

Vorschubkraftsensor. Проспект фирмы «Sangwik Coromant». 8. Tool Monitoring System. Multi-channel Tool Monitor Unit. C – 342TMS. Проспект фирмы «Sangwik Coromant». – 1984. 9. Tool Monitoring System. Проспект фирмы «Prometec GmbH». – Aachen, 1985. 10. Tool Monitoring System. IntelliTool. Schnittkraftüberwachung in Werkzeughalter. C – 342TMS. Проспект фирмы «Sangwik Coromant». 11. Stimiman J. Rotating Cutting Force Dynamometr. Проспект фирмы «Kistler Instrumente AG». 12. Kraftsensoren zur Werkzeug und Prozessüberwachung. Проспект фирмы «Prometec GmbH». 13. TMS – PMS: Werkzeug- und Prozessüberwachungssysteme zur Erkennung von: Werkzeugbruch, Werkzeugverschleiss, Maschinenkollisionen. Проспект фирмы «Prometec GmbH».

УДК 621.83.065

И. П. Филонов, Е. Б. Вериго

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ПОЗИЦИОННОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ СБОРОЧНОГО ЦЕНТРА С ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Шаговый электропривод широко используется в автоматизированных сборочных центрах, измерительных машинах, установках для лазерной обработки материалов и др. Линейный шаговый привод является наиболее приспособленным к прямому цифровому управлению. Дополнительным преимуществом шагового электропривода является использование азростатических опор. Такие опоры позволяют проектировать автоматизированные системы без кинематических преобразователей движения, что снижает энергетические потери на трение и повышает надежность системы.

Точность позиционирования и позиционная повторяемость рабочего органа автоматизированного сборочного центра являются основными при организации автоматизированной сборки, поскольку они в значительной степени определяют собираемость сборочных комплектов и тем самым позволяют моделировать неопределенность результата сборочного процесса. Нами были проведены экспериментальные исследования точности позиционирования и позиционной повторяемости транспортирующей координаты Y сборочного центра СБ-001 по сборке роторов шаговых двигателей на базе линейного шагового электропривода.

Точность позиционирования определяется разностью между заданным и средним значением фактического положения рабочей точки манипулятора при повторных выходах в заданную позицию в соответствии с требованиями стандарта ISO/DIS 9283. Основные положения данного стандарта заключаются в следующем:

- измерения должны проводиться при максимальном грузе в схвате манипулятора;
 - измерения должны проводиться с максимальной скоростью перемещения звеньев манипулятора;
 - минимальное число циклов при позиционировании в заданной точке равно 30.
- Точность позиционирования ΔL рабочего органа сборочного центра с поступательными степенями подвижности можно выразить как:

$$\Delta L = \sqrt{(\underline{x} - x_3)^2 + (\underline{y} - y_3)^2 + (\underline{z} - z_3)^2}, \quad (1)$$

где

$$\underline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \underline{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{и} \quad \underline{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i;$$

x_3, y_3 и z_3 – координаты заданной точки в рабочей зоне манипулятора робота;
 x_i, y_i и z_i – координаты фактических точек, полученных при i -м повторе позиционирования;
 $\underline{x}, \underline{y}$ и \underline{z} – среднее значение координат фактической точки позиционирования после n повторений задания.

При оценке точности позиционирования координаты Y сборочного центра выражение (1) принимает вид:

$$\Delta L_Y = \underline{y} - y_3. \quad (2)$$

На основании полученных значений точности позиционирования ΔL_Y в заданных точках можно сделать заключение о точности позиционирования вдоль координаты Y .

Позиционная повторяемость определяет степень отклонения заданных координат рабочей точки манипулятора после n повторов позиционирования в одной и той же точке при одинаковых условиях выхода в заданную точку, то есть при выходе в заданную точку позиционирования по одной и той же траектории. Позиционная повторяемость для данной точки определяется значением параметра r , являющегося радиусом сферы (круга), в которую попадают значения координат рабочей точки манипулятора [1]. Данный параметр вычисляется на основе следующих выражений:

$$r = \underline{D} + 3 S_D, \quad (3)$$

где

$$\underline{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i, \quad D_i = \sqrt{(x_i - \underline{x})^2 + (y_i - \underline{y})^2 + (z_i - \underline{z})^2}, \quad S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \underline{D})^2}{n-1}};$$

r – параметр, определяющий радиус сферы (круга) в которую попадают значения координат рабочей точки манипулятора;

\bar{D} – среднее значение отклонения координаты от среднего значения позиционирования;

D_i – отклонение координаты от среднего значения позиционирования, полученное при i -м повторе позиционирования;

S_D – среднеквадратическое отклонение координаты позиционирования.

