

УДК 621-85

АНАЛІЗ НЕЗАПРОГРАМОВАНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ВИХІДНОГО ШТОКА ПНЕВМАТИЧНОГО ЦИФРОВОГО ПРИВОДУ З ГІДРАВЛІЧНИМ ЗАПИРАЮЧИМ ПРИСТРОЄМ

Новік М.А., Кучерук Ю.М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», м. Київ

01056, з. Києв, просп. Перемоги, 37

E-mail: Salenko2006@ukr.net

Приведен анализ зависимости величин незапрограммированных перемещений выходного штока пневматического цифрового привода при переключении разрядных полостей от объема нерастворенного воздуха в гидравлическом запирающем цилиндре. Приведены уравнения, которые позволяют рассчитывать величины незапрограммированных перемещений выходного штока. Показана зависимость величин незапрограммированных перемещений выходного штока пневматического цифрового привода от давления рабочей жидкости в гидравлическом запирающем устройстве.

Ключевые слова: цифровой пневмопозиционер, динамика, точность перемещения

In article the analysis of dependence of sizes of not programmed shifts of a target rod of a pneumatic digital drive is given at switching digit cavities from volume of not dissolved air in hydraulic locking the cylinder. The equations which allow to count sizes of not programmed shifts of a target rod are resulted. Dependence of sizes of not programmed shifts of a target rod of a pneumatic digital drive on pressure of a working liquid in hydraulic locking the device is shown.

Key words: pneumatic digital drive, target rod

Вступ. Одним із важливих напрямів комплексної автоматизації виробничих процесів є застосування виконавчих пристроїв промислових роботів. При цьому приводи промислових роботів мусять забезпечувати високу швидкість за заданих динамічних і статичних характеристиках, високу позиційну точність і можливість багаточисельного позиціонування робочого органу по жорстким упорам. При невеликій масі деталей доцільно використовувати промислові роботи з пневмогідролічними приводами, в структуру яких включені цифрові пневматичні циліндри і гідролічні запираючі та гальмуючі пристрої. Таке поєднання пневматичних і гідролічних пристроїв дає можливість значно підвищити швидкість роботи, усуває можливість виникнення незапрограмованих пересувань вихідного штока (так званих «викидів» і «провалів») при переключенні розрядних камер, і забезпечується інтенсивне гальмування в кінці пересування.

Експериментальні дослідження, проведені з пневматичними цифровими приводами показали, що при переключенні розрядних камер в русі вихідного штока спостерігаються незапрограмовані рухи, так звані «викиди» і «провали» [1]. Ці негативні явища значно звужують область застосування пневматичних цифрових приводів в якості виконавчих пристроїв промислових роботів.

Мета роботи. Розробка і дослідження пневматичних та гідролічних цифрових приводів з поліпшеними статичними і динамічними характеристиками.

Матеріал і результати дослідження. На рис.1 показана принципова схема пневматичного цифро-

вого приводу з гідролічним запираючим пристроєм [2], який в значною мірою дає можливість зменшити величини «викидів» і «провалів» вихідного штока при переключенні розрядних камер.

Розглянемо роботу приводу в режимі переключення розрядних камер. При подачі керуючих сигналів на включення розподільника 3 і відключення розподільників 1 і 2 одночасно подається команда і на включення запираючого гідролічного розподільника 5. При цьому камери гідроциліндру 6 запираються. Камери 7 і 8 пневмоциліндру 19 спорожняються, а камера 9 наповнюється стиснутим повітрям. Під дією тиску живлення в камері 9 поршні 13 і 14 займають ліве вихідне положення (рис. 1). При цьому тиск живлення в камері 9 зростає до значення магістрального тиску p_M .

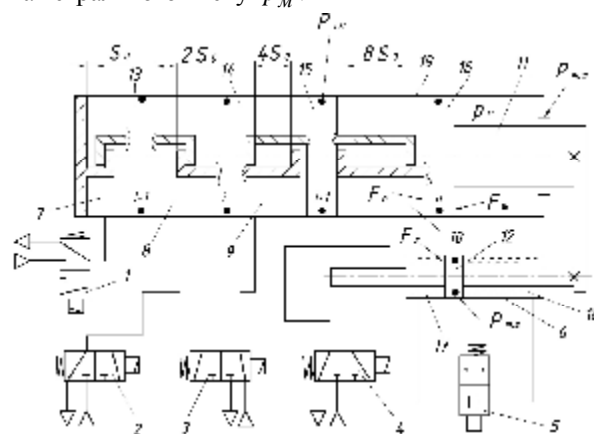


Рисунок 1 – Схема пневматичного цифрового приводу з гідролічним запираючим пристроєм

Щоб визначити величину пересування вихідного штока 14 під дією тиску в камері 9 при замкнених камерах гідроциліндра 6 прийемо наступні припущення:

- 1) ущільнення поршнів і штока гідроциліндра вважаємо ідеальними;
- 2) втрати і перетікання рідини в гідророзподільнику 5 відсутні;
- 3) стінки гідроциліндру і трубопроводів є абсолютно жорсткими.

