

Системи приводів. Технологія і обладнання машинобудівного виробництва. Мехатроніка

УДК 621.05

Г.А. Крутиков, д-р техн. наук,
М.Г. Стрижак, канд. техн. наук
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

ВИБОР СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОПОЗИЦИОННЫМ ПНЕВМОПРИВОДОМ С РЕЖИМОМ САМООБУЧЕНИЯ

CHOICE MANAGEMENT STRATEGY MULTIPosition PNEUMATIC DRIVE WITH THE REGIME OF SELF-STUDY

При работе пневмопривода в системе позиционного управления требуется высокое быстродействие, точность позиционирования и возможность оперативной перенастройки точек позиционирования. Традиционно, для решения такой задачи используется электропневматический (или электрогидравлический) следящий привод.

Однако, как известно, при использовании этих систем требования высокой точности и высокого быстродействия являются взаимоисключающими, и, чтобы удовлетворить им, необходим синтез корректирующих РС-цепей. К тому же такие системы довольно дорогие и обладают избыточными функциональными возможностями, которые в полной мере раскрываются только в системах контурного управления.

Поэтому, актуальным является поиск других путей создания многопозиционных пневмоприводов, основанных на использовании дешевой стандартной пневмоаппаратуры и программируемых контроллеров, способных кроме обеспечения заданной точности и быстродействия работать в режиме свободного программирования.

В работе предложена структура пневмопривода с рациональной программой управления пневмораспределителями, которая дает возможность эффективно реализовать стратегию управления многопозиционным пневмоприводом с режимом самообучения, что позволяет решить задачу оптимизации процесса позиционирования рабочего органа пневмопривода как по критерию точности так и быстродействия. Изложен эффективный и достаточно простой механизм самообучения, позволяющий на базе стандартной релейной пневмоаппаратуры осуществлять высокоточное позиционирование рабочего органа пневмопривода.

Ключевые слова: многопозиционный пневмопривод, точность позиционирования, функция переключения.

Вступлення

При работе пневмопривода в системе позиционного управления требуется высокое быстродействие, точность позиционирования и возможность оперативной перенастройки точек позиционирования. Традиционно для решения такой задачи используется электропневматический (или электрогидравлический) следящий привод.

Однако, как известно, при использовании этих систем требования высокой точности и высокого быстродействия являются взаимоисключающими, и, чтобы удовлетворить им, необходим синтез корректирующих РС-цепей [1, 6]. К тому же такие системы довольно дорогие и обладают избыточными функциональными возможностями, которые в полной мере раскрываются только в системах контурного управления. Поэтому, актуальным является поиск других путей создания многопозиционных пневмоприводов, основанных на использовании дешевой

стандартной пневмоаппаратуры и программируемых контроллеров, способных кроме обеспечения заданной точности и быстродействия работать в режиме свободного программирования.

Цель работы — разработка стратегии управления, алгоритмов управления, а также наиболее рациональной схемы для высокоточного, свободнопрограммируемого позиционирования рабочего органа пневмопривода.

Результаты исследований

В условиях позиционного управления наиболее перспективным представляется использование пневмоприводов с дискретным управлением, в котором высокое быстродействие достигается за счёт того, что большую часть расстояния между координатами позиционирования пневмопривода проходит, оставаясь разомкнутым, без использования дросселирующих элементов в питающем и выхлопном трактах. Такие пневмоприводы, как и

классические следящие системы, должны быть снабжены датчиком положения и иметь контур обратной связи, но вместо аналогового сервоклапана, реагирующего на величину и знак рассогласования между входным сигналом и положением рабочего органа (РО), они имеют дискретный пневмораспределитель с ярко выраженной релейной характеристикой и реагируют только на знак функции рассогласования, причём последняя в случае отображения её в фазовой плоскости будет считаться линией переключения [4, 5].

Многопозиционный пневмопривод, построенный на таких принципах, является более эффективным в системах позиционного управления и значительно более дешевым, чем электропневматические следящие системы. Наиболее рациональным для подобного пневмопривода представляется 3-х этапный режим позиционирования, при котором первые два этапа: разгон и радикальное ("грубое") торможение вплоть до первой остановки рабочего органа осуществляются при разомкнутом пневмоприводе (траектория 0-1-2 на рисунке 1), а третий этап представляет собой отслеживание линии переключения, когда один из распределителей (реверсивный) переключается в зависимости от знака функции рассогласования (траектория 2-3-). Причём под рассогласованием здесь понимается более сложная функция координаты рабочего органа и его скорости, т. е. некоторая граничная линия в фазовой плоскости и чаще всего это наклонная линия, проходящая через точку позиционирования (рисунок 1):

$$U = x_z - x - k_v \cdot V \quad (1)$$

где U — функция переключения, x — текущая координата РО, V — скорость рабочего органа, k_v — коэффициент усиления обратной связи по скорости.

