

Zenon JĘDRZYKIEWICZ, Andrzej PODSIADŁO, Jerzy STOJEK

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI, KATEDRA AUTOMATYZACJI PROCESÓW

Aproksymacja charakterystyki przesterowania rozdzielacza suwakowego w diagnostyce stanu jego uszkodzenia

Prof. dr hab. inż. Zenon JĘDRZYKIEWICZ

Jest autorem lub współautorem 2 monografii, 8 skryptów i podręczników akademickich oraz 18 patentów i wzorów użytkowych. Prowadzi autorskie wykłady z napędu i sterowania hydraulicznego, projektowania układów hydraulicznych oraz teorii sterowania. Pracuje w Katedrze Automatykacji Procesów na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH, gdzie pełni funkcję zastępcy kierownika Katedry.

e-mail: zenobi@agh.edu.pl



Dr inż. Jerzy STOJEK

W 1995 roku ukończył studia na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH ze specjalnością Automatyka i Metrologia. Główne zainteresowania naukowe dotyczą napędu i sterowania hydraulicznego. Jest autorem kilkunastu publikacji krajowych i zagranicznych. Pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Automatykacji Procesów AGH.

e-mail: stojek@imir.agh.edu.pl



Dr inż. Andrzej PODSIADŁO

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki Górniczej i Hutniczej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 1969r na specjalności automatyka i telemechanika. W 1974r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Główne zainteresowania dotyczą zagadnień sterowania i pomiarów w układach mechanicznych. Autor ponad 80 publikacji naukowych i kilkudziesięciu prac dla przemysłu. Pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Automatykacji Procesów WIMiR AGH.

e-mail: apod@uci.agh.edu.pl



Streszczenie

W artykule wykonano analizę możliwości wykorzystania aproksymacji modelem transmitancyjnym charakterystyki przesterowania rozdzielacza hydraulicznego, którą użyto do identyfikacji zaistniałego typu uszkodzenia tłoczka rozdzielacza. Wykonano zestaw tłoczków z zamodelowanymi uszkodzeniami, w które następnie wyposażono badany rozdzielacz. Opisano budowę stanowiska laboratoryjnego oraz przebieg badań. Wykorzystując pakiet Matlab/Simulink wyznaczono parametry modeli transmitancyjnych. Całość zakończono wnioskami.

Abstract

The article discusses possibility of use transfer function as approximation of spool valve control characteristic in fault diagnosis. In order to carry out experiments typical damage of hydraulic spool valve were prepared. The laboratory station and the method of research were talk over. By use Matlab/Simulink program the transfer function models were determined. Finally the results and conclusions were presented.

1. Wstęp

Określenie zdolności do pracy hydraulicznych rozdzielaczy suwakowych w warunkach eksploatacyjnych opiera się głównie na ocenie strat wolumetrycznych, które związane są ze zwiększonymi przeciekami, powstającymi na skutek zużycia ściernego i erozyjnego współpracujących elementów i suwaka.

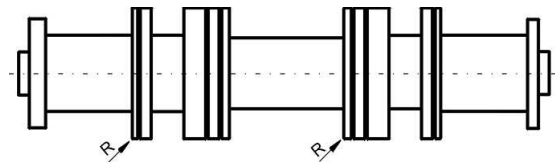
W artykule wykonano analizę możliwości wykorzystania aproksymacji modelem transmitancyjnym charakterystyki przesterowania rozdzielacza hydraulicznego, którą następnie użyto do identyfikacji zaistniałego typu uszkodzenia tłoczka rozdzielacza. Przed przystąpieniem do zasadniczych badań eksperymentalnych wykonano zestaw tłoczków z zamodelowanymi uszkodzeniami, w które następnie wyposażono badany rozdzielacz.

2. Rodzaje uszkodzeń

Uszkodzenia rozdzielaczy hydraulicznych dotyczą zarówno współpracujących części tulei i suwaka jak i elementów sterowania.

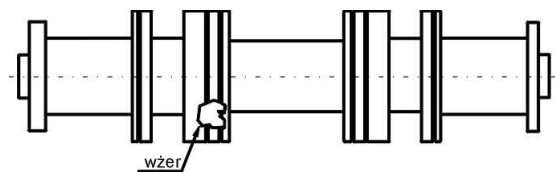
W przypadku rozdzielaczy typu 4WE6E (wykorzystywanych w badaniach), w których zmianę stanu pracy uzyskuje się za pomocą sygnału elektrycznego, uszkodzenia te dotyczą cewek (przepalenie) oraz sprężyn centrujących (pęknięcie) rozdzielaczy. Zużycia części współpracujących oprócz zacięć tłoczka w tulei dotyczą głównie zużycia ściernego i erozyjnego ich powierzchni.