Статичне зусилля цифрового приводу залежно від комбінацій керуючих сигналів, опрацьованих приводом, визначається рівнянням [3]

$$P_{cm} = p_i \cdot F_n - p_m \cdot F_{ui} - P_{m,n} \cdot (n+1-i) - P_{m,e} - P_{m,ui} \quad (1)$$

де n - кількість розрядів приводу; i - порядковий номер розрядної камери (поршня), $P_{m,e}$ - втрати на тертя в гідроциліндрі; $P_{m,ui}$ і $P_{m,n}$ - втрати на тертя відповідно штоку і поршнів пневмоциліндру; F_{ui} і F_n - ефективні площі поршню; p_i і p_m - відповідно тиски в i -ій розрядній камері і магістралі.

Із рівняння (1) видно, що найбільше статичне зусилля привод має при $i = n$, тобто

$$P_{cm,max} = p_i \cdot F_n - p_m \cdot F_{ui} - (P_{m,n} + P_{m,e} + P_{m,ui}) \cdot$$

Рівняння, яке пов'язує об'єми камер гідроциліндру 6, представимо у вигляді:

$$V = V_n + V_l \quad (2)$$

де V - об'єм гідроциліндра з приєднаними до нього трубопроводами; V_n і V_l - об'єми правої і лівої камер гідроциліндра з приєднаними до них трубопроводами.

Виразимо значення об'ємів циліндра і лівої камери циліндра через пересування вихідного штока цифрового приводу:

$$V = V_{o,n} + S_o \cdot (2^n - 1) \cdot F_2 + V_{o,l}; \quad (3)$$

$$V_l = V_{o,l} + \sum_{i=1}^n S_i \cdot F_2 = V_{o,l} + S_o \cdot \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \cdot F_2 \quad (4)$$

де $V_{o,n}$ і $V_{o,l}$ - початкові об'єми правої і лівої камер гідроциліндру з трубопроводами в крайніх положеннях його поршня; S_o - дискретність цифрового приводу; S_i - пересування (хід) i -го поршня; F_2 - ефективна площа поршня гідроциліндра.

Підставляючи значення V і V_l із рівнянь (3) і (4) у рівняння (2), отримаємо:

$$V_n = V_{o,n} + S_o \cdot (2^n - 1) F_2 - S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \cdot F_2 \quad (5)$$

Підставимо у рівняння (5) значення $V_n = y_n \cdot F_2$ і $V_{o,n} = y_{o,n} \cdot F_2$, де y_n - координата, яка характеризує об'єм правої камери гідроциліндра 6; $y_{o,n}$ - координата, що характеризує початковий об'єм правої камери гідроциліндра і приєднаного до неї трубопровода.

При цьому рівняння (5) приймає вигляд:

$$y_n = y_{o,n} + S_o (2^n - 1) - S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \cdot$$

При навантаженні поршня гідроциліндра статичним зусиллям об'єми його камер будуть змінюватися, внаслідок чого в його камерах будуть змінюватися тиски рідини: в одній камері тиск буде збільшуватися, а в другій - зменшуватися.

Із рівняння рівноваги сил, діючих на поршень, визначаємо зв'язок між тисками в правій та лівій камерах гідроциліндра:

$$P_n = P_l + \frac{P_{cm}}{F_2} \cdot$$

Тиск у лівій і правій камерах при збільшенні їх об'ємів визначимо, виходячи з рівняння газового стану [5]:

$$P_l = P_a \frac{d \left(y_{o,l} + S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \right)}{d \left(y_{o,l} + S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \right) + \square y_n} \quad (6)$$

$$P_n = P_a \frac{d \left[y_{o,n} + S_o (2^n - 1) - S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \right]}{d \left[y_{o,n} + S_o (2^n - 1) - S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \right] + \square y_n} \quad (7)$$

де $y_{o,l}$ - координата, яка характеризує об'єм лівої камери гідроциліндра і приєднаного до неї трубопровода; d - коефіцієнт, який враховує вміст нерозчиненого повітря в камерах гідроциліндра; $\square y_l$ і $\square y_n$ - координати, які характеризують зміну об'ємів лівої і правої камер гідроциліндра від прикладеної до поршня сили P_{cm} .

Зміну об'ємів суміші (рідини і газу) правої і лівої камер при зменшенні їх об'ємів представим у вигляді [4]:

$$\square y_n = \left[y_{o,n} + S_o (2^n - 1) - S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \right] \times \times b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} + P_l - P_a \right); \quad (8)$$

$$\square y_l = \left(y_{o,l} + S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \right) \cdot b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} + P_n - P_a \right), \quad (9)$$

де $b_{np} = \frac{1}{c_c}$ - приведений коефіцієнт об'ємного стиснення, який враховує присутність в рідині нерозчиненого газу; c_c - модуль об'ємної пружності суміші.

