ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992

Seria: ELEKTRYKA z.120 Nr kol.1117

Zbigniew MANTORSKI

Damian SKOWRONEK

TYRYSTOROWY MIKROPROCESOROWY UKŁAD STEROWANIA POŁOŻENIEM NAPĘDU PRĄDU STAŁEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję sterowania położeniem serwonapędu oraz mikroprocesorowy układ realizujący tę koncepcję. Organem wykonawczym jest tarczowy silnik prądu stałego z magnesami trwałymi. Zadaniem omawianego układu jest uzyskiwanie określonego położenia w sposób monotoniczny bez przeregulowań, w jak najkrótszym czasie, z wysoką dokładnością.

Tyrystorowy nawrotny układ sterowania napędem zawiera mikrokomputerowy sterownik przekształtników oraz nadrzędny mikrokomputerowy układ sterowania silnikiem realizujący zadany algorytm.

Wartość prądu silnika jest określana w zależności od stanu pracy napędu, a uzyskuje się ją poprzez zastosowanie predykcyjnego algorytmu regulacji.

Koncepcja całego układu sterowania została przetestowana na modelu, a przykładowe wyniki zaprezentowano w artykule.

1. WSTĘP

Współczesne technologie wytwarzania stawiają coraz wyższe wymagania napędom elektrycznym i ich układom sterowania. Do interesujących zagadnień można zaliczyć sterowanie położeniem mechanizmu roboczego (np. manipulator, napęd ramienia robota przemysłowego) przy zagwarantowaniu uzyskiwania zadanego położenia bez przeregulowań z wysoką dokładnością, w możliwie najkrótszym czasie. Napędy tego rodzaju stanowią na ogół jeden z elementów całego złożonego układu sterowania i regulacji, przy czym zadana wartość położenia jest najczęściej wypracowywana w nadrzędnym układzie komputerowym , i dostarczana do układu w postaci cyfrowej.

W tych warunkach celowe jest zastosowanie techniki mikrokomputerowej zarówno w odniesieniu do układu sterowania położeniem silnika, jak i do układu sterowania przekształtnikiem.

Do zalet układów sterowanych mikrokomputerem można zaliczyć:

- możliwość sterowania obiektami nieliniowymi,
- łatwość dokonywania zmian struktury układu regulacji i nastaw jego parametrów w trakcie pracy urządzenia, ze względu na to, że zmiany dokonywane są w sposób programowy,
- stałość parametrów układu regulacji, ponieważ na ich wartość nie mają wpływu czynniki zewnętrzne (temperatura, starzenie się materiału).

