

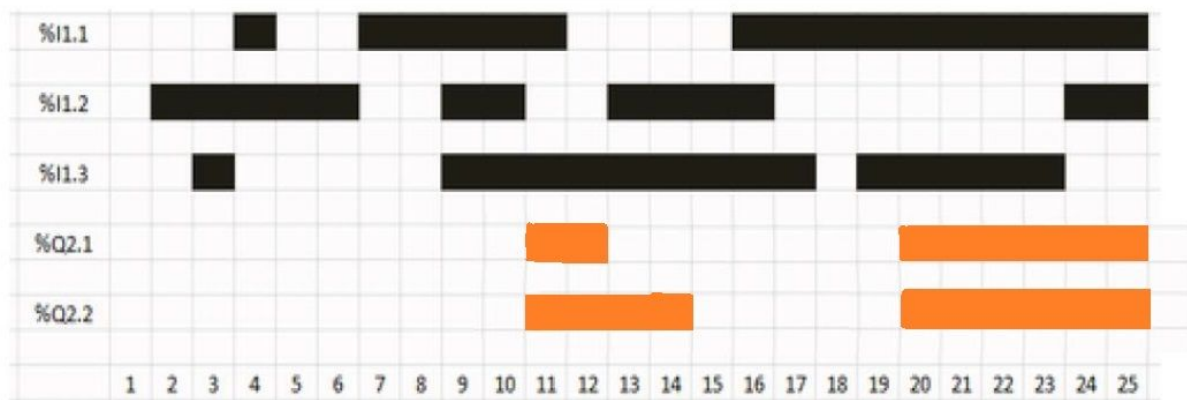
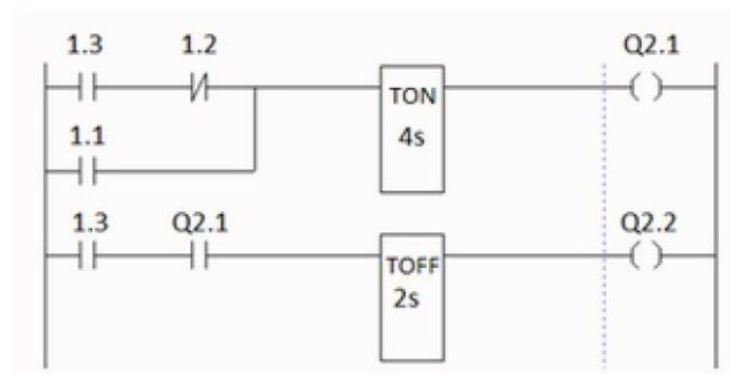
## Sterowniki i regulatory

Ostateczna wersja dokumentu z samymi rozwiązaniami

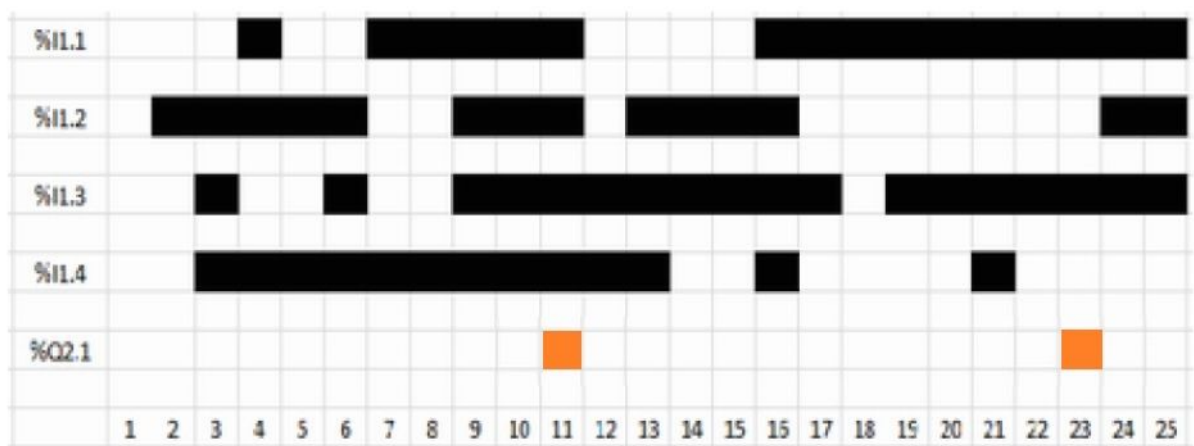
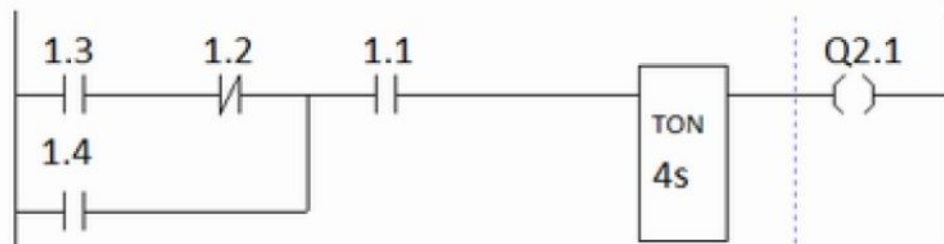
[http://we.pb.edu.pl/~kaie/kaie-md/ZSP/Elementy\\_oprogramowania\\_PLC.pdf](http://we.pb.edu.pl/~kaie/kaie-md/ZSP/Elementy_oprogramowania_PLC.pdf)

opis blozków, cewek, styków

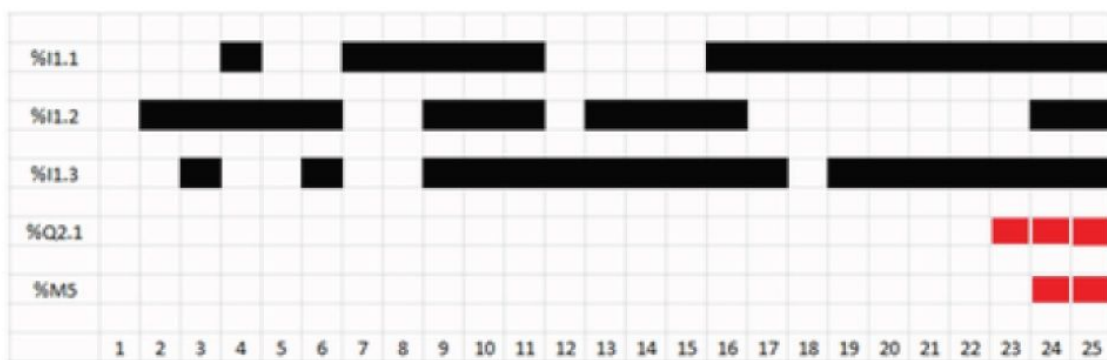
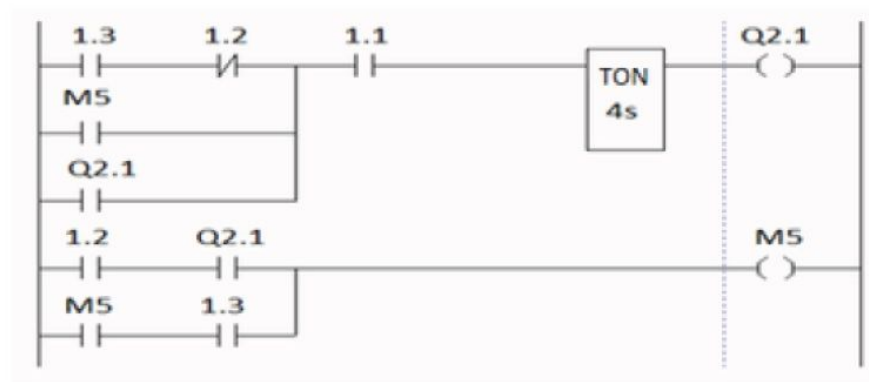
1.



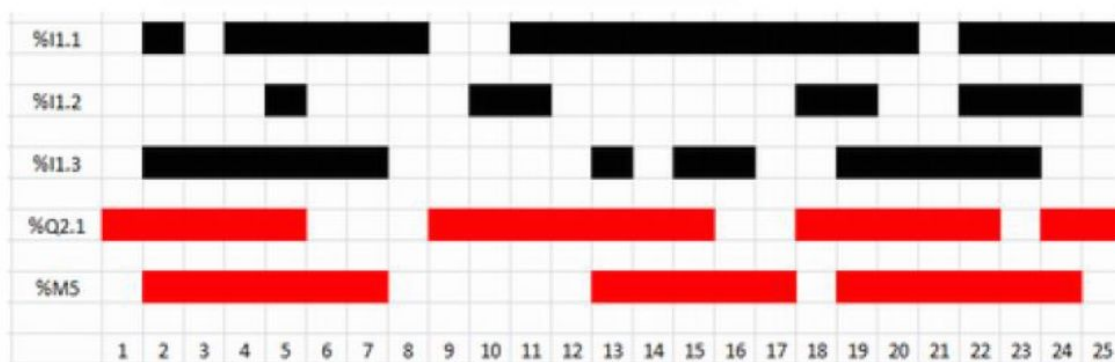
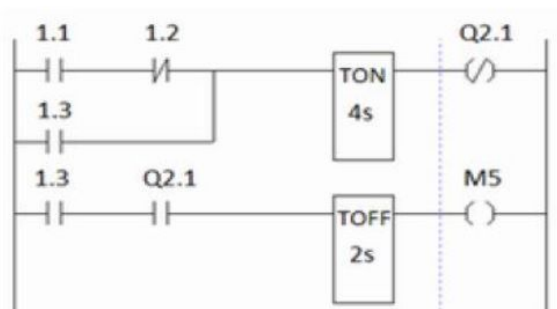
2.



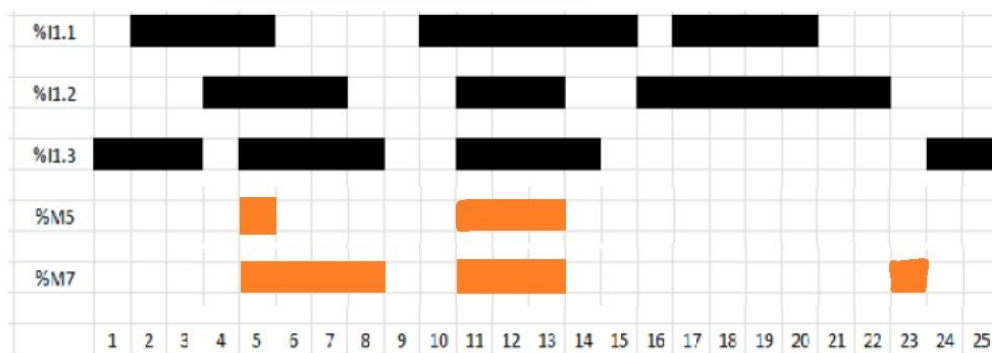
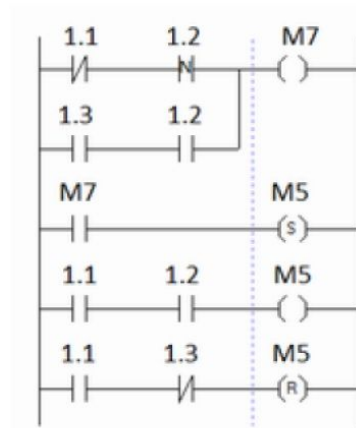
3.



