

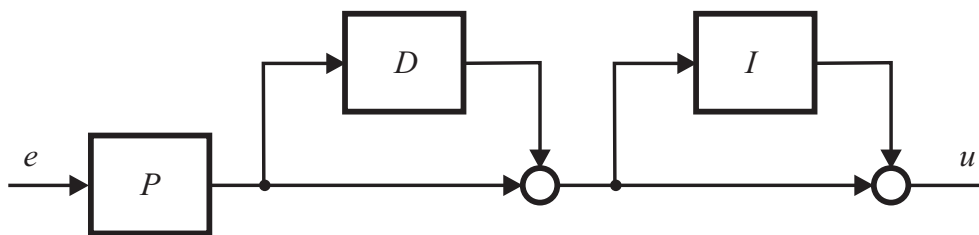
29. Alternatywne formy regulatora PID

a) standardowa postać regulatora PID

$$G_r(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (97)$$

b) szeregową postać regulatora PID

$$G'_r(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k'_p \left(1 + \frac{1}{T'_i s} \right) (1 + T'_d s) \quad (98)$$



Rys. 100.

$$k_p = k'_p \frac{T'_i + T'_d}{T'_i}, \quad T_i = T'_i + T'_d, \quad T_d = \frac{T'_i T'_d}{T'_i + T'_d} \quad (99)$$

Przy założeniu $T_i \geq 4T_d$ możliwe jest wyznaczenie

$$\begin{aligned} k'_p &= \frac{k_p}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 4T_d/T_i} \right) \\ T'_i &= \frac{T_i}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 4T_d/T_i} \right) \\ T'_d &= \frac{T_d}{2} \left(1 - \sqrt{1 - 4T_d/T_i} \right) \end{aligned} \quad (100)$$

c) równoległa postać regulatora PID

$$G''_r(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k''_p + \frac{k''_i}{s} + k''_d s \quad (101)$$

$$k''_p = k_p, \quad k''_i = \frac{k_p}{T_i}, \quad k''_d = k_p T_d \quad (102)$$

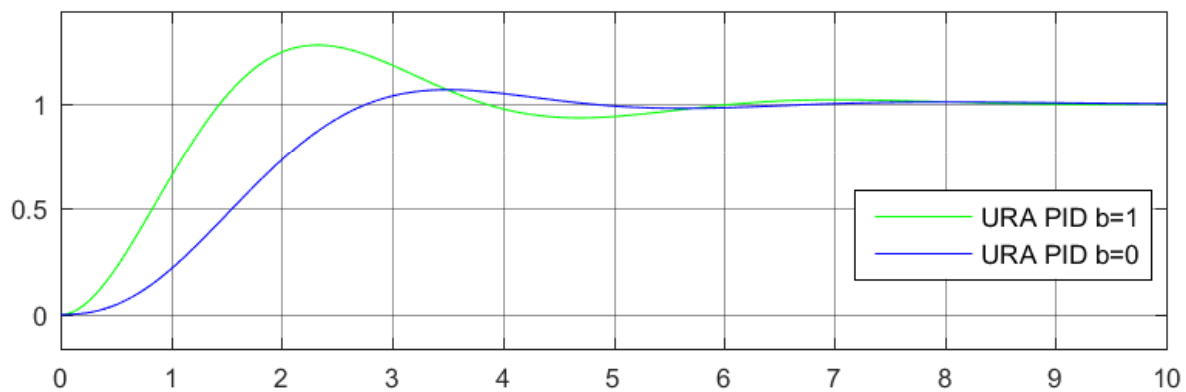
30. Regulator PID z ważoną wartością zadaną

Reguła PID z wagami wartości zadanej

$$u(t) = k_p \left(e_p(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de_d(t)}{dt} \right) \quad (103)$$

