

IV. STATYCZNE I DYNAMICZNE WŁAŚCIWOŚCI REGULATORÓW

Typowy zamknięty układ regulacji składa zawiera obiekt regulacji, w którym reguluje się jeden z parametrów x . Parametr ten jest mierzony i przetwarzany na standardowy sygnał pomiarowy $y = f(x)$ przez zespół pomiarowy. Sygnał wyjściowy zespołu, czyli sygnał wielkości regulowanej y , jest doprowadzany z zespołu pomiarowego do wejścia regulatora, do którego doprowadza się też sygnał wielkości zadanej w z zadajnika. Zadajnik umożliwia dowolne, ręczne nastawianie wielkości zadanej. Regulator dokonuje porównania wielkości regulowanej z wielkością zadaną i oblicza sygnał odchylenia (odchyłki) regulacji $e = w - y$. W członie kształtującym regulatora następuje obróbka matematyczna sygnału e zgodnie z algorytmem zależnym od rodzaju regulatora i powstały sygnał wielkości regulującej $u = f(e)$ jest doprowadzany do urządzenia wykonawczego, które pośrednio wpływa na wartość regulowanego parametru x . W ten sposób następuje zamknięcie pętli automatycznego ujemnego sprzężenia zwrotnego, stanowiącego zasadniczą cechę układu regulacji automatycznej.

1. REGULATORY DYSKRETNE

Regulatory dyskretne (przełącznikowe) są regulatorami, w których sygnał regulujący u może przyjmować wyłącznie dwie (np. zerową lub maksymalną) lub (rzadziej) trzy wartości. Przejście od jednej wartości do drugiej następuje skokowo, w określonym punkcie charakterystyki statycznej regulatora, np. gdy odchylenie regulacji $e = 0$. Do regulatorów dyskretnych zalicza się regulatory dwupołożeniowe, w których wielkość regulująca u może przyjmować dwie wartości, trójpołożeniowe, z trzema możliwymi wartościami u i impulsowe, w których sygnał regulujący ma postać fali prostokątnej o stałym okresie (stałej częstotliwości) i modulowanej szerokości impulsów. Spotyka się też regulatory krokowe, zbliżone w działaniu do regulatorów analogowych, z sygnałem wyjściowym w postaci rosnącej lub malejącej funkcji schodkowej.

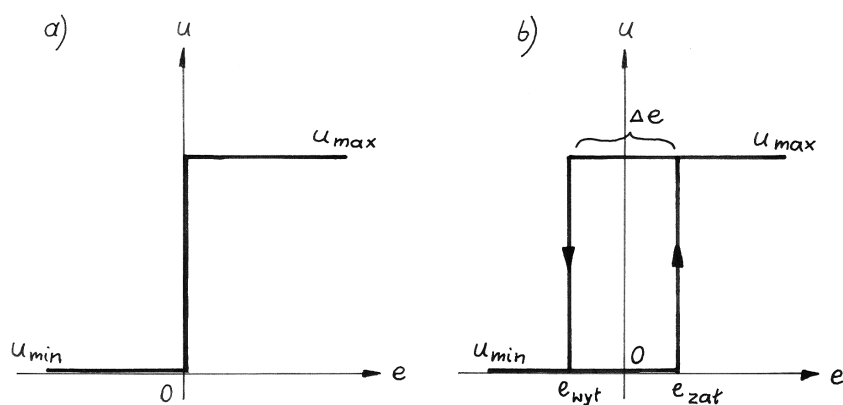
Wspólną cechą regulatorów przełącznikowych, nazywanych regulatorami o działaniu przerywanym, jest nieciągłość sygnału wyjściowego u , który w zależności od rodzaju regulatora może przyjmować tylko dwie lub trzy wartości. Działania tych regulatorów nie można opisać równaniami liniowymi (algebraicznymi czy różniczkowymi), stanowią one

człony nieliniowe, których analiza matematyczna wymaga stosowania specjalnych metod, np. metody płaszczyzny fazowej. Wszystkie regulatory przekaźnikowe mogą wykorzystywać proste, tanie, przekaźnikowe (nieciągłe) urządzenia wykonawcze, co jest ich istotną zaletą.

Współczesne regulatory cyfrowe, zwane mikroprocesorowymi, realizują funkcje wszystkich wymienionych rodzajów regulatorów dyskretnych, ale także wykorzystują szereg algorytmów regulacji analogowej (w tym PID) i mogą przetwarzać zarówno standardowe sygnały dyskretne jak i analogowe.

