

## Regulator P (proporcjonalny)

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

$$G_P(s) = K_p$$

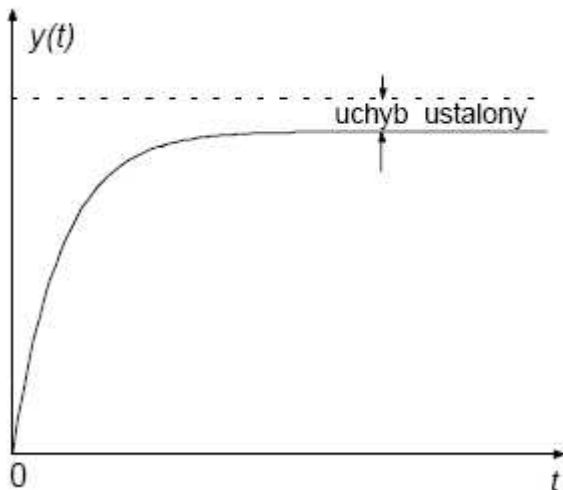
W regulatorze tym sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do wejściowego.

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:

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

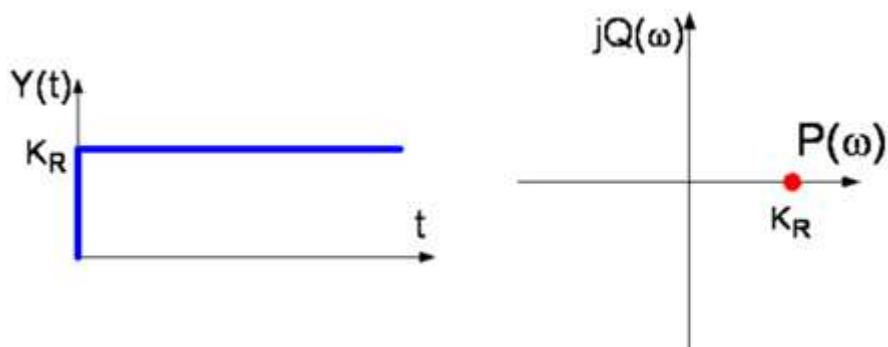
gdzie:  $K_o$  - wzmacnienie obiektu regulacji,  $B$  - wartość skoku sygnału zadanego lub zakłócenia (wówczas  $B = A \cdot K_o$ ),  $K_p$  - wzmacnienie regulatora



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.

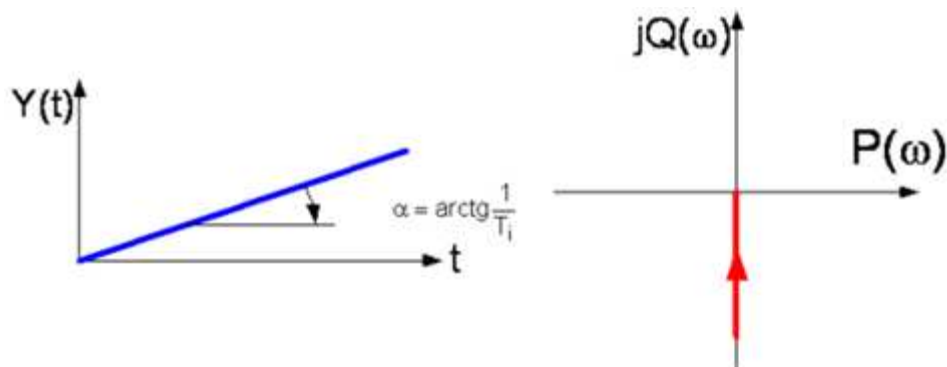
Regulator P jest najczęściej używany w prostych układach regulacji z obiektami o średniej wartości inercji, niedużym opóźnieniu i stałym obciążeniu (stałej wartości sygnału zakłócenia).



Odpowiedź na skok jednostkowy Charakterystyka amplitudowo - fazowa

### Regulator I (całkujący)

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.



Odpowiedź na skok jednostkowy Charakterystyka amplitudowo - fazowa

Regulator PI (proporcjonalno - całkujący).

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:

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

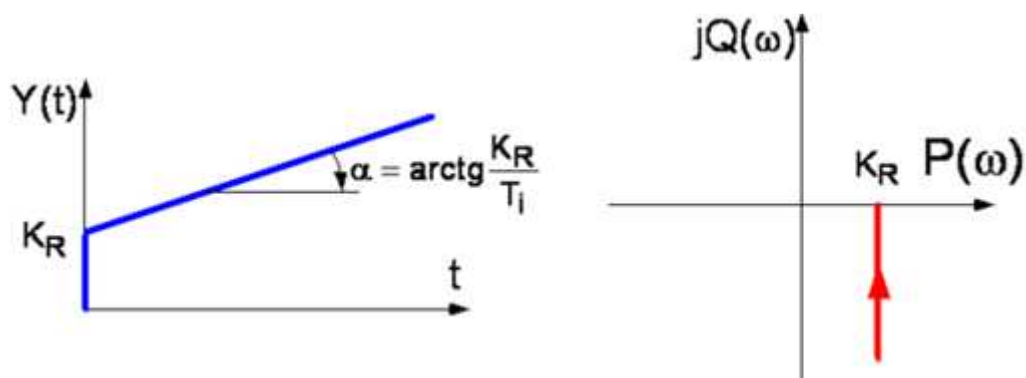
Regulatory typu PI pozwalają na eliminację wolnozmiennych zakłóceń, co przekłada się na zerowy uchyb ustalony, niemożliwy do osiągnięcia w regulatorach typu P lub typu PD.