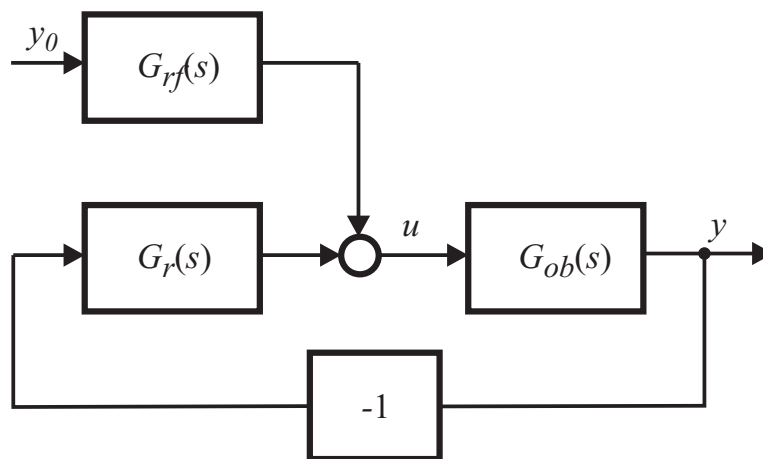
gdzie $e_p = by_0 - y, \quad e_d = cy_0 - y, \quad e = y_0 - y, \quad (104)$

wagi $b, c \in \langle 0, 1 \rangle$



Rys. 101.

Struktura URA z regulatorem PID z ważoną wartością zadaną



Rys. 102.

$$G_{rf}(s) = k_p \left(b + \frac{1}{T_i s} + c T_d s \right) \quad (105)$$

31. Komercyjne sterowniki PID

a) postać standardowa

$$U(s) = k_p \left(bY_0 - Y + \frac{1}{T_i s} E + \frac{T_d s}{1 + T_d s/N} (cY_0 - Y) \right) \quad (106)$$

b) postać szeregową

$$U(s) = k'_p \left(\left(b + \frac{1}{T'_i s} \right) \frac{1 + cT'_d s}{1 + T'_d s/N} Y_0 - \left(1 + \frac{1}{T'_i s} \right) \frac{1 + T'_d s}{1 + T'_d s/N} Y \right) \quad (107)$$

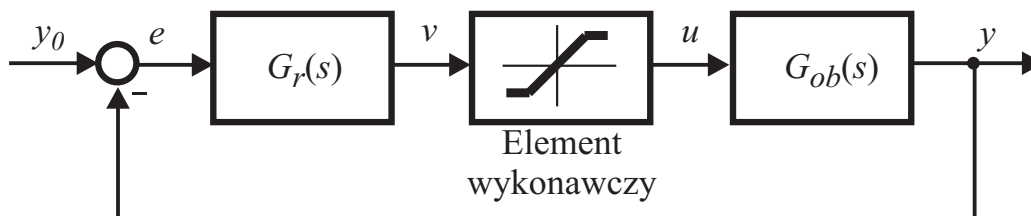
c) postać równoległa

$$U(s) = k''_p (bY_0 - Y) + \frac{k''_i}{s} E + \frac{k''_d s}{1 + k''_d s / (Nk''_p)} (cY_0 - Y) \quad (108)$$

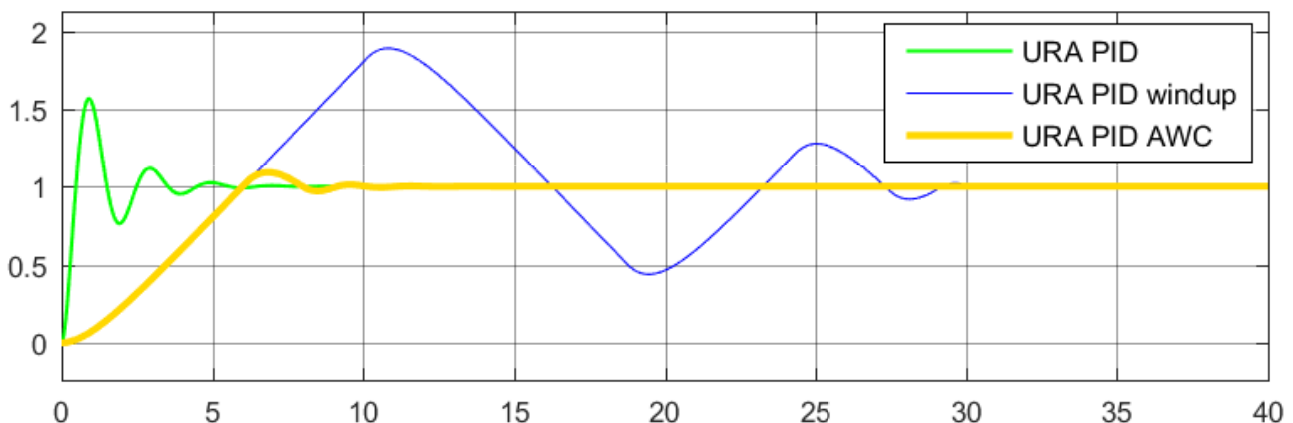
$T = T_d/N$, typowo $N \in \langle 8, 20 \rangle$