4.



5.

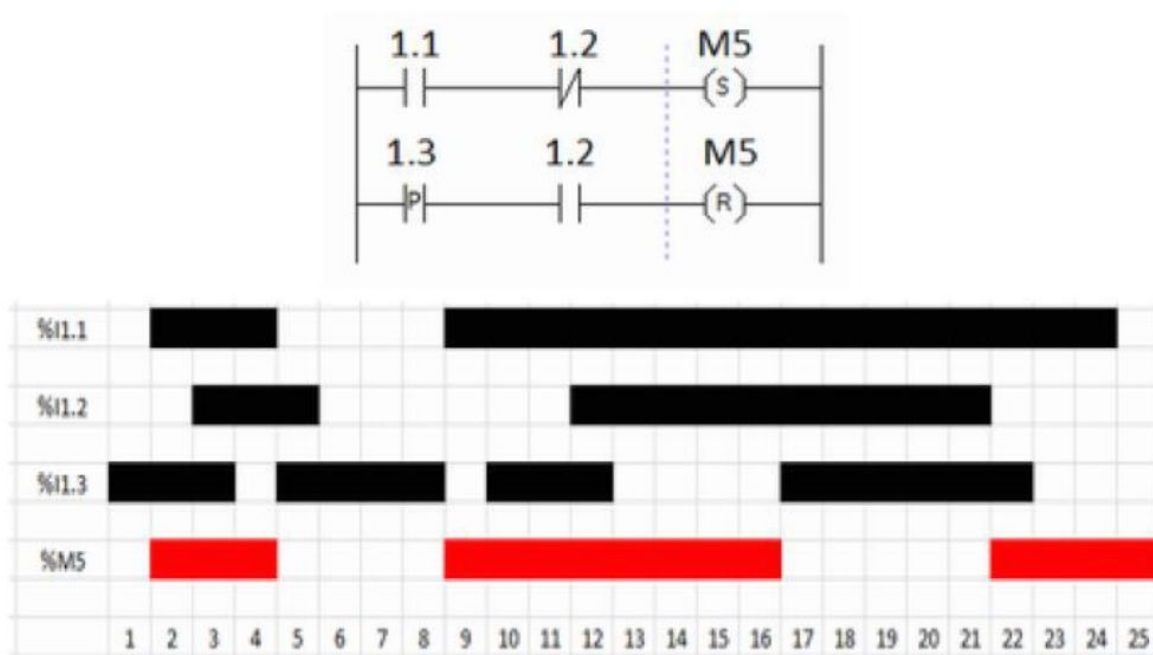


M5 w ostatnich trzech kratkach powinna być chyba włączona

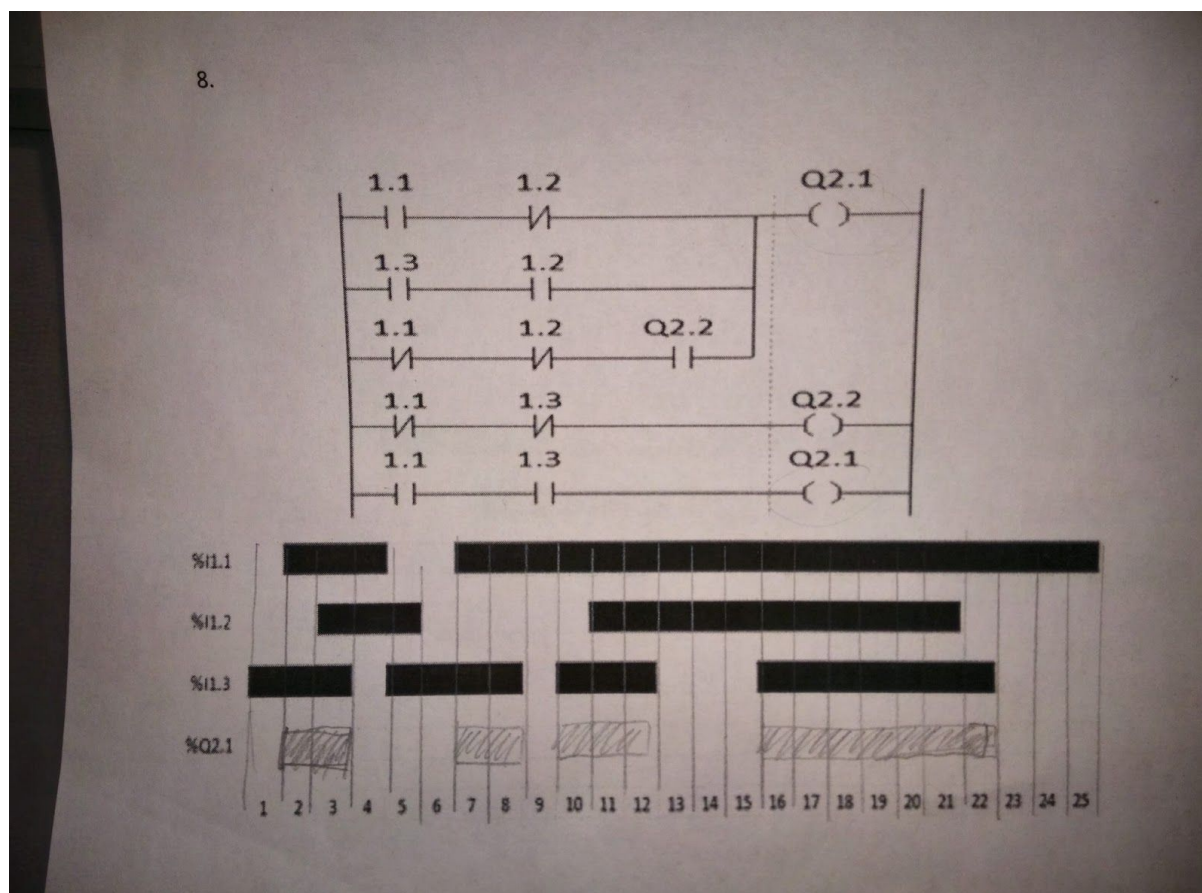
prawda^^^

^^ a przypadkiem dlatego że I1.1 i I1.2 mają stan 0 a za setem jest jeszcze zwykła cewka to spowoduje że M5 będzie też miało 0? dlatego w 3 ostatnich będzie wyłączona

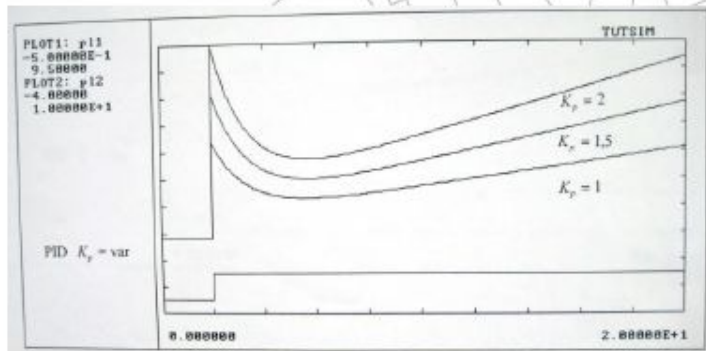
6.



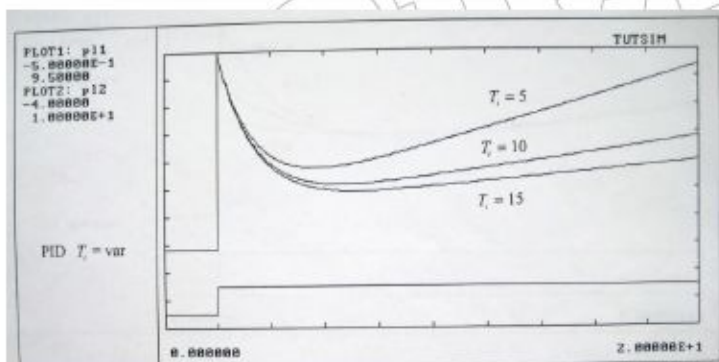
7. to to samo co 8, tylko, że było źle zrobione



$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K_p \left( \frac{1}{T_i s} + \frac{1 + T_d s}{1 + a T_d s} \right)$$

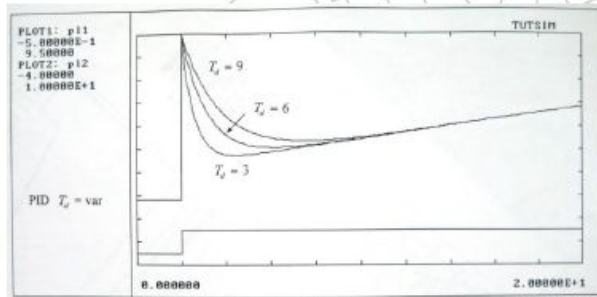


$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K_p \left( \frac{1}{T_i s} + \frac{1 + T_d s}{1 + a T_d s} \right)$$

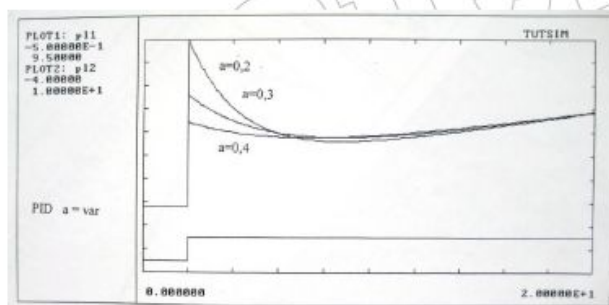


## Regulatory liniowe - regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący PID

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K_p \left( \frac{1}{T_i s} + \frac{1 + T_d s}{1 + a T_d s} \right)$$



$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K_p \left( \frac{1}{T_i s} + \frac{1 + T_d s}{1 + a T_d s} \right)$$





## Regulatory liniowe

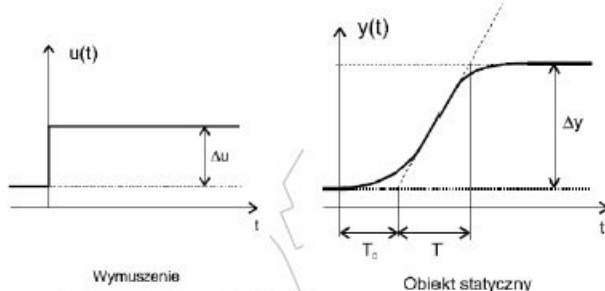
Rodzaj regulatora	Transmitancja i równanie charakterystyki skokowej	Charakterystyka skokowa
<b>P</b>	$k_p$ $u(t) = k_p e_a(t)$	
<b>I</b>	$\frac{1}{T_i s}$ $u(t) = \frac{e_a}{T_i} t$	
<b>PI</b>	$k_p (1 + \frac{1}{T_i s})$ $u(t) = k_p e_a (1 + \frac{1}{T_i} t)$	
<b>PD</b>	$k_p (1 + T_d s)$ $u(t) = k_p e_a [1 + T_d \delta(t)]$ gdzie: $\delta(t)$ jest funkcją Diraca	