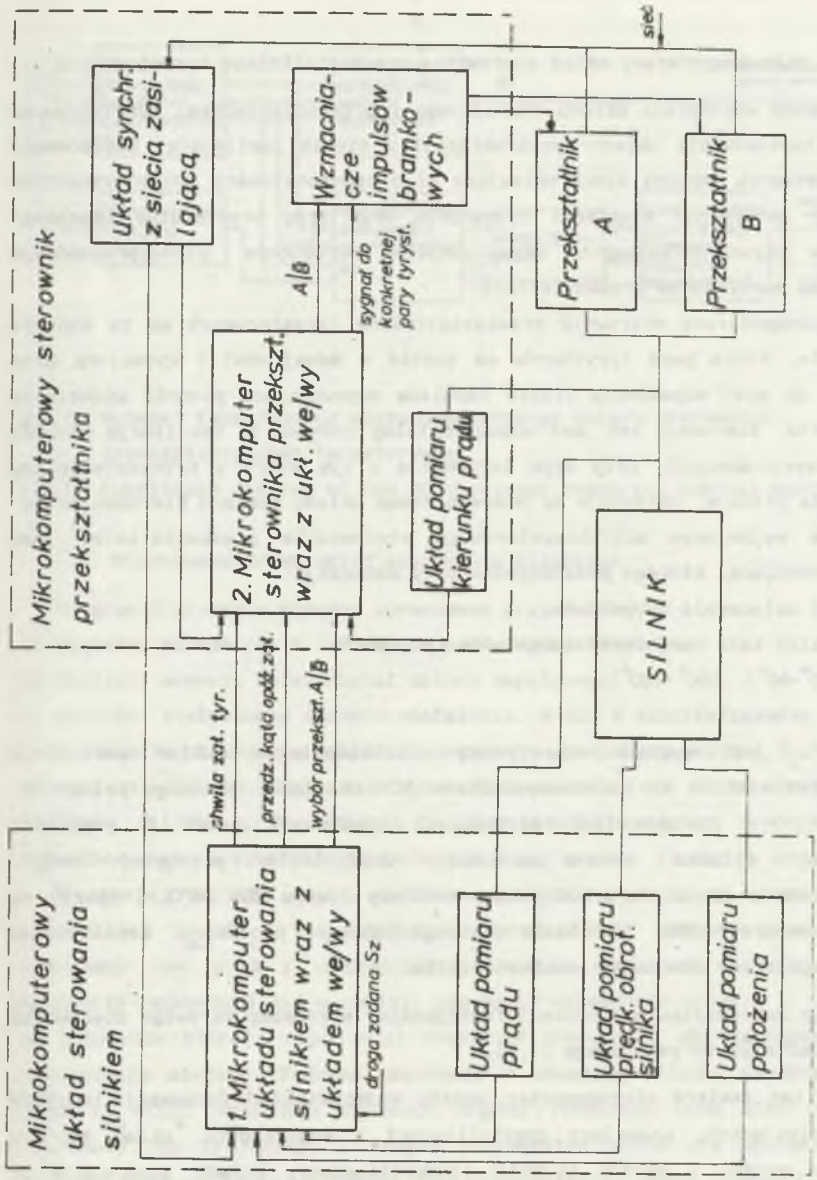
Dodatkowo układy tego typu stwarzają możliwość łatwego przyłączenia do cyfrowego układu kompleksowej regulacji oraz stwarzają możliwość symulacji pracy układu.

W ramach programu CPBP 02.13 temat 8.3 opracowano prototypowy tyrystorowy mikroprocesorowy układ sterowania położeniem napędu prądu stałego [1,5]. Opracowana koncepcja układu jest przedmiotem niniejszej publikacji.

2. UKŁAD STEROWANIA NAPĘDEM

Układ sterowania i regulacji opracowano dla konkretnego napędu z silnikiem tarczowym prądu stałego z magnesami trwałymi typu ZPTM-200 Dla (P_n=1kW, I_n=14,5A, n_n=3000obr/min). Zdecydowano się na zasilanie silnika z tyrystorowego przeciwrównoległego 6 - pulsowego mostkowego układu dwóch przekształtników z blokadą prądów wyrównawczych. Ze względu na bardzo mały moment bezwładności układu konieczne było włączenie w obwód główny silnika dławika wygładzającego 10mH zmniejszającego tętnienia momentu. Schemat blokowy układu sterowania i regulacji napędem przedstawiono na rys.1. Wyróżnia się na nim dwie zasadnicze części składowe:

- mikrokomputerowy sterownik przekształtników tyrystorowych,
- mikrokomputerowy układ sterowania silnikiem prądu stałego.



Rys. 1. Schemat blokowy układu sterowania napędem

Fig. 1. Block diagram of the drive control system

2.1. Mikrokomputerowy układ sterowania przekształtników tyrystorowych

Poprawna współpraca układu sterującego z przekształtnikami tyrystorowymi wymaga zastosowania układu synchronizacji z siecią zasilającą. Zastosowany układ wytwarza impulsy synchronizujące BI o częstotliwości 300 Hz wyznaczane chwilami naturalnej komutacji tyrystorów oraz trzy prostokątne przebiegi impulsów synchronizujących odpowiadające określonym międzyprzewodowym napięciom zasilającym przekształtnik.

