

ELEKTROHYDRAULICZNY PULSATOR CIŚNIENIA CIECZY

RYSZARD DINDORF

JERZY WÓLKOW

Politechnika Krakowska

W pracy przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne elektrohydraulicznego pulsatora, służącego do dowolnej i płynnej regulacji pulsacji ciśnienia cieczy za pomocą okresowo-zmiennego napięcia elektrycznego. W elektrohydraulicznym pulsatorze ciśnienia cieczy istnieje proporcjonalna zależność między przebiegiem pulsacji ciśnienia cieczy a napięciem elektrycznym. Do wyznaczenia funkcji przejścia i badania stabilności strukturalnej elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy zastosowano metodę macierzy strukturalnych. Metodą analityczną określono dostateczny warunek stabilności parametrycznej analizowanego pulsatora ciśnienia cieczy.

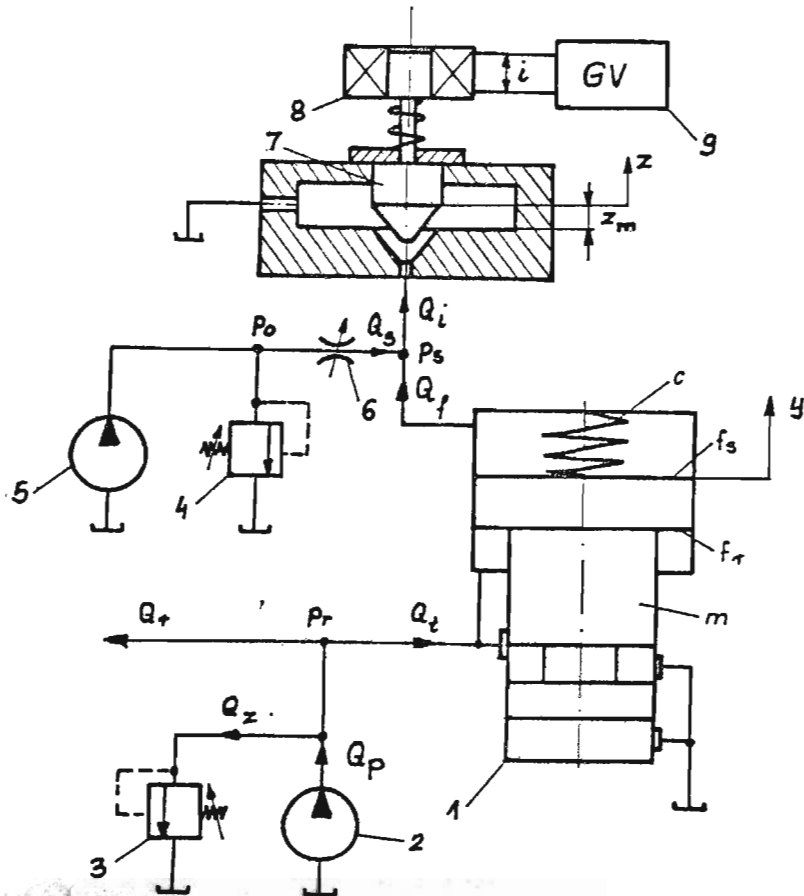
1. Wprowadzenie

Pulsatory ciśnienia cieczy, nazywane generatorami pulsacji ciśnienia cieczy, niezbędne są w różnych urządzeniach technicznych np. w urządzeniach technologicznych, transportowych oraz w mechanizmach lub przyrządach o działaniu posuwisto-zwrotnym, w których wykorzystuje się tzw. "hydraulikę zmiennego strumienia cieczy". Przykładowo [2] do napędu struga węglowego o działaniu dynamicznym stosuje się układ, który pracuje z częstotliwością 25 [Hz], amplitudą $7 \div 9$ [mm] i siłą wymuszającą drgania $0.1 \div 1.2$ [kN], natomiast do napędu bijaka w młotach hydro-mechanicznych stosuje się układ, który pracuje z częstotliwością 10 [Hz], amplitudą 40 [mm] i siłą do 10[kN]. Pulsatory ciśnienia cieczy wykorzystywane są również w wielu stanowiskach doświadczalnych np. do badania silników hydraulicznych lub w pracach eksperymentalnych do wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych elementów lub układów hydraulicznych. Zakres stosowania pulsatorów ciśnienia wynika z konieczności realizacji przez nie płynnej (ciągłej) regulacji amplitudy i częstości drgań ciśnienia cieczy. Pulsator ciśnienia cieczy dobrze spełnia swoje zadanie, jeżeli posiada charakterystykę statyczną liniową tzn. istnieje liniowa zależność między wielkością zadaną a wielkością wyjściową, jest stabilny, a amplituda pulsacji ciśnienia cieczy nie zależy od wydatku (natężenia)

cieczy [1]. Uwzględniając wszystkie wymagania odnośnie prawidłowej pracy pulsatora ciśnienia cieczy można założyć, że najlepszym będzie pulsator ciśnienia cieczy z układem elektrohydraulicznym. W układach elektrohydraulicznych wielkość zadana w postaci okresowo-zmiennego napięcia prądu, generowana we wzbudniku elektrycznym, przetwarzana jest następnie za pośrednictwem przetwornika elektrohydraulicznego w pulsację ciśnienia cieczy w układzie sterującym i zasilającym pulsatora. Przebieg pulsacji ciśnienia cieczy może być wtedy ustalany dowolnie w zależności od napięcia prądu elektrycznego. Zmiana ciśnienia może być skokowa lub sinusoidalna.

