
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Klaudiusz KLARECKI, Edward BARBACHOWSKI*

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów
Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

* edward.barbachowski@polsl.pl

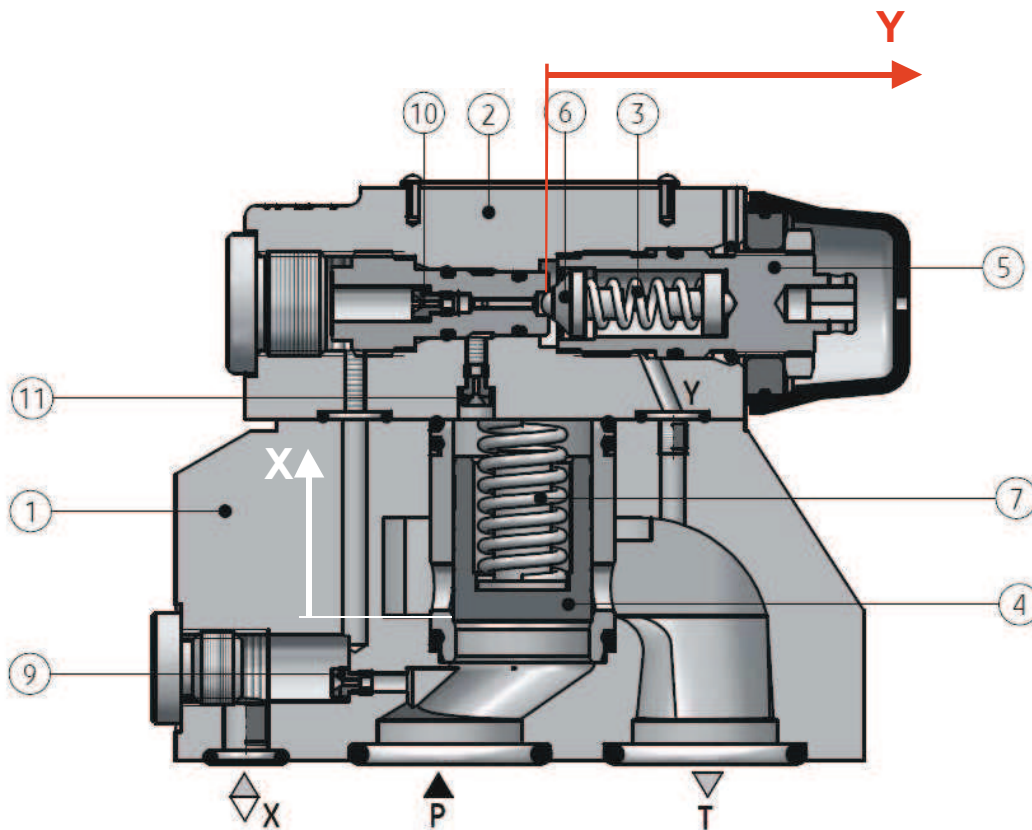
ANALIZA MODELOWA WŁASNOŚCI STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH ZAWORÓW HYDRAULICZNYCH

Streszczenie: Artykuł poświęcony jest problemowi modelowania zaworów hydraulicznych. Na przykładzie modelowania zaworu przelewowego opisano procedurę wyznaczania jego własności statycznych i dynamicznych. Modelowanie rozpoczyna się od wyznaczenia równań opisujących przepływy i ruch elementów ruchomych w zaworze. Następnie, na podstawie równań, tworzy się model numeryczny, np. w środowisku MATLAB/SIMULINK. Charakterystyki statyczne otrzymuje się w wyniku analizy modelowej dla powolnych zmian natężenia przepływu przez zawór. W celu określenia własności dynamicznych zaworu badane są odpowiedzi modelu na wymuszenie skokiem jednostkowym (np. przepływu). Wyniki badań modelowych mogą być wykorzystane w optymalizacji konstrukcji zaworów hydraulicznych.

1. Wprowadzenie

Zadaniem zaworów hydraulicznych jest nastawianie zadanych wartości wielkości hydraulicznych (natężenia przepływu, ciśnienia lub różnicy ciśnień) w układzie hydraulicznym lub jego części. Jest to realizowane poprzez odpowiednie dławienie strugi przepływającej przez zawór, samoczynnie (np. w zaworach sterujących ciśnieniem) lub nastawiane przez operatora (np. otwarcie zaworu dławiącego).

