

Krzysztof M. SERAFIN
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

MIKROPROCESOROWE STEROWNIKI SILNIKÓW SKOKOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono podział sterowników silników skokowych wraz z przykładowymi rozwiązaniami praktycznymi oferowanymi na rynku przez firmy produkujące elementy i układy elektroniczne. Omówiono rodzaje sterowników mikroprocesorowych i zasadę ich pracy. Zaprezentowano przykładowe rozwiązanie konstrukcyjne miniskokowego sterownika silnika skokowego współpracującego z mikroprocesorem Z80.

MICROPROCESSOR STEP MOTOR CONTROLLERS

Summary. Classification of step motors controllers has been presented in the paper. Practical solutions of controllers offered by some manufacturers have been described as an illustration of specific types of step motors controllers. Types of microprocessor step motors controllers and the basic description of their principles of operation has been given. The example of practical solution of microstep step motor controller which cooperates with microprocessor Z80 has been presented as well.

1. WPROWADZENIE

Silniki skokowe, zaliczane do mikromaszyn elektrycznych, przeżywają w ostatnich latach swoisty renesans dzięki szerokiemu wprowadzeniu techniki mikroprocesorowej do układów sterowania tymi silnikami. Silniki skokowe powszechnie stosowane są w takich urządzeniach, jak: zegarki, drukarki komputerowe, napędy dyskietek, roboty przemysłowe itp. W silniku skokowym ruch wirnika ma charakter dyskretny - zmiana położenia kąowego uzyskiwana jest w takt zmian sygnałów sterujących generowanych w sterowniku. Konstrukcja silnika, która właściwie od przeszło stu lat jest niezmienna i typowa dla maszyn synchronicznych, gwarantuje wysoką niezawodność pracy oraz możliwość stosowania prostych rozwiązań sterowników. I chociaż silnik skokowy może być sterowany nawet bardzo prostym,

jednouladowym sterownikiem, największe rezerwy w doskonaleniu napędów elektrycznych z silnikami skokowymi tkwią właśnie w układach sterowania. Generalnie można stwierdzić, że im bardziej rozbudowany i bardziej skomplikowany sterownik, tym większe możliwości dostosowania napędu do wymagań użytkownika oraz lepsze parametry pracy osiągane przez silnik i cały napęd.

2. RODZAJE ELEKTRONICZNYCH UKŁADÓW STEROWANIA SILNIKAMI SKOKOWYMI

Ambicją każdego producenta elektronicznych układów automatycznej regulacji i kontroli procesów przemysłowych jest oferowanie końcowemu użytkownikowi również sterowników silników skokowych. W gąszczu różnorodnych ofert układów sterowania silnikami skokowymi można wyróżnić dwa główne rodzaje urządzeń:

- specjalizowane układy scalone zawierające w jednej obudowie prawie wszystkie elementy elektronicznego komutatora silnika skokowego,
- sterowniki w postaci kart tworzących w sumie zestaw w rodzaju komputera przemysłowego.

Pierwsze z nich, które można znaleźć w katalogach właściwie wszystkich znanych na świecie firm produkujących układy scalone, dają użytkownikowi - projektantowi właściwie nieograniczone możliwości tworzenia własnego napędu. Oczywiście modyfikowanie raz stworzonego napędu pociąga za sobą wymianę zastosowanych układów ze względu na to, że są one w stanie realizować tylko ściśle określone funkcje. Zwykle tego typu urządzenia nie są budowane na bazie techniki mikroprocesorowej.

Przykładem tego typu układów jest np. układ scalony TLE 4727/4728G wyprodukowany przez firmę Siemens. Opracowany przede wszystkim do zastosowań przemysłowych składa się z dwóch komutatorów sterujących bipolarnym silnikiem skokowym. Prąd pasm jest stabilizowany układem impulsowej regulacji natężenia prądu. Układ ma wejścia, przez które może uzyskiwać informację o rzeczywistej amplitudzie prądu pasma. Układ zapewnia sterowanie silnika w zakresie napięć 4.75 do 16 V z obciążeniem prądowym wynoszącym 0.7 A na pasmo. Wewnętrzne zabezpieczenia od przeciążeń i zwarć wpływają pozytywnie na bezawaryjną pracę napędu. Wykrycie tego typu niesprawności przez układ powoduje generację sygnału błędu na jednym z wyjść układu [1].