2. Przyjęcie schematu obliczeniowego pulsatora ciśnienia cieczy

Przyjmując, że jednym z najlepszych generatorów pulsacji ciśnienia cieczy jest elektrohydrauliczny pulsator ciśnienia, przedstawiono na Rys.1 schemat obliczeniowy takiego pulsatora. Proponowane rozwiązanie konstrukcyjne elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy składa się z części zasilającej o wydatku Q_r i ciśnieniu p_r oraz części sterującej o wydatku Q_s i ciśnieniu p_s . W założeniu pracy takiego pulsatora ciśnienie wyjściowe p_r nie zależy od wydatku Q_r . Przedstawiony na Rys.1 hydrauliczny pulsator tłoczkowy 1 spełnia podwójną rolę; pierwszym i zasadniczym jego przeznaczeniem jest przeniesienie pulsacji ciśnienia sterującego p_s na ciśnienie wyjściowe p_r , drugim ustalenie odpowiedniej wartości ciśnienia p_r . Z tego wynika, że pulsator tłoczkowy 1 działa również jako zawór przelewowy, przez który przepływa ciągle strumień cieczy o natężeniu Q_t . Działanie pulsatora tłoczkowego jako zaworu przelewowego pozwala na uniezależnienie ciśnienia p_r od wydatku Q_r . Wydatek Q_s doprowadzony do obszaru sterującego zależy od nastawienia dławika 6 i zaworu przelewowego 5. Ciśnienie sterujące p_s zależy od położenia z iglicy 7, którym steruje sygnał prądowy o natężeniu i pojawiający się w cewce sterującej 8. Sygnał prądowy pochodzi od przetwornika napięciowo-prądowego wzmacniacza elektronicznego. Z kolei sygnał napięciowy u , który jest sygnałem wejściowym elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy, podawany jest do przetwornika napięciowo-prądowego z generatora drgań elektrycznych. W takim układzie położenie z iglicy 7 jest proporcjonalne do generowanego napięcia u . Napięcie $u(t)$ składa się ze stałego napięcia u_0 i napięcia okresowo-zmiennego $u_\omega(t)$. Od stałej składowej napięcia u_0 zależy stałe położenie z_0 iglicy, stała składowa: ciśnienia sterującego p_{s0} i ciśnienia wyjściowego p_{r0} . Natomiast od zmiennej składowej napięcia $u_\omega(t)$ zależą drgania iglicy $z_\omega(t)$ oraz pulsacja: ciśnienia sterującego $p_{s\omega}(t)$ i ciśnienia wyjściowego $p_{r\omega}(t)$. Ponieważ istnieje proporcjonalna zależność między ciśnieniem p_r a napięciem u , dlatego przebieg pulsacji ciśnienia $p_r(t)$ może być ustalony dowolnie (w przyjętych granicach) w zależności od przebiegu napięcia elektrycznego $u(t)$.



