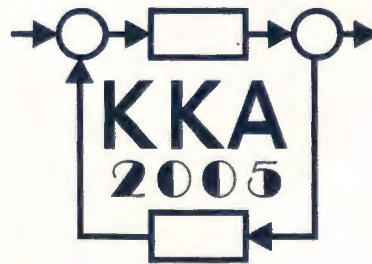


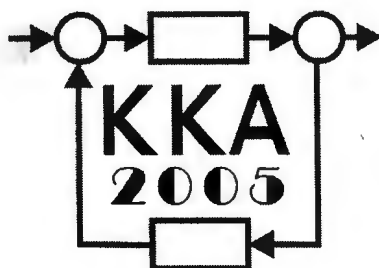
XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom II



**Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk**

XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom II



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓŁORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFczyk
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowci	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

APARATURA AUTOMATYKI

STEROWANIE ROZMYTE SERWONAPĘDU ELEKTROPNEUMATYCZNEGO

Jakub TAKOSOGLU*, Ryszard DINDORF**

* Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: qba@asystem.tu.kielce.pl

** Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: dindorf@eden.tu.kielce.pl

Streszczenie: W artykule zamieszczono wyniki badań eksperymentalnych serwonapędu elektropneumatycznego ze sterowaniem rozmytym. Przedstawiono stanowisko badawcze oraz oprogramowanie wykorzystane do szybkiego prototypowania i sterowania w czasie rzeczywistym serwonapędem elektropneumatycznym. Przeprowadzono badania z regulacją przestawną, nadążną oraz z kontrolą trajektorii ruchu. Do sterowania wykorzystano regulator rozmyty typu PD.

Słowa kluczowe: Serwonapęd elektropneumatyczny, sterowanie w czasie rzeczywistym, regulator rozmyty.

1. WPROWADZENIE

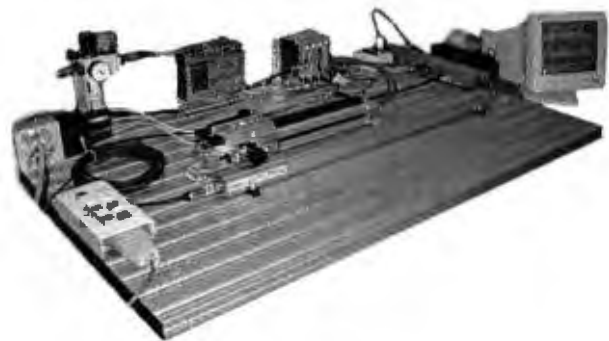
Manipulatory przemysłowe z napędami pneumatycznymi są stosowane w ograniczonym stopniu ze względu na małe dokładności pozycjonowania, podatnością na zakłócenia wewnętrzne i zewnętrzne i niestabilnością działania. Napędy pneumatyczne posiadają jednak zalety, dzięki którym mogą konkurować z układami elektromechanicznymi i elektrohydraulicznymi. Problemy związane z doбором parametrów i algorytmów regulacji narastają przy zmiennych warunkach pracy napędów pneumatycznych. Układ sterowania z logiką rozmytą daje możliwość poprawy dynamiki i dokładności pozycjonowania, eliminację wpływu zakłóceń. Pozwoli również na sterowanie manipulatorami elektropneumatycznymi do bardziej skomplikowanych zadań w pracy przemysłowej.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Widok stanowiska do badań nad sterowaniem rozmytym serwonapędem elektropneumatycznym przedstawiono na rys. 1. Stanowisko przedstawiono schematycznie na rys. 2. Zostało zbudowane z następujących elementów:

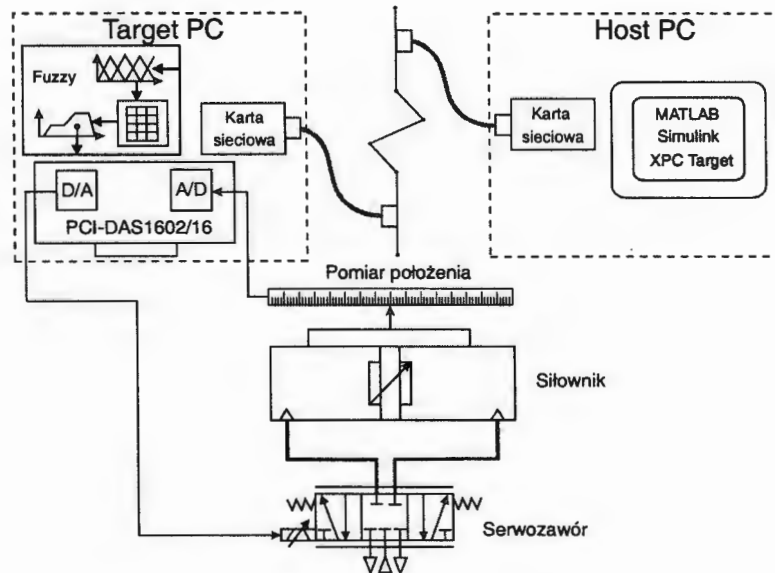
- siłownik bezłoczyskowy DGP-25-224 (długość 224 mm, średnica tłoka 25 mm)

- zawór proporcjonalny MPYE-5-1/8-HF-010-B (sterowany napięciowo 0-10V)
- pomiar położenia (wyjście 0-10V)
- karta pomiarowa AD/DA PCI-DAS 1602/16
- komputery klasy PC (*Host i Target*)

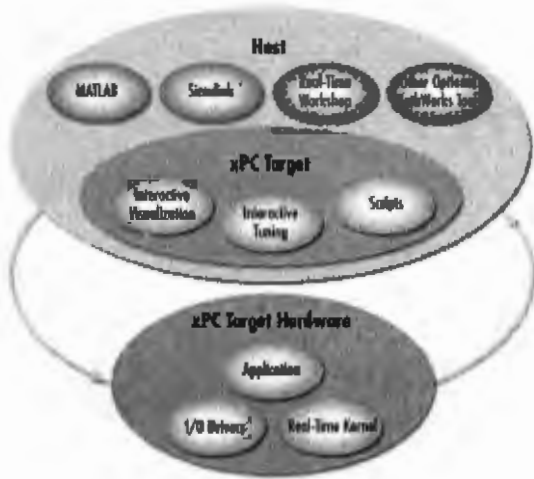


Rys. 1. Stanowisko badawcze.

W komputerze oznaczonym na rys. 2 jako *Host* zainstalowano oprogramowanie *MATLAB* z przybornikiem *Simulink* oraz *xPC Target* służący do szybkiego prototypowania i sterowania w czasie rzeczywistym. Komputer *Target* posiada zainstalowaną kartę pomiarową oraz system *Real-Time xPC Target*, który komunikuje się i steruje serwonapędem elektropneumatycznym. Komputery *Host i Target* komunikują się za pomocą protokołu TCP/IP. Schemat działania aplikacji *xPC Target* i komunikacji między komputerami *Host i Target* przedstawiono na rys. 3.



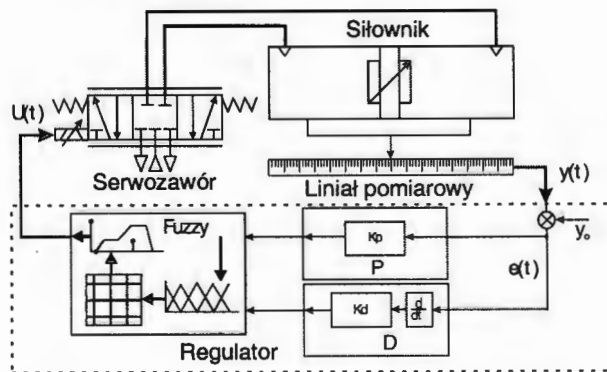
Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego.



Rys. 3. Schemat połączenia Host ↔ Target.

3. REGULATOR ROZMYTY

Do sterowania serwonapędu elektropneumatycznego zaproponowano regulator FLC (Fuzzy Logic Controller) typu PD o dwóch wejściach $e(t)$ (uchyb) i $\Delta e(t)$ (zmiana uchybu) oraz jednym wyjściu $u(t)$ (napiecie na cewce zaworu) rys. 4.



Rys. 4. Sposób realizacji regulatora FLC typu PD.

