



Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 08.I.1970 (P 138 077)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 28.II.1973

Kl. 42r¹,11/42

MKP G05b 11/42



Współtwórcy wynalazku: Piotr Jabłoński, Zbigniew Pietrusiński

Właściciel patentu: Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa
(Polska)

Elektryczny regulator krokowy o działaniu proporcjonalnie-całku- jąco-różniczkującym PID

1

Przedmiotem wynalazku jest elektryczny regulator krokowy o działaniu proporcjonalnie-całkująco-różniczkującym PID służącym do regulacji różnych parametrów procesów przemysłowych.

Znane są trójpółożeniowe regulatory krokowe, w których przełącznik trójpółożeniowy objęty inercyjnym sprzężeniem zwrotnym impulsowo włącza całkujący silnik wykonawczy. W tego rodzaju regulatorach ujemne inercyjne sprzężenie zwrotne nadaje im charakter dynamiczny regulatorów proporcjonalno-całkowych (PI).

Znane są trójpółożeniowe regulatory krokowe posiadające właściwości dynamiczne regulatora proporcjonalno-całkowo-różniczkowego (PID), w którym działanie różniczkowe uzyskuje się bądź to przez wprowadzenie na wejście regulatora krokowego typu PI, obok sygnału wejściowego, sygnału proporcjonalnego do pochodnej sygnału wejściowego, bądź to przez zastosowanie w regulatorze krokowym typu PI, obok ogólnie stosowanego ujemnego inercyjnego sprzężenia zwrotnego, drugiego dodatniego sprzężenia zwrotnego również o charakterze inercyjnym.

Wadą pierwszego z wyżej wymienionych sposobów realizacji regulatora krokowego PID jest wzajemna zależność nastaw parametrów dynamicznych regulatora, to znaczy zmiany nastaw działań całkującego i różniczkującego regulatora wpływają na siebie wzajemnie, oraz wpływają na zmianę nastawy działania proporcjonalnego regulatora. Poza tym, w tego rodzaju regulatorach krokowych PID istnieje ograniczenie, osiągalnego

2

stosunku czasu różniczkowania do czasu całkowania, do wartości 0,25.

Wadami drugiego z wyżej wymienionych sposobów realizacji regulatora krokowego PID są: nieliniowość działania regulatora to znaczy zależność parametrów dynamicznych regulatora od wielkości sygnału wejściowego, oraz zależność współczynnika wzmocnienia różniczkowania k_D regulatora od nastawy czasu różniczkowania T_D . Przez wzmocnienie różniczkowania rozumiana jest tu maksymalna wartość charakterystyki skokowej realnego członu D o działaniu różniczkującym jeśli amplituda sygnału wejściowego tego członu wynosi jedność. Realizacja techniczna tego rodzaju regulatorów PID jest skomplikowana, gdyż wymaga użycia 15 przełączników o dużej ilości zestyków.

Celem wynalazku jest usunięcie tych niedogodności czyli zbudowanie regulatora krokowego PID pozwalającego na uniezależnienie parametrów dynamicznych regulatora od wielkości sygnału wejściowego, umożliwiającego niezależne nastawy poszczególnych parametrów dynamicznych według potrzeb, a jednocześnie prostego w budowie i niezawodnego w działaniu.

Cel ten, w rozwiązaniu według wynalazku, został osiągnięty przez zastosowanie w regulatorze krokowym 25 PID dynamicznego sprzężenia zwrotnego, przez zastosowanie trójpółożeniowego przełącznika pracującego z inercyjnym sprzężeniem zwrotnym i włączającego całkujący silnik wykonawczy, w którym zastosowano 30 człon dwukrotnego różniczkowania, którego wejście

połączone jest z wyjściem a wyjście z wejściem inercyjnego sprzężenia zwrotnego.

Przykład wykonania elektrycznego regulatora krokowego PID według wynalazku jest przedstawiony schematycznie na rysunku na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy regulatora PID, fig. 2 przykład realizacji technicznej regulatora według wynalazku, a fig. 3, fig. 4 i fig. 5 przedstawiają czasowe przebiegi sygnałów sprzężeń zwrotnych sygnału wyjściowego regulatora po skokowej zmianie sygnału wejściowego.