W artykule przedstawiono przebieg analizy modelowej, zrealizowanej dla przykładowego zaworu maksymalnego (sterującego wielkością ciśnienia w układzie). Postanowiono przyjąć do analizy uproszczony model dwustopniowego zaworu maksymalnego typu DB20. Na rys. 1 pokazano przekrój zaworu DB20. Uproszczenia polegały na pominięciu dyszy 10 i przyjęciu w dyszach 9 i 11 przepływu laminarnego. Dla tak zmodyfikowanego zaworu przyjęto wartości wymiarów, mas ruchomych grzybków 4 i 6 (powiększonych o 1/3 mas współpracujących z nimi sprężyn), sztywności sprężyn 3 i 7 oraz pozostałe, niezbędne do wyznaczenia współczynników zdeterminowanych równań opisujących zawór, wartości. Jako medium robocze przyjęto olej hydrauliczny o typowych własnościach.



Rys.1. Dwustopniowy zawór maksymalny typu DB20 [4]
 Fig.1. Pilot operated pressure relief valve type DB20 [4]

2. Model zaworu maksymalnego

W pierwszym etapie modelowania przyjęto następujące założenia:

- parametry modelu są skupione,
- gęstość i lepkość cieczy roboczej są stałe,
- spływ z zaworu odbywa się bez oporów.

Następnie przygotowano model matematyczny zaworu w postaci układu równań ruchu grzybków 4 i 6 oraz równań przepływów. Równania ruchu grzybka stopnia głównego i pilota przyjęto w postaci:

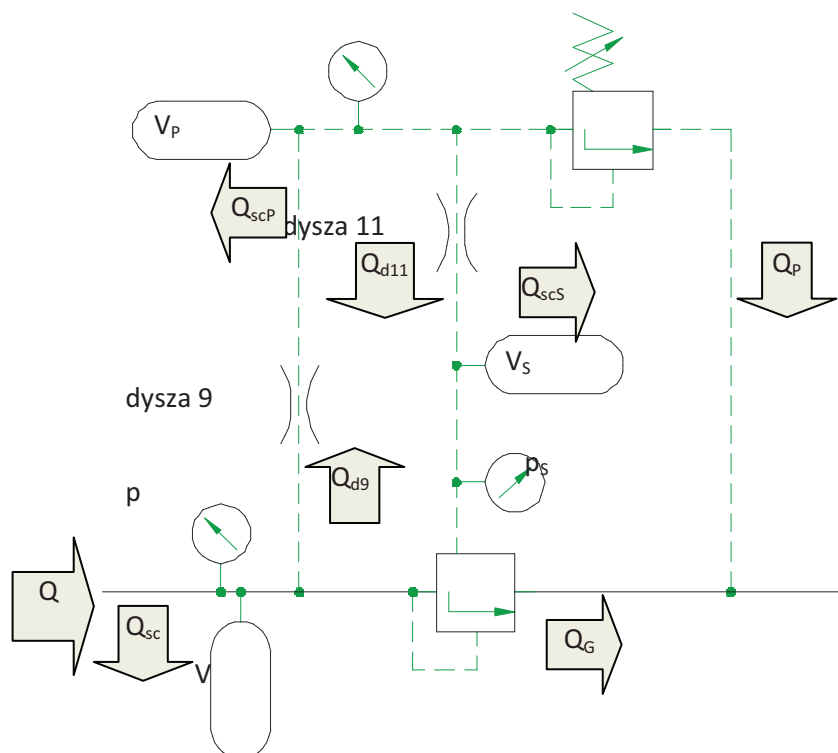
$$\begin{aligned} m_G \ddot{x} + k_x \dot{x} + T_x \text{sign} \dot{x} + c_x (x_0 + x) + p_S A_x + F_{HDG} &= p A_x \\ m_P \ddot{y} + k_y \dot{y} + T_y \text{sign} \dot{y} + c_y (y_0 + y) + F_{HDP} &= p_P A_x \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

- m_i - masa ruchoma grzybka (G – stopnia głównego, P – pilota),
- p_i - ciśnienie (bez indeksu – zasilania, S – na górnej stronie grzybka stopnia głównego, P – na pilocie),
- F_{HDi} - siła reakcji hydrodynamicznej (G – stopnia głównego, P – pilota),
- x_0, y_0 , - napięcia wstępne sprężyn 7 i 3 (rys. 1).

