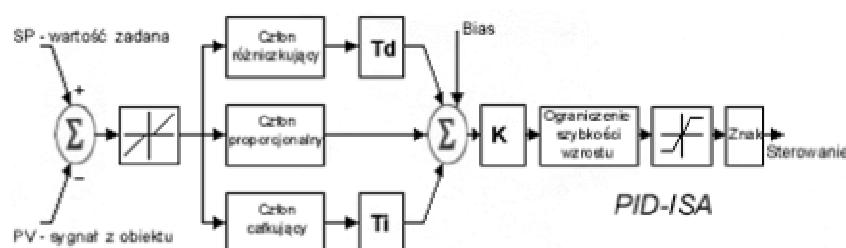


# Regulatory PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkujące) w sterownikach PLC

-- Biuletyn Automatyki nr 8 (2/1996) --

Na życzenie czytelników Biuletynu drukujemy poszerzoną wersję artykułu, który ukazał się w numerze 2 Biuletynu (Jesień 1994).

Często spotykanym zarzutem stawianym sterownikom PLC jest to, że realizują tylko algorytmy sterowania kombinacyjnego i sekwencyjnego, operując na wejściach i wyjściach logicznych, zastępując w ten sposób przekaźnikowe urządzenia automatyki. Taka rzeczywistość była idea powstania PLC, jednak gwałtowny rozwój techniki mikroprocesorowej spowodował, że cyfrowy sterownik z powodzeniem zastępuje klasyczne układy regulacji ciągłej. Wśród wielu modułów serii 90-30 i 90-70 znaleźć można wejścia i wyjścia analogowe prądowe ( $0 \div 20$  mA,  $4 \div 20$  mA), napięciowe ( $-5 \div +5$  V,  $0 \div 10$  V), a także specjalizowane moduły, przeznaczone do łączenia z termoparami, czujnikami PT100 czy przetwornikami tensometrycznymi.



Przy przetwarzaniu sygnałów analogowych na cyfrowe i odwrotnie wykorzystywany jest 12-bitowy przetwornik A/C oraz 16-bitowy przetwornik C/A, co zapewnia wystarczającą dokładność odwzorowania wartości ciągłej. Przeliczone wartości cyfrowe przechowywane są w sterowniku w 16-bitowych rejestrach. Projektant ma do dyspozycji zestaw funkcji matematycznych, za pomocą których może stworzyć dowolną pętlę regulacji, np. regulatory dwu- i trójpołożeniowe, krokowe czy pętle regulacji kaskadowej. Najpopularniejszy zaś algorytm regulacji czyli PID oferowany jest w postaci gotowej procedury programu Logicmaster, używanego do programowania sterowników GE Fanuc.

Wartość sterowania wypracowana przez regulator PID zależy proporcjonalnie od:

- uchybu,
- uchybu scałkowanego (zsumowanego),
- pochodnej (szybkości zmiany) uchybu.

O wpływie każdej z trzech wartości decydują parametry regulatora tj.

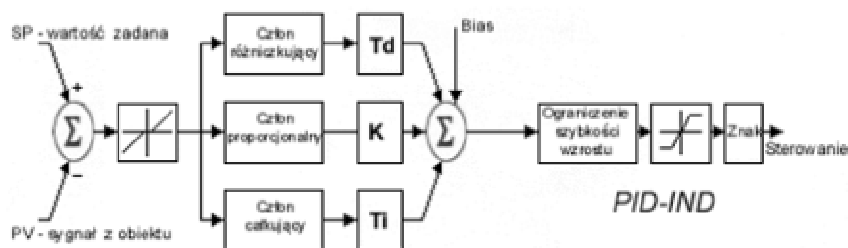
K - (*Proportional gain*) - współczynnik wzmocnienia - "P",

Ti - (*Integral gain*) - współczynnik całkowania - "I",

Td - (*Derivative gain*) - współczynnik różniczkowania - "D",

których skróty tłumaczą nazwę regulatora **PID**. Spotykany w polskiej literaturze termin *czas zdwojenia* jest odwrotnością współczynnika Ti. Przy analogowej realizacji regulatora PID,

niemożliwe było skonstruowanie idealnego różniczkowania, dlatego istniał dodatkowy parametr charakteryzujący inercję różniczkowania. W cyfrowych regulatorach jest on najczęściej pomijany.



W zależności od potrzeb można używać regulatorów PID-ISA lub PID-IND. Różnica między nimi została przedstawiona na rysunkach. O wyborze typu decydują wymagane zakresy parametrów regulatora. Klasyczny algorytm regulacji uzupełniony jest o kilka dodatkowych funkcji czyniących go wygodniejszym i bezpieczniejszym w użyciu. Istnieje, na przykład, możliwość ustawienia strefy nieczułości (*dead band*) wokół zera, powodującej, że regulator nie będzie reagował na małe zmiany wartości na wejściu. Zakres zmian wartości na wyjściu regulatora ograniczyć można w zadanym przedziale (*Upper & Lower Clamp*), odpowiadającym fizycznym zdolnościom członu wykonawczego.

Do regulatora PID wprowadzono mechanizm zabezpieczający przed nasyceniem członu całkującego - jeśli wartość wyjścia osiągnie poziom ograniczający, następuje zatrzymanie całkowania uchybu. W przypadku korzystania z urządzenia wykonawczego, powoli osiągającego żadaną wartość (np. zasowa z napędem elektrycznym), można ograniczyć szybkość wzrostu wartości wyjścia regulatora (*Minimum Slew Time*). Powoduje to, że aktualne sterowanie jest wiernie realizowane przez urządzenie wykonawcze. Również i w tym wypadku modyfikowana jest wartość całki uchybu, aby uniknąć niespójności w pracy algorytmu.

