Zakład Wydziałowy Inżynierii Biomedycznej
i Pomiarowej

Laboratorium Pomiarów i Automatyki w Inżynierii Chemicznej

Regulacja Ciągła

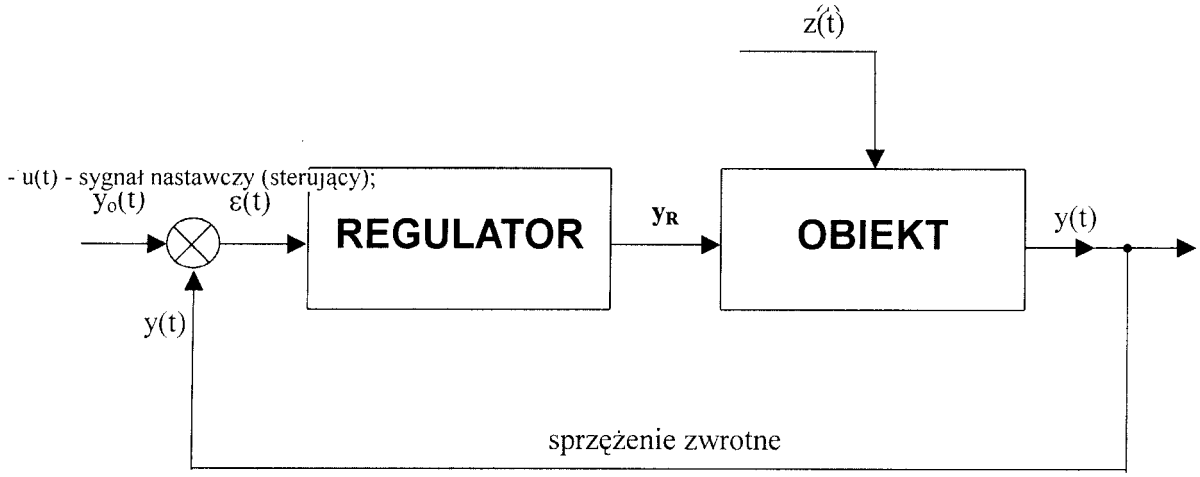
Wrocław 2005

1. Miary jakości regulacji automatycznej.

Regulacja automatyczna polega na oddziaływaniu na proces technologiczny (obiekt regulacji) aby przebieg procesu mierzony przebiegiem wartości *wielkości regulowanej*, był zgodny z przebiegiem założonym .

Oddziaływanie realizuje urządzenie techniczne zwane ***regulatorem.***

Regulator na podstawie różnicy (uchybu regulacji ε) pomiędzy wartością wielkości określającej stan procesu **y(t)** a *wartością zadaną* tej wielkości generuje *sygnał sterujący* dla obiektu **u(t)** o wartości zależnej również od szybkości zmian stanu procesu i występujących zakłóceń.



- $y_o(t)$- sygnał żądanej wartości regulowanej wielkości;
- y(t) – sygnał rzeczywistej wartości regulowanej wielkości;
- $\varepsilon(t) = y_o(t) - y(t)$ – sygnał odchylenia (uchybu);
- z(t) - zakłócenia działające na układ,