Rodzaj regulatora	Transmitancja i równanie charakterystyki skokowej	Charakterystyka skokowa
<b>PD rzeczywisty</b>	$k_p (1 + \frac{T_d s}{T s + 1})$ $u(t) = k_p e_a (1 + \frac{T_d}{T} e^{-\frac{t}{T}})$	
<b>PID</b>	$k_p (1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$ $u(t) = k_p e_a [1 + \frac{1}{T_i} t + T_d \delta(t)]$ gdzie: $\delta(t)$ jest funkcją Diraca	
<b>PID rzeczywisty</b>	$k_p (1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T s + 1})$ $u(t) = k_p e_a (1 + \frac{1}{T_i} t + \frac{T_d}{T} e^{-\frac{t}{T}})$	

$$m = \frac{T_i T_d}{T_i T_d + 1}$$



## Dobór nastaw regulatorów PID - metoda odpowiedzi skokowej



Model obiektu wg Kűpfműllera

$$G(s) = e^{-T_0 s} \frac{k_{ob}}{Ts + 1}$$

$$k_{ob} = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

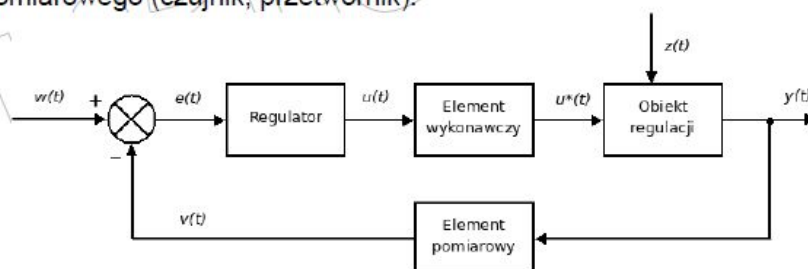
Wskaźniki jakości regulacji Typ regulatora	$\kappa \approx 0\%$ minimum $t_r$	$\kappa = 20\%$ minimum $t_r$	minimum $\int e^2(t)dt$
<b>P</b>	$k_p = \frac{0.3T}{k_o T_o}$	$k_p = \frac{0.7T}{k_o T_o}$	
<b>PI</b>	$k_p = \frac{0.6T}{k_o T_o}$ $T_I = 0.8T_o + 0.5T$	$k_p = \frac{0.7T}{k_o T_o}$ $T_I = T_o + 0.3T$	$k_p = \frac{T}{k_o T_o}$ $T_I = T_o + 0.35T$
<b>PID</b>	$k_p = \frac{0.95T}{k_o T_o}$ $T_I = 2.4T_o$ $T_D = 0.4T_o$	$k_p = \frac{1.2T}{k_o T_o}$ $T_I = 2T_o$ $T_D = 0.4T_o$	$k_p = \frac{1.4T}{k_o T_o}$ $T_I = 1.3T_o$ $T_D = 0.5T_o$

Zadania jakie może realizować system sterowania procesem:

■ sterownie logiczne

■ układy regulacji

Układ regulacji składa się z elementu porównującego (sumator), regulatora, elementu wykonawczego (zawór z napędem, siłownik, silnik), obiektu sterowania oraz układu pomiarowego (czujnik, przetwornik).



Celem regulacji jest doprowadzenie do stanu, kiedy wielkość sterowana osiąga wartość równą wartości zadanej

■ monitorowanie stanu procesu



# SiR Opracowanie

## Programowanie PLC

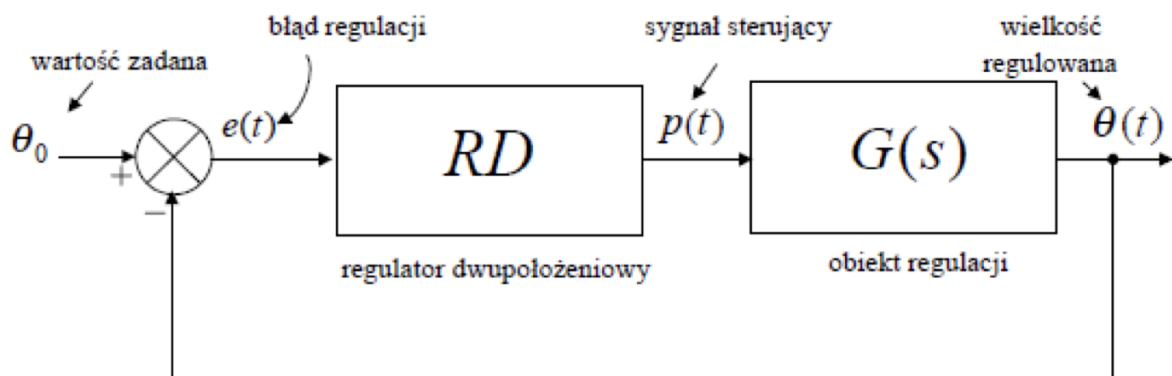
### Zadania

---

## Regulator dwustawny i trójstawny

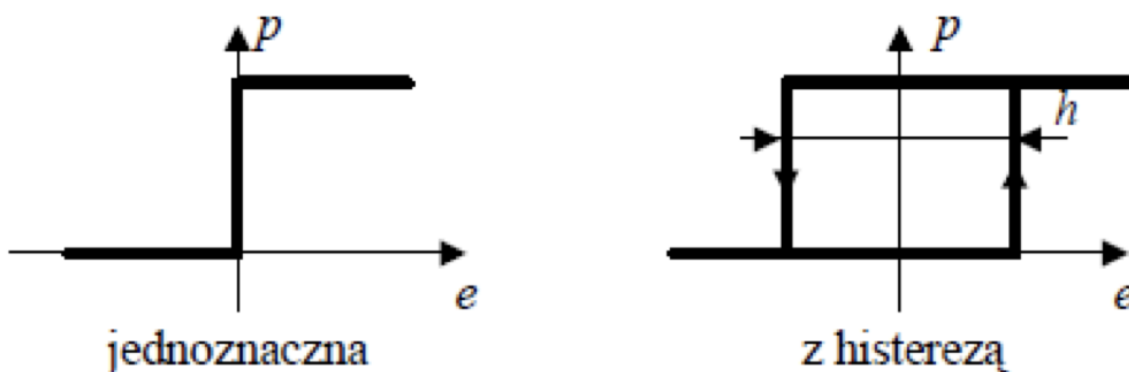
Układem regulacji dwustawnej (dwupołożeniowej) nazywa się układ, w którym regulator może nastawiać tylko dwie wartości wielkości sterującej obiektem regulacji.

### Dwustawny:

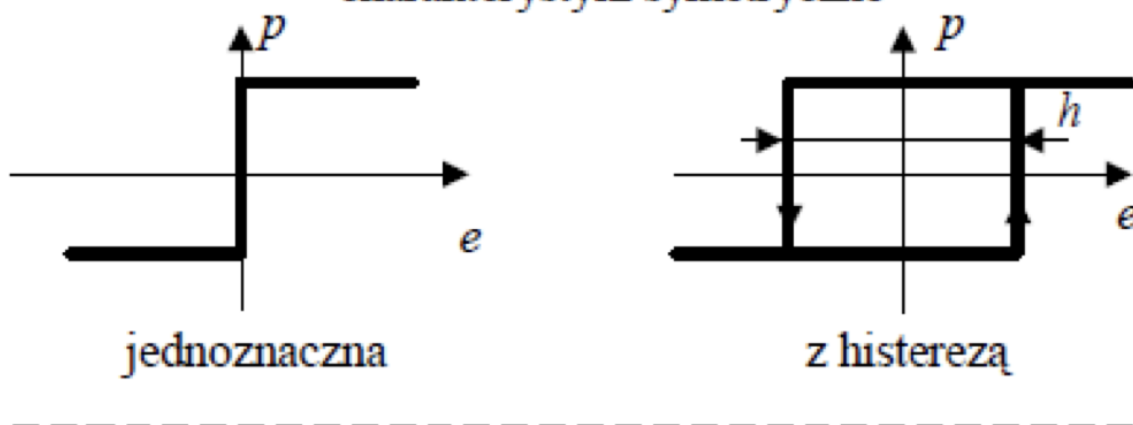


Schemat układu regulacji dwupołożeniowej

### charakterystyki asymetryczne



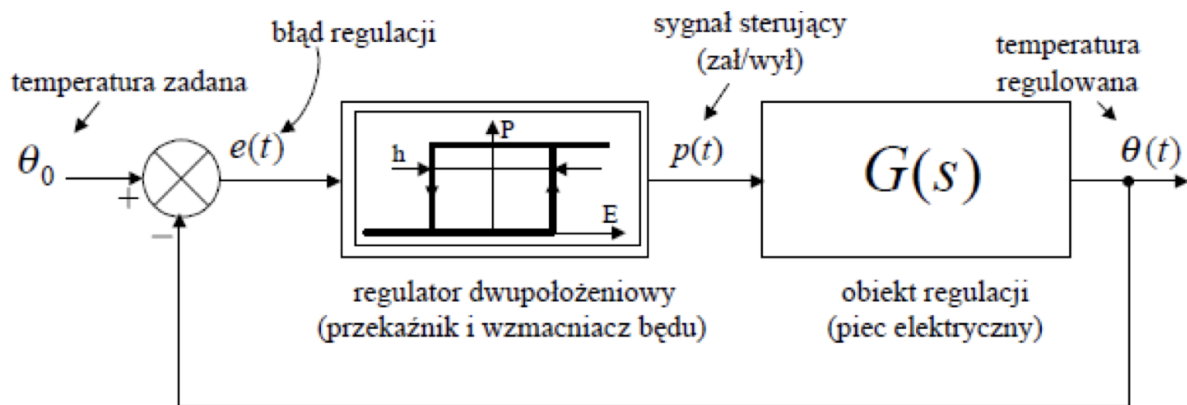
### charakterystyki symetryczne



Charakterystyki przekaźnikowe

Regulatory dwupołożeniowe zalicza się do najprostszych rodzajów regulatorów. Posiadają one dwa stabilne stany wyjściowe oznaczane zazwyczaj jako: 1 - włączony (aktywny) 0 - wyłączony (nieaktywny). Ze względu na małą dokładność regulacji wykorzystywane są tam, gdzie duża dokładność nie jest wymagana (sprzęt gospodarstwa domowego) lub tam gdzie duża dokładność regulacji nie jest wskazana np. przy sterowaniu pracą pomp, sprężarek, agregatów chłodniczych. Z racji swojej prostoty są jednocześnie tanie i niezawodne.

