

УДК 621.86

Е.П. Михайлов, канд. техн. наук, доц.,
С.С. Корнев, бакалавр,
Одес. нац. политехн. ун-т

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ БЕЗ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ

Е.П. Михайлов, С.С. Корнев. Дослідження точності позиціонування програмного керування маніпулятором без датчиків положення. Розглянуто можливості позиційного управління маніпуляторами без датчиків положення. Розроблено експериментальну установку для дослідження точності позиціонування маніпуляторів на основі робота OWI 535 Robotic Arm Edge Kit і промислового контролера LOGO! фірми Сіменс. Показана можливість позиційного управління шляхом завдання часу переміщення по окремих осях за допомогою функцій часу і розглянуті фактори, що впливають на точність позиціонування. Наведено методику експериментального визначення точності позиціонування при програмному управлінні маніпуляторів без датчика положення. Розроблено алгоритми циклового і позиційного управління маніпулятором при дискретному позиційному керуванні окремими приводами, проаналізовано похибки позиціонування при різних способах управління та визначено залежності похибки позиціонування від кількості циклів при безперервній роботі маніпулятора.

Ключові слова: маніпулятори, програмне управління, експериментальна установка, точність позиціонування.

Е.П. Михайлов, С.С. Корнев. Исследование точности позиционирования программного управления манипулятором без датчиков положения. Рассмотрены возможности позиционного управления манипуляторами без датчиков положения. Разработана экспериментальная установка для исследования точности позиционирования манипуляторов на основе робота OWI 535 Robotic Arm Edge Kit и промышленного контроллера LOGO! фирмы Сименс. Показана возможность позиционного управления путем задания времени перемещения по отдельным осям с помощью функций времени и рассмотрены факторы, влияющие на точность позиционирования. Приведена методика экспериментального определения точности позиционирования при программном управлении манипуляторов без датчика положения. Разработаны алгоритмы циклового и позиционного управления манипулятором при дискретном позиционном управлении отдельными приводами, проанализированы погрешности позиционирования при различных способах управления и определены зависимости погрешности позиционирования от количества циклов при непрерывной работе манипулятора.

Ключевые слова: манипуляторы, программное управление, экспериментальная установка, точность позиционирования.

Е.П. Mikhailov, S.S. Kornev. Investigation of the accuracy of positioning the manipulator control software without position sensors. The possibilities of positional control manipulators without position sensors. The experimental unit for studying the accuracy of positioning the robot manipulators based on 535 OWI Robotic Arm Edge Kit and industrial controller LOGO! Siemens. The possibility of positional control by setting the travel time for individual axes by means of a function of time and examined the factors affecting the accuracy of positioning. The methods of experimental determination of the accuracy of positioning with software control of manipulators without encoder. The algorithms cyclic and positional control of a manipulator with a discrete point control individual drives, analyzed positioning error for different methods of control and positioning errors are defined depending on the number of cycles for continuous operation of the manipulator.

Keywords: manipulators, program management, experimental unit, the accuracy of positioning.

Одной из наиболее распространенных задач, решаемых промышленными роботами, является перемещение деталей и заготовок. В условиях стабильного производства эта задача решается путем программного управления с жестко фиксированной и регулярно повторяемой

последовательностью действий (цикловое управление). При этом часто используются специальные роботы без датчиков положения, а перемещение отдельных звеньев осуществляется от упора до упора (дискретное цикловое управление) [1]. В гибких производственных системах переналадка оборудования, и в частности, промышленных роботов, может производиться достаточно часто. Так как при этом может меняться положение деталей, перемещаемых роботом, то в составе таких систем желательно использовать роботы с позиционным управлением. Позиционное управление реализуется с помощью датчиков положения, которые позволяют отследить положение рабочего органа, или путем использования шаговых двигателей [1]. Однако это приводит к значительному усложнению и удорожанию системы. Поэтому были рассмотрены возможности позиционного управления манипуляторами без датчиков положения с приводами, обеспечивающими постоянную скорость перемещения, например, с двигателями постоянного тока. В этом случае позиционирование можно обеспечить, задавая время перемещения.

Разработана экспериментальная установка для исследования точности позиционирования манипуляторов на основе робота OWI 535 Robotic Arm Edge Kit и программируемого логического контроллера (ПЛК) LOGO! фирмы Сименс (рис. 1).