Подобный режим позиционирования позволяет реализовать стратегию управления, основанную на самообучении (рисунок 1), суть которой заключается в том, что в режиме тестирования новая координата грубого торможения x_T^i находится в зависимости от разности $x_v^{i-1} - x_z$, определённой в результате предыдущего опыта:

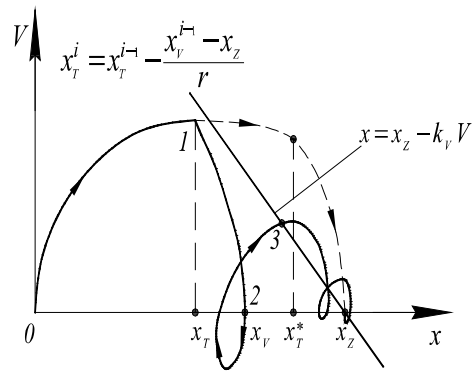


Рисунок 1 — Процесс позиционирования в фазовой плоскости

$$x_T^i = x_T^{i-1} - \frac{x_v^{i-1} - x_z}{r}, \quad (2)$$

где x_T^{i-1} — координата "грубого" торможения, при предыдущем опыте, x_v^{i-1} — координата первой остановки рабочего органа при предыдущем опыте, r — коэффициент, который можно выбирать в пределах от 1 до 2.

Такая программа самообучения ведёт в конечном итоге к исключению третьего этапа позиционирования, т. е. достижению оптимального режима позиционирования как по точности позиционирования, так и по быстродействию (пунктирная траектория на рисунке 1). Это произойдёт, когда по завершению очередного этапа "грубого" торможения:

$$|x_z - x_v^i| \leq \varepsilon, \quad (3)$$

где ε — заданная точность позиционирования.

Найденная при подобном тестировании оптимальная координата "грубого" торможения запоминается. Переход к третьему этапу позиционирования в эксплуатационном режиме возможен лишь при изменении условий функционирования пневмопривода настолько, что координата позиционирования выйдет за пределы заданной точности.

Первая попытка создания свободно программируемого пневмопривода с режимом самообучения была реализована на пневмосхеме с дроссельным торможением с использованием двухэтапного режима позиционирования