Rys. 1. Schemat obliczeniowy elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy:
 1 - hydrauliczny pulsator tłoczkowy, 2 - pompa zasilająca, 3 - zawór przelewowy w obszarze zasilającym, 4 - pompa sterująca, 5 - zawór przelewowy w obszarze sterującym, 6 - dławik, 7 - iglica, 8 - cewka sterująca, 9 - generator sygnału napięciowego okresowo-zmiennego z przetwornikiem napięciowo-prądowym

3. Model matematyczny elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy

Na podstawie schematu obliczeniowego z Rys.1 określony został model matematyczny elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy, który opisują poniższe równania.

- Równanie zależności elektrycznych przetwornika napięciowo-prądowego

$$i = K_u u \quad (3.1)$$

gdzie:

- i - prąd w cewce sterującej,
- K_u - współczynnik wzmocnienia przetwornika,
- u - napięcie z generatora,

$$u = u_0 + u_\omega(t) \quad (3.2)$$

- u_0 - stała składowa napięcia,
- $u_\omega(t)$ - okresowo-zmienna składowa napięcia.
- Równanie ruchu iglicy

$$z = K_z i \quad (3.3)$$

gdzie:

- z - przemieszczenie iglicy,
- K_z - współczynnik wzmocnienia cewki sterującej.
- Równanie natężenia przepływu w obszarze sterującym

$$Q_s = Q_i - Q_f \quad (3.4)$$

gdzie:

- Q_s - wydatek cieczy doprowadzony do obszaru sterującego,
- Q_i - wydatek cieczy przepływającej przez szczelinę między iglicą a otworem,

$$Q_i = k_i(z_m - z)\sqrt{p_s} \quad (3.5)$$

- k_i - współczynnik przepływu,
- z_m - maksymalny wznios iglicy,
- z - wznios iglicy,
- p_s - ciśnienie w obszarze sterującym,
- Q_f - wydatek cieczy związany ze zmianą objętości w hydraulicznym pulsatorze tłoczkowym,

$$Q_f = f_s y \quad (3.6)$$

- f_s - powierzchnia działania ciśnienia sterującego p_s ,
- y - przemieszczenie tłoczka pulsatora.
- Równanie równowagi sił działających na tłoczek pulsatora

$$m\ddot{y} + b\dot{y} + cy = f_r p_r - f_s p_s \quad (3.7)$$

gdzie:

- m - masa tłoczka,
 - b - współczynnik tarcia lepkiego,
 - c - sztywność sprężyny,
 - f_r - powierzchnia działania ciśnienia p_r ,
 - p_r - ciśnienie w obszarze roboczym.
- Równanie natężenia przepływu w obszarze roboczym

$$Q_p = Q_z + Q_r + Q_t + Q_{sc} + Q_w \quad (3.8)$$

gdzie:

- Q_p - wydajność pompy,
- Q_z - wydatek cieczy kierowany przez zaworów przelewowy,

$$Q_z = k_z p_r \quad (3.9)$$

- k_z - współczynnik przepływu cieczy przez zawór przelewowy (w stanie ustalonym),
- Q_r - wydatek cieczy kierowany do urządzenia roboczego,

$$Q_r = Q_r(t) \quad (3.10)$$

- Q_t - wydatek cieczy przepływającej przez szczelinę roboczą pulsatora tłoczkowego,

$$Q_t = k_t y \sqrt{p_r} \quad (3.11)$$

- k_t - współczynnik przepływu cieczy przez pulsator tłoczkowy,
- Q_{sc} - wydatek cieczy związany ze ściśliwością cieczy w obszarze roboczym,

$$Q_{sc} = \frac{V_r}{E_c} \dot{p}_r \quad (3.12)$$

- V_r - objętość cieczy w obszarze roboczym,
- E_c - moduł ściśliwości cieczy roboczej,
- Q_w - wydatek cieczy związany z przeciekami,

$$Q_w = k_w p_r \quad (3.13)$$

- k_w - współczynnik przecieków.

Napięcie u , występujące we wzorze (3.1), tak może być we wzmacniaczu elektronicznym regulowane (korygowane), aby otrzymać pożądane własności dynamiczne

całego elektrohydraulicznego układu pulsatora ciśnienia cieczy. Równanie (3.3) napisane zostało przy założeniu, że przemieszczenie iglicy z jest proporcjonalne do różnicy prądów Δi w cewkach sterujących, przy tym pominięte zostały siły hydrodynamiczne działające na iglicę. W modelu matematycznym występują dwie nieliniowe funkcje określone wzorami (3.5) i (3.11). Funkcje te można zlinearyzować przez rozwinięcie ich w szereg Taylora z uwzględnieniem tylko liniowych wyrazów szeregu:

$$Q_i = f(z, p_s) = -k_{iz}z + k_{ip}p_s \quad (3.14)$$

gdzie:

$$k_{iz} = \frac{\partial Q_i}{\partial z} \quad k_{ip} = \frac{\partial Q_i}{\partial p_s}$$

oraz

$$Q_t = f(y, p_r) = k_{ty}y + k_{tp}p_r \quad (3.15)$$

gdzie:

$$k_{ty} = \frac{\partial Q_t}{\partial y} \quad k_{tp} = \frac{\partial Q_t}{\partial p_r}$$

Otrzymany liniowy model matematyczny elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy, po przekształceniu Laplac'a przy zerowych warunkach początkowych i odpowiednim uporządkowaniu, można przedstawić w następującej postaci:

$$\begin{aligned} i(s) &= K_u u(s) \\ z(s) &= K_z i(s) \\ Q_s(s) &= -k_{iz}z(s) + k_{ip}p_s(s) - f_s s y(s) \\ y(s) &= \frac{1}{ms^2 + bs + c} [f_r p_r(s) - f_s p_s(s)] \\ Q_p(s) - Q_r(s) &= \left(\frac{V_r}{E_c} s + k_z + k_{tp} + k_w \right) p_r(s) + k_{ty} y(s) \end{aligned} \quad (3.16)$$

4. Zastosowanie metody macierzy strukturalnych do wyznaczenia funkcji przejścia elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy

Metoda macierzy strukturalnych wykorzystuje macierzowy zapis modelu matematycznego do przedstawienia go w postaci tablic, na których można w dogodny sposób przedstawić strukturę dowolnego złożonego układu dynamicznego, prześledzić drogę przepływu sygnałów oraz zaobserwować związki zachodzące między poszczególnymi elementami z uwzględnieniem występujących zakłóceń zewnętrznych [3]. Metoda ta umożliwi (na podstawie macierzy strukturalnej) wyznaczenie funkcji przejścia, badanie własności dynamicznych (stabilności) i przeprowadzenie korekcji dynamicznej układu (np. przez zmianę struktury lub parametrów układu).

W zależności od złożoności macierzy strukturalnej, każdy jej element może nieść w sobie różną ilość informacji.

Model matematyczny elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy zapisany równaniami (3.16) można przedstawić w ogólnej postaci:

$$a_{ii}x_i = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n a_{ij}x_j + \sum_{k=1}^m b_{ik}u_k \quad (4.1)$$

gdzie:

- a_{ii}, a_{ij} – współczynniki związane ze współrzędnymi układu x_i ,
- b_{ik} – współczynniki związane z wielkościami wejściowymi u_k .

