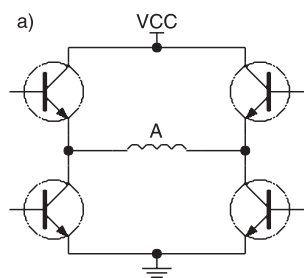


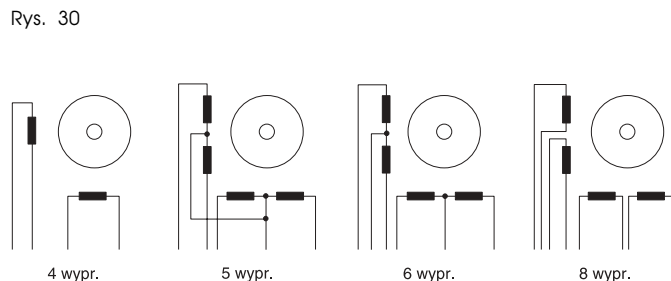
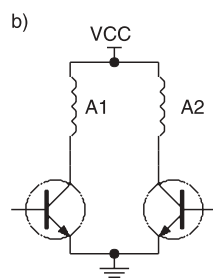
Silniki elektryczne w praktyce elektronika, część 4

Sterowanie unipolarne i bipolarne uzwojeń

Opisany w poprzedniej części artykułu sposób sterowania uzwojeń silnika wymaga zmiany kierunku przepływu prądu i nazywany jest sterowaniem bipolarnym. Sterownik bipolarny silnika krokowego musi być zbudowany z dwóch 4-tranzystorowych mostków X, po jednym dla każdego uzwojenia. Jeżeli uzwojenia A i B będą wykonane w postaci dwóch połówek z odczepem pośrodku, to można dołączyć odczep do + zasilania i sterować połówką uzwojeń z pojedynczych tranzystorów npn. Przepływ prądu na przemian przez jedną lub drugą połowę uzwojenia powoduje zmianę biegunowości pola magnetycznego - tak samo jak zmiana kierunku prądu przy sterowaniu bipolarnym. Niestety, sterowanie unipolarne poza radykalnym uproszczeniem sterownika powoduje 2-krotne zmniejszenie momentu obrotowego silnika. Uproszczony układ sterowania (dla jednego uzwojenia) przedstawiono na rys. 30a (sterowanie bipolarne) i 30b (unipolarne).



Rys. 30



Rys. 31

Kończymy cykl artykułów, w których przedstawiliśmy zasady klasyfikacji i sposoby sterowania silników elektrycznych stosowanych najczęściej w aplikacjach wokół-elektronicznych.

W ostatniej części cyklu przedstawiamy najczęściej stosowane sposoby zasilania uzwojeń silników krokowych.

W przypadku sterowania unipolarnego nadal jest możliwość wyboru kolejności kluczowania uzwojeń tzn. trybu falowego, pełnokrokowego, półkrokowego i mikrokrokowego.

Łącznie mamy do dyspozycji 8 kombinacji sterowania silników krokowych. Podstawowe cechy poszczególnych sposobów sterowania przedstawiono w tab. 1.

W praktyce wybór sterowania unipolarnego lub bipolarnego może być wymuszony poprzez sposób wyprowadzenia przewodów z uzwojeń silnika. Na rys. 31 przedstawiono cztery typowe konfiguracje wyprowadzeń 2-fazowych silników krokowych. Układ 4-wyprowadzeniowy jest przeznaczony wyłącznie do sterowania bipolarnego, układy 5- i 6-wyprowa-

deniowe nadają się tylko do sterowania unipolarnego. Najbardziej uniwersalny jest silnik z ośmioma wyprowadzeniami - przy szeregowym połączeniu połówek uzwojeń może być sterowany unipolarnie, a przy równoległym - bipolarnie. Podane procentowe wartości momentu obrotowego odnoszą się do takiego właśnie przypadku - za 100% przyjęto moment obrotowy silnika sterowanego bipolarnie z połączonymi równoległe połówkami uzwojeń. Jeżeli silnik jest fabrycznie przystosowany wyłącznie do sterowania unipolarnego, to jego moment obrotowy podany w danych katalogowych odnosi się do tego właśnie rodzaju sterowania i nie ma możliwości uzyskania wyższego momentu.