Таблица 1 — Варианты исходного состояния пневмопривода при движении вправо

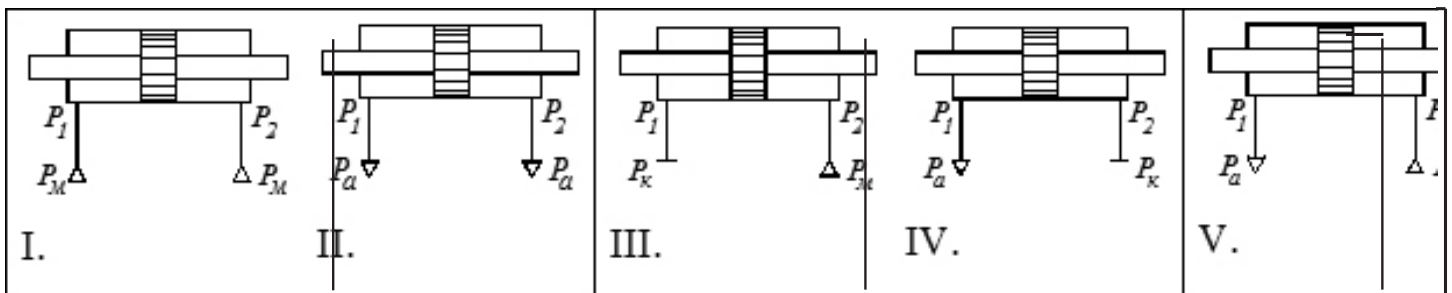


Таблица 2 — Варианты “грубого” торможения

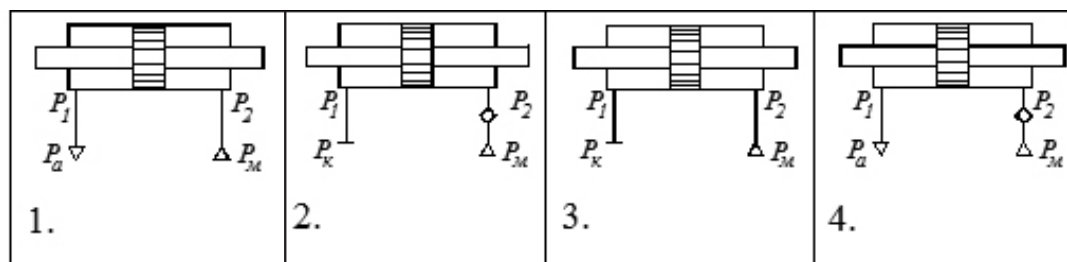
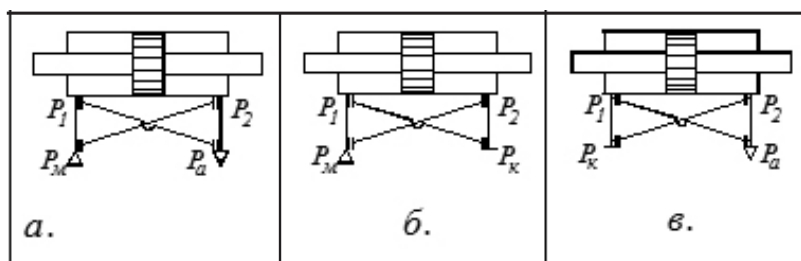


Таблица 3 — Варианты коммутаций при отслеживании линии переключения



и могла эффективно работать лишь при очень малых инерционных нагрузках [2]. К тому же достаточно упрощённый способ формирования условия переключения режимов при самообучении не давал возможности одновременно оптимизировать переходный процесс и по точности позиционирования и по быстродействию.

Предложено решать задачу трёхэтапного процесса позиционирования, опираясь на схемы пневмопривода с торможением (управлением) путём изменения структуры коммуникационных связей, в которых исключается использование каких-либо дополнительных дросселирующих элементов [3].

Все возможные коммутационные связи в исходном состоянии, при радикальном (“грубом”) торможении и при отслеживании линии переключения сведены в таблицы 1, 2 и 3.

Для режима разгона рабочего органа оставим только одну коммутационную ситуацию, когда рабочая полость пневмопривода соединена с магистралью, а выхлопная полость — с атмосферой. Для описания коммутационных ситуаций в каждой фазе движения принят следующий порядок: вариант коммутации полостей пневмопривода при исходном состоянии (фиксации) обозначен римской цифрой (таблица 1), вариант коммутации полостей пневмопривода при “грубом” (радикальном) торможении обозначен арабскими цифрами (таблица 2), а вариант коммутации при отслеживании линии переключения обозначается буквами (таблица 3).

Универсальная пневматическая схема, реализующая все необходимые коммутационные ситуации для всех фаз движения в соответствии с таблицами 1, 2, 3 показана на рисунке 2. Здесь ПК — программируемый контроллер, ДП — датчик положения, БП1 — блок питания интерфейсной магистрали, БП2 — блок

питания свободно-компоуемых модулей контроллера, МП — микропроцессорный модуль, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, МВ — модуль вывода дискретных сигналов, ИМО — интерфейсная магистраль, Ф — механический фиксатор, F, R, T1, T2, T3 — дискретные электрические сигналы управления пневмораспределителей.

При наличии пятилинейного трехпозиционного пневмораспределителя (фирма FESTO, SMC) удастся сократить число пневмораспределителей (рисунок 3).

Пневматическая часть схемы управления (рисунок 3) имеет три уровня давления (p_m — давление на выходе редукционного клапана КР1, близкое к магистральному; p_k — давление, настраиваемое с помощью редукционного клапана КР2; p_a — атмосферное давление).

Распределитель Р1 обеспечивает отслеживание линии переключения. Распределители Р2 и Р3 обеспечивают всю необходимую гамму коммутационных ситуаций для каждой из трех фаз движения, а также в фазе фиксации.

При отслеживании линии переключения для повышения устойчивости этого процесса желательно выбирать давление p_k в варианте б (таблица 3) близкое к магистральному p_m , а в варианте в — близкое к атмосферному давлению p_a .

Все алгоритмы управления, реализуемые с помощью этого пневматического модуля и представляющие практический интерес, представлены в таблице 4, причем нумерация схем соответствует порядку, изложенному в таблицах 1, 2 и 3.

Наиболее перспективными алгоритмами управления из приведенных в таблице 4, представляются I.2.б, I.3.б, I.2.в, IV.2.в. Причём последний, при определённых условиях эксплуатации, рассматривается как энергосберегающий. Однако, как показали исследования, проведенные

