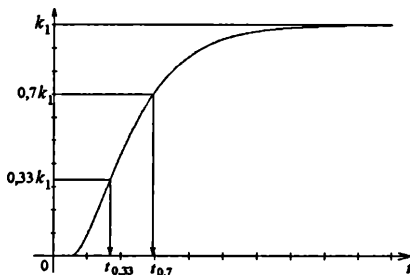


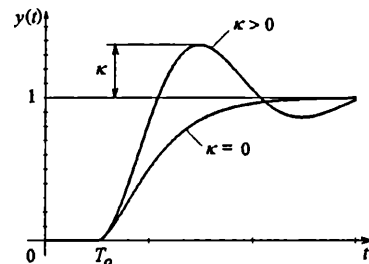
Kazimierz Jaracz, Miluše Vitečková¹

Metoda szybkiego strojenia regulatorów PI i PID na podstawie wzmocnienia i odpowiedzi skokowej obiektu *

W praktyce przemysłowej wstępny dobór nastaw regulatorów przeprowadza się najczęściej przy pomocy eksperymentalnej metody Zieglera-Nicholsa. Największą jej zaletą jest prostota, natomiast podstawową wadą – mała dokładność. Układy regulacji, w których dobrano parametry regulatora tą metodą charakteryzują się bardzo dużym przeregulowaniem względnym w granicach $\kappa = (20\text{--}60\%)$ [1, 3].



Rys. 1. Odpowiedź skokowa obiektu



Rys. 2. Odpowiedź skokowa zamkniętego układu regulacji

W niniejszym artykule przedstawiono nową metodę doboru nastaw regulatorów cyfrowych i analogowych typu PI i PID, która oparta jest na bardziej ogólnej metodzie pożądanego modelu [5, 4, 6]. Dla obliczenia nastaw regulatorów korzysta się z trzech parametrów obiektu k_1 , $t_{0,33}$ i $t_{0,7}$, które wyznacza się z odpowiedzi skokowej obiektu (rys. 1). Charakterystyka skokowa obiektu musi być przebiegiem aperiodycznym z inercją wyższego rzędu i opóźnieniem, nawet o znaczących wartościach [4, 3].

¹ VŠB – Uniwersytet Techniczny Ostrawa.

* Tekst złożono do druku 26 września 2005 roku.

Metoda umożliwia bezpośrednie obliczenie nastaw regulatorów cyfrowych i analogowych typu PI i PID, z możliwością doboru przeregulowania względnego w granicach $\kappa = (0 - 50\%)$ (rys. 2).

Strojenie regulatorów typu PI i PID

Niech transmitancje regulatorów konwencjonalnych mają postacie odpowiednio:

$$\text{regulatora analogowego PI} \quad k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

$$\text{regulatora cyfrowego PI} \quad k_p \left(1 + \frac{T}{T_i} \frac{z}{z-1} \right)$$

$$\text{regulatora analogowego PID} \quad k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$\text{regulatora cyfrowego PID} \quad k_p \left(1 + \frac{T}{T_i} \frac{z}{z-1} + \frac{T_d}{T} \frac{z-1}{z} \right)$$

gdzie: k_p – wzmocnienie regulatora, T_i – czas zdwojenia, T_d – czas wyprzedzenia, T – okres próbkowania, s – zmienna zespolona w transformatach Laplace’a, z – zmienna zespolona w transformatach Z.

Na podstawie trzech parametrów obiektu k_1 , $t_{0,33}$ i $t_{0,7}$ zostały obliczone zależności określające parametry regulatorów PI i PID [4].

Dla regulatora PI

$$T_i^* = 1,25(t_{0,7} - t_{0,33}) - 0,5T, \quad k_p^* = \frac{T_i^*}{k_1 [\alpha T + \beta (1,5t_{0,33} - 0,5t_{0,7})]}$$

Dla regulatora PID

$$T_i^* = 1,6(t_{0,7} - t_{0,33}) - T, \quad T_d^* = 0,25T_i^*, \quad k_p^* = \frac{T_i^*}{k_1 [\alpha T + \beta (1,9t_{0,33} - 0,9t_{0,7})]}$$

gdzie: $t_{0,33}$ i $t_{0,7}$ – czasy, w których odpowiedź skokowa obiektu osiąga wartości odpowiednio $0,33k_1$ i $0,7k_1$ (rys. 1), α i β – współczynniki, których znajomość jest potrzebna do określenia nastaw regulatorów dla założonego przeregulowania względnego κ (rys. 2 i tab. 1) [5, 4].

W przypadku regulatorów analogowych należy przyjąć we wszystkich wzorach $T = 0$.

κ	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
α	1,282	0,984	0,884	0,832	0,763	0,697	0,669	0,640	0,618	0,599	0,577
β	2,718	1,944	1,720	1,561	1,437	1,337	1,248	1,172	1,104	1,045	0,992

Tabela 1. Wartości współczynników α , β przy założonym przeregulowaniu κ

Przykład obliczeniowy

Metodą symulacji cyfrowej określono trzy parametry: $k_i = 2$; $t_{0,33} = 12,5$ i $t_{0,7} = 16,7$ obiektu o transmitancji

$$\frac{2(s+1)}{(5s+1)^3} e^{-4s}$$

Należy określić nastawy regulatora analogowego i cyfrowego typu PI i PID, dla przeregulowania względnego $\kappa = 0,1$ (okres próbkowania $T = 1$).

