

Dorota CZAJA-POŚPIECH

Ernest CZOGALA

Witold PEDRYCZ

REGULATORY DDC A REGULATORY ROZMYTE
W STEROWANIU PROCESAMI PRZEMYSŁOWYMI

Streszczenie. W pracy przedstawiono koncepcję sterowania rozmytego opartą o logikę wielowartościową oraz dokonano porównania tego sterowania ze sterowaniem DDC, korzystając z wyników symulacji cyfrowej.

1. Wstęp

Problem sterowania nieodłącznie związany jest ze znajomością (budową) modelu matematycznego opisującego rzeczywisty obiekt. Często jednak, co jest charakterystyczne w praktyce przemysłowej, trudno podać model, który w sposób adekwatny odzwierciedlałby istniejące realia - w rezultacie rozwiązane zostaje zadanie sterowania równaniem (jego rozwiązaniem) a nie obiektem. W tych przypadkach, gdy znalezienie modelu nie jest możliwe, należy wykorzystać wiedzę operatora dotyczącą danego procesu, zawartą w opisie słownym, z konieczności nie operującym wartościami liczbowymi ale zmiennymi lingwistycznymi [2] i w związku z tym wymagającym innego aparatu pojęciowego w celu jego formalizacji. Można tego dokonać, wykorzystując teorię logiki wielowartościowej, szczególnie takie pojęcia jak złożeniową regułę wnioskowania czy też wielokrotną implikację rozmytą [2, 3]. Celem niniejszej pracy jest porównanie metody sterowania opartej o prawa logiki wielowartościowej (sterowania rozmytego) i sterowania bazującego na modelu matematycznym.

2. Algorytmy sterowania rozmytego i opartego na znajomości modelu matematycznego procesu

W celu porównania metody sterowania rozmytego ze sterowaniem opartym na znajomości modelu matematycznego procesu dla sterowania rozmytego przyjęto algorytm przedstawiony w pracy [1].

Algorytm ten można zapisać wzorem

$$\mu_{B'(i,j,\dots,k)}(v) = \mu_{B(i,j,\dots,k)}(v)$$

gdzie:

$B(i,j,\dots,k)$ - jest następnikiem wielokrotnej implikacji rozmytej (zbiorem rozmytym przestrzeni V),

$B'(i,j,\dots,k)$ - jest zbiorem rozmytym będącym wyjściem układu podejmującego decyzje w oparciu o odpowiednio zadane wejściowe zbiory rozmyte $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n$ oraz złożeniową regułę wnioskowania.

W przypadku strategii sterowania rozmytego, składającej się ze skończonego zbioru reguł, sterowanie wyznaczone jest w sposób jednoznaczny jako v_0 i uzyskiwane jak poniżej:

$$\mu_{B'}(v_0) = \max_v \max_{i,j,\dots,k} \mu_{B(i,j,\dots,k)}(v)$$

Przedstawiony algorytm zastosowano do sterowania procesem (obiektem) opisanym następującym liniowym równaniem różniczkowym

$$T \dot{y}(t) + y(t) = q(t-\tau), \quad y(0) = 0$$

stosowanym często w opisie rzeczywistych procesów przemysłowych.

Również dla tego typu obiektów, w celu porównania wyników sterowania, zastosowano układ regulacji konwencjonalnej (DDC). Celem obydwu rodzajów sterowania jest stabilizacja wielkości wyjściowej na zadanym poziomie.

