

**POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA**



**URZĄD
PATENTOWY
PRL**

O P I S P A T E N T O W Y

P A T E N T U T Y M C Z A S O W E G O

78841

Patent tymczasowy dodatkowy
do patentu _____

Kl. 46b, 11/06

Zgłoszono: 04.12.1972 (P. 159257)

Pierwszeństwo: _____

MKP F02d 11/06

Zgłoszenie ogłoszono: 15.11.1973

Opis patentowy opublikowano: 10.06.1975

Twórcy wynalazku: Rafał Jurek, Łukasz Szymański, Tadeusz Puchałka

Uprawniony z patentu tymczasowego: Politechnika Poznańska, Poznań (Polska)

Układ sterowania wolnoobrotowego silnika spalinowego

Przedmiotem wynalazku jest układ sterowania wolnoobrotowego silnika spalinowego zwłaszcza okrętowego.

W znanym układzie sterowania wolnoobrotowego silnika, który realizuje charakterystykę obciążenia funkcji czasu przez podanie za pomocą pneumatycznego zadajnika ciśnienia do butli poprzez dławiki o nastawionym dławieniu. Dławiki są przełączone kolejno na przykład zgodnie z zadaną funkcją zmian prędkości obrotowej silnika. Zawór zwrotny umieszczony między butlą z zadajnikiem pneumatycznym, ma za zadanie natychmiastowe odpowietrzenie butli przy obniżeniu ciśnienia z nadajnika. Ciśnienie powietrza w butli steruje członem wykonawczym, napędzającym dźwignię nastawy prędkości obrotowej regulatora. Regulator poprzez listwę pompy paliwowej steruje prędkością obrotową silnika spalinowego. Znany jest również układ pneumatyczny w którym przepływ powietrza ładującego butlę jest dodatkowo regulowany regulatorem przepływu, dzięki czemu poprawia się nieco liniowość charakterystyki, mianowicie można uzyskać liniowy ostatni odcinek charakterystyki.

Inny układ sterowania zapewnia liniowość charakterystyki, ale okupione to jest znacznym rozbudowaniem układu, zwłaszcza integratora pneumatycznego. W układzie tym zadajnik pneumatyczny steruje wejściem sumującym członu porównującego i połączonego poprzez wzmacniacz z elementem progowym, a element progowy połączony jest z wejściem integratora pneumatycznego. Zmianę stałej czasowej, a tym samym zmianę nachylenia charakterystyki uzyskuje się przez kolejne zgodne z zadanym programem połączenie dławików znajdujących się w torze sprzężenia zwrotnego integratora.

Zasadnicze wady tych układów to: nieliniowość, gdyż ciśnienie w butli wzrasta wykładniczo, dalej różne nachylenia charakterystyk obrotów funkcji czasu i związane z tym różne czasy osiągania tej samej wartości prędkości obrotowej w zależności od amplitudy wartości zadanej, a co za tym idzie nie najlepsza dokładność odtwarzania charakterystyki.

Celem wynalazku jest opracowanie elektronicznego układu sterowania wolnoobrotowym silnikiem spalinowym, pozbawionego znanych wad i niedogodności.

Istota rozwiązania według wynalazku polega na tym, że układ ma dwa operacyjne wzmacniacze połączone z dwoma przerzutnikami Schmidta stanowiące dwa komparatory. Wejścia nieodwracające operacyjnego wzmac-

niacza połączone są ze sobą i stanowią wejście układu. Z przetwornikami Schmidta połączone są jednocześnie wejścia bramek oraz wejścia sterujące rewersyjnego licznika. Drugie wejścia bramek połączone są ze sobą i z astabilnym generatorem. Wyjście bramki połączone jest z pierwszym wejściem elementu sumy poprzez dzielnik częstotliwości. Wyjście bramki jest połączone bezpośrednio z drugim wejściem elementu sumy. Wyjście elementu sumy łączy się z wejściem rewersyjnego licznika a jego wyjście połączone jest z cyfrowo-analogowym przetwornikiem. Wyjście sprzężenia zwrotnego rewersyjnego licznika połączone jest z dekodującą matrycą rewersyjnego licznika poprzez generator impulsów i ponadto dekodująca matryca połączona jest z wejściem sterującym dzielnika częstotliwości poprzez blok sterowania. Wyjście cyfrowo-analogowe przetwornika połączone jest jednocześnie z wejściem odwracającym wykonawczego wzmacniającego elementu oraz wejściem odwracającym operacyjnego wzmacniacza, oraz z opornikiem zasilanym napięciem polaryzującym. Wejście nieodwracalne wykonawczego wzmacniającego elementu połączone jest poprzez opornik z masą.

