

УДК 53.087.92 + 681.7.064.64

Тонкая структура кривой погрешности углового преобразователя*

В.П. КИРЬЯНОВ, А.В. КИРЬЯНОВ, А.А. ЛУБКОВ, В.В. ЧУКАНОВ

На основе тонкой структуры кривых погрешности угловых преобразователей, зарегистрированных с высоким разрешением, анализируются особенности взаимодействия локальных дефектов изготовления кодирующего раstra с индикаторным растром считывающей головки. Прогнозируется, что ожидаемое повышение точности угловых преобразователей при использовании алгоритма компенсации погрешности используемого раstra будет наиболее полным, если данные о его погрешности будут предварительно модифицированы с учетом как числа используемых в преобразователе считывающих головок, так и характеристик индикаторных растров, применяемых в них.

Ключевые слова: угловые преобразователи, погрешности преобразования, углоизмерительные системы, путевое усреднение, фазо-статистический метод.

ВВЕДЕНИЕ

Для повышения точности угловых измерений наиболее востребован метод путевого усреднения [1], суть которого состоит в использовании нескольких считывающих головок, расположенных с определенным шагом вдоль измерительной шкалы прибора, выходные сигналы которых складывают между собой с равным весом. При этом происходит подавление $(n - 1)$ младших гармоник, где n – число считывающих головок. Например, при использовании четырех считывающих головок происходит подавление первой, второй, третьей гармоники еще целого шлейфа нечетных и некоторых четных гармоник. Наибольший остаточный вклад вносят четвертая, восьмая, двенадцатая и т. д. гармоники.

Достаточно часто используют метод компенсации, когда для повышения точности измерений результаты первичных измерений подвергают дополнительной обработке, используя данные о погрешности примененного преобразователя.

Не остается без внимания производителей угловых приборов возможность снижения погрешности измерений за счет повышения точности технологического оборудования, с помощью которого создаются углоизмерительные структуры (шкалы, лимбы, растры и т. д.).

Известно, что метод путевого усреднения позволяет в разы снизить результирующую погрешность преобразования. Однако, как показано в [2], методу свойственны некоторые ограничения. Констатируется, что и метод компенсации позволяет заметно повысить точность измерений, но его возможности ограничены уровнем случайных биений подшипников преобразователя.

В [3] предложен способ повышения точности измерения угла поворота, согласно которому для повышения точности измерений необходимо предварительно получать информацию о погрешности изготовления кодирующего раstra, а не преобразователя в целом. Обоснование эффективности применения этого способа выполнено на примере преобразователей, использующих только одну головку, считывающую информацию об угловых смещениях.

* Статья получена 24 января 2013 г.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 8582.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе поставлена задача на основе анализа тонкой структуры полученных с высоким разрешением кривых погрешности высокоточных угловых преобразователей выявить вклады, вносимые специфическими дефектами кодирующих растров в конечный результат измерений, в том числе для случаев, когда в преобразователях используются нескольких считывающих головок (т. е. применяется принцип путевого усреднения). Пример такого специфического дефекта кодирующего растра приведен в [4]. Здесь представлен полученный с помощью углоизмерительной установки АС-700 результат измерения погрешности изготовления кодирующего растра, использовавшегося в угловом преобразователе модели ROD-800 (фирма Heidenhain, Германия) (рис. 1).

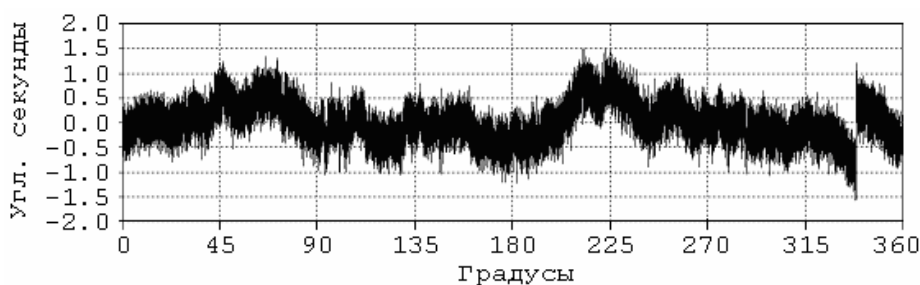


Рис. 1. График погрешности формирования углового растра датчика ROD-800 (фирма Heidenhain, Германия)

На этой кривой четко выделяется дефект в виде разрыва непрерывности экспериментальной кривой погрешности растра. Этот дефект трактовался в [4] как нестыковка начала и конца растра, возникшая в процессе формирования по технологии Diadur мастер-диска, применяемого для последующего тиражирования рабочих растров.

