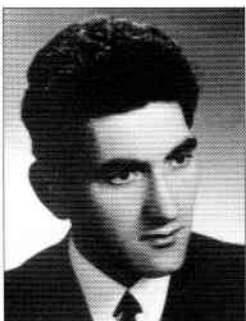


Edward PALCZAK

INSTYTUT KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN  
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

## Częstotliwościowe charakterystyki modelu serwomechanizmu hydraulicznego z rozdzielaczem o podwójnie pochyłonych krawędziach sterujących

Prof. dr hab. inż. Edward PALCZAK – Politechnika Wrocławska, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn. Obszar działalności naukowej: maszyny – napędy i sterowania hydrauliczne, dynamika maszyn i urządzeń hydraulicznych, stabilność serwomechanizmów maszyn i urządzeń, badania statyczne i dynamiczne maszyn i urządzeń hydraulicznych. Przewodniczący Normalizacyjnej Komisji Problemowej NKP-160 w zakresie Napędów i Sterowań Hydraulicznych; członek rzeczywisty ISO/TC 131/SC8 WG10 (od 1988 r.) Elektrohydraulic proportional control. Valves test w Londynie; członek Akademii Nauk – Oddział we Wrocławiu, Komisja Budownictwa i Mechaniki.



Przedstawiono model stanowiska do wymuszeń harmonicznych serwomechanizmu hydraulicznego ze szczególnym uwzględnieniem aparatury kontrolno-pomiarowej zalecanej przez ISO. Wyznaczono eksperymentalnie przebiegi w stanach przejściowych oraz charakterystyki amplitudowo-fazowe dla serwomechanizmu z rozdzielaczem o podwójnym pochyleniu krawędzi sterującej suwaka.

### ABSTRACT

The model of the station for harmonic input function of hydraulic servomechanism with monitoring and measurement apparatus recommended by ISO has been presented. The experimental course in transitory states and Gainphase characteristics of the hydraulic servomechanism with directional valve with dual inclination of steering edges has been determined.

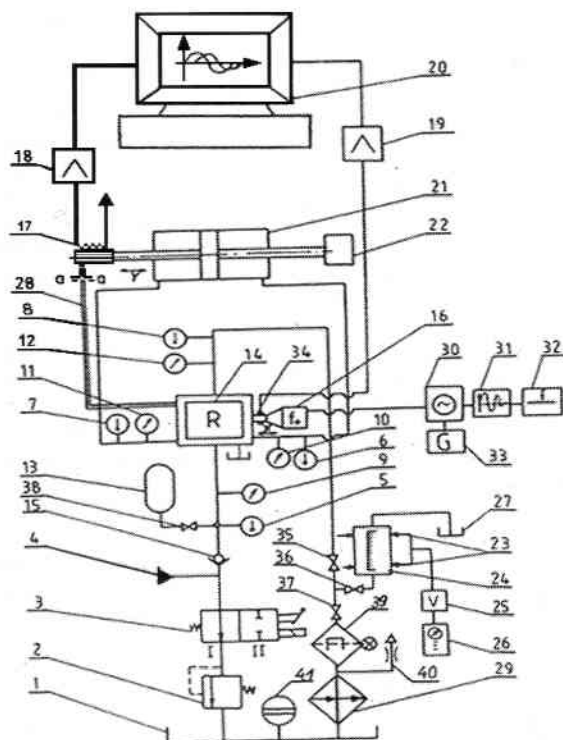
W nowoczesnych systemach i urządzeniach, a w szczególności w manipulatorach i robotach przemysłowych ze sterowaniem elektronicznym i hydraulicznym, istotną rolę spełniają serwomechanizmy hydrauliczne. Wzrastające wymagania w zakresie szybkości działania, stabilności i dokładności pracy serwomechanizmu są związane z koniecznością przeprowadzenia dokładnych obliczeń elementów i układów z wykorzystaniem techniki wspomaganie komputerowego. Wyniki otrzymane z symulacji komputerowej wymagają często weryfikacji na stanowiskach badawczych, które powinny być wyposażone w najnowocześniejszą aparaturę kontrolno-pomiarową do badań m.in. przebiegów przejściowych i stabilności układu. Wprowadzenie nowych technik komputerowego wspomaganie projektowania w zakresie poszukiwania najnowocześniejszych rozwiązań elektronicznych i systemu sterowania hydraulicznego stwarza konieczność poszukiwania nowych rozwiązań stanowisk badawczych [1, 2, 3, 4, 5] spełniających współczesne wymagania w zakresie badań dynamiki, a w szczególności stabilności rozpatrywanych mechanizmów. W artykule przedstawiono stanowisko do eksperymentalnego badania stanów przejściowych i stabilności serwomechanizmu za pomocą metod częstotliwościowych.