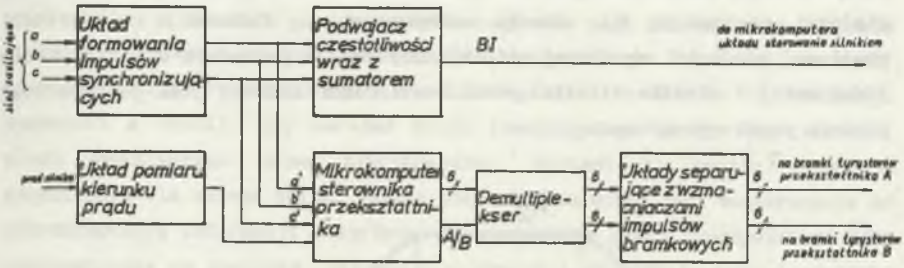
Mikrokomputerowy sterownik przekształtników tyrystorowych ma za zadanie ustalenie, która para tyrystorów ma zostać w danej chwili wyzwolona oraz kieruje do niej odpowienią wiązkę impulsów zapewniającą pewność wyzwolenia tyrystorów. Sterownik ten jest odpowiedzialny również za realizację blokady prądów wyrównawczych, przy czym informację o tym który z przekształtników aktualnie pracuje, otrzymuje za pośrednictwem układu pomiaru kierunku prądu. Sygnałem wejściowym mikrokomputerowego sterowanika przekształtnika jest słowo sterujące, którego poszczególne bity oznaczają:

- chwilę załączenia tyrystorów,
- przedział kąta opóźnienia załączenia tyrystorów
  (0°-60°), (60°-120°),
- wybór przekształtnika A lub B.

Słowo to jest wypracowywane przez mikrokomputerowy układ sterowania położeniem silnika na podstawie informacji o wartości zadanego położenia, informacji o rzeczywistych wartościach chwilowych prądu i prędkości obrotowej silnika oraz o wartości rzeczywiście przebytej drogi. Do sterowania silnikiem wykorzystano modułowy system MSM IMPOL-1 oparty na mikroprocesorze Z80. Na bazie takiego samego procesora zrealizowano mikrokomputerowy sterownik przekształtnika.

Na rys.2 przedstawiono schemat funkcjonalny mikrokomputerowego sterownika przekształtnika tyrystorowego [1,4].

Układ ten zawiera mikrokomputer, układy wejścia (układ formowania impulsów synchronizujących, podwajacz częstotliwości z sumaratorem, układ pomiaru kierunku prądu) i układy wyjścia (demultiplekser, układy separujące ze wzmacniaczami impulsów bramkowych).



Rys. 2. Schemat funkcjonalny mikrokomputerowego układu sterowania przekształtnikami tyrystorowymi

Fig. 2. Functional diagram of the μC thyristor converter control system

2.2. Mikrokomputerowy układ sterowania silnikiem

Program sterowania napędem opracowano przy założeniu:

a) stałości parametrów R i L obwodu prądu wyprostowanego,

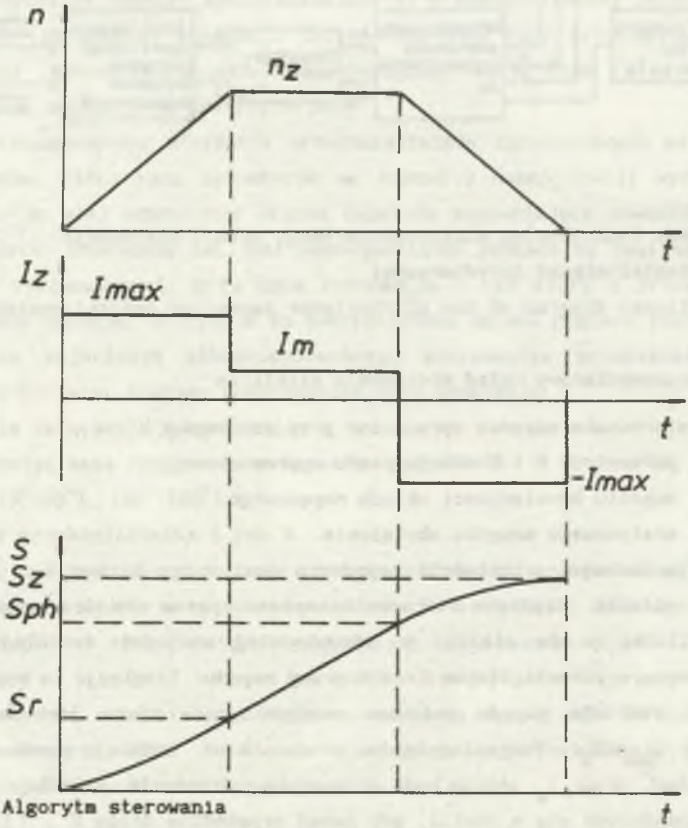
b) stałości momentu bezwładności układu napędowego,

c) stałości statycznego momentu obciążenia.

Wielkością zadawaną w układzie napędowym jest droga kątowa S_z, jaką ma przebyć wał silnika. Algorytm sterowania napędem opiera się na wymuszaniu w obwodzie silnika prądu stałego o odpowiedniej wartości średniej prądu wyprostowanego, w poszczególnych fazach pracy napędu. Ilustruje to rys. 3.

W czasie rozruchu napędu zadawana wartość prądu równa jest wartości maksymalnej $I_{max}=3I_n$. Po osiągnięciu przez układ zadanej prędkości n_z wymuszany jest prąd I_m wynikający z momentu obciążenia silnika. Proces hamowania rozpoczyna się w chwili, gdy napęd przebędzie drogę S_{ph}, tj. drogę po przebyciu której napęd musi rozpocząć hamowanie, aby zatrzymać się w wyznaczonym miejscu. Podczas hamowania w obwodzie silnika wymuszany jest prąd $I_{max}=-3I_n$. Przebieg prędkości organu roboczego może mieć charakter trapezowy lub trójkątny. Z drugim przypadkiem można się spotkać, kiedy wartość zadanego przemieszczenia jest bardzo mała i układ w czasie rozruchu nie osiągając jeszcze zadanej prędkości zmiany przechodzi od razu w stan hamowania. Regulacja prądu silnika odbywa się według algorytmu opisanego w pracach [1,2,3]. Mikrokomputer realizuje ten algorytm w następujący sposób:

w cyklu programowym poprzez układy wejścia przy znajomości i założonej stałości parametrów R,L obwodu, wczytywane są informacje o wartości chwilowej prędkości obrotowej silnika (informacja pośrednia o wartości sem indukowanej w wirniku silnika) oraz o wielkości zadanej jaką jest wartość średnia prądu wyprostowanego.



Rys. 3. Algorytm sterowania

Fig. 3. Control algorithm

Na podstawie tych danych i znajomości parametrów źródła zasilania, możliwa jest programowa symulacja wartości chwilowych prądu wyprostowanego, tak aby wartość średnia tego przebiegu była równa wielkości zadanej. Należy więc zapewnić takie sterowanie wyzwalaniem tyrystorów, by wartości chwilowe prądu rzeczywistego były takie same, jak wartości symulowane przez mikrokomputer. Osiągnięty zostanie wówczas cel regulacji, bowiem wartość średnia prądu wyprostowanego będzie równa wartości wielkości zadanej.

