

УДК 621.658.012.531

М.П. Карпов, доцент, канд. техн. наук,

М.М. Майстришин, инженер

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ КОНЕЧНЫХ ЗВЕНЬЕВ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ

Рассмотрены вопросы возможности создания высокоточных пневматических позиционеров с разомкнутой по перемещению системой управления.

При проектировании и создании средств робототехники с пневматическими приводами и обеспечение управления ими, одним из принципиальных и проблематичных вопросов является обеспечение стабильности и точности позиционирования его исполнительных звеньев.

Приведенные в литературных источниках зарубежные многопозиционные устройства без механического ограничения, обеспечивающие точность позиционирования по перемещению порядка 1 %...1,5 % выполнены, в основном, с обратной связью по перемещению, которая требует использования соответствующей непростой и не дешевой аппаратуры, что соответственно сказывается на надежности и стоимости позиционеров. Поэтому создание более простого недорогого и надежного способа позиционирования, обеспечивающего высокую точность позиционирования, является весьма актуальной и своевременной задачей.

В качестве исполнительных звеньев перемещения часто используются пневматические цилиндры, управление которыми осуществляется пневматическими и электропневматическими устройствами. Чаще всего здесь используются пневмоустройства специального назначения. К ним относятся бесштоковые цилиндры, позиционные цилиндры, пневмокаретки, цилиндры с полым штоком, с тормозом и пневмозахваты. Бесштоковые пневмоцилиндры используются при необходимости больших ходов, особенно в устройствах с ограниченными габаритами, так как по сравнению с обычными пневмоцилиндрами они имеют выигрыш в габаритном размере по длине примерно вдвое при тех же рабочих ходах.

Существует две разновидности подобных цилиндров: с магнитной и механической связью между поршнем и кареткой, длина хода таких цилиндров, может достигать трех метров.

Основной задачей при создании устройств позиционирования, работающих на перечисленных выше элементах, является обеспечение высокой точности позиционирования с использованием наиболее рациональной и относительно недорогой системы управления.

Работа в этом направлении широко представлена такими фирмами как Omal, Kinetrol, Yamataki, Yokogawa, SMC, Omron, Samson, METSO AUTOMATION, FESTO и другими. Ниже приведены некоторые существующие позиционеры и их характеристики [1 – 3]:

1. Электропневматический позиционер IP6000/IP6100 (фирма SMC)

Электропневматический позиционер линейного и поворотного типа с обратной связью по положению IP6000/IP6100. Предназначен для пропорционального управления перемещением исполнительных механизмов, приводами запорной аппаратуры.

Технические характеристики электропневматических позиционеров IP6000/IP6100:

- 1) среда: сжатый воздух, отфильтрованный 5 мкм, содержание масла не более 1 мг/м³;
- 2) диапазон рабочих давлений: 0,14...0,7 МПа;
- 3) рабочий ход: линейный тип: 10...85 мм, поворотный тип: 60°...100°;
- 4) точность (от % полного диапазона): линейный тип $\pm 0,1$, поворотный $\pm 0,5$;
- 5) линейность (от % полного диапазона): линейный тип: ± 1 , поворотный тип: ± 2 ;
- 6) гистерезис (от % полного диапазона): линейный тип: $\pm 0,75$, поворотный тип: ± 1 ;
- 7) воспроизводимость (от % полного диапазона): $\pm 0,5$.

2. Позиционеры электропневматические ЭПП, ЭПП – Ex (Саранский приборостроительный завод)

Позиционеры электропневматические ЭПП, ЭПП-Ex предназначены для уменьшения рассогласования хода и повышения быстродействия поршневых возвратно-поступательных и поворотных пневматических исполнительных механизмов одно- и двустороннего действия и мембранных пневматических исполнительных механизмов путем введения жесткой обратной связи по положению выходного звена исполнительного механизма.

Позиционеры электропневматические возвратно-поступательным движением выходного вала исполнительного механизма обеспечивают условный ход исполнительного механизма, соответствующий ряду 10; 16; 25; 40; 60; 100 мм. Позиционеры для поворотных исполнительных механизмов имеют угол поворота выходного вала 90°. Класс точности электропневмопозиционеров 1,0. Предел допускаемой основной погрешности, выраженной в процентах от величины условного хода, не должен превышать $\pm 1,0$.