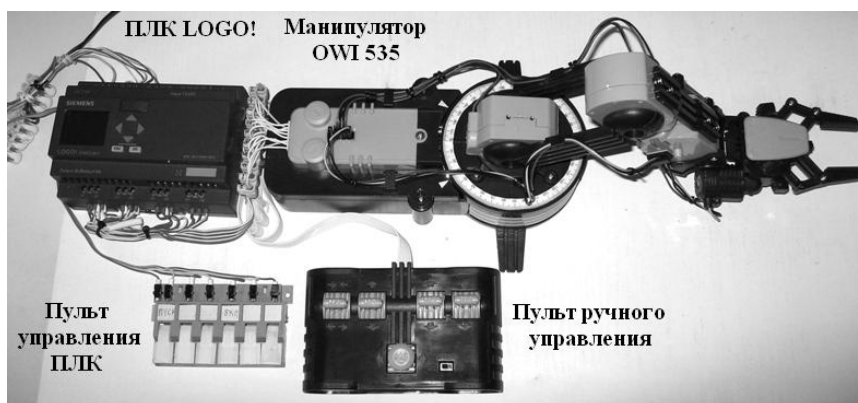


Рис. 1. Установка для исследования точности позиционирования манипуляторов на основе робота OWI 535 и ПЛК LOGO!

В составе команд ПЛК LOGO! имеются функции времени (таймеры), с помощью которых можно установить время задержки включения, время задержки выключения или длительность импульса с точностью 50 мс. Это дает возможность позиционного управления путем задания времени перемещения по отдельным осям с помощью функций времени [2]. На рис. 2 показана программа, которая по сигналу на входе I6 обеспечивает перемещение по одной оси (выход Q2) в течение заданного времени (4 с) с использованием функции интервального реле времени.



Рис. 2. Программа, обеспечивающая перемещение по одной оси с использованием функции интервального реле времени

Скорость вращения двигателей постоянного тока и, соответственно, скорость перемещения отдельных звеньев манипулятора зависит от нагрузки, поэтому она зависит как от самой нагрузки (переносимого груза), так и от направления перемещения (для случая

вертикального перемещения). Так как рассматриваемый манипулятор использует рычажную (антропоморфную) компоновку, то в процессе перемещения нагрузка на двигатель будет меняться, что значительно усложняет расчет положения рабочего органа. Для упрощения определения положения рабочего органа и точности позиционирования при программном управлении манипуляторов без датчика положения рассмотрена возможность экспериментального определения времени перемещения для отдельных узлов манипулятора.

С помощью стрелочных индикаторов положения для измерения вертикальных (рис. 3, а) и горизонтального (рис. 3, б) угловых перемещений с ценой деления 1° и $0,01$ рад определены зависимости перемещения отдельных узлов манипулятора от времени.

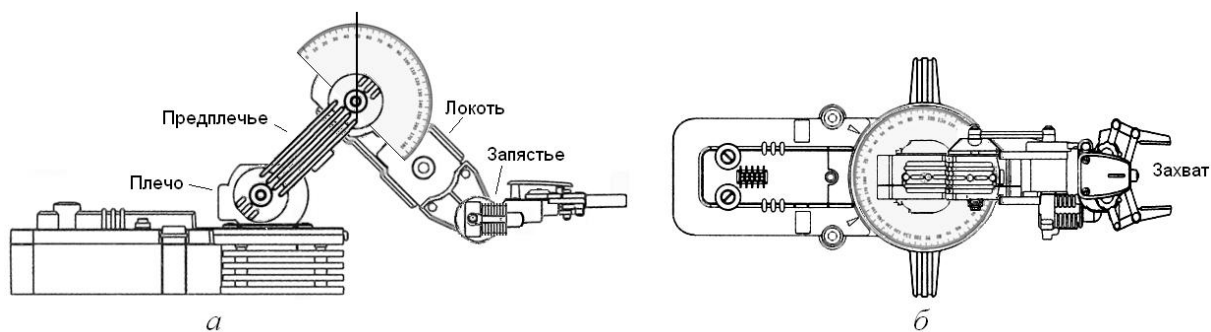


Рис. 3. Стрелочные индикаторы положения для измерения вертикальных (а) и горизонтального (б) угловых перемещений

Для примера рассмотрены зависимости перемещения от времени для узла локтя (рис. 3, а).

В табл. 1 и табл. 2 приведены, соответственно, зависимости угла поворота локтя α_T , и угловой скорости ω_T от времени перемещения T с дискретность $0,5$ с при подъеме и опускании.