Przedstawiony na fig. 1 rysunku schemat blokowy regulatora krokowego PID według wynalazku zawiera przełącznik trójpoleżeniowy P o punkcie zadziałania x_z i punkcie zwalniania x_0 . Przełącznik ten steruje ruchem silnika wykonawczego M w jednym lub w drugim kierunku, a jednocześnie załącza stałowartościowy sygnał na ujemne inercyjne sprzężenie zwrotne R_i poprzez węzeł sumujący S. Własności różniczkujące regulatora uzyskuje się według wynalazku za pomocą członu R_d , który wprowadza poprzez węzeł sumujący S sygnał x_d , proporcjonalny do drugiej pochodnej sygnału wejściowego x_{we} . Na fig. 2 jest przedstawiony przykład technicznej realizacji regulatora według wynalazku.

Regulator składa się z trójpoleżeniowego przełącznika P, członu inercyjnego sprzężenia zwrotnego R_i składającego się z wzmacniacza W, opornika zmiennego R_1 , opornika R_2 , potencjometru β i kondensatora C_1 . Na fig. 3, fig. 4 i fig. 5 przedstawione są przebiegi czasowe sprzężeń zwrotnych wypadkowego sygnału ε podawanego na przełącznik wyjściowy, impulsów wyjściowych x_{wy} przełącznika P oraz sygnału wyjściowego y silnika M. Po skokowej zmianie sygnału x_{we} na przełącznik P podawany jest sygnał ε równy sumie sygnałów: x_{we} i sygnału różniczkowania $x_{i/d}$, równego w pierwszej chwili $k_D x_{we}$. Sygnał ujemnego sprzężenia zwrotnego $x_{i/wy}$ narasta wykładniczo z punktu wyjściowego 0 z szybkością zależną od nastawionego zakresu proporcjonalności X_p regulatora. Jednocześnie zmniejsza się sygnał $x_{i/d}$ z szybkością zależną od nastawy czasu różniczkowania T_D i nastawy czasu całkowania T_I . W chwili gdy sygnał $\varepsilon = x_{we} + x_{i/d} - x_{i/wy}$ zmniejszy się do wartości x_0 zwalniania przełącznika, następuje zwolnienie przełącznika P. W ten sposób zostaje wytworzony pierwszy impuls x_{wy} regulatora.

Po pierwszym zwolnieniu przełącznika sygnał ujemnego sprzężenia zwrotnego $x_{i/wy}$ zmniejsza się wykładniczo ze stałą czasową równą T_I . Szybkość zmniejszania się sygnału różniczkowania $x_{i/d}$ jest w tym czasie większa niż szybkość zmniejszania się sygnału $x_{i/wy}$, dlatego też sygnał ε zmienia się dalej w tym samym kierunku i powoduje w punkcie „b” swego przebiegu, zadziałanie przełącznika w przeciwnym, ujemnym kierunku. W tym momencie przełącznik włącza sygnał sprzężenia zwrotnego x_{wy} o przeciwnym znaku, powodując szybkie zmniejszanie się sygnału $x_{i/wy}$ szybsze niż zmniejszanie się sygnału $x_{i/d}$. Powoduje to zmianę sygnału ε w przeciwnym kierunku aż do momentu zwolnienia przełącznika w punkcie „c” przebiegu. Ponieważ szybkość zmniejszania się sygnału $x_{i/d}$ jest po zwolnieniu przełącznika w dalszym ciągu większa niż szybkość zmniejszania się sygnału $x_{i/wy}$, następuje ponowne włączenie przełącznika w ujemnym kierunku, w punkcie d przebiegu ε .

