

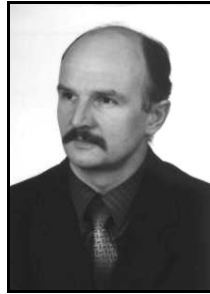
Zenon SYROKA

UNIwersytet Warmiński – MAZURSKI W OLSZTYNIE, WYDZIAŁ NAUK TECHNICZNYCH, KATEDRA ELEKTROTECHNIKI I ENERGETYKI
 Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn

Sterowanie silników krokowych za pomocą komputerów wbudowanych

Dr inż. Zenon SYROKA

Jest adiunktem w Katedrze Elektrotechniki i Energetyki UWM w Olsztynie. Ukończył Wydział Elektroniki WAT w Warszawie i Wydział Matematyki i Informatyki UMK w Toruniu. Jego zainteresowania naukowe to: radiokomunikacja; systemy telekomunikacyjne; analiza, przetwarzanie sygnałów, obrazów i drgań; zastosowania matematyki i informatyki w naukach technicznych; sterowanie maszyn; układy elektroniczne analogowe i cyfrowe; programowane układy elektroniczne; programowanie C, PASCAL, MATLAB, VHDL.



e-mail: syrokaz@onet.eu

Streszczenie

Praca napisana jest na podstawie dwóch zgłoszeń patentowych "Układ sterowania silnikiem krokowym" [1, 2]. Jedno dotyczy sterowania silnikiem unipolarnym a drugie bipolarnym. Przeanalizowano 37 patentów polskich i zagranicznych. W spisie literatury [2 - 12] przedstawiono zdaniem autora te najistotniejsze, o których można było uzyskać bardziej szczegółowe informacje. Rozwiązania patentowe [13, 14] pojawiły się po zgłoszeniu [1, 2]. We wszystkich tych rozwiązaniach sterowanie odbywało się poprzez specjalnie dedykowane układy scalone jak np. UCN5804B lub układy programowalne w VHDL i mikroprocesory. Program sterujący był najczęściej wgrany do mikroprocesora znajdującego się przy w pobliżu silnika krokowego. Wprowadzenie na szeroką skalę komputerów wbudowanych umożliwiło realizację sterowania w znacznym stopniu w sposób programowy. Uprościło to budowę sterowników i podniosło ich niezawodność. Na wybranie sterowania za pomocą komputera wbudowanego miała również wpływ malejąca cena tego sprzętu oraz możliwość sterowania w tym samym czasie innych urządzeń. Głównymi wymaganiami stawianymi przed takim systemem to wysoka wydajność, niezawodność i eliminacja obsługi oraz łatwość zmiany algorytmu sterowania. Jednak silniki krokowe nie mogą być bezpośrednio podłączone do większości komputerów wbudowanych. W związku z tym zbudowano dwa sterowniki, jeden dla silnika bipolarnego a drugi dla unipolarnego. Z jednej strony do sterownika podłącza się silnik z drugiej komputer. Podstawowym kryterium budowy sterownika była jak najniższa cena jego wykonania oraz minimalna ilość elementów elektronicznych niezbędnych do jego wykonania a co za tym idzie jego minimalne rozmiary. Opracowano sterowniki w cenie materiałów około 20 PLN. W artykule opisano tylko część elektroniczną systemu sterowania. Program sterujący został napisany w środowisku "Borland Delphi Personal 7" i nie będzie opisany.

Słowa kluczowe: silniki krokowe bipolarnie i unipolarnie, sterowanie, systemy wbudowane.

Stepper motor control with embedded computers**Abstract**

This work is based on two patent applications: "Stepper motor control system" [1, 2]. Unipolar motor control is the subject of the first patent, while bipolar motor control of the other. Implementation of embedded computers on big a scale has allowed realization of control to a large extent by means of software. It has also simplified construction of the equipment and increased its reliability. When choosing the option of control with an embedded computer there was considered the decreasing price of the equipment and the possibility of controlling other devices at the same time. Therefore there is still a need do develop this kind of stepper motor control. The main expectations regarding such a control system is high efficiency and reliability, elimination of handling and easy change of the control algorithm. However, stepper motors cannot be directly connected to most of embedded computers. Therefore two controllers were developed, one for a bipolar motor, the other for a unipolar one. A stepper motor is connected to the controller from one side a computer from the other. The basic criterion for constructing this controller was the price of its implementation – the cost of control system components was about 20 PLN. In this paper there is only described the electronic part of the control system. The control program was written in the "Borland Delphi Personal 7" environment and is not described.