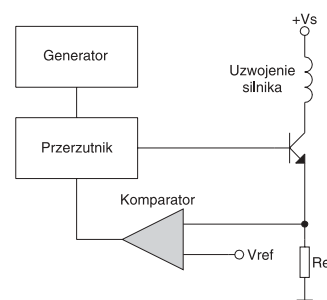
Kontrola prądu uzwojeń

Uzwojenie silnika krokowego charakteryzuje się trzema podstawowymi parametrami: rezystancją R, indukcyjnością L i prądem znamionowym I. W najprostszym przypadku uzwojenie jest dołączane do źródła zasilania Vcc za pomocą kluczy tranzystorowych jak na rys. 30. Po załączeniu klucza prąd w uzwojeniu narasta wykładniczo ze stałą czasową $T=L/R$, a jego wartość maksymalna wynosi $I=V_{cc}/R$. Stała czasowa T wynosi zazwyczaj około 10 ms, a więc po czasie $3T=30$ ms prąd w uzwojeniu osiągnie 95% wartości maksymalnej. Jest to bardzo długi czas, powodujący, że już przy kilkudziesięciu impulsach na sekundę prąd w uzwojeniu nie zdąży osiągnąć wartości maksymalnej. Rozwiązaniem po-

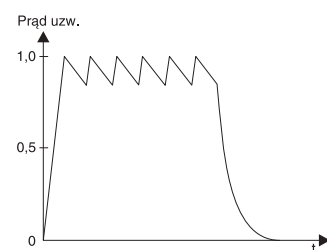
zbawionym tej wady i pozwalającym na pracę silnika z dużymi prędkościami jest kluczowane sterowanie prądowe (rys. 32). Układ ten ma dużą sprawność i pozwala na regulację prądu uzwojenia niezależnie od wartości napięcia zasilającego (poprzez zmianę wartości napięcia pracy uzwojenia, co powoduje, że po załączeniu tranzystora prąd osiąga wartość znamionową w czasie dużo krótszym od stałej czasowej L/R. Po osiągnięciu wartości progowej komparator cyklicznie otwiera i zamyka tranzystor, prąd ma przebieg piłokształtny o amplitudzie zależnej od histerezy komparatora.

Scalone sterowniki silników krokowych

W najprostszym przypadku sterowanie silnika unipolarnego można zrealizować za pomocą 4 tranzystorów sterowanych bezpośrednio z wyjść mikroprocesora



