

Laboratorium Teorii i Techniki Sterowania

Ćwiczenie 4 - Sterowanie obiektem dynamicznym w układzie zamkniętym z zadanym stanem końcowym z pomiarem wyjścia

Dobór nastaw cyfrowych regulatorów przemysłowych PID

I. Cel ćwiczenia

1. Poznanie zasad doboru nastaw cyfrowych regulatorów przemysłowych.
2. Analiza pracy różnych typów cyfrowych regulatorów przemysłowych.
3. Optymalizowanie nastaw (strojenie ręczne) cyfrowych regulatorów.

II. Ramowy program ćwiczeń

1. Wyznaczyć parametry statyczne oraz dynamiczne obiektu $G_0(s)$ (przed korekcją):

$$\text{A} \quad G_0(s) = \frac{(N/20)^2 + (I/5)^2}{\left(\frac{1}{N}s + 1\right) \cdot (s + N/20 - j(I/5)) \cdot (s + N/20 + j(I/5))}$$

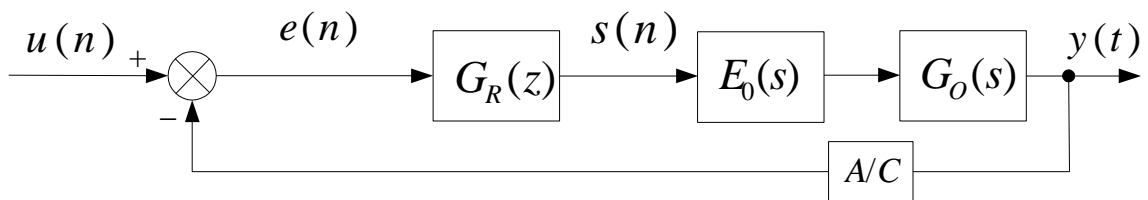
$$\text{B} \quad G_0(s) = \frac{(N/15)^2 + (I/20)^2}{\left(\frac{1}{0,1 \cdot N}s + 1\right) \cdot (s + N/15 - j(I/20)) \cdot (s + N/15 + j(I/20))}$$

- na podstawie odpowiedzi na skok jednostkowy zadanego obiektu, dobrać odpowiednią częstotliwość próbkowania ($f_p \rightarrow T_p$),
- 2. Obliczyć cyfrowy odpowiednik transmitancji obiektu regulacji $G_{0E}(z)$ z uwzględnieniem próbkowania i ekstrapolacji (założyć ekstrapolację zerowego rzędu).
- 3. Zaprojektować cyfrowy regulator przemysłowy (typu P, PI, PID) do zadanego obiektu, w układzie jak na Rys. 1 (**Dodatek**):
 - a) wykorzystując odpowiednią metodę określić współczynniki K_p , K_i , K_d cyfrowego regulatora przemysłowego $G_R(z)$:
 - wykonać model układu regulacji w programie Simulink,
 - zbadać odpowiedź na skok jednostkowy układu po regulacji (wyznaczyć parametry statyczne oraz dynamiczne),
 - ocenić jakość regulacji na podstawie wskaźników regulacji – zależności (3) do (6).
 - b) przeprowadzić strojenie ręczne współczynników K_p , K_i , K_d cyfrowego regulatora przemysłowego $G_R(z)$ w celu optymalizacji parametrów statycznych oraz dynamicznych układu regulacji:
 - wykonać model układu regulacji w programie Simulink,
 - zbadać odpowiedź na skok jednostkowy układu po korekcji (wyznaczyć parametry statyczne oraz dynamiczne),
 - ocenić jakość regulacji na podstawie wskaźników regulacji – zależności (3) do (6).

- porównać działanie z układem z punktu II.3a (ze szczególnym uwzględnieniem parametrów dynamicznych oraz wskaźników regulacji).
4. Z badać odporność cyfrowych regulatorów przemysłowych na zmiany parametrów obiektu regulacji:
- w tym celu należy sprawdzić zaprojektowane regulatory (p. II.3b), dla obiektu o transmitancji $G_0(s)$, gdy rzeczywista transmitancja obiektu $G'_0(s)$ odbiega od tej, którą przyjęto w procesie projektowania (Rys. 7. - **Dodatek**).

