

1. Regulatory ciągłe liniowe.

Zadaniem regulatora w układzie regulacji automatycznej jest wytworzenie sygnału sterującego $u(t)$, który oddziałuje na przebieg procesu. Sygnał $u(t)$ jest sygnałem wyjściowym regulatora, natomiast sygnałem wejściowym regulatora w układzie regulacji jest sygnał uchybu regulacji $\varepsilon(t)$. Sposób przetworzenia uchybu na sygnał sterujący nazywa się prawem regulacji. Regulatorami ciągłymi (o działaniu ciągłym lub analogowymi) nazywamy regulatory, w których sygnał wyjściowy zależy w sposób ciągły od sygnału wejściowego. Regulatory liniowe są opisywane równaniami różniczkowymi liniowymi. Wśród regulatorów ciągłych liniowych wyróżnia się następujące typy: P, I, PI, PD i PID.

1.1. Regulator proporcjonalny P

Realizuje on prawo regulacji (1.1)

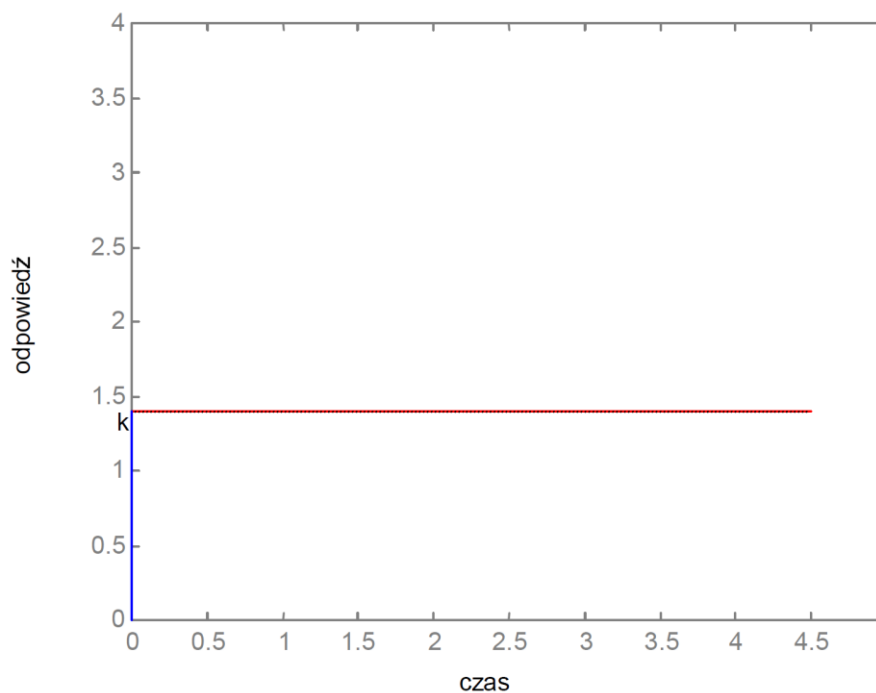
$$u(t) = k\varepsilon(t) \quad (1.1)$$

Jego transmitancja dana jest wzorem (1.2)

$$G_R(s) = k \quad (1.2)$$

Poniżej przedstawiono odpowiedź skokową regulatora dla $k=1,4$.