Rys.1 *Struktura układu regulacji automatycznej.*

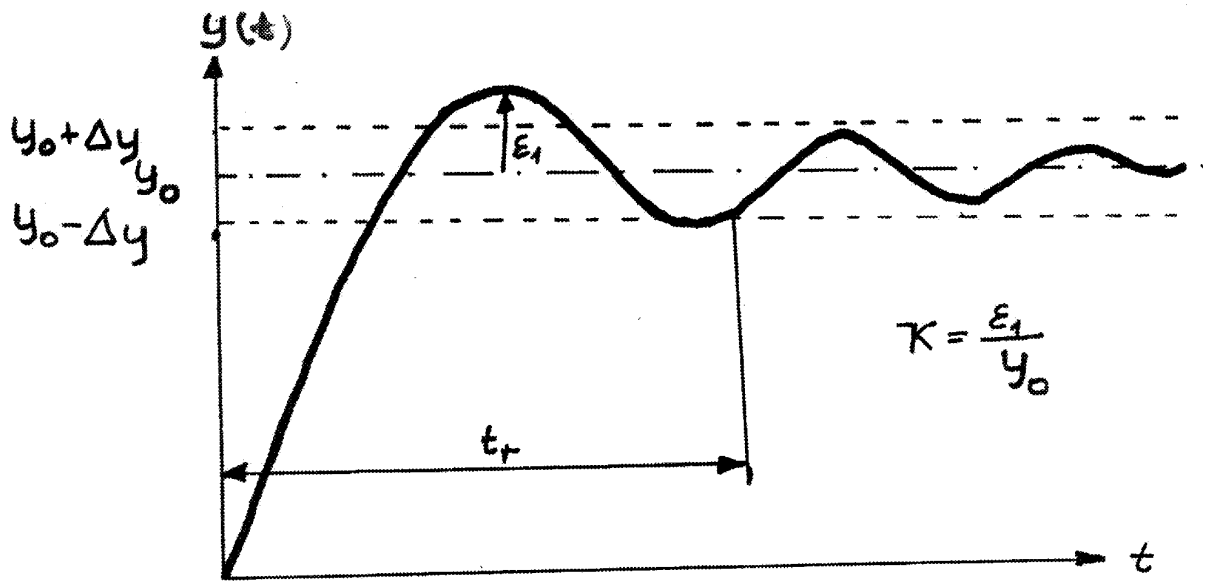
W pracach projektowych najczęściej przyjmuje się uproszczenie, że zakłócenia z(t) oddziałują na wielkość wyjściową obiektu w sposób addytywny z(t)+ y(t) (rys. 6).

Istotnym zadaniem jest dobór rodzaju regulatora do właściwości dynamicznych obiektu a w dalszej części dobór nastaw (parametrów) regulatora, tak aby przebieg procesu regulacji był zgodny z założeniami.

Ocenę jakości procesu regulacji przeprowadza się w oparciu o pewne wskaźniki:

- czas regulacji t_r, jest to czas po którym uchyb regulacji ε(t) nie przekracza 5% wartości ε_{ust},
- maksymalny uchyb regulacji ε_{ust},
- przeregulowanie κ.

Wartości tych wskaźników wyznacza się w oparciu o zarejestrowaną odpowiedź układu na skokową zmianę zakłócenia działającego na obiekt regulacji lub skokową zmianę wartości zadanej.



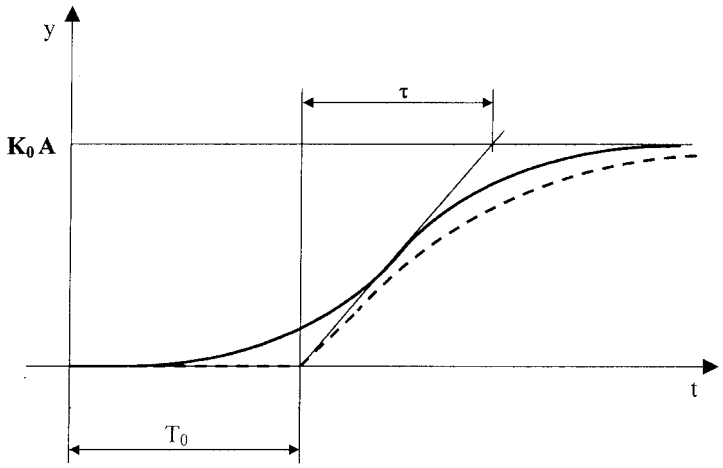
Rys.2 *Wyznaczanie wskaźników jakości regulacji.*

Określenie, który wskaźnik jest najistotniejszy w ocenie zależy od konkretnych zastosowań układu regulacji w procesach technologicznych.

2. Regulacja ciągła

Dobór rodzaju regulacji automatycznej do obiektu (procesu) powinien być poprzedzony wyznaczeniem jego charakterystyki dynamicznej. Najczęściej spotykane obiekty to obiekty cieplne, mechaniczne (suszarki, piece, ultratermostaty, pomieszczenia klimatyzowane, wirówki, pojazdy itp.), które mają charakter członów inercyjnych pierwszego lub wyższych rzędów, a dla celów projektowych można zastosować uproszczenie przypisując im łańcuchowe połączenie członu inercyjnego pierwszego rzędu i członu opóźniającego. Dobór parametrów K_0, T_0 , τ członów zastępczych przeprowadza się na podstawie analizy odpowiedzi obiektu na pobudzenie skokowe

