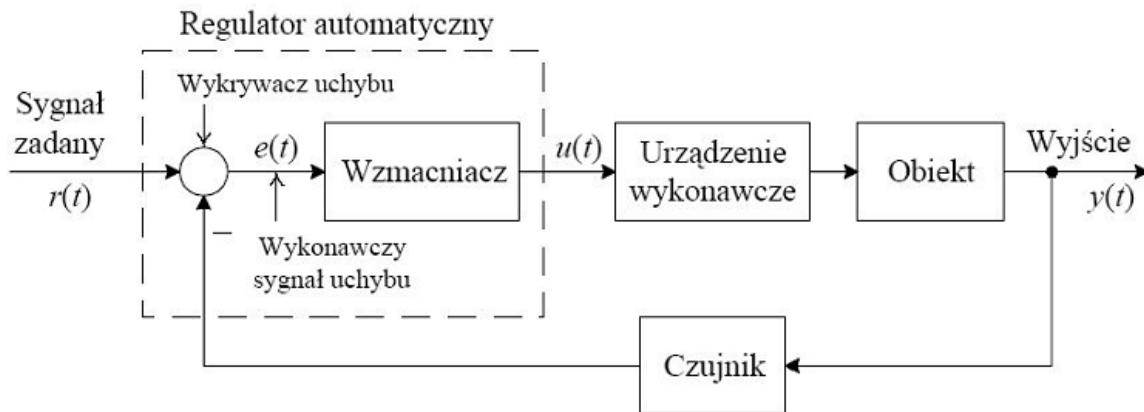


Regulatory

Regulator

- Urządzenie, którego podstawowym zadaniem jest na podstawie sygnału uchybu (odchyłki regulacji) ukształtowanie sygnału sterującego umożliwiającego uzyskanie pożądanego przebiegu wielkości regulowanej niezależnie od występujących zakłóceń



1

Zadania regulatorów

- Porównanie wartości mierzonej wielkości regulowanej z wartością zadaną (określenie wartości sygnału uchybu regulacji).
- Wytwarzanie wyjściowego sygnału sterującego o wartości zależnej od uchybu regulacji, czasu występowania uchybu i szybkości jego zmian.
- Zapewnienie sygnałowi sterującemu postaci i mocy potrzebnej do uruchomienia urządzeń wykonawczych.
- Regulatory przemysłowe często zawierają również urządzenia, które umożliwiają nastawianie wartości zadanej (tzw. zadajniki), przełączniki rodzaju pracy (ręczna, automatyczna), urządzenia do sterowania ręcznego oraz mierniki do pomiaru wielkości istotnych dla procesu regulacji

2

Rodzaje regulatorów

Podział ze względu na rodzaj wykorzystywanej energii:

- Regulatory **bezpośredniego działania** (najstarsze);
- Regulatory korzystające z energii pomocniczej: **elektryczne, pneumatyczne, hydrauliczne**.

Podział ze względu na postać sygnału wyjściowego:

- Regulatory z sygnałem wyjściowym **nieciągłym**: dwustawne, trójstawne (inaczej dwupołożeniowe, trójpołożeniowe), typowo są to regulatory elektryczne;
- Regulatory dwustawne i trójstawne z **korekcją**;
- Regulatory z sygnałem wyjściowym **ciągłym** typu **P, PI, PD, PID**, elektryczne (analogowe lub cyfrowe), pneumatyczne i hydrauliczne.

Regulatory uniwersalne bądź specjalizowane.

