

Sterowniki mikro krokowe silników krokowych

Witold Ober

Na rynku dostępnych jest wiele napędów średniej wielkości. Jednak bardzo wyraźnie kształtuje się zapotrzebowanie na małe i bardzo małe napędy, pozwalające na precyzyjne pozycjonowanie w warunkach przemysłowych. W zakresie umiarkowanych prędkości rolę tę przejmują napędy z silnikami krokowymi. Firma Wobit projektuje i produkuje obszerną gamę sterowników silników krokowych.

Firma Wobit opracowuje i produkuje sterowniki silników krokowych tworząc grupę produktów z zakresu mikronapędów. Wykorzystuje przy tym najnowsze układy scalone i komponenty wielu firm, takich jak Allegro, NS, Trinamic, ST, IR, Sanken, Sanyo

W niniejszej publikacji zostanie przybliżona specyfika sterowania mikro krokowego i omówione zostaną najpopularniejsze sterowniki mikro krokowe silników 2-fazowych produkcji Wobit.

Rodzaje sterowania silników krokowych

Najpowszechniejsze rodzaje sterowania to:

1. falowe (włączona jedna faza),
2. pełnokrokowe (włączone dwie fazy),
3. półkrokowe (włączona raz jedna raz dwie fazy),
4. mikro krokowe (płynna zmiana prądu silnika).

Podstawowa różnica między trzema pierwszymi rodzajami sterowania, a sterowaniem mikro krokowym polega na tym, że nie wymagają one użycia specjalnych układów energoelektronicznych, a jedynie kilka tranzystorów kluczujących.

Sterowanie mikro krokowe

Praca z mikro krokiem polega na obracaniu polem magnetycznym stojana w sposób bardziej płynny niż w sterowaniu pełno- i półkrokowym. Powoduje to mniejsze drgania i umożliwia bezszumowe poruszanie się silnika do poziomu częstotliwości 0 Hz. Dzięki pracy z mikro krokiem możli-

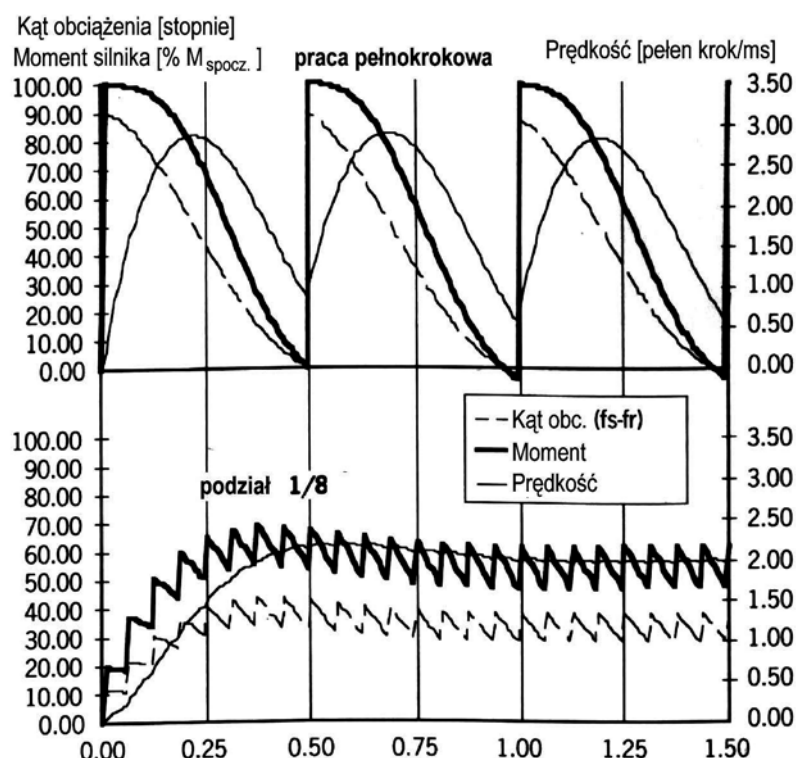
we jest uzyskanie mniejszych kroków i dokładniejszego pozycjonowania. Istnieje wiele różnych typów mikro kroku o podziale od 1/3 do 1/32 pełnego kroku lub jeszcze mniejszym. Teoretycznie możliwe jest użycie niecałkowitego podziału kroku, ale jest to często niepraktyczne.

