

Центрирование растров и кодовых дисков фотоэлектрических преобразователей угловых перемещений по кольцевой риске и штрихам

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

Проанализированы способы центрирования растра по центрировочной окружности и штрихам. Показано, что центрирование по штрихам с помощью двух считывающих систем, установленных на диаметрально противоположных участках растра, является наиболее точным.

Ключевые слова: угловые перемещения, кодовые диски, эксцентриситет, центрирование, датчик угловых перемещений.

The scanning patterns centering methods by centering circle and scratches have been analysed. It is shown that the centering by scratches by means of two reading systems installed on diametrically opposite parts of the scanning pattern is the most accurate.

Key words: angular displacements, code wheels, eccentricity, centering, rotary encoder.

Фотоэлектрические преобразователи угловых перемещений, содержащие растры и кодовые диски, широко применяются в различных изделиях машиностроения и приборостроения. Точность работы преобразователей в значительной степени определяется точностью центрирования растров (дисков) на осях их вращения. При сборке преобразователей растры центрируют теми или иными способами [1, 2], но без оценки достигаемой точности и современных возможностей автоматизации процесса центрирования. В данной статье рассмотрены аспекты центрирования растров с учетом конструкции преобразователей.

Центрирование растров и кодовых дисков по центрировочной окружности и штрихам. Растры и кодовые диски используют в качестве меры угла в фотоэлектрических преобразователях угловых перемещений. На рис. 1 представлена упрощенная функциональная схема подобного преобразователя, включающая вращающийся измерительный растр (кодový диск) 1, считывающую систему 2, состоящую из осветителя штрихов растров и фотоприемников, и неподвижный индикаторный растр 3. Установочный эксцентриситет измерительного растра и погрешности его деления являются одними из основных погрешностей таких преобразователей.

Эксцентриситет Δe_r (называемый геометрическим) — несовпадение центра O_1 нанесения штрихов растра с осью его вращения O_2 (см. рис. 1) вызывает погрешность измерений углов, определяемую проекцией вектора эксцентриситета на ось U и его рабочим радиусом R :

$$\Delta\varphi = \Delta e_r [\sin \theta_n - \sin (\varphi + \theta_n)]/R, \quad (1)$$

где θ_n — начальное направление вектора эксцентриситета, которое откладывается от оси V , пересекающей визирную линию считывающей системы; φ — угол поворота растра от начального до текущего положения. Погрешность $\Delta\varphi$ зависит от θ_n и имеет период 2π .

Для уменьшения эксцентриситета растр при сборке центрируют различными способами относительно оси вращения. В практике отечественного и зарубежного приборостроения для этой цели чаще всего используют центрирование по риске 4 центрировочной окружности (см. рис. 1), наносимой одновременно со штрихами. На рис. 2 изображена схема одного из распространенных вариантов конструкции станда для центрирования растра с помощью измерительного микроскопа МИР 2 [2]. Из-за эксцентриситета растра изображение риски, наблюдаемое на шкале микроскопа, претерпевает биение при вращении вала. Ослабляя винты крепления оправы растра, его смещают на половину максимального значения биения риски и устраняют таким образом установочный эксцентриситет. Погрешность центрирования растра при этом определяется остаточным биением риски:

$$\Delta e_r = A\Delta b/(2V_{об}),$$

где A — цена деления штрихов шкалы микроскопа, обычно $A = 0,1$ мм; Δb — остаточное биение риски в делениях шкалы; $V_{об}$ — увеличение объектива микроскопа.

Опытные механики добиваются при центрировании незаметного на глаз биения изображения кольцевой риски. В этом случае потенциальная точность центрирования определяется разрешающей способностью глаза и увеличением всего микроскопа:

$$\Delta e_r = 250\varepsilon/(2V_{об}\Gamma), \quad (2)$$

где Γ — увеличение окуляра; ε — разрешающая способность глаза.