Keywords: bipolar stepper motor, unipolar stepper motor, control, embedded systems.

1. Wprowadzenie

Silniki krokowe różniące się po ilości posiadanych faz. Silniki krokowe bipolarnie można zidentyfikować po 4 pinowym wprowadzeniu. Są to silniki bez dzielonych uzwojeń. Silniki z dzielonymi uzwojeniami nazywane są unipolarnymi. Różnica między nimi nie leży tylko w budowie, ale również w sposobie sterowania. Niewątpliwą zaletą silników unipolarnych jest łatwość sterowania, wystarczy prosty generator sekwencji sterującej i wzmacniacz sygnału. Silnik bipolarny wymaga bardziej skomplikowanego sterowania. W silniku unipolarnym połówki uzwojenia pracują na przemian, więc jedna z nich jest zawsze niewykorzystywana, co zmniejsza maksymalne osiągnięte.

W silniku bipolarnym pracuje całe uzwojenie i możliwości silnika można w pełni wykorzystać. Wynikiem tego jest większy moment obrotowy.

Rozwój technologiczny generuje wzrost zapotrzebowania na precyzyjne układy automatyki. Głównymi wymaganiami, jakie się przed nimi stawia to wysoka wydajność, niezawodność i eliminacja obsługi. Wprowadzenie na szeroką skalę techniki cyfrowej umożliwiło realizację sterowania w znacznym stopniu w sposób programowy. Uprościło to budowę sprzętu i podniosło jego niezawodność. W związku z tym istnieje potrzeba projektowania tego typu układów sterowania silnikami krokowymi.

W wielu dziedzinach przemysłu, napęd oraz pozycjonowanie urządzeń wykonawczych jest nieodzownym elementem całego procesu. W napędach pozycjonujących stosuje się najczęściej silniki prądu stałego oraz silniki krokowe. Współczesne człony wykonawcze urządzeń pozycjonujących coraz częściej wyposażone są w silniki krokowe, które nie wymagają stosowania kosztownych i zawodnych mechanizmów krzywkowych i zapadkowych niezbędnych w przypadku napędów wykorzystujących silniki prądu stałego. Powyższy fakt oraz łatwość sterowania silników krokowych za pomocą urządzeń cyfrowych spowodował, że znajdują one coraz większe zastosowanie. Silniki krokowe można spotkać w urządzeniach przemysłowych, ale także w urządzeniach do użytku domowego m.in. (napędy głowic i wałków w drukarkach i maszynach do pisania, przesuwanie głowic laserowych w odtwarzaczach kompaktowych).

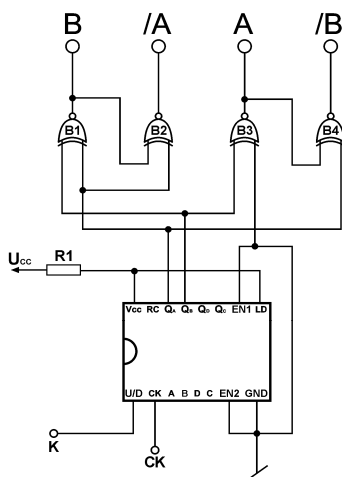
Opracowane układy sterowania silnikami krokowymi, wykorzystane zostały w systemach sterowania i pozycjonowania kolektorów słonecznych.

2. Bipolarny sterownik silników krokowych

Sterownik został zaprojektowany w celu sterowania silnikiem w trybie pracy bipolarny. Został wykorzystany do sterowania trzema z spośród czterech silników krokowych wykorzystanych w projekcie sterowania kolektora słonecznego. Sterowanie mogłoby odbywać się bezpośrednio z portu LPT komputera, lecz uniemożliwiłoby to podłączenie większej ilości silników. Minimalna liczba wyprowadzeń silnika to 4, więc maksymalnie można podłączyć 2 silniki. Używając sterowników liczba ta jest dwukrotnie większa, co daje możliwość zaprojektowania sterowania prostej maszyny – kolektora słonecznego, którego napędem będą silniki krokowe.

Logika sterująca sterownika została zaprojektowana w oparciu o licznik binarny. Układ scalony CD4029 to licznik 4 bitowy odliczający od 0 do 15. Posiada on również możliwość zliczania w górę i w dół. Zostało to wykorzystane do zmiany kierunku obrotów silnika.