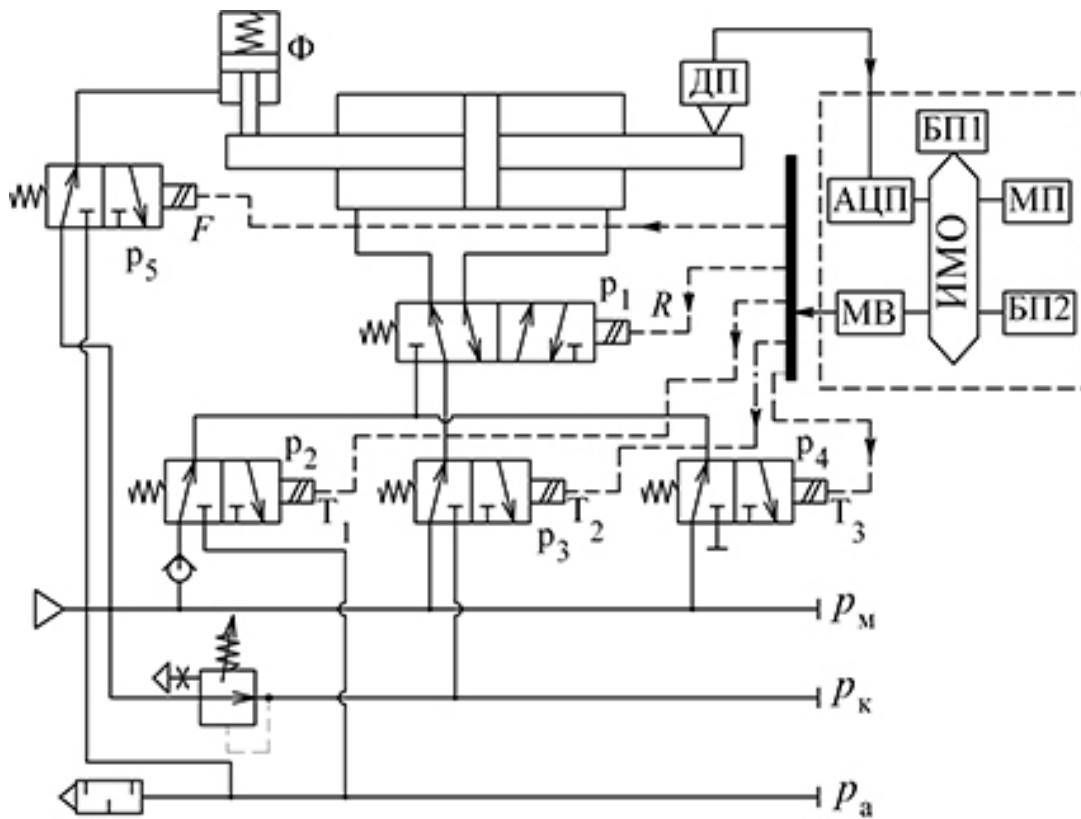


Рисунок 2 — Универсальный пневматический модуль, построенный с использованием серийно-выпускаемой аппаратуры

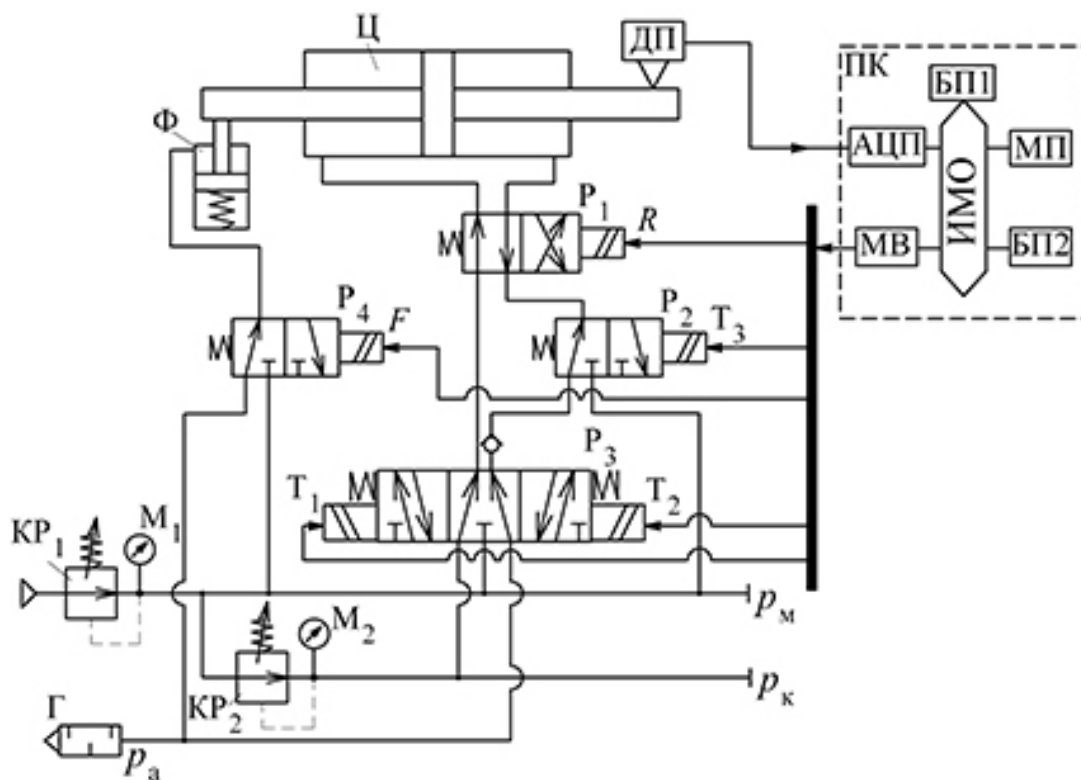


Рисунок 3 — Универсальный пневматический модуль для трехэтапного позиционирования на базе 5-линейного 3-позиционного распределителя