3

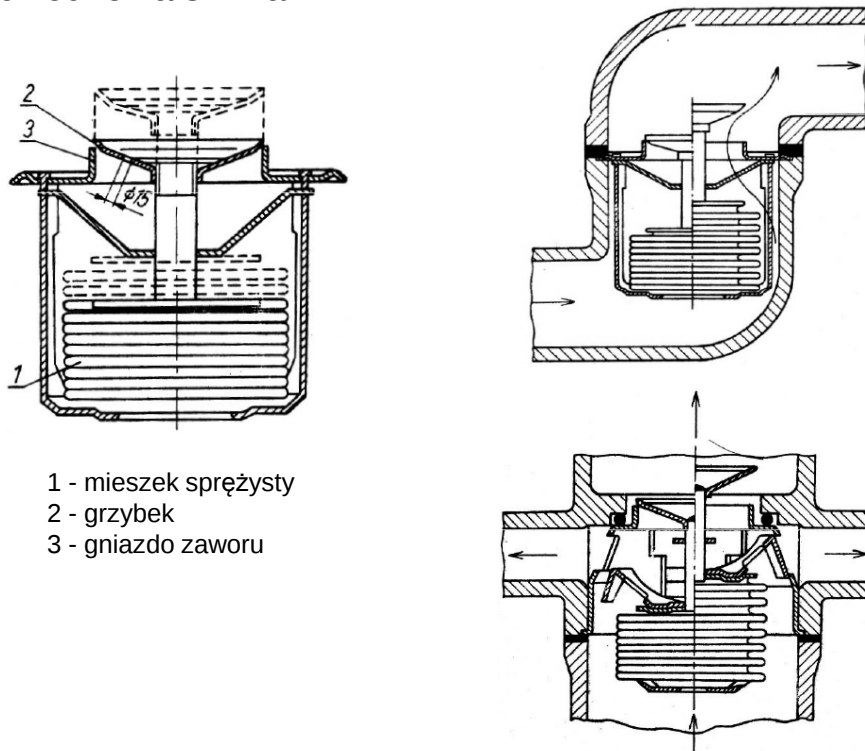
Regulatory bezpośredniego działania

- Regulatory bezpośredniego działania pobierają energię potrzebną do przestawiania zaworu nastawczego z procesu regulowanego za pośrednictwem czujnika pomiarowego.
- Zalety: prosta i zwarta budowa, niska cena i duża niezawodność.
- Wady: ograniczenie do regulacji stałowartościowej o małej dokładności.
- Typowe elementy regulatora: czujnik, nastawnik (zawór regulacyjny) i element wykonawczy (siłownik).
- Typowe zastosowania: regulacja temperatury, ciśnienia, strumienia, poziomu.

4

Regulatory bezpośredniego działania

- Termostat samochodowy – regulacja temperatury wody w układzie chłodzenia silnika



5

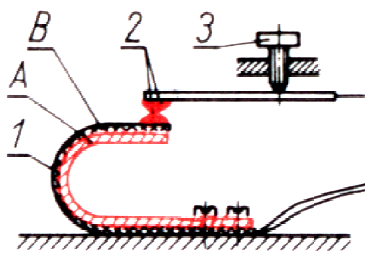
Regulatory dwustawne i trójstawne

- Istota regulacji polega na tym, że na wyjściu regulatora sygnał może przyjmować tylko dwa stany sygnału sterującego: załączony lub wyłączony (dla regulatora trójpołożeniowego trzy stany).
- Regulatory nadają się do obiektów o dużych stałych czasowych (dużych inercjach), gdzie nie jest istotna duża dokładność regulacji, np. sterowanie temperaturą w obiektach cieplnych.
- Zalety: prostota budowy i sterowania.
- Wady: oscylacje (o dużej amplitudzie) wartości wielkości regulowanej wokół wartości zadanej.

6

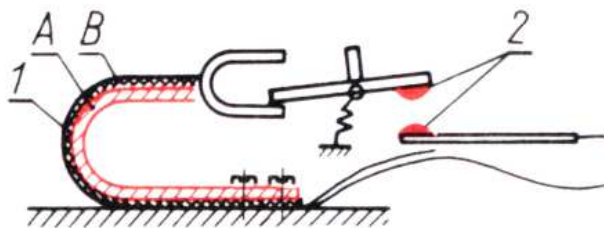
Regulatory dwustawne i trójstawne

- Przykład termoregulatora bimetalowego
 - z bezpośrednim załączaniem obwodu



- 1 - taśma bimetalowa
- 2 - zestyk
- 3 - śruba regulacyjna
- A - materiał o małym współczynniku rozszerzalności temperaturowej
- B - materiał o dużym współczynniku rozszerzalności temperaturowej