Wynalazek objaśniono na przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia charakterystykę silnika jako zależność prędkości obrotowej silnika w funkcji czasu, fig. 2 — szczegółową charakterystykę silnika, na której przez I oznaczono charakterystykę zadaną, przez II — charakterystykę uproszczoną (zaokrąglono rzędne n_1 i n_2 punktów C i D), IIIa — impulsy zadane z multiwibratora astabilnego, IIIb — impulsy rzeczywiste multiwibratora astabilnego, IV — charakterystykę realizowaną, fig. 3 — schemat ogólny, fig. 4 — wykresy pracy dzielnika częstotliwości dla współczynnika podziału $K = 1$ i $K = 4$, fig. 5 — ideowy schemat połączeń części układu.

Układ ma operacyjny wzmacniacz 3 i 4 połączone z przerzutnikiem Schmidta 5 i 6 stanowiące dwa komparatory 1 i 2. Wejścia nie odwracające operacyjnego wzmacniacza 3 i 4 połączone są ze sobą i stanowią wejście układu. Z przetwornikami Schmidta 5 i 6 połączone są jednocześnie wejścia bramek 7 i 8 oraz wejścia sterujące rewersyjnego licznika 13. Drugie wejścia bramek 7 i 8 połączone są ze sobą i z astabilnym generatorem 9. Wyjście bramki 7 połączone jest z pierwszym wejściem elementu sumy 11 poprzez dzielnik częstotliwości 10. Wyjście bramki 8 jest połączone bezpośrednio z drugim wejściem elementu sumy 11. Wyjście elementu sumy 11 łączy się z wejściem rewersyjnego licznika 13, a jego wyjście połączone jest z cyfrowo-analogowym przetwornikiem 12. Wyjście sprzężenia zwrotnego rewersyjnego licznika 13 połączone jest z dekodującą matrycą rewersyjnego licznika 13 poprzez generator impulsów 16, ponadto dekodująca matryca 14 połączona jest z wejściem sterującym dzielnika częstotliwości 10 poprzez blok sterowania 15. Wyjście cyfrowo analogowe przetwornika 12 połączone jest jednocześnie z wejściem odwracającym wykonawczego wzmacniającego elementu 18 oraz wejściem odwracającym operacyjnego wzmacniacza 3 i 4 oraz z opornikiem 19 zasilanym napięciem + polaryzującym U_{pr} . Wejście nieodwracalne wykonawczego wzmacniającego elementu 18 połączone jest poprzez opornik z masą.

Opracowany układ, którego zadaniem jest realizacja charakterystyki prędkości obrotowej silnika w funkcji czasu opiera się o cyfrowy układ nadążny według fig. 2, który osiąga wartość zadaną zgodnie z wykresem krzywej sterowania wolnoobrotowego silnika okrętowego według fig. 1.

Licznik rewersyjny 13 w cyfrowym układzie nadążnym umożliwia poruszanie się po krzywej w przód po drodze OCDA, jak i w tył — po drodze AB. Wartość zadana jest porównywana z sygnałem sprzężenia zwrotnego z przetwornika 12 cyfra-analog w komparatorach 1 i 2 składających się ze wzmacniacza operacyjnego 3 i 4 i przerzutników Schmidta 5 i 6. Pełne wystawienie komparatora i tym samym otwarcie odpowiedniej bramki 7 lub 8 powodowane jest różnicą między wartością zadaną z nadajnika a sygnałem sprzężenia zwrotnego z przetwornika 12 cyfra-analog.

W zależności od znaku uchybu zostaje ustalony kierunek zliczania, a tym samym zostaje otwarta odpowiednia bramka 7 lub 8. Na bramki 7 lub 8 podawane są impulsy z multiwibratora astabilnego 9. Przez czas otwarcia bramki impulsy z multiwibratora astabilnego 9 zliczane są w liczniku rewersyjnym 13 w przód lub w tył. Przetwornik 12 jest konwerterem napięcia schodkowego o równej wysokości schodków, lecz o różnej ich długości — w zależności od kształtu krzywej z fig. 1. Na przykład krzywa ta składa się z trzech odcinków o trzech różnych nachyleniach, dlatego występują schodki o trzech równych długościach. Wyznaczają one trzy okresy impulsowania multiwibratora astabilnego 9. Stąd, każdemu nachyleniu krzywej odpowiada inny okres impulsowania multiwibratora 9.

