

UNIwersytet Morski
Katedra Podstaw Techniki
Laboratorium Automatyki – dynamika

Gdynia dnia 2014-03-01

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	8.2
Temat :	Metody doboru nastaw regulatorów
Stanowisko laboratoryjne	
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis
2014/15	Prof.dr inż A Brandowski	2014.03.10	

UNIwersYTET MORSKI
Katedra Podstaw Techniki**Instrukcja ćwiczenia nr 8B****Temat: Badanie układu regulacji z regulatorem PID****Metoda Zieglera-Nicholsa****1. Temat ćwiczenia:**

metody doboru nastaw regulatorów

2. Cel ćwiczenia:

celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami doboru nastaw regulatorów.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

rodzaje regulatorów, znajomość pojęć: statyczność, astatyczność, stabilność układu regulacji, metody doboru nastaw regulatorów, własności dynamiczne regulatorów.

4. Przebieg ćwiczenia:

zapoznać się z stanowiskiem pomiarowym, obiektem regulacji, regulatorem i sposobem połączeń, zarejestrować charakterystykę skokową obiektu regulacji i wyznaczyć parametry transmitancji operatorowej obiektu, dokonać doboru nastaw regulatora metodą znanego obiektu na podstawie jego parametrów i podanych wzorów w tabeli 1, przebieg regulacji z tymi nastawami zarejestrować i oszacować jego wskaźniki jakości, dokonać doboru nastaw regulatora metodą Zieglera-Nicholsa, przebieg regulacji z tymi nastawami zarejestrować i oszacować jego wskaźniki jakości, dokonać doboru nastaw regulatora metodą prób i błędów w celu optymalizacji nastaw, przebieg regulacji z tymi nastawami zarejestrować i oszacować jego wskaźniki jakości

5. Pomoce i urządzenia:

siłownik, ustawnik, regulator, stacyjka operacyjna, wskaźnik manometryczny, przetwornik ciśnienia, karta analogowo-cyfrowa, przetwornik elektro-pneumatyczny, model obiektu, drukarka

6. Treść sprawozdania:

schematy połączeń układów pomiarowych wg symboliki znormalizowanej wraz z krótkim opisem przebiegu ćwiczenia, otrzymane wykresy z wyznaczonymi wskaźnikami jakości dynamicznej i statycznej, tabelę porównawczą nastaw regulatora i wartości wskaźników jakości regulacji uzyskanych przebiegów, wnioski.

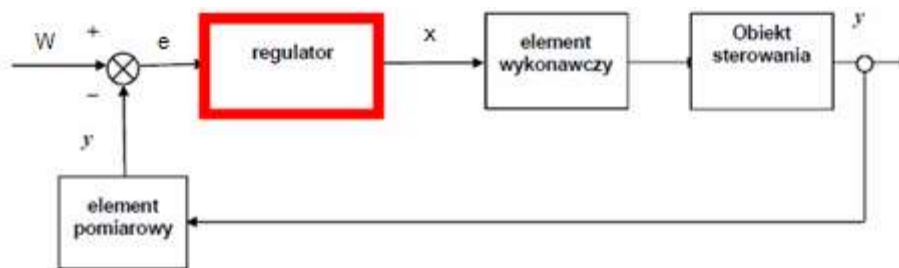
1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami doboru nastaw regulatorów.

1. Wprowadzenie

Regulator jest urządzeniem, którego zadaniem jest:

- porównanie zmierzonej wielkości regulowanej „y” z wielkością zadaną W i określenie wielkości uchybu (błędu) regulacji e
- wytworzenie odpowiedniego sygnału wyjściowego „x” zwanego sygnałem sterującym, (w zależności od wielkości odchyłki regulacji, czasu jej trwania oraz szybkości zmian) o takiej wartości, aby błąd regulacji miał dostatecznie małą wartość,
- takie kształtowanie własności dynamicznych układu regulacji, aby układ był stabilny oraz zapewniał wymaganą jakość regulacji.



Rys. 1. Ogólny schemat układu regulacji automatycznej: e – uchyb regulacji ($e = y - W$), W – wartość zadana wielkości regulowanej, y – wielkość regulowana (rzeczywista na obiekcie), x – sygnał sterujący obiektem (odpowiedź regulatora).