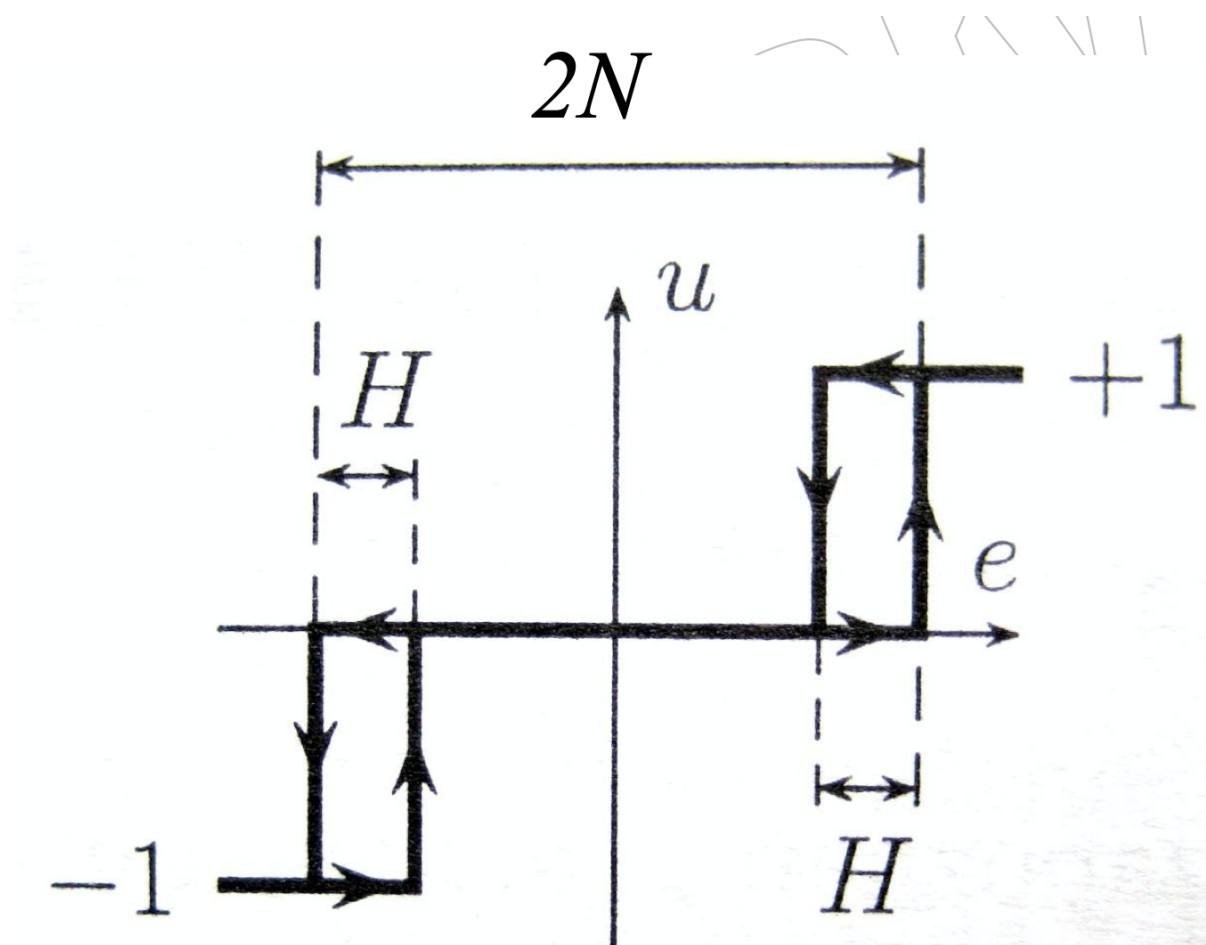
Najprostszym układem regulatora jest przekaźnik dwupołożeniowy współdziałający ze wzmacniaczem błędów. Układ tego typu realizowany jest elektronicznie i ma charakterystykę asymetryczną z histerezą.



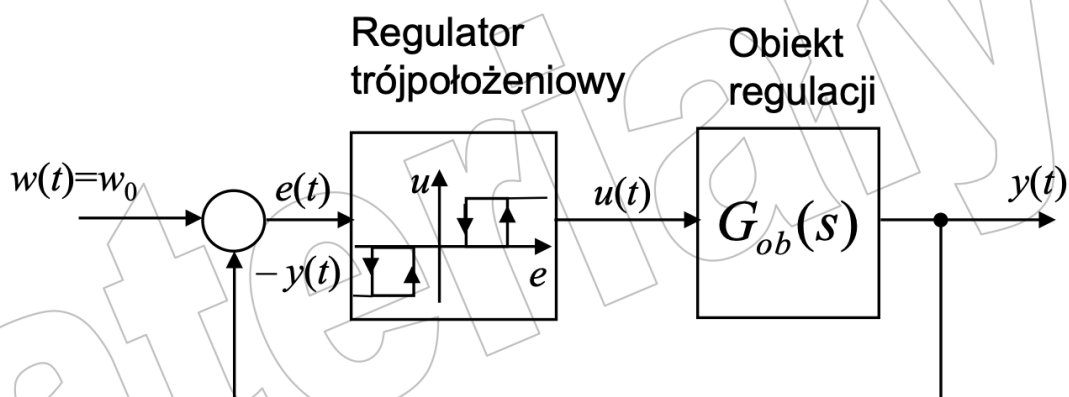
Układ regulacji dwupołożeniowej z regulatorem elektronicznym

### Trójstawny:

Regulator trójpołożeniowy stosuje się do sterowania kątem obrotu wału silnika elektrycznego prądu stałego (położeniem kątowym wału). Układ regulacji trójpołożeniowej nazywa się też serwomechanizmem położeniowym.



Charakterystyka statyczna przełącznika trójstawnego

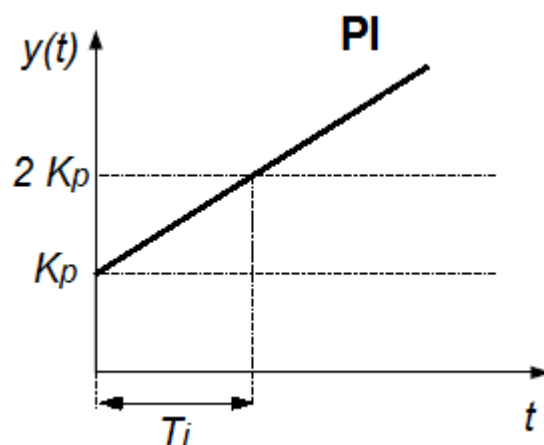


Schemat blokowy układu regulacji trójpółeniowej

$$G_{ob}(s) = \frac{k}{s(Ts + 1)}$$

## Czas zdwojenia

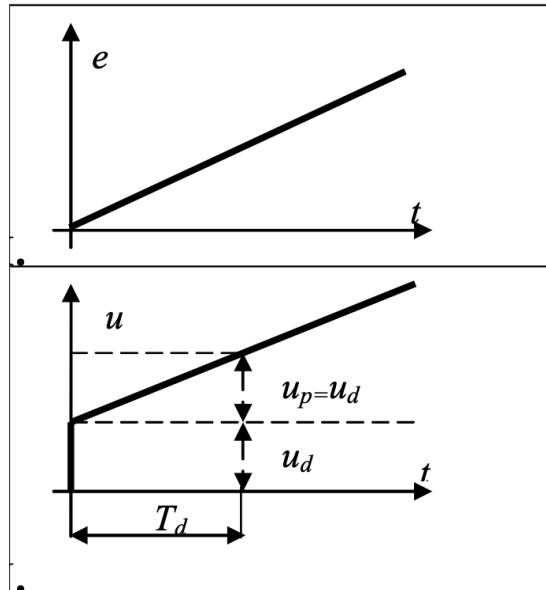
Czas całkowania, czas zdwojenia  $T_i$  – czas potrzebny na osiągnięcie przez sygnał wyjściowy regulatora PI (sygnał sterujący) wartości równej podwojonej wartości sygnału wejściowego, wynikającej z działania proporcjonalnego, przy założeniu skokowego sygnału wejściowego.



---

## Czas wyprzedzenia

Czas wyprzedzenia  $T_d$  jest to czas, po którym sygnał wyjściowy z regulatora, związany z działaniem proporcjonalnym zrówna się z sygnałem pochodzącym od działania różniczkującego. Czas wyprzedzenia  $T_d$  wyznaczany jest jako odpowiedź na zmienny w czasie uchyb regulacji  $e(t)$ .



---

## Dobór nastaw

Wymagania stawiane metodom doboru nastaw:

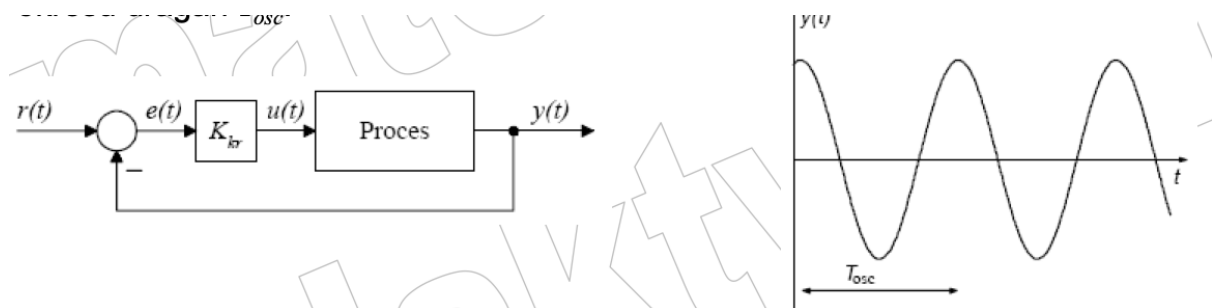
- Powinny być proste
- Nie powinny wymagać dokładnej znajomości modelu obiektu
- Potrzebne parametry powinny być łatwe do zmierzenia, zarejestrowania i/lub wyznaczenia
- Powinny dawać wyniki w miarę szybko
- Eksperyment niezbędny do przeprowadzenia procedury doboru nie powinien zaburzać samego procesu
- Powinna istnieć możliwość wykorzystania do samoczynnego doboru nastaw przez regulator

## Metody Zieglera-Nicholsa:

### Metoda cyklu granicznego - II metoda Zieglera-Nicholsa:

- Metoda doświadczalna – nie potrzebujemy znajomości modelu obiektu
- Punktem wyjścia dla procesu doboru nastaw regulatora PID jest ustalenie, jak dynamiczna będzie reakcja układu sterowania na błąd uchybu
  - Proces wolnozmienny – parametry regulatora PID mogą być tak dobrane, by cały układ reagował natychmiast na wszelkie zmiany i odchylenia regulowanej wielkości od wartości zadanej
  - Proces szybkozmienny – konieczne są szybkie reakcje układu, wówczas parametry regulatora PID dobiera się tak, by działając łagodził on skutki szybkich zmian, rozciągając korekcję w czasie

Druga reguła Zieglera-Nicholsa wymaga badania układu w pętli zamkniętej i znana jest też pod nazwą cyklu granicznego lub granicy stabilności. Regulator należy skonfigurować jako regulator czysto proporcjonalny (ewentualnie ustawić w regulatorze PID maksymalny możliwy czas całkowania i możliwie mały czas różniczkowania). Następnie wzmacnienie  $K_p$  zwiększa się, aż do wystąpienia drgań niegasnących. Niech  $K_{kr}$  oznacza wzmacnienie regulatora, odpowiadające tej granicy stabilności, dla której możliwe było oszacowanie okresu drgań  $T_{osc}$ .