Таблиця 4 — Програма управління пневмораспределителями при різних способах позиціонування (схема на рисунке 3).

Номер схемы	Фазы дви- жения	T_1	T_2	T_3	R	Номер схемы	Фазы дви- жения	T_1	T_2	T_3	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I.1.a движение вправо	разгон	1	0	0	0	III.3.б движение вправо	разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	1	0	0	1		грубое тормо- жение	0	1	0	0
	отслеж. линии пере- ключе- ния	1	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$		отслеж. линии пере- ключе- ния	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	1	0		фикса- ция	0	1	1	0
I.2.б движение вправо	разгон	1	0	0	0	IV.2.в движение вправо	разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	0	1	0	0		грубое тормо- жение	0	1	0	0
	отслеж. линии пере- ключе- ния	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$		отслеж. линии пере- ключе- ния	0	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	1	0		фикса- ция	0	0	0	0
	разгон	1	0	0	0		Разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	0	1	1	0		грубое тормо- жение	0	1	1	0
I.3.б движение вправо	отслеж. линии пере- ключе- ния	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$	IV.3.в движение вправо	отслеж. линии пере- ключе- ния	0	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	0	0		фикса- ция	0	0	0	0
I.2.в движение вправо	разгон	1	0	0	0	V.1.a движение вправо	разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	0	1	0	0		грубое тормо- жение	1	0	0	1
	отслеж. линии пере- ключе- ния	0	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$		отслеж. линии пере- ключе- ния	1	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	1	0		фикса- ция	1	0	0	1

на ЭВМ, наиболее рациональными при самых разнообразных условиях эксплуатации оказались алгоритмы I.3.б и I.2.б. Проигрывая схемам IV.2.в и I.2.в в энергетических характеристиках, они показали исключительную “всеядность” при варьировании массовой нагрузкой в широких пределах, при разных комбинациях координат позиционирования, оказались наименее чувствительными к задержкам во времени срабатывания пневмораспределителя P1 и фиксатора Ф, а также наиболее пригодными при работе в условиях нагрузки типа “сухое трение”.

На рисунке 4 представлен расчётный переходный процесс, полученный на ЭВМ, при работе пневмопривода со схемой на рисунке 3 при алгоритме управления I.3.б.

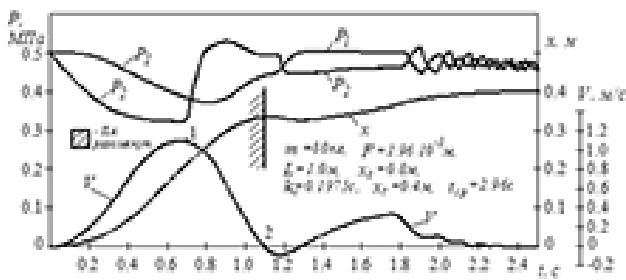


Рисунок 4 — Переходный процесс для пневмопривода с алгоритмом I.3.б при первоначальном процессе позиционирования

Переходный процесс на рисунке 4 соответствует начальному варианту тестирования, когда координата

торможения выбирается равной: $x_T = \frac{(x_0 - x_z)}{2}$, где x_0 — начальная координата позиционирования.

На рисунке 5 показан переходный процесс при первом тестировании, когда координата позиционирования

выбирается равной $x_T = \frac{(x_0 - x_z)}{2}$, где x_0 — начальная

координата позиционирования. Абсолютная устойчивость процесса отработки линии переключения в третьей фазе движения рабочего органа, который начинается после его первой остановки, позволяет достаточно эффективно произвести тестирование и определить оптимальную координату “грубого” торможения.

Как видно, в результате пяти опытов контроллер автоматически определяет координату радикального торможения x_T^* , добиваясь оптимизации переходного процесса как по быстродействию, так и по точности.