III. Dodatek

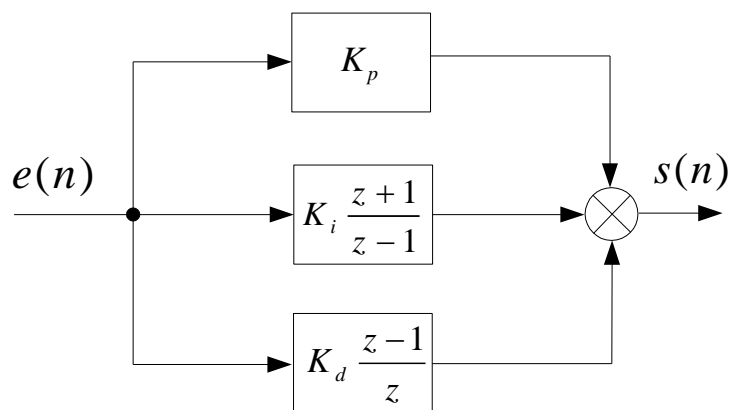
1. Zakładamy, że projektowany regulator $G_R(z)$ ma pracować w układzie przedstawionym na Rys. 1.



Rys. 1. Układ regulacji z ujemnym sprzężeniem zwrotnym.

Przyjmijmy, że transmitancja cyfrowego regulatora przemysłowego $G_R(z)$ dana jest zależnością (1), natomiast schemat blokowy przedstawiono na Rys. 2.

$$G_{PID}(z) = \frac{S(z)}{E(z)} = K_p + K_i \frac{z+1}{z-1} + K_d \frac{z-1}{z} \quad (1)$$



Rys. 2. Cyfrowy regulator przemysłowy PID.

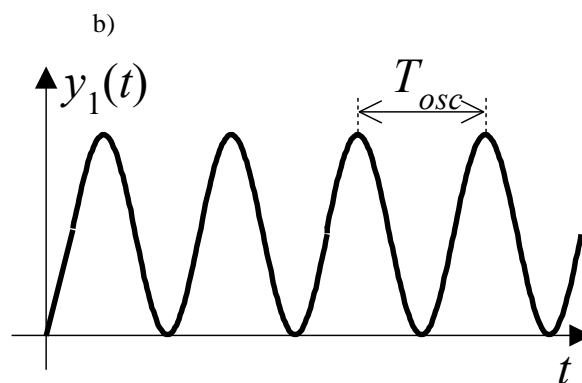
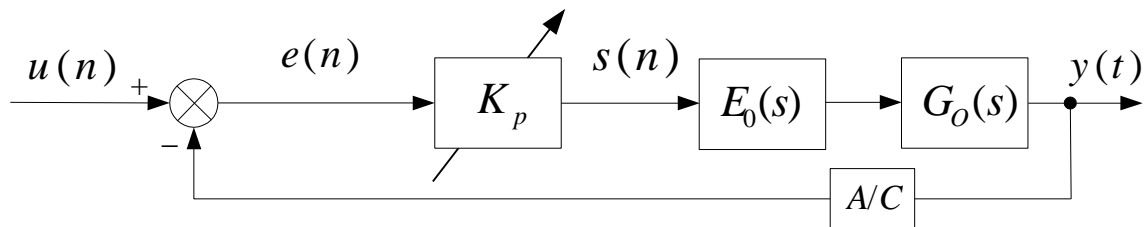
Dobór nastaw cyfrowych regulatorów przemysłowych na podstawie testu drgań

Ta metoda szacowania nastaw regulatorów przemysłowych wykorzystywana jest dla obiektów przynajmniej trzeciego rzędu oraz gdy odpowiedź takiego obiektu na skok jednostkowy ma charakter oscylacyjny. Dobór nastaw regulatorów przemysłowych na podstawie testu drgań polega na określeniu wartości wzmocnienia krytycznego k_{gr} oraz okresu drgań T_{osc} . Aby to zrobić należy w układzie przedstawionym na Rys. 3a., tak zwiększać wzmocnienie K_p członu proporcjonalnego regulatora PID (pozostałe człony są wtedy nieaktywne), aby przy wymuszeniu skokiem jednostkowym, układ został doprowadzony na granicę stabilności, patrz Rys. 3b. Wtedy wzmocnienie krytyczne będzie równe aktualnej wartości wzmocnienia członu proporcjonalnego

$k_{gr} = K_p$, zaś okres drgań T_{osc} można oszacować tak jak przedstawiono to na Rys. 3b. Następnie należy określić nastawy cyfrowych regulatorów przemysłowych (typu P, PI, PID) według Tabeli 1.

Uwaga: Do zgrubnego określenia wartości wzmocnienia krytycznego (przed przystąpieniem do testu drgań) można wykorzystać charakterystykę częstotliwościową rozważanego obiektu regulacji wykreśloną na karcie Nichols'a.

a)



Rys. 3. Szacowanie parametrów regulatorów przemysłowych na podstawie testu drgań: a) schemat układu, b) odpowiedź na skok jednostkowy układu na granicy stabilności.

Tabela 1. Nastawy cyfrowych regulatorów przemysłowych dla danych z testu drgań.