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

Charakterystyka amplitudowo - fazowa

### Regulator PD (proporcjonalno - różniczkujący)

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  $T_d$ . Transmitancję idealnego regulatora PD określa się wzorem:

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

Działanie członu różniczkującego przeciwdziała szybkim zmianom sygnału błędu, co wpływa stabilizująco na działanie układu regulacji. Pozwala to w pewnej mierze na zwiększenie intensywności działania pozostałych parametrów regulatora.

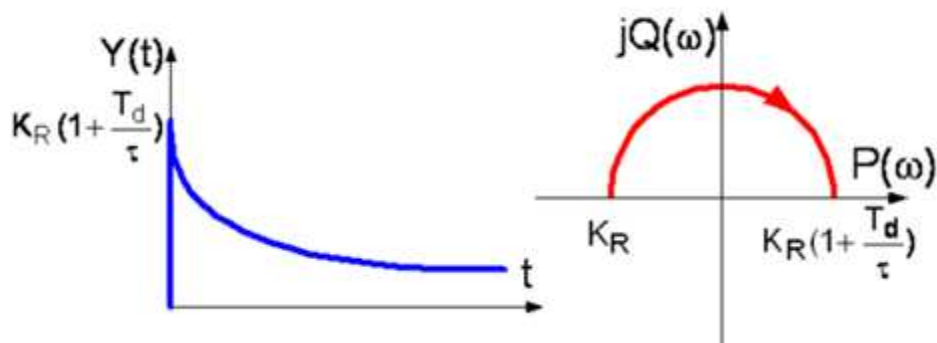
Regulatory typu PD dają niezerowy uchyb ustalony - tym większy im większe jest wzmocnienie regulatora. Wartość niezerowego uchybu jest opisana wzorem:

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

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

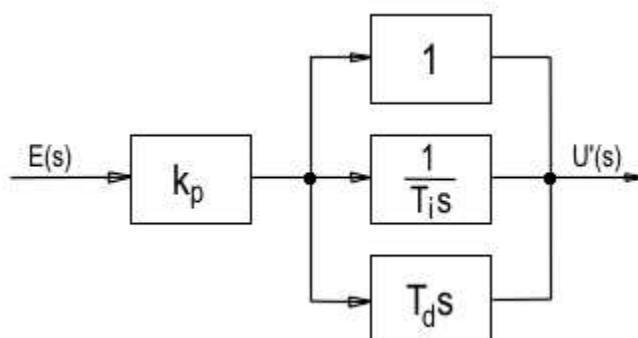
Sterowanie różniczkujące dodane do regulatora proporcjonalnego powoduje, że regulator ma większą wrażliwość. Zaletą użycia sterowania różniczkującego jest to, że reaguje ono na przyrost zmian uchybu wykonawczego i wyznacza odpowiednią poprawkę na sterowanie, która zabezpiecza przed powstaniem zbyt dużej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



### Regulator PID (proporcjonalno - całkująco - różniczkujący)

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.



Regulatora PID używa się np. do sterowania temperaturą procesu, w tym wypadku działa on jak bardzo dokładny termostat. Może również sterować ciśnieniem, natężeniem przepływu, składem chemicznym, siłą, prędkością i innymi sygnałami. Regulatory znajdują zastosowanie w przemyśle samochodowym, w tym przypadku

ich zadaniem jest utrzymywanie stałej prędkości samochodu bez względu na warunki jazdy (tzw. tempomat).

Regulator realizuje algorytm:

$$U(t) = k_p \left[ \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right]$$

Transmitancja operatorowa idealnego regulatora PID:

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

Idealne różniczkowanie jest nierealizowalne fizycznie.

Transmitancja operatorowa rzeczywistego regulatora PID:

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

gdzie:

$k_p$  - współczynnik wzmocnienia

$T_i$  - czas zdwojenia

$T_d$  - czas wyprzedzenia

$s$  - zmienna zespolona w przekształceniu Laplace'a

$K_d$  - stała różniczkowania

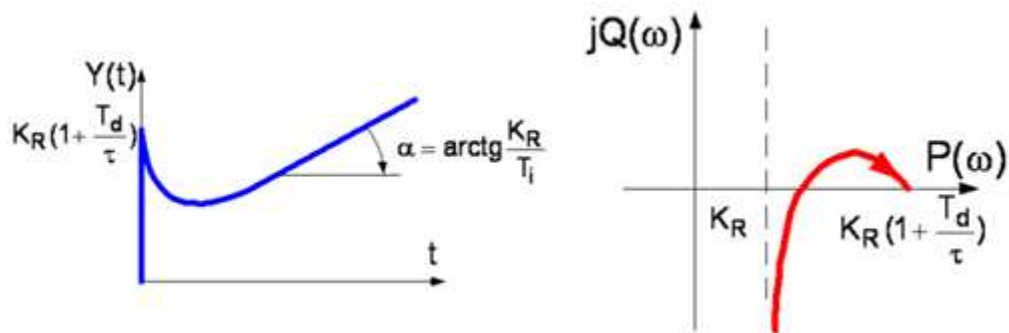
Aby z regulatora PID zrobić regulator:

- 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 - różniczkujący 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

Charakterystyka amplitudowo - fazowa

Zebrał i opracował:

mgr inż. Marcin Jabłoński – Zespół Szkół Technicznych im. J. i J. Śniadeckich w Grudziądzu

Bibliografia:

1 - [www.wazniak.mimuw.edu.pl](http://www.wazniak.mimuw.edu.pl)

2 - [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

3 - Mechatronika - podręcznik dla uczniów szkół średnich i zawodowych szkół technicznych –  
pod kierunkiem prof. dr inż. Dietmara Schmida, REA, Warszawa 2002

4 - Zenon Jędrzykiewicz Teoria sterowania układów jednowymiarowych,  
Uczelniane Wydawnictwa Naukowo - Dydaktyczne, Kraków 2002