Rozwiązanie:

Dla regulatora analogowego PI ($T = 0$):

$$T_i^* = 1,25(t_{0,7} - t_{0,33}) = 1,25(16,7 - 12,5) = 5,25$$

$$k_p^* = \frac{T_i^*}{k_i \beta (1,5t_{0,33} - 0,5t_{0,7})} = \frac{5,25}{2 \cdot 1,720 \cdot (1,5 \cdot 12,5 - 0,5 \cdot 16,7)} \doteq 0,147$$

Dla regulatora analogowego PID ($T = 0$):

$$T_i^* = 1,6(t_{0,7} - t_{0,33}) = 1,6(16,7 - 12,5) = 6,72, \quad T_i^* = 0,25T_i^* = 0,25 \cdot 6,72 = 1,68$$

$$k_p^* = \frac{T_i^*}{k_i \beta (1,9t_{0,33} - 0,9t_{0,7})} = \frac{6,72}{2 \cdot 1,720 \cdot (1,9 \cdot 12,5 - 0,9 \cdot 16,7)} \doteq 0,224$$

Dla regulatora cyfrowego PI ($T = 1$):

$$T_i^* = 1,25(t_{0,7} - t_{0,33}) - 0,5T = 1,25(16,7 - 12,5) - 0,5 \cdot 1 = 4,75$$

$$k_p^* = \frac{T_i^*}{k_i [\alpha T + \beta (1,5t_{0,33} - 0,5t_{0,7})]} = \frac{4,75}{2 \cdot [0,884 \cdot 1 + 1,720 \cdot (1,5 \cdot 12,5 - 0,5 \cdot 16,7)]} \doteq 0,127$$

Dla regulatora cyfrowego PID ($T = 1$):

$$T_i^* = 1,25(t_{0,7} - t_{0,33}) - 0,5T = 1,25(16,7 - 12,5) - 0,5 \cdot 1 = 4,75$$

$$T_d^* = 0,25T_i^* = 0,25 \cdot 6,72 = 1,68$$

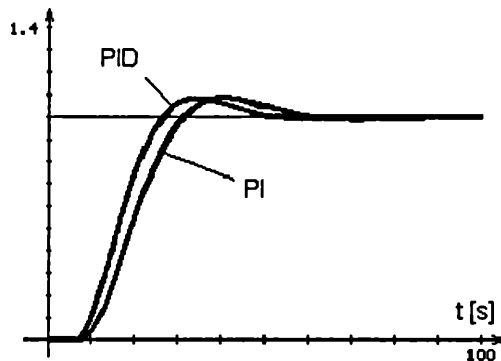
$$k_p^* = \frac{T_i^*}{k_1[\alpha T + \beta(1,9t_{0,33} - 0,9t_{0,7})]} = \frac{5,72}{2 \cdot [0,884 \cdot 1 + 1,720(1,9 \cdot 12,5 - 0,9 \cdot 16,7)]} \doteq 0,180$$

Obliczone wartości nastaw regulatorów zestawiono w tabeli 2.

Regulator analogowy	k_p^*	T_i^*	T_d^*	Regulator cyfrowy	k_p^*	T_i^*	T_d^*
PI	0,147	5,25	–	PI	0,127	4,75	–
PID	0,224	6,72	1,68	PID	0,180	5,72	1,43

Tabela 2. Obliczone wartości parametrów regulatorów

Odpowiedzi skokowe zamkniętego układu regulacji otrzymane drogą symulacji cyfrowej przy zastosowaniu programu symulacyjnego SIPRO [2] przedstawiono na rys. 3. Różnice między charakterystykami skokowymi dla regulatorów analogowych i cyfrowych są niewielkie.



Rys. 3. Odpowiedzi skokowe zamkniętego układu regulacji określone dla obliczonych w rozpatrywanym przykładzie parametrach regulatorów PI, PID, analogowych i cyfrowych

Wnioski

Przedstawiona metoda strojenia regulatorów PI i PID jest prosta i efektywna. Można ją stosować dla obiektów aperiodycznych z inercją wyższego rzędu i znaczącym opóźnieniem. Jej ważną cechą jest to, że można ją stosować zarówno dla regulatorów cyfrowych, jak i analogowych.

Bibliografia

- [1] Åström K., Hägglund T., *PID Controllers: Theory, Design and Tuning* (2nd ed.), Instrument Society of America, North Carolina 1995
- [2] Farana R., *Univerzální simulační program SIPRO 3.4. Uživatelská příručka*, KAKI, Ostrava 1996
- [3] Šulc B., Vítečková M., *Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2004
- [4] Vítečková M., *Seřízení regulátorů metodou inverze dynamiky*, FS VŠB-TU, Ostrava 2000
- [5] Vítečková M., *Seřízení číslicových i analogových regulátorů pro regulované soustavy s dopravním zpožděním*, *Automatizace*, 2/1999, s. 106–111
- [6] Vítečková M., Jaracz K., *Metoda doboru nastaw regulatorów przy pożądanym modelu matematycznym układu regulacji* (w druku)

A fast-tuning method for PI and PID controllers, based on gain and step response of the object

Summary

The article deals with the new tuning method for digital and analog PI and PID controllers. The method is very simple; it is based on the desired model method and the three-parameter mathematical model of the plant. It enables to obtain the desired overshoot from 0 to 50% for proportional aperiodic high order plants or plants with time delay.

Key words: controllers PI and PID, desired model method, high order plants, plants with time delay