Transmitancja regulatora PID wynosi:

$$G_r(s) = \frac{y(s)}{e(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Nastawy regulatora k_p , T_i oraz T_d występujące w podanych transmitancjach noszą nazwy: k_p – wzmacnienie proporcjonalne. Zamiast wzmacnienia proporcjonalnego k_p podaje się często tzw. zakres proporcjonalności X_p w postaci:

$$X_p = \frac{1}{k_p} \cdot 100\%$$

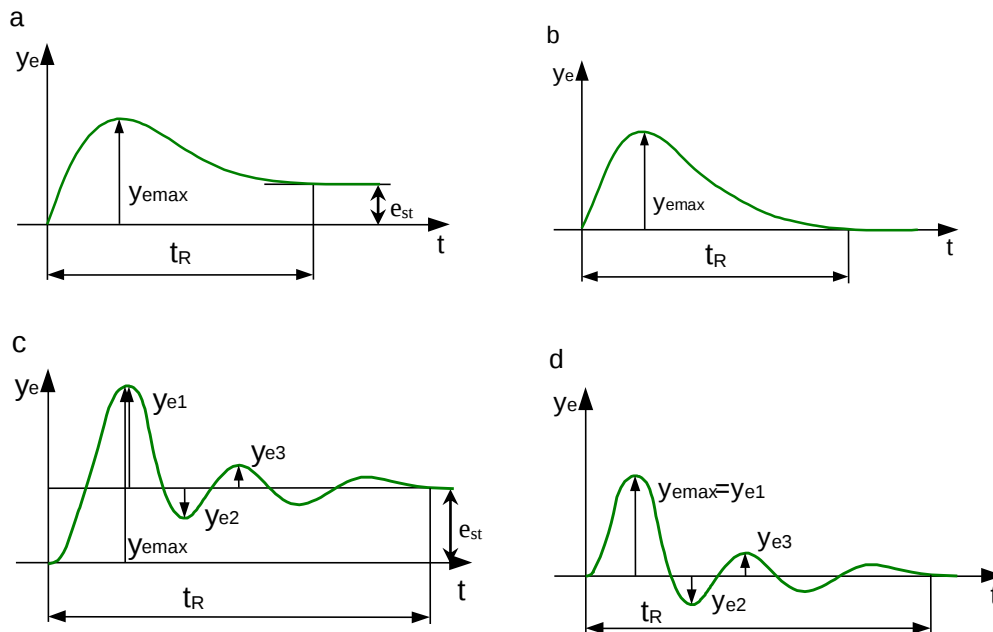
Zakres proporcjonalności X_p jest to procentowa część pełnego zakresu zmian wielkości uchybu e, potrzebna do wywołania pełnej zmiany wielkości sterującej x regulatora.

T_i – czas zdwojenia, (stała czasowa akcji całkującej) jest to czas potrzebny na to, aby sygnał wyjściowy z regulatora osiągnął wartość podwojonej wielkości $k_p \cdot e_{st}$, stąd pochodzi jego inna nazwa – czas zdwojenia.

T_d – czas wyprzedzenia, (stała czasowa akcji różniczkującej) jest to czas, po którym sygnał wyjściowy z regulatora, związany z działaniem proporcjonalnym zrówna się z sygnałem pochodzącym od działania różniczkującego. Dzięki działaniu różniczkującemu regulator może bardzo silnie reagować już na małe zmiany uchybu regulacji $e(t)$ uprzedza, więc dalszy spodziewany wzrost uchybu przez odpowiednie oddziaływanie na obiekt regulacji.

Podstawową własnością układu regulacji automatycznej jest **stabilność**. Układ regulacji jest **stabilny**, jeżeli wytrącony ze stanu równowagi krótkotrwałym sygnałem zakłócającym samoczynnie powróci do tego samego stanu równowagi po ustaniu działania zakłóceń. W przeciwnym przypadku układ nie jest stabilny.

Wymaganą jakość regulacji można uzyskać dzięki odpowiedniemu doborowi nastaw regulatora. W przypadku regulatorów PID są to: zakres proporcjonalności X_p , czas zdwojenia (całkowania) T_i oraz czas wyprzedzenia (różniczkowania) T_d .