Rys. 32



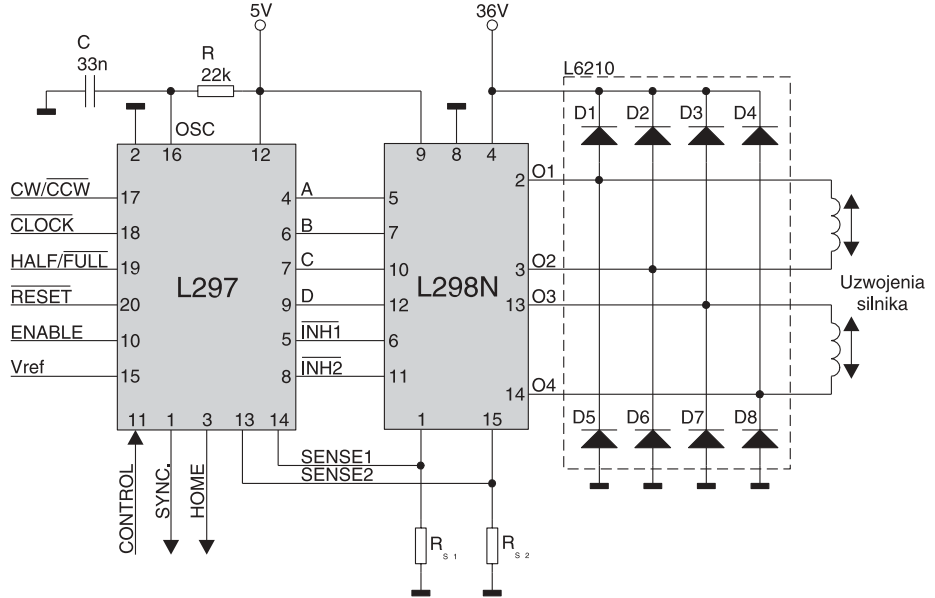
Rys. 33

Tab. 1. Zestawienie cech różnych sposobów sterowania uzwojeń w silnikach krokowych

Rodzaj sterowania	Falowe		Pełnokrokowe		Półkrokowe, mikrokrokowe	
	Bipolarne	Unipolarne	Bipolarne	Unipolarne	Bipolarne	Unipolarne
Moment obrotowy	50%	25%	100%	50%	50...100%	25...50%
Komplikacja sterownika	średnia	mała	średnia	mała	duża	duża
Płynność ruchu, rozdzielczość kroku	mała	mała	mała	mała	duża b. duża	duża b. duża

ra. Odpowiednia sekwencja impulsów sterujących jest realizowana programowo. Trudniejsza jest realizacja sterowania bipolarnego, wymaga zastosowania układów przesuwania poziomu doysterowania „górných“ tranzystorów mostka. Po uzupełnieniu układów z rys. 30 o niezbędne elementy dodatkowe powstanie sterownik o niezbyt dobrych parametrach, składający się z kilkunastu lub kilkudziesięciu elementów. Dlatego też najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie gotowych sterowników scalonych.

Przegląd typowych rozwiązań rozpoczniemy od układów L297 i L298 produkowanych przez firmę ST Microelectronics. Sterownikiem jest układ L297, może on sterować różnymi stopniami wyjściowymi mocy - scalonymi lub wykonanymi z elementów dyskretnych. Stopień mocy L298 zawiera dwa mostki X umożliwiające bipolarne sterowanie dwoma uzwojeniami o łącznym prądzie do 4 A. Na rys. 34 przedstawiono schemat kompletnego sterownika zbudowanego na układach L297 i L298 (układ L6210 można zastąpić ośmioma

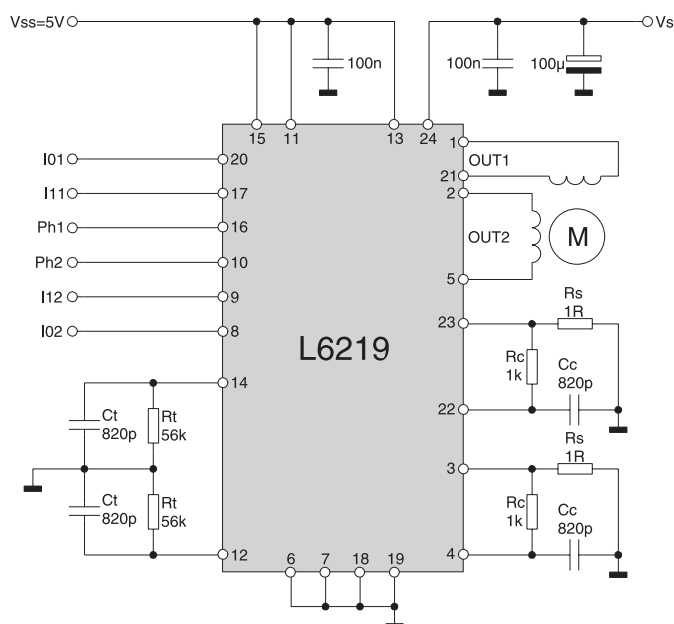


Rys. 34

szybkimi diodami o prądzie 2 A). Sterownik L297 samodzielnie generuje odpowiednie sekwencje impulsów sterujących uzwojeniami w sposób zależny od stanu wejść: CW/CCW (sterowanie kierunkiem obrotów silnika), HALF/FULL (wybór