Odpowiedź Skokowa

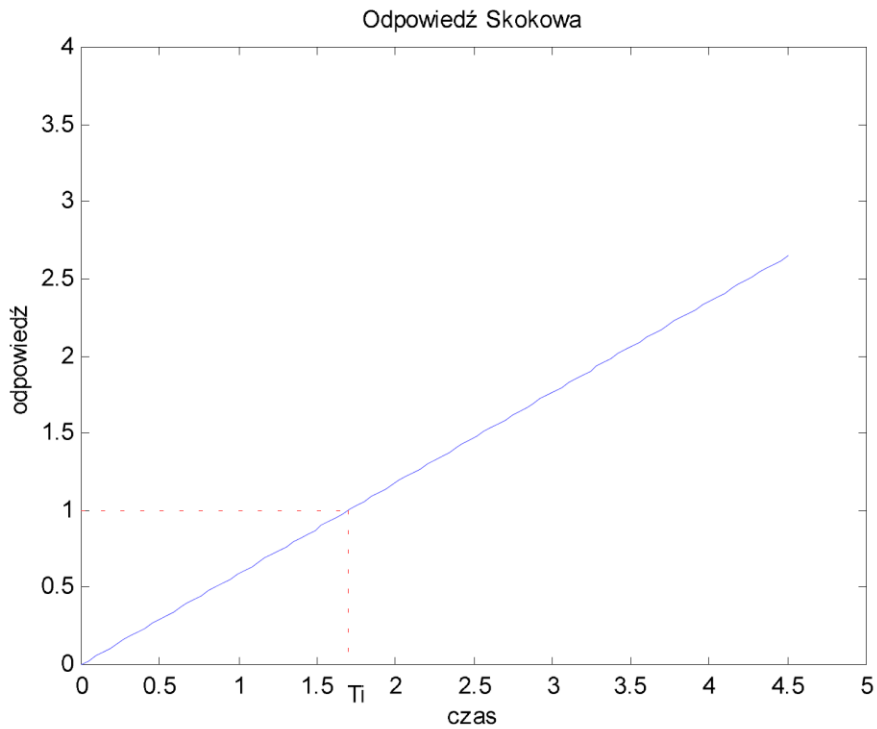


1.2. Regulator całkujący I

Prawo regulacji regulatora opisuje równanie (1.3) a transmitancję wzór (1.4). Jego odpowiedź skokową dla $T_i=1,7$ przedstawiono na rysunku poniżej.

$$u(t) = \frac{1}{T_i} \int \varepsilon(t) dt \quad (1.3)$$

$$G_R(s) = \frac{1}{T_i s} \quad (1.4)$$



1.3. Regulator proporcjonalno-całkujący (PI)

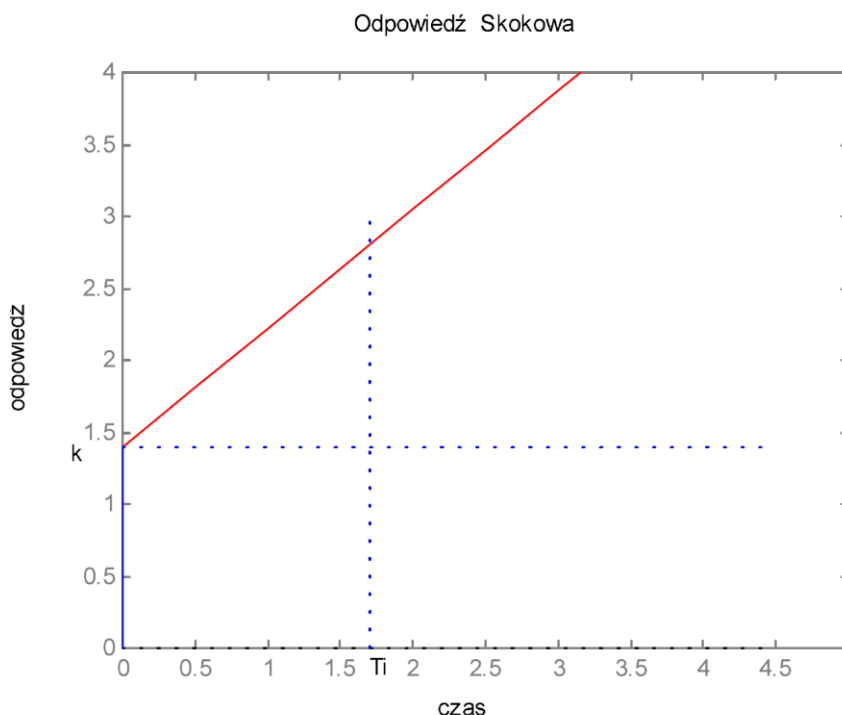
Prawo regulacji regulatora i jego transmitancja podane są wzorami (1.5) i (1.6).

$$u(t) = k \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int \varepsilon(t) dt \right) \quad (1.5)$$

$$G_R(s) = k \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (1.6)$$

Parametr T_i nosi nazwę czasu zdwojenia lub czasu izodromu. Jest to czas, po którym wartość odpowiedzi regulatora na wymuszenie skokowe podwoi się w stosunku do wartości w chwili początkowej ($0+$), czyli czas, po którym wartość odpowiedzi części całkującej i proporcjonalnej zrównają się.