Na rys. 1 przedstawiono schemat logiczny sterownika. Pin CK jest wejściem zegarowym i do niego należy podłączyć wejście taktujące, pochodzące ze złącza LPT komputera wbudowanego. Wyjścia układu zliczającego Qa oraz Qb połączone są z wejściami bramek XNOR. Pin U/D odpowiada za wybór kierunku zliczania. W momencie podania na te wejście logicznej „1”, licznik zacznie zliczać w górę, natomiast podanie „0” zmienia kierunek w dół. Pin LD oraz VCC poprzez rezystor R1 podłączone jest do zasilania układu. GND oraz wejścia EN1 i EN2 odpowiadające za załączanie układu połączone zostały z masą.



Rys. 1. Schemat logiczny sterownika
Fig. 1. Logical diagram of the controller

Silniki wykorzystane w zaprojektowanym układzie sterowania są silnikami unipolarnymi, posiadające możliwość podłączenia ich w bipolarny tryb pracy. Jest to warunek konieczny w projekcie gdyż, silniki pracujące w trybie bipolarnym mają większy moment obrotowy od silników podłączonych w tryb pracy unipolarnej. Zaprojektowany układ będzie sterował silnikiem pełno krokowym. W jednym takcie będą zasilane dwie cewki. Jest to jeden z prostszych sposobów sterowania.

Cykl komutacji będzie się składał z 4 taktów, więc potrzebny jest licznik binarny odliczający od 0 do 3. Dlatego zostaną wykorzystane 2 wyjścia licznika Qa i Qb.

Jak można zauważyć nie będzie konieczne wyzerowanie licznika gdyż na dwóch bitach znaczących uzyskamy wymaganą „czwórkę”. Będzie ona się powtarzała w całym cyklu 4 razy, ale jest to nie istotne, ponieważ licznik po osiągnięciu stanu 1,1,1,1 cofnie się do stanu początkowego 0,0,0,0. Wyjścia Qa, Qb to dwu bitowy licznik zliczający od 0 do 3. Tablicę stanów sterujących silnikiem przedstawiono na rys. 2.

Q _a	Q _b	A	/A	B	/B
0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	0

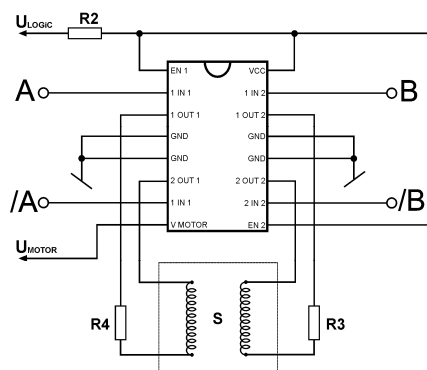
Rys. 2. Stany sterujące silnikiem
Fig. 2. Control states of the motor

Do zrealizowania tych funkcji należy użyć 4 bramek logicznych XNOR. Jest to zaleta, ponieważ bramki te są dostępne w jednym układzie scalonym. Projekt płytki elektronicznej staje się mniej skomplikowany.

Należy zwrócić uwagę, aby nie łączyć technologii TTL z technologią CMOS, bramki XNOR podobnie jak licznik CD4029 również wykonane są w technologii CMOS. Układ z 4 brami XNOR to układ scalony CD4077.

Tak zaprojektowany sterownik należy jeszcze podłączyć do układu przełączającego, ponieważ wyjścia układu mają niską obciążalność prądową. W celu wzmocnienia sygnału podłączono wzmacniacz - układ scalony L293. Proponowany układ to zestaw 2 mostków H. Mostek H to układ zbudowany z tranzystorów służący do sterowania kierunkiem obrotu silników prądu stałego. Idealnie nadaje się do podłączania silników bipolarnych.

