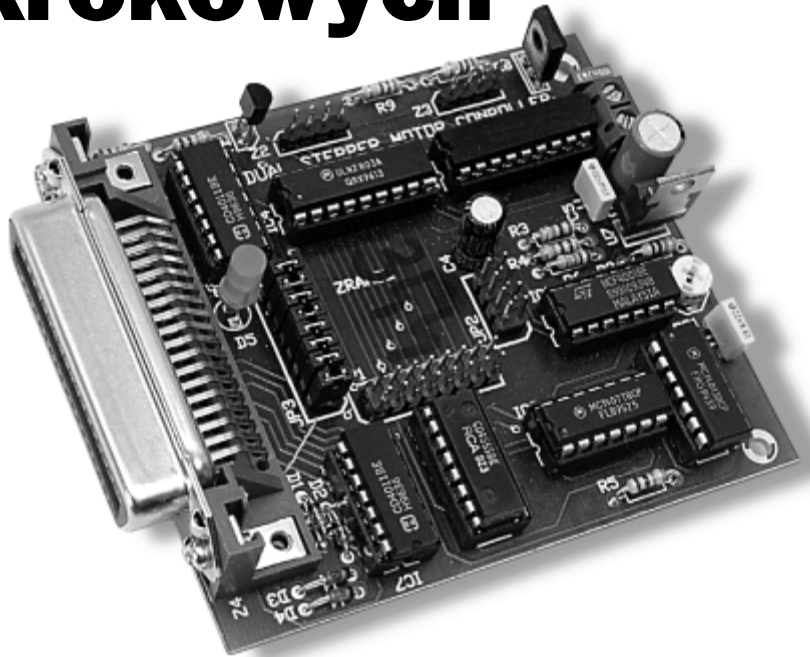


# Uniwersalny sterownik silników krokowych

## kit AVT-344

*Silniki krokowe nie są zbyt często stosowane w konstrukcjach amatorskich, czego najważniejszą przyczyną jest ich dosyć kłopotliwe sterowanie. Spróbujemy pokazać, że z tym problemem można sobie dość łatwo poradzić.*



Temat silników krokowych, ich sterowanie i wykorzystywanie, nie był jak dotąd najlepiej traktowany na łamach Elektroniki Praktycznej. Tak naprawdę, to pojawił się na nich tylko jeden opis sterownika silnika krokowego, wykorzystanego do napędu skanera, autorstwa niżej podpisanego. A szkoda, bo silniki krokowe to bardzo ciekawe i użyteczne elementy mechaniczne, mogące w wielu przypadkach znacznie ułatwić konstruowanie wielu urządzeń użytkowych, a także zabawek, modeli czy makiet reklamowych. Temat zastosowania silników krokowych w układach automatyki podjęła jakiś czas temu „młodsza siostra“ EP - Elektronika dla Wszystkich. Wykorzystano tam jedną z głównych zalet silnika krokowego: duży moment obrotowy przy dowolnie małej prędkości obrotowej, co pozwoliło na skonstruowanie układu napędowego do robota, bez przekładni mechanicznej.

Wymieniona powyżej cecha nie jest jedyną zaletą silnika krokowego. Silnik taki zapewnia prawie dowolną precyzję obrotu, zależną jedynie od zastosowanego sterownika. Jak wielka może być ta precyzja, najlepiej stwierdzić obserwując pracującą drukarkę lub

ploter. Tak jak inne wyroby, silniki krokowe systematycznie tanieją, a ponadto można je niejednokrotnie zdobyć z demontażu uszkodzonych lub przestarzałych elementów sprzętu komputerowego. Stacje dysków 360kB dawno już wyładowały na złomowiskach, a stacje 1,2MB znajdują się na najlepszej drodze do udania się na wieczny odpoczynek. Podobnie są wycofywane z użycia CD-ROM-y o podwójnej czy nawet poczwórnej prędkości. Każde z wymienionych urządzeń ma w swoim wnętrzu silniki krokowe, które można z powodzeniem wykorzystać do działalności hobbystycznej.