32. Zjawisko wind-up

Układ regulacji z nasyceniem sygnału sterującego



Rys. 103.

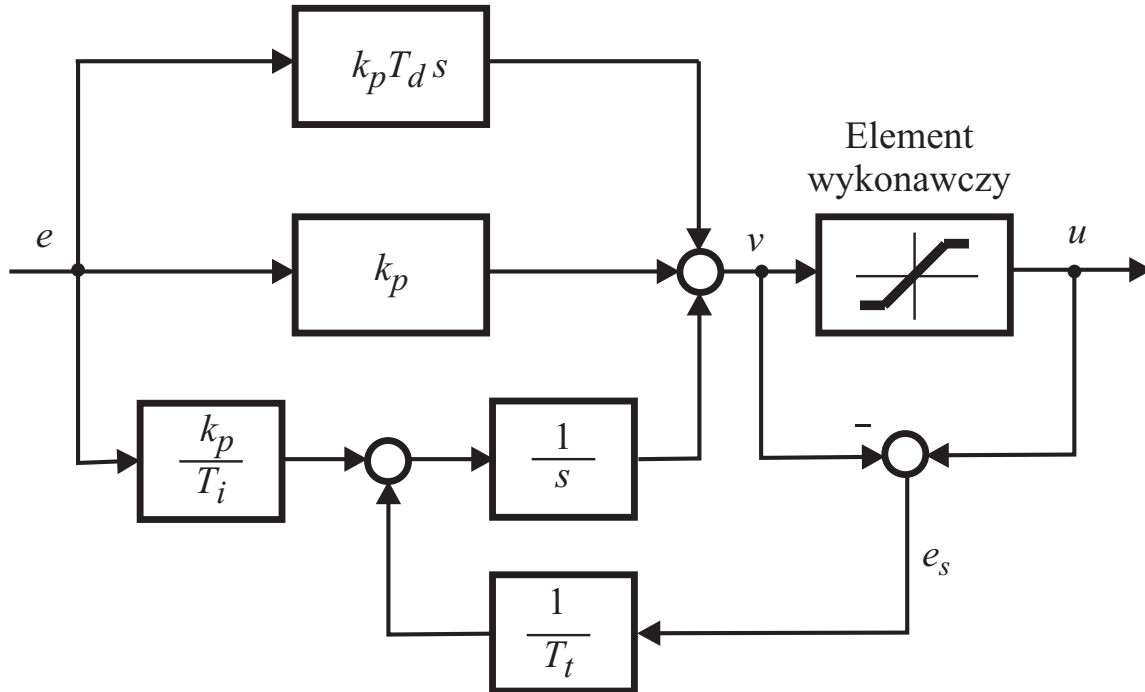


Rys. 104.

Wybrane metody ograniczania zjawiska *wind-up*

a) wprowadzenie ograniczeń na zmiany sygnału zadanego

b) ograniczenie działania członu całkującego



Rys. 105.