Układ jest bardzo znany w robotyce i jest szeroko stosowany do sterowania silnikami prądu stałego. Zaletą tego układu jest prosty układ ścieżek. Ułatwia to projektowanie płytki elektronicznej. Wadą tego układu jest mała obciążalność wyjść. Prąd na wyjściu z jednego mostka to 0,5A, dlatego dyskwalifikuje ten układ przy projektowaniu urządzeń większej mocy. Schemat podłączenia takiego układu przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat podłączenia silnika do układu L293
Fig. 3. Connection diagram of the stepper motor for the L293 system

Powyższy sposób sterowania silnikiem krokowym charakteryzuje się dużą szybkością działania, większą wydajnością, ponieważ w jednym takcie zasilane są równocześnie 2 cewki, co z kolei wpływa na większy moment trzymający i obrotowy. Kolejną zaletą jest prostota wykonania, kompletny sterownik składa się z 3 układów scalonych. Układ można wykorzystać do sterowania urządzeniami gdzie wymagany jest kontrolowany ruch (ilość obrotów lub obrót o żądany kąt) np. jako sterownik manipulatorów robotów przemysłowych lub w maszynach sterowanych numerycznie np. frezarki. W automatyce może posłużyć do sterowania przepustowością zaworów.

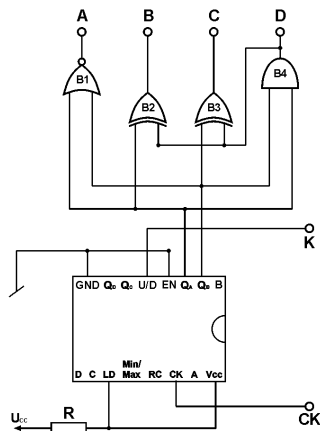
3. Unipolarny sterownik silników krokowych

Logika sterująca sterownika została zaprojektowana w oparciu o licznik binarny 74191. Jest to licznik 4 bitowy odliczający od 0 do 15. Posiada on również możliwość zliczania w górę i w dół. Zostało to wykorzystane do zmiany kierunku obrotów silnika. Stan wyjść licznika 74191 jest identyczny jak licznika CD402.

Na rys. 4 przedstawiono schemat logiczny sterownika. Piny VCC i LD poprzez rezystor R należy podłączyć odpowiednio do zasilania. Pin CK jest wejściem zegarowym i do niego należy podłączyć wejście taktujące, w naszym wypadku będzie to pin 2 złącza LPT komputera. Pin U/D odpowiada za wybór kierunku zliczania. Gdy podamy na te wejście logiczną „1”, licznik zacznie zliczać w górę, natomiast podanie „0” zmienia kierunek w dół. Pin Enable - EN jest wejściem uruchamiającym zliczanie, można nazwać go włącznikiem. Jest on wejściem zanegowanym, więc należy podłączyć go do masy.

Silnik wykorzystany w systemie sterowania jest silnikiem unipolarnym posiadającym 5 wyprowadzeń. Jedno zasilające a cztery pozostałe to wyjścia cewek. Zaprojektowany układ będzie sterował silnikiem w trybie falowym. W jednym takcie będzie zasilana tylko jedna cewka. Jest to najprostszy tryb pracy do osiągnięcia na układach logicznych. Cykl z komutacji będzie się składał z 4

taktów, więc potrzebny jest licznik binarny odliczający od 0 do 3 dlatego zostaną wykorzystane 2 wyjścia licznika Qa i Qb.



Rys. 4. Schemat logiczny sterownika
Fig. 4. Logical diagram of the controller

Tak jak w poprzednim sterowniku nie będzie konieczne wyzerowanie licznika gdyż na dwóch bitach znaczących uzyskamy wymaganą „czwórkę”. Będzie ona się powtarzać w całym cyklu 4 razy, ale jest to nie istotne, ponieważ licznik po osiągnięciu stanu 1, 1, 1, 1 cofnie się do stanu początkowego 0,0,0,0. Wyjścia Qa, Qb to dwu bitowy licznik zliczający od 0 do 3.

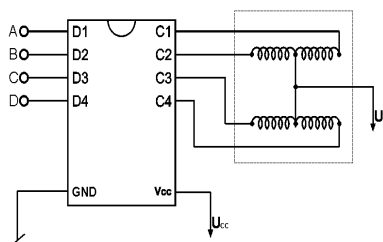
Stany na wyjściach Qa, Qb nie są stanami wymaganymi, lecz tylko stanami odliczającymi. Aby przekształcić te stany należy zastanowić się, jaka kombinacja będzie sterowała silnikiem. Tabele stanów sterujących silnikiem przedstawiono na rys. 5.

