

Стенд для контроля точности преобразователей угловых перемещений

Н. В. СМЕРНОВ, С. М. ЛАТЫЕВ, С. С. МИТРОФАНОВ, Г. В. ЕГОРОВ

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, С.-Петербург, Россия,
e-mail: pirate_korsar@mail.ru

Рассмотрены методы и аппаратура для автоматизированного контроля точности датчиков углов поворота на основе прецизионных преобразователей и точных устройств для их сопряжения, а также способ компенсации некоторых погрешностей контроля. Представлен усовершенствованный стенд, позволяющий повысить точность калибровки преобразователей угловых перемещений.

Ключевые слова: преобразователь угловых перемещений, угловые перемещения, контроль точности, муфта.

The methods and equipment for the automated accuracy control of optical rotary encoders and the certain errors of control compensation method, are presented. The accuracy control methods are based on precision converters and conjugation devices. The improved stand allowing to increase the accuracy of rotary encoders calibration is presented.

Key words: rotary encoder, angular displacement, accuracy control, coupling.

В машиностроении и приборостроении широко используют аналоговые и цифровые преобразователи кругового движения, выпускаемые рядом фирм в виде унифицированных устройств (модулей) [1—3]. Принцип действия таких преобразователей различен. При их производстве и эксплуатации необходимо осуществлять контроль и периодическую поверку каждого преобразователя. Известно много методов и устройств для контроля точности преобразователей [4—6]. Прецизионные преобразователи имеют высокую точность и разрешающую способность, что требует использования измерительных средств с еще более высокими точностными характеристиками и контроля в большом количестве положений, приближающемся к числу импульсообразующих элементов (штрихов) эталонной шкалы преобразователя. Например, серийные прецизионные фотоэлектрические преобразователи накапливающего и абсолютного типов на основе круговых растров и кодовых шкал (количество разрядов 18—24) имеют погрешность 1—5" и 18000—36000 штрихов на контролируемой дорожке.

Погрешности контролируемых преобразователей обычно оценивают, сравнивая их с сопряженными эталонными преобразователями углового движения. В большинстве случаев для этого валы поверяемого и эталонного преобразователей соединяют точной компенсационной муфтой, приводят их в синхронное вращение и сравнивают коды преобразования кругового движения валов. Эталонный преобразователь при этом должен иметь трехкратный и более запас по точности по сравнению с поверяемым преобразователем.

Недостаток такого способа контроля состоит в том, что компенсационные муфты передают движение с одного вала на другой с погрешностями, которые зависят от точности взаимного расположения соединяемых валов, обусловленной несоосностью, перекосами, осевыми и радиальными бие-

ниями [7]. Перед контролем валы необходимо тщательно выставлять друг относительно друга. Лучшие отечественные прецизионные муфты ЛИР-805, ЛИР-807 [1] имеют погрешность $\pm(0,5—1)''$ при несоосности соединяемых валов не более 0,05 мм и перекосах 0,09°.

Достаточно часто погрешности передачи вращения компенсационными муфтами выше, чем у контролируемых преобразователей, и учесть их влияние на точность контроля не представляется возможным. Поэтому точность некоторых преобразователей и углоизмерительных приборов проверяют с помощью установленной на вал (стол, шпиндель) эталонной многогранной призмы (зеркального полигона) и автоматизированного автоколлиматора [8]. При таком методе контроля сравнивают углы поворота вала, задаваемые призмой, с углами, определяемыми преобразователем (прибором). Однако при этом контроль можно осуществлять в ограниченном по количеству граней призмы числе точек, что, как известно, приводит к значительной методической погрешности измерений [9]. Для увеличения числа точек контроля необходимо многократно переустанавливать (разворачивать) призму относительно ее первоначального положения на валу преобразователя, что повышает трудоемкость контроля.

В связи с изложенным при контроле в качестве эталонного предпочтительнее применять прецизионный унифицированный преобразователь угла поворота или точный лазерный гониометр, широко выпускаемые промышленностью [10], но с устройством сопряжения, чтобы учесть погрешность его работы.

На рисунке представлена функциональная схема разработанного стенда для контроля точности преобразователей кругового движения. Стенд включает прецизионный эталонный преобразователь 9 (в качестве которого, например, можно использовать преобразователи ROD 880, RON 905

фирмы Heidenhain с погрешностью соответственно ± 1 и $\pm 0,4''$). Вал образцового преобразователя соединен глухой муфтой 8 с валом контролируемого преобразователя 5, его корпус (статор) снабжен устройством 7, ограничивающим поворот вокруг собственного вала.