Общие недостатки рассмотренных позиционеров: 1) малый рабочий ход; 2) относительно невысокая точность позиционирования; 3) высокая стоимость.

Другие позиционеры имеют примерно такие же технические характеристики, различаются лишь исполнением, степенями взрывобезопасности и областями применения.

Целью настоящей статьи является исследования условий, обеспечивающих высокую точность позиционирования исполнительных звеньев некоторого ряда линейных пневмоприводов без обратной связи по перемещению.

В основу первоначальных рассуждений положен тезис о том, что сжатый воздух, как рабочее тело, хоть и обладает высокой степенью сжимаемости, при сохранении стабильных начальных условий, а именно, давления сжатого воздуха на входе в привод, стабильном расходе и температуре, неизменных размеров воздушного тракта, должен совершать одинаковую работу при повторных перемещениях. Следовательно, сохранять хорошую повторяемость результатов перемещения исполнительного конечного звена.

Для поставленной задачи вопрос, очевидно, заключается в том, каким образом и при помощи какой аппаратуры обеспечить эту стабильность начальных условий. В конечном итоге должна быть найдена соответствующая схема управления и выбрана аппаратура, обеспечивающая высокую повторяемость результатов экспериментов.

На рисунке 1 изображена пневматическая схема испытательного стенда, где остановка поршня в промежуточном положении осуществлялась с помощью пневмоаппаратуры.

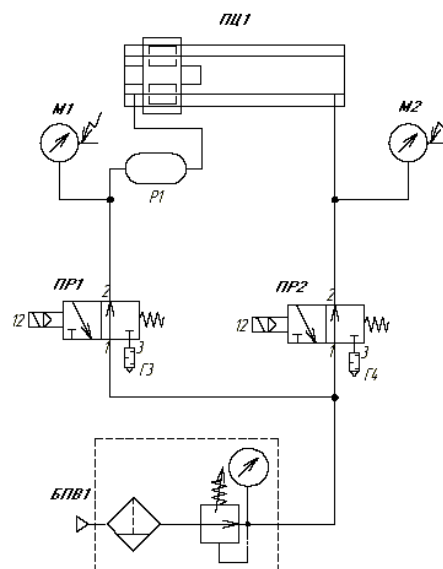


Рисунок 1 – Пневматическая схема стенда с остановкой поршня в промежуточном положении

В качестве исполнительных механизмов использовался безштоковый пневмоцилиндр ПЦ1, имеющий эффективные одинаковые площади поршня в нагнетательной и выхлопной полостях. Подача и стравливание воздуха осуществлялась через трехлинейные двухпозиционные пневмораспределители с электроуправлением ПР1 и ПР2, с регистрацией давления манометрами М1, М2. Давление в пневмомагистрали регулировалось редукционным клапаном блока БПВ. Компоновка данного стенда показана на рисунке 2.

С помощью этого стенда был проведен поиск способа остановки поршня в промежуточном положении, который бы отвечал требованиям высокой точности перемещения поршня цилиндра. Наиболее оптимальным оказался следующий способ. В исходном состоянии сжатый воздух от БПВ подавался одновременно в обе полости цилиндра, при этом поршень находился в крайнем левом положении. Поскольку эффективные площади поршня цилиндра одинаковы, каретка цилиндра фиксируется в этом положении за счет действия одинаковых сил с обеих сторон поршня, при одинаковых давлениях воздуха в полостях. Затем, при переключении распределителя ПР2, из правой полости ПЦ1 происходило стравливание воздуха в атмосферу, а за счет давления в левой полости ПЦ1 происходило движение поршня с кареткой вправо. Через