На основании полученных значений параметра r , а также соответствующих гистограмм (полигона) распределения значений позиционирования в заданных точках делают заключение о позиционной повторяемости вдоль координаты Y в соответствии со стандартом ISO/DIS 9283.

Для определения точности позиционирования и позиционной повторяемости перемещения вдоль координаты Y экспериментальные исследования проводились на сборочном центре СБ-001, транспортирующие звенья которого представлены на рис. 1. С помощью зубчатого индуктора линейного шагового привода производится съем данных о положении якоря внутри полюсного деления машины с помощью датчика положения – синусной линейки.

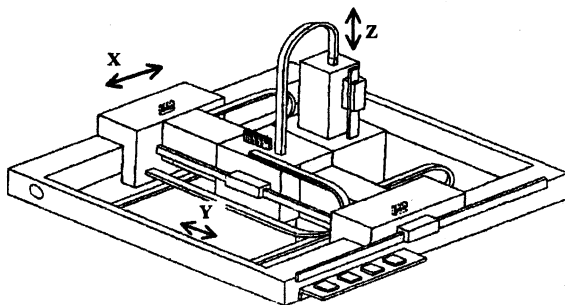


Рис. 1. Транспортирующие звенья сборочного центра.

Линейные шаговые двигатели в сборочном центре выполнены на аэростатических опорах, поэтому трение в опорах практически не влияет на позиционирование привода.

На нижнем уровне управления линейным шаговым электроприводом реализуется принцип прямого цифрового управления координатой электропривода с помощью микропроцессорного контроллера. На среднем уровне управления осуществляется согласованное управление с помощью модуля центрального процессора, общей шины с магистральным параллельным интерфейсом и соответствующим оборудованием, подключенным к модулям ввода-вывода дискретных сигналов отдельных контроллеров координат. На верхнем уровне управления осуществляется

согласованное управление группами электроприводов. В качестве управляющих устройств на этом уровне управления использована персональная ЭВМ, имеющая выход на стандартный последовательный интерфейс RS-232 для сопряжения с модулями центрального процессора, установленными в крейтах каркаса.

В состав программного обеспечения контроллера координаты входит ряд рабочих программ, обеспечивающих управление двигателем по его математической модели с траекторией движения с трапецидальным или треугольным графиком скорости и возможностью независимого задания ускорения на разгон и торможение привода [2].

Экспериментальные измерения точности позиционирования и позиционной повторяемости координаты Y сборочного центра СБ 001 были проведены в точке на расстоянии 147579 мкм от базового положения с 30 повторами выхода в заданную точку с внешней нагрузочной силой F вдоль движения привода, соответственно F=0 Н, F=3 Н, F=13 Н, F=23 Н и F=33 Н, при скорости перемещения 24,5 м/с. Результаты измерений точности позиционирования по формуле (2) и позиционной повторяемости по формуле (3) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Точность позиционирования и позиционная повторяемость транспортирующей координаты Y сборочного центра

	F=0 Н	F=3 Н	F=13 Н	F=23 Н	F=33 Н
ΔL_y , мкм	-0,9	0,9	10,6	20	31,3
γ , мкм	2,3	2,5	2,2	4,2	3,5

По результатам измерений, представленным в табл. 1, на рис. 2 построен график зависимости точности позиционирования ΔL_y (сплошная линия) и позиционной повторяемости γ (штриховая линия) транспортирующей координаты дискретного привода от приложенной нагрузочной силы.