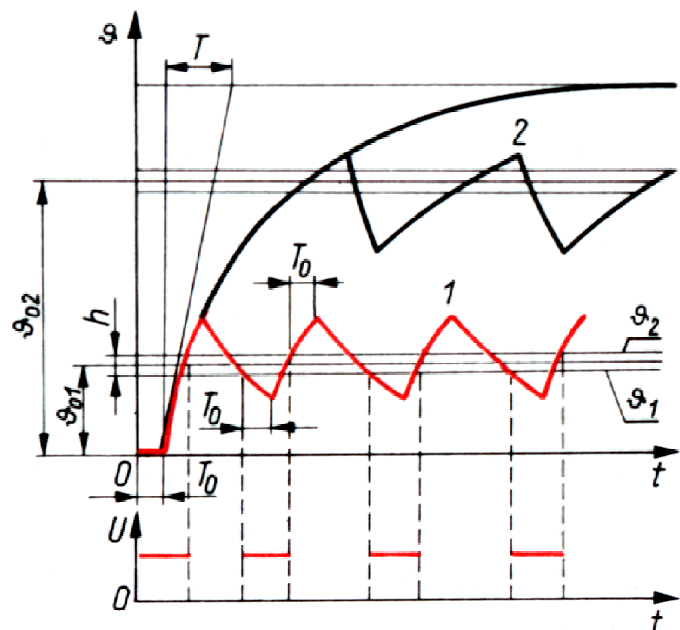
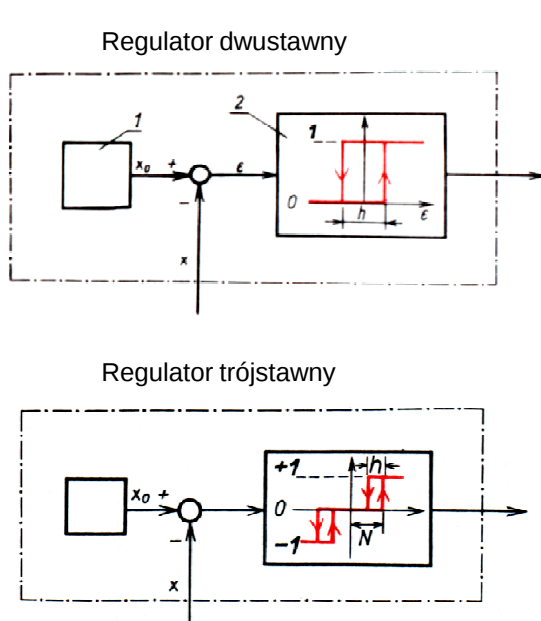
- z załączaniem migowym



7

Regulatory dwustawne i trójstawne

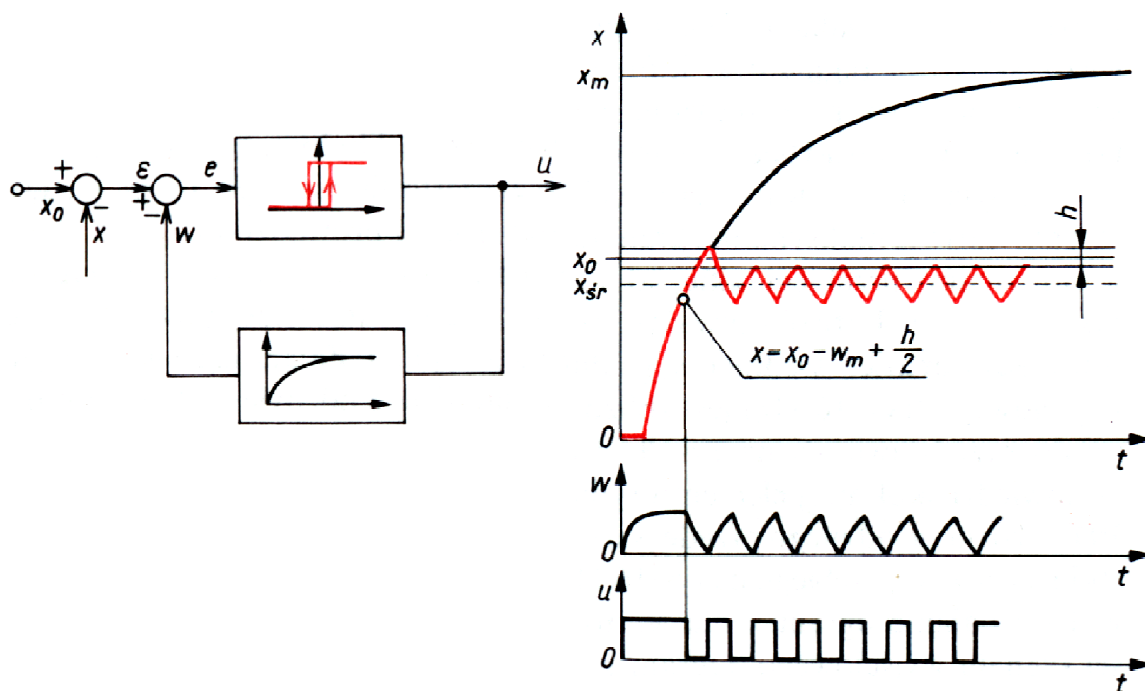
- Charakterystyka statyczna regulatora dwu i trójstawnego oraz przebiegi wartości regulowanej (regulator dwupołożeniowy)



