

Michał BIEDZKI

Zbigniew MANTORSKI

TRANZYSTOROWY MIKROPROCESOROWY UKŁAD STEROWANIA NAPĘDEM PRĄDU STAŁEGO

Streszczenie: Opisano koncepcję i realizację nawrotnego mikrokomputerowego tranzystorowego układu napędowego sterującego silnikiem prądu stałego. Nawrotny przekształtnik tranzystorowy złożony z czterech łączników umożliwia sterowanie silnikiem tarczowym z magnesami trwałymi, o mocy 60 W przy trzykrotnych przeciążeniach prądowych.

Układ realizuje zadany cykl pracy (rozruch, jazda ustalona, hamowanie, dojazd) przy założonej dokładności pozycjonowania.

Cały algorytm sterowania jest realizowany na drodze programowej przy wykorzystaniu układów czasowych oraz układów wejścia/wyjścia systemu mikroprocesorowego. Po wykonaniu programu układ podaje wyniki na monitorze ekranowym i kreśli wykres prędkości.

Układ został przebadany a przykładowe wyniki pomiarów podano w artykule.

1. WSTĘP

Współcześnie podstawowe tranzystory mocy dzięki swym parametrom prądowym i napięciowym znajdują coraz szersze zastosowanie w napędach elektrycznych serwomechanizmów. W porównaniu do układów tyrystorowych układy tranzystorowe posiadają szereg zalet takich jak:

- możliwość ciągłego sterowania prądem kolektora w całym cyklu pracy napędu,
- krótsze czasy załączania i wyłączenia,
- możliwość uzyskiwania wyższych częstotliwości pracy,
- większą sprawność przy wyższych częstotliwościach,
- niższą cenę i mniejsze gabaryty układu.

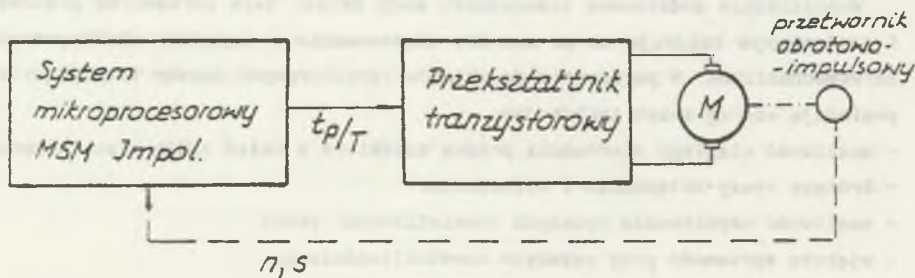
Układ napędowy może być sterowany analogowo bądź cyfrowo. Ten ostatni rodzaj sterowania jest szczególnie przydatny w układach sterowania położeniem, gdy zadawanie liczby obrotów odbywa się cyfrowo, np. z nadrzędnego systemu mikroprocesorowego (np. w robocie).

W ramach programu CPBP 02.13 w Instytucie Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej opracowano i zbudowano tranzystorowy mikrokomputerowy układ sterowania napędem prądu stałego. Poniżej opisano koncepcję zrealizowanego układu oraz przedstawiono przykładowe wyniki jego badań.

2. OPIS UKŁADU NAPĘDOWEGO

Opisywany układ napędowy jest układem wykonującym zadaną liczbę obrotów przy określonej dokładności i określonej prędkości maksymalnej. Założono, że silnik napędza urządzenie wykonawcze poprzez przekładnię mechaniczną 1:100. Liczba obrotów jest zadawana w każdym cyklu pracy w zakresie od 1 do 360 stopni ruchu urządzenia wykonawczego, czyli od 1/3 do 100 obrotów silnika, przy wymaganej dokładności od 1 stopnia za przekładnią, czyli 100 stopni na wale silnika. Dopuszczalna prędkość jazdy ustalonej odpowiada maksymalnej prędkości zastosowanego silnika. Cykl wykonawczy składa się z czterech etapów:

- rozruchu do prędkości maksymalnej, ustalonej n_{max} , bez przeregulowań, w możliwie najkrótszym czasie,
- jazdy ustalonej przy stałej prędkości n_{max} ,
- hamowania do prędkości dojazdowej n_d , bez przeregulowań, w możliwie najkrótszym czasie,
- dojazd do położenia zadanego z prędkością dojazdową n_d , przy której napęd jest samohamowny.