Na rysunku poniżej przedstawiono charakterystykę skokową regulatora dla $k = 1,4$ i $T_i = 1,7$.

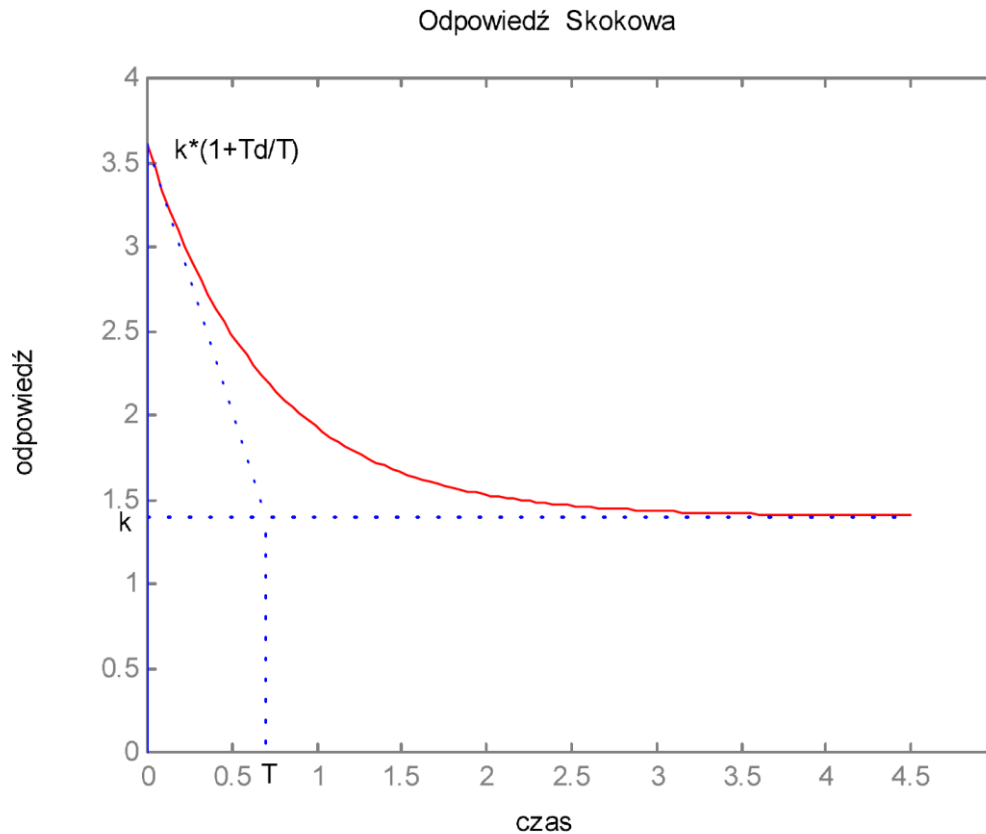


1.4. Regulator proporcjonalno-różniczkujący (PD)

Transmitancja tego regulatora (w wariacie rzeczywistym) zdefiniowana jest wzorem:

$$G_R(s) = k \left(1 + \frac{T_d s}{T s + 1} \right) \quad (1.8)$$

Im mniejsze T tym bardziej działanie regulatora zbliża się do działania regulatora idealnego. Rysunek poniżej ilustruje odpowiedź skokową takiego regulatora dla $k=1,4$, $T_d=1,1$ i $T=0,7$.