8

Regulatory dwustawne z korekcją

- Umożliwiają zmniejszenie amplitudy oscylacji wielkości regulowanej przez wprowadzenie korekcyjnego sprzężenia zwrotnego (zwiększenie częstotliwości przełączeń)

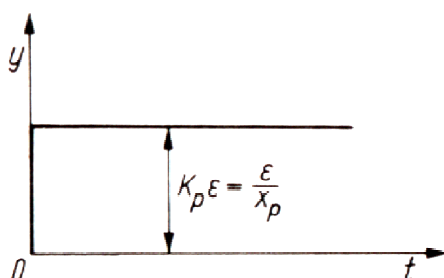


9

Regulatory ciągłe

Regulator proporcjonalny P

- Zastosowanie regulatora typu P zmniejsza wpływ zakłóceń, nie eliminuje ich całkowicie. Regulator P wzmacnia uchyb w całym paśmie częstotliwości (w stanie ustalonym i stanach przejściowych).
- Uchyb w układzie z regulatorem P jest wprost proporcjonalny do wartości zakłóceń i odwrotnie proporcjonalny do wzmocnienia regulatora.
- Wzmocnienie K_p lub zakres proporcjonalności $X_p = (1/K_p)100\%$.

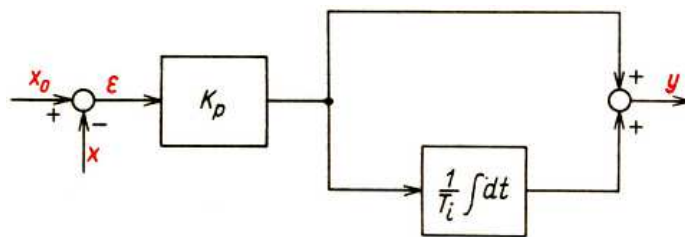


$$y(t) = K_p \varepsilon(t)$$

Regulatory ciągłe

Regulator proporcjonalno-całkujący PI

- Dzięki zastosowaniu elementu całkującego, uchyb ustalony w układzie może zostać sprowadzony do zera (w stanach ustalonych). Wada – pogorszenie stabilności układu i problemy z ograniczeniem całkowania.
- Obecność członu proporcjonalnego daje szybszą reakcję w porównaniu do samego regulatora całkującego.



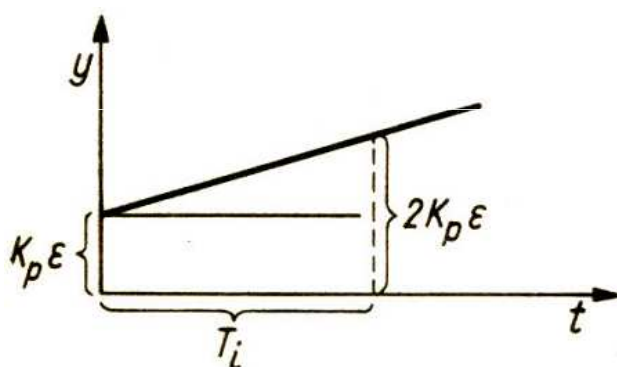
$$y(t) = K_P \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \right)$$