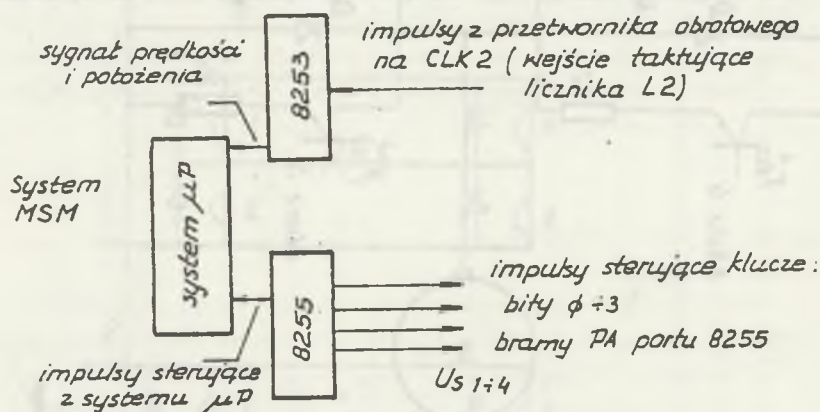


Rys.1. Struktura układu sterowania napędem

Fig.1. Structure of the drive control system

Na rys.1 przedstawiono strukturę układu sterowania napędem. Silnik napędowy jest silnikiem tarczowym prądu stałego z magnesami trwałymi (typ

PTT 11, o danych znamionowych 60 W; 3000 obr/min, 15 V; 6,7 A). Silnik ten jest zasilany z przekształtnika tranzystorowego, który z kolei jest sterowany za pomocą systemu mikroprocesorowego MSM Impol, zbudowanego na bazie mikroprocesora Z80. Sygnały prędkości obrotowej silnika oraz położenie są uzyskiwane za pomocą przetwornika obrotowo-impulswego E21 MPL 10 (Polskie Zakłady Optyczne). Na rys.2 przedstawiono sposób sprzęgnięcia systemu mikroprocesorowego z przetwornikiem obrotowo-impulsowym, oraz z przekształtnikiem tranzystorowym.



8253 - układ trzech liczników programowanych Intel 8253

8255 - układ wej/wy równoległego programowanego Intel 8255 o trzech bramach 8 bitowych PA, PB, PC