Ponieważ w analizie układów hydraulicznych przyjmuje się zwykle jedną wielkość wyjściową, dlatego można założyć, że jest to x_n . Model matematyczny elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy przedstawiony został za pomocą operatora Laplace'a s , dlatego też współczynniki równania (4.1) zapisać można w postaci wielomianów względem operatora s : $a_{ii} = f_1(s)$, $a_{ij} = f_2(s)$ i $b_{ik} = f_3(s)$.

Po wprowadzeniu nowych współrzędnych:

$$\begin{aligned} x_1 &= i(s) & u_1 &= u(s) \\ x_2 &= z(s) & u_2 &= Q_s(s) \\ x_3 &= p_s(s) & u_3 &= Q_p(s) - Q_r(s) \\ x_4 &= y(s) \\ x_5 &= p_r(s) \end{aligned}$$

model matematyczny (3.16) można przedstawić w postaci określonej wzorem (4.1):

$$\begin{aligned} x_1 &= K_u u_1 \\ x_2 &= K_z x_1 \\ k_{ip} x_3 &= k_{iz} x_2 + f_s s x_4 + u_2 \\ (ms^2 + bs + c)x_4 &= -f_s x_3 + f_r x_5 \\ \left(\frac{V_r}{E_c} s + k_p\right) x_5 &= -k_{ty} x_4 + u_3 \end{aligned} \quad (4.2)$$

gdzie:

$$k_p = k_z + k_{tp} + k_w$$

Wprowadzając macierz strukturalną \mathbf{A} równanie (4.1) i (4.2) można przedstawić w następującym zapisie macierzowo-wektorowym:

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{Bu} \quad (4.3)$$

gdzie:

A – macierz strukturalna równa różnicy macierzy **D_A** (składającej się z elementów diagonalnych a_{ii} , pozostałe elementy są zerowe) i macierzy **C_A** (składającej się z elementów niediagonalnych a_{ij} , pozostałe elementy są zerowe),

x – wektor stanu,

B – macierz wejść,

u – wektor wejść.

W celu łatwiejszego posługiwania się zapisem równania (4.3) można przyjąć zwięzłą postać zapisu mnożonych macierzy, w której wektor **x** zapisuje się nad macierzą **A**, a wektor **u** zapisuje się nad macierzą **B**. Taki zwięzły zapis równania (4.3) przedstawiono na Rys.2.

<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 5px;">\bar{x}</td> <td style="padding: 5px;">\bar{u}</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">\bar{A}</td> <td style="padding: 5px;">\bar{B}</td> </tr> </table>	\bar{x}	\bar{u}	\bar{A}	\bar{B}	≡	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 5px;">x_1</td> <td style="padding: 5px;">x_2</td> <td style="padding: 5px;">\dots</td> <td style="padding: 5px;">x_n</td> <td style="padding: 5px;">u_1</td> <td style="padding: 5px;">u_2</td> <td style="padding: 5px;">\dots</td> <td style="padding: 5px;">u_n</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">a_{11}</td> <td style="padding: 5px;">a_{12}</td> <td style="padding: 5px;">\dots</td> <td style="padding: 5px;">a_{1n}</td> <td style="padding: 5px;">b_{11}</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">a_{21}</td> <td style="padding: 5px;">a_{22}</td> <td style="padding: 5px;">\dots</td> <td style="padding: 5px;">a_{2n}</td> <td></td> <td style="padding: 5px;">b_{22}</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="padding: 5px;">\ddots</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="padding: 5px;">\ddots</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">a_{n1}</td> <td style="padding: 5px;">a_{n2}</td> <td style="padding: 5px;">\dots</td> <td style="padding: 5px;">a_{nn}</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="padding: 5px;">b_{nn}</td> </tr> </table>	x_1	x_2	\dots	x_n	u_1	u_2	\dots	u_n	a_{11}	a_{12}	\dots	a_{1n}	b_{11}				a_{21}	a_{22}	\dots	a_{2n}		b_{22}					\ddots				\ddots		a_{n1}	a_{n2}	\dots	a_{nn}				b_{nn}
\bar{x}	\bar{u}																																													
\bar{A}	\bar{B}																																													
x_1	x_2	\dots	x_n	u_1	u_2	\dots	u_n																																							
a_{11}	a_{12}	\dots	a_{1n}	b_{11}																																										
a_{21}	a_{22}	\dots	a_{2n}		b_{22}																																									
		\ddots				\ddots																																								
a_{n1}	a_{n2}	\dots	a_{nn}				b_{nn}																																							