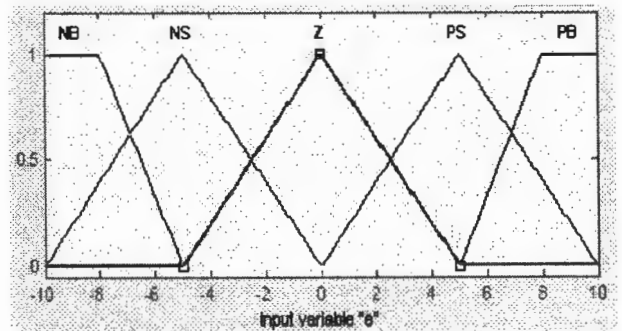
Regulator FLC opisuje zbieżność między zmianą sterowania $\Delta u(k)=u(k)-u(k-1)$ z jednej strony i uchybem $e(k)$ oraz jego zmianą $\Delta e(k)=e(k)-e(k-1)$ z drugiej strony. Takie prawo sterowania można zapisać jako:

$$\Delta u(k)=F(e(k), \Delta e(k)) \quad (1)$$

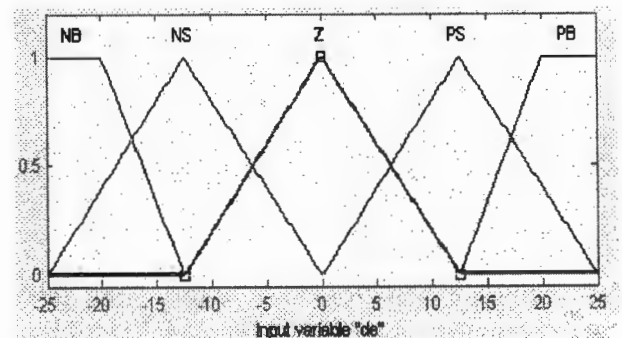
Rzeczywiste wyjście regulatora $u(k)$ otrzymuje się z poprzedniej wartości sterowania $u(k-1)$ i jej aktualizacji przez $\Delta u(k)$: [2]

$$u(k)=u(k-1)+ \Delta u(k) \quad (2)$$

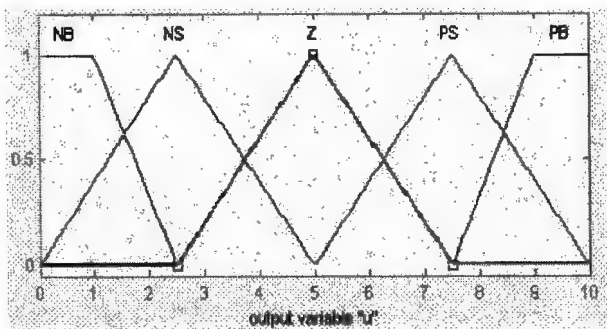
Sygnały wejściowe i wyjściowe regulatora poddano procesowi rozmywania z rozmieszczeniem zbiorów rozmytych typu trójkąt i trapez o funkcjach przynależności jak na rys. 5, 6 i 7.



Rys. 5. Rozmywanie wejścia $e(t)$.



Rys. 6. Rozmywanie wejścia $\Delta e(t)$.



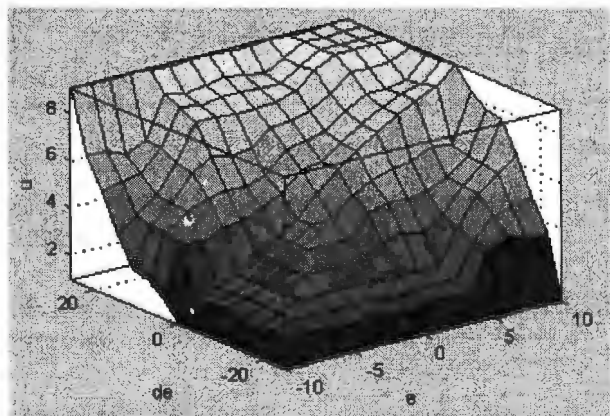
Rys. 7. Rozmywanie wyjścia $u(t)$.

Bazę reguł regulatora rozmytego stanowi 25 reguł opisanych w tablicy decyzyjnej tab. 1.