Drugim konkretnym rozwiązaniem sprzętowym jest to, które poprzez możliwość ingerowania w oprogramowanie zapewnia dostosowanie sterownika do indywidualnych potrzeb i wymagań użytkownika. Proces zmiany oprogramowania dokonywany jest za pomocą zewnętrznego mikrokomputera lub, jak jest to coraz szerzej praktykowane, bezpośrednio za pomocą klawiatury systemowej, komunikując się z mikroprocesorem sterownika.

Przykładem tego typu układów jest np. sterownik ELD-200 oferowany przez szwajcarską firmę Portescap umożliwiający sterowanie czteropasmowym silnikiem, którego prąd pasma może zawierać się w granicach 0.4 - 2.0 A. Regulacja wartości prądu stopnia końco-

wego - dyskretna z 8 poziomami. Możliwa jest praca pełnoskokowa lub półskokowa. Dwa podzakresy częstotliwości pracy: 100÷4000 Hz i 2÷40 kHz. Dla drugiego podzakresu wprowadzone jest stopniowe rozpędzanie w czasie 60 ms i stopniowe hamowanie w czasie 30 ms [2].

3. RODZAJE MIKROPROCESOROWYCH UKŁADÓW STEROWANIA SILNIKAMI SKOKOWYMI

Układy sterowania silników skokowych, z uwagi na skomplikowane i różnorodne funkcje realizowane przez napędzane urządzenia są coraz częściej sterownikami mikroprocesorowymi. Sterowniki te stosunkowo łatwo mogą przejąć rolę wielu zespołów sterowania napędami skokowymi, a ponadto zapewnić optymalizację sterowania. Niezbędne jest w tym przypadku zastosowanie interfejsu, stanowiącego układ pośredniczący pomiędzy systemem mikroprocesorowym a układami mocy zasilającymi bezpośrednio pasma uzwojeń silnika skokowego.

W zależności od stopnia zaangażowania mikroprocesora do realizacji innych zadań sterowania zakres funkcji sterowania napędu skokowego może być różny. Generalnie można wydzielić dwie grupy interfejsów:

- do programowego sterowania napędów skokowych,
- do układowo - programowego sterowania napędów skokowych.

W pierwszym przypadku system mikroprocesorowy realizuje wszystkie funkcje sterowania napędu skokowego (włącznie z komutacją), w drugim - tylko część funkcji, pozostałe realizowane są przez indywidualne układy wykonane w innej technice [3].

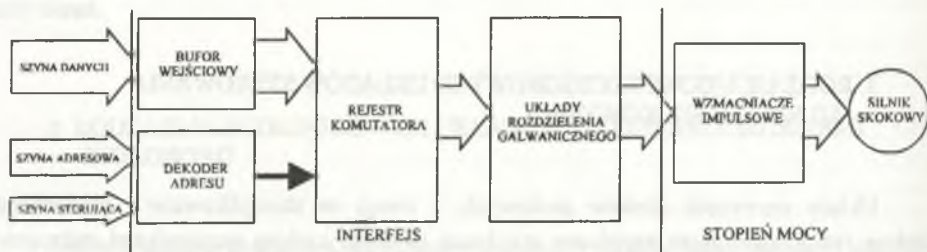
3.1. Sterowanie programowe silników skokowych

Generacja wielofazowych ciągów impulsów sterujących silnikiem skokowym może być realizowana bezpośrednio przez mikroprocesor. Funkcja modułu pośredniczącego między systemem mikroprocesorowym a wzmacniaczem mocy silnika sprowadza się do zapamiętania w rejestrze typu "latch" kolejnych sekwencji przełączeń pasm uzwojeń silnika według czasu określonego przez zegar zrealizowany w sposób programowy lub zegar wykorzystujący programowany licznik znajdujący się w systemie. Schemat funkcjonalny takiego modułu pośredniczącego przedstawiony jest na rys. 1.