Так как валы эталонного и контролируемого преобразователей имеют осевое, линейное и угловое радиальное биения, устройство 7 должно обеспечивать корпусу пять степеней свободы за исключением разворота вокруг оси собственного вала. Устройство 7 может представлять параллелограммный механизм со сферическими шарнирами, связывающими его с корпусом контролируемого преобразователя, и рычажной планкой, ось поворота которой перпендикулярна плоскости механизма [11]. Экспериментальные исследования данного устройства показали, что погрешность ограничения поворота корпуса контролируемого преобразователя содержит периодическую (квазисинусоидальную) и незначительную высокочастотную нерегулярную составляющие, причем периодическая составляющая не превышает $0,5\text{--}0,8''$ при радиальном $0,1\text{--}0,2$ мм и угловом $4\text{--}8'$ биениях корпуса контролируемого преобразователя, а нерегулярная — около $0,1\text{--}0,2''$. Для компенсации этой погрешности на корпусе преобразователя 5 установлено автоколлимационное зеркало 4, цифровой автоколлиматор 3, выход которого соединен через электронный блок 10 с персональным компьютером (ПК) 11. Цифровой автоколлиматор (например, фирмы ЛОМО [12] с разрешением $0,001''$, имеющий в лабораторных условиях полную погрешность не более $\pm 0,1''$) позволяет измерить угол поворота корпуса контролируемого преобразователя вокруг оси собственного вала из-за погрешности узла 7 в каждом контролируемом положении. Синхронное вращение валов осуществляется двигателем 2, связанным с ПК через блок управления 1 и электронный блок 10; также с ПК соединены выходы обоих преобразователей. Чтобы масса контролируемого преобразователя не нагружала подшипники эталонного, в стенде предусмотрено разгрузочное устройство 6, например, в виде груза со шкивом или пружины. Для защиты стенда от вибраций эталонный преобразователь можно установить на амортизаторы, а вращение валов от двигателя передавать через шкив.

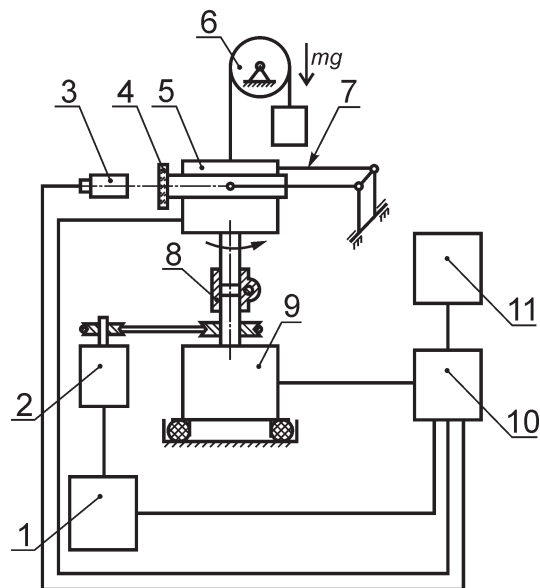
Стенд работает следующим образом. При синхронном вращении валов их угловые положения определяются соответствующими кодами. В моменты смены кодов контролируемого преобразователя они сравниваются в ПК с кодами эталонного преобразователя. Разность кодов равна угловой погрешности контролируемого преобразователя без учета погрешности узла 7:

$$\Delta y_i = y_{ki} - y_{zi},$$

где Δy_i — погрешность контролируемого преобразователя в i -м положении; y_{ki} , y_{zi} — коды угловых положений валов контролируемого и эталонного преобразователей.

Так как значение погрешности работы узла 7, измеренной с помощью зеркала 4 и автоколлиматора 3, передается в ПК, она учитывается в виде поправки в результатах контроля.

Погрешность контроля преобразователей на стенде Δy_{Σ} зависит в основном от погрешностей эталонного преобразователя $\Delta y_{\text{э}}$, автоколлиматора $\Delta y_{\text{а}}$ и дополнительных случайных погрешностей измерений $\Delta y_{\text{д}}$ из-за влияния вибраций,



Функциональная схема стенда для контроля угловых преобразователей:

1 — блок управления; 2 — двигатель; 3 — автоколлиматор; 4 — зеркало; 5, 9 — контролируемый и эталонный преобразователи; 6 — разгрузочное устройство; 7 — ограничивающее устройство; 8 — глухая муфта; 10 — электронный блок; 11 — персональный компьютер

шумов в электронных блоках, колебаний температуры и других факторов:

$$\Delta y_{\Sigma} \approx \sqrt{\Delta y_{\text{э}}^2 + \Delta y_{\text{а}}^2 + \Delta y_{\text{д}}^2}.$$

Таким образом, стенд позволяет контролировать преобразователи угла поворота вала в код фактически в неограниченном числе точек, компенсировать погрешность устройства сопряжения контролируемого и эталонного преобразователей, что существенно повышает точность и производительность контроля.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (субсидия № 074—401).