Ponieważ w obwodzie prądu wyprostowanego znajduje się indukcyjność, zatem prąd płynący w obwodzie prądu wyprostowanego nie może zmieniać się w sposób skokowy. Dlatego jedynym rozwiązaniem zapewniającym zgodność wartości chwilowych prądu rzeczywistego i symulowanego jest wyzwolenie odpowiedniego tyrystora w chwili, gdy wartość prądu rzeczywistego jest równa wartości prądu symulowanego przez mikrokomputer. Wartość ta będzie warunkiem początkowym dla nowego pulsu. Wynika stąd, że konieczne jest dostarczenie do mikrokomputera informacji o wartościach chwilowych prądu rzeczywistego oraz wyprowadzenie na zewnątrz informacji o chwili i przedziale kąta wyzwolenia tyrystora. Niezależnie mikrokomputer musi otrzymać informację o wartości czasu, który jest potrzebny do symulacji prądu. Czas ten nie jest czasem rzeczywistym, bowiem mikrokomputer dokonuje obliczeń wartości prądu dla przyszłego pulsu i dlatego dziedzina czasu jest przesunięta o wartość odpowiadającą długości trwania jednego pulsu mostka tyrystorowego. Z tych względów ten rodzaj regulacji nazwano predykcyjnym - z wyprzedzeniem. Mikrokomputer wyznacza w każdym cyklu programowym wartość prądu symulowanego z następującej relacji:

$$\underline{i}(\omega t)=\cos\varphi \sin(\omega t-\varphi) + C \exp(-\mathrm{ctg}\varphi\omega t) - \underline{e}\ , \tag{1}$$

gdzie:

$\underline{i}(\omega t)=i(\omega t)R/U_m$ - względna, chwilowa wartość prądu silnika,

$\underline{e}=E/U_m$ - względna, chwilowa wartość sem silnika,

U_m - amplituda napięcia międzyfazowego zasilającego przekształtnik,

$\varphi=\mathrm{arc\ tg}(\omega L/R)$,

C - stała całkowania zależna od wartości zadanej prądu $\underline{i}_z$ oraz sem e silnika,

L,R - indukcyjność i rezystancja obwodu głównego silnika.

Wyznaczenie wartości chwilowych prądu symulowanego przez mikrokomputer bezpośrednio z relacji (1) ze względu na konieczność wykonania mnożeń oraz operacji funkcyjnych zajęłoby zbyt wiele czasu. Jedynym rozwiązaniem wobec możliwości sprzętowych było stablicowanie stałej całkowania $C=f(\underline{i}_z,\underline{e})$ oraz prądu:

$$\underline{i}'=f(t,C) = \cos\varphi \sin(\omega t-\varphi) + C \exp(-\mathrm{ctg}\varphi\omega t). \tag{2}$$

Przyjęty algorytm regulacji prądu umożliwia pracę zarówno w strefie przewodzenia ciągłego, jak i przerywanego przy czasie regulacji prądu rzędu czasu trwania jednego pulsu napięcia wyprostowanego. Mikrokomputerowy układ sterowania położeniem silnika zrealizowano na bazie systemu MSM IMPOL-1