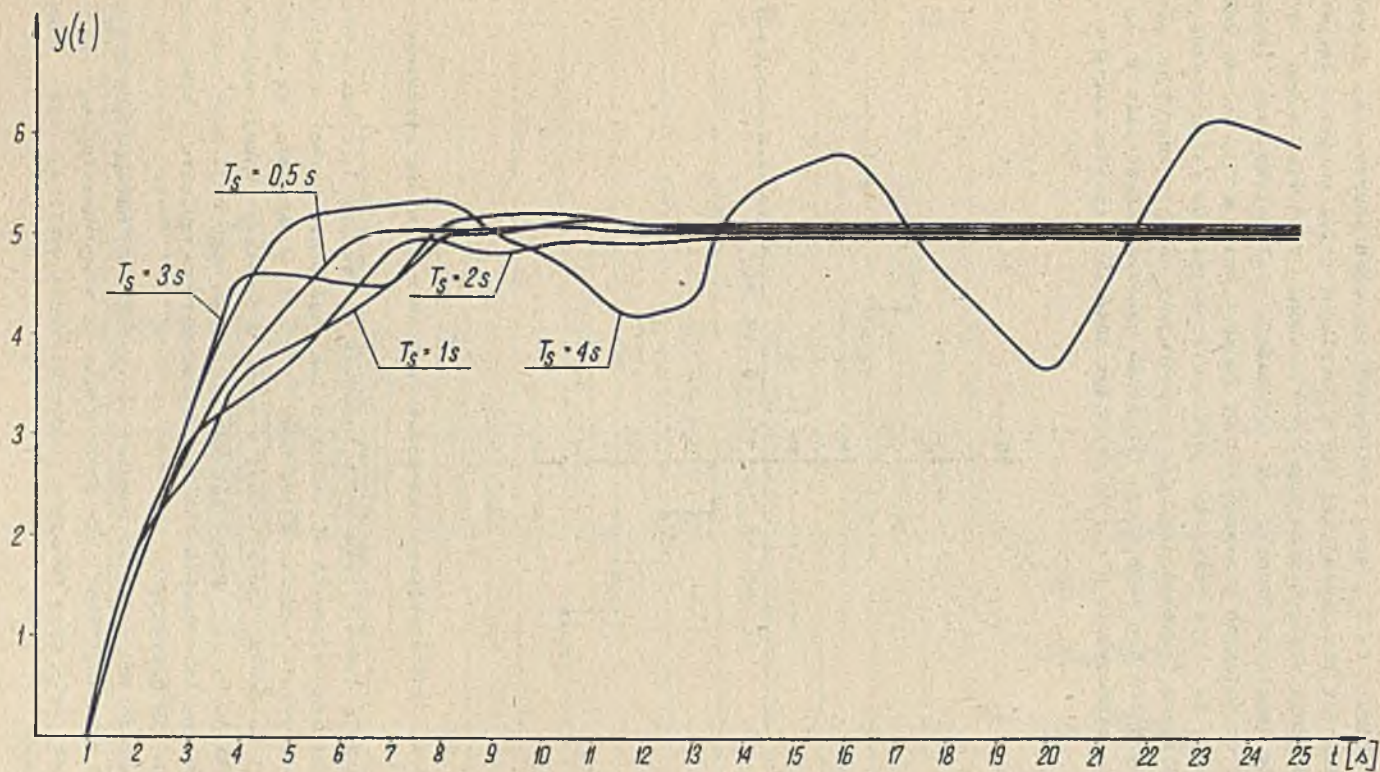
Porównanie jakości regulacji dla obu rodzajów sterowania zostanie przeprowadzone pod kątem przebiegów sterowania jak i uzyskiwanej dokładności stabilizacji wielkości wyjściowej.

Wyniki sterowań uzyskano na drodze symulacji cyfrowej i w następnym punkcie dokonano ich porównania.

3. Wyniki symulacji cyfrowej i ich dyskusja

Przeprowadzona symulacja na maszynie cyfrowej i uzyskane wyniki mają na celu zilustrowanie jakości przebiegu regulacji opartej na regulatorze rozmytym i regulacji konwencjonalnej oraz dokonanie porównania obu rodzajów sterowania.

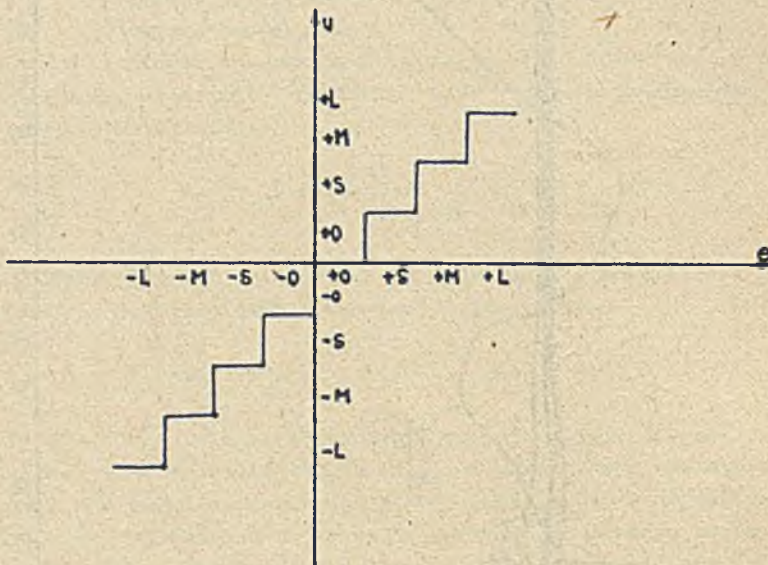
Rysunek 1 przedstawia wyniki sterowania rozmytego dla różnych okresów sterowania T_s (tj. odcinków czasowych pomiędzy podejmowaniem kolejnych decyzji). Wynika z niego silna zależność jakości stabilizacji wielkości wyj-