sterowania pełnokrokowego/półkrokowego/falowego) i CLOCK (każdy impuls na tym wejściu powoduje wykonanie jednego kroku). Dla trybu falowego wejście HALF/FULL powinno mieć stan 0 podczas parzystych impulsów, natomiast dla trybu

pełnokrokowego w czasie nieparzystych impulsów na wejściu CLOCK. Wejście RESET ustawia wyjścia układu w stan początkowy: ABCD=0101 (stan ten jest sygnalizowany na wyjściu HOME). Prąd uzwojeń jest regulowany w trybie kluczowane-



Rys. 35

go sterowania prądowego (wejścia komparatorów SENSE1, SENSE2 oraz napięcia odniesienia VREF). Wejścia cyfrowe układu L297 mogą być sterowane poziomami logicznymi TTL/CMOS 5 V, napięcie Vref po-

winno mieć wartość 0...3 V. Stan niski na wejściu ENABLE powoduje wyłączenie silnika tj. stan niski na wyjściach A, B, C, D, INH1, INH2. Układ L297 może być także wykorzystany do sterowania silnikiem unipo-

larnym. Wtedy zamiast L298 należy do wyjść ABCD podłączyć bazy czterech tranzystorów npn, emitory tranzystorów powinny być dołączone parami do 2 rezystorów kontroli prądu Rs1, Rs2.

Zastosowanie sterownika samodzielnie generującego sekwencje impulsów sterujących uzwojeniami jest rozwiązaniem bardzo wygodnym, upraszczającym oprogramowanie i nieabsorbującym mocy obliczeniowej mikroprocesora. Alternatywą jest użycie tylko stopnia mocy sterowanego sygnałami cyfrowymi z wyjść procesora. W tym przypadku opracowanie odpowiednich sekwencji sterujących dla poszczególnych faz spoczywa na programiście. Przykładem prostego i niedrogiego stopnia mocy do takiego zastosowania może być L6219 (STM). Układ w obudowie PowerDIP24 zawiera dwa układy mostkowe o prądzie wyjściowym do 0,75 A każdy, wbudowane diody zamykające obwód prądowy oraz układ komparatorów umożliwiający uzyskanie trzech różnych wartości prądu uzwojeń (w trybie kluczo-

Przydatne linki (dotyczące silników BLDC i VCM)

Polskie:

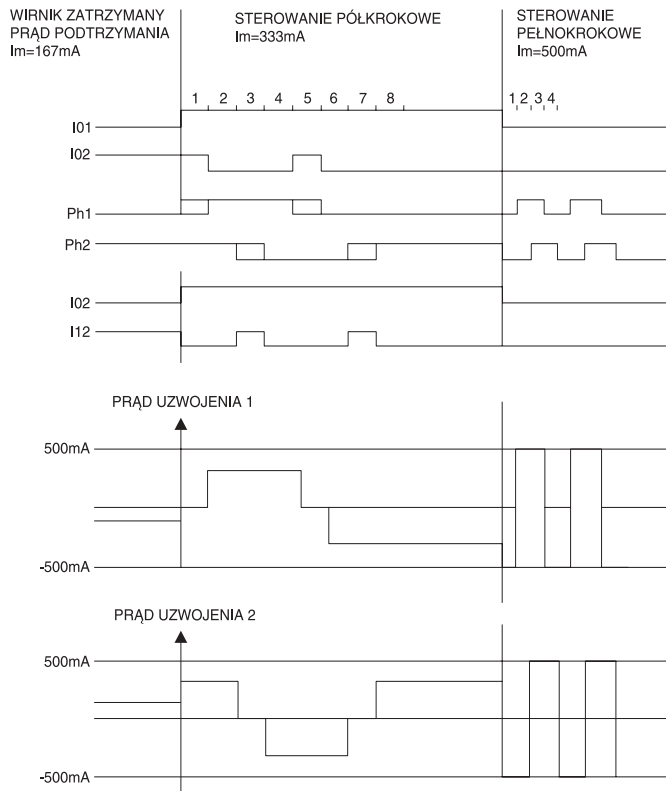
- www.silniki.pl - dystrybutor silników i sterowników (DC, BLDC)