На рисунке 6 показан процесс позиционирования пневмопривода с алгоритмом управления IV.2.в, который следует отнести к энергосберегающим, т.к. при отслеживании линии переключения используется низкий уровень давления. Однако существенными недо-

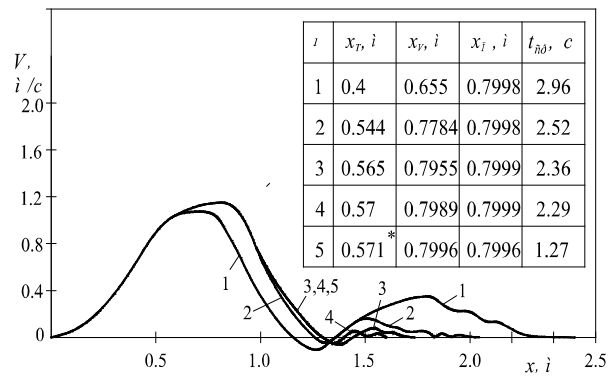


Рисунок 5 — Процесс самообучения пневмопривода при трёхэтапном режиме позиционирования

статками являются большое отрицательное ускорение при торможении и большой временной отрезок между началом грубого торможения и выходом на режим отслеживания линии переключения. Это затрудняет отыскание оптимальной координаты торможения при тестировании и реализацию заданной точности позиционирования при наличии временной задержки в срабатывании фиксатора.

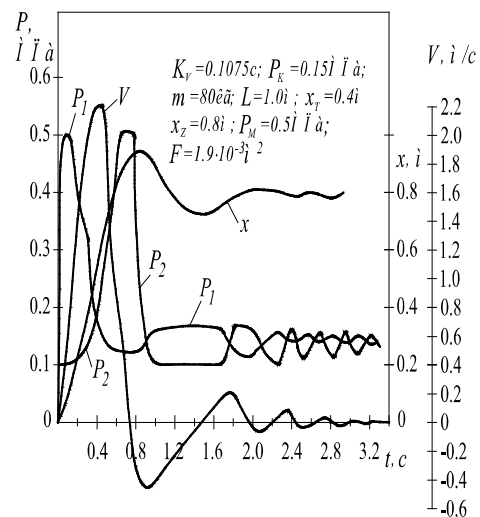


Рисунок 6 — Процесс позиционирования пневмопривода с алгоритмом IV.2.в

Блок-схема программы микропроцессорного управления пневмопривода с трёхэтапным режимом позиционирования представлен на рисунке 7. При реализации первого этапа производится выбор направления движения (условный оператор 1 на блок — схеме), разгон влево или вправо (операторы 6, 17). При достижении координаты торможения, контролируемой оператором 5 или 16, происходит переключение на второй режим — режим радикального или “грубого” торможения (оператор 9). При снижении скорости рабочего органа до некоторой малой величины (условная нулевая скорость) с помощью условных операторов 7 и 14 и оператора 15 происходит запоминание координаты остановки рабочего органа (x_v^{i+1}).