Ten zmienny okres uzyskuje się za pomocą dzielnika częstotliwości 10. Dzielnik częstotliwości 10 umieszczony jest na drodze zliczania w przód, między wyjściem bramki 7, a wejściem sumy 11. Drugie wejście elementu sumy 11 połączone jest z wyjściem bramki 8. Dzielnik częstotliwości 10 sterowany jest sygnałami z matrycy dekodującej 14 licznika rewersyjnego 13 poprzez blok sterowania dzielnikiem częstotliwości 15. Binarny sygnał licznika rewersyjnego 13 jest przetwarzany na wartość analogową w przetworniku cyfra-analog 12. Sygnał z wyjścia przetwornika cyfra-analog 12 podawany jest w pętli sprzężenia zwrotnego na komparatory 1 i 2 i jednocześnie poprzez separujący element wykonawczy 18. Włączenie generatora impulsów 16 w pętlę sprzężenia

zerotnego licznika rewersyjnego 13 umożliwia wyeliminowanie dowolnej liczby stanów w sposób skokowy, co jest konieczne na przykład w przypadku realizacji charakterystyki sterowania silnikiem okrętowym, gdy występują w obiekcie obroty krytyczne.

Realizację zadanej charakterystyki osiąga się: bądź przez podział osi czasu na równe odcinki, co odpowiada stałemu okresowi impulsowania multiwibratora astabilnego 9 i otrzymujemy wówczas nieliniowe przetwarzanie cyfra-analog bądź przez podział rzędnej (sygnałuysterowania) na równe odcinki (poziomy) co pozwala stosować liniowy konwerter cyfra-analog. W pierwszym przypadku konieczna jest bardzo duża dokładność przetworznika cyfra-analog. Z drugiej zaś strony tak duża dokładność krzywej z punktu widzenia obiektu jest zupełnie niepotrzebna, gdyż dokładność ta jest wytracona na elementach wykonawczych. Do dokładnego odtwarzania krzywej wystarczy kilkadziesiąt poziomów.

Uwzględniając to, w układzie według wynalazku dla realizacji charakterystyki sterowania wolnoobrotowym silnikiem okrętowym, przyjęto liczbę poziomów równą 64 i zastosowano drugą metodę realizacji charakterystyki to znaczy przez podział rzędnej. W przypadku realizacji charakterystyki sterowania wolnoobrotowym silnikiem spalinywym okrętowym odcinek odpowiadający pierwszemu nachyleniu krzywej jest interesujący tylko z tego względu, że obejmuje obroty „Bardzo wolno” i obroty okołozapłonowe, dlatego do rozważań wystarczy wziąć pod uwagę tylko część tego odcinka, która obejmuje wyżej wspomniane obroty. Praktycznie można uzyskać to poprzez wstępną polaryzację oporności obciążenia konwertera cyfra-analog 12 opornikiem 19 co graficznie przedstawia fig. 3. Nie zmienia to w niczym budowy konwertera 12, a pozwoli na efektywniejsze wykonywanie wszystkich poziomów.

Wykorzystując drugi sposób realizacji charakterystyki sterowania wolnoobrotowym silnikiem okrętowym, dzielimy odcinek rzędnej $n_n - n_m$ na fig. 3, odpowiadający różnicy między pełnymysterowaniem a wstępną polaryzacją na 64 poziomy. Wyznaczają one okresy impulsowania multiwibratora astabilnego 9 w poszczególnych przedziałach czasowych, odpowiadających poszczególnym odcinkom krzywej o różnych nachyleniach. Widać stąd, że każdemu nachyleniu krzywej odpowiada inny okres impulsowania multiwibratora astabilnego 9. Zmienny okres multiwibratora astabilnego 9 uzyskujemy z dzielnika czasowego 10 przedstawionego na fig. 4. Dzielnik częstotliwości 10 włączony na drodze zliczania w przód, otrzymuje sygnały z wyjścia bramki 7 i jest sterowany blokiem 15. Blok 15 sterowania dzielnikiem częstotliwości 10 składa się z elementów pamięciowych 20 i 21, których działanie polega na zapamiętaniu odpowiednio czasów T_1 i T_2 załamania krzywej przedstawionej na fig. 3. Blok sterowania 15 otrzymuje sygnały z matrycy dekodującej 14. Dzielnik częstotliwości 10 składa się z matrycy dekodującej 17 polaryzowanej napięciem $+U_z$ przy pomocy oporników 22 i sterowanej elementami pamięciowymi 24, 25, 26, 27, 28, 29 z generatorem impulsów 30. Na wyjściu matrycy dekodującej 17 otrzymuje się sygnały odpowiadające współczynnikom podziału K_1 , K_2 i K_3 . Sygnały te podawane są na wejścia elementu sumy logicznej 23. Sygnały z wejścia elementu sumy 23, stanowiące jednocześnie sygnały wyjściowe dzielnika częstotliwości 10 są podane poprzez element sumy 11 do licznika rewersyjnego 13.