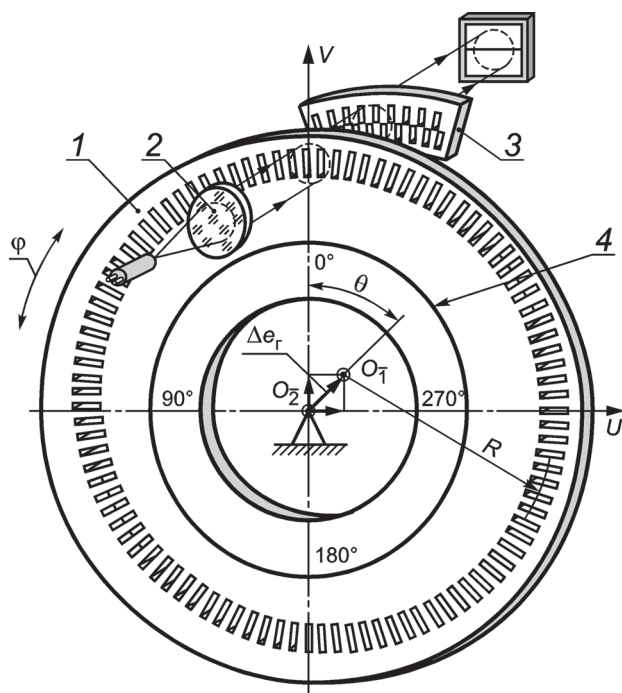


Рис. 1. Функциональная схема преобразователя:

1 — измерительный растр; 2 — считывающая система; 3 — индикаторный растр; 4 — центрировочная риска

В стандартной комплектации микроскопа МИР 2 $V_{об} = 3,7\times$, $\Gamma = 7\times$, поэтому, приняв $\varepsilon = 1'$, из (2) получим $\Delta e_r \approx 1,5$ мкм. Такое значение остаточного эксцентриситета согласно (1) может вызвать погрешность $\Delta\varphi$ до $6''$, например, при $R = 50$ м и неблагоприятных значениях фазы вектора эксцентриситета.

Центрирование по кольцевой риску достаточно трудоемко и требует высокой квалификации механика. Одна из фирм для осуществления центрирования кодовых дисков и растров разработала юстировочный автомат высокой производительности и точности, функциональная схема которого приведена на рис. 3 [3]. При наличии эксцентриситета растра изображение его кольцевой риски, создаваемое объективом проекционного микроскопа 2 на ПЗС-матрице 3,

при вращении вала 1 будет смещаться, что позволяет выработать управляющий сигнал на пьезодвигатель 4, сдвигающий растр для его центровки. Фиксация центрированного растра осуществляется фотополимеризующимся клеем под действием ультрафиолетового освещения. Вследствие высокой чувствительности микроскопа и пьезодвигателя, малому биению аэроэстатических подшипников вращения вала растра автомат позволяет достичь микрометровой погрешности центрирования.

Остаточный эксцентриситет растров и дисков при центрировании по центрировочной риску обусловлен не только чувствительностью микроскопов и биениями подшипников вращения, но также некруглостью кольцевой риски и неточностью ее расположения относительно штрихов. В связи с этим способ центрирования по кольцевой риску целесообразно применять для центрирования растров и кодовых дисков, используемых в преобразователях пониженной (погрешность более $30''$, количество разрядов кодовых преобразователей до 13) и средней (погрешность $10''$ — $30''$, количество разрядов до 18) точности.

Кроме этого, центрирование растра по кольцевой риску не позволяет компенсировать влияние первой гармоники периодической погрешности деления растра, которая может быть представлена рядом Фурье, имеющим нечетные и четные члены разложения [2]:

$$\Delta\varphi = \sum_{n=0}^k a_{2n+1} \sin(2n+1)\varphi + \sum_{n=1}^l a_{2n} \sin 2n\varphi,$$

где a — амплитуда гармоники; k, l — число нечетных и четных членов разложения, соответственно.