Rys. 1. Przebieg czasowy wielkości wyjściowej dla $T = 5$ [s], $\tau = 1$ [s] przy zmiennym okresie sterowania

ściowej obiektu od T_g , przy zbyt dużych okresach sterowania, prowadząc do niestabilności przejawiającej się w oscylacji wokół wartości zadanej.

Zagadnienia występowania drgań w sterowaniu rozmytym można wyjaśnić, traktując regulator rozmyty jako przekaźnik wielopołożeniowy (rys. 2) i stosując do dalszych rozważań metodę funkcji opisującej. Należy zdawać sobie sprawę, że takie podejście jest wystarczające do celów zastosowań, jako przybliżone (szczególnie, gdy rozpatrujemy obiekty inercyjne pierwszego rzędu, które nie zapewniają tłumienia wyższych częstotliwości), pozwalające na oszacowanie a nie na dokładne podanie częstości drgań w układzie.

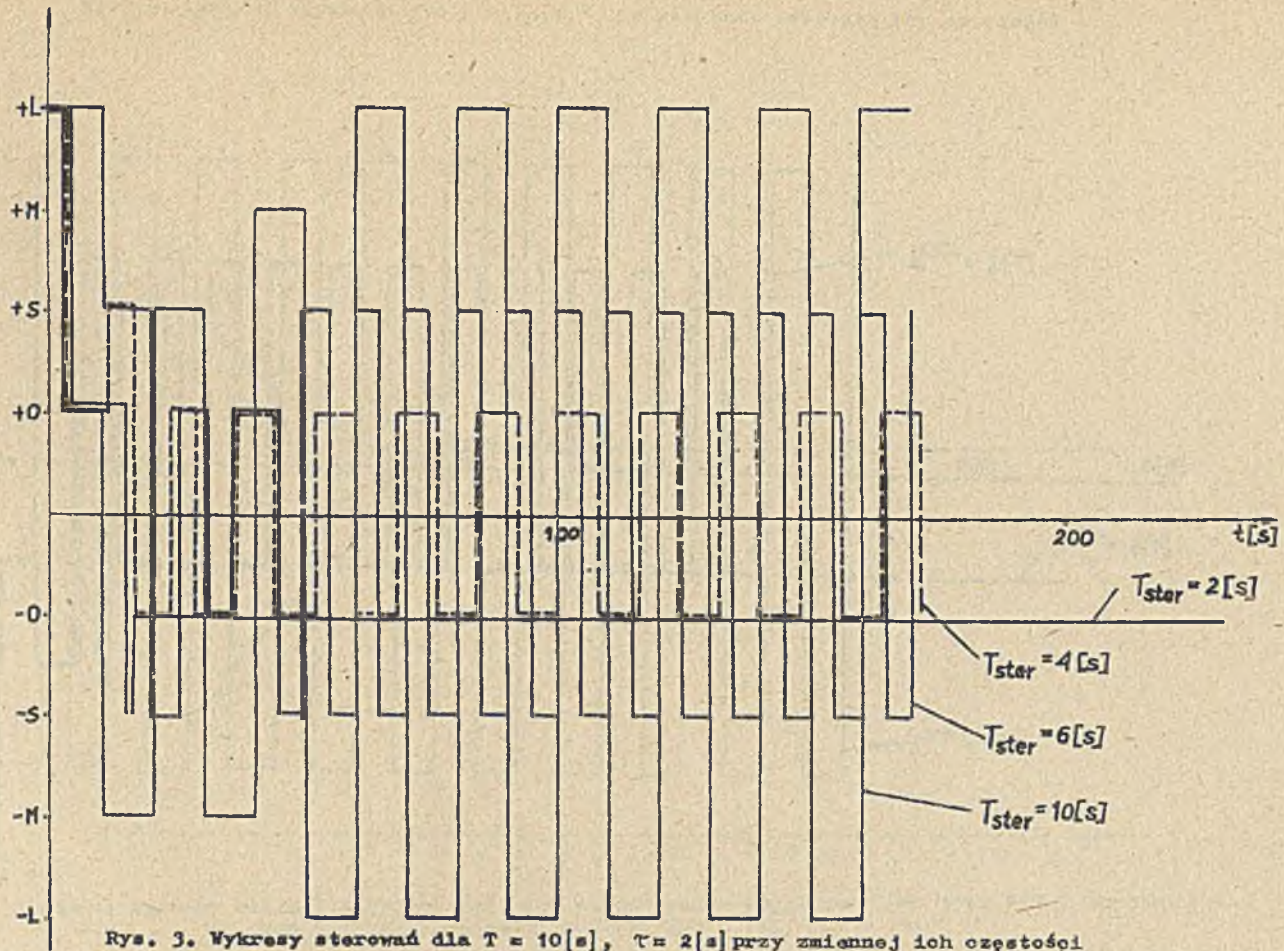


Rys. 2. Charakterystyka przekaźnikowa regulatora rozmytego

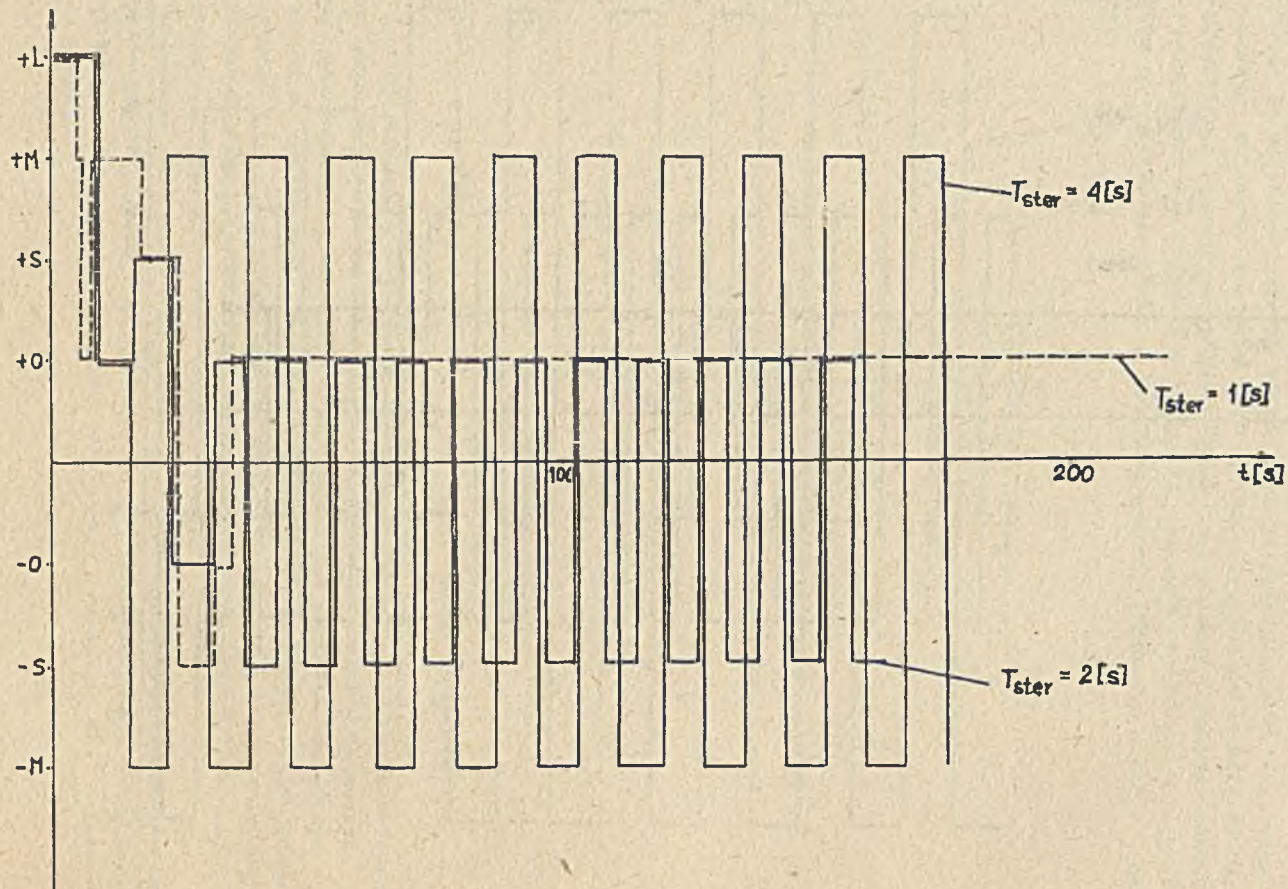
Ilustracją drgań w rozważanym układzie są rysunki 3, 4 gdzie przedstawiono przebiegi sterowań dla różnych ich częstości. Warto zaznaczyć, że okresy sterowania, zapewniające brak oscylacji w układzie, są zgodne z uzyskanymi na drodze teoretycznej w oparciu o metodę funkcji opisującej.