Rys. 2. Zwięzła postać zapisu macierzowego równania (4.3)

Model matematyczny elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy zapisany równaniem (4.2) przedstawiony został w postaci zwięzłej (jak na Rys.2) za pomocą rozwiniętej macierzy współrzędnych. Macierz ta przedstawiona została na Rys.3 w ten sposób, aby elementy diagonalne były jedynkami. Macierz przedstawioną na Rys.3 traktujemy jako macierz wyjściową do wyznaczenia funkcji przejścia analizowanego układu elektrohydraulicznego i jego badań dynamicznych. Funkcję przejścia można wyznaczyć różnymi metodami np. przez przekształcenie macierzy strukturalnej lub bez jej przekształcania. Do wyznaczenia funkcji przejścia elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia zastosowana została druga metoda tzn. bez przekształcania macierzy strukturalnej wyjściowej, która polega na wykorzystaniu reguły Masona:

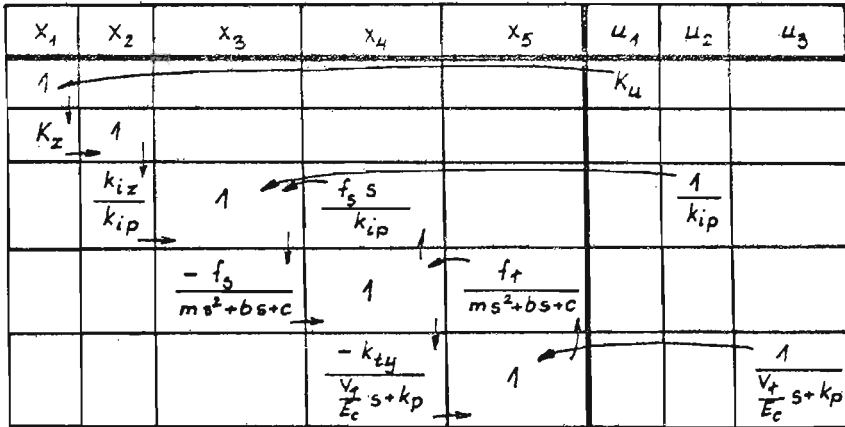
$$G(s) = \frac{\sum^n P_i D_i}{D} \quad (4.4)$$

gdzie:

- P_i – wzmocnienie przepływu sygnałów wzdłuż i -tego toru,
 D_i – dopełnienie algebraiczne wzmocnienia P_i ,
 D – wyznacznik macierzy,

$$D = 1 - \sum D_{1n} + \sum D_{2n} - \sum D_{3n} + \dots$$

- $\sum D_{1n}$ – suma funkcji przejścia wszystkich pętli,
 $\sum D_{2n}$ – suma iloczynów funkcji przejścia pętli rozłącznych wziętych po dwa,
 $\sum D_{3n}$ – suma iloczynów funkcji przejścia pętli rozłącznych wziętych po trzy itd.