Имеющая, как правило, наибольшую амплитуду первая гармоническая составляющая разложения с периодом 2π оказывает такое же влияние на погрешность измерений, как и установочный эксцентриситет растра. Фактически эта погрешность возникает из-за действия как бы еще одного, кинематического, эксцентриситета с соответствующим значением Δe_k и направлением θ_k . Естественно, что погрешности измерений углов обусловлены действием как первого, геометрического, эксцентриситета Δe_r , так и второго — кинематического, а результирующая погрешность представляет действие суммарного эксцентриситета

$$\Delta e = \Delta e_r \sin \theta + \Delta e_k \sin \theta_k. \quad (3)$$

При центрировании растра по центрировочной риску выявляется и устраняется только геометрический эксцентриситет, кинематический же остается и может вызвать значительную погрешность измерений при одной считывающей системе преобразователя. Выявление и устранение суммарного эксцентриситета, исходя из (3), возможно при $\Delta e_r \sin \theta = -\Delta e_k \sin \theta_k$, если проводить центрирование растра при сборке не по центрировочной окружности, а по электрическим сигналам, создаваемым его штрихами.

На рис. 4 представлена схема разработанного авторами стенда [4] для центрирования растра 1 по электрическим сигналам, поступающим на входы осциллографа-компьютера 4 с двух считывающих систем 2, 5, установленных диаметрально противоположно на рабочей дорожке штрихов растра. Центрируемый растр устанавливают на оправу осе-

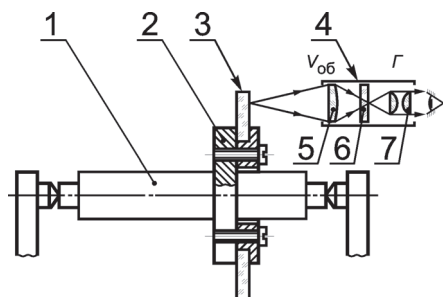


Рис. 2. Схема установки для центрирования растра по кольцевой риску:

1 — вал преобразователя, закрепленный в центрах или подшипниках; 2 — оправка растра; 3 — центрируемый растр; 4 — измерительный микроскоп; 5 — микрообъектив; 6 — шкала; 7 — окуляр

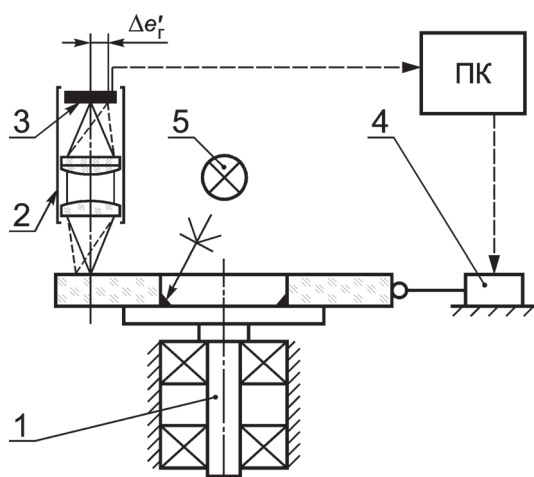


Рис. 3. Функциональная схема центрировочного автомата:
1 — вал; 2 — микроскоп; 3 — ПЗС-матрица; 4 — пьезодвигатель;
5 — источник ультрафиолетового излучения (УФ-лампа); ПК —
персональный компьютер