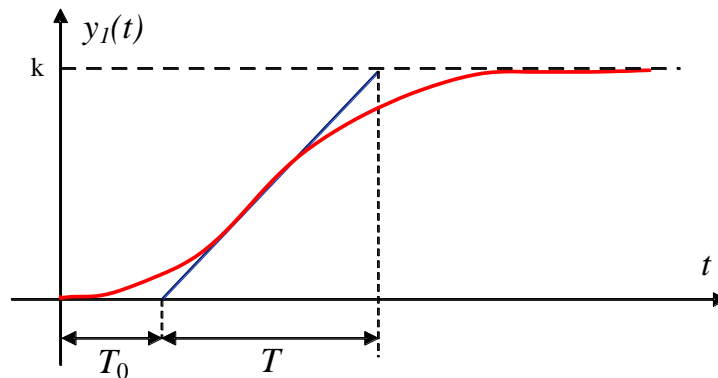
Typ regulatora	Nastawy poszczególnych parametrów		
	K_p	K_i	K_d
P	$0,5k_{gr}$	0	0
PI	$0,45k_{gr}$	$\frac{0,6 \cdot K_p \cdot T_p}{T_{osc}}$	0
PID	$0,6k_{gr}$	$\frac{K_p \cdot T_p}{T_{osc}}$	$\frac{K_p \cdot T_{osc}}{8 \cdot T_p}$

Dobór nastaw cyfrowych regulatorów przemysłowych na podstawie odpowiedzi na skok jednostkowy obiektu regulacji

Jeżeli obiekt – niezależnie od jego rzędu – charakteryzuje się inercyjną odpowiedzią na skok jednostkowy (patrz Rys. 4.), to jego model można aproksymować następującą transmitancją:

$$G_{AO}(s) = \frac{k \cdot e^{-sT_0}}{Ts + 1} \quad (2)$$

Przy takim, upraszczającym założeniu, można na podstawie parametrów k , T_0 oraz T (odczytanych z przebiegu odpowiedzi na skok jednostkowy obiektu w układzie otwartym – Rys. 4.) określić nastawy cyfrowych regulatorów przemysłowych PID, patrz Tabela 2.



Rys. 4. Odpowiedź na skok jednostkowy obiektu inercyjnego

Tabela 2. Nastawy cyfrowych regulatorów przemysłowych dla danych z testu w układzie otwartym.

Typ regulatora	Nastawy poszczególnych parametrów		
	K_p	K_i	K_d
P	$\frac{T}{k \cdot T_0}$	0	0
PI	$\frac{0,586}{k} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,916}$	$\frac{K_p \cdot T_p \cdot \left(1,03 - 0,165 \frac{T_0}{T}\right)}{2T}$	0
PID	$\frac{0,965}{k} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,855}$	$\frac{K_p \cdot T_p \cdot \left(0,796 - 0,147 \frac{T_0}{T}\right)}{2T}$	$\frac{K_p \cdot 0,308 \cdot T \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^{0,929}}{T_p}$

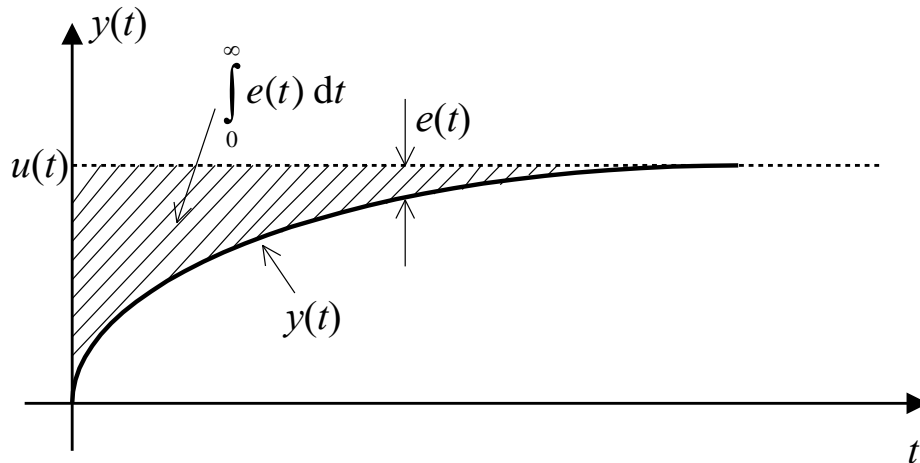
Dodatkowo, dla zaprojektowanych regulatorów należy przeprowadzić optymalizację nastaw (strojenie ręczne), żeby uzyskać poprawę wskaźników regulacji. Wpływ poszczególnych nastaw cyfrowego regulatora na parametry statyczne i dynamiczne obiektu zaprezentowano w Tabeli 3.

