ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: MECHANIKA z. 92 Nr kol. 1027

XIII MIĘDZYNARODOWE KOLOKWIUM
"MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"

13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
"MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"

25-28.04.1989 ZAKOPANE

Lech M. KAMIŃSKI

Akademia Techniczno - Rolnicza
w Bydgoszczy

SIŁOWNIK PNEUMATYCZNY O RUCHU APERIODYCZNYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono liniowy model pneumatycznego siłownika tłokowego. Określono dla tego modelu wymaganą wartość siły tarcia dla zachowania aperiodycznej (bez drgań) zmiany prędkości tłoka. Przeanalizowano wpływ parametrów modelu na ruch tłoka siłownika pneumatycznego. Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane przy projektowaniu siłownika pneumatycznego o ruchu aperiodycznym.

1. Liniowy model pneumatycznego siłownika tłokowego

Rozpatrywany liniowy model pneumatycznego siłownika tłokowego (rys. 1) opisany jest równaniem komory napełnianej i równaniem ruchu tłoka. Równanie komory napełnianej stanowi zlinearyzowana zależność ciśnienia p w komorze od ciśnienia p_1 powietrza zasilającego kanał doprowadzający i od położenia tłoka x, czyli objętości komory. Otrzymano je na podstawie równania stanu gazu przy założeniu przemiany izotermicznej Ⓗ = const oraz charakterystyki przepływowej kanału doprowadzającego sprężone powietrze [3] :

$$U\left(\Delta p_1 - \Delta p\right) = \frac{V_o}{R\,Ⓗ}\frac{dp}{dt} + \frac{p_o A}{R\,Ⓗ}\frac{dx}{dt} \qquad (1)$$

Równanie ruchu tłoka:

$$M\frac{d^2x}{dt^2} + r\frac{dx}{dt} = A\left(\Delta p - \Delta p_o\right) \qquad (2)$$

gdzie:

A $[m^2]$ - powierzchnia tłoka,

M $[kg]$ - masa tłoka, tłoczyska i elementów z nim związanych,

p_1 $[Pa]$ - ciśnienie absolutne powietrza zasilającego,

p $[Pa]$ - ciśnienie absolutne w komorze napełnianej,

p_o $[Pa]$ - ciśnienie absolutne w komorze opróżnianej,

R $[J/kg\ K]$ - stała gazowa powietrza,

r $[N\ s/m]$ - współczynnik określający siłę tarcia w zależności od prędkości tłoka,

t $[s]$ - czas,

U $[kg/s\ Pa]$ - współczynnik wymiarowy kanału doprowadzającego sprężone powietrze (określony na podstawie charakterystyki przepływowej),

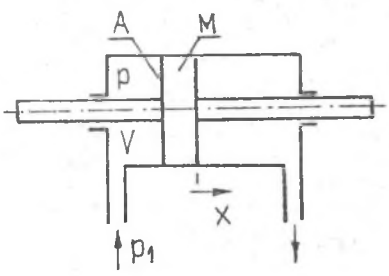
V $[m^3]$ - objętość komory napełnianej,

V_o $[m^3]$ - objętość początkowa komory napełnianej,

x $[m]$ - położenie tłoka,

Θ $[K]$ - temperatura bezwzględna powietrza,

przy czym $\Delta p_1 = p_1 - p_o$, $\Delta p = p - p_o$, $w = dx/dt$, $p_o = const$



Rys. 1. Pneumatyczny siłownik tłokowy

Fig. 1. Pneumatic cylinder

2. Współrzędne bezwymiarowe

Analiza własności dynamicznych pneumatycznego siłownika tłokowego może być w znacznym stopniu ułatwiona, o ile wprowadzi się odpowiednio dobrane współrzędne bezwymiarowe. Proponuje się współrzędne bezwymiarowe zdefiniowane w następujący sposób:

$$a = \frac{\Delta p_1}{p_o} \qquad b = \frac{\Delta p}{p_o}$$

$$y = \frac{\Delta x}{V_o / A} \qquad e = \frac{\Delta w}{U\ R\ \Theta / A}$$

$$g = \frac{M}{V_o\, p_o\, A^2/(U\, R\, \textcircled{H})^2} \qquad h = \frac{r}{p_o\, A^2/U\, R\, \textcircled{H}} \tag{3}$$

$$\tau = \frac{t}{V_o/U\, R\, \textcircled{H}}$$

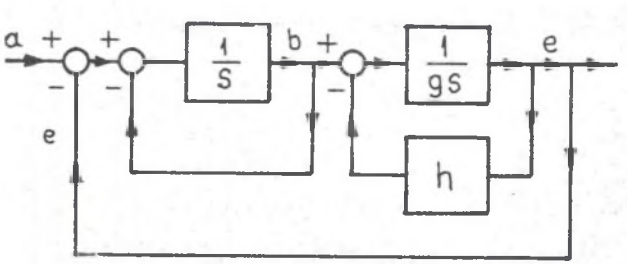
Zgodnie z zależnościami (3), równania (1) i (2) przyjmują postać:

$$\frac{db}{d\tau} + b = a - e \tag{4}$$

$$g\,\frac{de}{d\tau} + h\,e = b \tag{5}$$

Równania (4) i (5) pozwalają narysować schemat blokowy przedstawiony na rys. 2 oraz napisać równanie modelu siłownika:

$$g\,\frac{d^2e}{d\tau^2} + (g + h)\,\frac{de}{d\tau} + (h + 1)e = a \tag{6}$$



Rys. 2. Schemat blokowy siłownika pneumatycznego

Fig. 2. Block diagram of pneumatic cylinder

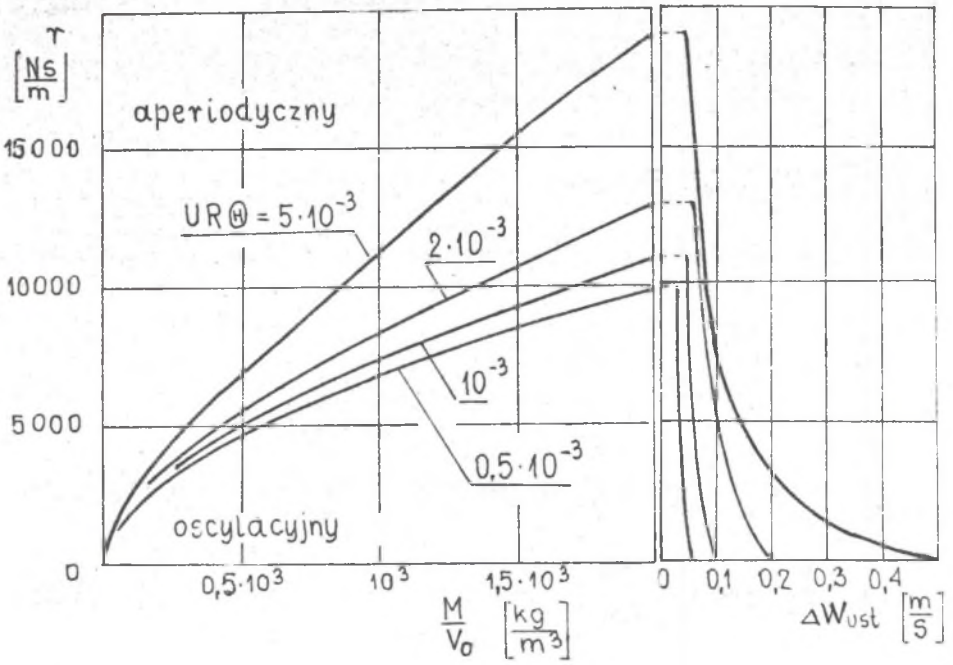
3. Granica aperiodyczności

Równanie (6) spełnia warunek aperiodyczności [4], jeśli równanie charakterystyczne posiada pierwiastki rzeczywiste, czyli gdy

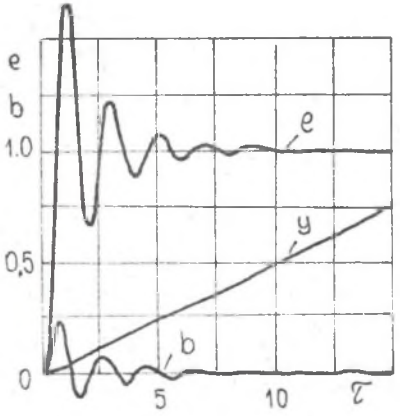
$$h \geqslant h_1 = g + 2\sqrt{g} \tag{7}$$

lub

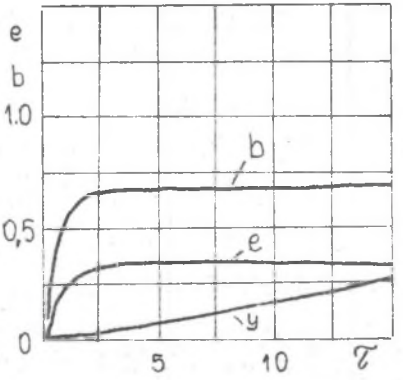
$$0 < h \leqslant h_2 = g - 2\sqrt{g} \tag{8}$$