Tabela 1. Tablica decyzyjna

$\Delta e/e$	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	PB
NS	NB	SN	NS	PS	PB
Z	NB	SN	Z	PS	PB
PS	NB	NS	PS	PB	PB
PB	NB	PS	PB	PB	PB

Na rys. 8 przedstawiona została powierzchnia przetwarzania zbudowanego regulatora FLC. W procesie przetwarzania rozmytego zastosowano wyznaczanie poziomu zapłonu typu *min*, implikacji rozmytej typu *min* oraz agregacji poszczególnych wyjść reguły typu *max*. W celu uzyskania ostrej wartości wyjścia zastosowano metodę środka obszaru COA (*Center of Area*).[3, 4]



Rys. 8. Powierzchnia przetwarzania regulatora.

4. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Przeprowadzono badania z regulacją przestawną, nadążną oraz z kontrolą trajektorii ruchu siłownika pneumatycznego.

4.1. Wskaźniki jakości

W celu sprawdzenia jakości sterowania serwonapędem elektropneumatycznym dokonano zadania po-

lioptymalizacji i przyjęto następujące wskaźniki jakości:

- czas regulacji T_R
 - przeregulowanie δ_p
- $$\delta_p = \frac{y_m - y_0}{y_0} \cdot 100\% \quad (3)$$

- błąd statyczny (uchyb) e
- $$e_{st} = |y(t) - y_0| \quad (4)$$

- zmodyfikowane kryterium Sartoriusa IAE (*Integral of absolute error*)

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (5)$$

- całka z kwadratu błędu regulacji ISE (*Integral of square error*)

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (6)$$

- całka z iloczynu czasu i błędu regulacji ITAE (*Integral of time and absolute error*)

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt \quad (7)$$

- całka z iloczynu czasu i kwadratu błędu regulacji ITSE (*Integral of time and square error*)

$$ITSE = \int_0^{\infty} te^2(t) dt \quad (8)$$

Dodatkowo dla regulacji nadążnej wprowadzono kryteria:

- bezwzględna odchyłka nadążania sygnału położenia

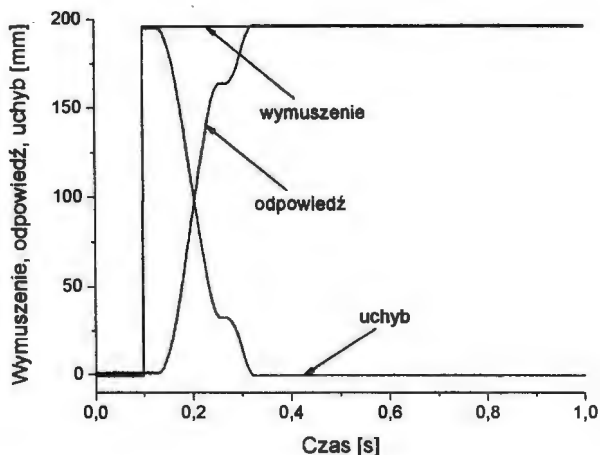
$$e_s = \frac{\sum_{i=1}^N |s_0[i] - s[i]|}{N} \quad (9)$$

gdzie:

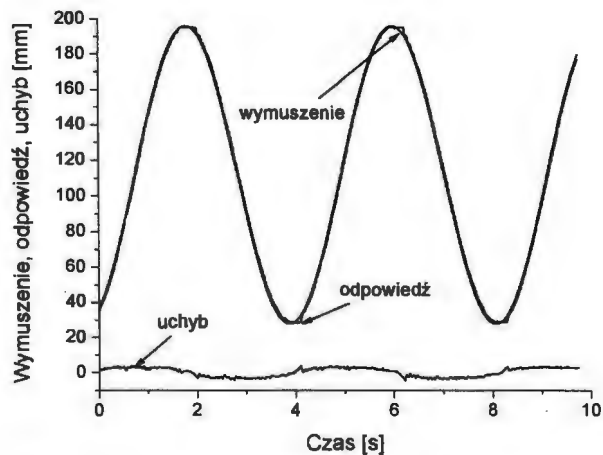
- N – ilość punktów pomiaru
- bezwzględna odchyłka nadążania sygnału prędkości[5] [6]