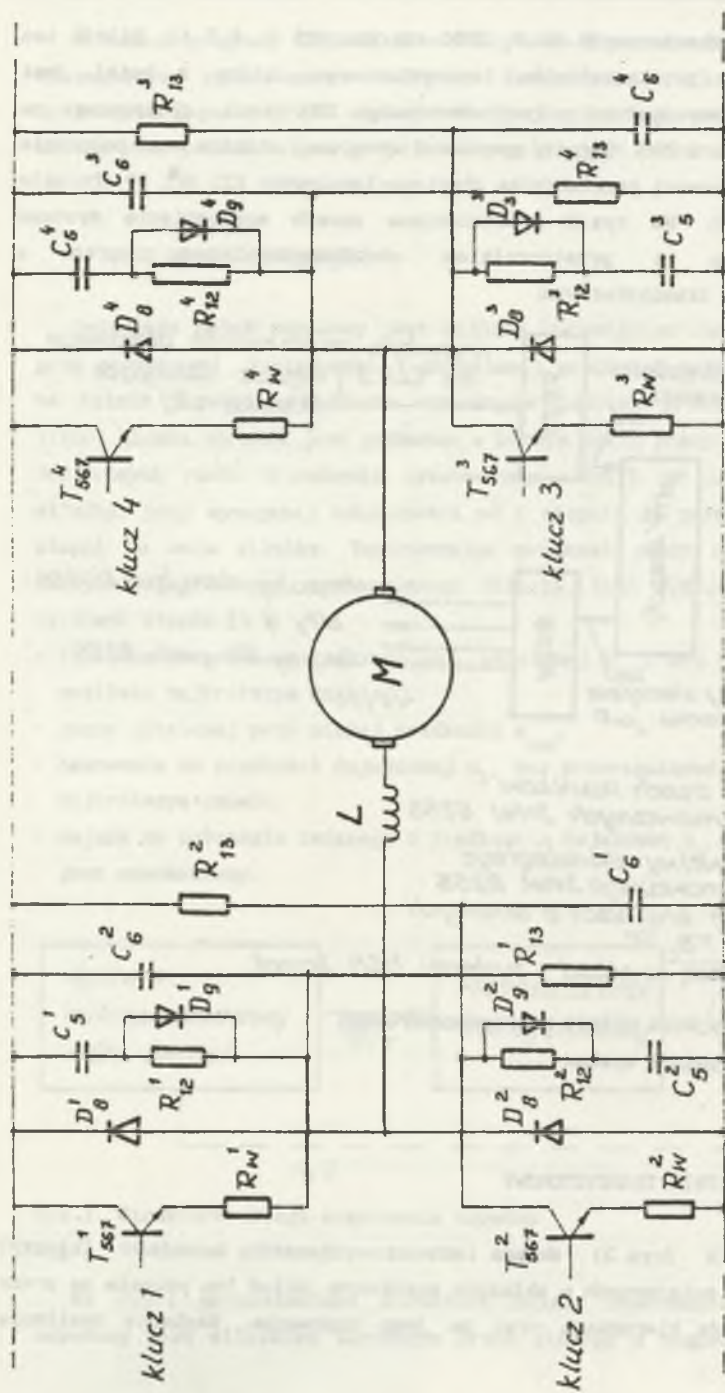
Układy wchodzi w skład systemu MSM Impol.

Rys.2. Wejścia/wyjścia układu mikroprocesorowego

Fig.2. μP input-output system

3. PRZEKSZTAŁTNIK TRANZYSTOROWY

Przekształtnik (rys.3) składa się z czterech łączników (kluczy) tranzystorowych połączonych w układzie mostkowym. Układ ten pozwala na pracę silnika w obydwu kierunkach oraz na jego hamowanie. Napięcie zasilania

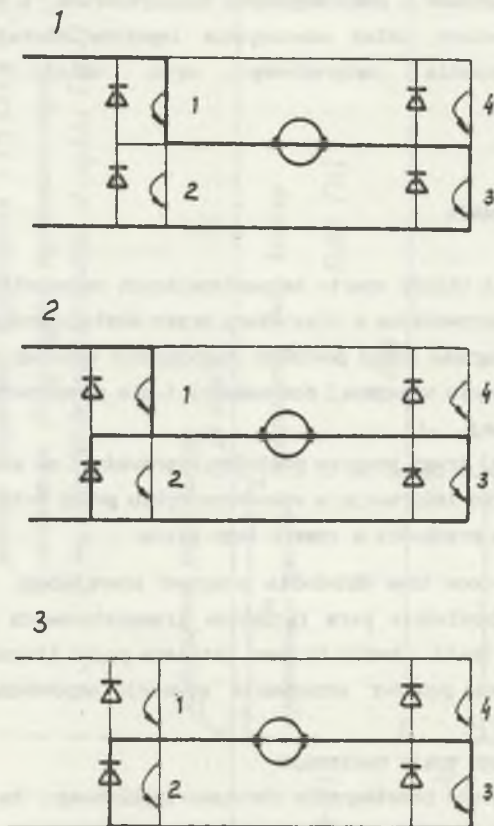


Rys. 3. Schemat przekształtnika tranzystorowego

Fig. 3. Transistor converter circuit

mostka dobrano tak, aby możliwa była praca przy prądzie równym 3-krotnej wartości prądu znamionowego silnika, w całym zakresie zmian prędkości obrotowej. Napięcie to w opisywanym układzie wyniosło 30 V.

