выполнения измерений, юстировки и контроля геометрических параметров прямо на станке применяются контактные измерительные щупы HEIDENHAIN типа TS для обмера заготовки (рис. 10) и TT для контроля инструмента. Измерительный стержень щупа отклоняется в сторону при касании поверхности заготовки или инструмента. При этом щуп генерирует коммутационный сигнал, который в зависимости от типа прибора передается через кабель или инфракрасный передатчик в систему ЧПУ. Система управления в этот момент сохраняет фактическое положение оси измерительного прибора и обрабатывает его впоследствии. Коммутационный сигнал выдается оптическим сенсором, работающим без износа, и отличается большой надежно-

стью. Благодаря прочной конструкции и высокой степени защиты измерительные щупы устанавливаются в рабочей зоне станка, что позволяет экономить время наладки.

Интерфейсы передачи данных

Измерительные системы HEIDENHAIN обладают несколькими типами выходных сигналов. Выделим три основных интерфейса, которые находят наибольшее применение в промышленности.

Инкрементальный сигнал 1 Vss. Измерительные системы компании HEIDENHAIN с интерфейсом 1 Vss выдают сигнал по напряжению, который может быть интерполирован с высокой степенью. Синусоидальные инкрементальные сигналы А и В имеют сдвиг фаз друг относительно друга 90° и стандартную амплитуду 1 В. Представленная последовательность выходных сигналов (сигнал В запаздывает по отношению к сигналу А) позволяет определять направление движения.

Инкрементальный сигнал TTL. Измерительные датчики компании HEIDENHAIN с TTL-интерфейсом содержат электронику, которая оцифровывает синусоидальный сигнал с интерполяцией или без нее. Инкрементальные сигналы представляют собой прямоугольные сигналы Ua1 и Ua2 со сдвигом фаз 90°. Сигнал РМ состоит из одного или более импульсов Ua0, которые сопряжены с инкрементальными сигналами. Встроенная электроника дополнительно генерирует его инверсный сигнал для передачи данных, защищенных от помех. Представленная последовательность выходных сигналов (Ua2 запаздывает относительно Ua1) позволяет определять направление движения. Сигнал ошибки сигнализирует о неисправностях, таких как обрыв питающего кабеля, выход из строя источника света и т.д. В условиях автоматизированного производства эта функция может быть использована для выключения станка.

Интерфейс передачи данных EnDat. EnDat – это цифровой двунаправленный интерфейс для измерительных датчиков, разработанный компанией HEIDENHAIN. При помощи данного интерфейса возможна как передача значений координат от абсолютных EnDat 2.2 и инкрементальных датчиков, так и передача других данных, содержащихся в датчиках – их актуализация, изменение и сохранение. Интерфейс является последовательным, поэтому четырех линий связи достаточно для передачи данных. Данные передаются синхронно с тактовой частотой CLOCK, задаваемой управляющей электроникой. Тип передаваемых данных (значения координат, па-

раметры, результаты диагностики и т.д.) определяется командами, которые посылаются управляющей электроникой на измерительный прибор.

Заключение

Компания HEIDENHAIN является признанным мировым лидером в разработке и производстве датчиков линейных и угловых перемещений, датчиков вращения, устройств цифровой индикации, систем ЧПУ, электродвигателей, приводов подач и аксессуаров. Спектр производимого оборудования позволяет компании осуществлять поставки полных комплектов для оснащения как новых металлообрабатывающих станков, так и для модернизации устаревших. Например, при изготовлении высокоскоростных обрабатывающих центров для отслеживания перемещений линейных осей используются как инкрементальные датчики типов LS 100 / LS 400, так и абсолютные типов LC 100/LC 400. Данные датчики линейных перемещений обеспечивают высокую точность измерений (до 3 мкм/метр) при высоких скоростях перемещения до 180 м/мин. Для модернизации универсальных станков используются более простые датчики линейных перемещений, например, типов LS 300/LS 600. Они обладают более низкой стоимостью при неизменном качестве HEIDENHAIN, обеспечивая точность в 10 мкм/метр. Обладая уникальными технологиями, компания HEIDENHAIN способна изготавливать датчики линейных перемещений с длиной измерения до 40 м.

При изготовлении поворотных и наклонных столов, спектрометров, телескопов и т.д. используются датчики угловых перемещений типов RCN, ROD и RON, способные обеспечить необходимую точность < 1 угловой секунды.

Измерительные щупы с беспроводной передачей данных по инфракрасному каналу рекомендуется использовать на станках с автоматическим сменщиком инструмента. Если смена инструмента производится вручную, то существуют исполнения с соединительным кабелем. Использование измерительных щупов многократно снижает время наладки и увеличивает производительность.

Таким образом, использование измерительных систем HEIDENHAIN способно не только увеличить производительность оборудования и снизить издержки, но в некоторых случаях является обязательным в условиях конкурентной борьбы на рынке. Широкая номенклатура изделий HEIDENHAIN позволяет подобрать решение практически для любой задачи, где важны такие параметры, как точность, качество и надежность.

Фомин Евгений Игоревич – руководитель отдела продаж ООО "ХАЙДЕНХАЙН".

Контактный телефон (495) 931-96-46. E-mail: info@heidenhain.ru <http://www.heidenhain.ru>



Рис. 10. Обмер детали при помощи измерительного щупа типа TS