Zagraniczne:

- www.allegromicro.com - firma Allegro Microsystems - producent scalonych sterowników silników, ciekawe poradniki i noty aplikacyjne,
- <http://us.st.com/stonline/books> - karty katalogowe i noty aplikacyjne sterowników firmy ST Microelectronics,
- www.micromo.com,
- www.densitron.com/em,
- www.beikimco.com - producenci silników BLDC i VCM,
- www.compumotor.com - strona firmy Parker Motion & Control, która opracowała doskonały poradnik Motor Technologies.

układu (rys. 35) wymaga dołączenia tylko kilku elementów RC. Wejścia I₀ i I₁ służą do regulacji prądu uzwojeń, zgodnie z tab. 2.

Dla podanych na rysunku wartości Rs=1 Ω i wejściach Vref (wyprowadzenia 11 i 15) dołączonych do +5 V, wartości



Rys. 36

Tab. 2. Wpływ stanów logicznych na wejściach I_0 i I_1 na prąd płynący przez uzwojenia silnika sterowanego przez układ L6219

I_0	I_1	Prąd uzwojenia
H	H	wyłączony
L	H	$1/3 I_{max}$
H	L	$2/3 I_{max}$
L	L	I_{max}

prądów uzwojeń wynoszą: 167 mA, 333 mA i 500 mA (I_{max}). Stan wejść PHASE decyduje o kierunku przepływu prądu w uzwojeniach, wejścia komparatorów (wyprowadzenia 4 i 22) są połączone z wyjściami SENSE (wyprowadzenia 3 i 23) poprzez układy filtrów dolnoprzepustowych Rc, Cc. Dzięki trzem różnym wartościom prądu możliwe jest sterowanie półkrokowe oraz wykorzystanie najmniejszego prądu jako tzw. prądu trzymania (prądu płynącego przez uzwojenie w stanie statycznym). Takie rozwiązanie zapewnia niewielki moment trzymający przy zmniejszonym wydzieleniu ciepła w uzwojeniach.

Na rys. 36 przedstawiono sekwencje sterujące na wejściach I_0x , I_1x i Phx układu L6219 dla trzech stanów silnika: zatrzymanie (z prądem podtrzymania), sterowanie półkrokowe, sterowanie pełnokrokowe. Na tej podstawie można łatwo opracować procedury obrotu w prawo, w lewo, wykonania określonej liczby kroków itp.

Podobną konstrukcję i działanie mają układy TCA3727 (Infineon) oraz pojedyncze mostki A3955 (Allegro Microsystems) i PBL3717 (STM).

Pisząc program dla mikrokontrolera sterującego silnikiem krokowym, należy zwrócić uwagę na krytyczne zależności czasowe, zwłaszcza jeżeli kontroler ma poza silnikiem obsługiwać inne urządzenia (klawiaturę, wyświetlacz). Na przykład obsługa przerwania w trakcie wysyłania sekwencji sterującej silnikiem może spowodować błąd kroku. Dlatego też często do sterowania silnikiem krokowym wykorzystywany jest osobny mikrokontroler, komunikujący się z kontrolerem głównym za pośrednictwem szybkiego łącza szeregowego.

Jacek Przepiórkowski