Оценку вклада подобного дефекта в результат измерений целесообразно исследовать в реальных приборах класса ROD-800. Преобразователи этого класса характеризуются накопленной погрешностью порядка $\pm (0,36...0,5)''$. Согласно ГОСТ 8.009-84 допустимая погрешность используемых средств контроля подобных преобразователей не должна превышать $\pm (0,1...0,16)''$, что соответствует нормам, характерным для вторичных эталонов угла [5], [6]. Понятно, что в условиях исследовательской лаборатории нет возможности содержать средства поверки такого уровня. Однако это не означает, что в подобных случаях нет возможности обеспечить оценку характеристик угловых преобразователей, результирующая погрешность которых должна быть порядка $\pm (0,36...0,5)''$. Уникальные возможности для этого предоставляет так называемый фазо-статистический метод (ФСМ) контроля [7], [8].

Достоинство данной методики состоит в том, что для аттестации прецизионных угловых преобразователей не требуется использовать опорный преобразователь, погрешность которого, по крайней мере, в три раза меньше ожидаемой погрешности контролируемого прибора. Это обусловлено тем, что метод позволяет разделить вклады в конечный результат, вносимые как контролируемым образцом, так и опорным. По этой причине контролируемый прибор сравнивается с идеальной, но виртуальной шкалой.

Для выполнения поставленной задачи был использован измерительный стенд, созданный на основе аэростатического шпинделя (рис. 2). В исследованиях в качестве контролируемых объектов использовались преобразователи модели ROD 800 немецкой фирмы Heidenhain с числом штрихов 18000 и 36000, а в качестве референтного – также угловой преобразователь ROD 800 с числом штрихов, равным 36000 и погрешностью $\pm 0,5''$.

В [8] показано, что при использовании фазо-статистического метода за счет измерений с последовательным смещением шкал относительно друг друга, вклад референтного преобразователя в результат контроля уменьшается пропорционально $\sqrt{m}$, где m – число последовательных сдвигов шкал относительно друг друга.

Для того чтобы вклад референтного преобразователя не превышал упомянутых выше значений $\pm (0,1...0,16)''$, число сдвигов шкал должно достигать 25. В экспериментах число последовательных сдвигов составляло 18 (через каждые 20°).

Планировалось зарегистрировать искажения, обусловленные наличием дефектов шкал в районе стыка начала и конца растров, с амплитудой в среднем около $1,0''$. В частности на рис. 1 приведен пример, когда величина дефекта достигала $1,5''$. В преобразователях ROD 800 имеется четыре считывающие головки. Эффект снижения результирующей погрешности составляет, как правило, порядка четырех. Следовательно, амплитуду искажений кривой погрешности можно прогнозировать в пределах $(0,375 - 0,25)''$. На основании этого было принято решение о достаточности 18-и взаимных сдвигов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе экспериментов были определены погрешности нескольких угловых преобразователей модели ROD 800 с числом штрихов 18000 и 36000. На рис. 3 приведен результат контроля погрешности преобразователя ROD 800 с числом штрихов 18000, имеющего серийный № 1978300 В.

Как и следует из теории метода путевого усреднения, полученный график погрешности преобразователя ROD 800 имеет четко выраженную четвертую гармонику, что однозначно указывает на достоверность полученного результата.

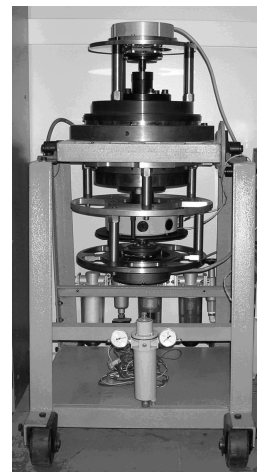


Рис. 2. Внешний вид стэнда для контроля погрешности угловых преобразователей

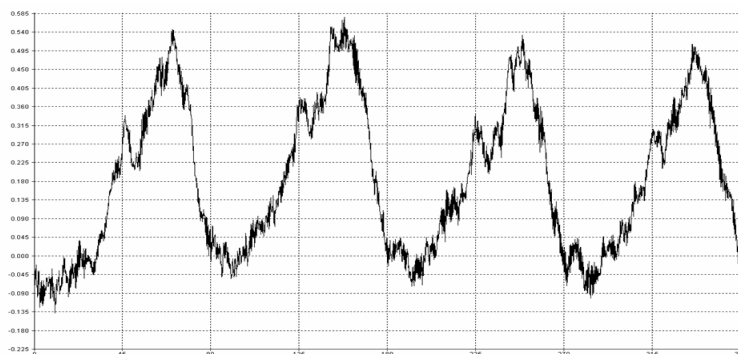


Рис.3. Экспериментальная кривая погрешности преобразователя ROD 800 (серийный № 1 978 300 В, число штрихов 18 000)

Зарегистрированная погрешность преобразователя лежит в пределах $\pm 0,365''$, что даже несколько лучше, чем гарантируемое производителем значение.