### Metoda odpowiedzi skokowej – I metoda Zieglera-Nicholsa:

- Metodę opartą na pomiarze charakterystyk skokowych obiektu stosuje się do obiektów, których przybliżony model matematyczny można aproksymować modelem obiektu inercyjnego (wieloinercyjnego) z opóźnieniem



- Większość obiektów występujących w przemyśle można opisać w ten sposób
- Metoda polega na podaniu sygnału wymuszenia skokowego i rejestracji odpowiedzi przy otwartej linii sprzężenia zwrotnego
- Warunkiem powodzenia jest ustalenie wartości wyjściowej w warunkach sterowania bez pętli sprzężenia zwrotnego
- Dobre rezultaty metody – wskaźniki jakości regulacji dla dużego zakresu zmienności parametrów modeli obiektów są wyraźnie lepsze, niż przy metodzie cyklu granicznego

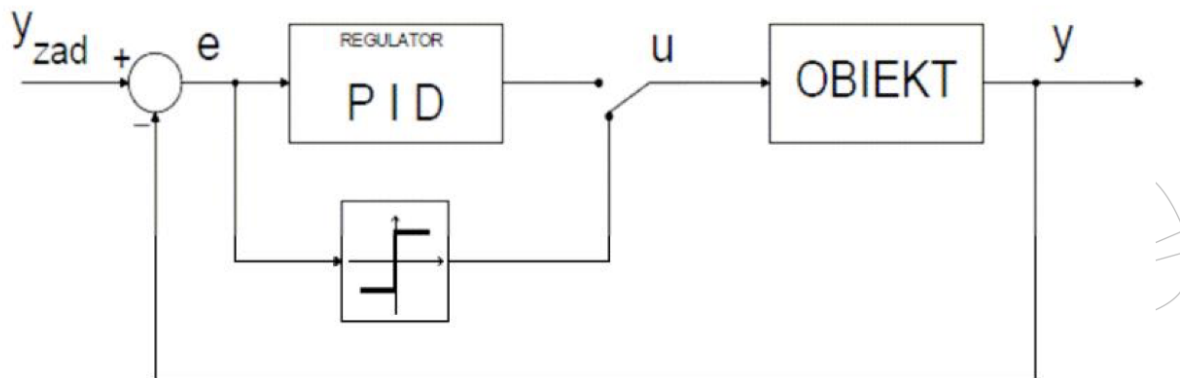
Sposób postępowania:

- Ustawić regulator P na  $K_p=1$  (lub odłączyć regulator)
- Przerwać pętlę sprzężenia zwrotnego
- Oprowadzić wartość zadaną do takiej wielkości, aby na wyjściu obiektu otrzymać wartość zbliżoną do stałej
- Wykonać skok wartości zadanej o określoną wartość  $\Delta u$
- Zarejestrować odpowiedź obiektu  $y(t)$
- Wyznaczyć parametry charakterystyczne odpowiedzi skokowej i obliczyć nastawy

## **Metoda przekaźnikowa:**

- Modyfikacja metody Zieglera-Nicholsa wprowadzona przez Astroma i Hagglunda
- Cele:
  - nie doprowadzać układu automatycznej regulacji do granicy stabilności
  - nie rozłączać pętli sprzężenia zwrotnego
  - nie wprowadzać dużych zmian wartości regulowanej
- Metoda: wymuszenie oscylacji o ograniczonej amplitudzie
- Sposób wymuszenia oscylacji: zastąpienie regulatora PID regulatorem dwupołożeniowym (przekaźnikiem) o znanych własnościach

- Pomiar parametrów wymuszonych oscylacji
- Wyznaczenie nastaw
- Powrót do regulatora PID



$$u(t) = u_{sr} \pm \text{sign}(e) \cdot B$$

- Możliwość ograniczenia amplitudy oscylacji
- Bardzo duża szybkość uzyskania wyników
- Dużo metod doboru nastaw przy określonych wymaganiach odnośnie wskaźników jakości
- Możliwość zautomatyzowania procesu doboru nastaw
- Konieczność wprowadzania układu w oscylacje
- Konieczność użycia dodatkowego regulatora dwupołożeniowego
- Konieczność spełnienia wymagań odnośnie regulacji dwupołożeniowej dla uzyskania dokładnych wartości

## Model Strejca

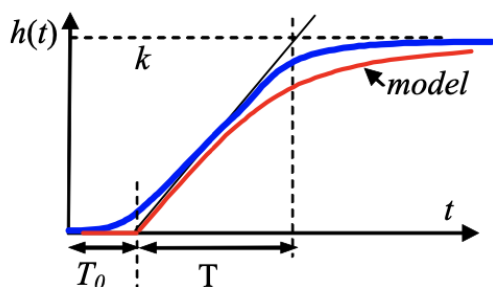
Graficzna interpretacja parametrów podstawowych członów dynamiki na charakterystykach czasowych jest wykorzystywana jako jedna z metod identyfikacji modelu na podstawie reakcji obiektu na skokową zmianę sygnału wejściowego.

Zazwyczaj identyfikowany obiekt ma charakter inercyjny – w najprostszym przypadku jest to inercja pierwszego rzędu, którą łatwo rozpoznać na podstawie reakcji obiektu i wyznaczyć wartości parametrów (Rys. I-17). Dla

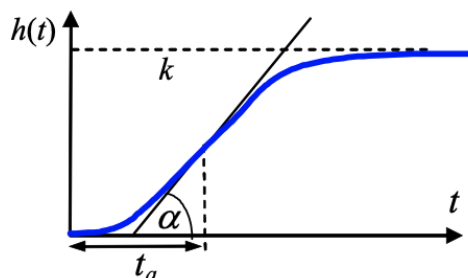
obiektów inercyjnych drugiego rzędu i wyższych stosuje się modele przybliżone o trzech parametrach.

$$\text{Model Strejca: } \frac{K}{(T_s + 1)^2}$$

Wartości parametrów wyznacza się na podstawie pomiaru parametrów prostej stycznej w punkcie przegięcia.



Rys. I-21. Identyfikacja modelu Kűpfműllera



Rys. I-22. Identyfikacja modelu Strejca

## Odpowiedzi regulatora P, PI, PD na różne rodzaje wejść

### Regulator P

Regulator P (Proportional Controller) składa się z jednego członu typu P (proporcjonalnego), którego transmitancję określa wzmacnienie:

$$G_p(s) = K_p$$

Na podstawie sygnału podawanego na wejście regulatora, wytwarza on proporcjonalny sygnał sterujący, przy czym celem jest utrzymanie wartości wyjściowej układu na pewnym z góry zadanym poziomie, który jest zwany wartością zadaną (dążenie do eliminacji uchybu regulacji).

Układy regulacji z regulatorem typu P charakteryzują się niezerowym uchybem ustalonym w przypadku, gdy transmitancja zastępcza układu posiada jedynie bieguny niezerowe - tym większym im większe jest wzmacnienie regulatora. Wartość niezerowego uchybu jest opisana wzorem:

$$|e_u| = \frac{B}{1 + K_p \cdot K_o}$$

gdzie:  $K_o$  - wzmacnienie obiektu regulacji,  $B$  - wartość skoku sygnału zadanego lub zakłócenia (wówczas  $B = A \cdot K_o$ ),  $K_p$  - wzmacnienie regulatora

Regulatory proporcjonalne są najprostszymi w działaniu regulatorami. Sygnał wyjściowy z regulatora jest wzmacnioną wartością odchyłki regulacji.

Regulatory P wzmacniają odchyłkę regulacji ze współczynnikiem proporcjonalności  $K_{pr}$ . Im większa zostanie wybrana wartość współczynnika  $K_{pr}$ , tym dokładniej pracuje układ regulacji, ale tym bardziej skłonny jest do pracy niestabilnej.

Regulator P jest najczęściej używany w prostych układach regulacji z obiektami o średniej wartości inercji, niedużym opóźnieniu i stałym obciążeniu (stałej wartości sygnału zakłócenia).

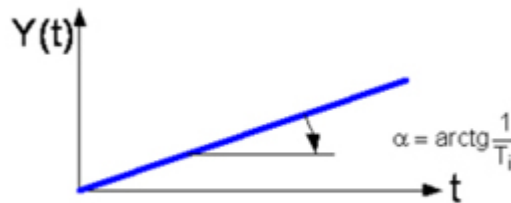


Odpowiedź na skok jednostkowy

## Regulator I

Regulator I umożliwia realizację regulacji astatycznej. Z obiektami astatycznymi może tworzyć niestabilne układy regulacji. Może być stosowany głównie w obiektach statycznych charakteryzujących się powolnymi zmianami obciążenia.

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$



Odpowiedź na skok jednostkowy

## Regulator PI

Regulator PI (Proportional-Integral Controller) - w automatyce, regulator składający się z członu proporcjonalnego P o wzmacnieniu  $K_p$  oraz całkującego I o czasie całkowania  $T_i$ . Transmitancję regulatora PI określa się wzorem:

$$G_{PI}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

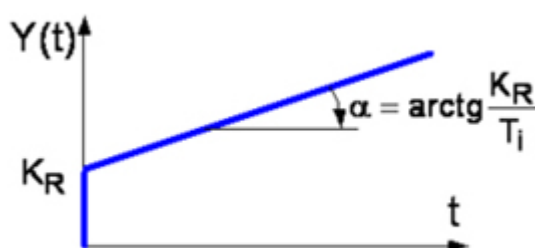
Regulatory typu PI pozwalają na eliminację wolnozmiennych zakłóceń, co przekłada się na zerowy uchyb ustalony, niemożliwy do osiągnięcia w regulatorach typu P lub typu PD.

Jeśli sterowanie całkujące dodawane jest do regulatora, wówczas tak długo jak długo występuje sygnał uchybu podawane jest sterowanie w celu wyeliminowania tego uchybu.