Ze względu na bardzo małą bezwładność układu napędowego pulsacje prądu silnika mogą powodować zbyt duże pulsacje prędkości. W tym celu w obwód główny włączono dławik L, którego indukcyjność (6 mH), określono na podstawie pracy [1]. Sterowanie odbywa się poprzez impulsowanie łącznika 1 przy załączonym na stałe łączniku 3, lub przez impulsowanie łącznika 4 przy



Rys. 4. Proces komutacji w przekształtniku przy impulsowaniu łącznika 1, dla załączonego łącznika 3.

Fig. 4. Converter commutation process. Impulsing of the key 1 when key 3 is switched on

załączonym na stałe łączniku 2 (rys.4). Zdecydowano się na ten sposób sterowania ze względu na to, że komutacja zachodzi tylko w jednej przełączanej gałęzi i z tych względów jej przebieg jest dużo korzystniejszy dla pracy układu ze względu na mniejsze zakłócenia w przebiegach prądów i napięć, niż przy innych sposobach sterowania, gdy komutacja zachodzi jednocześnie w dwóch gałęziach pomiędzy tranzystorami i diodami zwrotnymi.

Każdy łącznik w przekształtniku zawiera po trzy tranzystory mocy BU323 połączone równolegle, wraz z rezystorami wyrównawczymi zapewniającymi równomierny rozplyw prądów w poszczególnych tranzystorach. W skład każdego łącznika wchodzi również: układ wzmacniania impulsów sterujących, układ aktywnego zabezpieczenia nadprądowego oraz układy zabezpieczeń przeciwprzepięciowych.

4. ALGORYTM STEROWANIA

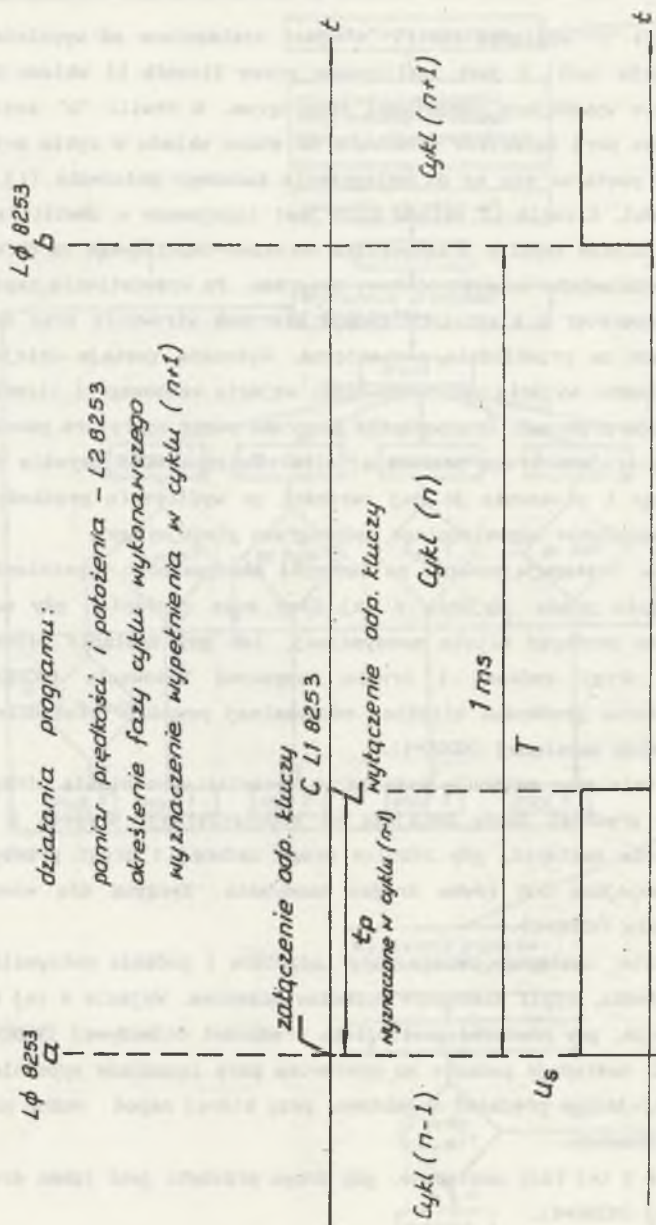
Algorytm sterowania układu oparto na następujących założeniach:

- droga zadana jest wprowadzona z klawiatury przez obsługującego program,
- po uruchomieniu programu układ powinien samoczynnie wykonać zadaną liczbę obrotów przy utrzymaniu wymaganej dokładności i nie przekraczaniu prędkości maksymalnej,
- po przebyciu zadanej drogi program powinien wyprowadzić na monitor ekranowy lub drukarkę informację o wykonanym cyklu pracy oraz umożliwić wykreślenie wykresu prędkości w czasie tego cyklu.

Na rys.5 przedstawiono ideę działania programu sterującego. W chwili "a" zostaje załączona odpowiednia para łączników tranzystorowych stosownie do stanu układu w cyklu (n-1). Chwila ta jest ustalona przez licznik L układu 8253, który co 1 ms poprzez przerwanie wywołuje odpowiedni podprogram załączenia łączników.

W czasie trwania n-tego cyklu następuje:

- a) pomiar liczby impulsów przetwornika obrotowo-impulsowego, za okres 1 ms i na tej podstawie wyliczenie aktualnej prędkości układu i jego położenia,
- b) określenie fazy cyklu wykonawczego (rozruch, jazda ustalona, hamowanie, dojazd) i na tej podstawie wyznaczenie wypełnienia w cyklu (n+1),
- c) wyłączenie pracującej pary łączników w chwili "c".



Rys. 5. Idea działania programu sterującego

Fig. 5. Control programme principle

Wystąpienie chwili "c" względem chwili "a" jest uzależnione od wypełnienia wyliczonego w cyklu (n-1) i jest realizowane przez licznik L1 układu 8253 poprzez przerwanie wywołujące odpowiedni podprogram. W chwili "b" zostaje załączona kolejna para łączników stosowana do stanu układu w cyklu n-tym. Ten sposób pracy powtarza się aż do osiągnięcia zadanego położenia (tj. do zatrzymania układu). Licznik L2 układu 8253 jest inicjowany w chwili "a" i aż do chwili "b" zlicza impulsy przetwornika obrotowo-impulsowego za okres 1 ms. Na rys.6 przedstawiono schemat blokowy programu. Po wyświetleniu napisów informacyjnych, operator z klawiatury zadaje kierunek wirowania oraz drogę zadaną w stopniach za przekładnią mechaniczną. Wykonana zostaje inicjacja następujących układów: wyjścia cyfrowego 8255, wejścia czasowego i liczników układu 8253, układu przerwań. Uruchomienie programu przez operatora powoduje wejście w blok sterujący pracą przekształtnika. Zmienna MODE określa fazę cyklu wykonawczego i stosownie do jej wartości po wyliczeniu prędkości i drogi następuje wywołanie odpowiedniego podprogramu sterującego:

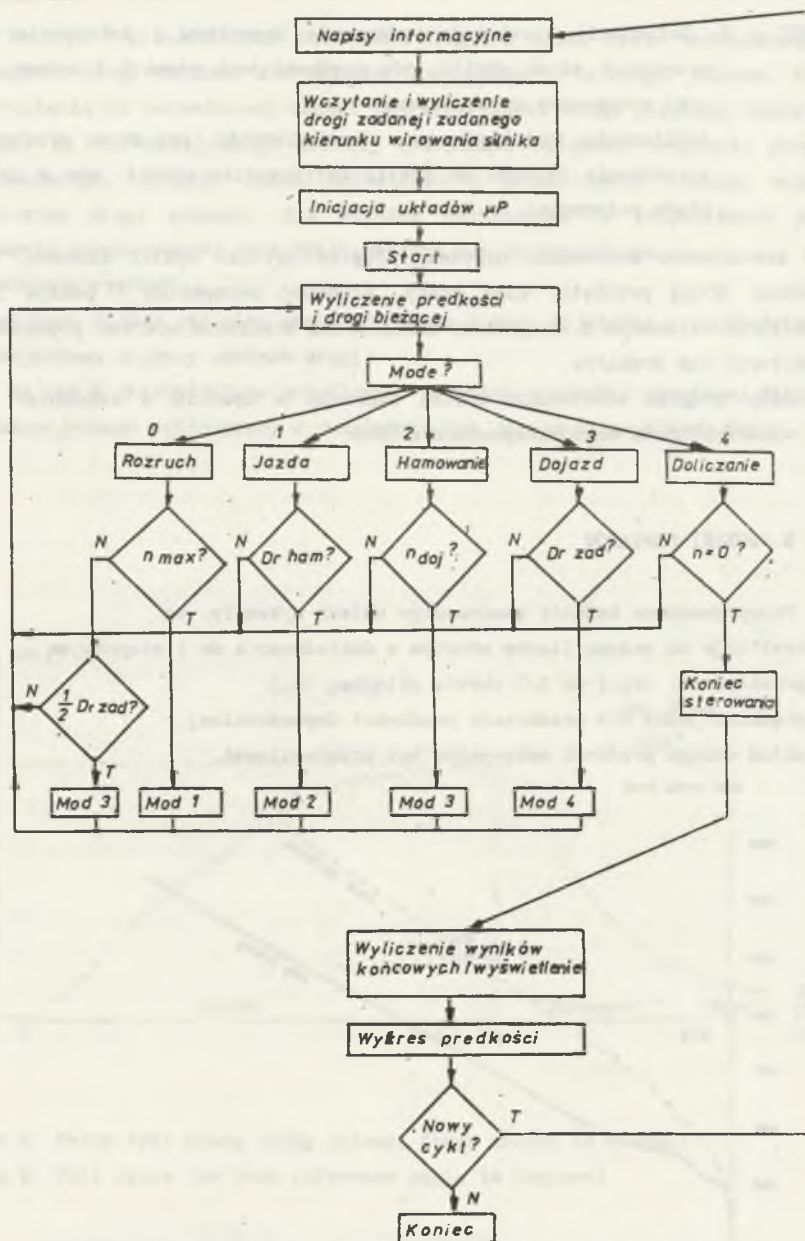
MODE = 0. Rozruch: następuje podanie na łączniki maksymalnego wypełnienia i forsowanie prądu. Wyjście z tej fazy może nastąpić, gdy napęd osiągnie prędkość bliską maksymalnej, lub gdy zostanie przebyta połowa drogi zadanej i trzeba rozpocząć hamowanie (MODE=3). Osiągnięcie prędkości bliskiej maksymalnej powoduje przejście do fazy jazdy ustalonej (MODE=1).

MODE = 1. Jazda ustalona: następuje podanie na łączniki wypełnienia utrzymującego prędkość jazdy mniejszą od dopuszczalnej. Wyjście z tej fazy może nastąpić, gdy różnica drogi zadanej i drogi przebytej jest mniejsza lub równa drodze hamowania. Zaczyna się wówczas hamowanie (MODE=2).

MODE = 2. Hamowanie: następuje zmiana pary łączników i podanie maksymalnego wypełnienia, czyli hamowanie przeciwwłączeniem. Wyjście z tej fazy następuje, gdy prędkość jest bliska prędkości dojazdowej (MODE=3).

MODE = 3. Dojazd: następuje podanie na pierwotną parę łączników wypełnienia utrzymującego prędkość dojazdową, przy której napęd można uznać za samohamowny.

Wyjście z tej fazy następuje, gdy droga przebyta jest równa drodze zadanej (MODE=4).



Rys. 6. Schemat blokowy programu

Fig. 6. Programme block diagram

MODE = 4. Doliczanie: następuje wyłączenie łączników i doliczanie drogi przebytej, aż do chwili, gdy prędkość jest równa 0 i możemy uznać cykl wykonawczy za zakończony.

(Doliczanie jest konieczne, aby stwierdzić, czy droga przebyta od zakończenia dojazdu do chwili zatrzymania, mieści się w granicy błędu położenia).