11

Regulatory ciągłe

Parametry regulatora PI

- Wzmocnienie K_P
- Czas zdwojenia T_i



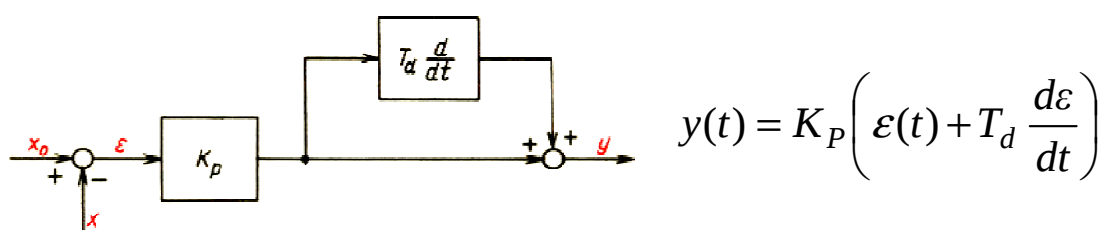
$$h(t) = K_P \left(1 + \frac{t}{T_i} \right) \varepsilon 1(t)$$

12

Regulatory ciągłe

Regulator proporcjonalno-różniczkujący PD

- Regulator PD reaguje na zmianę uchybu regulacji i wprowadza odpowiednią poprawkę do sygnału sterującego, która zabezpiecza przed powstawaniem dużej amplitudy oscylacji sygnału wyjściowego.
- Wprowadzenie bloku różniczkującego poprawia stabilność układu i wpływa na poprawę jakości dynamicznej regulacji (w stanach przejściowych).
- Parametry regulatora: wzmocnienie K_P i czas wyprzedzenia T_d

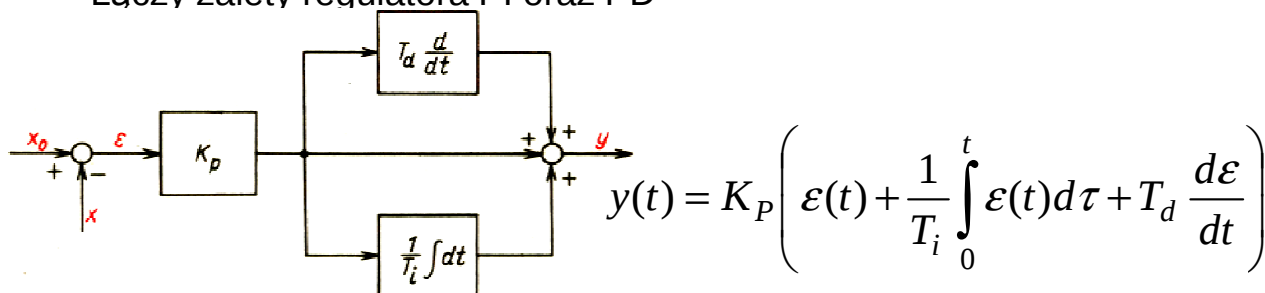


13

Regulatory ciągłe

Regulator PID

- Łączy zalety regulatora PI oraz PD

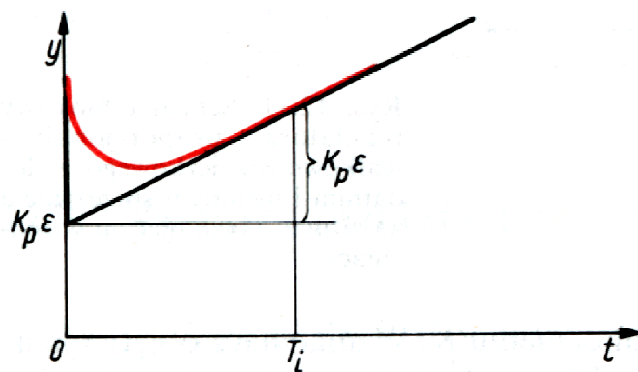


- Transmitancja operatorowa regulatora PID
 - Idealny PID $G(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$
 - Rzeczywisty PID $G(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{sT_i} + \frac{sT_d}{sT + 1} \right)$

14

Regulatory ciągłe

- Odpowiedź skokowa regulatora PID idealnego i rzeczywistego



PID idealny

$$h(t) = K_P \left(1 + \frac{t}{T_i} + T_d \delta(t) \right) \varepsilon 1(t)$$

PID rzeczywisty

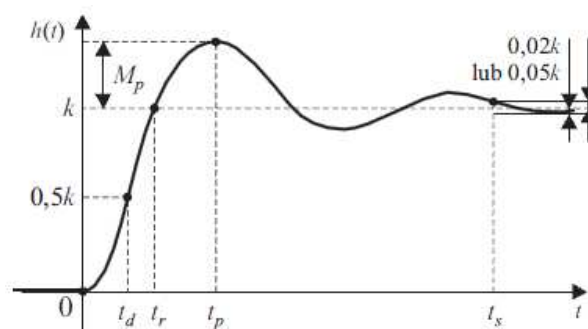
$$h(t) = K_P \left(1 + \frac{t}{T_i} + \frac{T_d}{T} e^{-t/T} \right) \varepsilon 1(t)$$