1.1 REGULATOR DWUPOŁOŻENIOWY

Regulator dwupołożeniowy, nazywany czasem regulatorem dwustawnym, jest najprostszym regulatorem przekaźnikowym. Jego charakterystyki statyczne (w stanie ustalonym) pokazano na rys. 1. Wielkość regulująca u regulatora dwupołożeniowego może przyjmować tylko dwa poziomy: u_{\min} i u_{\max} , przełączane przez człon kształtujący w zależności od wartości odchylenia regulacji e . Regulator idealny przełącza sygnał regulujący zawsze w punkcie $e = 0$ ($w = y$), natomiast regulator z histerezą charakteryzuje się występowaniem tzw. strefy nieczułości (Δe) i przełącza sygnał w zależności od kierunku zmiany wartości e w punktach e_{zat} lub e_{wyt} .



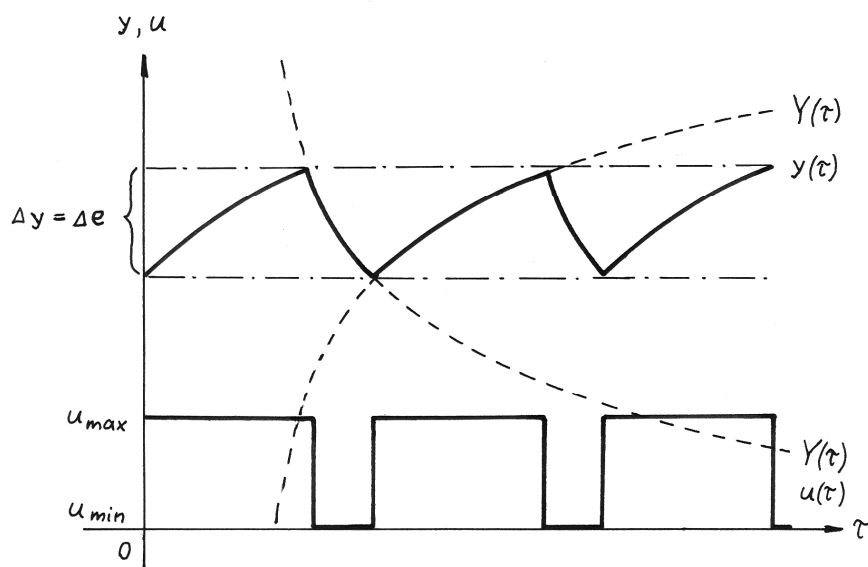
Rys. 1. Charakterystyki statyczne regulatorów dwupołożeniowych:
a) idealnego, b) z histerezą

Regulator dwupołożeniowy jest bardzo popularnym typem regulatora. Produkuje się go w wersji elektrycznej, elektronicznej lub mikroprocesorowej – członem kształtującym sygnał regulujący jest tzw. komparator (układ porównujący), reagujący na przejście przez zero wartości odchylenia regulacji. Znajduje zastosowanie w prostych układach

regulacyjnych, np. w regulacji temperatury, gdzie u_{\max} może oznaczać włączenie grzejnika, natomiast u_{\min} jego wyłączenie (w żelazkach do prasowania, lodówkach, zamrażarkach) oraz w stabilizatorach ciśnienia gazu nie wymagających dużej dokładności stabilizacji (np. w sprężarkach elektrycznych).

Ogólną cechą układów z regulatorami dwupołożeniowymi są ciągłe oscylacje wielkości regulowanej wokół wartości zadanej. Amplituda tych oscylacji i związana z nią jakość regulacji jest zależna od dynamicznych właściwości obiektu regulacji i szerokości strefy nieczułości regulatora. Występujące w obiekcie opóźnienie zwiększa amplitudę oscylacji. Przy wąskiej strefie nieczułości amplituda oscylacji jest mała, ale za to częstotliwość włączania i wyłączania urządzenia wykonawczego duża, co trzeba wziąć pod uwagę przy stosowaniu urządzeń wykonawczych z silnikami elektrycznymi (np. pomp czy agregatów chłodniczych). Zbyt częste włączanie i wyłączanie silnika, zwłaszcza większej mocy, może spowodować jego przegrzanie i uszkodzenie wskutek częstego przepływu prądu rozruchowego o dużej wartości. Większość regulatorów dwupołożeniowych ma możliwość nastawiania szerokości strefy nieczułości.