Rysunki 5, 6, 7, 8 przedstawiają przebiegi regulacji przy zastosowaniu cyfrowych regulatorów PID i PI w zastosowaniu do obiektu o tych samych parametrach jak powyżej.

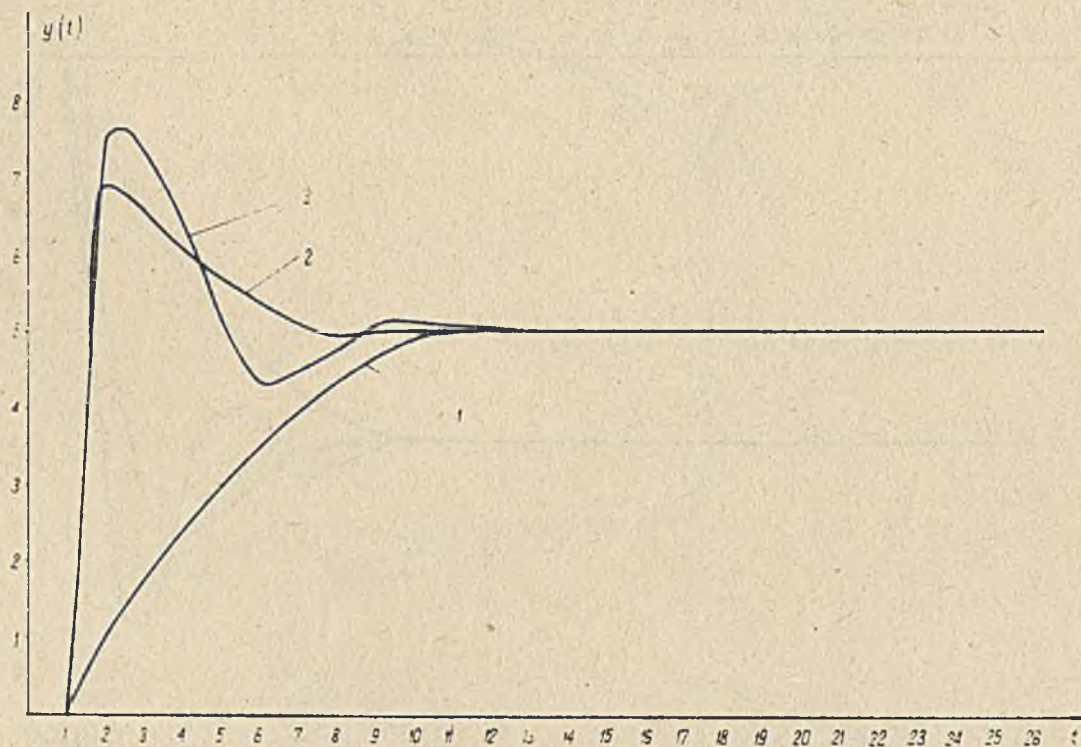
Porównanie obu rodzajów regulatorów pozwala na następujące stwierdzenia - jakość regulacji oraz czas dochodzenia do stanu ustalonego są bardzo zbliżone, przy czym mniejsze przeregulowanie występują dla regulatora rozmytego.