W równaniach (1) przyjęto uproszczony model tarcia bez uwzględniania efektu Stribecka. W zależności opisującej reakcje hydrodynamiczne, oddziaływujące na grzybki zaworu, uwzględniono nie tylko zmianę kierunku przepływu strugi, ale również przyspieszanie (opóźnianie) cieczy w kanałach grzybków.

Wartości ciśnień p , p_P i p_S wyznaczano z równań przepływów, pokazanych schematycznie na rys. 2 (na rysunku nie uwidoczniiono strumieni $Q_{dx/dt}$ i $Q_{dy/dt}$ wynikających z ruchu grzybków 4 i 6):



Rys.2. Schemat dwustopniowego zaworu maksymalnego z zaznaczonymi strumieniami przepływu
Fig.2. Schematic operated pressure relief valve of the selected fluid flows

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{B}{V_i} Q_{sc_i}$$

$$Q_{sc} = Q - Q_G - Q_{dx/dt} - Q_{d9} \quad (2)$$

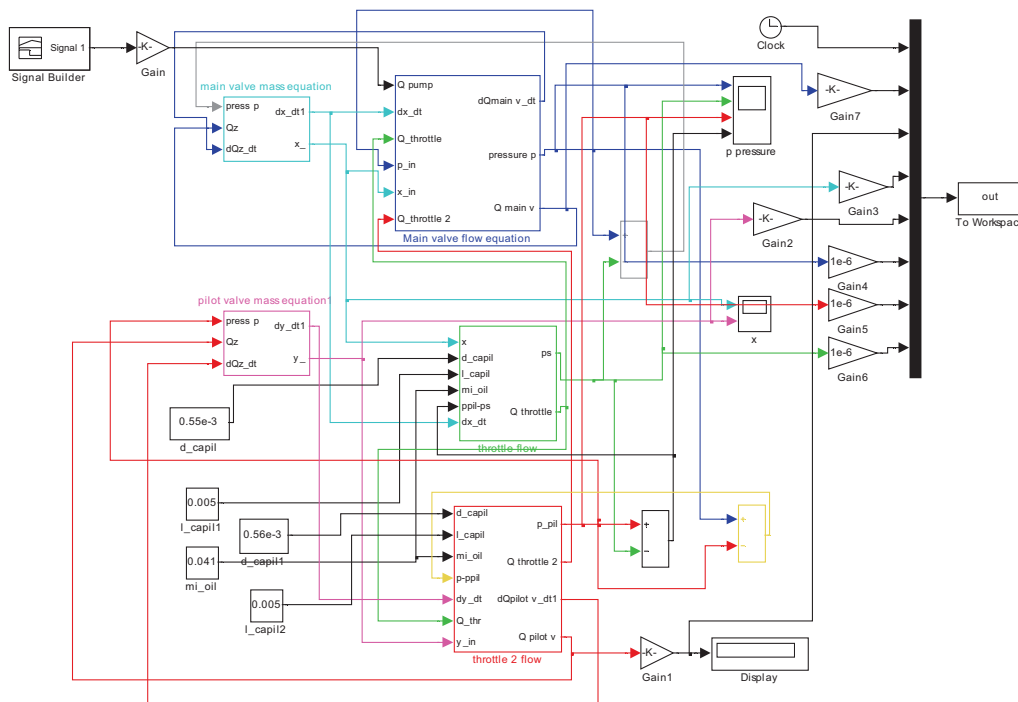
$$Q_{scP} = Q_{d9} - Q_P - Q_{dy/dt} - Q_{d11}$$

$$Q_{scS} = Q_{d11} + Q_{dx/dt}$$

Rozwiązania numeryczne układów równań (1) i (2) otrzymano poprzez zamodelowanie ich w środowisku MATLAB/SIMULINK. Symulację przeprowadzono dla następujących parametrów: krok całkowania od $1 \cdot 10^{-12}$ s do $1 \cdot 10^{-6}$ s, metoda całkowania Dormand-Prince.

Na rys. 3 pokazano postać modelu komputerowego przygotowanego w środowisku MATLAB/SIMULINK. W ramach badań przeprowadzono symulację dla wolnej zmiany zadanej wartości przepływu podawanego na zawór w celu określenia jego charakterystyki przepływowej oraz niemal skokową zmianę wejściowego natężenia przepływu od $60 \text{ dm}^3/\text{min}$

do 600 dm³/min, realizowaną rampą czasową o wartości 10 ms w celu oceny własności dynamicznych zaworu.