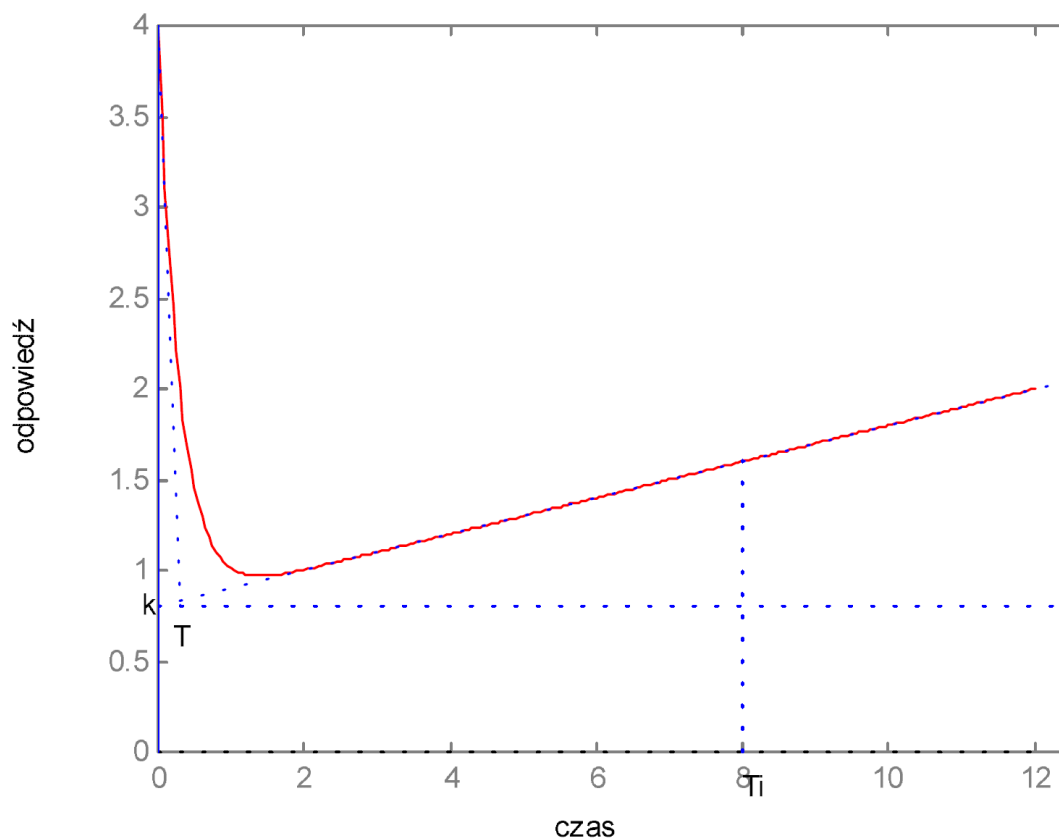
1.5. Regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący (PID)

Transmitancja tego regulatora (w wariacie rzeczywistym) zdefiniowana jest wzorem:

$$G_R(s) = k \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T s + 1} \right) \quad (1.9)$$

a jego odpowiedź skokowa dla $k=0,8$, $T_i=8$, $T_d=1,2$ i $T=0,3$ pokazano na kolejnym rysunku.

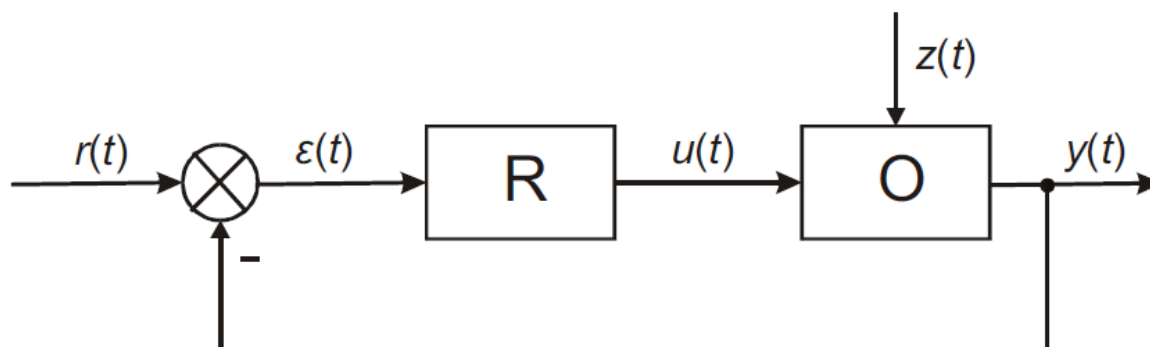
Odpowiedź Skokowa



2. Schemat układu regulacji. Jakość regulacji.

Poniżej przedstawiono schemat układu regulacji – układ zamknięty ze sprzężeniem zwrotnym. Zdefiniowano na nim następujące sygnały:

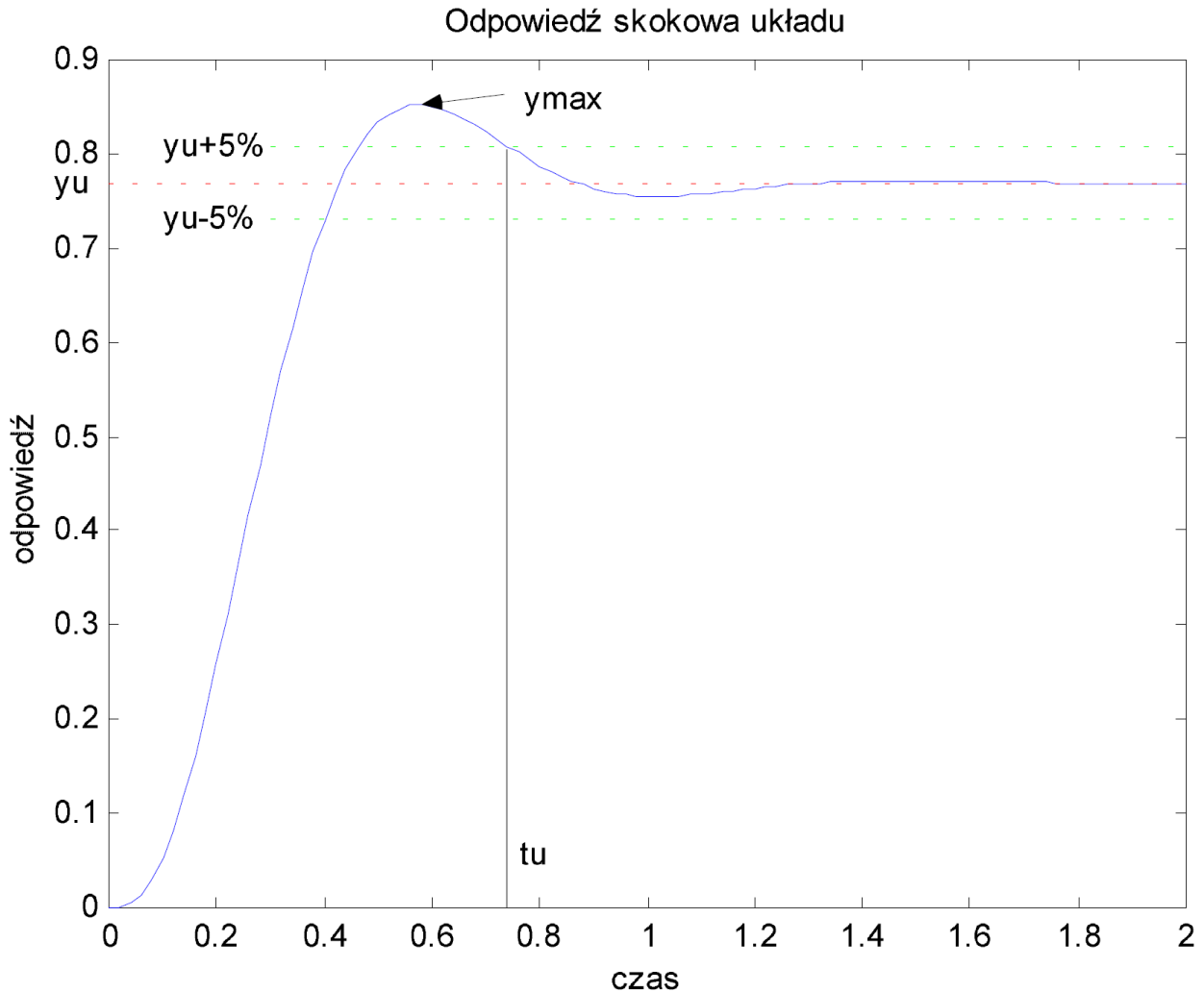
- $r(t)$ - sygnał wielkości zadanej
- $\varepsilon(t)$ - sygnał uchybu (błędu) regulacji
- $u(t)$ - sygnał sterujący
- $y(t)$ - sygnał odpowiedzi układu
- $z(t)$ - sygnał zakłócenia.