Włączanie i wyłączanie przełącznika w ujemnym kie-

runku powtarza się tak długo, dopóki szybkość zmniejszania się sygnału $x_{i/d}$ jest większa od szybkości zmniejszania się sygnału $x_{i/wy}$ przy zwolnionym przełączniku. Przy każdym załączeniu przełącznika w ujemnym kierunku następuje wytworzenie ujemnego impulsu wyjściowego x_{wy} regulatora. Po wytworzeniu ostatniego impulsu w kierunku ujemnym punkt „e” przebiega ε sygnał ε wzrasta, aż do punktu f, w którym następuje zadziałanie przełącznika w kierunku dodatnim. Następuje włączenie sygnału sprzężenia zwrotnego x_{wy} , który powoduje szybki wzrost sygnału $x_{i/wy}$, zmniejszenie się sygnału ε do wartości $\varepsilon = x_0$ i zwolnienie przełącznika w punkcie g przebiegu. Po zwolnieniu przełącznika sygnał $x_{i/wy}$ zmniejsza się, a sygnał ε wzrasta aż do ponownego zadziałania przełącznika punktu h przebiegu ε .

Włączanie i wyłączanie powtarza się tak długo jak długo na wejściu regulatora istnieje sygnał wejściowy x_{we} większy od x_z . Są przy tym wytwarzane impulsy wyjściowe regulatora w kierunku dodatnim. W wyniku wyżej opisanego działania regulatora, sygnał wyjściowy x_{wy} jest szeregiem impulsów. Średnia wartość sygnału wyjściowego x_{wysr} ma przebieg zbliżony do charakterystyki skokowej członu PDD². Impulsy x_{wy} są całkowane przez silnik M, tak, że charakterystyka skokowa regulatora odpowiada charakterystyce skokowej regulatora PID. Transmittancja KG(j) regulatora według wynalazku wyraża się, dla częstotliwości mniejszych od częstotliwości impulsowania regulatora, następującym przybliżonym wzorem:

$$KG(j) = \frac{1}{X_p} \left(\frac{1}{j T_I} + \frac{T_D j}{1 - j \frac{T_D}{k_D}} \right)$$

W wzmacniaczu W_z oraz oporze zmiennym R_3 kondensatorze zmiennym 3 i kondensatorze C_4 wytwarzany jest sygnał proporcjonalny do pierwszej pochodnej sygnału wejściowego x_{we} . Sygnał ten jest różniczkowany po raz drugi w układzie złożonym z kondensatora C_2 i oporności wejściowej wzmacniacza W_1 , a otrzymana w ten sposób druga pochodna sygnału x_{we} jest wprowadzana na wejście wzmacniacza W_1 . Sygnał wyjściowy przełącznika trójpoleżeniowego x_{wy} uruchamia całkujący silnik wykonawczy M o czasie przestawiania T_m . Transmittancja KG(j) regulatora przedstawionego na fig. 5 wyraża się następującym przybliżonym wzorem:

$$KG(j) = \frac{R_2 C_1}{T_m} \left(\frac{1}{j R_1 C_1} + 1 + \frac{j R_3 C_3 \frac{C_2}{C_1}}{j R_3 C_4 + 1} \right)$$

Stąd otrzymujemy następujące wyrażenia na zakres proporcjonalności X_p , czas różniczkowania T_D , czas całkowania T_I , oraz wzmocnienie różniczkowania k_D :

$$X_p = \frac{T_m}{R_2 C_1}$$

$$T_I = R_1 C_1$$

$$T_D = R_3 C_3 \frac{C_2}{C_1}$$

$$k_D = \frac{C_2 C_3}{C_1 C_4}$$

Takie rozwiązanie regulatora umożliwia niezależne nastawy wszystkich parametrów dynamicznych, np. X_p — nastawia się przez zmianę oporności potencjometru β T_I — przez zmianę wartości oporności opornika zmiennego R_1 , T_D — przez zmianę wartości oporności opornika zmiennego R_3 , k_D — przez zmianę pojemności kondensatora zmiennego C_4 . Zalety regulatora krokowego PID według wynalazku są następujące: Niezależność parametrów dynamicznych regulatora od wielkości sygnału wejściowego. Możliwość niezależnej nastawy poszczególnych parametrów dynamicznych regulatora, przy czym stosunek czasu różniczkowania do czasu całkowania $\frac{T_D}{T_I}$ może być osiągany dowolnie duży.