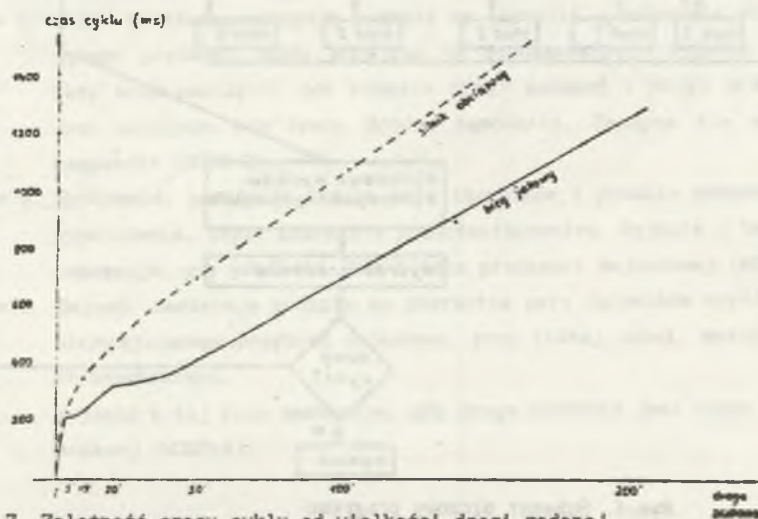
Po zakończeniu sterowania napędem, program wylicza wyniki końcowe, drogę zadaną, drogę przebytą, czas pracy, prędkość maksymalną i podaje je na monitorze ekranowym z opcjonalną możliwością kreślenia wykresu prędkości na monitorze lub drukarce.

Opisany program sterowania został napisany w oparciu o assembler M80 z wykorzystaniem mnemonik procesora Z80.

5. WYNIKI POMIARÓW

Przeprowadzone badania zbudowanego układu wykazały, że:

- realizuje on zadaną liczbę obrotów z dokładnością do 1 stopnia za przekładnią, czyli do 1/3 obrotu silnika,
- prędkość jazdy nie przekracza prędkości dopuszczalnej,
- układ osiąga prędkość maksymalną bez przeregulowań.



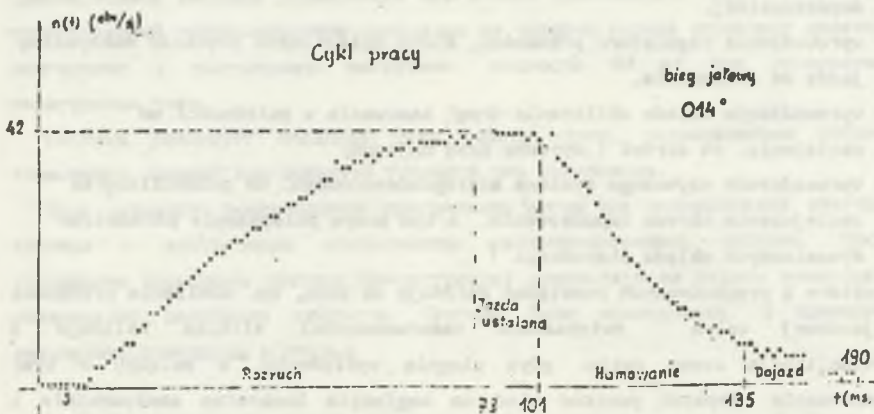
Rys.7. Zależność czasu cyklu od wielkości drogi zadanej

Fig.7. Input angle versus cycle time

Na rys.7 przedstawiono zależność długości czasu cyklu wykonawczego od długości drogi zadanej dla silnika obciążonego i na biegu jałowym. Punkty przegięcia na początkowej części charakterystyki biegu jałowego wynikają z tego, że dla małej drogi zadanej opuszczane są pewne fragmenty programu sterującego. Długość czasu narastania w przybliżeniu liniowo wraz ze wzrostem drogi zadanej. Dla silnika obciążonego (w przybliżeniu połowa momentu znamionowego) czas cyklu wydłuża się ze względu na:

- dłuższy rozruch,
- dłuższy dojazd (silnika szybciej hamuje i musi dojeżdżać z prędkością dojazdową dłuższy odcinek drogi).