Rys 2. Typowe przebiegi regulacji uzyskane przy skokowym zakłóceniu $z = 1(t)$

a – przebieg aperiodyczny z błędem statycznym, b – przebieg aperiodyczny bez błędu statycznego, c – przebieg oscylacyjny z błędem statycznym, d – przebieg oscylacyjny bez błędu statycznego

Celem doboru nastaw regulatora jest osiągnięcie jak najlepszego procesu regulacji. Proces regulacji ocenia się na podstawie dynamicznych i statycznych wskaźników jakości procesu regulacji.

Stacyjne wskaźniki jakości procesu regulacji dotyczą przypadku, gdy rozważa się sygnały w stanie ustalonym tzn., gdy $t \rightarrow \infty$. Są to:

- uchyb statyczny, odchyłka statyczna (błąd w stanie ustalonym) - e_{st} .

Regulatory z działaniem całkującym typu I, PI, PID w połączeniu z obiektami statycznymi dają odchyłkę statyczną równą zero, $e_{st} = 0$.

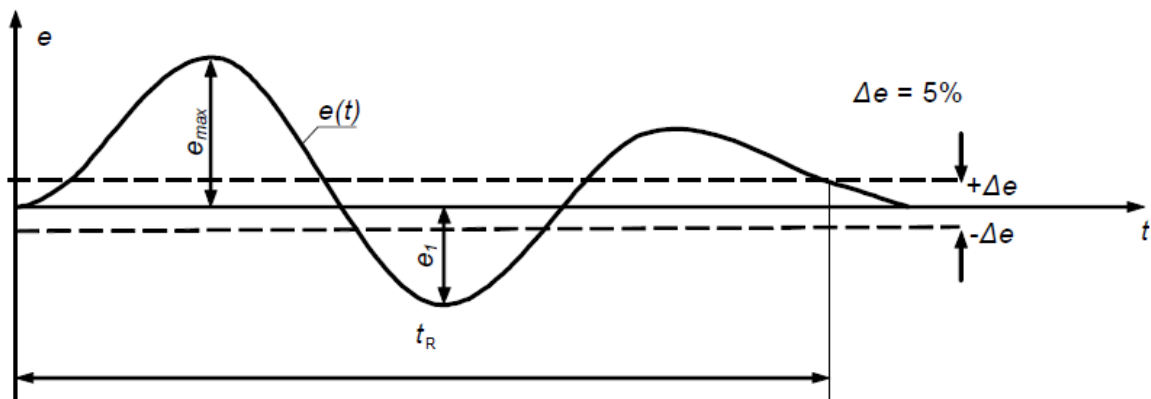
Regulatory typu P, PD dają odchyłkę statyczną różną od zera $e_{st} \neq 0$.

Dynamiczne wskaźniki jakości procesu regulacji dotyczą przebiegów przejściowych (stanów nieustalonych), czyli chwil początkowych wystąpienia wymuszenia. Są to:

- maksymalny błąd dynamiczny - y_{emax}

- czas regulacji (ustalania się) - t_R - określa czas trwania procesu przejściowego liczony od chwili wprowadzenia zakłócenia do osiągnięcia stabilizacji wielkości regulowanej w

granicach przyjętej tolerancji ($\pm 5\%$). Czas regulacji powinien być krótki, ale nie da się skrócić do minimum czasu regulacji bez pogarszania pozostałych wskaźników.



Rys 3. Przykładowy przebieg odchyłki regulacji spowodowany zakłóceniem działającym na układ.

e - odchyłka regulacji, e_{max} - odchyłka maksymalna (maksymalne przeregulowanie), e_l - odchyłka o przeciwnym znaku do e_{max} , t_R - czas regulacji

- przeregulowanie (oscylacyjność) - $\chi = \frac{y_{e1}}{y_{e0}} \cdot 100\%$ zdefiniowana jako iloraz sąsiednich

amplitud oscylacyjnego przebiegu regulacji w %.