Główną przyczynę zużycia ściernego elementów rozdzielaczy (rys. 1) stanowią stałe cząstki zanieczyszczeń z materiałów twardych o określonym kształcie i ostrych krawędziach (korund, zgorzelina, rdza, stal, mosiądz) powstające wewnątrz układu w procesie jego eksploatacji oraz przedostające się z zewnątrz np. na skutek nieodpowiedniego uszczelnienia zbiornika cieczy roboczej [2], a także pozostające po nieefektywnej filtracji cieczy.



Rys. 1. Zużycie ściernie krawędzi sterujących

Następnym typem uszkodzenia spotykanym w rozdzielaczach hydraulicznych jest powstałe w obszarze rowków hydrostatycznych erozyjne zużycie tłoczka rozdzielacza (rys. 2).



Rys. 2. Zużycie erozyjne rowków hydrostatycznych

Przyczyna tego uszkodzenia związana jest z pracą rozdzielacza pod wysokim ciśnieniem przy udziale dużej ilości stałych cząstek zanieczyszczeń w cieczy roboczej oraz dużej częstotliwości jego przesterowań.

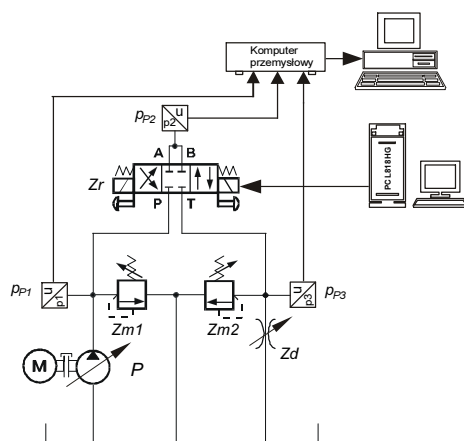
Przed przystąpieniem do zasadniczych badań eksperymentalnych w Katedrze Automatykacji Procesów AGH wykonany został zestaw tłoczków z najczęściej spotykanymi ich uszkodzeniami:

- zużyciem erozyjnym w obszarze rowków hydrostatycznych,
 - zużyciem ściernym krawędzi sterujących o promieniu R_a ,
 - zużyciem ściernym krawędzi sterujących o promieniu $R_b > R_a$,
 - zużyciem ściernym krawędzi sterujących o promieniu $R_c > R_b$.
- Dodatkowo badany rozdzielacz wyposażono w tłoczek bez uszkodzenia.

3. Stanowisko badawcze

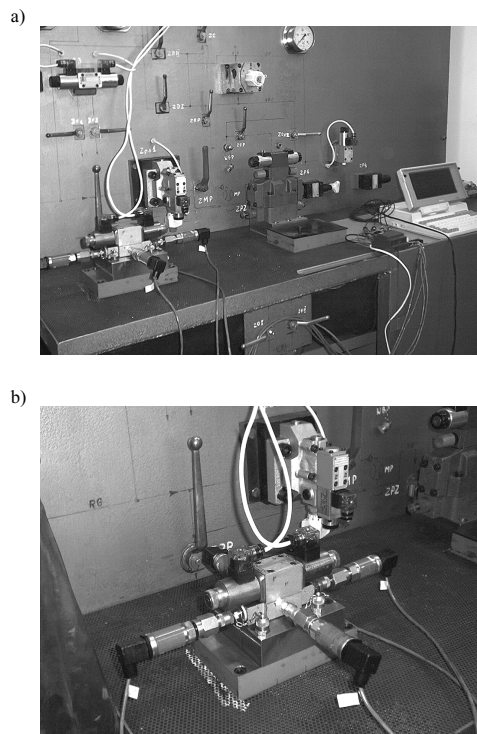
W celu określenia zaistniałego typu uszkodzenia zestawione zostało stanowisko badawcze. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 3, a jego najważniejsze elementy obejmowały:

- pompę wyporową P o nastawianej wydajności,
- zawory maksymalne $Zm1, Zm2$,
- badany rozdzielacz Zr ,
- zawór dławiący Zd ,
- zespół piezoelektrycznych przetworników ciśnienia p_{p1}, p_{p2}, p_{p3} ,
- komputer przemysłowy wyposażony w 16 bitowy przetwornik A/C,
- komputer PC z kartą pomiarową PCL 818HG.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego

Dokładny widok stanowiska badawczego wraz z widokiem modułu pomiarowego zamieszczono na rysunku 4.