Przykład przebiegów czasowych wielkości y i u w układzie regulacji dwupołożeniowej z histerezą, obiektu o właściwościach inercyjnych, przedstawia rysunek 2. Przebieg $y(\tau)$ składa się z odcinków odpowiedzi $Y(\tau)$ na cykliczne wymuszenia skokowe, którymi są, będące wynikiem działania regulatora, zmiany wartości u z u_{\min} na u_{\max} i odwrotnie. Amplituda oscylacji wielkości regulowanej (Δy) jest równa szerokości strefy nieczułości (Δe).



Rys. 2. Przebiegi czasowe wielkości regulowanej i regulującej w układzie regulacji dwupołożeniowej z histerezą obiektu inercyjnego I rzędu

Analizując przebiegi na rys. 2 można zauważyć, że zwężanie strefy nieczułości poprawi jakość regulacji (zmniejszy amplitudę Δy), jednakże równocześnie zwiększy częstotliwość oscylacji wielkości regulującej u i tym samym obciążenie urządzenia wykonawczego. W konkretnym zastosowaniu należy wybrać rozsądny kompromis pomiędzy tymi obiema wielkościami.

Regulatory dwupołożeniowe nie nadają się do regulacji obiektów o znacznym czasie opóźnienia, kiedy stosunek τ_o/T jest większy od 0,2, ponieważ opóźnienie wywołuje oscylacje wielkości regulowanej nawet w regulatorze z zerową strefą nieczułości.

1.2. REGULATOR IMPULSOWY

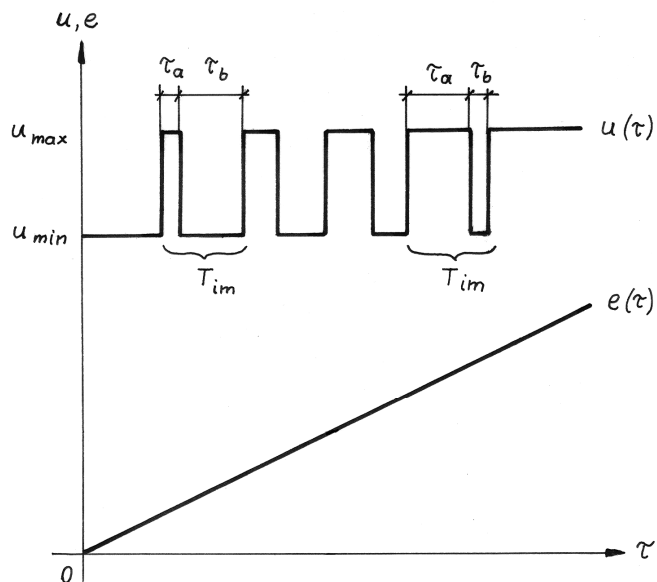
Regulator impulsowy jest interesującą odmianą regulatora o działaniu nieciągłym. Wielkość regulująca zostaje poddana w jego członie kształtującym modulacji impulsowej, najczęściej modulacji szerokości impulsów o stałym okresie impulsowania T_{im} . Może wtedy przyjmować tylko dwie wartości: u_{max} i u_{min} , przełączane przez układ przekaźnikowy. Czas trwania na wyjściu regulatora wartości u_{max} wynosi τ_a , a czas utrzymywania się wartości u_{min} wynosi τ_b . Okres impulsowania $T_{im} = \tau_a + \tau_b$. Działanie regulatora polega na tym, że w funkcji odchylenia regulacji e zmienia się liniowo współczynnik wypełnienia impulsów A :

$$A = \frac{\tau_a}{\tau_a + \tau_b} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Zasadę modulacji szerokości impulsów w regulatorze impulsowym ilustruje przebieg jego charakterystyki stałowzrostowej przedstawionej na rysunku 3. Wraz z liniowym wzrostem wartości odchylenia regulacji $e(\tau)$ rośnie czas τ_a włączania wartości u_{max} , przy zachowaniu stałej wartości okresu impulsowania T_{im} . Jeżeli sygnał wyjściowy regulatora impulsowego steruje np. grzejnikiem pieca o mocy N_{max} , to wykorzystanie mocy tego grzejnika N w czasie pracy układu regulacji, opisane zależnością:

$$N = A \cdot N_{max} \quad (2)$$

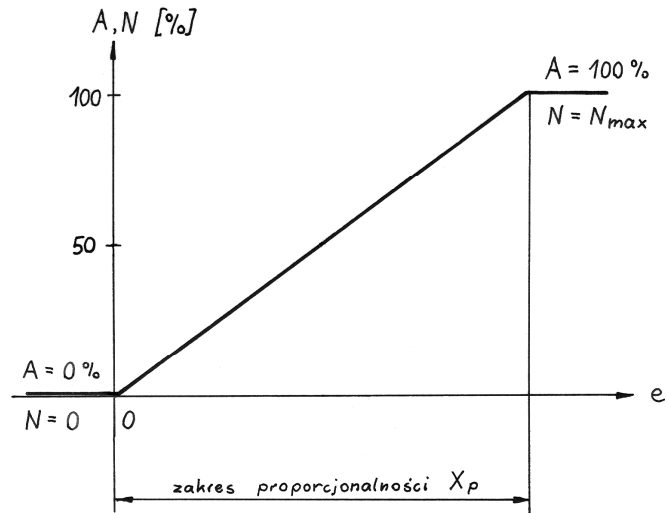
będzie liniową funkcją odchylenia regulacji e .



Rys. 3. Charakterystyka stałowzrostowa regulatora impulsowego

Warunkiem prawidłowego funkcjonowania układu regulacji impulsowej jest stłumienie w obiekcie regulacji oscylacji, będących wynikiem impulsowego (okresowego) działania urządzenia wykonawczego. Z tego względu obiekt musi mieć właściwości inercyjne, a okres impulsowania T_{im} musi być niewielki w porównaniu ze stałą czasową T obiektu; zwykle wystarcza spełnienie warunku $T_{im} \ll 2\pi \cdot T$. W typowych regulatorach impulsowych sterujących np. układami grzejnymi, okres impulsowania T_{im} nastawia się na poziomie ok. 10 s i jest on wtedy znacznie mniejszy od stałej czasowej T obiektu, zwykle przekraczającej kilka minut.

Działanie układu impulsowej regulacji temperatury pieca elektrycznego, będącego właśnie obiektem inercyjnym o znacznej stałej czasowej, można przeanalizować w oparciu o wykres charakterystyki statycznej przedstawiony na rysunku 4. W zależności od wartości odchylenia regulacji, regulator okresowo włącza i wyłącza grzejnik pieca. Przy temperaturze w obiekcie równej lub wyższej od zadanej ($e \leq 0$), czas włączenia grzejnika τ_a będzie równy 0 i wykorzystanie mocy grzejnika będzie wynosiło $N = 0\% N_{max}$. Jeśli temperatura w obiekcie regulacji będzie niższa od zadanej, czas włączenia grzejnika τ_a będzie wzrastał, a czas wyłączenia τ_b malał (przy zachowaniu warunku $\tau_a + \tau_b = T_{im}$ i $T_{im} = const.$) proporcjonalnie do wartości odchylenia regulacji e , aż do przekroczenia tzw. zakresu proporcjonalności, kiedy to czas τ_a osiągnie nieskończoność i grzejnik będzie włączony stale ($N = 100\% N_{max}$).



Rys. 4. Charakterystyka statyczna układu impulsowej regulacji temperatury pieca elektrycznego

Mimo nieciągłego, impulsowego charakteru sygnału wyjściowego regulatora, układ regulacji, w którym został on zastosowany ma, jak widać to na rys. 4, w pewnym zakresie wartości odchylenia regulacji charakterystykę ciągłą, proporcjonalną. Zakres ten, wyrażony w procentach całego zakresu zmian e (lub y) nazywa się tak jak w regulatorach analogowych zakresem proporcjonalności (X_p na rys. 4). Poza zakresem proporcjonalności, charakterystyka statyczna regulatora impulsowego odpowiada charakterystyce regulatora dwupołożeniowego.

Proporcjonalna charakterystyka statyczna układu regulacji impulsowej umożliwia osiągnięcie dużo lepszej stabilności wielkości regulowanej niż np. przy stosowaniu klasycznego regulatora dwupołożeniowego. Regulator impulsowy znajduje więc zastosowanie w regulacji obiektów o sporym czasie opóźnienia i inercji, jeżeli tylko stosunek τ_o/T nie przekracza wartości 0,7. Nie nadaje się do regulacji obiektów proporcjonalnych, a także różniczkujących czy opóźniających. Wymaga zoptymalizowania wartości T_{im} i X_p .

Produkowane obecnie (wyłącznie w wersji elektronicznej lub mikroprocesorowej) regulatory impulsowe są tanie i zyskują sobie coraz większą popularność. Ich istotną zaletą jest duża dokładność regulacji przy możliwości stosowania zamiast skomplikowanych, analogowych urządzeń wykonawczych, tanich i pewnych w działaniu wykonawczych urządzeń dwupołożeniowych, takich jak przekaźniki czy łączniki tyrystorowe. Wiele firm oferuje np. wiele typów elektronicznych regulatorów impulsowych temperatury, przystosowanych do bezpośredniej współpracy z czujnikami termorezystancyjnymi lub termoelektrycznymi i stykowymi lub bezstykowymi elektrycznymi urządzeniami wykonawczymi.