Q _a	Q _b	A	B	C	D
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

Rys. 5. Stany sterujące silnikiem
Fig. 5. Control states of the motor

Do zrealizowania tych funkcji należy użyć bramek logicznych. Do zrealizowania funkcji A wystarczy jedna dwuwejściowa bramka NOR. Bramką AND można zrealizować funkcję /B.

Oprócz dwuwejściowych AND i NOR użyte zostały 2 dwuwejściowe bramki Ex-OR do realizacji funkcji B oraz funkcji /A. Schemat połączeń oraz schemat całej logiki sterującej silnikiem przedstawiono poniżej na rysunku.



Rys. 6. Schemat podłączenia silnika do układu ULN2003
Fig. 6. Connection diagram of the stepper motor for the ULN2003 system

Tak zaprojektowany sterownik należy jeszcze podłączyć do układu przełączającego, ponieważ wyjścia układu mają niską

obciążalność prądową. W celu wzmocnienia sygnału należy podłączyć wzmacniacz - układ scalony ULN2803. Układ ten to zestaw tranzystorów bipolarnych NPN, które przełączają napięcie pochodzące ze sterownika na napięcie 12V pochodzące prosto z zasilacza. Schemat podłączenia takiego układu przedstawiono na rys. 6.

Do układu ULN2003 można bezpośrednio podłączyć silnik krokowy poprzez przewody podłączone w kolejności A, B, /A, /B. Błędna kolejność podłączenia przewodów silnika z układem spowoduje jego nieprawidłową pracę.

4. Wnioski

Zaprojektowane sterowniki charakteryzują się niskim kosztem wytworzenia oraz małymi rozmiarami. Uzyskano to poprzez wykorzystanie do sterowania urządzenia komputerów wbudowanych. Rola sterownika sprowadza się w tym przypadku do urządzenia znajdującego się pomiędzy silnikiem a komputerem. Niewielkie wymiary sterownika umożliwiły jego wykonanie praktyczne w wersji odpornej na pył, wilgoć i wibrację oraz zakłócenia elektromagnetyczne. Wykorzystanie centralnego systemu sterowania w oparciu o komputery wbudowane umożliwiło zastosowanie wielu silników krokowych w systemie energetycznym zbudowanym w oparciu o odnawialne źródła energii jednocześnie czyniąc go tańszym i bardziej niezawodnym.

5. Literatura

- [1] Syroka Z., Koziątek M.: Układ sterowania silnikiem krokowym. zgłoszenie patentowe P.390755 z dnia 22.03.20010r. (silnik unipolarny).
- [2] Syroka Z., Koziątek M.: Układ sterowania silnikiem krokowym. zgłoszenie patentowe P.393305 z dnia 16.12.20010r. (silnik bipolarny).
- [3] Górniak K.: Układ sterowania silnikiem krokowym. Patent PL 137 624, 06.30.1982 r.
- [4] Koji E.: Stepping motor control unit, time recoder and computer program. Patent JP20060214710, 07.08.2007 r.
- [5] Koji E.: Time recoder, stepping motor control device and program. Patent JP20060214711, 07.08.2007 r.
- [6] Akio J.: Drive device of stepping motor. Patent JP20090275309, 03.12.2009 r.
- [7] Jin P., Chen F., Hu Z.: Control method and device for accurate positioning stepping motor. Patent CN20091244618, 31.12.2009 r.
- [8] Kenji O., Kazusane S., Takanori H., Akira T., Saburo M., Keishi H., Hiroshi S., Kosuke Y.: Stepping motor control circuit and analog electronic clock. Patent JP20090232074, 06.10.2009 r.
- [9] Nobuyuki T.: Driving controller for stepping motor in game machine. Patent JP20090245114, 26.10.2009 r.
- [10] Wu S.: Control circuit for startup of stepping motor, Patent CN20102601452U, 10.11.2010 r.
- [11] Saburo M., Akira T., Eeishi H., Kosuke J., Kazumi S., Kenji O., Hiroshi S.: Stepping motor control circuit and analogue electronic watch. Patent JP20100182438, 19.08.2010 r.
- [12] Hisatoshi H.: Stepping motor driver control value, Patent JP20100199800, 07.09.2010 r.
- [13] Daijiro A.: Stepping motor driver, Patent US201113373241, 09.11.2011 r.
- [14] Jyunji M.: Stepping motor controller and image - reading device, Patent US200113221357, 30.08.2011 r.

otrzymano / received: 10.10.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.12.2012

artykuł recenzowany / revised paper