Jednym ze sposobów oceny działania układów sterowania jest porównanie ich zachowania się (odpowiedzi) na wymuszenie skokowe – tzn. ustalenie $r(t)$ na pewną stałą wartość. Do tej oceny mogą służyć takie parametry odpowiedzi układu takie jak:

czas regulacji, wartość ustalona, przeregulowanie, czas maksymalnego piku, uchyb ustalony, uchyb przejściowy, czas narastania odpowiedzi.

Poniżej zaprezentowano przykładową odpowiedź układu sterowania na skokową zmianę $r(t)$ oraz zdefiniowano podane wcześniej miary jakości regulacji.



Uchyb $\varepsilon(t)$ jest to różnica między wartością sygnału zadanego a wartością odpowiedzi układu.

Formalnie uchyb rozkłada się na uchyb przejściowy (dynamiczny) ε_d i uchyb ustalony (statyczny) ε_u (czyli $\varepsilon = \varepsilon_d + \varepsilon_u$).

Uchyb ustalony jest to różnica między sygnałem zadanym a odpowiedzią układu w stanie ustalonym.

Czas regulacji (czas ustalania się odpowiedzi) t_u jest to czas mierzony od chwili zadziałania wymuszenia na układ (zmiany sygnału zadanego lub zakłócenia) do chwili, gdy bezwzględna wartość uchybu przejściowego zmaleje trwale poniżej δ jego maksymalnej bezwzględnej wartości. Najczęściej przyjmuje się δ równe 2 lub 5%. Gdy wymuszeniem jest sygnał zadany, czas regulacji wyznacza się również w sposób równoważny jako czas od zmiany sygnału zadanego do chwili, gdy odpowiedź układu nie różni się od wartości ustalonej w sposób trwały o więcej niż δ (odpowiedź wchodzi trwale w "korytarz" $\pm\delta$ wokół wartości ustalonej).

Przeregulowanie κ jest to bezwzględna wartość stosunku uchybów ε_1 do ε_0 , gdzie ε_0 jest największą wartością uchybu przejściowego, a ε_1 największą wartością uchybu przejściowego o znaku przeciwnym niż ε_0 . Przeregulowanie podawane jest często w procentach. W przypadku, gdy wymuszeniem jest sygnał zadany przeregulowanie można wyznaczyć ze wzoru

$$\kappa = \frac{y_{\max} - y_u}{y_u} \times 100\% \quad (2.1)$$

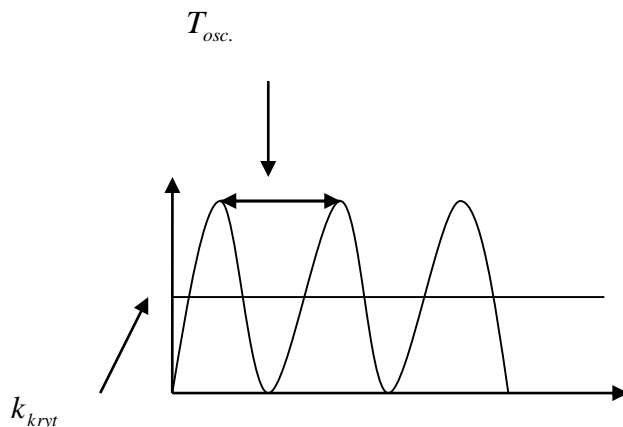
Ze względu na pewną ilość wymienionych wyżej parametrów odpowiedzi skokowej układu, od decyzji projektanta systemu będzie zależało, który przebieg wielkości regulowanej uzna on za najlepszy. W dalszej części opracowania aby możliwe było jakieś porównanie tych przebiegów założy się, że powinny one mieć takie samo przeregulowanie. Wtedy można umówić się, że lepszy będzie ten przebieg dla którego czas regulacji jest krótszy.