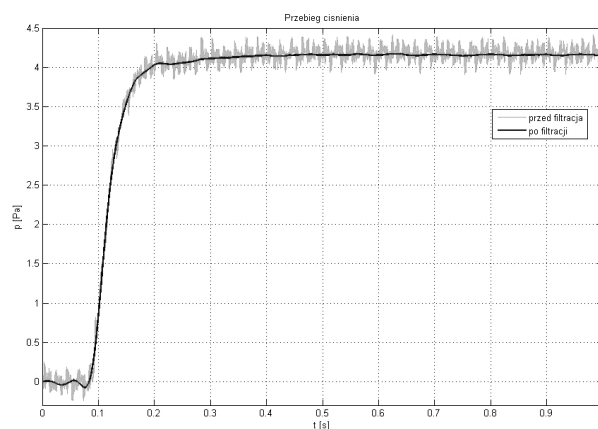
Rys. 4. Widok stanowiska badawczego (a) oraz jego modułu pomiarowego (b)

4. Przebieg badań

Po zamontowaniu na stanowisku badawczego rozdzielacza wyposażonego w tłoczek o znanym uszkodzeniu i zasilaniu układu z wielotłoczkowej pompy wyporowej P , na cewkę rozdzielacza

podawany był 24 woltowy sygnał przesterowujący, którego prostokątny kształt uzyskiwano na komputerze PC. Ciśnieniowe sygnały wyjściowe z piezoelektrycznych przetworników zamontowanych w przyłączach rozdzielacza (rys. 3) rejestrowane były z częstotliwością próbkowania $f = 5$ kHz na komputerze pomiarowym. Stanowisko dzięki zamontowanemu w gałęzi spłykowej zaworowi dławiacemu Zd , umożliwiało wytworzenie niewielkiej wartości nadciśnienia potrzebnej do zarejestrowania sygnału przez przetwornik. Przykładowy przebieg sygnału zarejestrowany na wyjściu układu pokazano na rysunku 5.

Przed przystąpieniem do analizy numerycznej oraz w celu wyeliminowania sygnałów zakłóceń, zarejestrowane przebiegi poddano filtracji w filtrze dolnoprzepustowym o częstotliwości odcięcia $fd = 20$ Hz (rys. 5).



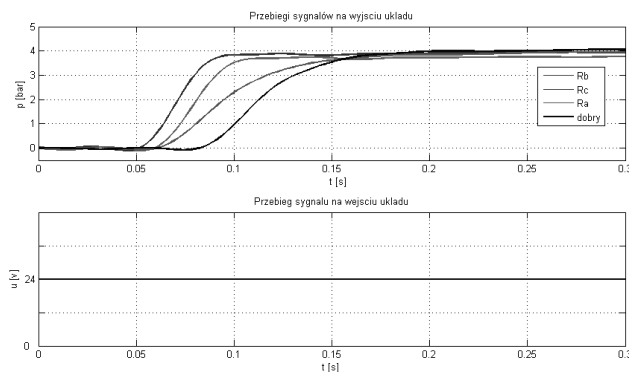
Rys. 5. Przebieg ciśnienia uzyskiwany na wyjściu układu przy skokowej zmianie napięcia sterującego cewką rozdzielacza

Ponieważ kształt przebiegu ciśnienia wyjściowego, będącego odpowiedzią rozdzielacza, na skokową zmianę napięcia sterującego jego cewką wykazuje cechy obiektu II rzędu z opóźnieniem [3], dlatego kształt tej odpowiedzi zdecydowano się aproksymować poniższym modelem:

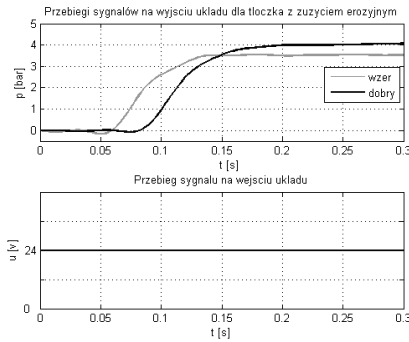
$$G(s) = \frac{p(s)}{u(s)} = \frac{k}{(1+T_1 \cdot s) \cdot (1+T_2 \cdot s)} \cdot e^{-\tau \cdot s} \quad (1)$$

gdzie: k – wzmacnienie układu,
 T_1, T_2 – stałe czasowe układu,
 τ – opóźnienie układu.