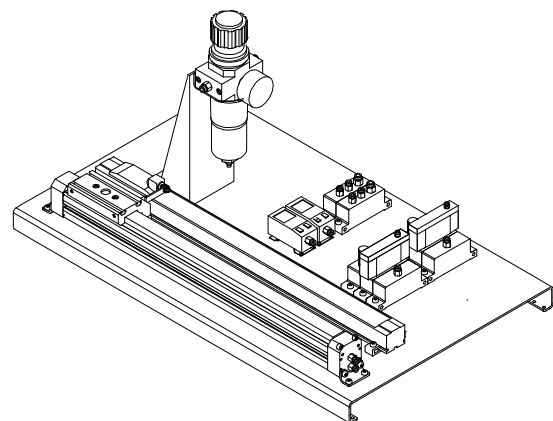


Рисунок 2 – Исследовательский стенд

некоторый строго фиксируемый промежуток времени, распределитель *ПП2* переключался в исходное положение, на подачу сжатого воздуха в правую полость, как показано на рисунке 3, вследствие чего каретка поршня резко останавливалась и фиксировалась в текущем положении.

Для реализации точных временных задержек времени авторы статьи применили промышленный контроллер FEC STANDART фирмы FESTO. Помимо временных функций на контроллер были возложены логические функции и задачи управления катушками распределителей *ПП1*, *ПП2*. Это позволило добиться дискретности изменения временного промежутка 0,01 с, что на порядок меньше времени переключения *ПП1*, *ПП2* и позволило провести более корректный эксперимент. Электрическая схема стенда изображена на рисунке 3.

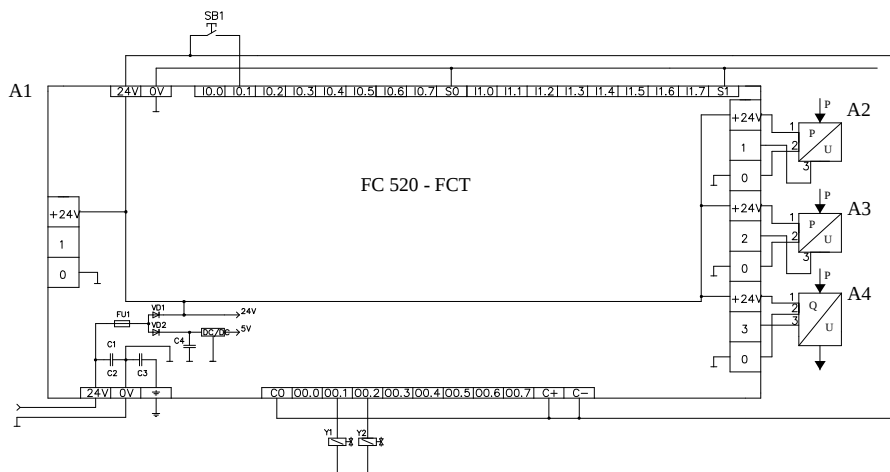


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная стенда

Эксперимент проводился следующим образом. При нажатии на кнопку *SB1* «Старт» срабатывал выход контроллера *O0,2* и срабатывала катушка *Y2* распределителя *ПП2*, возвращая шток пневмоцилиндра в начальное положение. После окончания временной задержки активировался выход *O0,1*, катушка *Y1* распределителя *ПП2*. После окончания временной задержки деактивировался выход *O0,2* на заданное время *t*. В итоге поршень пневмоцилиндра останавливается в определенной позиции. Далее через некоторое время поршень пневмоцилиндра возвращается в исходное положение и эксперимент автоматически повторяется.

В результате апробации различных исходных параметров, в частности давления, времени *t*, расходов, было достигнуто достаточно высокая точность позиционирования не превышающие 0,23 мм. Повторяемость результатов иллюстрируется графиком среднеквадратического отклонения, изображенного на рисунке 4, рассчитываемого по формуле 1 [4]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (1)$$

где x_i – текущее значение; $\bar{x}$ – среднее арифметическое экспериментально найденных значений.

На представленном ниже графике введены следующие обозначения:

- 1 позиция: при временной задержке 0,2 с (перемещение на 31,2 мм);
- 2 позиция: при временной задержке 0,3 с (перемещение на 78,8 мм);
- 3 позиция: при временной задержке 0,4 с (перемещение на 126,15 мм);
- 4 позиция: при временной задержке 0,5 с (перемещение на 178,85 мм).

