

Krzysztof PIETRUSEWICZ¹
Paweł DWORAK²

ROZMYTE DOSTRAJANIE REGULATORA PRĘDKOŚCI SERWONAPĘDU DC

W artykule prezentowana jest metodologia projektowania układu regulacji prędkości dla powszechnie używanego w układach napędowych obrabiarek CNC serwonapędu prądu stałego. Przedstawiono metodę PID-OVR, którą wykorzystuje się do wstępnego doboru nastaw regulatora oraz procedurę rozmytego dostrajania regulatora PID przeznaczoną do pracy w fazie rozruchu układu regulacji. Procedura ta nie wymaga przeprowadzania czynnych eksperymentów identyfikacyjnych przez co nie pogarszaj w czasie swojej pracy jakości regulacji. Rozważania teoretyczne zilustrowano przykładem obliczeniowym.

1 WPROWADZENIE

Jednym z trudniejszych problemów podczas projektowania układów napędowych obrabiarek CNC jest poprawne nastrojenie pętli regulacji prędkości układu napędowego szczególnie, gdy mechaniczna stała czasowa silnika porównywalna jest z jego stałą elektromagnetyczną. Wtedy działanie silnika prądu stałego w torze sterowania opisane jest równaniem elementu oscylacyjnego drugiego rzędu. Odpowiedź skokowa w torze sterowania powinna być jednak wolna od przeregulowań, ponieważ każdy stan nieustalony o charakterze oscylacyjnym w pętli regulacji prędkości przekłada się na długi czas ustalania w pętli położenia i co za tym idzie niedokładności obróbki. W artykule przedstawiono metodykę projektowania układu regulacji prędkości w serwonapędzie prądu stałego, wykorzystywanego, jako jedno z wielu rozwiązań do realizacji układów napędowych obrabiarek sterowanych numerycznie.

Zaproponowany w pracy algorytm rozmytego dostrajania nastaw regulatora PID w pętli regulacji prędkości pozwala dostosować układ regulacji do zmieniających się warunków czy niedokładnej estymacji parametrów silnika przez co zapewnia zarówno wysoką jakość nadążania za sygnałem wartości zadanej (prędkości), jak i znaczący wzrost sztywności serwonapędu w przypadku zmiany momentu obciążenia.

W pracy zaproponowano algorytm rozmytego dostrajania parametrów regulatora prędkości takiego, które minimalizowałoby wartość przeregulowania. Algorytm ten był

¹ Politechnika Szczecińska, Instytut Automatyki Przemysłowej, 71-126 Szczecin, ul. 26 Kwietnia 10, tel. (0-91) 449 53 36, e-mail: kpietrusewicz@ps.pl

² Politechnika Szczecińska, Instytut Automatyki Przemysłowej, 71-126 Szczecin, ul. 26 Kwietnia 10, tel. (0-91) 449 53 38, e-mail: pawel.dworak@ps.pl

już przedmiotem analiz wcześniejszych prac [1, 2]. Zamieszczono również wyniki badań symulacyjnych, ilustrujące podstawowe założenia proponowanej metody.

MODEL SERWONAPĘDU DC

Zależności elektryczno – mechaniczne uproszczonego modelu silnika prądu stałego przy założeniu dostępności źródła napięciowego prądu stałego opisują równania

$$\begin{cases} \ddot{q} T_e \frac{di(t)}{dt} + i(t) = u_m(t) - \omega_m(t) \\ \dot{q} T_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} = i(t) - T_{load}(t) \end{cases}$$

Po uzupełnieniu powyższego modelu o opis przekształtnika prądu przemiennego na prąd stały [3] przy założeniu zerowej wartości momentu obciążenia ($T_{load} = 0$) i dokładnej znajomości parametrów elektrycznych i mechanicznych silnika transmitancja układu w pętli otwartej przyjmuje postać

$$\frac{\omega_m(s)}{u_m(s)} = \frac{1}{s^2 T_{mm} T_{em} + s T_{mm} + 1} e^{-s\tau}$$

gdzie przez T_{em} , T_{mm} oznacza się odpowiednio stałe czasowe: elektryczną i mechaniczną przy zerowych perturbacjach.

DOBÓR NASTAW REGULATORA PID METODĄ PID-OVR

Do wstępnego doboru nastaw regulatora PID wykorzystana jest metoda PID-OVR zaproponowana w [4]. Skrót ten oznacza, że metoda pozwala dobrać parametry regulatora PID tak, aby w stanach przejściowych w pętli zamkniętej zapewnić założone przeregulowanie χ (z ang. overshoot) definiowane, zgodnie z oznaczeniami przedstawionymi na rys. 1 jako $\chi = A_1/A$.