Wejście bloku całkującego $\frac{1}{T_t}e_s + \frac{k_p}{T_i}e \Rightarrow e_s = -\frac{k_p T_t}{T_i}e$

Ponieważ $e_s = u - v \Rightarrow v = u_{lim} + \frac{k_p T_t}{T_i}e$ i $|v| > |u_{lim}|$,

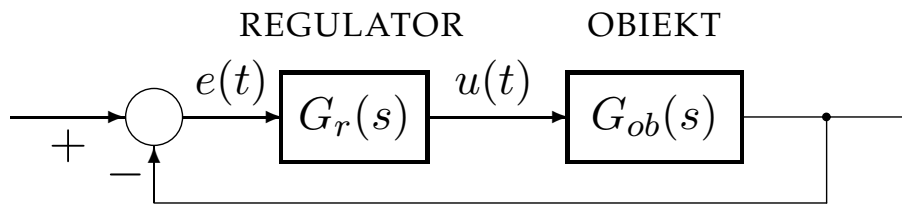
gdzie u_{lim} jest wartością nasycenia sygnału sterującego

T_t jest stałą czasową śledzenia, zalecany dobór $T_t = \sqrt{T_i T_d}$

c) całkowanie warunkowe, gdy spełnione są przyjęte warunki

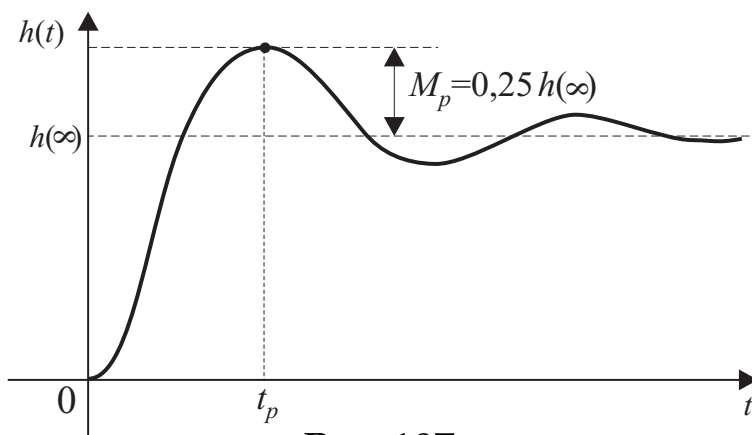
- wyłączenie całkowania, gdy sygnał uchybu jest duży
- wyłączenie całkowania, gdy sygnał sterujący jest nasycony
- wyłączenie całkowania, gdy sygnał sterujący jest nasycony i całkowanie powoduje jeszcze większe nasycenie
- zerowanie sygnału bloku całkującego, gdy uchyb jest duży

33. Reguły Zieglera-Nicholsa doboru parametrów regulatora



Rys. 106.

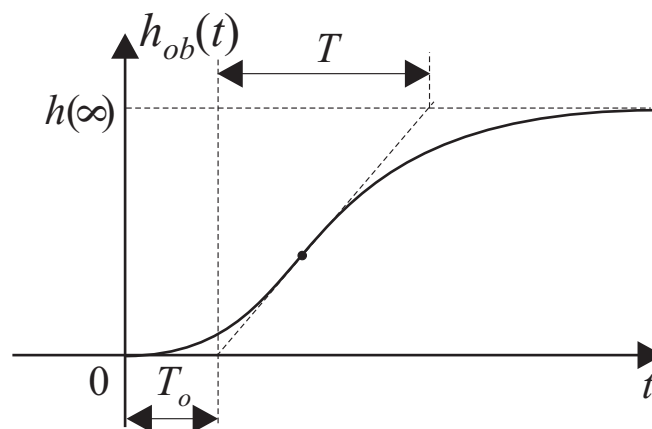
$$G_r(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \Rightarrow u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$



Rys. 107.

$$M_p = h(t_p) - h(\infty) = 0,25 h(\infty) \Rightarrow \varkappa = \frac{M_p}{h(\infty)} = 0,25$$

Pierwsza metoda



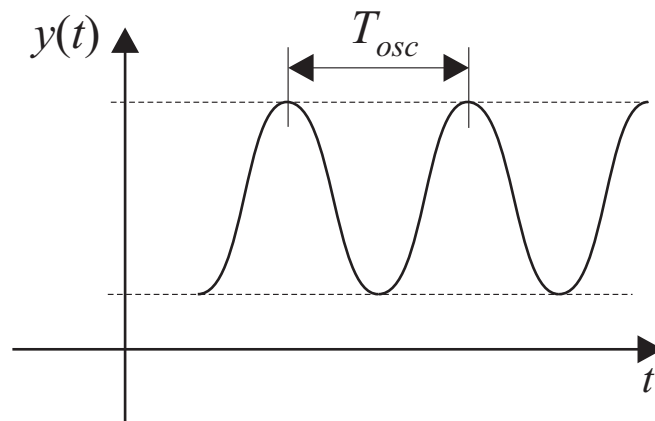
Rys. 108.