Rys.3. Model zaworu maksymalnego w środowisku MATLAB/SIMULINK
Fig.3. Model of pressure relief valve in MATLAB/SIMULINK environment

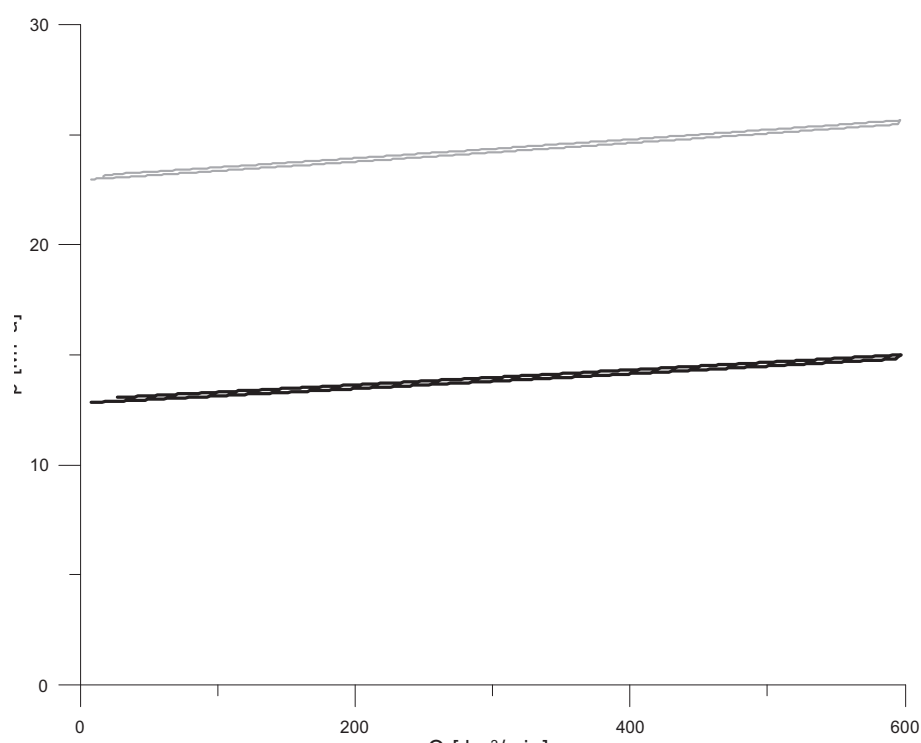
3. Wyniki symulacji numerycznych

Podstawą do oceny zaworu maksymalnego jest przebieg jego charakterystyki przepływowej. Na rys. 4 przedstawiono wyniki symulacji zrealizowanych dla powolnych zmian wejściowego natężenia przepływu dla dwóch nastaw ciśnienia na zaworze.

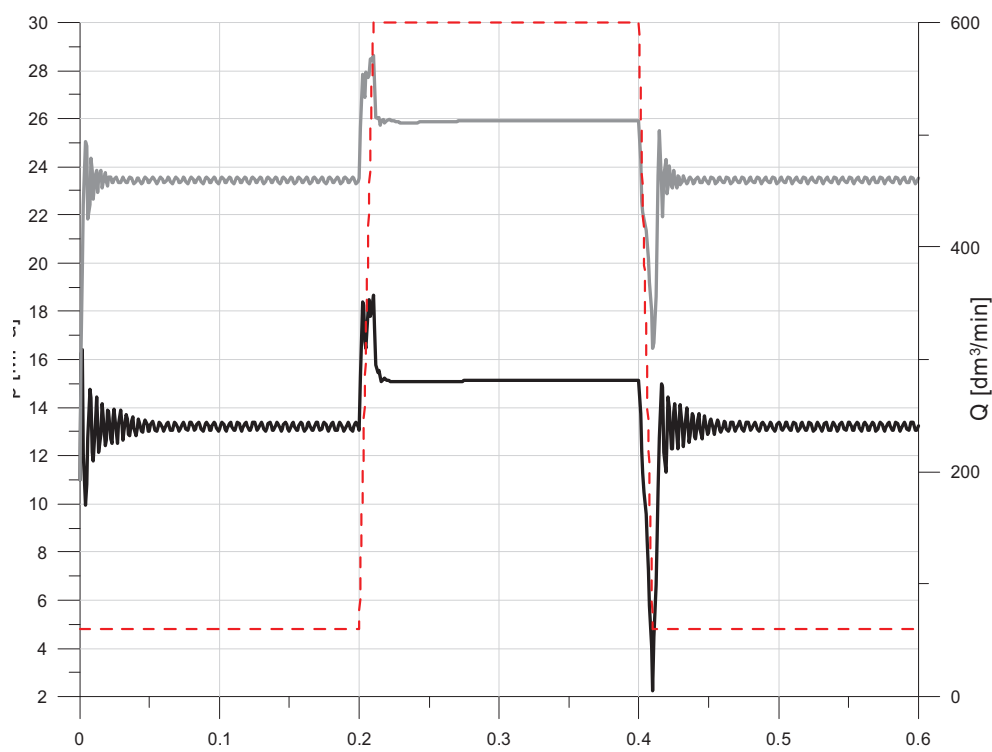
Otrzymane charakterystyki przepływowe są typowe, dominujący wpływ na ich przebieg mają: siły tarcia suchego na elementach ruchomych zaworu oraz sztywność sprężyny 7 na rys. 1. Odpowiednio modyfikując wartości wymienionych parametrów, wprowadzone do modelu, można kształtować pożądane zmiany charakterystyk statycznych zaworu.