Regulator proporcjonalno - całkujący charakteryzuje się tym, że jego sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do sumy sygnału wejściowego i całki sygnału wejściowego. Jedną część odpowiedzi skokowej regulatora PI jest proporcjonalna (P) do odchyłki regulacji, zaś druga jest całką (I) z odchyłki regulacji po czasie. Innymi słowy regulatory PI wzmacniają i całkują odchyłkę regulacji.

Regulator PI stosuje się w przypadku szybkich zmian wartości wielkości zadającej (zmian wartości zadanej), a więc przy regulacji nadążnej.

Regulator PI w stanie ustalonym sprowadza uchyb regulacji do zera. Im jest większe wzmocnienie  $K_p$  oraz krótszy czas całkowania  $T_i$ , tym szybciej działa regulator, przy jednoczesnym zbliżeniu się do granicy stabilności. Objawia się to skłonnością do oscylacji.



Odpowiedź na skok jednostkowy

## Regulator PD

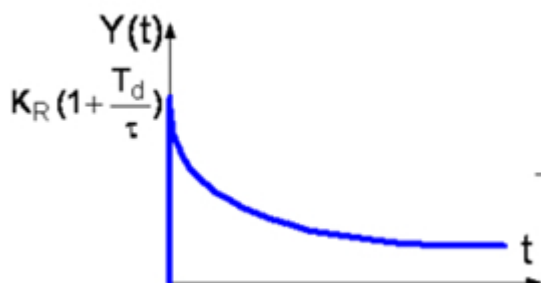
Regulator PD (Proportional-Derivative Controller) - w automatyce, regulator składający się z członu proporcjonalnego P o wzmocnieniu  $K_p$  oraz różniczkującego D (fizycznie nierealizowalnego) o czasie różniczkowania  $T_d$ . Transmittancję idealnego regulatora PD określa się wzorem:

$$G_{PD}(s) = K_p(1 + T_d s)$$

Sterowanie różniczkujące dodane do regulatora proporcjonalnego powoduje, że regulator ma większą wrażliwość. Zaletą użycia sterowania różniczkującego jest to, że reaguje ono na przyrost zmian uchybu wykonawczego i wyznacza odpowiednią poprawkę na sterowanie, która zabezpiecza przed powstaniem zbyt dużej amplitudy oscylacji sygnału wykonawczego uchybu.

Ponieważ sterowanie różniczkujące reaguje na prędkość zmian uchybu wykonawczego, a nie na sam uchyb, więc sterowanie różniczkujące nigdy nie

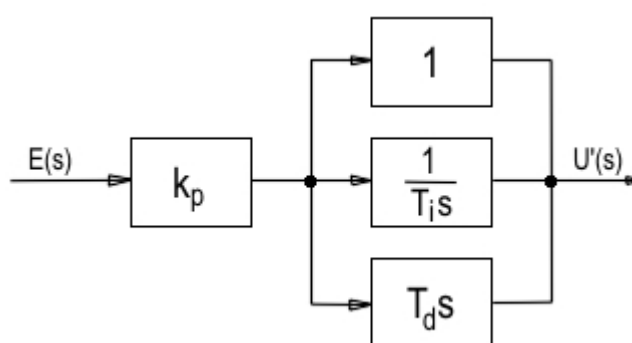
występuje samodzielnie w układach sterowania. Jest ono zawsze używane w kombinacji ze sterowaniem proporcjonalnym lub proporcjonalno - całkującym.



Odpowiedź na skok jednostkowy

## Regulator PID

Regulator PID (Proportional-Integral-Derivative Controller - regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący) - w automatyce, regulator składający się z członu proporcjonalnego P o wzmacnieniu  $k_p$ , całkującego I o czasie zdwojenia  $T_i$  oraz różniczkującego D o czasie wyprzedzenia  $T_d$ . Jego celem jest utrzymanie wartości wyjściowej na określonym poziomie, zwanym wartością zadaną.



Transmitancja operatorowa idealnego regulatora PID:

$$G_{PID}(s) = k_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right]$$

Transmitancja operatorowa rzeczywistego regulatora PID:



$$G_{PID}(s) = k_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\frac{T_d}{K_d} s + 1} \right]$$

gdzie:

$k_p$  - współczynnik wzmocnienia  $T_i$  - czas zdwojenia  $T_d$  - czas wyprzedzenia  $s$   
 - zmienna zespolona w przekształceniu Laplace'a  $K_d$  - stała różniczkowania

Aby z regulatora PID zrobić regulator:

- P (proporcjonalny), należy ustawić  $T_i = \infty$
- PD (proporcjonalno-różniczkujący), należy ustawić  $T_i = \infty$
- PI (proporcjonalno-całkujący), należy ustawić  $T_d = 0$

Regulator proporcjonalno - całkujący -

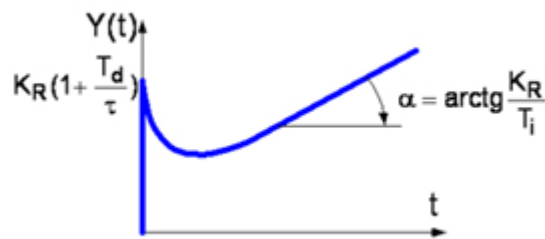
różniczkujące są regulatorami uniwersalnymi - wzmacniają, całkują i różniczkują odchyłkę regulacji. Sygnał wyjściowy regulatora PID jest proporcjonalny do sumy sygnału wejściowego, jego całki oraz jego pochodnej. Jedną część odpowiedzi skokowej regulatora PID jest proporcjonalna (P) do odchyłki regulacji, druga (I) jest całką z odchyłki regulacji, trzecia (D) - pochodną z odchyłki regulacji względem czasu.

Regulator PID stosuje się zazwyczaj do obiektów poddawanych wpływom zakłóceń o dużych i gwałtownych zmianach.

Regulator ten stosuje się w przypadku gdy mamy do czynienia ze stałą wartością wielkości zadającej - a więc w układach regulacji stałowartościowej, np. układach regulacji temperatury.

Regulator PID umożliwia stosowanie

krótszych czasów zdwojenia  $T_i$  niż regulator PI, bez obawy powstania oscylacji w układzie zamkniętym, a więc prędzej likwiduje wpływy zakłóceń o wartościach ustalonych.

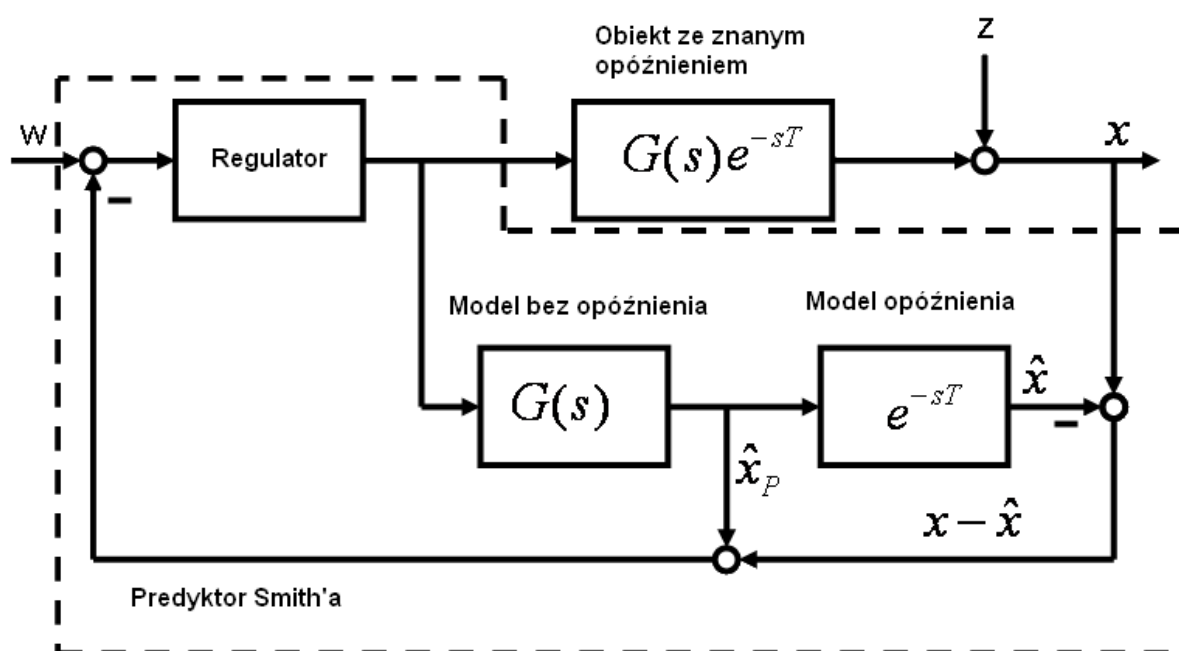


Odpowiedź na skok jednostkowy

## Regulator Smitha (kiedy się go stosuje)

Predyktor Smitha – rodzaj regulatora predykcyjnego. Stosowany często w układach regulacji z obiektem o znanym opóźnieniu.

Układ regulacji z predyktorem Smitha zawiera w sobie w istocie dwie pętle sprzężenia zwrotnego. Zewnętrzna pętla działa jak w typowym układzie regulacji ze sprzężeniem zwrotnym bez regulatora Smitha. Z uwagi na obecność opóźnienia nie zapewnia ona jednak zadowalającego sterowania (daje sprzężenie zwrotne nieaktualnych już informacji). Mówiąc poglądowo, dla tych chwil, gdy bieżące informacje nie są dostępne, system sterowany jest przez pętlę wewnętrzną, która ujmuje w sobie predyktor (nieobserwowalnego) wyjścia sterowanego obiektu.