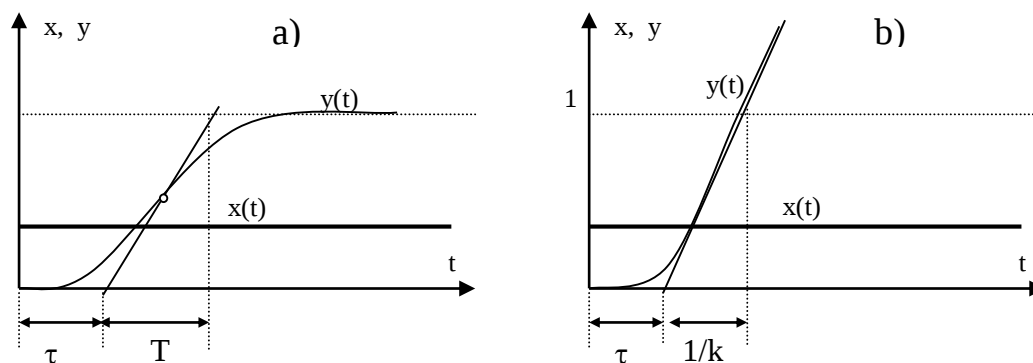
- wskaźnik tłumienia - $D = \frac{y_{e2}}{y_{e1}} \cdot 100\%$

Podstawowym warunkiem trafnego wyboru rodzaju regulatora, jest znajomość, choćby przybliżona, własności obiektu regulacji, ponieważ regulator dobieramy do własności obiektu. Zgodnie z ogólną klasyfikacją wyróżniamy obiekty statyczne i astatyczne (rys. 4). Transmittancje operatorowe, opisujące wyżej wymienione obiekty sterowania, przedstawiają się m.in. w postaci:

- obiekty statyczne $G(s) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-\tau s}$

- obiekty astatyczne $G(s) = \frac{k}{s} e^{-\tau s}$

gdzie: T - stała czasowa, k - współczynnik wzmocnienia, τ - opóźnienie czasowe.



Rys. 4. Identyfikacja obiektów statycznych (a) i astatycznych (b) na podstawie ich charakterystyki skokowej

Dobierając regulator do obiektu o znanym T i τ należy stosować się do poniższych zasad:

- dla $\tau/T < 0,2$ można zastosować regulator dwupołożeniowy,
- dla $\tau/T < 1$ należy zastosować regulator o działaniu ciągłym,
- dla $\tau/T > 1$ należy zastosować regulator impulsowy.

Większość procesów technologicznych to obiekty sterowania posiadające wartości stosunku τ/T mieszczące się w przedziale 0,2 - 0,7. Dlatego regulatory typu PI, PD, PID są najczęściej stosowane w przemyśle. Własności dynamiczne regulatorów omówiono we wprowadzeniu teoretycznym do ćwiczenia 8.

Na podstawie rozważań teoretycznych, badań modelowych i doświadczeń eksploatacyjnych opracowano wiele reguł nastawiania regulatorów według żądanych cech przebiegu przejściowego, wśród których wyróżnia się najczęściej spotykane:

- przebieg aperiodyczny, minimum czasu regulacji t_r ,
- przebieg oscylacyjny z przeregulowaniem $\chi \approx 20\%$, minimum czasu regulacji t_r ,
- przebieg z minimum całki kwadratu odchylenia regulacji $I_2 = \int e^2(t)dt$.

Najbardziej rozpowszechnionymi metodami doboru optymalnych nastaw regulatorów, czyli $(K_r, T_i, T_d)_{opt}$ są opisane poniżej:

Metoda Zieglera Nicholasa

Korzystanie z metody Zieglera - Nicholasa wymaga wprowadzenia dwóch pojęć:

- Wzmocnienie krytyczne K_{pkr} jest to wzmocnienie regulatora proporcjonalnego, który połączony szeregowo z obiektem spowoduje znalezienie się układu regulacji na granicy stabilności, a więc pojawienie się niegasnących drgań okresowych.
- Okres drgań krytycznych nazywany jest okresem drgań krytycznych T_{osc} .

Metoda ta prowadzi do otrzymania przebiegu oscylacyjnego z przeregulowaniem $\chi \approx 20\%$ i minimum czasu regulacji.