Poszczególne bloki modułu spełniają następujące funkcje:

- bufor wejściowy - zapewnia standardowe obciążenie szyny danych systemu, bez względu na rozwiązanie układowe rejestru komutatora,
- dekodery adresu - zapewnia wpisanie informacji do rejestru w chwili jednoznacznie określonej przez mikroprocesor,
- rejestr komutatora - jest n-bitowym rejestrem typu latch przetrzymującym stany przełączeń pasm silnika; liczba bitów zależy od typu sterowanego silnika i sposobu realizowania stopni mocy,

- układy rozdzielania galwanicznego - zapewniające separację obwodów wzmacniaczy mocy od układów systemu mikroprocesorowego eliminują wpływ na system zakłóceń generowanych w układach mocy w chwilach przełączeń.



Rys. 1 Schemat funkcjonalny modułu sprzężenia dla sterowania programowego
Fig. 1. Block diagram of a software based interface

Sprowadzona do minimum liczba elementów elektronicznych układu interfejsu sprawia, że sterowanie programowe silnika skokowego wyróżnia się dużą odpornością na zakłócenia. Błędy pozycjonowania mogą wystąpić jedynie z winy błędów w programie.

Dane sterujące silnikiem przechowywane są w rejestrach mikroprocesora. W pamięci stałej (ROM, EPROM) są zapisane parametry definiujące ruch silnika (np. opis funkcji, z jaką realizowane jest rozpędzanie, hamowanie, nawrót, tablica współczynników czasu przełączeń itp.). W pamięci RAM systemu zapisane są parametry bieżące określające realizowany cykl pracy (całkowita liczba skoków, liczba miniskoków, kierunek obrotów). Rozwiązanie konstrukcyjne modułu interfejsowego zależy od typu sterowanych silników, liczby silników, a także od rodzaju zastosowanych wzmacniaczy mocy.

Programowe sterowanie silników skokowych znacznie angażuje czas mikroprocesora, szczególnie w przypadkach sterowania kilku silników oraz przy dużych szybkościach ruchu. Maksymalne częstotliwości uzyskiwane w tej metodzie sterowania są rzędu kilku kHz [3]. Wynika to z sumy czasów realizacji programu obsługi przerwania licznika odmierzającego czas komutacji, programu pobrania z pamięci i przesłania do rejestru stanu komutatora oraz programu zliczania przebytej drogi. W przypadku gdy napęd skokowy stawia większe wymagania lub system mikroprocesorowy poza sterowaniem silnika realizuje inne programy, niezbędne jest stosowanie poniżej opisanej metody.

3.2. Sterowanie układowo-programowe silników skokowych

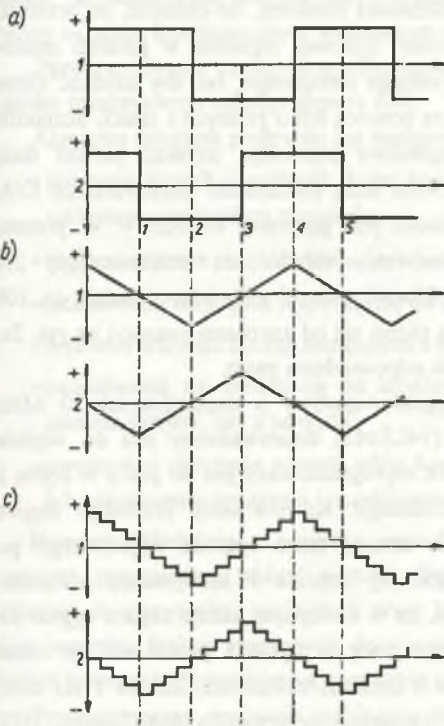
Tego typu mikroprocesorowe sterowniki znajdują zastosowania wszędzie tam, gdzie konieczna jest także obsługa innych zadań. Charakteryzują się one znacznie bardziej rozbudowanymi układami sprzężenia. Komutator jest zwykle sterowany przez wyjścia licznika pracującego jako dzielnik częstotliwości o zmiennym w czasie współczynniku podziału częstotliwości.