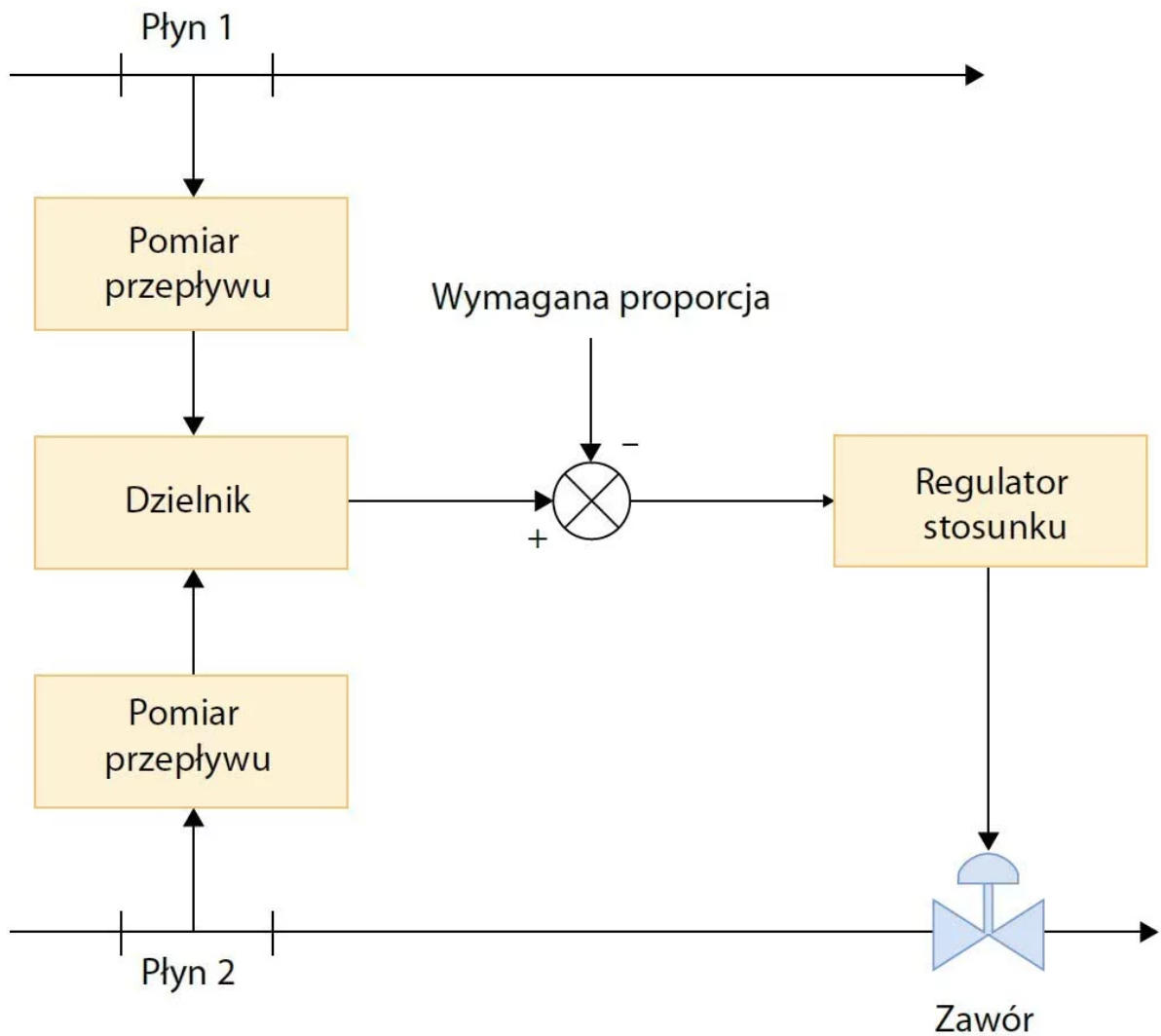
---

## Regulacja stosunku (ratio)

**Układ regulacji** stosunku wartości dwóch wielkości jest najczęściej wykorzystywany w sterowaniu przepływem dwóch strumieni płynów. Zwykle mierzone jest natężenie przepływu obydwu, lecz tylko jednego z nich jest regulowane.

Przykładami zastosowania są: palniki, w których w celu zapewnienia bezpiecznego i efektywnego spalania kontroluje się stosunek paliwa do powietrza i dozowniki mieszalników, w których, aby zaszła dana reakcja chemiczna substancje muszą zostać zmieszane w odpowiednich proporcjach lub ich stosunek powinien być stały, by powstała z nich mieszanina o określonym składzie.

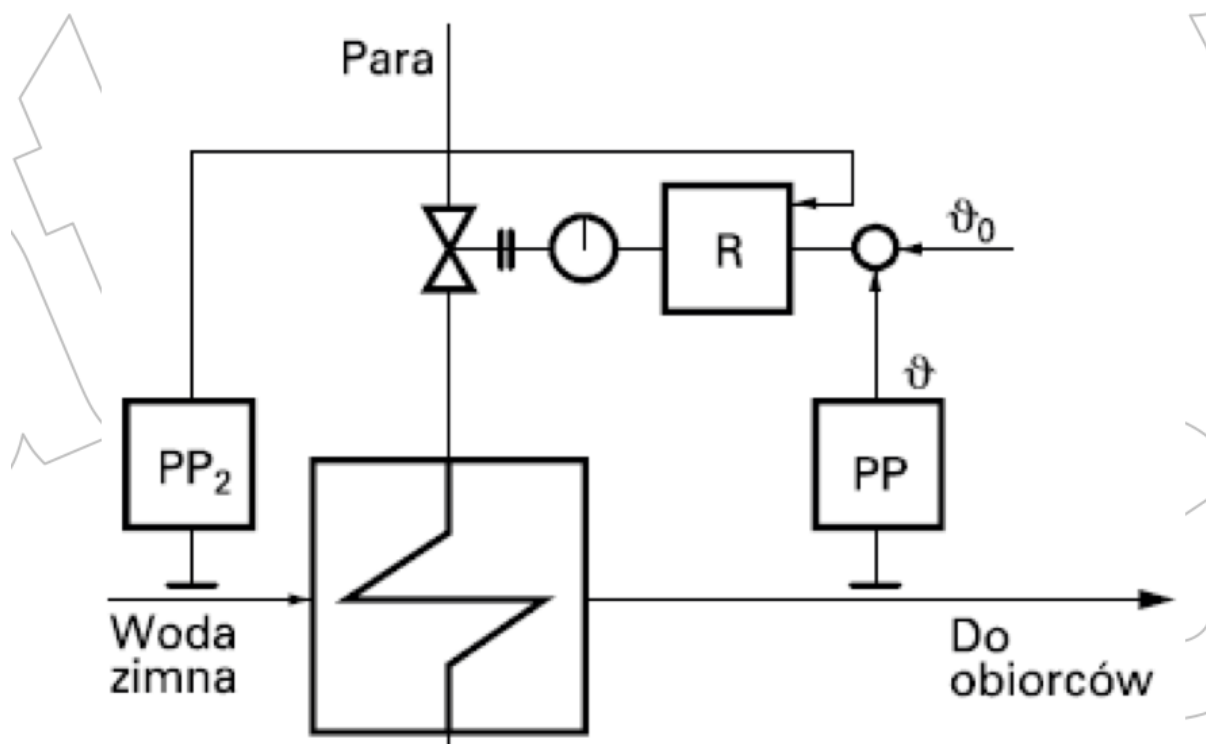
Przykład układu regulacji stosunku dwóch wartości



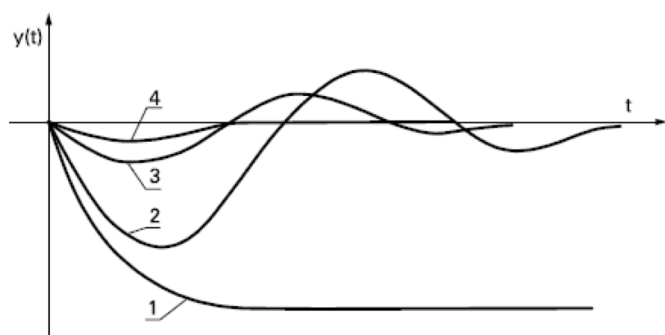
## Feed forward control

W układzie ze sprzężeniem zwrotnym obliczenie wartości sygnału sterującego wymaga wcześniejszego wyznaczenia wartości sygnału wyjściowego obiektu i uchybu regulacji. Uchyb jest wywołany zakłóceniami, których skutki objawiają się na wyjściu z opóźnieniem zależnym od miejsca ich oddziaływania na obiekt. W układzie z wymiennikiem ciepła (rys. ) reakcja na zakłócenie wywołane zwiększonym poborem wody przez odbiorców i spowodowany przez to spadek temperatury rozpocznie się dopiero po stwierdzeniu zmian temperatury przez urządzenie pomiarowe PP1. Mimo zastosowania układu kaskadowego wahania temperatury będą większe niż wtedy, gdyby mierzyć przepływ wody zimnej i z wyprzedzeniem zwiększać otwarcie zaworu na dopływie pary, zanim zimna woda znajdzie się w strefie grzania. Przez odpowiedni dobór takiego oddziaływania można by skompensować wpływ

zakłóceń. Opisany sposób stanowi istotę sterowania wyprzedzającego (feedforward). Na rys. 5.3 pokazany jest przykładowy układ sterowania wyprzedzającego.



Gdy regulator  $R$  (dysponujący dodatkowym wejściem) jest proporcjonalny, mówi się o układzie statycznym. Oczywiście, do przetwarzania sygnału z toru pomiarowego  $PP_2$  można użyć w regulatorze członów/algorytmów przyspieszających fazę i przez to kompensujących dynamikę początkowej części obiektu. Taki układ nazywa się wtedy dynamicznym układem sterowania wyprzedzającego (feedforward).



*Porównanie możliwych skutków różnych rodzajów sterowania po zakłóceniu skokowym:*

- 1) bez użycia regulatora;
- 2) po zastosowaniu regulatora PID;
- 3) w układzie statycznego sterowania wyprzedzającego (feedforward);
- 4) w układzie dynamicznego sterowania wyprzedzającego.

## Regulator bezpośredniego działania

Regulatory bezpośredniego działania charakteryzują się tym, że energię niezbędną do działania pobierają za pomocą czujnika z obiektu regulacji. Z tego powodu nazywane są również regulatorami bez energii pomocniczej. W regulatorze bezpośredniego działania element pomiarowy, regulator, napęd i element wykonawczy najczęściej stanowią jedną całość. Zaletą tych urządzeń jest prosta budowa i niski koszt. Wadą ich jest mała dokładność regulacji spowodowana odchyłką statyczną i histerezą oraz możliwość realizacji wyłącznie regulacji stałowartościowej.

Zazwyczaj regulatory te wykonywane są jako proporcjonalne P bez możliwości zmiany współczynnika wzmocnienia oraz realizacji regulacji programowej.

Wartość współczynnika wzmocnienia wynika z konstrukcji regulatora oraz właściwości obiektu regulacji.