Na fig. 5 przedstawiono wykresy pracy dzielnika częstotliwości 10 dla współczynników podziału $K = 1$ i $K = 4$. Dzielnik częstotliwości 10 dzieli podawaną do licznika rewersyjnego 13 częstotliwość multiwibratora astabilnego 9, przy czym współczynnik podziału K zależy od nachylenia odcinka krzywej $n(t)$, po którym aktualnie porusza się punkt pracy silnika. Krzywa $n(t)$ z fig. 3 składa się z trzech odcinków o trzech równych nachyleniach, dlatego istnieją trzy różne długości impulsów $\Delta 1$, $\Delta 2$ i $\Delta 3$ gdzie $\Delta 1$ odpowiada długości impulsu na pierwszym odcinku OC o największym nachyleniu, $\Delta 2$ — długości impulsu na drugim odcinku CO, $\Delta 3$ — długości impulsu na trzecim odcinku DA o najmniejszym nachyleniu. Stąd matryca dekodująca 17 dzielnika częstotliwości 10 musi zdekodować trzy stany. Układ dzielnika częstotliwości działa na zasadzie generowania impulsu zerującego wszystkie przerzutniki 24, 25, 26, 27, 28, 29 dzielnika 10 po zejściu stanu zdekodowanego przy pomocy matrycy dekodującej 17. Tym trzem stanom zdekodowanym przez matrycę dekodującą 17 odpowiadają trzy długości odcinków $\Delta 1$, $\Delta 2$, i $\Delta 3$.

Założmy, że punkt pracy silnika porusza się wzdłuż krzywej $n(t)$ (fig. 3) od początkowego punktu N_m . Matryca dekodująca 17 dekoduje najpierw pierwszy stan i to tyle razy, ile długość $\Delta 1$ mieści się w pierwszym odcinku. Częstotliwość multiwibratora astabilnego 9 powinna być większa od częstotliwości wynikająca z nachylenia pierwszego odcinka krzywej. Zmiennym okresem dzielnika częstotliwości 10 steruje blok 15, który generuje impuls skokowy po zajęciu czasów T_1 i T_2 zdekodowanych matrycą 14. I tak na przykładzie w momencie zajęcia czasu T_1 matryca dekodująca 17 dekoduje drugi stan, a dzielnik częstotliwości 10 wysyła impulsy o częstotliwości f_2 mniejszej od f_1 . Krzywa sterowania silnikiem $n(t)$ jest realizowana z pewnym niewielkim uproszczeniem, które wynika z zaokrąglenia współrzędnych punktów załamania C i D, to znaczy z zaokrąglenia prędkości n_1 i n_2 oraz czasów T_1 i T_2 , a także współczynników K_1 , K_2 i K_3 podziału częstotliwości generowanej przez multiwibrator astabilny 9 za pomocą dzielnika częstotliwości 10.

W przypadku idealnym rzędne n_1 i n_2 przypadają na krawędzi poziomów, odcięte l_1 i l_2 na impulsie z dzielnika częstotliwości, a współczynniki podziału K są liczbami całkowitymi co ilustruje fig. 3.

Analizując przybliżone charakterystyki z fig. 3 nasuwają się następujące uwagi dotyczące zaokrągleń współrzędnych punktów załamań C, D. Jeżeli odcięte punktów C i D to znaczy czasy T_1 i T_2 przypadają pomiędzy impulsami dzielnika częstotliwości 10, to należy je sprowadzić do najbliższego impulsu i jeżeli wartość rzędnych punktów C i D czyli prędkości obrotowe silnika n_1 i n_2 przypadają między kolejnymi poziomami, to należy je zaokrąglić to znaczy sprowadzić wzdłuż krzywej do najbliższego poziomu, aby zaokrąglenie współczynników podziału K było możliwie małe, należy wybrać odpowiednio dużą częstotliwość multiwibratora astabilnego 9.