$$u(t) = A1(t)$$



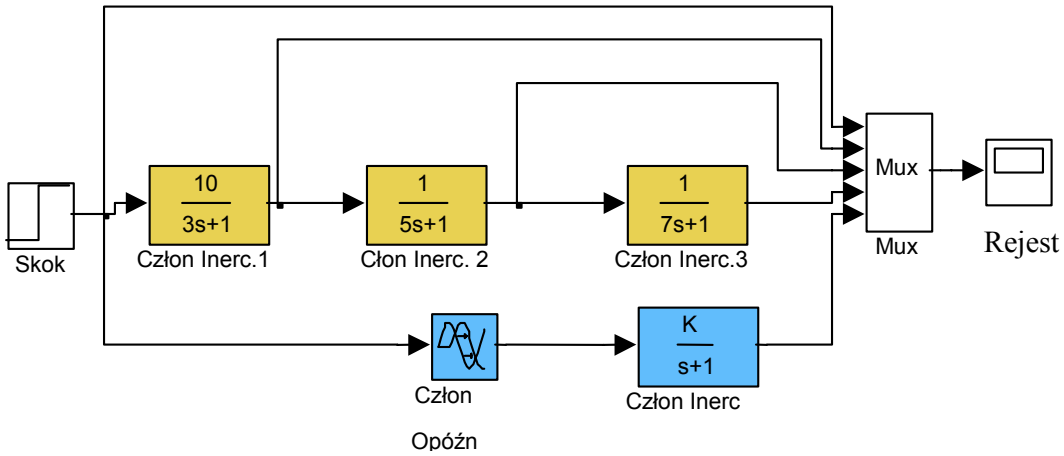
——— rzeczywista charakterystyka skokowa;
-------- zastępcza (uproszczona) charakterystyka skokowa.

Rys.3 *Zasada przybliżania odpowiedzi skokowej obiektu inercyjnego wyższego rzędu charakterystyką członu inercyjnego I-go rzędu o stałej czasowej τ i wzmocnieniu K_0 połączonego łańcuchowo z członem opóźniającym o opóźnieniu T_0.*

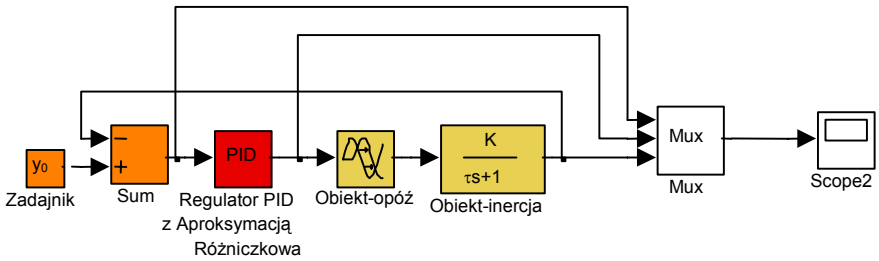
Praktyczne kryteria doboru rodzaju regulacji do obiektu scharakteryzowanego czasem opóźnienia (czasem martwym) T_0 i stałą czasową τ zakładają że stosuje się:

- regulację dwupołożeniową jeżeli $\frac{T_0}{\tau} < 0.2$,
- regulację ciągłą jeżeli $0.2 \le \frac{T_0}{\tau} \le 1$,
- regulację krokowo-impulsową jeżeli $1 < \frac{T_0}{\tau}$

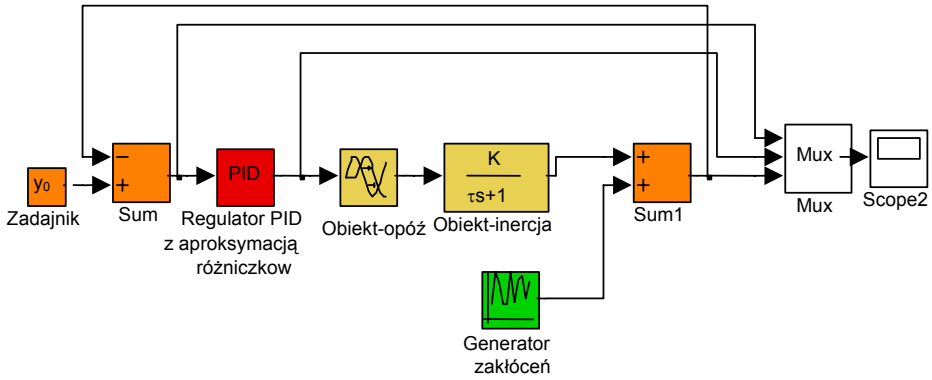
Zadanie przybliżania charakterystyk dynamicznych można przeprowadzić analitycznie, można też zrealizować eksperymentalnie korzystając np. z pakietu „Simulink" programu Matlab podczas eksperymentu porównywania odpowiedzi skokowej modelu obiektu (człon inercyjny n-tego rzędu) i przybliżonego modelu w postaci łańcuchowego połączenia członów opóźniającego i inercyjnego 1-go rzędu. Ocena jakości dopasowania odbywa się na podstawie porównania zarejestrowanych odpowiedzi skokowych za pomocą rejestratora (rys.4)