Rys. 3. Wykresy sterowań dla $T = 10[s]$, $\tau = 2[s]$ przy zmiennej ich częstotliwości

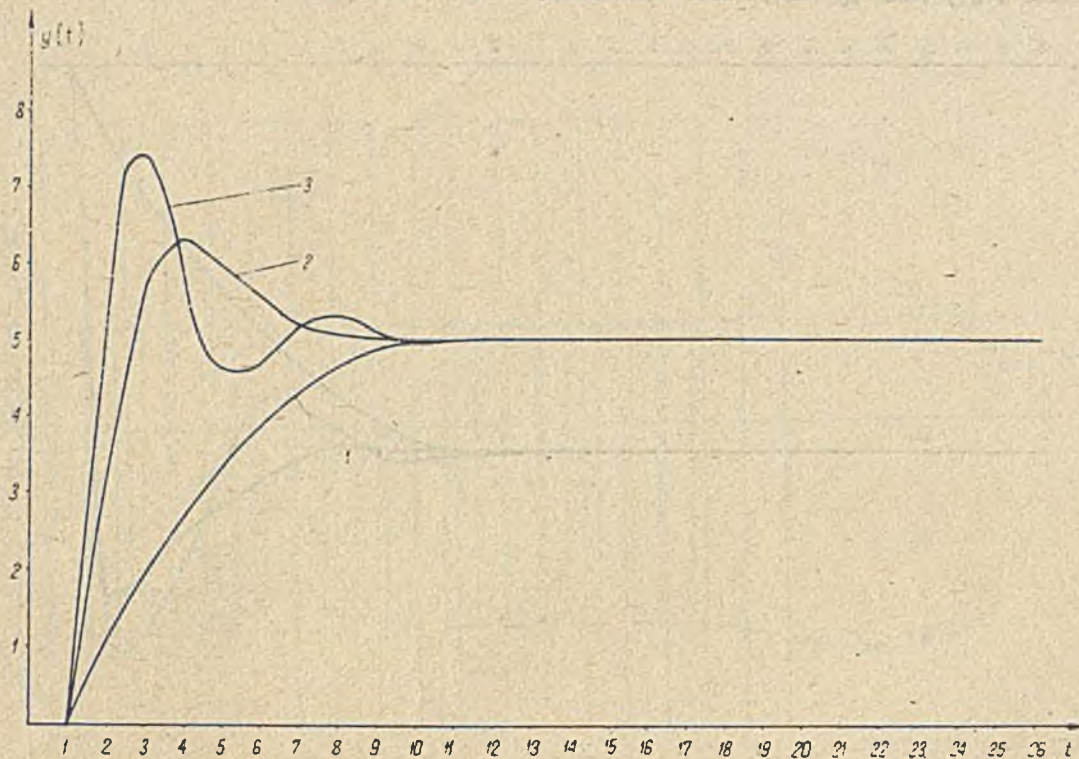


Rys. 4. Wykresy sterowań dla $T = 10[s]$, $\tau = 4[s]$ przy zmiennej ich częstotliwości



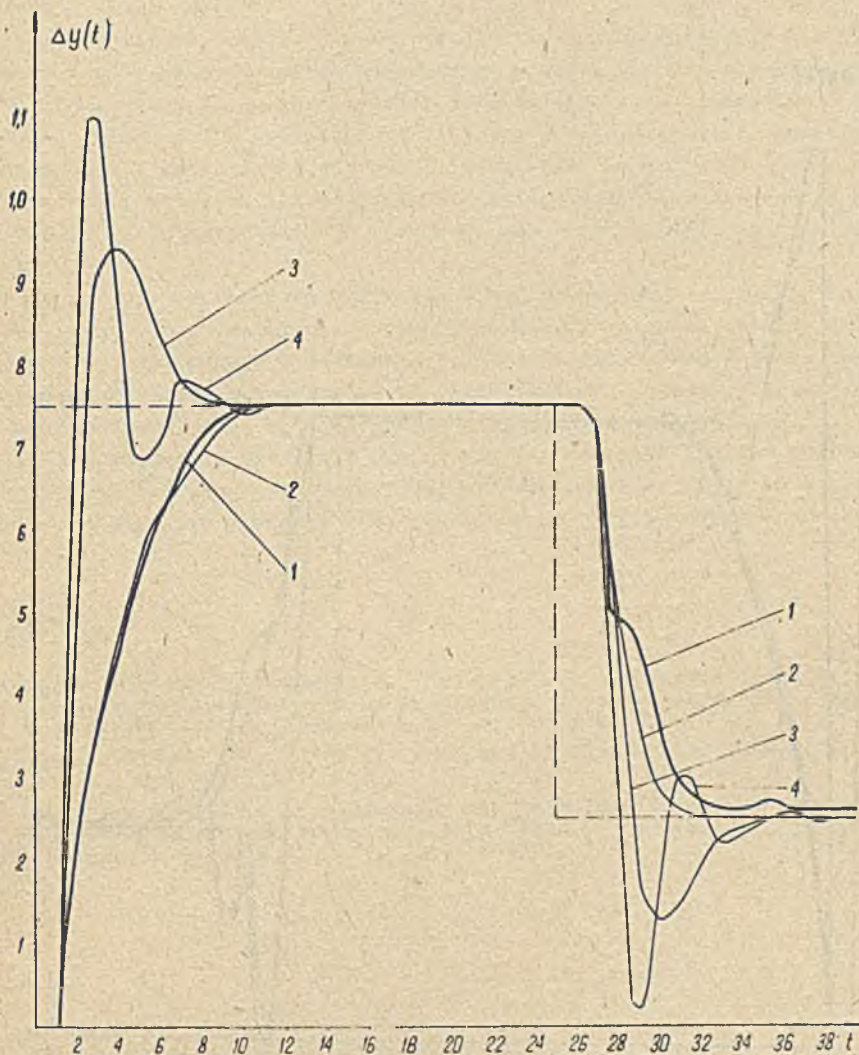
Rys. 5. Przebieg czasowy wielkości wyjściowej przy zastosowaniu regulatora DDC typu PID i nastawach zapewniających (parametry obiektu $T = 5$ [s], $\tau = 1$ [s])