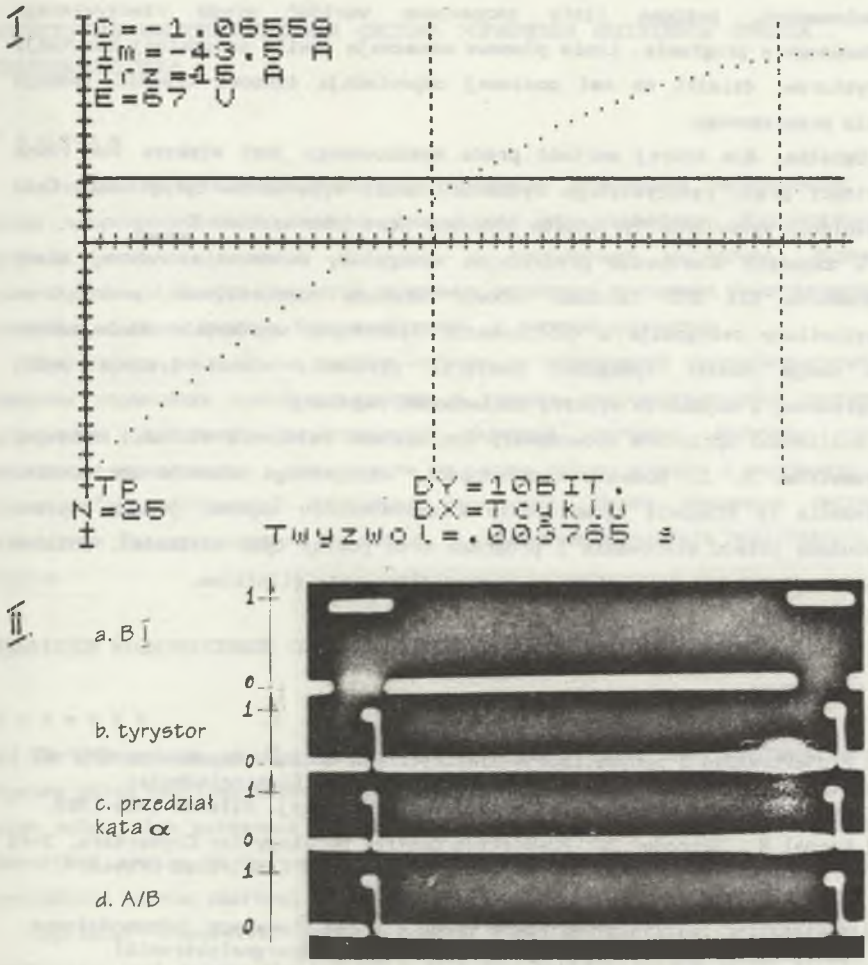
zawierającego: moduł z procesorem Z80, moduł pamięci, moduły sterujące pamięcią zewnętrzną na dyskach elastycznych oraz moniterem, moduł wejść/wyjść cyfrowych, moduł wyjść analogowych, moduł wejść analogowych z przetwornikiem A/C o czasie przetwarzania 25μs. Pomiar drogi i prędkości dokonywany jest za pomocą przetwornika obroto-impulsowego.

5. PODSUMOWANIE

Poprawność realizacji opisanego algorytmu sterowania została przetestowana za pomocą programu symulacyjnego. Czas trwania jednego cyklu programowego wynosił około 145μs, co odpowiada kątowi elektrycznemu 2,6°. Wielkość ta wyznacza tym samym częstotliwość próbkowania prądu wyprostowanego i wpływa na dokładność regulacji prądu.

Działanie układu sprawdzono poprzez wpisanie do odpowiednich rejestrów wartości zastępujących odczyty rzeczywistych wielkości z przetworników A/C. Obserwacja i rejestracja uzyskanych oscyloskopowych przebiegów przy porównaniu ich z analogicznymi stanami zasymulowanymi na mikrokomputerze pozwoliła stwierdzić poprawność pracy testowanego algorytmu. Jedną z takich sytuacji przedstawiono przykładowo na rys.4, gdzie oscylogram przedstawia przebiegi sygnałów wyjściowych mikrokomputerowego układu sterowania silnikiem oraz sygnału synchronizującego BI.

Chwile naturalnej komutacji tyrystorów wyznaczają przednie zbocza sygnału synchronizującego BI (przebieg a), z kolei przednie zbocza impulów przebiegu b (tyrystor) określają chwile wyzwalania tyrystorów. Dodatkowo na oscylogramie zamieszczono przebieg c, stanowiący o przedziale kąta opóźnienia załączenia tyrystorów (1 - oznacza pracę w zakresie 60° - 120°, 0 - oznacza pracę w zakresie 0° - 60°) oraz przebieg A/B (1 - oznacza pracę przekształtnika B, 0 - oznacza pracę przekształtnika A).



Rys. 4. Przykładowy wynik testowania układu sterowania:

I. wynik symulacji mikrokomputerowej (prąd symulowany - początek hamowania)

II. przebiegi sygnałów wyjściowych mikrokomputerowego układu sterowania silnikiem oraz sygnału BI.

Fig. 4. Exemplary result of the control system examination.