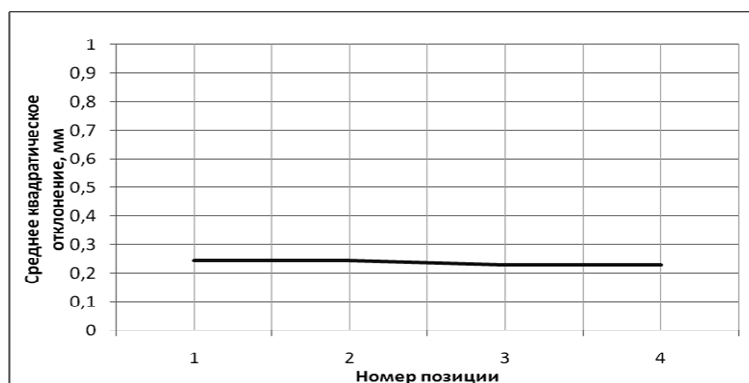


Рисунок 4 – Среднее квадратическое отклонение при $P = 0,6$ МПа

График зависимости перемещения поршня S от задаваемого контроллером времени t , при указанной выше степени повторяемости результатов, иллюстрирован рисунком 5.

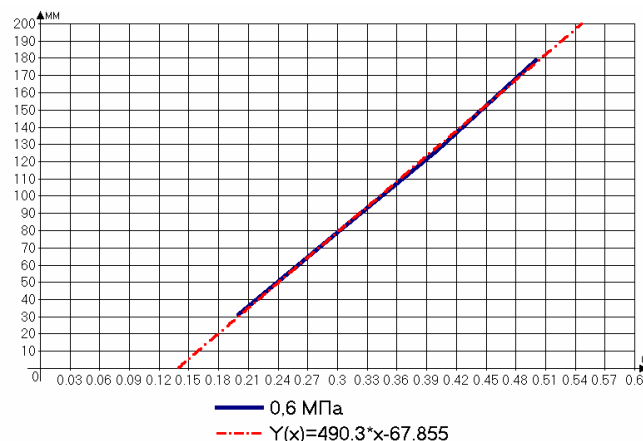


Рисунок 6 – График зависимости $S = f(t)$

Сплошная линия построена по экспериментальным точкам, а штрихпунктирная получена аппроксимацией результатов методом наименьших квадратов.

Характерно то, что выше приведенная зависимость является практически линейной функцией. Получена она в результате апробации ряда вышеозначенных параметров, хорошо анализируется и дает возможность использовать ее для получения целого ряда возможных перемещений, независимо от их числа, и может быть рекомендовано в качестве рабочей формулы, для данного вида привода. Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$S = 490,3t - 67,855. \quad (2)$$

Можно сделать вывод, что описанная выше схема управления, решает поставленную в начале статьи задачу, доказать возможность высокоточного позиционирования линейного пневматического привода без обратной связи по перемещению, нахождения необходимой схемы управления и выбор элементов ее обеспечивающих, что и было сделано. Однако эта схема управления имеет свои недостатки. Во-первых, для выхода каретки в очередную координату необходимо каждый раз возвращать ее в исходную начальную точку. Во-вторых, для набора своего максимального давления в ресивере маломощному компрессору требуется некоторое время для подкачки, то есть система работает с некоторой временной паузой.

В дальнейших исследованиях будет использоваться компрессор с большим объемом ресивера, то есть высокой мощности и производительности что снижает универсальность данной схемы. Возможно, существуют и другие способы решения этих проблем. Исходя из всего сказанного, полагаем, что подобный способ позиционирования может иметь широкое практическое применение в робототехнике, ввиду множества плюсов, о которых упомянуто выше, при дальнейшем усовершенствовании его аппаратной части.

Библиографический список

1. Дурхен А. Электропневматические позиционеры / А. Дурхен — Ганновер: Бескер, 2005 — 127 с.
2. Каято О. Электропневматические устройства. // Каталог фирмы "YOKOGAWA" / О. Каято. — Япония, 2006 — 455 с.
3. Федотов А. Электропневматические позиционеры серии ЭПП, ЭПП-Хх. // Каталог фирмы "ОАО Саранский Приборостроительный завод". — Саранск, 2005 — 143 с.
4. Длин А.М. Математическая статистика в технике/ А.М. Длин — М.: Советская наука, 1958 — 467 с.

Поступила в редакцию 23.07.2007 г.