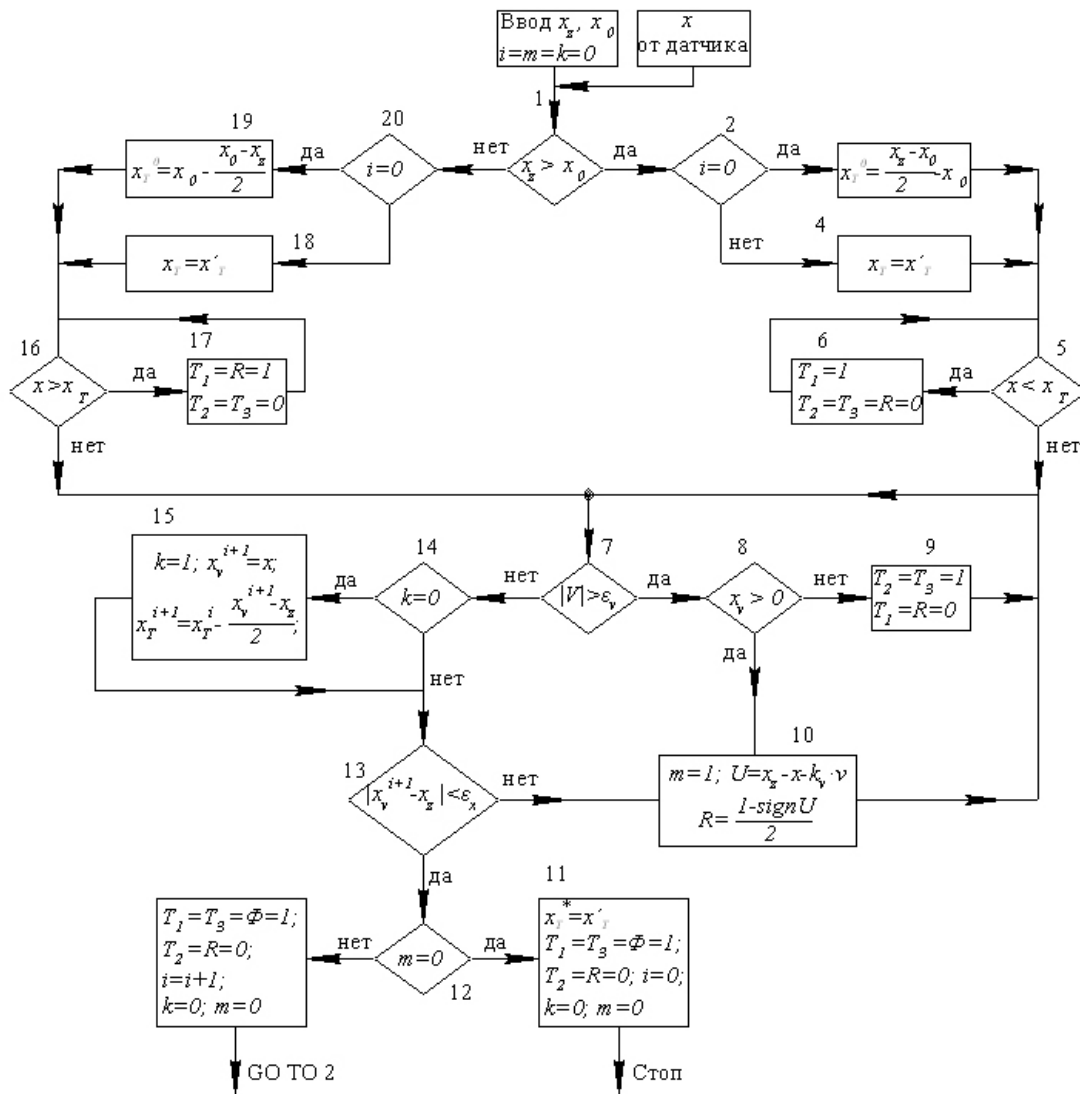


Рисунок 7 — Блок-схема програми управління пневмопривода з трьохетапним процесом позиціонування і самообученням для варіанта 1.3.б

Если это была первая остановка после торможения $k=0$, то с помощью оператора 15 произойдёт вычисление ошибки $x_v^{i+1} - x_z$ и корректировка координаты торможения x_r . С помощью условного оператора 13 произойдёт сравнение

ошибки остановки рабочего органа ($x_v^{i+1} - x_z$) с заданной точностью позиционирования ε . Если ошибка больше заданной, то начинается третий этап позиционирования, при котором вычисляется функция переключения U и производится управление реверсным распределителем PI (сигнал R) в зависимости от знака функции U (оператор 10). Таким образом, происходит отслеживание линии переключения и компенсация вносимых в систему первичных ошибок.

Оптимальная координата позиционирования будет определена, если после $i+1$ -го опыта в результате фиксации в блоке 15 координаты первой остановки x_v^{i+1} будут положительно пройдены тесты 12 и 13.

Выводы

Предложенная структура пневмопривода с рациональной программой управления распределителями (1.3.б) даёт возможность эффективно реализовать стратегию управления многопозиционным пневмоприводом с режимом самообучения, которая решает задачу оптимизации процесса позиционирования как по точности, так и по быстродействию. Выделены также алгоритмы управления (IV.2.в и I.2.в), которые обеспечивают режим энергосбережения при работе подобных пневмоприводов, однако с определенными недостатками и их можно рекомендовать только при работе пневмоприводов в достаточно узких рамках условий функционирования (большие инерционные нагрузки и достаточно большие расстояния между координатами позиционирования). Экономически целесообразное сочетание дешёвой стандартной пневмоаппаратуры с доступными в настоящее время программируемыми средствами управления делает такие способы дискретного управления пневмоприводов всё более востребованными.

Литература

1. Гидравлические и пневматические приводы промышленных роботов и автоматических манипуляторов / Под ред. Г.В.Крейнина. — М.: Машиностроение, 1993. — 304 с.
2. Крейнин, Г.В. Исследование позиционного пневматического привода / Г.В. Крейнин, К.С. Солнцева, В. Франк, А. Ульбрихт // М.: Машиноведение, 1989. — №4 — С. 74—79.
3. Крутиков, Г.А. К вопросу выбора способа торможения пневмоприводов с большими присоединёнными массами / Г.А. Крутиков, А.И. Кудрявцев, Л.А. Пекарь // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. — М.: Машиностроение, 1987. — Вып. 13. — С. 51—58.
4. Крутиков, Г.А. Выбор оптимального управления релейным многопозиционным пневмоприводом / Г.А. Крутиков, Б.А. Вурье // Автоматизация и современные технологии. — 1995. — №9. — С. 5—10.
5. Техническая кибернетика. Теория автоматического управления. Книга 1 / Под ред. В.В. Солодовникова. — М.: Машиностроение, 1969. — 768 с.
6. Электрогидравлические следящие системы / Под ред. В.А. Хохлова. — М.: Машиностроение, 1971. — 432 с.