Л и т е р а т у р а

1. Каталог продукции фирмы СКБ ИС. [Электрон. ресурс]. <http://www.skbis.ru> (дата обращения 09.07.2014 г.)
2. Каталог продукции фирмы Heidenhain. [Электрон. ресурс]. <http://www.heidenhain.ru> (дата обращения 23.07.2015 г.)
3. Гродецкий Ю. А., Дукаревич Ю. Е., Иванов Ю. М., Синицын А. С. Абсолютные высокоточные датчики угла нового поколения // Измерительная техника. 2012. № 9. С. 22—25.
4. Домрачев В. Г., Мейко Б. С. Цифровые преобразователи угла. Принципы построения, теория точности, методы контроля. М., Энергоатомиздат, 1984.
5. А. с. 824265 СССР. Способ поверки преобразователей угла поворота вала в код и устройство для его осуществления / Ю. П. Дарменко, Б. Н. Иванов // Бюл. изобрет. 1981. № 15.
6. Пат. 2060585 РФ. Способ поверки преобразователя угла поворота вала в код / Г. В. Егоров, С. М. Латыев, Л. Н. Мальцев, И. В. Меськин, С. С. Митрофанов // Изобретения. 1996. № 14.

7. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, 1985.

8. Иващенко Е. М., Павлов П. А. Исследования динамических гониометров с оптическим датчиком угла // Измерительная техника. 2014. № 1. С. 25—27.

9. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб.: Политехника, 2007.

10. Иващенко Е. М. Лазерный динамический гониометр с улучшенными характеристиками // Гирскопия и навигация. 2012. № 2 (77). С. 151.

11. А. с. 1647224 СССР. Устройство для ограничения поворота статора преобразователя круговых перемещений / А. Л. Гореев, С. С. Митрофанов, С. М. Латыев, С. М. Колосков, Г. В. Егоров // Открытия. Изобретения. 1991. № 17.

12. Королев А. Н., Гарцуев А. И. Цифровой двухкоординатный автоколлиматор с разрешением 0,001" // Измерительная техника. 2004. № 12. С. 29—32.

Дата принятия 11.02.2015 г.

681.2.531.71

Прецизионные цифровые фотоэлектрические измерительные головки отклонения

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

Рассмотрено применение растровых решеток при создании прецизионных цифровых фотоэлектрических преобразователей для модульных и компонентных измерительных головок отклонения двух- и трехкоординатных приборов измерений линейно-угловых перемещений. В качестве измерительных преобразователей использована экстремальная счетно-интерполяционная система измерения перемещений.

Ключевые слова: прецизионные цифровые преобразователи, экстремальная счетно-интерполяционная система измерений.

The raster grids application during creation of the precise digital photoelectric converters for modular and component measuring deflection heads of two and three-coordinate instruments for measuring the linear and angular displacement is considered. The extreme counting interpolation displacement measuring system is used as a measuring converters.

Key words: precision digital converters, extreme calculating interpolation measurement system.

Измерительные головки (ИГ) — важнейшие узлы координатных измерительных машин (КИМ), обеспечивающие связь деталей с системами измерения координат, и в значительной степени определяющие их точность, универсальность и производительность. Реализуемые в КИМ способы измерений, требования к системе управления, номенклатура решаемых метрологических задач определяются типом и функциональными параметрами ИГ [1]. Измерительные головки, подобные используемым в КИМ, применяют в различных приборах и машинах для измерения длины.

В настоящее время разработано большое количество ИГ, которые можно классифицировать по разным признакам. По принципу действия их разделяют на жесткие, электрические, электронные и оптические; по методу измерений — на измерительные головки нулевые (ИГН) и измерительные головки отклонения (ИГО); по моменту съема информации — на ИГ касания (триггерные, сигнальные, переключающие, индикаторы контакта) и ИГ управляющие, которые, в свою очередь, подразделяются на считывающие координаты и управляющие движением подвижных узлов КИМ; в зависимости от числа степеней свободы — на одно-, двух- и трехкоординатные, т. е. ИГ 1D, 2D и 3D.

Дискретный сигнал в нулевой точке, используемый для считывания показаний или управления перемещением

подвижных частей КИМ, вырабатывается в ИГН, а с помощью ИГО можно еще измерить перемещение наконечника относительно нулевой точки ИГ, так как в такую головку встроены измерительный преобразователь перемещений.

В зависимости от направления смещения наконечника ИГ делятся на осевые (модульные) и векторные (компонентные, двух- и трехкомпонентные). Самые точные из них — это компонентные ИГ, их точность в основном определяется погрешностью преобразователей и составляет $\pm(0,3—0,5)$ мкм, что не отвечает современным требованиям.

Наиболее точными являются КИМ портального и комбинированного типов. Подавляющее большинство таких машин (до 90 %) оснащены растровыми фотоэлектрическими цифровыми фазовыми счетно-интерполяционными измерительными системами координат [2]. Метрологические параметры этих систем следующие: растры с шагом (периодом) 8—20 мкм, внутришаговая погрешность 0,02—0,05 мкм, дискретность отсчета 0,1 мкм, зазор между растрами 0,1 мм, допустимое изменение зазора — 10 %.

В некоторых КИМ повышенной точности используют дифракционные решетки длиной 300 мм и периодом 1 мкм. Для увеличения диапазона измерений решетки состыковывают,