I. μC simulation result (simulated current -braking begining)

II. μC d.c. motor control system outputs and BI signal waveforms

Na wydruku uzyskanym za pomocą mikrokomputera oprócz przebiegu prądu symulowanego, poziomą linią zaznaczono wartość prądu rzeczywistego zadawanego w programie. Linie pionowe oznaczają chwile naturalnej komutacji tyrystorów, działki na osi poziomej odpowiadają czasowi trwania jednego cyklu programowego.

Działka, dla której wartość prądu symulowanego jest większa lub równa wartości prądu rzeczywistego wyznacza chwilę wyzwolenia tyrystorów. Czas opóźnienia wyzwolenia tyrystorów podawany jest jako wartość T_{wyzwol}.

W zasadzie sterowanie predykcyjne wymagałoby stosowania wyższej klasy procesorów niż Z80 (dłuższe słowo, większa częstotliwość pracy), co umożliwiłoby rezygnację z tablicowania niektórych wielkości, zmniejszając tym samym obszar wymaganej pamięci, skrócenia czasu trwania pętli programowej i uzyskanie wyższej dokładności regulacji.

Możliwości sprzętowe spowodowały konieczność założenia stałości szeregu, parametrów: R, L, momentu bezwładności, statycznego momentu obciążenia. Założenia te stanowią ograniczenie w zastosowaniu napędu, jednak poprzez rozbudowę układu sterowania i programu oraz pomiar tych wielkości, możliwe jest uwzględnienie ich wpływu na proces sterowania silnikiem.

LITERATURA

[1] Projektowanie i optymalizacja elektrycznych układów napędowych CPBP 02.13, temat 8.3. Sprawozdania etapowe I-IV. Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej Politechniki Śląskiej. Gliwice 1986-1989.

[2] Kennel R., Schroder D.: Predictive Control Strategy for Converters, 3-rd IFAC Symposium Control in Power Electronics and Elektrical Drives, Lausanne 1983

[3] Mantorski Z.: Tyrystorowy napęd prądu stałego sterowany jednomodułowym mikrokomputerem. III Ogólnopolska Konferencja Energoelektroniki. Materiały - tom 2, Kazimierz Dolny, 1986

[4] Tang P.C., Lu S.S., Wu Y.C.: Based Design of a Firing Cercuit for Three - Phase Full - Wave Thyristor Dual Converter. IEEE Trans. Ind. Electronics, IE - 29 Nr 1, 1982.

[5] Skowronek D.: Mikrokomputerowy tyrystorowy układ sterowania silnikiem prądu stałego. Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Gliwice 1988.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Antoni Dmowski

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 września 1990 r.

ТИРИСТОРНАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОСОЖЕНИЕМ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Р е з ю м е

В статье представления концепция управления положением сервопривода, а также мокропроцессорная система реализующая ету концепцию. Исполительным органом является дисковый двигатель с постоянными магнитамн. Задачей рассматриваемой системы является получение заданного положения монотоническим способом, с самым хорошим быстродействием, с высокой точностью.

Тиристориая реверсивная система состоит из подчиненной микрокомпьютерной системы управления преобразователями и главиой микрокомпьютерной системы управления двигателем реализирующей заданный алгоритм. Величиина тока двигателя определяется в зависимости от режима работы привода и получается с помощью "предикционного" алгоритма управления. Целая концепция системы управления была исследована на модели, а примерные результаты представлены в статье.

THYRISTOR MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEM OF THE DC DRIVE POSITION

S u m m a r y

The conception of the servomotor position control and microprocessor system which realizes this conception there are presented in this paper. The disc motor with permanent magnets is used as an actuator. The aim of the described system is to reach determinated position monotonically, without overshoots in the shortest time, with high accuracy.

Thyristor reversive, drive control system contains μC converter controller and superordinated μC d.c. motor control system which realizes input algorithm. Motor current is evaluated in relation to the operating conditions of the drive and is obtained by predictive control algorithm application.

All control system ideas have been investigated using model and exemplary results which are presented in the paper.