15

Regulatory ciągłe

Własności regulatorów ciągłych – podsumowanie

odpowiedź układu zamkniętego	czas narastania t_r	przeregulowanie $M_p, \%$	czas ustalania t_s	uchyb ustalony e_u
$k_p \nearrow$	$\searrow$	$\nearrow$	$\approx \text{const}$	$\searrow$
$T_i \nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\rightarrow 0$
$T_d \nearrow$	$\approx \text{const}$	$\searrow$	$\searrow$	$\approx \text{const}$



16

Regulatory ciągłe

Regulatory przemysłowe PID



Regulator ciśnienia CPC316

Regulator temperatury FCD13A



17

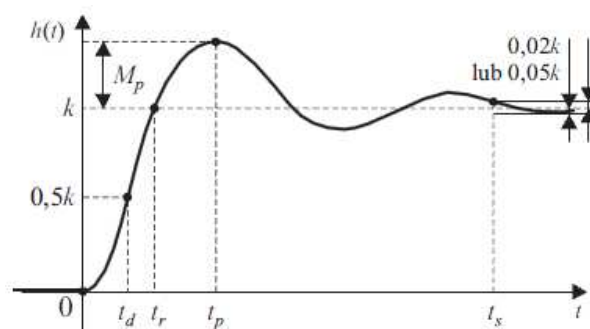
Regulatory PID, dobór nastaw

Zakresy parametrów regulatorów uniwersalnych:

- Zakres proporcjonalności X_p w granicach $3 \div 400\%$;
- Czas zdwojenia T_i w granicach $3s \div 30min$;
- Czas wyprzedzenia T_d w granicach $0 \div 15min$.

Dobór nastaw parametrów regulatora ze względu na:

- Stabilność;
- Uchyb ustalony e_u (ε_u);
- Czas regulacji t_s ;
- Przeregulowanie M_p lub względne κ .



18

Regulatory PID, dobór nastaw

Założenia odnośnie metod strojenia regulatorów

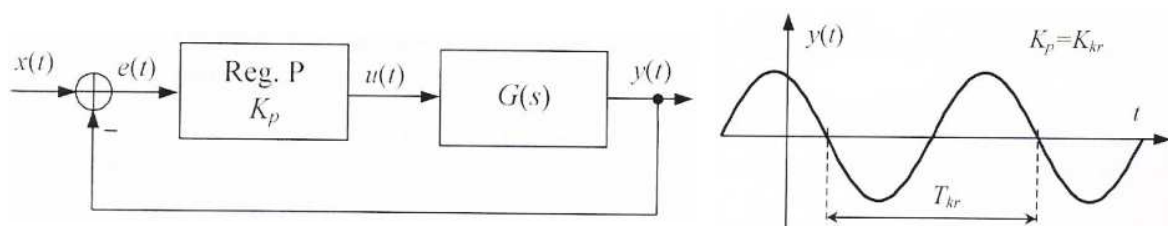
- Mają być w miarę proste.
- Najlepiej, aby nie było konieczności dokładnej znajomości modelu obiektu.
- Potrzebne parametry powinny być łatwe do zarejestrowania, zmierzenia i wyznaczenia.
- Powinny dawać wyniki w miarę szybko.
- Eksperyment niezbędny do przeprowadzenia nie powinien zaburzać samego procesu.
- Powinna istnieć możliwość samoczynnego doboru nastaw przez regulator.

19

Regulatory PID, dobór nastaw

Metoda Zieglera-Nicholsa doboru nastaw regulatora PID (dla nieznanej charakterystyki dynamicznej)

- Metoda doświadczalna – metoda cyklu granicznego
- Ograniczenie – konieczność doprowadzenia obiektu do granicy stabilności (nie zawsze jest to bezpieczne i możliwe)



20

Regulatory PID, dobór nastaw

Schemat postępowania dla metoda Zieglera-Nicholsa

- Uaktywnić tylko część P regulatora ($T_i \rightarrow \infty$, $T_d = 0$);
- Nastawić wzmacnienie regulatora $K_p = K_{kr}$ tak aby układ znalazł się na granicy stabilności;
- Wyznaczyć okres drgań niegasnących $T_{osc} = T_{kr}$;
- Obliczyć nastawy regulatora korzystając z K_{kr} oraz T_{osc} .