Tabela 3. Wpływ nastaw regulatora na parametry obiektu zamkniętego

Regulowany parametr	Parametry statyczne i dynamiczne			
	T_r	y_p	t_u	Δy
$K_p \nearrow$	zmniejsza	zwiększa	-	zmniejsza
$K_i \nearrow$	zmniejsza	zwiększa	zwiększa	eliminuje
$K_d \nearrow$	-	zmniejsza	zmniejsza	-

Wskaźniki jakości regulacji

Do oceny jakości regulacji układu zamkniętego stosuje się najczęściej kryteria całkowe. Aby błąd regulacji był najmniejszy całka z uchybu $\int_0^{\infty} e(t) dt$ musi dążyć do zera (Rys. 5.).



Rys. 5. Odpowiedź na skok jednostkowy układu zamkniętego – interpretacja kryterium całkowego.

W praktyce stosuje się kilka wersji kryterium całkowego do oceny jakości regulacji. Poniżej najważniejsze z nich (należy wykorzystać je do oceny jakości regulacji zaprojektowanych regulatorów):

- kryterium ISE (ang. Integral Squared Error):

$$I = \int_0^{\infty} (e(t))^2 dt \quad (3)$$

- kryterium ITSE (ang. Integral of Time multiplied by Squared Error)

$$I_1 = \int_0^{\infty} t(e(t))^2 dt \quad (4)$$

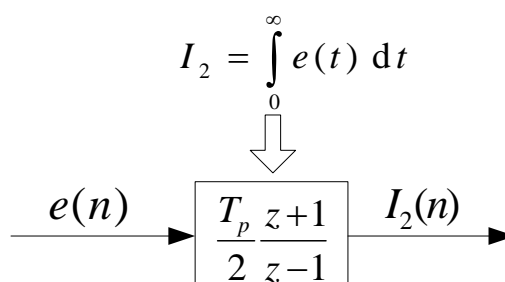
- kryterium IAE (ang. Integral of Absolute value of Error)

$$I_2 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (5)$$

- kryterium ITAE (ang. Integral of Time multiplied by Absolute value of Error):

$$I_2 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (6)$$

Powyższe kryteria całkowite (zależności (3) - (6)) w układzie dyskretnym można obliczyć stosując algorytm numerycznego całkowania metodą trapezów (patrz Rys. 6.).



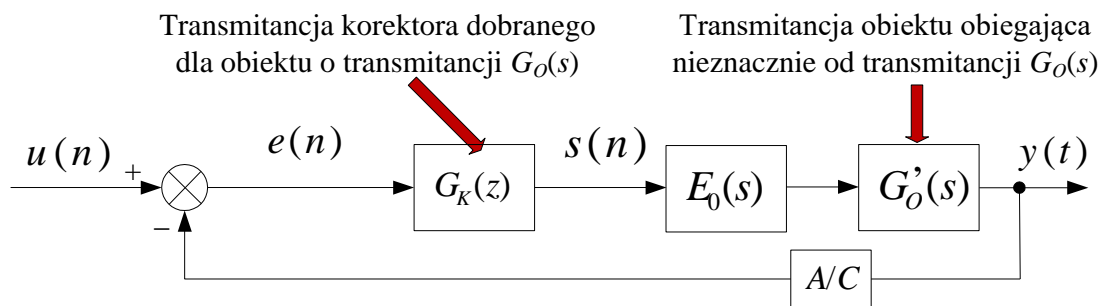
Rys. 6. Całkowanie numeryczne metodą trapezów.

2. Test odporności regulatorów.

Odporność regulatora oznacza tolerancję dla błędów powstałych podczas identyfikacji (niewłaściwa struktura modelu lub aproksymacja transmitancji obiektu regulacji) lub dla zmian parametrów obiektu (współczynnik wzmocnienia, stałe czasowe, opóźnienie) w czasie jego działania.

Pożądane jest, aby nawet jeśli model matematyczny obiektu przyjęty w procesie projektowania nie był prawidłowy, to układ regulacji będzie stabilny a jego regulacja bliska optymalnej.

W związku z powyższym, aby zbadać odporność regulatora należy zaprojektować regulator dla obiektu o transmitancji $G_0(s)$ (tak jak opisano w punktach II3b), a następnie sprawdzić jego działanie w sytuacji, gdy rzeczywista transmitancja obiektu $G'_0(s)$ odbiega od tej, którą przyjęto w procesie projektowania, patrz Rys. 7.



Rys. 7. Schemat układu to analizy odporności zaprojektowanych korektorów.

4. Przydatne komendy.

Projektując regulatory można posiłkować się następującymi komendami dostępnymi w programie Matlab:

c2dm
feedback
series
ginput
nichols
help