4.2. Wnioski z badań eksperymentalnych

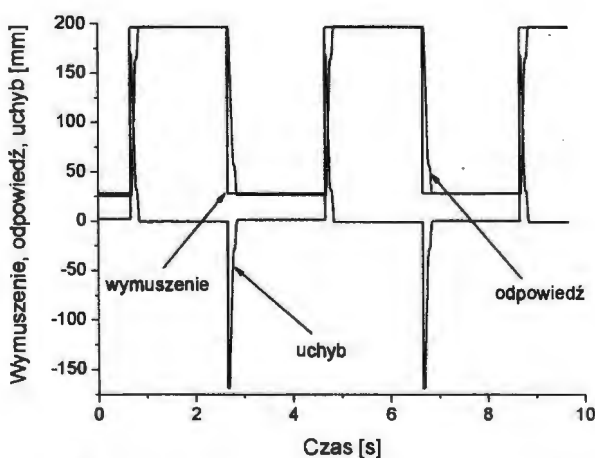
Przeprowadzono badania z regulacją przestawną, nadążną oraz z kontrolą zadanej trajektorii ruchu. Przykładowe przebiegi procesu regulacji serwonapędu elektropneumatycznego przy użyciu regulatora rozmytego przedstawiają rys. 9-12.



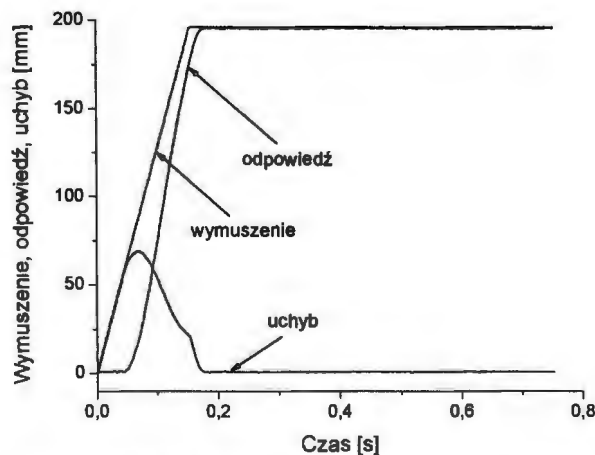
Rys. 9. Przebieg procesu regulacji przestawnej dla wymuszenia skokowego 0-224 mm.



Rys. 12. Przebieg procesu regulacji z zadaną trajekcją typu sinusoidalnego



Rys. 10. Przebieg procesu regulacji przestawnej dla wymuszenia skokowego 0-224-0-224 mm.



Rys. 11. Przebieg procesu regulacji nadążnej. Wymuszenie 0-224 mm z prędkością 112 mm/s.

W tabeli 2 zebrano obliczone wskaźniki jakości regulacji dla przedstawionych badań eksperymentalnych.

Tabela 2. Wskaźniki jakości

T_R [s]	δ_P [%]	IAE	ISE	ITAE	ITSE	e_s [mm]
Regulacja przestawna 0-224 mm						
0,7	0	26,51	4084	3,265	200,5	-
Regulacja przestawna 0-224-0-224 mm						
-	0	73,53	9799	150,2	1,9e4	-
Regulacja nadążna						
2,4	0	10,65	51,55	13,35	58,92	2,802
Regulacja z kontrolą trajektorii ruchu						
-	0	38,24	435,1	75,6	885,9	10,06

Literatura

- [1] Olszewski M. (2002) *Sterowanie pozycyjne pneumatycznego napędu siłownikowego*. OW Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [2] D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank, (1996) *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*. WNT, Warszawa.
- [3] Takosoglu J., Gawor T., Łaski P. (2004) Manipulator elektropneumatyczny typu tripod ze sterowaniem logiką rozmytą. *Pneumatyka* 3, 8-11
- [4] Takosoglu J., Dindorf R. (2004) *Sterowanie serwonapędem elektropneumatycznym za pomocą regulatora rozmytego typu PD*. Projektowanie mechatroniczne. Zagadnienia wybrane, Kraków.
- [5] Piegat A. (1995) *Wprowadzenie do automatyki*. Szczecin.
- [6] Kosmol J. (1998) *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*. WNT, Warszawa.



Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4