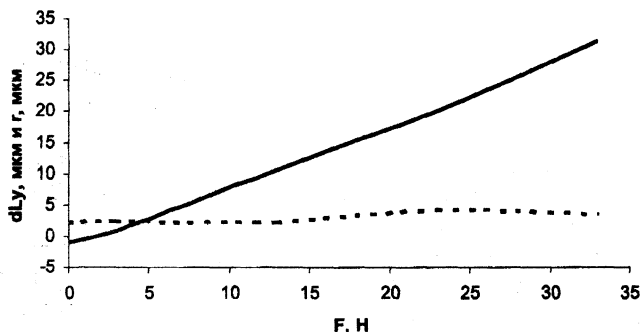


Рис. 2. Зависимость позиционирования и позиционной повторяемости координаты Y от внешней силы F.

Результаты измерений позиционной повторяемости представленные в табл. 1, показывают, что позиционная повторяемость снижается при значительном увеличении нагрузочной силы (при $F=23$ Н и более). Полигон распределения частот K_1 координаты Y после 30 выходов в заданную точку с нагрузочной силой 23 Н представлен на рис. 3.

Аналогично проведенным исследованиям позиционирования транспортирующей координаты Y при постоянной внешней нагрузке были проведены экспериментальные исследования при переменной нагрузке вдоль движения звена. Переменная нагрузка изменялась соответственно от максимального значения 33 Н до минимального 0 Н по косинусоидальному закону и наоборот от минимального до максимального значения с максимумом и минимумом в начальной и конечной точках движения. Анализ точности позиционирования с переменной нагрузочной силой показал, что результаты измерений идентичны в первом случае позиционированию с неизменной минимальной нагрузкой $F=0$ Н, а во втором случае – с максимальной постоянной нагрузкой $F=33$ Н [3]. Это говорит о том, что основное влияние на точность позиционирования линейного дискретного шагового электропривода оказывает электромагнитное взаимодействие зубцовых делений якоря и индуктора и, соответственно, характер электромагнитного взаимодействия между ними.

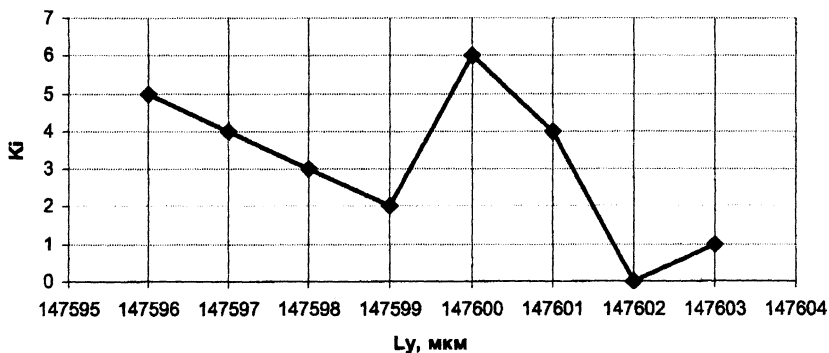


Рис. 3 Полигон распределения частот K_1 координаты Y при силе нагрузки $F=23$ Н.

Очевидно, что приложенная внешняя сила смещает электромагнитное равновесие между зубцовыми делениями якоря и индуктора, что и приводит к снижению точности позиционирования дискретного шагового электропривода. Для устранения этого фактора можно использовать форсировку подачи напряжения на обмотки шагового двигателя, увеличение крутизны изменения электромагнитного поля между зубцами якоря и индуктора, а также

предусмотреть компенсацию возникающих прогнозируемых ошибок позиционирования [2].

По результатам экспериментальных исследований были сделаны выводы о том, что при увеличении внешней нагрузки вдоль перемещения по заданной координате точность позиционирования падает пропорционально внешней силе в соответствии с графиком на рис. 2, при этом позиционная повторяемость координаты снижается при значительном увеличении внешней силы. Приведен полигон позиционирования по координате Y линейного шагового привода сборочного центра при внешней нагрузочной силе равной 23 Н.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dimov H., Dobrinov V. and T. Boiadjiev Experimental Investigation of Pose Repeatability of Manipulating Robots // Problems of Engineering Cybernetics and Robotics. – 1997. – No. 6. – pp. 106-111. 2. Сафонов Ю.М. Электроприводы промышленных роботов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 196 с. 3. Filonov I., Kourtch L. and Y. Veryha Theoretical and Experimental Research of Assembly Center End-effector Path-tracking // Proceedings of 3d Int. Conf. Heavy machinery HM'99. – 1999. – Kraljevo, Yugoslavia. – Pp. 312-315.