Wykorzystując pakiet Matlab\Simulink [4] dokonano identyfikacji poszukiwanych parametrów modelu (k, T_1, T_2, τ) dla każdego z zarejestrowanych przebiegów (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Przebiegi ciśnień na wyjściu rozdzielacza hydraulicznego otrzymane w wyniku skokowej zmiany napięcia na jego cewce dla ściernego typu uszkodzeń tłoczków



Rys. 7. Przebieg ciśnienia na wyjściu rozdzielacza hydraulicznego otrzymany w wyniku skokowej zmiany napięcia na jego cewce dla erozyjnego typu uszkodzenia tłoczka

Estymaty poszukiwanych parametrów modeli dla każdego z tłoczków z zamodelowanym uszkodzeniem wyliczone zostały za pomocą metody najmniejszych kwadratów i zestawione w tabeli 1.

Tabela 1

	k	T_1	T_2	τ
Tłoczek bez uszkodzenia	4.1016	0.0087024	0.027968	0.084384
Tłoczek z zużyciem ściernym krawędzi o promieniu R_a	4.019	0.007984	0.024058	0.06257
Tłoczek z zużyciem ściernym krawędzi o promieniu $R_b > R_a$	3.8148	0.010975	0.011041	0.06
Tłoczek z zużyciem ściernym krawędzi o promieniu $R_c > R_b$	3.9724	0.01077	0.008078	0.0545
Tłoczek z zużyciem erozyjnym w obszarze rowków hydrostat.	3.5534	0.0126	0.018939	0.05767

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Po przeanalizowaniu otrzymanych wyników badań oraz opierając się na zestawionych w tabeli 1 wartościach estymat parametrów modeli należy stwierdzić, że możliwe jest określenie zaistniałego typu uszkodzenia rozdzielacza suwakowego na podstawie aproksymacji jego charakterystyki przesterowania odpowiednio dobranym modelem transmitancyjnym. Porównując wartości estymat parametrów modelu otrzymanego dla rozdzielacza wyposażonego w tłoczek bez uszkodzenia z wartościami estymat parametrów modeli otrzymanych dla rozdzielacza wyposażonego w tłoczek o zadanym uszkodzeniu należy stwierdzić, że zaistniały typ uszkodzenia może zostać zidentyfikowany na podstawie analizy wartości dwóch parametrów rozpatrywanego modelu: stałej czasowej T_2 oraz czasu opóźnienia τ . Obserwacja zmiany wartości tych parametrów w czasie użytkowania elementów hydraulicznych o konstrukcji suwakowej może być pomocna przy planowaniu okresu ich bezawaryjnej pracy oraz pozwoli precyzyjnie przewidzieć termin ich wcześniejszej wymiany.

6. Literatura

- [1] Mańczak K., Nahorski Z. Komputerowa identyfikacja obiektów dynamicznych. PWN, Warszawa 1983,
- [2] Stryczek S. Napęd hydrostatyczny. WNT, Warszawa 1992,
- [3] Żelazny M. Podstawy automatyki. PWN, Warszawa 1976,
- [4] Simulink. User's Guide. The MathWorks, Inc., 1992.

Title: Approximation of directional spool valve control characteristic in fault diagnosis

Artykuł recenzowany

XVIIIth Joint Symposium

on Photonics and Web Engeneering

Electronics for Astronomy and High Energy Physics Experiments

Warsaw University of Technology Resort, WILGA, 29 May - 4 June 2006

Organizers

WUT - Faculty of Electronics and Information Technologies - Institute of Electronic Systems - PERG/ELHEP Laboratories; IEEE Student Branch - Warsaw University of Technology, DESY-LLRF Team

Sponsors

DESY-Hamburg-Germany, CERN-Geneva, IEEE-Poland Section, SPIE Poland Chapter, Committee of Electronics and Telecommunications - Polish Academy of Sciences, Polish Committee of Optoelectronics - Association of Polish Electrical Engineers, Inter-Association Committee of Electronics, Telecommunication and Information Technologies - Association of Polish Mechanical Engineers, IEEE SB WUT

Patronage Committee

Janusz A. Dobrowolski, Marian P. Kaźmierkowski, Jerzy Klamka, Józef Lubacz, Ryszard S. Romaniuk, Tomasz Woliński, Wiesław Woliński, Grzegorz Wrochna

<http://wilga.ise.pw.edu.pl> photonics@ise.pw.edu.pl