Przejęcie realizacji części funkcji mikroprocesora przez inne układy umożliwia rozbudowanie programu sterowania poprzez wprowadzenie nowych parametrów definiujących ruch

silnika. Jedną z tego typu modyfikacji algorytmu sterowania jest sterowanie miniskokowe. Metoda ta pozwala znacznie zmniejszyć wartości podstawowego, wynikającego z konstrukcji silnika, skoku na drodze elektronicznej [4].

Aby zapewnić pracę miniskokową silnika, trzeba opracować taki układ sterowania, który wytworzy sygnały o poziomach pośrednich pomiędzy maksymalną i minimalną wartością sygnału źródła. Dzięki takiemu wymuszeniu prądu w pasmach silnika wytwarzają strumień magnetyczny, którego przestrzenne położenie w obwodzie magnetycznym silnika wynika z wartości tych prądów. Tak więc wypadkowy wektor strumienia magnetycznego zajmuje położenie pośrednie pomiędzy położeniami określonymi przez konstrukcję silnika.

Uzyskanie pracy miniskokowej jest możliwe przez dostarczenie do pasm silnika przebiegów prądowych o pseudoanalogowym kształcie, przy czym moment obrotowy i stabilność powinny odpowiadać warunkom pracy konwencjonalnej - pełniskokowej [5].



Rys. 2. Przebiegi prądowe przy pracy silnika skokowego: a) przebiegi konwencjonalne dla skoków podstawowych, b) przebiegi analogowe dla miniskoków, c) dyskretne przebiegi dla miniskoków

Fig. 2. Current curves of step motor: a) normal full step mode, b) analogue curves for microstepping, c) incremental curves for microstepping

4. PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIE STEROWNIKA REALIZUJĄCEGO STEROWANIE UKŁADOWO - PROGRAMOWE

Podstawowymi elementami składowymi mikroprocesorowego sterownika realizującego sterowanie układowo - programowe są: mikrokomputer i komutator elektroniczny. Wielką zaletą sterownika jest możliwość zastosowania dowolnego układu mikroprocesorowego, np. z mikroprocesorem Z80. Zadaniem komutatora elektronicznego jest przetworzenie tablic funkcji sterujących obliczonych w programie użytkowym mikrokomputera na przebiegi elektryczne zasilające poszczególne pasma silnika. W prezentowanym przykładowym układzie zastosowano rozwiązanie najoszczędniejsze i gwarantujące zachowanie bardzo dobrych właściwości napędu. Schemat elektryczny sterownika (komutatora) miniskokowego przedstawia rysunek 3.

Omawiany układ realizuje sterowanie miniskokowe silnikiem, co oznacza, że przetwarzanie C/A polegające na zamianie liczby w postaci cyfrowej zapisanej w pamięci mikrokomputera na odpowiadające jej wypełnienie przebiegu sterującego, tak aby uzyskać różne wartości średnie prądu pasma, dokonywane jest za pomocą kilku prostych i tanich liczników cyfrowych. Wzmacniacze mocy sterowane impulsowo pozwalają uzyskać bardzo dużą sprawność. Jednocześnie przetwornik taki zapewnia dużą dokładność przetwarzania C/A, bowiem elementem decydującym o jego dokładności jest generator kwarcowy. W prezentowanym rozwiązaniu uzyskano błąd pozycjonowania wirnika nie przekraczający 2% w stosunku do skoku podstawowego oraz częstotliwość pracy 5 kHz przy podziale na 100 miniskoków. Przebiegi prądów w pasmach silnika różnią się od zaprezentowanych na rys. 2c, gdyż ich analogowa postać jest funkcją \sin i \cos dla odpowiednich pasm.