### Model stanowiska do badań częstotliwościowych serwomechanizmu hydraulicznego z rozdzielaczem suwakowym o podwójnie pochyłonych krawędziach sterujących

W nowoczesnych ośrodkach naukowo-badawczych są budowane różnorodne konstrukcje stanowisk do wyznaczania przebiegów harmonicznych, które można wywoływać za pomocą układów: mechanicznych, pneumatycznych i elektronicznych. W projektach międzynarodowych norm ISO są prowadzone liczne opracowania dotyczące propozycji budowy wzorcowych (odpowiadających współczesnym wymaganiom technicznym) stanowisk badawczych. W propozycjach Komisje Robocze ISO zalecają m.in.: ujednoczenie warunków pomiarów, sposobu przed-

stawiania wyników z badań łącznie z formą graficznego przedstawiania wyników przy wyznaczaniu zarówno charakterystyk statycznych i dynamicznych, jak i klasy zastosowanych przyrządów pomiarowych i zastosowania nowoczesnej aparatury kontrolno-pomiarowej. Jedną z propozycji zastosowania stanowiska do badań częstotliwościowych serwomechanizmu hydraulicznego z wykorzystaniem elektronicznej techniki pomiarowej ze wspomaganie komputerowym przedstawiono na rys. 1.

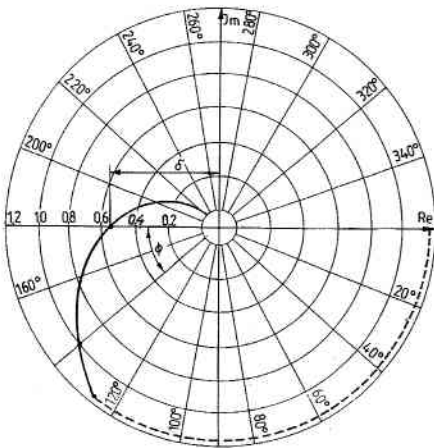
Stanowisko składa się z następujących układów: napędzającego, obciążającego, zabezpieczającego przed przeciążeniem, zestawu pomiarowego oraz z konstrukcji, do której są umocowane elementy i instalacja hydrauliczna i elektroniczna. Układ



Rys. 1. Schemat modelu stanowiska do badań przebiegów ustalonych i przejściowych oraz harmonicznych w hydraulicznym serwomechanizmie: X – przemieszczenie rozdzielacza, Y – przemieszczenie tłoczyska siłownika hydraulicznego

napędzający stanowią: źródło zasilania ciśnienia i natężenia przepływu 4 oraz akumulator 13. Układ sterujący składa się z rozdzielacza 14 o przekroju ujemnym, który jest połączony mechanicznym sprzężeniem zwrotnym 28 z siłownikiem hydraulicznym 21. Aby wyeliminować wpływ zaworu bezpieczeństwa 2 na wyniki pomiarów, zastosowano rozdzielacz 3, który po przesterowaniu do położenia II powoduje odcięcie zaworu od stacji zasilania. Układ hydrauliczny jest wyposażony w filtr 39 z przegrodą magnetyczną. Filtr jest wyposażony we wskaźnik zanieczyszczeń. Serwomechanizm jest obciążony masą 22 umocowaną do tłoczyska siłownika hydraulicznego 21. Zabezpieczenie układu hydraulicznego przed przeciążeniem jest realizowane za pomocą zaworu bezpieczeństwa 2. Zestaw aparatury

kontrolno-pomiarowej obejmuje: generator drgań sinusoidalnych 33, oscyloskop kontrolny drgań 30 ze wzmacniaczem sygnałów 31, miernik częstotliwości 32 z możliwością regulacji w zakresie do  $10 \cdot 10^3$  Hz, zestaw do generacji drgań 16, czujnik drgań 17 i 34, wzmacniacze sygnałów 18 i 19 oraz zestaw do przetwarzania wyników pomiarów z komputerem 20. Pomiar natężenia przepływu przeprowadza się za pomocą zbiornika mierniczego 24,