Znacznie ciekawsze są odpowiedzi zaworu na skokową zmianę podawanego natężenia przepływu (rys. 5). Wyjaśnienia wymaga przyjęcie zmiany podawanego przepływu (linia kreskowa) nie jako skoku prostokątnego, a jako przebiegu trapezoidalnego. Przyjęto taką postać wymuszenia z uwagi na niemożność technicznej realizacji idealnego przebiegu prostokątnego wielkości przepływu. Wartość współczynnika przeregulowania ciśnienia przy wzroście natężenia przepływu, zdefiniowano jako:

$$K_p = \frac{P_{\max} - P_{ust}}{P_{ust}} \quad (3)$$



Rys.4. Charakterystyki przepływowe modelowanego zaworu
Fig.4. Flow curves of the modelled valve



Rys.5. Przebiegi ciśnień przy skokowej zmianie przepływu
Fig.5. Pressure response at the flow step function

gdzie:

κ_p - współczynnik przeregulowania ciśnienia,

p_{\max} - szczytowa wartość ciśnienia,

p_{ust} - wartość ciśnienia w stanie ustalonym.

Otrzymano odpowiednio:

- dla niskiej nastawy ciśnienia - $\kappa_p = 0,232$ (czas regulacji ciśnienia $T_R = 0,12$ s)
- dla wysokiej nastawy ciśnienia - $\kappa_p = 0,105$ (czas regulacji ciśnienia $T_R = 0,12$ s)

Ponadto zauważono, że dla niskiej wartości natężenia przepływu odpowiedź zaworu wskazuje na to, że może on być stabilny nieasymptotycznie (oscylacje ciśnienia o amplitudzie $\sim 0,12 \div 0,18$ MPa). Przy dużym przepływie zawór zachowuje się jak obiekt stabilny asymptotycznie.

4. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule sposób modelowania oraz analizy wyników symulacji numerycznych można wykorzystać np. przy projektowaniu zaworów hydraulicznych w celu zoptymalizowania ich konstrukcji z uwagi na takie cechy funkcjonalne jak: odpowiedni przebieg charakterystyki przepływowej, czas regulacji ciśnienia czy wartość współczynnika przeregulowania ciśnienia.

Literatura

1. Tomasiak E.: Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne. Gliwice: Wyd. Pol. Śl., 2001.
2. Stryczek S.: Napęd hydrostatyczny: elementy. Warszawa: WNT, 1990.
3. Klarecki K.: Badania modelowe modernizowanego dwudrogowego regulatora przepływu. „Napędy i Sterowanie” nr 5/2009, s. 118 - 121
4. <http://www.ponar-silesia.pl/var/files/750/pl/2938.pdf>

MODEL ANALYSIS OF STATIC AND DYNAMIC PROPERTIES OF HYDRAULIC VALVES

Summary: This paper is focused on model analysis of hydraulic valves. An example of model which determine static and dynamic properties of pressure relief valve was presented. In the first step a mathematical model of pressure relief valve, consisted of flow equations and equations of motion of globe, was prepared. In the next step the mathematical model was transformed into numerical one in MATLAB/SIMULINK environment. Static properties of the valve were obtained by numerical analysis for slow changes of flow rate through the valve. The analysis of dynamic properties was based on determining the valve response to a step function (e.g. flow rate). The results of model research can be used in the optimization of in the hydraulic valve design.