Rys. 3. Macierz strukturalna elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy, w postaci rozwiniętej macierzy współrzędnych

Dla ułatwienia wyznaczenia funkcji przejścia $G(s)$ elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia, na podstawie reguły Masona, na macierzy strukturalnej przedstawionej na Rys.3 zaznaczone zostały cykle macierzowe, które wyrażają przepływ sygnałów w układzie. Jak wynika z tej macierzy strukturalnej, w analizowanym układzie elektrohydraulicznym występuje jeden tor główny, wówczas można zapisać:

$$P_1 = K_u K_z \frac{k_{iz}}{k_{ip}} \frac{-f_s}{ms^2 + bs + c} \frac{-k_{ty}}{\frac{V_r}{E_c}s + k_p} \quad (4.5)$$

$$D_1 = 1 \quad (4.6)$$

są dwie pętle sprzężenia zwrotnego, pętli rozłącznych nie ma

$$D_{11} = \frac{-f_s^2 s}{k_{ip}(ms^2 + bs + c)} \quad (4.7)$$

$$D_{12} = \frac{-f_r k_{ty}}{\left(\frac{V_r}{E_c} s + k_p\right) (ms^2 + bs + c)} \quad (4.8)$$

Po podstawieniu zależności określonych wzorami (4.5) ÷ (4.8) do wzoru Masona (4.4) otrzymano funkcję przejścia elektrohydraulicznego pulsatora cieczy w następującej ostatecznej postaci:

$$G(s) = \frac{b_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (4.9)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} b_0 &= K_u K_z \frac{k_{iz}}{k_{ip}} f_s k_{ty} \\ a_0 &= c k_p + f_r k_{ty} \\ a_1 &= \left(b + \frac{f_s^2}{k_{ip}}\right) k_p + \frac{V_r c}{E_c} \\ a_2 &= m k_p + \frac{V_r}{E_c} \left(b + \frac{f_s^2}{E_c}\right) \\ a_3 &= \frac{V_r m}{E_c} \end{aligned}$$

5. Określenie stabilności strukturalnej i parametrycznej elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy

Macierz strukturalna z Rys.3 umożliwia określenie stabilności strukturalnej elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy. Zasadniczym zadaniem przy badaniu stabilności strukturalnej jest określenie czy pętle występujące w macierzy strukturalnej mają defekt czy nie. Defektem może być dodatnie sprzężenie zwrotne lub człon astatyczny – idealnie całkujący. Jeżeli występuje jedna pętla z defektem to układ może być stabilny strukturalnie warunkowo tzn., że konieczne trzeba określić warunek stabilności. Przy dwóch pętlach z defektem układ jest niestabilny strukturalnie. W przypadku stwierdzenia niestabilności strukturalnej układu przeprowadza się jego korekcję strukturalną polegającą na zmianie parametrów lub poszczególnych elementów układu. Jak wynika z macierzy strukturalnej przedstawionej na Rys.3 w pętlach sprzężenia zwrotnego występują dodatnie współczynniki. Takie współczynniki są dopuszczalne pod warunkiem, że inne współczynniki tworzące te pętle są ujemne. Taki przypadek występuje w omawianej macierzy strukturalnej. Z tego wynika, że elektrohydrauliczny pulsator ciśnienia cieczy jest stabilny strukturalnie. Stwierdzenie, że układ jest stabilny strukturalnie nie oznacza stabilności parametrycznej tego układu. Stabilność

strukturalna sprowadza się faktycznie do określenia warunku koniecznego stabilności parametrycznej (asymptotycznej) układu, polegającego na sprawdzeniu czy współczynniki równania charakterystycznego mają dodatnie wartości. Równaniem charakterystycznym elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy jest mianownik równania (4.9) przyrównany do zera:

$$a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0 \quad (5.1)$$

Na podstawie kryterium stabilności Hurwitza określamy dostateczny warunek stabilności parametrycznej, który dla równania charakterystycznego trzeciego rzędu sprowadza się do tego, aby iloczyn środkowych współczynników był większy od iloczynu skrajnych współczynników:

$$a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0 \quad (5.2)$$

Po podstawieniu do wzoru (5.2) współczynników określonych we wzorze (4.9) i przyjęciu:

$$B = b + \frac{f_s^2}{k_{ip}} \quad (5.3)$$

otrzymamy nierówność kwadratową względem parametru B :

$$B^2 + \left(\frac{E_c}{V_r} m k_p + \frac{V_r c}{E_c k_p} \right) B - \frac{f_r k_{ty} m}{k_p} > 0 \quad (5.4)$$