Należy nastawić regulator na działanie tylko proporcjonalne (P). Działanie całkujące i różniczkujące powinny być wyłączone przez nastawienie $T_i = \infty$ oraz $T_d = 0$. Następnie należy powoli zwiększać wzmocnienie proporcjonalne regulatora k_p poprzez zmniejszenie nastawy X_p na regulatorze (zgodnie ze wzorem $X_p = \frac{1}{k_p} \cdot 100\%$) aż do wystąpienia niegasnących oscylacji w układzie (granica stabilności). Na taśmie rejestratora należy zmierzyć okres oscylacji T_{osc} , a

na skali regulatora odczytać krytyczne wzmocnienie proporcjonalne k_{pk} , przy którym one wystąpiły.

Zależnie od typu regulatora, należy przyjąć optymalne nastawy:

Tabela 1 Nastawy regulatora według metody cyklu granicznego

Regulator	Nastawy
P	$k_r = 0.5 k_{kr}$
PI	$k_r = 0.45 k_{kr} \quad T_i = 0.85 T_{osc}$
PID	$k_r = 0.6 k_{kr}$ $T_i = 0.5 T_{osc} \quad T_D = 0.125 T_{osc}$

Metoda znanego obiektu

W przypadku, gdy znane są wartości k , τ , i T (współczynnik wzmocnienia, opóźnienie czasowe i stała czasowa obiektu), bardzo wygodne jest korzystanie z tablic określających zarówno optymalne nastawy regulatora, jak i odpowiadające im podstawowe wskaźniki jakości przebiegu przejściowego. Wartości charakteryzujące obiekt, (czyli k , τ , i T) mogą być wyznaczone analitycznie lub na podstawie charakterystyki skokowej obiektu regulacji uzyskanego z badań eksperymentalnych obiektu (rys. 2).

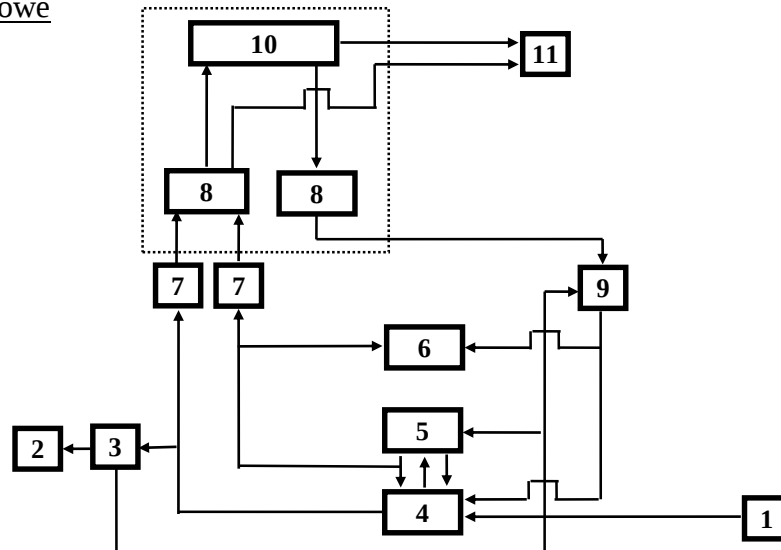
Tab. 2. Optymalne nastawy regulatorów PID i wskaźniki jakości dynamicznej dla układów z obiektami statycznymi i astatycznymi.