3. Dobór nastaw regulatora metodą Zieglera-Nicholsa

Metoda Zieglera-Nicholsa jest jedną z prostych metod określania parametrów regulatora. Istotną zaletą tej techniki jest to że nie wymaga ona dokładnej znajomości transmitancji operatorowej $G(s)$ obiektu regulacji. Ponadto nastawy Zieglera-Nicholsa zawsze zapewniają stabilność układu.

Przebieg metody Zieglera-Nicholsa:

1. Nastawić regulator na działanie proporcjonalne ($T_i \rightarrow \infty$) ($T_d \rightarrow 0$)
2. Zwiększamy k tak aby doprowadzić układ do granicy stabilności (niegasnące oscylacje) i z przebiegu $y(t)$ zmierzyc okres oscylacji T_{osc} i k_{kryt} .



3. Stosujemy nastawy:

Regulator	Nastawy
P	$k = 0,5k_{kryt}$
PI	$k = 0,45k_{kryt}, T_i = 0,85T_{osc}$
PID	$k = 0,6k_{kryt}, T_i = 0,5T_{osc}, T_d = 0,12T_{osc}$

4. Realizacja ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z regulacją ciągłą oraz ze sposobem jej działania dla typowych zastosowań jak np. sterowanie zespołem przepływem wody do zespołu dwóch połączonych zbiorników w taki sposób by osiągnąć zadany poziom w zbiorniku dolnym. Ponadto rozpatrzony zostanie przykład doboru nastaw regulatora dla sztucznego układu III rzędu.

Część I

Będziemy korzystać z pakietu demonstracyjnego *IcTools* umieszczonego w folderze przedmiotu. Proszę rozpakować go do wybranego katalogu i uruchomić poleceniem

ictools

w pakiecie MATLAB wcześniej nawigując w MATLABIE do wybranego katalogu (poleceniem *cd* np. *cd c:\Users\szymonl\Documents\MATLAB\ictools*).

Wybieramy opcję *Basic Control Using PID*. Otwarte okno przedstawia przebieg procesu. Przeciągając przerywaną linię na osi czasu można podejrzeć stan wody w obu zbiornikach i przepływ wejściowy który stanowi sygnał sterujący $u(t)$. Proszę od razu wstawić regulator ciągły poleceniem *Adjust Controller -> Closed loop*. Przelaczanie pomiędzy widokiem procesu a podglądem parametrów regulatora można realizować poprzez podmenu *View*.

Proszę wykonać następujące kroki:

- 1) Użyj regulatora proporcjonalnego. Spróbuj uzyskać najmniejszy uchyb regulacji ręcznie ustalając wartość wzmocnienia. Oceń zgrubnie jakość regulacji używając wielkości opisanych w punkcie 2.
- 2) Po dodaniu członu całkującego (regulator PI), ręcznie dostrój regulator (ustal jego parametry) oraz oceń zgrubnie jakość regulacji używając wielkości opisanych w punkcie 2. Czy dodanie członu całkującego poprawia jakość regulacji? W jakim sensie?
- 3) Usuń członu całkującego (regulator PI), dodaj natomiast różniczkujący (PD), ręcznie dostrój regulator (ustal jego parametry) oraz oceń zgrubnie jakość regulacji używając wielkości opisanych w punkcie 2.
- 4) Skompletuj pełny regulator PID i ręcznie go dostrój, oceń zgrubnie jakość regulacji używając wielkości opisanych w punkcie 2.

Część II

Proszę otworzyć w MATLABie model układu sterowania *L3_cw_ZN.mdl*. Zawiera on prosty układ II rzędu będący przedmiotem sterowania z użyciem regulatora PID. Proszę spróbować dobrać jego nastawy z użyciem metody Zieglera-Nicholsa. Podpowiedź: zmiana parametrów bloku odbywa się poprzez kliknięcia 2x na obiekt i zmianę jego transmitancji. Oceń jakość regulacji wyliczając czas regulacji i przeregulowanie (jeśli istnieje). Czy jesteś w stanie poprawić jakość regulacji zmieniając parametry regulatora?