Таблица 1

Зависимость угла поворота локтя α_T , и угловой скорости ω_T от времени перемещения T с дискретность $0,5$ с при подъеме

$T, \text{с}$	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\alpha_T, ^\circ$	0,0	7,0	13,5	20,0	27,0	34,0	40,5	47,5	54,0	61,0	67,5
$\alpha_T, \text{рад}$	0,000	0,12	0,24	0,35	0,47	0,59	0,71	0,83	0,94	1,06	1,18
$\omega_T, ^\circ/\text{с}$	0,0	14,0	13,0	13,0	14,0	14,0	13,0	14,0	13,0	14,0	13,0
$\omega_T, \text{рад/с}$	0,000	0,24	0,24	0,22	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22	0,24	0,24

Таблица 2

Зависимость угла поворота локтя α_T , и угловой скорости ω_T от времени перемещения T с дискретность $0,5$ с при опускании

$T, \text{с}$	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\alpha_T, ^\circ$	0,0	10,0	17,5	25,0	32,5	40,0	47,5	54,5	62,0	69,5	77,0
$\omega_T, ^\circ/\text{с}$	0,0	20,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0
$\alpha_T, \text{рад}$	0,000	0,17	0,31	0,44	0,57	0,70	0,83	0,95	1,08	1,21	1,34
$\omega_T, \text{рад/с}$	0,000	0,34	0,28	0,26	0,26	0,26	0,26	0,24	0,26	0,26	0,26

Графические зависимости угла поворота локтя α_T , и угловой скорости ω_T от времени перемещения T с дискретность $0,5$ с при подъеме и опускании приведены на рис. 4.

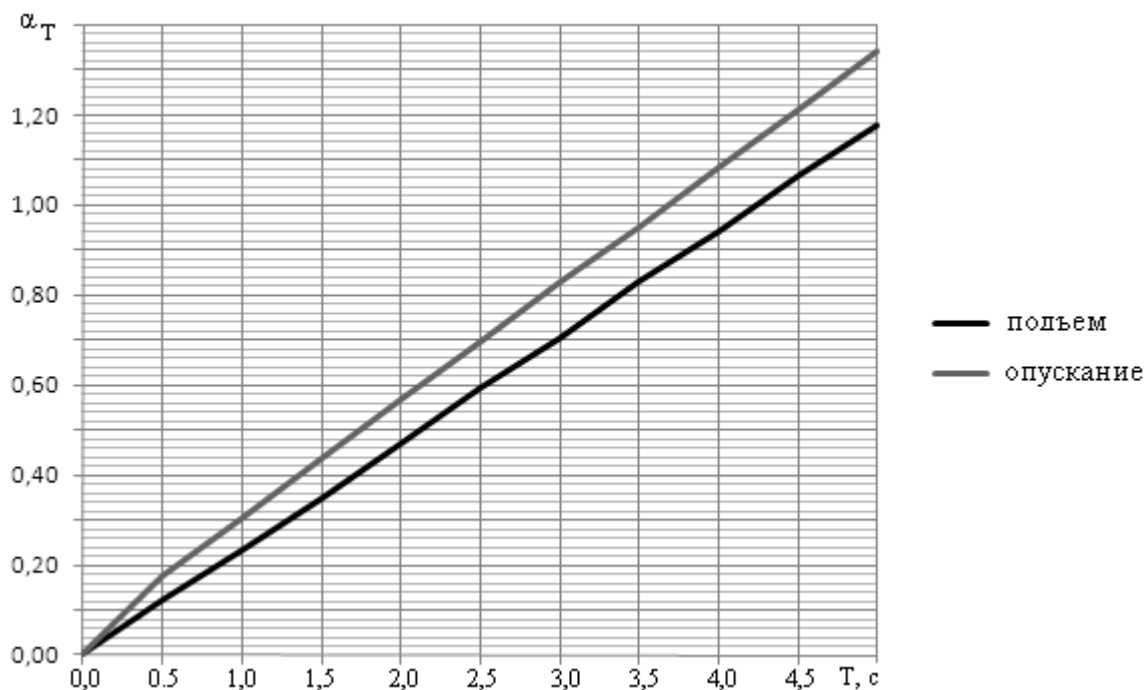


Рис. 4. Графічеська залежність кута повороту локтя α_T від часу переміщення T при підйомі та опусканні

Погрешність позиціонування при известном законі переміщення від часу визначається рядом факторів, в частині, наявністю люфту редуктора, зміною швидкості через зміну температурного режиму, що призводить до зміни струму ротора, зміною живлячого напруги, наприклад, при живленні від акумулятора при роботі в автономному режимі і т.д. Ці погрешності носять випадковий характер і можуть бути визначені шляхом експериментального визначення відхилення реальної та заданої позицій.

В даному випадку виникає систематична погрешність позиціонування, пов'язана з точністю позиціонування, яка визначається дискретністю установки часу. В даному контролері дискретність установки часу становить 0,05 с. Для розглянутого прикладу переміщення локтя ця погрешність в зоні постійної швидкості становить 0,012 рад при підйомі та 0,013 рад при опусканні. При управлінні манипулятором окремі зв'язки в процесі роботи, як правило, переміщуються в обидві сторони. В цьому випадку сумарна погрешність буде визначатися різницею кутового переміщення при переміщенні в різні сторони, наприклад, при підйомі та опусканні.