2. REGULATORY ANALOGOWE

W układach regulacji analogowej (ciągłej), wartości wszystkich sygnałów wejściowych (y , w i e) są ciągłymi funkcjami czasu i mogą przyjmować dowolny poziom w normalnym zakresie zmienności, np. w zakresie standardowym. Wartość wyjściowej wielkości regulującej u jest również ciągłą funkcją sygnałów wejściowych regulatora. Regulatorami ciągłymi są opisane niżej regulatory proporcjonalne (P), proporcjonalno-całkujące (PI) i proporcjonalno-całkująco-różniczkujące (PID).

Algorytmy członów kształtujących regulatorów ciągłych można przedstawić w postaci równań liniowych (algebraicznych lub różniczkowych) czy transmitancji operatorowych, określających rodzaj regulatora. Wszystkie regulatory ciągłe wymagają stosowania urządzeń wykonawczych również o charakterystyce ciągłej.

2.1. REGULATOR PROPORCJONALNY

Równania opisujące statyczne i dynamiczne właściwości regulatora proporcjonalnego (P) mają postać :

$$u = K_p \cdot e + u_0 \quad \text{lub w postaci różniczkowej:} \quad \frac{du}{d\tau} = K_p \cdot \frac{de}{d\tau} \quad (3)$$

gdzie: u – wielkość regulująca,
 K_p – wzmocnienie statyczne (proporcjonalne),
 e – odchylenie regulacji,
 u_0 – przesunięcie punktu pracy.

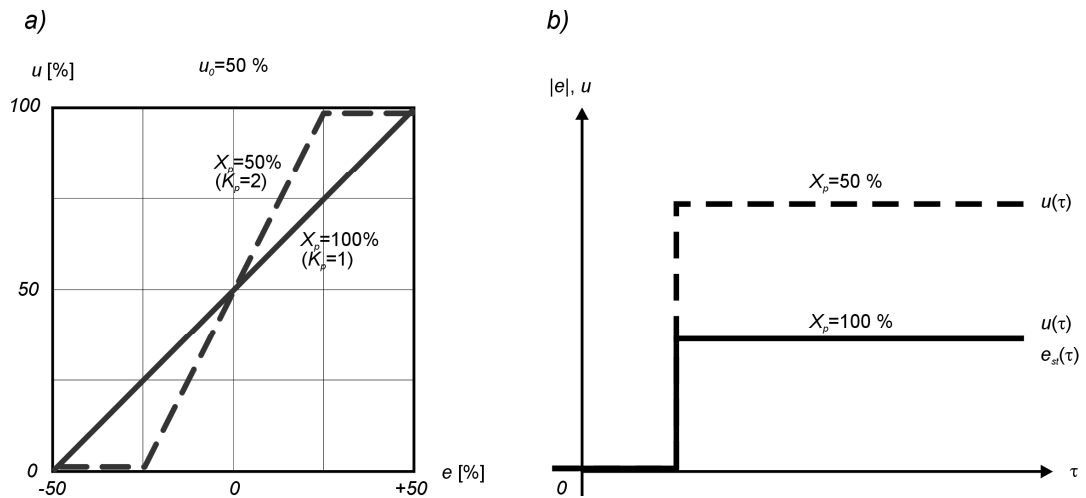
Jak widać, w regulatorze proporcjonalnym wielkość regulująca jest liniową funkcją odchylenia regulacji i jest proporcjonalna do tego odchylenia.

Zamiast występującego we wzorze (3) wzmocnienia statycznego K_p , w automatyce wykorzystuje się częściej pojęcie tzw. zakresu proporcjonalności X_p :

$$X_p = \frac{1}{|K_p|} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Zakres proporcjonalności można zdefiniować jako procentową część pełnego zakresu zmian wielkości wejściowej regulatora (e), potrzebną do wywołania zmiany jego wielkości wyjściowej (u) o pełen zakres (100%). Ilustruje to wykres na rysunku 5.a. Linia ciągła przedstawia charakterystykę statyczną regulatora przy $X_p = 100\%$ ($K_p = 1$),

a linia przerywana przy $X_p = 50\%$ ($K_p = 2$). Wykres na rysunku 5.b przedstawia odpowiedzi obu regulatorów na wymuszenie skokowe e_{st} odchylenia regulacji.