Rys. 3. Granica aperiodyczności
Fig. 3. Aperiodic limit



Rys.4. Przebieg oscylacyjny
Fig.4. Oscillatory motion



Rys. 5. Przebieg aperiodyczny
Fig. 5. Aperiodic motion

Warunek (8) nie ma praktycznego znaczenia, gdyż jednocześnie $g \geqslant 4$, co odpowiada bardzo dużym masom M przy spotykanych wymiarach siłowników. Na podstawie warunku (7) granica aperiodyczności określona jest zależnością:

$$r = \frac{M\,U\,R\,\Theta}{V_o} + 2\,A\sqrt{\frac{M\,p_o}{V_o}} \tag{9}$$

którą przedstawiono wykreślnie na rys. 3 dla modelu siłownika o powierzchni tłoka $A = 0{,}01\ m^2$ i ciśnieniu początkowym $p_o = 10^5$ Pa w układzie współrzędnych $(M/V_o,\ r)$ dla wartości $UR\Theta$ odpowiednio $5\cdot10^{-3}$, $2\cdot10^{-3}$, 10^{-3} i $0{,}5\cdot10^{-3}\ m^3/s$. Poza tym z prawej strony podano wykresy prędkości ustalonego ruchu tłoka w_{ust} odpowiadające podanym granicom aperiodyczności. Podane wyżej wartości $UR\Theta$ odpowiadają współczynnikom U: $59{,}4594\cdot10^{-9}$, $23{,}7838\cdot10^{-9}$, $11{,}8919\cdot10^{-9}$ i $5{,}9460\cdot10^{-9}$ kg/s·Pa przy stałej gazowej powietrza $R = 287$ J/kg·K i temperaturze bezwzględnej $\Theta = 293$ K $(R\Theta = 287\cdot293 = 84091$ N·m/kg).

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi ciśnienia, prędkości i położenia tłoka wyznaczone numerycznie dla siłownika o $g = 0{,}1$ i $h = 0$ oraz na rys. 5 dla siłownika o $g = 0{,}1$ i $h = 2$. Odpowiada to np. danym: $A = 0{,}01\ m^2$, $p_o = 10^5$ Pa, $UR\Theta = 2\cdot10^{-3}\ m^3/s$, $M/V_o = 0{,}25\ 10^6\ kg/m^3$ i $r = 0$ oraz $r = 20000$ N·s/m. W pierwszym przypadku przebiegi mają charakter oscylacyjny, a w drugim aperiodyczny.

Z przedstawionych danych wynika, że granicę aperiodyczności uzyskuje się, zależnie od masy M, przy odpowiednio dużej objętości początkowej komory V_o lub dużym tarciu. Powyższy wniosek oraz charakter uzyskiwanych przebiegów są zgodne z wynikami badań doświadczalnych i analitycznych w literaturze [1, 2].

4. Wnioski

Proponowany prosty model pneumatycznego siłownika tłokowego przy zastosowaniu podanych współrzędnych bezwymiarowych pozwala w łatwy sposób oceniać własności dynamiczne siłownika. Stosowanie parametrów siłownika odpowiadających granicy aperiodyczności zapewnia ruch tłoka bez drgań przy możliwie dużej prędkości.

LITERATURA

[1] В.Н. ДМИТРИЕВ, В.Г. ГРОДЕЦКИЙ: Оцновы пневмоавтоматики. Машиностроение. Москва 1973.

[2] E.W. GERC: Napędy pneumatyczne. Teoria i obliczanie, WNT, Warszawa 1973.

[3] H.J. LEŚKIEWICZ: Człony schematów blokowych pneumatycznych urządzeń automatyki, Archiwum Automatyki i Telemechaniki, t. II, zeszyt 1-2/1957, str. 121 - 128.

[4] L.M. KAMIŃSKI: Aperiodyczny ruch siłownika pneumatycznego, VIII Zjazd Termodynamików, Krościenko 1972, AGH, Kraków s. 62 - 67.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД АПЕРИОДИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Р е з ю м е

В работе представлена линейная модель пневматического поршневого привода. Определено значение силы трения хеобходимой для сохранения апериодического (без колебании) изменения скорости движения поршня. Проанализировано влияние параметров модели на качество движения поршня пневматического привода. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании пневматического привода апериодического дбижения.

PNEUMATIC CYLINDER WITH APERIODIC MOTION

S u m m a r y

The paper presents a linear model of pneumatic cylinder. In this model is obtained value of friction force which guarantee aperiodic (uniform) change of piston velocity. The influence of models parameters on the piston motion of pneumatic cylinder has been analyze. The results obtained may be used for design of pneumatic cylinder with aperiodic motion.

Recenzent: prof. dr inż. T. Tyrlik

Wpłynęło do Redakcji 9.XI.1988 r.