Silniki krokowe są produkowane w niezliczonej liczbie odmian, od maleńkich silniczków do napędu miniaturowych układów elektromechanicznych aż do silników przemysłowych o mocy setek i więcej watów. Autor zakłada, że Czytelnicy znają zasadę działania tych silników i tylko w skrócie przypomni podstawowe informacje.

Silnik krokowy składa się z wirnika, który w uproszczeniu możemy wyobrazić sobie jako pojedynczy magnes, i z dwóch lub czterech cewek umieszczonych dookoła wirnika. Przepuszczenie prądu



Listing 1.

```
REM Program sterowania silnikiem krokowym
OUT &H378, 0
INPUT "Podaj parametr opóźnień"; X
DO
OUT &H378, 8: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 2: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 4: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 1: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
LOOP UNTIL INKEY$ = CHR$(27)
OUT &H378, 0
```

Listing 2.

```
OUT &H378, 1: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 2: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 4: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 8: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
```

Listing 3.

```
REM PROGRAM STEROWANIA SILNIKIEM KROKOWYM II
OUT &H378, 0
INPUT "Podaj parametr opóźnień"; X
DO
OUT &H378, 128: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 128 + 32: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 32: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 32 + 64: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 64: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 64 + 16: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 16: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
OUT &H378, 16 + 128: FOR K|= 1|TO X: NEXT K
LOOP UNTIL INKEY$ = CHR$(27)
OUT &H378, 0
```

Podczas opracowywania konstrukcji sterownika przyjęto następujące założenia konstrukcyjne:

1. Układ musi umożliwiać sterowanie za pomocą komputera PC (lub innego wyposażonego w interfejs CENTRONICS) dwoma silnikami dwufazowymi w trybie bezpośrednim. Przez sterowanie w trybie bezpośrednim rozumiemy możliwość programowego sterowania każdą cewką silników osobno. Ten tryb sterowania daje prawie nieograniczoną precyzję poruszania silnika.
2. Należy przypuszczać, że wielu Czytelników zechce wykorzystać proponowany sterownik do kierowania prostymi zabawkami lub modelami. Precyzja sterowania nie będzie w takim przypadku już tak ważna i dlatego przewidziano możliwość sterowania silnikami także za pomocą komputera, ale w trybie pośrednim. Przy tym rodzaju pracy mamy tylko możliwość włączania każdego z silników w dowolnym kierunku, natomiast ich prędkość obrotową ustawiamy za pomocą sprzętowych elementów regulacyjnych.
3. Dyskryminowanie osób nie posiadających jeszcze komputerów jest sprzeczne z naszymi zasadami. Dlatego też nasz sterownik umożliwia ręczne kierowanie pracą silników, przez proste podawanie stanu wysokiego na odpowiednie wejścia układu.

Opis działania układu

Schemat elektryczny układu sterownika silników krokowych przedstawiony został na rys. 1. Wygląda na dość skomplikowany, ale to zwykłe złudzenie: cała górna część rysunku to przecież dwa identyczne bloki funkcjonalne. Analizę schematu rozpoczniemy od wyjaśnienia zasady pracy układu w trybie sterowania bezpośredniego. Aby silnik krokowy zaczął się obracać, musimy zasilac jego cewki według algorytmu pokazanego na rys. 2.

Strzałkami oznaczono kierunek przepływu prądu, a pojęcia „w prawo“ i „w lewo“ są czysto umowne, ponieważ rzeczywisty kierunek obrotów silnika trzeba będzie ustalić doświadczalnie. Każda z cewek silników została dołączona za pośrednictwem złącz Z2 i Z3 do przekątnych mostków utworzonych z par driverów ULN2803 i TD62783. Drivery ULN2803 zasilają cewki od strony minusa zasilania, a drivery TD62783 od strony plusa. Wejścia każdej z par driverów zostały ze sobą połączone i dołączone przez złącze Z4, do wyjść szyny danych portu CENTRONICS. W tym trybie pracy jumpery oznaczone JP3 muszą być zwarte, a pozostałe jumpery - rozwarne.