Działanie komutatora jest następujące. Sygnał zegarowy o częstotliwości 30 MHz podzielony wstępnie przez 16 w liczniku U6 (74LS161) doprowadzony jest do wejścia zliczającego CLK0 licznika 0 układu 8253. Licznik zaprogramowany jest do pracy w trybie 3 jako generator symetrycznego przebiegu prostokątnego. Kolejne takty przebiegu zegara powodują zmniejszanie zawartości licznika o 2, zmianę stanu sygnału wyjściowego po osiągnięciu zera, załadowanie wartości początkowej licznika i kontynuację zliczania. Narastające zbocze na wyjściu OUT 0 powoduje, że w następnym takcie zegara sygnał na wyjściu OUT 1 licznika 1 zaprogramowanego do pracy w trybie 1 przechodzi do stanu niskiego. Stan niski na tym wyjściu trwa do chwili zliczenia zawartości licznika 1 do zera. Opadające zbocze na wyjściu OUT 1 powoduje ustawienie przerzutnika wyjściowego U5B oraz zapis do licznika '193 przesłanej z komputera mniej znaczącej części liczby będącej wartością funkcji sinus. Odliczanie w liczniku '193 jeszcze nie nastąpi, bo wyjście OUT 1 połączone z wejściem LOAD '193 nadal jest w stanie niskim. Dopiero po przejściu sygnału z wyjścia OUT 1 do stanu wysokiego nastąpi odliczanie w liczniku '193 w tempie zegara 30 MHz. Po odliczeniu w liczniku '193 do zera na wyjściu B0 tego licznika generowany jest krótki impuls ujemny, który zeruje przerzutnik wyjściowy U5B. Analogicznie kształtują się

przebiegi sygnałów w liczniku 2 układu 8253 i przyporządkowanym mu liczniku U3 "193 oraz przerzutniku wyjściowym U5A. Liczniki 1 i 2 układu 8253 odliczają czas trwania ośmiu starszych bitów liczb odpowiadających funkcjom sterującym odpowiednio \sin i \cos , a przyporządkowane im liczniki '193 odliczają czas trwania czterech młodszych bitów tych liczb. Mimo że układ 8253 zawiera trzy szesnastkowe liczniki, które z powodzeniem zrealizowałyby przetwarzanie liczb 12-bitowych, zastosowanie liczników '193 było konieczne, ponieważ maksymalna częstotliwość impulsów na wejściach CLK układu 8253 może wynieść 2 MHz. Niemożliwe jest więc odliczanie przez nie w tempie 30 MHz wynikającym z zakresu częstotliwości pracy silnika. Dla 2 MHz zegara silnik pracowałby z maksymalną częstotliwością $2 \text{ MHz} / 4096 = 488,3 \text{ Hz}$.

Sygnały z wyjścia przetwornika poprzez zespół inwerterów przekazywane są do wzmacniaczy mocy pracujących jako klucze tranzystorowe. Do współpracy sterownika z komputerem skonstruowano dekodery adresów urządzeń we/wy. Dekoder, w tym przypadku, jest prostym układem kombinacyjnym wykonanym przy użyciu układów małej skali integracji.

Oprogramowanie użytkowe zostało napisane w języku Turbo Pascal 3.0 oraz częściowo w języku maszynowym mikroprocesora Z80.

Algorytm działania programu jest następujący:

- pobranie danych o podziale skoku podstawowego, ilości miniskoków do wykonania, opóźnienia po każdym miniskoku,
- obliczanie przez program tablic funkcji sterujących,
- oczekiwanie na impuls wyzwalający od użytkownika napędu,
- wysłanie wartości funkcji sterujących z pamięci komputera do sterownika,
- oczekiwanie na informację od użytkownika, czy kontynuować działanie z takimi samymi danymi, czy z nowymi,
- ewentualne obliczanie nowych tablic funkcji sterujących i realizacja programu jak wyżej lub zakończenie programu i oczekiwanie na impuls wyzwalający.