Zastrzeżenie patentowe

Układ sterowania wolnoobrotowego silnika spalinowego składający się z komparatorów rewersyjnego, licznika, astabilnego generatora, logicznych bramek, elementu sumy, dzielnika częstotliwości, cyfrowo-analogowego przetwornika, generatora impulsów i wykonawczego wzmacniającego elementu, **znamienny tym**, że ma operacyjny wzmacniacz (3 i 4) połączone z przerzutnikiem Schmidta (5 i 6) stanowiące dwa komparatory (1) i (2), przy czym wejścia nie odwracające operacyjnego wzmacniacza (3 i 4) połączone są ze sobą i stanowią wejście układu, z przetwornikami Schmidta (5 i 6) połączone są jednocześnie wejścia bramek (7 i 8) oraz wejścia sterujące rewersyjnego licznika (13) a drugie wejścia bramek (7 i 8) połączone są ze sobą i z astabilnym generatorem (9), równocześnie wyjście bramki (7) połączone jest z pierwszym wejściem elementu sumy (11) poprzez dzielnik częstotliwości (10), wyjście bramki (8) jest połączone bezpośrednio z drugim wejściem elementu sumy (11) a wyjście elementu sumy (11) łączy się z wejściem rewersyjnego licznika (13), a jego wyjście połączone jest z cyfrowo-analogowym przetwornikiem (12), natomiast wyjście sprzężenia zwrotnego rewersyjnego licznika (13) połączone jest z dekodującą matrycą rewersyjnego licznika (13) poprzez generator impulsów (16), ponadto dekodująca matryca (14) połączona jest z wejściem sterującym dzielnika częstotliwości (10) poprzez blok sterowania (15), przy czym wyjście cyfrowo analogowe przetwornika (12) połączone jest jednocześnie z wejściem odwracającym wykonawczego wzmacniającego elementu (18) oraz wejściem odwracającym operacyjnego wzmacniacza (3 i 4) oraz z opornikiem (19) zasilanym napięciem + polaryzującym U_{pr} , równocześnie wejście nieodwracalne wykonawczego wzmacniającego elementu (18) połączone jest poprzez opornik z masą.

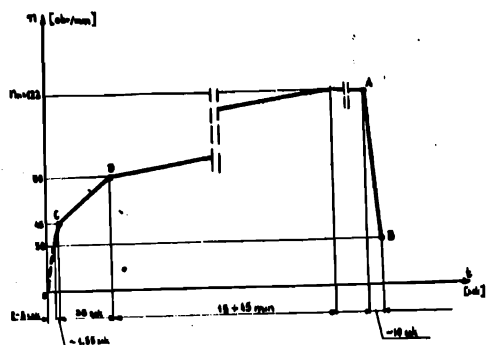


Fig. 1

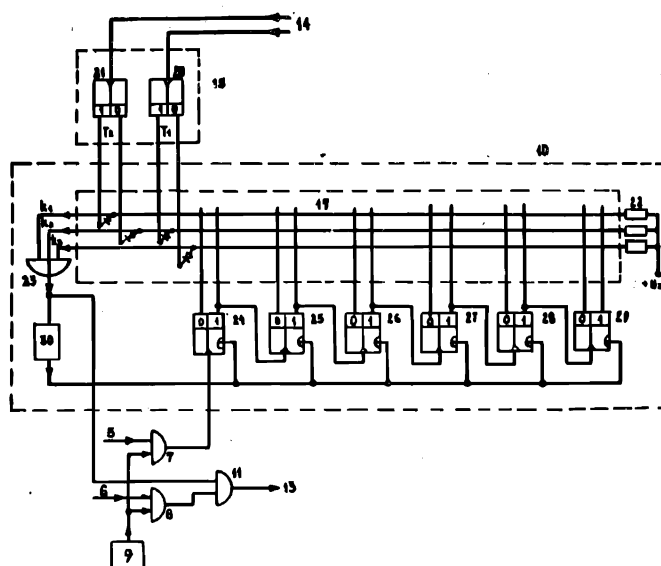


Fig. 5