Rozważmy teraz, co się stanie jeżeli np. do wejścia D<sub>0</sub> doprowadzimy logiczny stan wysoki. Uaktywnione zostaną dwa drive-ry: IC5G i IC4H, co spowoduje przepływ prądu przez cewkę dołączoną do złącza Z3, piny 3,4. Z kolei podanie stanu wysokiego na wejście D<sub>2</sub> spowoduje włączenie driverów IC4G i IC5H, co umożliwi przepływ prądu w tym samym kierunku, ale przez drugą cewkę silnika. Podanie stanu wysokiego kolejno na wejścia Q<sub>1</sub> i Q<sub>3</sub> spełni do końca warunki zawarte na rys.2 i silnik wykona pierwsze cztery kroki. Cykliczne powtarzanie opisanej operacji będzie powodowało stałe obracanie się silnika. Odwrócenie kolejności włączania cewek spowoduje obrót w przeciwnym kierunku, zgodnie z rys. 2.

W trybie pracy sterowania bezpośredniego wystarczy wysłać na wyjścia szyny danych interfejsu CENTRONICS liczby powodujące powstawanie na tej szynie odpo-

wiednich kombinacji stanów logicznych. Na listingu 1 przedstawiono najprostszy przykład programu powodującego stałe obracanie się silnika.

Parametr X decyduje o szybkości obrotów silnika i jego najmniejsza wartość jest określona typem procesora i zastosowanego silnika. Nie ma natomiast ograniczeń co do największej wartości, silnik może obracać się dowolnie wolno.

Zmiana w programie (listing 2) spowoduje obracanie się silnika w przeciwną stronę.

Na listingu 3 znajduje się jeszcze jeden przykładowy program sterujący silnikiem z podwójną precyzją, zasilający jego cewki zgodnie z algorytmem przedstawionym na rys.3.

Prezentowane programiki są oczywiście tylko przykładami ilustrującymi sposób programowego sterowania silnikami i mogą się przydać w trakcie uruchamiania układu przy pomocy komputera PC.

Omówienia wymaga teraz rola bramek zawartych w układach IC7 i IC8. Zabezpieczają one drivery przed uszkodzeniem w przypadku wystąpienia na wyjściach szyny danych stanów zakazanych. Podczas działania poprawnie napisanego programu taka sytuacja nie powinna się zdarzyć, ale nie każdy program jest napisany od początku bez błędów. Sytuacja, w której włączyłyby się naraz np. drivery IC7E i IC6E spowodowałyby totalną katastrofę: piękne zwarcie w układzie.

Obrót w prawo (umownie)		
	CEWKA1	CEWKA2
KROK1	→	
KROK2		→
KROK3	←	
KROK4		←
Obrót w lewo (umownie)		
	CEWKA1	CEWKA2
KROK1		←
KROK2	←	
KROK3		→
KROK4	→	

Rys. 2. Sposób sterowania silnika krokowego.

	CEWKA1	CEWKA2
KROK1	→	
KROK2	→	→
KROK3		→
KROK4	←	→
KROK5	←	
KROK6	←	←
KROK7		←
KROK8	→	←

Rys. 3. Sposób precyzyjnego sterowania silnika krokowego.

Przed takim nieszczęściem chronią właśnie bramki zawarte w układzie IC7. Jeżeli na wejścia którejkolwiek z nich podane zostaną jednocześnie dwie „jedynki“, to stan niski z wyjścia tej bramki spowoduje powstanie także stanu niskiego na wyjściu bramki IC8D. Tranzystor T1 wyłączy się powodując także wyłączenie tranzystora T2 i w konsekwencji natychmiastowe odcięcie dopływu prądu do driverów. Dioda D5 ma za zadanie sygnalizować wystąpienie stanów zakazanych na szynie danych.