References

1. Gidravlicheskie i pnevmaticheskie privody promyshlennukh robotov i avtomaticheskikh manipulatorov / Pod. red. G.V. Kreynina. — М.: Mashinostroenie, 1993. — 304 s.
2. Kreynin, G.V. Issledovanie pozitsionnogo pnevmaticheskogo privoda / G.V. Kreynin, K.S. Solnceva, V. Frank, A. Ulbricht // М.: Mashinovedenie, 1989. — №4 — S. 74—79.
3. Krutikov G.A. K voprosu vybora sposoba tormogeniya pnevmoprivodov s bolshymi prisoyedinennymi massami / G.A. Krutikov, A.I. Kudravchev, L.A. Pekar // Pnevmatika i gidravlika. Privodu i sistemy upravleniya. — М.: Mashinostroenie, 1987. — №. 13. — S. 51—58.
4. Krutikov G.A. Vybora optimalnogo upravleniya releinym mnogopozitsionnym pnevmoprivodom / G.A. Krutikov, B.A. Vurie // Avtomatizatsia i sovremennye tekhnologii. — М.: Mashinostroenie, 1995. — №9. — P. 5—10.
5. Technicheskaya kibernetika. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Kniga 1 / Pod. red. V.V. Solodovnikova. — М.: Mashinovedenie, 1969. — 768 s.
6. Elektrogidravlicheskie sledashchie sistemy / Pod. red. V.A. Khokhlova. — М.: Mashinostroenie, 1971. — 432 s.

Надійшла 7.06.2016 року

УДК 621.05

Вибір стратегії керування багатопозиційним пневмоприводом з режимом самонавчання

Г.А. Крутиков, М.Г. Стрижак

При роботі пневмопривода в системі позиційного керування потрібна висока швидкість, точність позиціонування і можливість оперативного переналаштування точок позиціонування. Традиційно для вирішення такого завдання використовується електропневматичний (або електрогидравлічний) слідуєчий привод.

Однак, як відомо, при використанні таких систем вимоги високої точності і високої швидкодії є взаємовиключними, і щоб задовольнити їм, необхідний синтез коригувальних РС-ланцюгів. До того ж такі системи досить вартісні і мають надлишкові функціональні можливості, які повною мірою розкриваються тільки в системах контурного керування.

Тому актуальним є пошук інших шляхів створення багатопозиційних пневмоприводів, які ґрунтуються на використанні дешевої стандартної пневмоапаратури і програмованих контролерів, здатних крім забезпечення заданої точності і швидкодії працювати в режимі вільного програмування.

У роботі запропоновано структуру пневмопривода з раціональною програмою керування пневморозподільником, яка дає можливість ефективно реалізувати стратегію керування багатопозиційним пневмоприводом з режимом самонавчання, що дозволяє вирішити задачу оптимізації процесу позиціонування робочого органа пневмопривода як за критерієм точності, так і швидкодії. Викладено ефективний і досить простий механізм самонавчання, який дозволяє на базі стандартної релейної пневмоапаратури здійснювати високоточне позиціонування робочого органу пневмопривода.

Ключові слова: багатопозиційний пневмопривод, точність позиціонування, функція перемикання.

UDC 621.05

Choice management strategy multiposition pneumatic drive with the regime of self-study

G. Krutikov, M. Stryzhak

When the actuator in position control system requires high performance, positioning accuracy and the ability to reconfigure the operational positioning points. Traditionally, used electro (or electro-hydraulic) servo drive for such a task.

However, as is known, in these systems, high precision and high performance requirements are mutually exclusive, and in order to satisfy it, the synthesis requires corrective RC-circuits. In addition, such systems are quite expensive and have redundant functionality, which are fully disclosed only in contouring control systems.

So urgent is the search for other ways to create a multi-position pneumatic actuators, based on cheap standard pneumatic equipment, and programmable controllers capable apart from providing a given accuracy and speed of work in the free programming mode.

The paper presents the structure of the pneumatic valves with a rational management of the program, which makes it possible to effectively implement the multi-position pneumatic control strategy against the regime of self that allows us to solve the problem of optimizing the positioning process of the working body of the pneumatic actuator as a criterion for accuracy and speed. The paper presents an effective and relatively simple mechanism of self-learning, which allows on the basis of a standard relay pneumatic equipment to carry out high-precision positioning of the working body of the actuator.

Key words: multi-position actuator, positioning accuracy, the switching function.