При цикловому управлінні, коли здійснюється багаторазове повторення переміщень зв'язок манипулятора, ця погрешність буде накопичуватися. Знаючи залежність зміни погрешності позиціонування від числа циклів, можна визначити число циклів, при якому погрешність стане рівною максимально допустимій. Це число циклів визначить періодичність калібрування манипулятора.

Визначена методика експериментального визначення точності позиціонування при програмному управлінні манипуляторів без датчика положення, яка заключається в експериментальному визначенні залежності кутового переміщення необхідних зв'язок в робочій області, починаючи від вихідних точок для кожного переміщення. При переміщенні вантажу ці залежності визначаються для переміщень з вантажем і без вантажу. Дискретність задання часу переміщення визначається зонами, на яких швидкість переміщення можна вважати постійною в межах заданої точності визначення кута повороту. В даному випадку точність вимірювання становила приблизно $0,5^\circ$ або 0,01 рад.

Для определения необходимого времени перемещения по заданному углу перемещения из составленных таблиц выбирается ближайшее значение, а затем добавляется разница, исходя из скорости перемещения на данном участке и недостающего перемещения.

Например, для полученных значений определим время перемещения для подъема и опускания локтя на 45° .

При подъеме ближайшее значение составляет 3,0 с для $40,5^\circ$.

Для перемещения на недостающие $4,5^\circ$ (при скорости перемещения $14^\circ/\text{с}$) необходимо добавить 0,32 с. С учетом дискретности задания времени получим время перемещения 3,3 с.

При этом дополнительное перемещение за 0,3 с равно $4,2^\circ$. Суммарное перемещение равно $44,7^\circ$, а ошибка составит $-0,3^\circ$.

При опускании ближайшее значение составляет 2,5 с для $40,0^\circ$.

Для перемещения на недостающие 5° (при скорости перемещения $15^\circ/\text{с}$) необходимо добавить 0,33 с. С учетом дискретности задания времени получим время перемещения 2,8 с.

При этом дополнительное перемещение за 0,3 с равно $4,5^\circ$. Суммарное перемещение равно $44,5^\circ$, а ошибка составит $-0,5^\circ$.

При последовательности операций подъема и опускания локтя ошибка позиционирования составит 0,2°.

Исходя из допустимой точности позиционирования, можно определить число циклов, после которого необходимо провести калибровку манипулятора (установку звеньев в исходное состояние). Так при точности позиционирования не хуже 4° калибровку нужно проводить каждые 20 циклов.

Для выполнения последовательности перемещений может использоваться программа, приведенная на рис. 5. Здесь по сигналу "Пуск", поступающему на вход I6, формируется импульс, длительность которого определяет первое перемещение (исполнительное устройство на выходе Q2). По отрицательному фронту этого импульса запускается задержка 1 с для погашения инерции. Затем запускается второе перемещение (исполнительное устройство на выходе Q6). При необходимости аналогично выполняются последующие перемещения.



Рис. 5. Программа для выполнения последовательности перемещений

Таким образом, показана возможность циклового и позиционного управления манипулятором без датчиков положения при дискретном позиционном управлении отдельными приводами путем задания времени перемещения. Это дает возможность создать достаточно

простые перепрограммируемые роботы с цикловым управлением, однако требуется периодическая калибровка манипулятора при непрерывной работе, что может привести к уменьшению производительности робототехнического комплекса.

Литература

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 416 с.
2. Михайлов, Е.П. Принципы построения систем управления движением на основе программируемых логических контроллеров / Е.П. Михайлов, С.Г. Антошук // *Электромашинобудування та електрообладнання*. — 2009. — Вип. 72. — С. 42 — 45.

References

1. Yurevich, E.I. *Osnovy robototekhniki [Fundamentals of robotics]* / E.I. Yurevich. — 2nd ed., Rev. and add. — St.-Petersburg, 2005. — 416 p.
2. Mikhailov, E.P. *Principy postroeniya sistem upravleniya dvizheniem na osnove programmiruemyh logicheskikh kontrollerov [Design principles of traffic control systems based on programmable logic controllers]* / E.P. Mikhailov, S.G. Antoshchuk // *Elektromashynobuduvannya ta elektroobladnannya [Electrical machinery and electrical equipment]*. — 2009. — Iss. 72. — pp. 42 — 45.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Одес. нац. политехн. ун-та Шапорин Р.О.

Поступила в редакцию 17 декабря 2012 г.