Rys. 2. Eksperymentalna charakterystyka amplitudowo-fazowa serwo mechanizmu z rozdzielaczem o podwójnie pochylonych krawędziach sterujących. Zapas wzmocnienia -  $d = 4$  dB, zapas fazy -  $f = \pi/5$

który jest wyposażony w cztery fotodiody 23. Sygnały z fotodiody są wzmacniane we wzmacniaczu 25 i przetwarzane na odpowiednie impulsy, które sterują elektronicznym miernikiem czasu 26. Czynniki robocze ze zbiornika mierniczego jest kierowany do zbiornika 27. Stałą temperaturę czynnika roboczego  $328 \pm 2$  K) podczas pomiaru utrzymywał regulator temperatury 29. Pomiar temperatury podczas badań odbywał się w punktach (5,6,7,8 na rys. 1) instalacji hydraulicznej. Instalację hydrauliczną wyposażono w zawory odcinające (35,36,37) oraz w zawór zwrotny 15. Miejsca pomiarowe ciśnień (9,10,11,12) rozmieszczono w instalacji hydraulicznej zgodnie z zaleceniami międzynarodowych norm ISO [6].

#### Badania przebiegów harmonicznych w układzie rozdzielacza o podwójnie pochylonych krawędziach sterujących

Pomiary przebiegów w stanach przejściowych przeprowadzono po odpowiedniej nastawie zaworu bezpieczeństwa 2, odpowietrzeniu układu i ustaleniu temperatury czynnika roboczego w zbiorniku na poziomie  $328 \pm 2$  K. Przed rejestracją przebiegów przeprowadzono wzorcowanie czujników łącznie z aparaturą pomiarową oraz sprawdzono m.in.: powtarzalność wskazań przyrządów pomiarowych, działanie elementów i całego układu hydraulicznego.

Wywołując wymuszenia harmoniczne w rozdzielaczu 14 za pomocą generatora drgań 16 otrzymano:

$$x(t) = x_m(t) \sin(\omega t)$$

gdzie:

$x_m(t)$  – amplituda przemieszczeń suwaka rozdzielacza;

$\omega$  – pulsacja drgań suwaka ( $\omega$  – do  $800 \cdot s^{-1}$ ).

Sinusoidalne przebiegi przemieszczeń suwaka rozdzielacza wywołują przemieszczenia tłoka siłownika o zależności

$$Y(t) = Y_{\max}(t) [(\omega t) + \phi] \quad (2)$$

gdzie:

$\phi$  – przesunięcie fazowe,

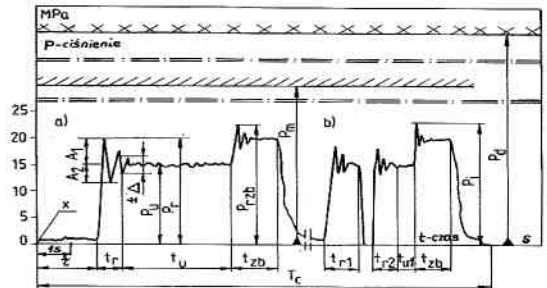
$Y_{\max}(t)$  – amplituda maksymalna przemieszczenia tłoka.

Przebiegi harmoniczne sygnału wejściowego wymuszano za pomocą generatora drgań 33 i sprawdza na oscyloskopie kontrolnym 30 (rys. 1). Przebiegi przemieszczeń suwaka rozdzielacza 14 i odpowiedzi w postaci przemieszczeń tłoka

siłownika 21 po wzmocnieniu i przesłaniu do komputera 20 wyznaczono dla rozdzielacza z przekryciem ujemnym  $0,1 \times 10^{-3}$  m i dla podwójnych pochyłeń krawędzi sterującej  $\pi/7,2$  i  $\pi/2,61$  przy wymuszeniu suwaka wynoszącym  $0,5 \times 10^{-4}$  m. Wyznaczając amplitudy sygnałów wejściowych i wyjściowych przy różnych częstotliwościach – od najmniejszych aż do największych możliwych do przeniesienia przez układ – wyznaczono charakterystyki częstotliwościowe dla serwo mechanizmu.