Rys. 5. Przykłady charakterystyk regulatora proporcjonalnego: a) statycznej – zależności wyjścia u od wejścia e , b) dynamicznej – odpowiedzi $u(\tau)$ na wymuszenie skokowe $e_{st}(\tau)$ na wejściu

W praktyce, wielkość zakresu proporcjonalności regulatora może być nastawiana w szerokich granicach, jak również w zależności od potrzeb (np. konieczności grzania lub chłodzenia obiektu) można zmieniać kierunek nachylenia jego charakterystyki statycznej. Wzmocnienie K_p jest dodatnie przy pracy normalnej, kiedy wzrost sygnału y ma powodować zmniejszanie się sygnału u lub jest ujemne przy pracy odwrotnej, kiedy wzrost sygnału y zwiększa wartość sygnału u .

Regulator proporcjonalny zainstalowany w układzie regulacji, charakteryzuje się występowaniem stałego, niewielkiego statycznego błędu regulacji e_{st} , zależnego od zakresu X_p i poziomu zakłóceń. Wymaga zoptymalizowania wartości K_p (X_p) i u_0 .

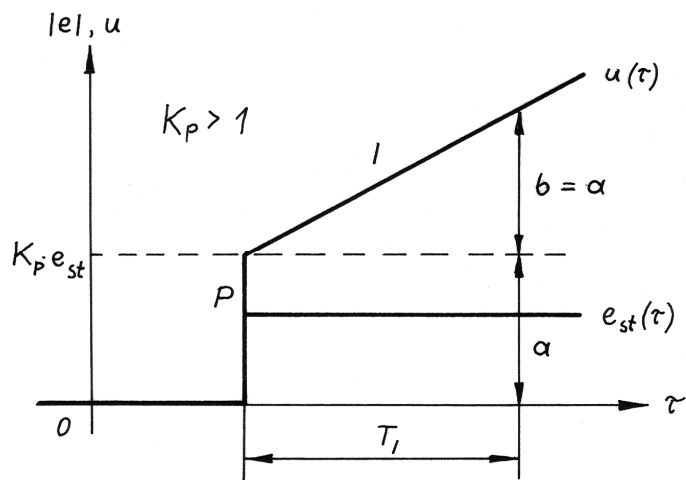
2.2. REGULATOR PROPORCJONALNO-CALKUJĄCY

Równanie regulatora proporcjonalno-całkującego (PI) ma postać:

$$\frac{du}{d\tau} = K_p \cdot \left(\frac{de}{d\tau} + \frac{1}{T_I} \cdot e \cdot d\tau \right) \quad \text{lub po scałkowaniu:} \quad u = K_p \cdot \left(e + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^{\tau} e \cdot d\tau \right) \quad (5)$$

gdzie: u – wielkość regulująca,
 K_p – wzmacnienie proporcjonalne,
 e – odchylenie regulacji,
 T_I – stała czasowa całkowania (czas zdwojenia).

Wielkość regulująca jest w regulatorze PI funkcją wartości odchylenia regulacji e (działanie proporcjonalne) i czasu trwania odchylenia regulacji (działanie całkujące). Jak widać, regulator PI jest członem astatycznym, a jego odpowiedź na wymuszenie skokowe odchylenia regulacji wynika z połączenia charakterystyk elementów proporcjonalnego i całkującego. Wykres tej odpowiedzi przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Odpowiedź regulatora PI na skok wartości odchylenia regulacji

W momencie skokowego wzrostu odchylenia regulacji, sygnał wyjściowy regulatora osiąga natychmiast wartość $u = K_p \cdot e_{st}$, odpowiadającą jego działaniu proporcjonalnemu (odcinek „P”), a następnie rozpoczyna się całkowanie wartości e_{st} , w wyniku którego u rośnie liniowo (odcinek „I”). Wzrost ten trwa aż do momentu powrotu e_{st} do poziomu zerowego (całka z zera jest stała) lub do momentu osiągnięcia stanu nasycenia (maksymalnej możliwej w danych warunkach wartości sygnału u). Stała czasowa całkowania (czas zdwojenia) T_I charakteryzuje nachylenie odcinka „I” przebiegu wielkości regulującej i jest czasem, po upływie którego wartość u osiąga poziom dwukrotnie wyższy od poziomu proporcjonalnego (równość odcinków a i b na rysunku 6).