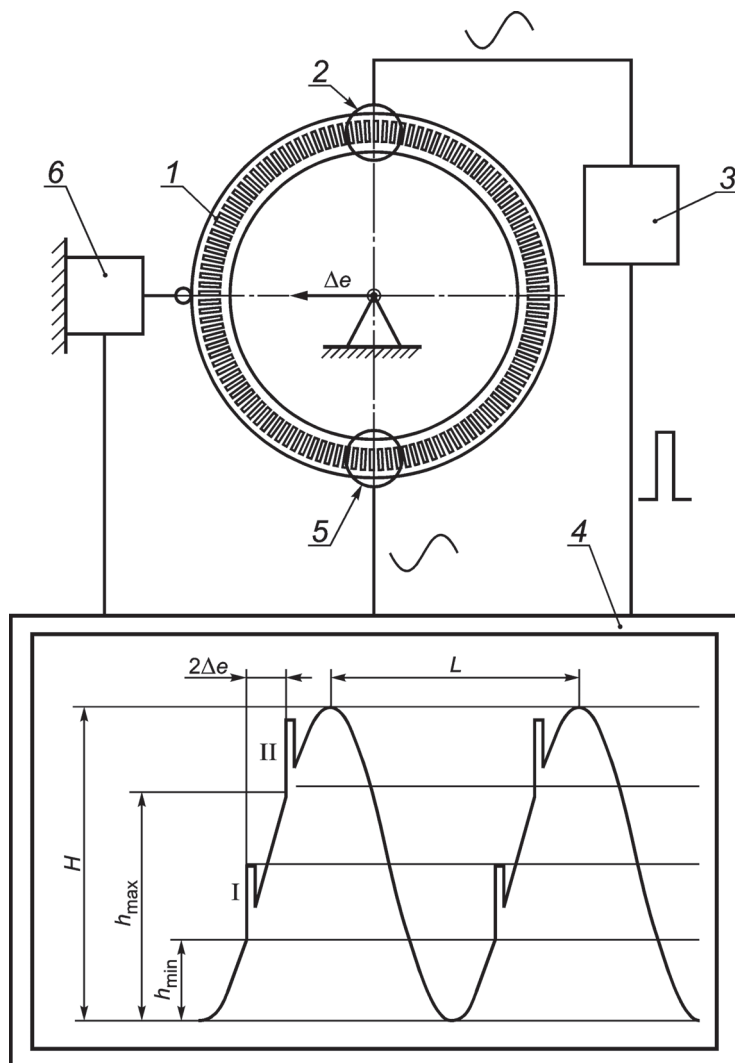


Рис. 4. Схема стенда для центрирования раstra:
1 — центрировочный растр; 2, 5 — считывающие системы; 3 — форми-
рователь; 4 — осциллограф-компьютер; 6 — пьезокерамический вибратор

вой системы преобразователя и приводят в равномерное вращение. Электрический сигнал квазисинусоидальной формы, вырабатываемый системой 2, преобразуется формирователем 3 в строб — узкий прямоугольный электрический импульс, подаваемый на вход осциллографа. На другой его вход подается квазисинусоидальный сигнал, вырабатываемый считывающей системой 5. Из-за суммарного эксцентриситета раstra прямоугольный импульс, играющий роль метки, перемещается относительно квазисинусоиды (по которой синхронизирована развертка осциллографа) из положения I в II. Суммарный эксцентриситет определяется из соотношения

$$\Delta e = [(h_{\max} - h_{\min})/8H] L, \quad (4)$$

где $h_{\max}$, $h_{\min}$ — координаты максимального и минимального смещений импульса; H — размах квазисинусоидального сигнала; L — линейный шаг между импульсообразующими элементами (штрихами) раstra.

Чувствительность такого способа выявления эксцентриситета раstra весьма высока благодаря масштабному усилению электрических сигналов на осциллографе и высокой чувствительности зрения оператора к определению взаимного смещения прямоугольного импульса и наклонной прямой участка квазисинусоиды. Например, при $L = 20$ мкм, $h_{\max} - h_{\min} = 1$ мм, $H = 50$ мм по (4) получим $\Delta e = 0,05$ мкм.

Центрирование раstra осуществляется пьезокерамическим вибратором 6 по управляющему сигналу от компьютера. Отъюстированное положение раstra фиксируется быстроотвердевающим клеем. Этот способ целесообразно применять не только для центрирования в преобразователях пониженной и средней точности, но и в прецизионных преобразователях с погрешностью 1—5", количеством разрядов 18—24.

Выводы. Таким образом, способ центрирования по штрихам с помощью осциллографа обеспечивает более высокую точность, учитывающую не только установочный (геометрический), но и кинематический эксцентриситеты растров.

Работа выполнена при государственной поддержке Правительства РФ ведущих университетов Российской Федерации (субсидия № 074-401).

Литература

1. Latyev S. M., Egorov G. V., Mitrofanov S. S. Fehlerkorrektur von Teilkreise optischer Geräte // Feingeräte-technik. 1986. N. 10. P. 456—460.
2. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л.: Машиностроение, 1985.
3. Weber G. Justageautomat für Drehgeber-Impuls-scheiben // 50. Int. Wissenschaftliches Kolloquium. Tech. Univer. Ilmenau. 2005. P. 59—60.
4. А. с. 1223040 СССР. Способ центрирования лимбов / Г. В. Егоров; С. М. Латыев; С. С. Митрофанов // Бюл. изобрет. 1986. № 13.

Дата принятия 06.10.2014 г.