Zajmijmy się teraz ręcznym sterowaniem silnikami. Generator astabilny zbudowany z bramek IC2C i IC2D tworzy ciąg impulsów zegarowych dostarczanych następnie na wejście dwubitowego licznika, zbudowanego z przerzutników IC6A i IC6B. Wyjścia tego licznika są połączone z wejściami dwóch par bramek EX-OR, zawartych w strukturze układu IC3. Bramki te pełnią w układzie bardzo ważną funkcję: negują lub przepuszczają bez zmian stany logiczne podawane z wyjść licznika na wejścia dekodowników 1 z 4 - IC1A i B. Wykorzystano tu interesującą cechę bramek typu EX-NOR: przy stanie wysokim na jednym wejściu przenoszą sygnał podany na drugie wejście bez zmian, natomiast przy stanie niskim na jednym wejściu, stany logiczne z drugiego wejścia są negowane.

W trybie pracy sterowania ręcznego, jumpery JP1 powinny być zwarte, a JP3 - rozwarne. Efekt obracania się silników w wybranym kierunku uzyskujemy podając

jedno z wejść, przypuśćmy na JP2 1. Stan wysoki doprowadzony do wejścia bramki IC2B spowoduje powstanie na jej wyjściu stanu niskiego i w konsekwencji uaktywnienie dekodera IC1B. Na wejściach bramek IC3C i D panuje stan niski wymuszony przez rezystor R4, wobec tego stany logiczne z wyjść licznika są przekazywane w formie zanegowanej na wejścia dekodera IC1B. Logiczna jedynka występująca kolejno na wyjściach tego dekodera powoduje cykliczne włączanie par driverów i obracanie się silnika w stronę wskazówek zegara (umownie). Jeżeli teraz podamy logiczny stan wysoki na wejście JP2 2, to zajdą wszystkie opisane wyżej zjawiska z jednym wyjątkiem: stan wysoki na wejściach bramek IC3C i D spowoduje negowanie przez nie sygnałów logicznych i występowanie jedynki na wejściach dekodera w odwrotnej kolejności. Spowoduje to obracanie się silnika w stronę przeciwną do wskazówek zegara.

Działania układu po podaniu stanów wysokich na wejścia JP2 2 i 3 nie ma sensu opisywać, ponieważ jest identyczne z opisanym wyżej, a odnosi się jedynie do elementów obsługujących drugie silniki.

Tryb pracy sterowania pośredniego różni się od sterowania ręcznego tylko jednym szczegółem: stany wysokie na JP2 podawane będą z komputera. Wykorzystujemy tu rejestr dwukierunkowy interfejsu CENTRONICS pozostawiając szynę danych zarezerwowaną do innych celów. Podczas pracy w tym trybie jumpery JP1 i JP2 muszą być zwarte, a JP3 - rozwarne. Efekt obracania się silników w wybranym kierunku uzyskujemy podając

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

PR1: potencjometr montażowy 470kΩ  
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7: 10kΩ  
R9, R8: 510Ω