$$G_{ob}(s) \approx \frac{k}{1 + sT} e^{-sT_o}, \quad k = \frac{h(\infty)}{A}, \quad u(t) = A \mathbb{1}(t)$$

Typ regulatora	k_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{kT_o}$	∞	0
PI	$\frac{0,9T}{kT_o}$	$3T_o$	0
PID	$\frac{1,2T}{kT_o}$	$2T_o$	$0,5T_o$

Druga metoda

$$T_i \rightarrow \infty, \quad T_d = 0$$



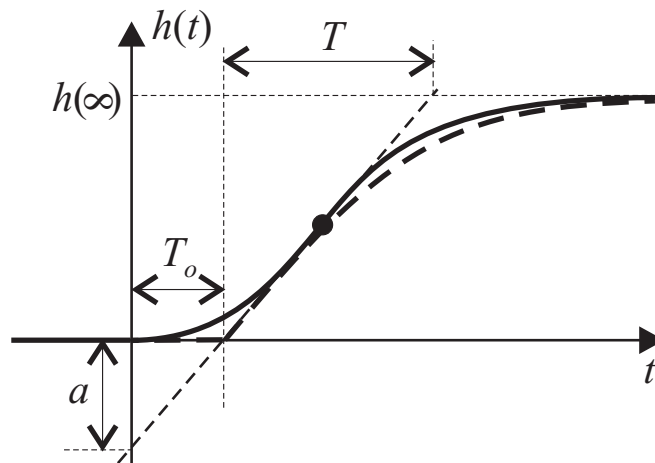
Rys. 109.

Typ regulatora	k_p	T_i	T_d
P	$0,5k_{kr}$	∞	0
PI	$0,45k_{kr}$	$\frac{1}{1,2}T_{osc}$	0
PID	$0,6k_{kr}$	$0,5T_{osc}$	$0,125T_{osc}$

Modyfikacja Passena $k_p = 0,2k_{kr}, T_i = 0,33T_{osc}, T_d = 0,5T_{osc}$

34. Metoda CHR (Chien, Hrones, Reswick) doboru parametrów regulatora

Metoda umożliwia uzyskanie układów regulacji z lepszym tłumieniem lub szybszą odpowiedzią w porównaniu do reguł Zieglera-Nicholsa



Rys. 110.

dla $A = 1$ $k = h(\infty)$, $\frac{k}{T} = \frac{a}{T_o} \Rightarrow a = \frac{kT_o}{T}$

Przereg.	0%			20%		
Typ regulatora	k_p	T_i	T_d	k_p	T_i	T_d
P	$0,3/a$	∞	0	$0,7/a$	∞	0
PI	$0,35/a$	$1,2T$	0	$0,6/a$	T	0
PID	$0,6/a$	T	$0,5T_o$	$0,95/a$	$1,4T$	$0,47T_o$

35. Metoda Cohena-Coona

Podstawowe założenie metody – minimalizacja wpływu zakłóceń

Typ regulatora	k_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{a} \left(1 + \frac{0,35\tau}{1-\tau}\right)$	∞	0
PI	$\frac{0,9}{a} \left(1 + \frac{0,92\tau}{1-\tau}\right)$	$\frac{3,3-3,0\tau}{1+1,2\tau} T_o$	0
PD	$\frac{1,24}{a} \left(1 + \frac{0,13\tau}{1-\tau}\right)$	∞	$\frac{0,27-0,36\tau}{1-0,87\tau} T_o$
PID	$\frac{1,35}{a} \left(1 + \frac{0,18\tau}{1-\tau}\right)$	$\frac{2,5-2,0\tau}{1-0,39\tau} T_o$	$\frac{0,37-0,37\tau}{1-0,81\tau} T_o$

Znormalizowane opóźnienie $\tau = \frac{T_o}{T_o+T}$