Regulator PI posiada zdolność sprowadzania odchylenia regulacji e do poziomu zerowego. Działa jednak wolno i nie kompensuje zakłóceń szybkozmiennych. Wymaga zoptymalizowania wartości K_p i T_I .

2.3. REGULATOR PROPORCJONALNO-RÓŻNICZKUJĄCY

Równanie regulatora proporcjonalno-różniczkującego (PD) ma postać:

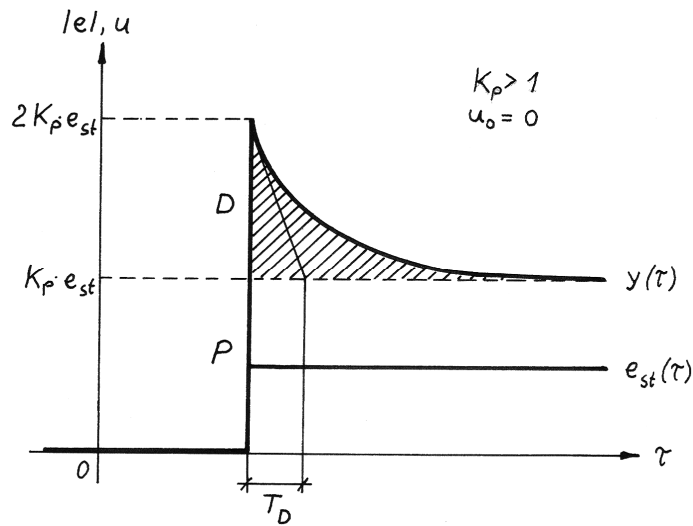
$$\frac{du}{d\tau} = K_p \cdot \left(\frac{de}{d\tau} + T_D \cdot \frac{d^2e}{d\tau^2} \right) \quad \text{lub po scałkowaniu:} \quad u = K_p \cdot \left(e + T_D \cdot \frac{de}{d\tau} \right) + u_0 \quad (6)$$

gdzie: u – wielkość regulująca,
 K_p – wzmacnienie statyczne (proporcjonalne),
 e – odchylenie regulacji,
 T_D – stała czasowa różniczkowania (czas wyprzedzenia),
 u_0 – przesunięcie punktu pracy w stanie ustalonym.

Czas wyprzedzenia definiuje się w oparciu o charakterystykę stałowzrostową regulatora PD. Jest to czas, po którym przy liniowym wzroście sygnału e składowa proporcjonalna sygnału u przewyższy ustaloną w tym przypadku ($de/d\tau = \text{const}$) składową różniczkową. Wielkość regulująca regulatora PD jest funkcją wartości odchylenia regulacji e (działanie proporcjonalne) oraz szybkości zmian tego odchylenia $de/d\tau$ (działanie różniczkujące). W stanie ustalonym $de/d\tau = 0$ i regulator ma charakterystykę proporcjonalną.

Przebieg odpowiedzi na wymuszenie skoku odchylenia regulacji regulatora PD przedstawia rysunek 7. W momencie skokowego wzrostu e , sygnał wyjściowy regulatora u osiąga natychmiast wartość proporcjonalną $u = K_p \cdot e_{st}$, a następnie, zgodnie z przebiegiem odpowiedzi na wymuszenie skokowe rzeczywistego członu różniczkującego, wzrasta o dodatkową wartość do poziomu $2K_p \cdot e_{st}$, by z kolei w wyniku inercji wykładniczo powrócić do asymptoty na poziomie proporcjonalnym. Intensywność różniczkowo-inercyjnego działania regulatora PD, określona na wykresie charakterystyki skokowej przez powierzchnię zakreskowaną, jest zależna od wartości czasu wyprzedzenia T_D .

Układ regulacji z regulatorem PD, mimo kompensowania zakłóceń szybkozmiennych, pozostaje wrażliwy na zakłócenia wolnozmiennne, dla których $de/d\tau \approx 0$. Zakłócenia te powodują powstawanie, podobnie jak w przypadku regulatora P, statycznego błędu regulacji. Regulator PD jest stosowany w obiektach charakteryzujących się stosunkiem τ_o/T mniejszym od 0,5 i wymaga zoptymalizowania wartości X_p , T_D i u_0 .