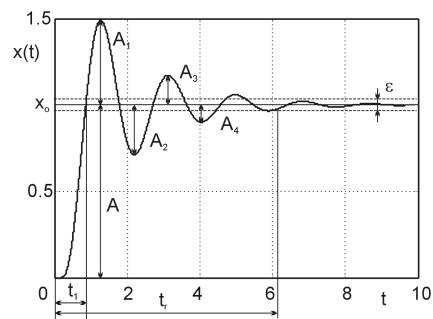
W metodzie tej zakłada się, że zarówno proces jak i macierz transmitancji pętli zamkniętej opisywana jest za pomocą modelu oscylacyjnego z opóźnieniem. W procedurze obliczeniowej przyjmuje się pożądaną wartość przeregulowania χ , oblicza wartość zakładanego tłumienia w pętli zamkniętej $\beta_{assumed}$ a następnie na podstawie $\beta_{assumed}$ oraz parametrów modelu obiektu k_m , β_m , T_m i τ wyznacza się wartości nastaw regulatora PID. Dla obiektu oscylacyjnego przyjmuje się stałą czasową całkowania, różniczkowania oraz wzmocnienie odpowiednio jako: $T_{im} = 2\beta_m T_m$,

$$T_{dm} = T_m / 2\beta_m \text{ i } k_{cm} = \frac{4\beta_m T_m}{k_m \tau} \left(1 + 2\beta_{assumed}^2 - 2\beta_{assumed} \sqrt{1 + \beta_{assumed}^2} \right).$$

ROZMYTE DOSTRAJANIE REGULATORA PRĘDKOŚCI

W przedstawionej w poprzednim rozdziale metodzie strojenia zakłada się zerowe perturbacje parametrów czasowych serwonapędu. Wszelkie ich zmiany wymagać więc

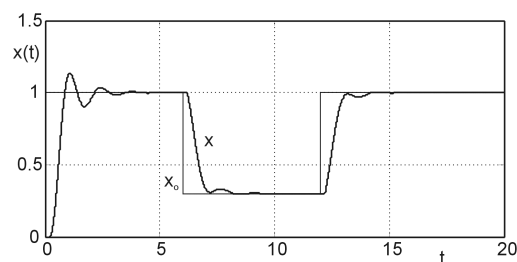
będą modyfikacji nastaw regulatora, co oznacza konieczność użycia metod samonastrajania i/lub adaptacji. W [1, 2] przedstawiona została metoda rozmytego dostrajania regulatora używana po skokowej zmianie wartości zadanej. Bazuje ona na obserwacji sygnału regulowanego podczas procesu przejściowego (rys. 1). Ocena przeregulowania χ sygnału regulowanego $\chi = A_1/A$ oraz wskaźnika szybkości regulacji $\alpha = t_1/t_r$, czy współczynnika tłumienia $\zeta = (A_3 - A_4)/(A_1 - A_2)$ pozwala na określenie współczynników poprawkowych p_i oraz przestrojenie regulatora zgodnie z zależnością $N_{Ni} = p_i N_{Si}$, w której N_{Ni} i N_{Si} oznaczają wartości i-tej nastawy odpowiednio po i przed poprawką. Oprócz wartości parametrów χ i α (ζ) algorytm uwzględnia również aktualną wartość zadaną.



Rys. 1. Pomiarzy na potrzeby rozmytego dostrajania w fazie rozruchu

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Możliwości jakie daje zastosowanie opisanych powyżej algorytmów przedstawione zostaną na przykładzie regulacji prędkości silnika prądu stałego, dla którego stałą czasową elektryczną i mechaniczną przyjęto jako $T_{em} = 0.15[s]$, $T_{mm} = 0.153[s]$.



Rys. 2. Przebieg regulacji prędkości serwonapedu z przestrajającym regulatorem PID

Wyniki symulacji układu prezentuje rys. 2. Widać na nim wyraźnie, że na skutek perturbacji elektrycznej stałej czasowej, regulator nastrojony metodą PID-OVR dla wartości przeregulowania bliskiej zeru wymaga przestrojenia. Procedura dostrajająca skorygowała nastawy tak, że przy kolejnych zmianach wartości zadanej jakość regulacji uległa znacznej poprawie.

PODSUMOWANIE

Pozytywne wyniki dostrajania uzyskane w czasie testów przedstawionego w referacie algorytmu pokazują, że procedury rozmytego dostrajania mogą stać się jednym ze skutecznych sposobów budowy prostego skutecznego regulatora prędkości serwonapędów, który mógłby zostać zaakceptowany przez użytkowników.

LITERATURA

1. Dworak P.: *Rozmyte dostrajanie regulatora PID*, PAK, nr 1, str. 28-32, 2000.
2. Dworak P.: *Procedury rozmyte optymalizujące nastawy regulatora PID*, Badania naukowe w Elektrotermii, Międzybrodzie Żywieckie 2000, str. 101-106.
3. Kosmol J.: *Servo drives of the numerical control machine tool*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1998.
4. Skoczowski S., Pietruszewicz K.: *New method of simplified identification for PID-OVR design*, First International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, Sharjah, U.A.E., 2005.

A FUZZY-LOGIC BASED TUNING FOR A VELOCITY CONTROLLER OF THE DC SERVO DRIVE

The paper presents a methodology of designing a velocity control system for a DC motor servo drive that is widely used in CNC power transmission systems. There are presented both: the algorithm for tuning the velocity controller for a specified value of overshoot and a fuzzy-logic based tuning of PID controller procedure.

Usage of a method called PID-OVR, which ensures the assumed overshoot in a control loop, allows one to choose initial settings of the controller. This algorithm is used with assumptions that the load of motor is equal to zero and that the electrical T_{em} and mechanical T_{mm} parameters (time constants) are known accurately. Since all these parameters are always encumbered with errors and the load torque of motor during its work is greater than zero the initially assumed controller settings may not ensure well enough quality of the velocity regulation. Overshoot and damping factor of a step response in a velocity control loop, both of these parameters are used in a fuzzy-logic based tuning of PID controller procedure. This procedure does not require any active identification experiments to be carried out, thanks to which the control performance is not affected.