Для визначення координати, яка характеризує зміну об'єму правої камери гідроциліндра під дією статичного зусилля $P_{cm} > 0$, необхідно сумісно вирішити рівняння (6) і (8) відносно $\square y_n$.

$$\begin{aligned} \square y_n^2 + \square y_n \left[d \cdot A - B \cdot b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right) \right] - \\ - d \cdot B \cdot A \cdot b_{np} \frac{P_{cm}}{F_2} = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

де $A = y_{o,l} + S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1}$; $B = y_{o,n} + S_o (2^n - 1) - S_o \sum_{i=1}^n 2^{i-1}$.

Із рівняння (10) знаходимо:

$$\begin{aligned} \square y_n = \frac{d \cdot A - B \cdot b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right)}{2} \pm \\ \pm \sqrt{\left[\frac{d \cdot A - B \cdot b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right)}{2} \right]^2 + d \cdot B \cdot A \cdot b_{np} \frac{P_{cm}}{F_2}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Аналіз рівняння (11) показує, що найбільша величина «викида» штоку 11 привода буде при $A = y_{o,l}$, $B = y_{o,n} + S_o \cdot (2^n - 1) - S_o$ і $P_{cm} = P_{cm,max}$, тобто в тому випадку, коли керуюча камера молодшого розряду (камера 7) спорожняється, а керуюча камера старшого розряду (камера 10) наповнюється. Таким чином, найбільша величина «викиду» буде при переключенні з молодшого розряду на старші.

У випадку, коли $P_{cm} < 0$, буде спостерігатися «провал» вихідного штоку. Величина «провалу» може бути знайдена із сумісного рішення рівнянь (7) і (8) відносно $\square y_l$

$$\begin{aligned} \square y_l^2 + \square y_l \left[d \cdot B - A \cdot b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right) \right] - \\ - d \cdot B \cdot A \cdot b_{np} \frac{P_{cm}}{F_2} = 0. \end{aligned}$$

Звідси

$$\begin{aligned} \square y_l = \frac{-d \cdot B - A \cdot b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right)}{2} \pm \\ \pm \sqrt{\left[\frac{-d \cdot B - A \cdot b_{np} \left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right)}{2} \right]^2 + d \cdot B \cdot A \cdot b_{np} \frac{P_{cm}}{F_2}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Із рівняння (12) випливає, що найбільша величина «провалу» вихідного штока привода буде при $A = y_{o,l} + S_o \cdot 2^n - 2 \cdot S_o$, $B = y_{o,n} + S_o$ і $P_{cm} = P_{cm,max}$, тобто у тому випадку, коли керуюча камера 7 молодшого розряду наповнюється, а камера 10 старшого розряду спорожняється. Таким чи-

ном, найбільша величина «провалу» буде при переключенні старших розрядів на молодший.

Величина «викидів» і «провалів» вихідного штоку суттєво залежить від кількості нерозчиненого газу в рідині. У випадку, коли $d = 0$, рівняння (11) і (12) приймають вигляд:

$$\square y_n = \frac{\left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right) \cdot B}{c_c}; \quad \square y_l = \frac{\left(\frac{P_{cm}}{F_2} - P_a \right) \cdot A}{c_c}.$$

У звичайних умовах у робочій рідині гідропривода може бути до 5% нерозчиненого повітря. Повністю видалити повітря з гідросистеми не вдається. Якщо розчинене повітря практично не впливає на модуль об'ємного стиснення рідини, то повітря, нерозчинене в рідині, суттєво змінює стисливість гідрогазової суміші [5].

Висновки. Підвищення тиску в робочій камері приводу прискорює перехід нерозчиненого повітря в фазу розчиненого. При цьому приведений коефіцієнт об'ємного стиснення b_{np} зменшується [4]. Таким чином, для зменшення «викидів» і «провалів» вихідного штоку пневмогідролічного цифрового привода доцільно до камер 17 і 18 гідроциліндра б підводити високий тиск живлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Новік М.А. Режими позиювання пневматичних цифрових приводів // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». – К.: НТУУ «КПИ». – 2006. - №49. – С.125-130.
2. А.С. 877157 СССР, МКИ F15B 11/12. Демпфируемый позиционный привод/Н.А.Новик (Украина). - №2883559/25; заявл.15.02.80; Опубл.30.10.81, Бюл. № 40.
3. Новик Н.А., Федоренко В.А. Статический расчет цифрового привода // Респуб.межвед. науч.-тех.сб. – «Технология и автоматизация машиностроения». – 1978. – Вып.22. – С.76-81.
4. Кондаков Л.А., Никитин Г.А., Прокофьев В.Н., Скрицкий В.Я., Сосонкин В.Л. Машиностроительный гидропривод. – М.: Машиностроение, 1978. – С.495.
5. Никитин О.Ф., Холин К.М. Объемные гидравлические и пневматические приводы. – М.: Машиностроение, 1981. – С.269.

Стаття надійшла 05.05.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Саленком О.Ф.