Na rys.8 przedstawiono przykładowo przebieg prędkości obrotowej silnika w czasie jednego cyklu pracy z uwzględnieniem jego poszczególnych faz.



Rys.8. Pełny cykl pracy (bieg jałowy, droga zadana 14 stopni)

Fig.8. Full cycle (no load reference angle 14 degrees)

8. PODSUMOWANIE

Zrealizowany układ stanowi pewien etap wyjściowy na drodze budowy mikroprocesorowego tranzystorowego układu napędowego serwomechanizmów. Ewentualne dalsze kroki powinny mieć na celu zwiększenie dokładności napędu i skrócenie czasu jego cyklu pracy. Osiągnięcie tych celów będzie możliwe następująco:

a) zwiększenie dokładności przez:

- zastosowanie przetwornika obrotowo-impulsowego o większej rozdzielczości,
- zwiększenie rozdzielczości przez wydłużenie czasu odczytu impulsów,
- wydłużenie dojazdu poprzez obniżenie jego prędkości tak, aby silnik był samohamowny w większym stopniu i po wyłączeniu zasilania przebywał mniejszą drogę;

b) skrócenie cyklu pracy przez:

- zamianę jednostki napędowej na jednostkę o większej prędkości dopuszczalnej,
- wprowadzenie regulatora prędkości, który uniezależni prędkość maksymalną jazdy od obciążenia,
- wprowadzenie układu obliczania drogi hamowania w zależności od obciążenia, co skróci i wyrówna czas dojazdu;

c) wprowadzenie szybszego systemu mikroprocesorowego, co pozwoliłoby na zmniejszenie okresu impulsowania, a tym samym polepszenie parametrów dynamicznych układu sterowania.

Niektóre z proponowanych rozwiązań kolidują ze sobą, np. obniżenie prędkości dojazdowej celem zwiększenia samohamowności silnika koliduje z optymalizacją czasu cyklu, gdyż ulegnie wydłużeniu. W związku z tym, opracowanie ulepszeń powinno mieć na względzie konkretne zastosowanie i potrzeby z niego wynikające.

LITERATURA

1. Gierlotka K.: Dobór indukcyjności obwodu wirnika silnika w napędach przekształtnikowych prądu stałego o bardzo małym momencie bezwładności. Przegląd Elektrotechniczny nr 11, 1989

2. Projektowanie i optymalizacja elektrycznych układów napędowych.
Sprawozdanie etapowe (etap IV) nr NB-266/RE-3/86. Program CPBP 02.13.
Politechnika Śląska 1989
3. Biedzki M.: Mikroprocesorowe sterowanie napędem tranzystorowym silnika prądu stałego. Praca dyplomowa. Inst. Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej. Gliwice 1989

Recenzent: Prof. dr hab. Antoni Dmowski

Wpłynęło do Redakcji dnia 6 listopada 1990 r.

ТРАНЗИСТОРНАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Резюме

В статье предложена концепция и конструкция микропроцессорной, реверсивной транзисторной системы управляющей двигателем постоянного тока. Реверсивный транзисторный преобразователь составлен из четырех ключей управляет дисковым двигателем с постоянными магнитами, мощность 60 Вт при трехкратных перегрузках тока.

Система реализует заданный цикл работы (пуск, установленная работа, торможение, доезд) при принятой точности его исполнения.

Весь алгоритм реализован программным путем при использовании счетчика времени и контроллера входа-выхода микропроцессорной системы. После исполнения программы система демонстрирует результаты на экране монитора и вычерчивает диаграмму скорости. Система была исследована, а примерные результаты приведены в статье.

TRANSISTOR MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEM OF THE DC DRIVE

Summary

The conception and realization of the reversive transistor, μP based control system of the DC motor is presented in this paper. Reversive transistor converter consisted of four keys enables control of the 60 W disc motor with permanent magnets during tripple current overloads. System

realizes a reference cycle of the work (start-up, steady state, breaking, access) at assumed positioning accuracy.

The whole control algorithm is realized by programme, using timer and input-output circuits of the μP system.

The results and the speed diagram are presented on the screen after programme execution. System was examined and exemplary results are given in the paper.