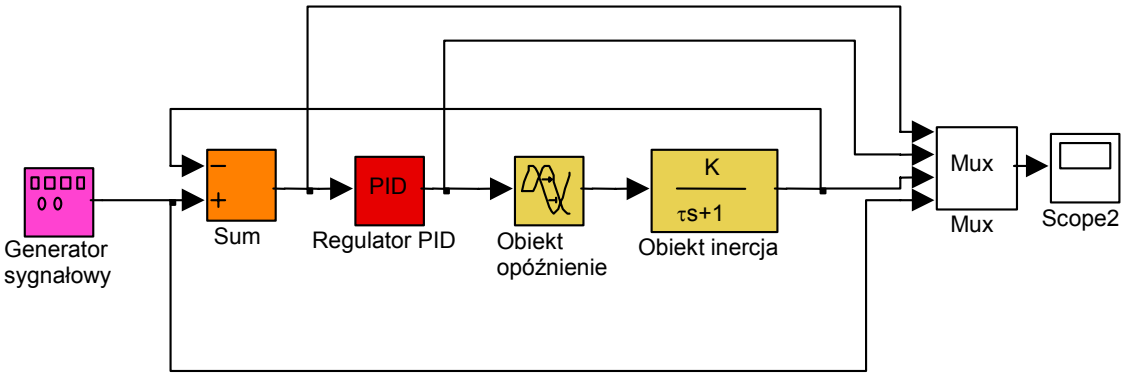
Rys. 4 *Struktura przykładowa umożliwiająca porównanie odpowiedzi skokowej obiektu: człon inercyjny 3-go rzędu (kolor żółty) z odpowiedzią skokową modelu przybliżającego: łańcuchowe połączenie członu opóźniającego i członu inercyjnego 1-go rzędu (kolor niebieski).*



Rys. 5 *Struktura umożliwiająca badanie stanu przejściowego w układzie regulacji automatycznej typu P,PI,PID, bez obecności zakłóceń dla obiektu inercyjnego 1-go rzędu z opóźnieniem.*



Rys.6 *Struktura umożliwiająca badanie stanu przejściowego w układzie regulacji automatycznej typu P,PI,PID, z obecnością zakłóceń dla obiektu inercyjnego 1-go rzędu z opóźnieniem.*



Rys.7 *Struktura umożliwiająca badanie zachowania się obiektu w odpowiedzi na programowaną (przebiegi: piłokształtny, prostokątny, sinusoidalny) zmianę wartości zadanej*

3. Dobór nastaw regulatora

Aby uzyskać przebieg regulacji spełniający wymagania narzucone przez automatyzowany proces technologiczny trzeba dobrać nastawy regulatora tak aby odchyłka regulacji ε(t) zmieniała się zgodnie z założonymi parametrami. Do parametrów określających bezpośrednie cechy przebiegu odchyłki przede wszystkim należą: *czas regulacji* t_r a więc czas , po którym odchyłka jest mniejsza od dopuszczalnej, *maksymalna odchyłka chwilowa* ε_{max}, *odchyłka ustalona* ε_{ust} utrzymująca się po ustaniu zakłócenia, *przeregulowanie* κ (rys.2). Istnieją opracowane algorytmy, które dla przyjętych kryteriów jakości, pozwalają dobrać wstępnie nastawy regulatorów. Współczesne, inteligentne regulatory umożliwiają samoczynny dobór nastaw regulatora według wybranego przez obsługę kryterium.