$\chi=0\%$, minimum t_r										
Rodzaj regulatora	Obiekty statyczne					Obiekty astatyczne				
	Optymalne nastawy regulatora			Wskaźniki przebiegu przejściowego		Optymalne nastawy regulatora			Wskaźniki przebiegu przejściowego	
	$k_r k, \frac{\tau}{T}$	$\frac{T_i}{\tau}$	$\frac{T_d}{\tau}$	$\frac{t_r}{\tau}$	$\frac{e_{st}}{k z_{st}}$	$k k_r, \frac{\tau}{T}$	$\frac{T_i}{\tau}$	$\frac{T_d}{\tau}$	$\frac{t_r}{\tau}$	$\frac{e_m T}{k z_{st} \tau}$
P	0,3	-	-	4,5	$\frac{\tau/T}{0,3 + \tau/T}$	0,37	-	-	5,5	2,7
PI	0,6	$0,8 + 0,5 \frac{T}{\tau}$	-	8	$0,1 + \tau/T$	0,5	5,75	-	13,2	1,9
PID	0,95	2,4	0,4	5,5	$0,06 + 0,84 \tau/T$	0,65	5,0	0,23	9,8	1,38
$\chi=20\%$, minimum t_r										
Rodzaj regulatora	Obiekty statyczne					Obiekty astatyczne				
	Optymalne nastawy regulatora			Wskaźniki przebiegu przejściowego		Optymalne nastawy regulatora			Wskaźniki przebiegu przejściowego	
	$k_r k, \frac{\tau}{T}$	$\frac{T_i}{\tau}$	$\frac{T_d}{\tau}$	$\frac{t_r}{\tau}$	$\frac{e_{st}}{k z_{st}}$	$k k_r, \frac{\tau}{T}$	$\frac{T_i}{\tau}$	$\frac{T_d}{\tau}$	$\frac{t_r}{\tau}$	$\frac{e_m T}{k z_{st} \tau}$
P	0,7	-	-	6,5	$\frac{1,2 \tau/T}{0,7 + \tau/T}$	0,7	-	-	7,5	1,43
PI	0,7	$1 + 0,3 \frac{T}{\tau}$	-	12	$0,05 + 0,95 \tau/T$	0,7	3,0	-	15	1,62
PID	1,2	2,0	0,4	7	$0,05 + 0,78 \tau/T$	1;1	2,0	0,37	12	1,12

W tablicy 2 przedstawiono uproszczone wzory pozwalające oszacować nastawy regulatorów dla układów z obiektami statycznymi i astatycznymi w przypadku wymuszenia skokowego wielkości zakłócenia na obiekcie $z(t) = z_{st}1(t)$. Podane wzory pozwalają także wyliczyć przybliżone wartości: czasu regulacji t_r , uchybu regulacji w stanie ustalonym e_{st} , maksymalnego uchybu regulacji e_m .

Występujący w tablicy współczynnik k_r oznacza wypadkowe wzmocnienie całego zespołu regulującego, a więc regulatora wraz z przetwornikiem pomiarowym i ewentualnie innymi elementami występującymi w torze sprzężenia zwrotnego.

3. Stanowisko pomiarowe



Rys.5. Schemat stanowiska pomiarowego doboru nastaw regulatora pneumatycznego
1 - reduktor ciśnienia, 2 - siłownik, 3 - ustawnik, 4 - regulator, 5 - stacyjka operacyjna, 6 - wskaźnik manometryczny, 7 - przetwornik ciśnienia, 8 - karta analogowo-cyfrowa, 9 - przetwornik elektro-pneumatyczny, 10 - model obiektu, 11 - drukarka

4. Przebieg ćwiczenia

- Zapoznać się z stanowiskiem pomiarowym, obiektem regulacji, regulatorem i sposobem połączeń
- Zarejestrować charakterystykę skokową obiektu regulacji i wyznaczyć parametry transmitancji operatorowej obiektu (k , τ , i T)
- Dokonać doboru nastaw regulatora **metodą znanego obiektu** na podstawie jego parametrów i podanych wzorów w tabeli 1. Przebieg regulacji z tymi nastawami zarejestrować i oszacować jego wskaźniki jakości.
- Dokonać doboru nastaw regulatora metodą **Zieglera Nicholasa**. Przebieg regulacji z tymi nastawami zarejestrować i oszacować jego wskaźniki jakości.
- Dokonać doboru nastaw regulatora metodą prób i błędów w celu optymalizacji nastaw. Przebieg regulacji z tymi nastawami zarejestrować i oszacować jego wskaźniki jakości.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

- 5.1. Schematy połączeń układów pomiarowych wg symboliki znormalizowanej wraz z krótkim opisem przebiegu ćwiczenia.
- 5.2. Otrzymane wykresy z wyznaczonymi wskaźnikami jakości dynamicznej i statycznej.
- 5.3. Tabelę porównawczą nastaw regulatora i wartości wskaźników jakości regulacji uzyskanych przebiegów.
- 5.3. Wnioski.