Program składa się z procedur wywoływanych w pętli głównej programu. Są to procedury: generowania tablicy wartości funkcji sterujących, przesłania wartości funkcji sterujących do sterownika, inicjowania pracy licznika 8253 w komutatorze, zapisu i odczytu tablicy wartości funkcji sterujących do i z pamięci dyskowej oraz procedury graficzne i tekstowe informujące użytkownika o sposobie posługiwania się programem i sterownikiem.

Zaprezentowany sterownik realizujący sterowanie układowo - programowe wykonany został i zaprogramowany przez studenta V roku Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej jako część pracy dyplomowej. Inny sterownik o znacznie lepszych parametrach został wykonany przez studenta II roku w ramach studenckiego Koła Naukowego Elektroników WAT.

5. UWAGI KOŃCOWE

Różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych napędów elektrycznych może powodować czasami trudności w obiektywnym doborze optymalnego dla użytkownika układu. Napędy z silnikami skokowymi są powszechnie stosowane w wielu dziedzinach przemysłu i wszystko wskazuje, że ich stosowanie będzie coraz szersze. Projektowanie ich i wykonanie w obecnej chwili nie stwarza większych problemów, a jak to zostało wyżej zaprezentowane - jest możliwe do zrealizowania nawet przez studentów.

Należy również podkreślić wręcz autonomiczną możliwość współpracy tego napędu z układami cyfrowymi nadzorującymi i kontrolującymi procesy przemysłowe.

Warto przy tej okazji zauważyć, jak silna jest obecnie ingerencja układów elektronicznych oraz elementów techniki mikroprocesorowej w obszar klasycznej elektrotechniki, a zwłaszcza w tę część, która dotyczy maszyn elektrycznych.

LITERATURA

1. Stepper motor driver IC TLE 4727/4728G with two full-bridge output stages, Siemens Components, nr 3, 1994.
2. Katalog firmy Portescap: Motion Solutions, 1995.
3. Pieńkos J., Moszczyński S., Pluta A.: Układy mikroprocesorowe 8080/8085 w modułowych systemach sterowania, WKŁ, Warszawa 1988.
4. Serafin K.: Metody ograniczania oscylacji wirnika silnika skokowego, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, nr 6, 1992, s. 111-123.
5. Wróbel T.: Silniki skokowe, WNT, Warszawa 1993.

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Gierlotka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji dnia 3 lutego 1996 r.

Abstract

Frictional horse power machines and especially step motors are widely used all over the world. Step motors as a part of electric drives have been known for many years. These synchronous motors are cheap and reliable however the electronic controllers have an essential role in increasing electric drive parameters.

Step motors controllers can be divided into two categories: chipset devices and elements which are built in a form of computer card - becoming in this way an industrial type computer. Many manufacturers offer step motor controllers for example: Siemens TLE 4727/4728G

chipset and Portescap ELD-200 card. Chipsets are designed for drive with earlier defined and calculated parameters. The exchange of a step motor or change in load require another chipset controller implementation. Industrial computers are programmable in site and are very flexible if the load or electric parameters are changed.

Card type controllers are based on microprocessors technology and can be divided into two categories: interfaces for step motor controlling by software and interfaces for step motor controlling by software and hardware. The role of both interfaces is to connect microprocessor to step motor in drive. The step motor is permanently controlled by microprocessor in the first interface. Although this solution is very efficient, the microprocessor is not able to perform other tasks in industrial processing. That problem is solved by the second type of interface in which the role of microprocessor is limited mainly to communicative function with user. The interfaces for step motors controlled by software and hardware are commonly used in microstepping controllers. The task which is additionally performed by microprocessor is calculation of proper current levels in motor phases to obtain more angular positions of step motor shaft.

The article presents the designed and realized interface for step motors controlled by software and hardware. This interface is based on microprocessor Z80. Some aspects of software are also discussed.