1 - przebieg aperiodyczny, 2 - przebieg o 20% przeregulowaniu, 3 - przebieg o minimalnej całce kwadratu błędów



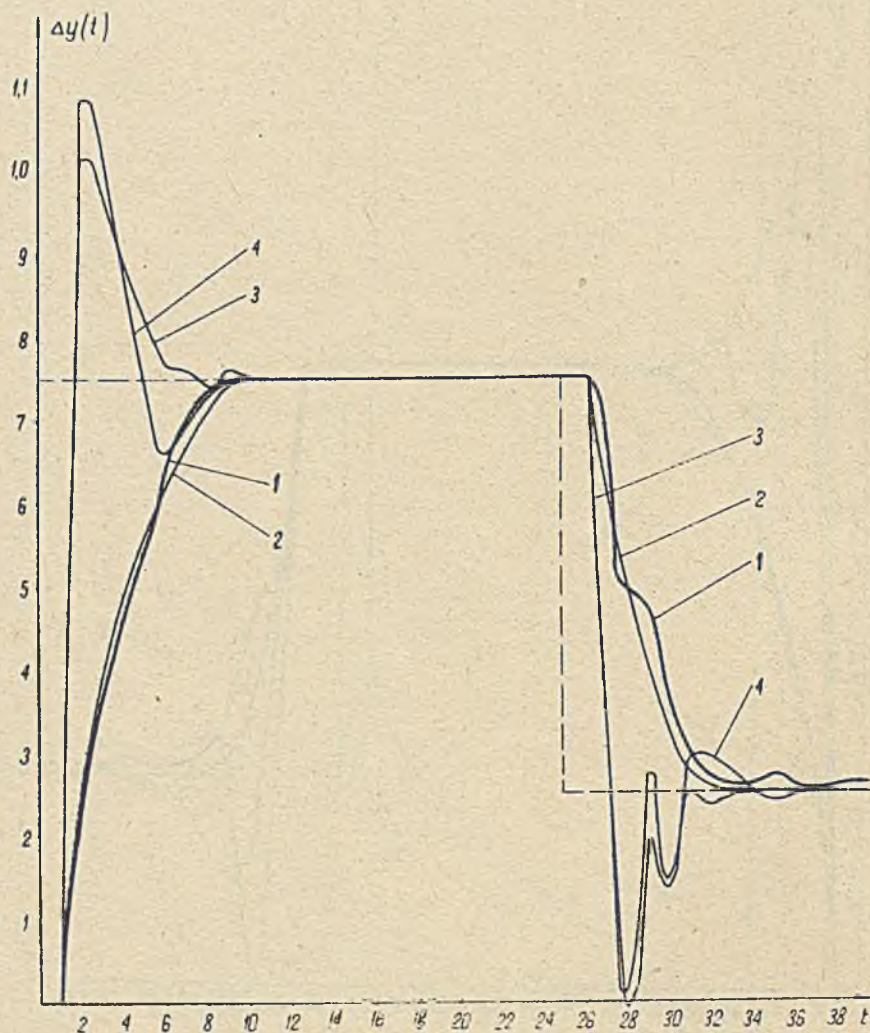
Rys. 6. Przebieg czasowy wielkości wyjściowej przy zastosowaniu regulatora DDC typu PI i nastawach zapewniających (parametry obiektu $T = 5$ [s], $\tau = 1$ [s])