Nierówność (5.4) będzie spełniona tylko wtedy, gdy:

$$B > \frac{1}{2} \left\{ - \left(\frac{E_c}{V_r} m k_p + \frac{V_r c}{E_c k_p} \right) + \sqrt{\left(\frac{E_c}{V_r} m k_p + \frac{V_r c}{E_c k_p} \right)^2 + \frac{4 f_r k_{ty} m}{k_p}} \right\} \quad (5.5)$$

Wyrażenie występujące po prawej stronie nierówności (5.5) przekształcono przy założeniu, że:

$$\frac{E_c m k_p}{V_r} \gg \frac{V_r c}{E_c k_p}$$

(co upoważnia do przyjęcia $\frac{V_r c}{E_c k_p} = 0$).

Po przyjęciu pierwszego przybliżenia rozwinięcia funkcji pierwiastkowej w szereg potęgowy oraz uwzględnieniu równania (5.3) otrzymany został dostateczny warunek stabilności parametrycznej elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy w postaci:

$$b > \frac{f_r k_{ty} V_r}{k_p^2 E_c} - \frac{f_s^2}{k_{ip}} \quad (5.6)$$

6. Podsumowanie

1. Elektrohydrauliczny pulsator ciśnienia cieczy przedstawiony na Rys.1 służy do płynnej regulacji amplitudy i częstości pulsacji ciśnienia cieczy, może mieć zastosowanie w układach hydraulicznych maszyn technologicznych np. pras, w obrabiarkach do obróbki wibracyjnej, wiertarkach górniczych, również w układach hydraulicznych stanowisk badawczych do badania samolotów, pojazdów, własności materiałów i układów elektronicznych.
2. Przebieg pulsacji ciśnienia cieczy może być dowolnie regulowany napięciem elektrycznym, w elektrohydraulicznym pulsatorze ciśnienia cieczy istnieje proporcjonalna zależność między przebiegiem ciśnienia $p_r(t)$ a napięciem $u(t)$.
3. Wykorzystano metodę macierzy strukturalnej do określenia funkcji przejścia i stabilności strukturalnej elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy.
4. Ponieważ stabilność strukturalna nie jest warunkiem wystarczającym stabilności parametrycznej, dlatego dla analizowanego elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy określony został zależnością (5.6) dostateczny warunek stabilności.
5. Dynamika iglicy i zmiana natężenia prądu w przetworniku napięciowo-prądowym, jest niezmiernie ważna i zasługuje na szczególną uwagę jako pewne wyodrębnione zagadnienie dotyczące wpływu zakłóceń występujących w obrębie członu wymuszającego elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy. Ta problematyka będzie uwzględniona w rozszerzonej analizie dynamicznej nieliniowego modelu matematycznego elektrohydraulicznego pulsatora ciśnienia cieczy przy pomocy metod numerycznych.

Literatura

1. SPEKTOR L.I., *Generator kolebanija dawljenja židkosti*, Problemy Gidroavtomatiki, Nauka, Moskwa 1969
2. Przegląd Mechaniczny nr 1/1972
3. SZATICHIN L.G., *Macierze strukturalne i ich zastosowanie do analizy układów*, PWN, Warszawa 1982

Electrohydraulic fluid pressure pulsator**Summary**

In this work a design of electrohydraulic pulsator (which serves for optional and fluent regulation of fluid pressure pulsation with the help of alternating current) has been shown. Proportional dependence between the course of fluid pressure pulsation and electric voltage is characteristic for this electrohydraulic pulsator. Structural matrix method has been implemented to range out the transfer function and to examine structural stability of the pulsator. Analytic method determined sufficient condition for parametric stability of that pulsator.

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 22 listopada 1989 roku