Zmiany nastaw parametrów dynamicznych regulatora nie wpływają na wartość współczynnika wzmocnienia różniczkowania k_D . Realizacja techniczna regulatora krokowego według wynalazku jest prosta. Ilość niezbędnych zestyków przekaźnika trójpółosiowego jest dużo mniejsza niż w regulatorze krokowym PID z dwoma inercyjnymi sprzężeniami zwrotnymi — ujemnym i dodatnim. Pełzanie zera wzmacniacza W_2 zastosowanego w regulatorze według wynalazku do otrzymania działania różniczkującego, nie powoduje pogorszenia dokładności regulacji, gdyż jego wejście jest oddzielone kondensatorem C_2 od wejścia wzmacniacza trójpółosiowego P .

W układzie regulatora krokowego PID, w którym różniczkowanie uzyskuje się przez wprowadzenie na wejście regulatora krokowego PI, sygnału proporcjo-

5

10

15

20

25

30

nalnego do pochodnej sygnału wejściowego, pełzanie zera wzmacniacza użytego do otrzymania pochodnej sygnału wejściowego wpływa bezpośrednio na dokładność regulacji.

Zastrzeżenia patentowe

1. Elektryczny regulator krokowy o działaniu proporcjonalnie-całkująco-różniczkującym PID, w którym przekaźnik trójpółosiowy, pracujący z inercyjnym sprzężeniem zwrotnym włącza całkujący silnik wykonawczy, **znamienny tym**, że jest wyposażony w człon dwukrotnego różniczkowania (R_d), którego wejście połączone jest z wejściem regulatora, a wyjście, poprzez węzeł sumujący (S) połączone jest z wejściem członu inercyjnego (R_i).

2. Elektryczny regulator według zastrz. 1 **znamienny tym**, że człon dwukrotnego różniczkowania (R_d) jest wyposażony w człon pojedynczego różniczkowania, którego wyjście połączone jest, poprzez kondensator (C_2) i węzeł sumujący (S), z wejściem członu inercyjnego (R_i).

3. Elektryczny regulator według zastrz. 1 i 2 **znamienny tym**, że jest wyposażony w potencjometr, w którym położenie suwaka określa działanie proporcjonalne regulatora PID, w opornik zmiany (R_3) i kondensator zmiany (C_3) których wartości określają działanie różniczkujące regulatora PID, i opornik zmienny (R_1), którego wartość określa działanie całkujące regulatora.

Errata

Na stronie 2, w łamie 2, wiersz 9 od góry po słowach: sprzężeń zwrotnych sygnału, brak tekstu: wypadkowego podawanego na przekaźnik impulsów wyjściowych oraz sygnału

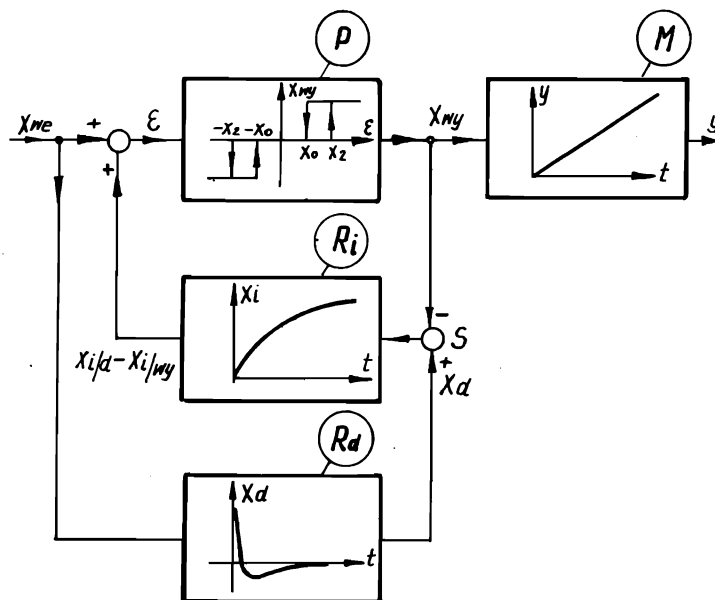


Fig 1