W sytuacjach krytycznych istnieje możliwość przejścia na sterowanie ręczne, z zachowaniem aktywnych parametrów: ograniczenia zmian wartości wyjścia oraz czasu narastania. W trybie ręcznym aktywne są zewnętrzne sygnały UP i DOWN, obecność jednego z nich powoduje zwiększenie lub zmniejszenie o 1 wartości wyjścia CV w każdym cyklu regulacji. Jak łatwo zauważyć przy standardowych nastawach, czyli zakres 0-32000 (odpowiadający zakresowi modułów analogowych), krok dyskretyzacji 1.0s (zapewniający wystarczająco szybką reakcję regulatora dla większości obiektów, a jednocześnie filtrujący przebiegi szybkozmiennie) zwiększenie wyjścia od 0 do 100% za pomocą sygnału UP, będzie trwało ponad 8 godzin. Jeden ze sposobów rozwiązania tego problemu zostanie przedstawiony dalej.

Bezuderzeniowy sposób przełączania pomiędzy pracą ręczną i automatyczną sprawia, że podczas przełączania trybu pracy nie następuje skok wartości sterowania (na czas trwania pracy ręcznej wyłączane jest całkowanie uchybu). Należy natomiast uważnie zmieniać wartości nastaw regulatora PID podczas pracy on-line na obiekcie, ponieważ nie ma zabezpieczeń przed skokowymi zmianami wartości wyjścia.

Przy wykonywaniu algorytmu regulacji wykorzystywany jest zegar czasu rzeczywistego, dający większą dokładność dyskretyzacji - bo ostatecznie jest to regulator dyskretny. Minimalny krok dyskretyzacji (*Sample Period*) wynosi 0.01s, co w większości zastosowań

idealnie symuluje regulator ciągły. Efektem zastosowania zegara czasu rzeczywistego jest to, że jeśli wyłączamy regulator przy niezerowym członie całkującym i niezerowym błędzie, to po ponownym włączeniu nastąpi skok wartości sterowania. Dlatego, chcąc zatrzymać pracę regulatora, należy przełączać go w tryb pracy ręcznej.

Przy zadaniach regulacji programowej, charakteryzującej się skokami wartości zadanej, człon różniczkujący w odpowiedzi na skok uchybu wypracowałby przez krótki czas dużą wartość sterowania. Dlatego regulator umożliwi różniczkowanie wartości wyjścia obiektu, zamiast uchybu (*Derivative Action*). Jeśli możliwy jest pomiar zakłócenia jeszcze zanim nastąpi jego wpływ na obiekt regulowany, wówczas celowe jest zastosowanie algorytmu *feedforward*. Jego działanie polega na uwzględnianiu przy wypracowywaniu sterowania, zmierzonej wartości zakłócenia. Na przykład, przy ogrzewaniu wyparki parą przegrzaną łatwiej zmierzyć temperaturę pary zasilającej i uwzględnić jej zmianę, niż później reagować na narastający uchyb. Implementację opisanego algorytmu w regulatorze PID umożliwia stała wartość dodawana do sterowania (*Bias*).

Wszystkie opisane powyżej parametry przejrzysto i elastycznie wprowadza się za pomocą przedstawionego obok ekranu. Podczas pracy regulatora wartość zadana, wyjście obiektu i sterowanie, przedstawiane są za pomocą ruchomych pasków (*bars*); co umożliwia łatwą i czytelną obserwację procesu dochodzenia wartości wyjścia do wartości zadanej.

Przy projektowaniu programu sterującego należy wziąć pod uwagę, że każdy regulator PID zastosowany w programie wykorzystuje obszar 40 rejestrów %R w pamięci danych. Zadaniem tych rejestrów jest przechowywanie wszystkich wartości liczbowych, niezbędnych do poprawnej pracy regulatora, czyli:

- opisanych powyżej parametrów np. K, Td, Slew Time, Dead Band itd.,
- wartości procesowych np. wejście, wyjście,
- zmiennych pośredniczących w obliczeniach np. wartość całki, czas który upłynął od ostatniego wykonania, itd.

Znajomość położenia tych rejestrów w pamięci daje programiście możliwość ingerencji w pracę regulatora i znaczne zwiększenie jego możliwości. Przy tworzeniu szczebla zawierającego blok PID, niezbędne jest wypełnienie pola bezpośrednio pod blokiem, adres tam wpisany, oznaczmy go %Ref, jest początkiem czterdziestorejestrowego obszaru. Lista opisująca znaczenie wszystkich rejestrów znajduje się w podręczniku Reference Manual GFK-0467 na stronie 4-121.

W typowym przedstawieniu regulatora PID w systemie wizualizacji znajdują się: przełącznik trybu pracy AUTO/MAN, wskazania wartości PV, SP i CV, pokazany graficznie i liczbowo oraz nastawy regulatora K, Ti, Td. W trybie AUTO regulator powinien umożliwiać zadawanie wartości SP. Z punktu widzenia oprogramowania wystarczy zmieniać wartość w rejestrze SP, podłączonym z zewnątrz bloku PID. Analogicznie w trybie MAN operator musi mieć możliwość swobodnego zadawania wartości wyjścia CV, w tym celu wystarczy skorzystać z rejestru %Ref+13, zapisana tam wartość zostanie wysłana na wyjście regulatora. Podobnie można tworzyć np. przyciski do zwiększania i zmniejszania wartości wyjścia, omijając ograniczenia standardowych sygnałów UP i DOWN. We wspomnianym obszarze znajdują się wszystkie nastawy regulatora np. wzmocnienie K przechowywane jest w rejestrze %R+05, ponieważ musi to być liczba całkowita, a wartość K podawana jest z dokładnością do jednej setnej, dlatego przed zapisem wzmocnienie mnożone jest przez 100. Podobnie jest dla