Использованный метод измерений позволил также зарегистрировать развитую мелкую структуру кривых погрешности преобразования датчиков. При анализе кривых и получаемой мелкой структуры особое внимание уделялось отдельным участкам. Например, для кривой, приведенной на рис. 3, это участки лежали в интервалах $(45^\circ...50^\circ)$, $(135^\circ...140^\circ)$, $(225^\circ...230^\circ)$ и $(315^\circ...320^\circ)$. Здесь можно выделить однотипные участки разрыва непрерывности с почти линейным спадом кривой, величина которых составила можно выделить однотипные участки разрыва непрерывности с почти линейным спадом кривой, в среднем порядка $0,09''$. Приняв за основу тот факт, что регистрируемые разрывы непрерывности разделены интервалами в 90° , эти участки кривой однозначно связывались с моментами прохождения дефектного участка, характеризуемого разрывом непрерывности кривой погрешности на месте стыка конца и начала измерительного растра, перед индикаторными растрами четырех считывающих головок преобразователя. Эти головки, как известно, установлены по кругу с 90° шагом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании этих данных были сделаны следующие выводы. Во-первых, применительно к алгоритму компенсации, подразумевающему использование данных о предварительно измеренной погрешности измерительного (кодирующего) раstra, было сформулировано следующее требование. При реализации подобного алгоритма данные о погрешности изготовления раstra необходимо предварительно модифицировать с учетом числа считывающих головок в преобразователе, в котором предполагается использование данного раstra (или уже использован). Во-вторых, при любом числе считывающих головок алгоритм компенсации следует организовывать, учитывая интегрирующий эффект действия индикаторных растров каждой головки на итоговый результат компенсации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ионак В.Ф. Приборы кинематического контроля / В.Ф. Ионак. – М.: Машиностроение, 1981. – 129 с.
- [2] Кирьянов В.П. Повышение точности угловых измерений с помощью фотоэлектрических преобразователей комбинированного типа / В.П. Кирьянов, А.В. Кирьянов // Автометрия. – 2012. – Т. 48. – № 6. – С. 84–91.
- [3] Пат. 2433413 РФ. Способ повышения точности измерения угла поворота / Ф.В. Кирьянов, В.П. Кирьянов. Заявл. 15.06.2010; Опубл. 10.11.2011; Бюлл. № 31, 9 с.
- [4] Kiryanov and others. Development of Technique for Determination on Metrological Parameters of Technological System CLWS-300/C for Synthesis of High Precision Angular Measuring Structures / Proc. of 10-th IMECO TC-7 International Symposium on Advance of measurement science. S.-Peterburg, 2004. – P. 316–320.
- [5] Masuda T. An automatic calibration system for angular encoders / T. Masuda, M. Kajitani // Precision Engineering. – 1989. – Vol. 11. – № 2. – P. 95.
- [6] Watanabe T. Automatic high-precision calibration system for angle encoder / T. Watanabe, H. Fujimoto, K. Nakayama, T. Masuda, M. Kajitani // SPIE Proceedings. – 2001. – Vol. 4401. – P. 267.
- [7] Portman V. Phase-statistical method and device for high precise and high-efficiency angular measurements / V. Portman, B. Peschansky // Precision Engineering. – 2001. – Vol. 25. – P. 309.
- [8] Кирьянов В.П. Экспериментальная оценка класса точности прецизионного углового преобразователя встраиваемого типа / В.П. Кирьянов, А.В. Кирьянов, И.Ф. Клисторин // Датчики и системы. – 2009. – № 1. – С. 11–14.

Кирьянов Валерий Павлович, доктор технических наук, член-корреспондент АИИ РФ, ведущий научный сотрудник лаборатории интегрированных информационных систем управления Института автоматики и электрометрии СО РАН. Основное направление научных исследований – лазерные генераторы изображений, лазерная интерферометрия, мехатроника. Имеет более 130 публикаций. E-mail: kiryanov@iae.nsk.su.

Кирьянов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета, научный сотрудник лаборатории лазерных прецизионных систем Конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН. Основное направление научных исследований – лазерные генераторы изображений, фотоэлектрические угловые преобразователи, мехатроника. Имеет более 40 публикаций. E-mail: alexey@tdisie.nsc.ru.

Лубков Анатолий Александрович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией интегрированных информационных систем управления Института автоматики и электрометрии СО РАН. Основное направление научных исследований – интегрированные информационные системы управления. Имеет более 50 публикаций. E-mail: lubkov@iae.nsk.su.

Чуканов Владимир Викторович, ведущий электроник лаборатории лазерных прецизионных систем Конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН. Основное направление деятельности – электронные системы сбора информации и управления технологическими процессами. Имеет 10 публикаций. E-mail: chukanov@tdisie.nsc.ru.

V.P. Kiryanov, A.V. Kiryanov, A.A. Lubkov, V.V. Chukanov

Small-size structure of angle encoder error curve

It is analyzed the peculiarity of the interaction of the coding raster local defects with the reading head indicated raster by high resolution small-size structure of angle encoder error curve. It is forecasted that the expected angle encoder accuracy increase will be perfect when it is used the algorithm of the used raster error compensation if the dates about raster error will be modified taking into account as the reading head number of encoder as the reading head indicated raster characteristics.

Key words: angle encoders, conversation errors, angle measuring systems, way averaging, phase statistical method.