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

21

Regulatory PID, dobór nastaw

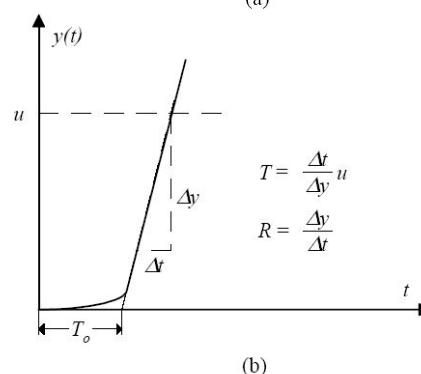
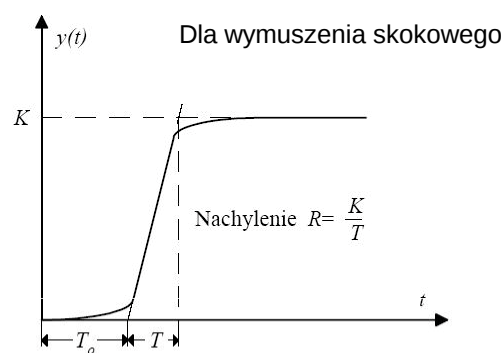
Aproksymacja obiektów

- Obiekty statyczne

$$G(s) = \frac{Ke^{-sT_o}}{Ts + 1},$$

- Obiekty astatyczne

$$G(s) = \frac{Ke^{-sT_o}}{s} = \frac{e^{-sT_o}}{Ts}, \quad K = \frac{1}{T}$$



22

Regulatory PID, dobór nastaw

Dobór nastaw regulatorów PID

- Znana charakterystyka skokowa obiektu statycznego (znane parametry obiektu aproksymującego K , T , T_o)

Optymalne nastawy regulatorów w przypadku obiektów statycznych z opóźnieniem $a = RT_o$

Typ regulatora	Przeregulowanie $\approx 0\%$ Minimum czasu regulacji t_R			Przeregulowanie $\approx 20\%$ Minimum czasu regulacji t_R			$\min \int_0^\infty e^2(t)dt$		
	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
P	$0.3/a$	–	–	$0.7/a$	–	–	–	–	–
PI	$0.6/a$	$0.8T_o + 0.5T$	–	$0.7/a$	$T_o + 0.3T$	–	$1/a$	$T_o + 0.35T$	–
PID	$0.95/a$	$2.4 T_o$	$0.4 T_o$	$1.2/a$	$2.0 T_o$	$0.4 T_o$	$1.4/a$	$1.3 T_o$	$0.5 T_o$

23

Regulatory PID, dobór nastaw

Dobór nastaw regulatorów PID

- Znana charakterystyka skokowa obiektu astatycznego (znane parametry obiektu aproksymującego T , T_o)

Optymalne nastawy regulatorów w przypadku obiektów astatycznych z opóźnieniem

Typ regulatora	Przeregulowanie $\approx 0\%$ Minimum czasu regulacji t_R			Przeregulowanie $\approx 20\%$ Minimum czasu regulacji t_R			$\min \int_0^\infty e^2(t)dt$		
	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
P	$0.37 \cdot \frac{T}{T_o}$	–	–	$0.7 \cdot \frac{T}{T_o}$	–	–	–	–	–
PI	$0.46 \cdot \frac{T}{T_o}$	$5.75 \cdot T_o$	–	$0.7 \cdot \frac{T}{T_o}$	$3 \cdot T_o$	–	$1 \cdot \frac{T}{T_o}$	$4.3 \cdot T_o$	–
PID	$0.65 \cdot \frac{T}{T_o}$	$5 \cdot T_o$	$0.23 \cdot T_o$	$1.1 \cdot \frac{T}{T_o}$	$2 \cdot T_o$	$0.37 \cdot T_o$	$1.36 \cdot \frac{T}{T_o}$	$1.6 \cdot T_o$	$0.5 \cdot T_o$

24