Rys. 7. Odpowiedź regulator PD na skok wartości odchylenia regulacji

2.4. REGULATOR PID

Regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący (PID) jest uniwersalnym rodzajem regulatora ciągłego, łączącym w sobie cechy omówionych w poprzednich rozdziałach regulatorów P, PI i PD. Ze względu na obecność członu całkującego jest to regulator astatyczny. Równanie regulatora PID ma postać:

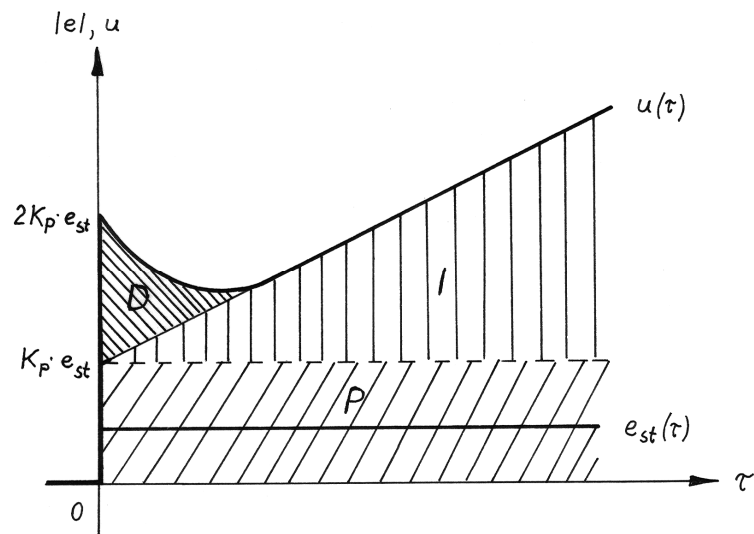
$$\frac{du}{d\tau} = K_p \cdot \left(\frac{de}{d\tau} + \frac{1}{T_I} \cdot e \, d\tau + T_D \cdot \frac{d^2e}{d\tau^2} \right) \quad (7)$$

lub po scałkowaniu:
$$u = K_p \cdot \left(e + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^\tau e \, d\tau + T_D \cdot \frac{de}{d\tau} \right) \quad (8)$$

gdzie: u – wielkość regulująca,
 K_p – wzmacnienie proporcjonalne
 e – odchylenie regulacji,
 T_I – czas zdwojenia,
 T_D – czas wyprzedzenia.

Wielkość regulująca regulatora PID jest proporcjonalna do wartości odchylenia regulacji e (działanie proporcjonalne), do czasu trwania odchylenia $\int_0^\tau e \, d\tau$ (działanie całkujące) i do szybkości zmian odchylenia regulacji $de/d\tau$ (działanie różniczkujące).

Przebieg odpowiedzi regulatora PID na skok odchylenia regulacji przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Odpowiedź regulatora PID na skok wartości odchylenia regulacji

Regulator PID jest w stanie skompensować zakłócenia szybkozmienne (powierzchnia „D”) oraz zmniejszyć do zera statyczny błąd regulacji (powierzchnia „I”). Układ regulacji z regulatorem PID wymaga jednak zoptymalizowania wartości K_p (X_p), T_I i T_D specjalnymi metodami ([1], rozdz. 23.2). Regulator może być stosowany do regulacji obiektów o zmiennym charakterze wpływu wielkości zakłócających, przy stosunku τ_o/T mniejszym od 1. Po nastawieniu wartości czasu wyprzedzenia $T_D = 0$ ma charakterystykę regulatora PI, po nastawieniu maksymalnej z możliwych wartości czasu zdwojenia T_I , charakterystykę zbliżoną do regulatora PD. Wymaga zoptymalizowania wartości X_p , T_D i T_I .

Analogowy regulator PID jest obecnie podstawowym rodzajem przemysłowego regulatora ciągłego, produkowanym dawniej w wersji pneumatycznej bądź elektronicznej, obecnie wyłącznie w wersji elektronicznej. Nowoczesne rozwiązania elektronicznych regulatorów PID umożliwiają ich pracę w układach regulacji stosunku, kaskadowej czy z kompensacją zakłóceń (posiadają kilka wejść z oddzielnie nastawianymi stałymi algorytmu). Za ciekawostkę można uznać fakt, że niemłody już algorytm PID jest stosowany w wersji cyfrowej również w najnowszych dyskretnych regulatorach mikroprocesorowych, jest wtedy zwykle uzupełniany o dodatkowe funkcje ułatwiające ich obsługę, np. automatyczne dobieranie wartości współczynników algorytmu PID z wykorzystaniem logiki rozmytej (ang. *fuzzy logic*).

3. LITERATURA

- [1] **Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002.**
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30,
<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>
marek.ludwicki@p.lodz.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.

Copyright © 2014-03-02
All rights reserved