Tab.1 Dobór nastaw regulatorów ciągłych (K_p - wzmocnienie; T_i- czas całkowania; T_d – czas różniczkowania) dla obiektów statycznych o wzmocnieniu K_{ob}; czasie opóźnienia T_0 ; stałej czasowej τ , przy założeniu minimalnego czasu regulacji t_r i dwóch wartościach przeregulowania. *(Poradnik inżyniera automatyka, WNT Warszawa 1995.)*

Typ Regulatora	Przeregulowanie ≈0%, minimum t_r		Przeregulowanie ≈20%, minimum t_r	
	$\frac{t_r}{T_0}$	Nastawy	$\frac{t_r}{T_0}$	Nastawy
P	4.5	$K_P = \frac{0.3}{K_{OB}\frac{T_0}{\tau}}$	6.5	$K_p = \frac{1.0}{K_{ob}\frac{T_0}{\tau}}$
PI	8	$K_p = \frac{0.6}{K_{ob}\frac{T_0}{\tau}}$, $T_i=0.8T_0+0.5\tau$	12	$K_p = \frac{0.7}{K_{ob}\frac{T_0}{\tau}}$, $T_i=T_0+0.3\tau$
PID	5.5	$K_p = \frac{0.95}{K_{ob}\frac{T_0}{\tau}}$, $T_i=2.4T_0$, $T_d=0.4T_0$		$K_p = \frac{1.2}{K_{ob}\frac{T_0}{\tau}}$, $T_i=2.0T_0$, $T_d=0.4T_0$

Dane w tabeli wyznaczone zostały dla następującej funkcji przetwarzania regulatora:

$$y_R(t) = K_p\{\varepsilon(t) + T_d\frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \frac{1}{T_i}\int\varepsilon(t)dt\}$$

4. Program ćwiczenia

4.1 Dla obiektu inercyjnego wyższego rzędu (np. pieca, czujnika) o modelu zadanym przez prowadzącego dobrać eksperymentalnie model przybliżony w postaci łańcuchowego połączenia członu opóźniającego i członu inercyjnego pierwszego rzędu – wyznaczyć parametry zgodnie z modelem przedstawionym na rys. 3.

4.2 Dla obiektu z pkt. 4.1 zaprogramować układ regulacji ciągłej PID o stałej wartościzadanej y_0 (uzgodnionej z prowadzącym) bez obecności zakłóceń (rys.5). zarejestrować przebiegi czasowe:

- odpowiedzi obiektu,
- odchyłki regulacji,
- sygnału na wyjściu regulatora.

Wyznaczyć liczbowe wartości czasu regulacji t_r, przeregulowania κ, odchyłki statycznej ε_{ust}.

Badania przeprowadzić dla różnych nastaw regulatorów P, PI, PID, określić wartości nastaw przy których układ regulacji przestaje być stabilny.

Uwag a ! !! nastawy regulatora PID w pakiecie Simulink,

zdefiniowane są następująco: $I = \frac{K_p}{T_i}$, $P=K_p$, $D= T_d K_p$

4.3 Do struktury z pkt. 4.2 włączyć generator zakłócający (rys.6). Dla uprzednio wybranych nastaw regulatorów przeprowadzić badania wpływu zakłóceń. Wartości średnie i wariancje zakłóceń dobierać ze zbioru:
[0; $0.05y_0$; $0.1y_0$; $0.2y_0$]
Porównać uzyskane wyniki z wynikami z zad. 4.2.

4.4 Dobrać optymalne warunki nastaw regulatora i przeprowadzić proces regulacji, stałowartościowej dla regulatora P oraz PI, porównać uzyskane wyniki z wynikami z poprzednich zadań.

4.5 Dla optymalnych nastaw regulatora przeprowadzić symulację regulacji przy

programowej zmianie wartości zadanej y_0, bez obecności zakłóceń, (rys. 7). Zalecany wybór piłokształtnego przebiegu y_0.

5.Literatura uzupełniająca

[1] S. Węgrzyn, Podstawy automatyki, PWN Warszawa.
[2] Kostro, Automatyka w pytaniach i odpowiedziach, WNT Warszawa 1990
[3] Praca zbiorowa, Poradnik inżyniera Automatyka. WNT, Warszawa 1973.
[4] Notatki z wykładu

Podstawowe liniowe człony dynamiczne.

Ponieważ w programie ćwiczenia przewidziano korzystanie z modeli opisywanych z zastosowaniem przekształcenia Laplace'a poniżej zamieszczono zestawienie opisów matematycznych tych modeli.