Ważniejsze wymiary i współczynniki mechanizmu przyjmują wartości: średnica suwaka rozdzielacza –  $56 \times 10^{-3}$  m, średnica tłoka siłownika –  $80 \times 10^{-3}$  m, masa zredukowana na oś tłoka –  $3 \times 10^2$  kg. Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę amplitudowo-fazową układu. Z kryterium Nyquista wynika, że układ jest stabilny, zapas fazy wynosi  $\pi/5$ , a wzmocnienia 4 dB.

Na rys. 3 przedstawiono charakterystykę czasową przebiegu ciśnienia w stanie ustalonym i przejściowym, podczas rozruchu, ruchu ustalonego i otwarcia zaworu bezpieczeństwa. Przy tej



Rys. 3. Oscylogram przebiegów przejściowych w cyklu pomiarowym ciśnienia w funkcji czasu: a) praca ciągła; b) praca przerywana;  $t$  – czas opóźnienia,  $t_r$ ,  $t_u$  – przedziały czasów podczas rozruchu, ruchu ustalonego, otwarcia zaworu bezpieczeństwa.  $t_c$  – czas cyklu pracy mechanizmu  $t_{r1}$ ,  $t_{r2}$ ,  $t_{u1}$  – przedziały czasów podczas kolejnych rozruchów i ruchu ustalonego,  $P_r$ ,  $P_u$ ,  $P_{zb}$  – wartości ciśnienia podczas rozruchu, ruchu ustalonego i otwarcia zaworu bezpieczeństwa,  $P_i$  – maksymalny impuls ciśnienia w cyklu pomiarowym,  $P_m$  – maksymalne ciśnienie podczas prób ( $P_m = 1,5 P_n$ ),  $P_d$  – ciśnienie niszczące (m.in. przewód  $P_d = (3-5)$ ;  $P_n$  – ciśnienie nominalne).

próbie maksymalny impuls ciśnienia przekroczył nastawę zaworu bezpieczeństwa, lecz nie przekroczył dopuszczalnej wartości ciśnienia  $P_m$ .

#### Podsumowanie

Przedstawiony model stanowiska pozwala na wyznaczenie metodami eksperymentalnymi maksymalnych impulsów ciśnień w stanach przejściowych oraz zapas fazy i wzmocnienia w badanym serwo mechanizmie. Zapas fazy przyjmuje wartość  $\pi/5$ , a wzmocnienia 4 dB, a więc układ jest stabilny, ponieważ jest zawarty w granicach od  $\pi/6$  do  $\pi/3$  (zapasu fazy) i wzmocnienia od 2 do 15 dB [1-5]. Nieprzekroczenie dopuszczalnych maksymalnych wartości impulsów w serwo mechanizmie (maksymalne impulsy mogą prowadzić do zniszczenia elementów i instalacji hydraulicznej) oraz odpowiedni zapas fazy i amplitudy stanowią podstawę poprawnej pracy mechanizmów maszyn, urządzeń, manipulatorów i robotów przemysłowych.

#### LITERATURA

- [1] E. Palczak: Wpływ wzmocnienia rozdzielacza suwakowego na stabilność mechanizmu kierowniczego kopalnianej ładowarki przegubowej. *Archiwum Budowy Maszyn* Warszawa 1978, tom XXV, z. 4.
- [2] E. Palczak: Badania modelowe hydraulicznego układu kierowniczego. *Przegląd Mechaniczny* 1978, nr 19.
- [3] E. Palczak: Eksperymentalne kryterium maksymalnego impulsu ciśnienia w hydraulicznym układzie napędowym. PAN, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*. Warszawa 1991, z. 1 (85).
- [4] E. Palczak: Eksperymentalne charakterystyki częstotliwościowe serwo mechanizmu z rozdzielaczem suwakowym o krawędziach sterujących  $\pi/4$ . *Pomiary Automatyka Kontrola* 1990, nr 1.
- [5] J. Gille, M. Pelegrin, P. Decaulne: Serwo mechanizmy. PWT, Warszawa 1969.
- [6] Hydraulic fluid power – Valves – Determination of pressure differential flow. ISO 4411 – 1986.