### Kondensatory

C1: 470µF/16V  
C2, C5: 100nF  
C3: 22nF  
C4: 220µF/6,3V

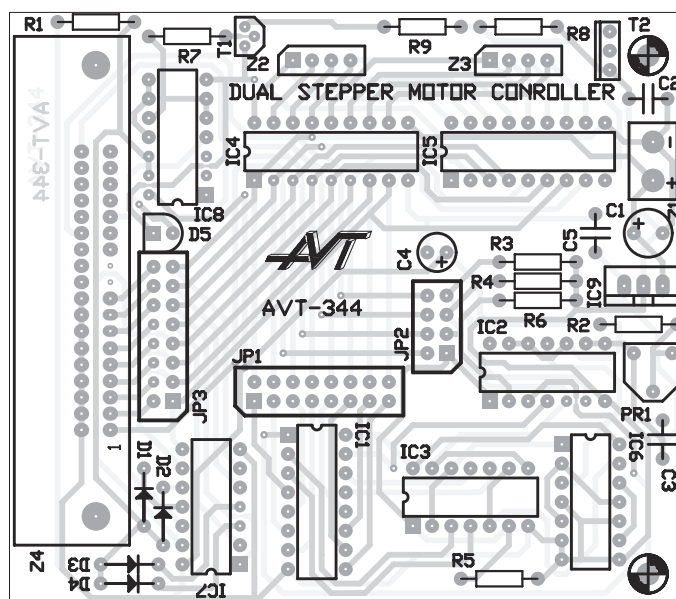
### Półprzewodniki

D1, D2, D3, D4: 1N4148 lub odpowiednik  
D5: LED  
IC1: 4555  
IC2: 4001  
IC3: 4077  
IC4: 7805  
IC4: ULN2804  
IC5: TD62783  
IC6: 4013  
IC8, IC7: 4011  
T1: BC548  
T2: BD136

### Różne

JP1, JP3: goldpin 2x8  
JP2: goldpin 2x4  
Z1: ARK2  
Z2, Z3: goldpin 1x4  
Z4: złącze DB-36 Centronics do druku  
podstawki pod układy scalone  
płytką drukowaną AVT-344

odpowiednie wartości do rejestru dwukierunkowego interfejsu CENTRONICS, którego adres jest



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

o 2 większy niż szyny danych. Jeżeli więc w naszym komputerze adres bazowy portu LPT1 wynosi 378h, to adres rejestru dwukierunkowego będzie wynosił 37Ah. Podczas pisania programów sterujących pracą silników w trybie pośrednim należy jedynie pamiętać o dwóch cechach rejestru dwukierunkowego: cztery starsze bity rejestru nie są wykorzystywane i nie wolno nadawać im wartości „1“, co niekiedy może spowodować zawieszenie się systemu. Drugą cechą, o której należy pamiętać jest fakt, że bity 0, 1 i 3 są w tym rejestrze poddawane inwersji. Aby więc uzyskać stan wysoki na wyjściu STROBE należy do rejestru wpisać wartość 10. Odpowiednio dla AUTO - 9, dla INIT - 15 i dla

SELECT - 3. Podanie do rejestru wartości 11 spowoduje wyłączenie obydwóch silników.

### Montaż i uruchomienie

Na rys. 4 przedstawione zostało rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej. Widok płytki drukowanej przedstawiono na wkładce wewnątrz numeru.

Montaż wykonujemy w typowy sposób, rozpoczynając od elementów o najmniejszych gabarytach, a kończąc na wlutowaniu złącza CENTRONICS. Pod układy scalone warto zastosować podstawki. Dotyczy to szczególnie driverów, które najłatwiej mogą ulec uszkodzeniu podczas np. eksperymentowania z silnikami o nieznanych parametrach. Po zmontowaniu ze sprawdzonych elementów układ

nie wymaga uruchamiania, ale jedynie regulacji częstotliwości generatora. Do układu włączonego w tryb sterowania ręcznego dołączamy silnik krokowy. Jeżeli jest to silnik od sprzętu komputerowego, to najprawdopodobniej będzie posiadał odpowiedni wtyk. Następnie włączamy zasilanie, podajemy stan wysoki na odpowiednie wejście sterujące i obserwujemy zachowanie się silnika. Najprawdopodobniej, jeżeli suwak potencjometru montażowego PR1 (rys. 1) znajduje się mniej więcej w środkowym położeniu, silnik będzie się wolno obracał. Następnie kręcąc tym potencjometrem „dodajemy gaz” w celu zorientowania się, jakie są maksymalne obroty danego typu silnika.

**Zbigniew Raabe, AVT**