- *Człon proporcjonalny*

  Równanie przetwarzania $y(t) = K\,u(t)$

  Transmitancja operatorowa $\frac{y(s)}{u(s)} = K$

- *Człon inercyjny pierwszego rzędu*

  Równanie przetwarzania $\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Ku(t)$

  Transmitancja operatorowa $\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$

- *Człon całkujący*

  Równanie przetwarzania $y(t) = \frac{1}{T_i}\int u(t)dt$

  Transmitancja operatorowa $\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1}{T_i s}$

- *Człon całkujący rzeczywisty*

  Równanie przetwarzania $\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = \frac{1}{T_i}\int u(t)dt$

  Transmitancja operatorowa $\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1}{T_i s(\tau s + 1)}$

- *Człon różniczkujący*

  Równanie przetwarzania $y(t) = T_d \frac{du(t)}{dt}$

  Transmitancja operatorowa $\frac{y(s)}{u(s)} = T_d s$

- *Człon różniczkujący rzeczywisty*

  Równanie przetwarzania $\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = T_d \frac{du(t)}{dt}$

  Transmitancja operatorowa $\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{T_d s}{\tau s + 1}$

- *Człon opóźniający*

Równanie przetwarzania $y(t) = u(t-T_0)$

Transmitancja operatorowa $\frac{y(s)}{u(s)} = e^{-sTo}$

- *Regulator PID*

Równanie przetwarzania $y_R(t) = K_p\{\varepsilon(t) + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \frac{1}{T_i}\int \varepsilon(t)dt\}$

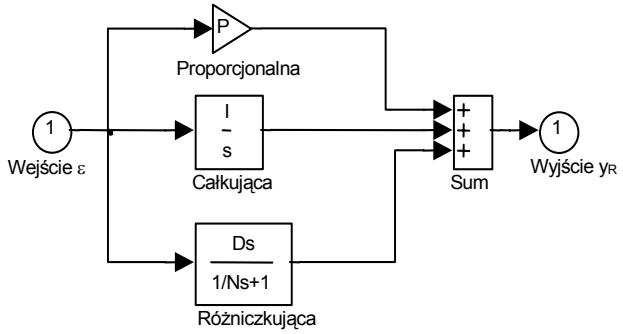
Transmitancja operatorowa $\frac{y_R(s)}{\varepsilon(s)} = K_p\{1 + T_d s + \frac{1}{T_i s}\}$

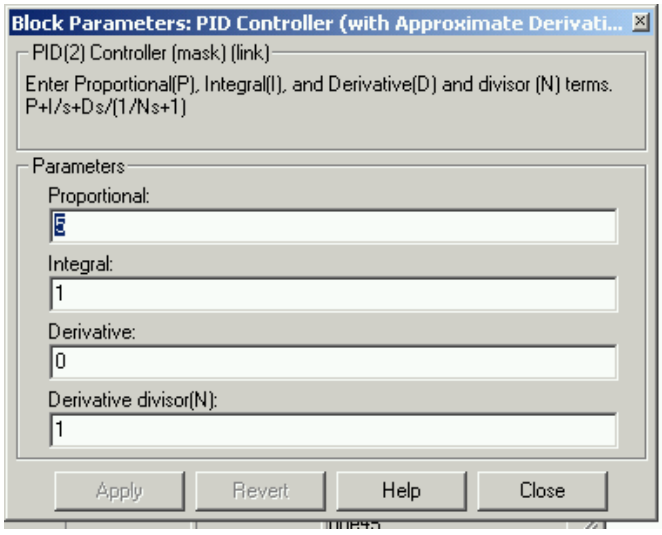
- **Regulator PID stosowany w pakiecie Simulink programu Matlab** zawiera składową inercyjną w bloku odpowiadającym za różniczkowanie sygnału odchyłki ε(t) Poszczególne nastawy do poprzednio sformułowanego opisu zdefiniowane są następująco:

$$I = \frac{K_p}{T_i}, \quad P = K_p, \; D = T_d K_p$$

Transmitancja tego regulatora ma postać:

$$\frac{y_R(s)}{\varepsilon(s)} = P + \frac{Ds}{1/Ns + 1} + I\frac{1}{s}$$





Rys.8 Struktura regulatora PID wykorzystywanego w ćwiczeniu i jego tablica nastaw.