1 - przebieg aperiodyczny, 2 - przebieg o 20% przeregulowaniu, 3 - przebieg o minimalnej całce kwadratu błędów



Rys. 7. Przebieg czasowy wielkości wyjściowej przy zastosowaniu regulatora DDC typu PI oraz regulatora rozmytego ($T = 5$ [s], $\tau = 1$ [s])

1 - regulator rozmyty, 2 - regulator DDC dla nastaw zapewniających przebieg aperiodyczny, 3 - regulator DDC dla nastaw zapewniających przebieg o 20% przeregulowaniu, 4 - regulator DDC dla nastaw zapewniających minimum całki kwadratu błędów



Rys. 8. Przebieg czasowy wielkości wyjściowej przy zastosowaniu regulatora DDC typu PID oraz regulatora rozmytego ($T = 5$ [s], $\tau = 1$ [s])

1 - regulator rozmyty, 2 - regulator DDC dla nastaw zapewniających przebieg aperiodyczny, 3 - regulator DDC dla nastaw zapewniających przebieg o 20% przeregulowaniu, 4 - regulator DDC dla nastaw zapewniających minimum całki kwadratu błędu

- błąd w stanie ustalonym dla sterowania DDC wynosi praktycznie zero (wynika to z całkującej części regulatora), gdy sterowanie rozmyte daje, w najgorszym przypadku, błąd kilkuprocentowy (do 4%). Można go zmniejszyć poprzez zwiększenie ilości wyróżnionych zbiorów rozmytych błędów, zmian błędów i sterowania.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że dla sterowania rozmytego nie trzeba budować modelu matematycznego sterowanego procesu tak jak dla regulatorów DDC, polegającego tu na aproksymacji obiektu elementem inercyjnym 1 rzędu o stałej czasowej T i opóźnieniu τ . Często dyskusyjna jest adekwatność takiego opisu, szczególnie gdy proces jest słabo poznany.

Nasuwa się wtedy wątpliwość, czy sterowanie dotyczące sterowania modelem będzie w tym samym stopniu efektywne przy zastosowaniu do istniejącego obiektu.

Przy sterowaniu rozmytym unika się etapu budowy modelu, wyróżnionego w sposób wyraźny przy regulacji konwencjonalnej, gdyż opis obiektu jest w sposób niejawni "zawarty" w wiedzy operatora i przy wykorzystaniu matematycznego formalizmu reguł logiki wielowartościowej zostaje przeniesiony do tablicy decyzyjnej, będącej podstawą sterowania obiektu.

Nie bez znaczenia jest fakt że, ze względu na niski nakład obliczeń i wymaganą objętość pamięci operacyjnej maszyny powyższy algorytm jest przydatny do sterowania w czasie rzeczywistym przy użyciu maszyn cyfrowych.

LITERATURA

- [1] Czaja-Pośpiech D., Czogała E., Pedrycz W.: Sterowanie rozmyte jako matematyczna formalizacja heurystycznego sposobu sterowania złożonymi procesami, Podstawy Sterowania Tom 8(1978), z. 3.
- [2] Kickert W.J.M., Mamdani E.H.: Analysis of fuzzy logic controller, Fuzzy Sets and Systems 1(1978).
- [3] Zadeh L.A.: Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics vol. SMC-3 No 1. January 1973.

РЕГУЛЯТОРЫ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ
И РАСПЛИВЧАТЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Р е з ю м е

В работе представлена концепция расплывчатого управления, основанная на расплывчатой логике и сравнено это управление с прямым цифровым управлением, используя результаты цифровой симуляции.

DDC CONTROLLERS AND FUZZY CONTROLLERS
IN CONTROL OF INDUSTRIAL PROCESSES

S u m m a r y

In this paper the concept of fuzzy control based on fuzzy logic has been presented, and the comparison of such a kind of control with DDC control making use of the results of digital simulation has been made.