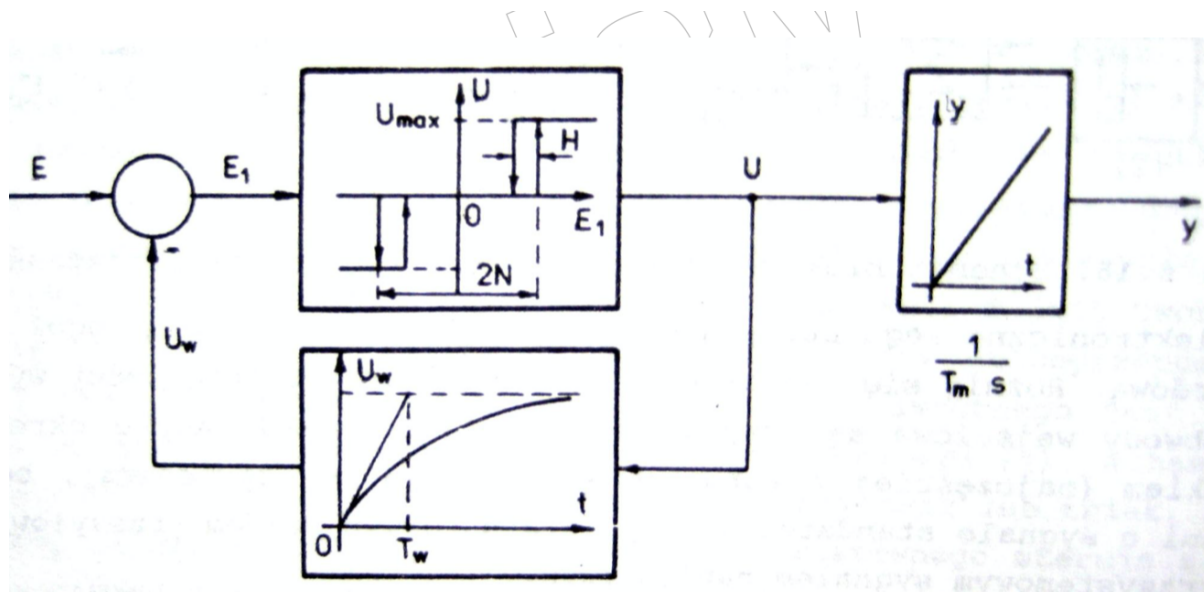
Wartość zadana w regulatorach tego typu nastawiana jest mechanicznie.

Przykład — termostat przygrzejnikowy.

---

## Regulator krokowy

Gdy elementem nastawczym jest poruszany silnikiem elektrycznym siłownik, to w praktyce istnieją dwie możliwości realizacji UAR. Pierwsza z nich polega na stosowaniu ciągłego sygnału pośredniczącego między elementem nastawczym (położenie siłownika) a regulatorem. Układ ten ma wówczas postać prostego serwomechanizmu przekaźnikowego (przekaźnik trójpoleżeniowy). Druga możliwość wymaga takiej konstrukcji regulatora, aby wysyłał on do silnika wykonawczego impulsy sterujące, których średnia wartość zależy od amplitudy i pochodnych uchybu. W obu przypadkach stosowane są silniki o stałej prędkości obrotowej



Schemat blokowy regulatora krokowego PI



## Zagadnienia SIR

### **Sterowanie Rozmyte:**

Model Strejca -  $1/(Ts+1)^n$

Funkcje przynależności - uogólniona postać funkcji charakterystycznej zbioru, określona na zbiorach rozmytych. W zbiorach klasycznych przyjmuje wartość 1, gdy element w pełni należy do zbioru albo 0, gdy nie należy wcale. W teorii zbiorów rozmytych element może należeć do zbioru w pewnym stopniu, więc funkcja przynależności może przyjmować wartości z całego przedziału jednostkowego  $[0,1]$ .

### **☐ Windup całkowania**

Jeden z powszechnie występujących problemów pojawiających się przy wdrożeniach regulacji PID to windup całkowania. Gdy po dużej zmianie w nastawie człon całkujący zmagazynuje błąd, którego wielkość przekracza wartość maksymalną zmiennej regulowanej (jest to tzw. windup czyli "nawijanie się"), to układ wykazuje przeregulowanie i odpowiednia zmienna układu nadal się zwiększa do czasu, aż błąd nie zostanie "odwinięty".

☐ zainicjowanie regulatora całkującego dla pożądanej wartości

☐ wyłączenie działania całkującego do czasu, aż zmienna obiektu wkroczy w obszar sterowalny

☐ ograniczenie czasu, podczas którego nalicza się błąd całkowania

☐ uniemożliwienie sytuacji, w której czynnik całkujący akumuluje błąd powyżej lub poniżej określonych wcześniej granic

### **☐ Stała całkowania (zdwojenia)**

Czas  $T_I$ , po którym przyrost sygnału wyjściowego członu całkującego zrówna się z przyrostem sygnału wejściowego nazywa się stałą czasową całkowania lub czasem całkowania. W momencie tym następuje podwojenie wartości sygnału wyjściowego regulatora PI.

### **☐ Czas regulacji (czas ustalania)**

Czas, po którym wartość sygnału wyjściowego układu nie będzie odbiegać od wartości tego sygnału w stanie ustalonym o więcej niż 1, 2 lub 5%. Jest miarą jakości dynamicznej odpowiedzi skokowej otwartego lub zamkniętego układu automatyki.

### **☐ Czas wyprzedzenia**

To czas, po którym przyrost składowej proporcjonalnej zrównuje się z przyrostem składowej różniczkowej., pokazuje o jaki czas regulator PD jest szybszy od P.

Działanie różniczkujące stosowane jest w celu eliminacji przeregulowania. Wpływa stabilizująco na sygnał regulowany, ponieważ wprowadza przesunięcie fazowe  $90^\circ$

### **☐ Strefa martwa**

Określa, o jaką wartość zmienna procesowa musi się zmienić w stosunku do wartości poprzedniej, aby zmiana została wzięta pod uwagę przy obliczeniach przez blok regulatora PID.

W sytuacji, gdy istnieje potrzeba ograniczenia pobudzania elementu wykonawczego dla niewielkich odchyłków zmiennej procesowej od wartości zadanej można na błąd regulacji nałożyć pewną strefę martwą - czyli najpewniej chodzi o to żeby regulator nie włączał się bez potrzeby, gdy temperatura będzie się wahać na granicy, przy której zmieniamy położenie regulatora.

### **☐ Predyktor Smitha**

Stosowany często w układach regulacji z obiektem o znanym opóźnieniu i dużą inercją. Układ regulacji z predyktorem Smitha zawiera w sobie w istocie dwie pętle sprzężenia zwrotnego. Z uwagi na obecność opóźnienia nie zapewnia ona jednak zadowalającego sterowania (daje sprzężenie zwrotne nieaktualnych już informacji). Mówiąc poglądowo dla tych chwil, gdy bieżące informacje nie są dostępne system sterowany jest przez pętlę wewnętrzną, która ujmuje w sobie predyktor (nieobserwowalnego) wyjścia sterowanego obiektu.

**Jak należy dobrać nastawy decydujące o działaniu całkującym i różniczkującym regulatora PID-ISA, by działał on w sposób maksymalnie zbliżony do regulatora typu P.**

Czas wyprzedzenia trzeba ustawić na wartość jak najbardziej zbliżoną do zera (jak ustawimy 0 pozbędziemy się "piku" całkowicie) a czas zdwojenia możliwie jak największy (najlepsza by była wartość nieskończona). Dla takich wartości uzyskamy przebieg zbliżony do regulatora P.

**8. Jak się definiuje stałą czasowa regulatorów PID – ISA**

Stała czasowa mówi nam ile czasu potrwa zanim po zmianie sygnału wejściowego na proces osiągnie on nowy stan ustalony. Stała czasowa jest jednym z wyznaczników dynamiki procesu.

**9. Co to jest „czas regulacji” w układzie regulacji z regulatorem PID**

Czas regulacji (czas ustalania) – czas, po którym wartość sygnału wyjściowego układu nie będzie odbiegać od wartości tego sygnału w stanie ustalonym o więcej niż 1, 2 lub 5%. Jest miarą jakości dynamicznej odpowiedzi skokowej otwartego lub zamkniętego układu automatyki.

**10. Jak definiuje się czas wyprzedzania  $T_d$  regulatora PID - ISA?**

To czas, po którym przyrost składowej proporcjonalnej zrównuje się z przyrostem składowej różniczkowej., pokazuje o jaki czas regulator PD jest szybszy od P.

Działanie różniczkujące stosowane jest w celu eliminacji przeregulowania. Wpływa stabilizująco na sygnał regulowany, ponieważ wprowadza przesunięcie fazowe  $90^\circ$

**11. Jak się definiuje stałą całkowania (czas zdwojenia) regulatorów PID – ISA**

Czas zdwojenia to czas, po którym przyrost składowej całkowitej zrównuje się z przyrostem składowej proporcjonalnej. W momencie tym następuje podwojenie wartości sygnału wyjściowego regulatora PI.

**12. Co to jest regulator bezpośredniego działania. Proszę podać trzy przykłady takich regulatorów.**

Regulator bezpośredni, to taki, który czerpie energię z obiektu, nie potrzebuje dodatkowego zasilania.

Przykłady:

-reduktor ciśnienia w butli z gazem

-spłuczka w toalecie

-bimetalowy regulator temperatury w żelazku

Regulatory tego typu najczęściej używa się do regulacji temperatury, regulatora ciśnienia, natężenia przepływu, poziomu cieczy oraz jako regulatory o wielu wielkościach wejściowych.

**13. Proszę podać główne zastosowanie regulatora trójstawnego. Dlaczego korzystnie jest ustawienie strefy martwej tego regulatora na wartość większą od zera?**

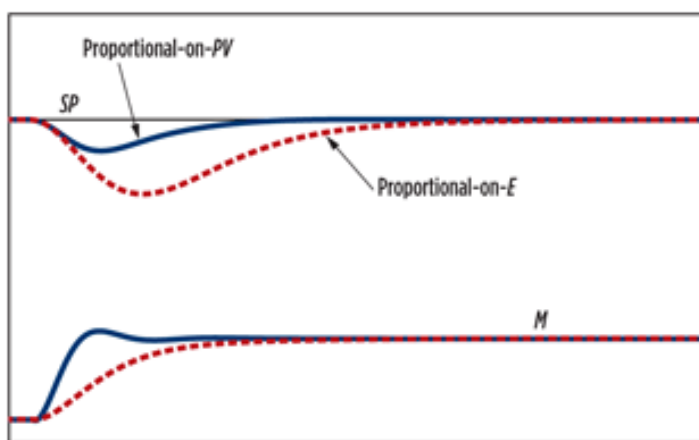
Regulator trójpołożeniowy stosuje się do sterowania kątem obrotu wału silnika elektrycznego prądu stałego (położeniem kątowym wału). Wykorzystywane są także w układach regulacji temperatury

(urządzenia klimatyzacyjne). Układ regulacji trójpołożeniowej nazywa się też serwomechanizmem położeniowym.

W sytuacji, gdy istnieje potrzeba ograniczenia pobudzenia elementu wykonawczego dla niewielkich odchyłek zmiennej procesowej od wartości zadanej można na błąd regulacji nałożyć pewną strefę martwą - czyli najpewniej chodzi o to żeby regulator nie włączał się bez potrzeby gdy temperatura będzie się wahać na granicy przy której zmieniamy położenie regulatora.

**15. Kiedy i dlaczego stosuje się regulatory PID o wartości wzmocnienia zmieniającym się w zależności od wartości zmiennej procesowej PV ?**

PID + P – stosuję się by wyeliminować zawahania przy zmianie obciążenia obiektu. (Wzmocnienie P zależy od PV). Takie podejście do problemu pozwala na tłumienie przeregulowań.



**16. Do sterowania jakimi obiektami przeznaczony jest układ regulacji z predyktorem Smith'a ?**

Obiekty o znanej transmitancji i znanym stałym opóźnieniu.