Silnik krokowy jest silnikiem synchronicznym. Oznacza to, że stabilne położenie zatrzymania rotora jest zsynchronizowane z polem magnetycznym stojana. Obroty rotora uzyskuje się przez obracanie pola – rotor podąża do nowego położenia stabilnego. Moment wytwarzany przez silnik jest funkcją momentu spoczynkowego

i odległości pomiędzy polem magnetycznym stojana a pozycją rotora.

Kiedy silnik krokowy jest sterowany w sposób pełno- lub półkrokowy, pole magnetyczne stojana obraca się odpowiednio o 90 i 45 stopni elektrycznych na każdy krok silnika. Z powyższego wynika, że w silniku powstaje moment pulsujący, co obrazuje rysunek 1. Pokazuje on również wahania prędkości wywołane wahaniami momentu.

Wytwarzanie momentu obracającego się o 90 i 45 stopni jest proste, gdyż potrzebne są tylko dwa poziomy prądy: znamionowy I_{on} oraz 0. Można je łatwo uzyskać



Rys. 1. Wahania momentu i prędkości w funkcji obciążenia: praca pełnokrokowa (na górze) i praca mikro krokowa z podziałem 1/8

za pomocą dowolnego sterownika. Dla danego kierunku obrotów pola magnetycznego stojana poziomy prądów odpowiadające temu kierunkowi można obliczyć z następujących wzorów:

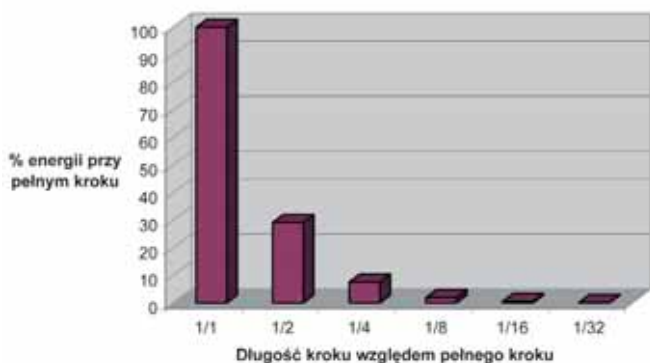
$$I_A = I_{\max} \sin \Theta_S$$

$$I_A = I_{\max} \cos \Theta_S$$

Używając różnych wartości I_{on} oraz 0 w obu uzwojeniach można uzyskać osiem różnych kombinacji prądów w uzwojeniach. To daje osiem pozycji (przy których włączona jest jedna bądź dwie fazy) odpowiadających kierunkom indukcji magnetycznej od 0, 45 do 315 stopni elektrycznych. Jeśli dostępny jest sterownik, który może wytworzyć dowolny prąd na poziomie od 0 do 141% prądu nominalnego, możliwe jest wytworzenie obracającego się pola magnetycznego o dowolnej orientacji, a zatem wybranie dowolnego kąta elektrycznego kroku np.: 1/4, 1/8 lub 1/32 pełnego kroku czyli odpowiednio 22,5; 11,25 lub 2,81 stopni elektrycznych. Oprócz zmiany kierunku pola magnetycznego można również zmieniać jego natężenie. Rotor będzie poruszał się znacznie gładszym ruchem przy niskich częstotliwościach, ponieważ pole magnetyczne stojana, które określa stabilną pozycję rotora, porusza się bardziej płynnie w porównaniu ze sterowaniem pełno- i półkrokowym. Przy częstotliwościach dwu-, trzykrotnie większych niż częstotliwość własna układu praca mikrokrokowa ma niewielki wpływ na drgania rotora w porównaniu do pełnego kroku. Powodem tego jest filtrujący charakter bezwładności rotora i obciążenia. System taki ma cechy filtru dolnoprzepustowego. W wielu zastosowaniach praca mikrokrokowa pozwala zwiększyć efektywność systemu, a także zmniejszyć jego złożoność i koszt w porównaniu z pracą pełno- i półkrokową. Mikrokrok może być użyty w celu rozwiązania problemów z rezonansami, a także w celu zwiększenia dokładności i rozdzielczości.

Rezonans

Kiedy używany jest sterownik bez mikrokroku, głównym powodem występowania rezonansów jest fakt, iż pole magnetyczne stojana obraca się o nieciągłe wartości kąta elektrycznego (90° dla pełnego i 45° dla półkroku). Wywołuje to pulsujące dostarczanie energii do rotora, który zaczyna wpadać w rezonans. Energia wzbudzająca przekazywana rotorowi podczas jednego kroku jest w najgorszym przypadku (przy braku obciążenia) równa:



Rys. 2. Względna energia wzbudzająca jako funkcja długości kroku elektrycznego (podziału)

$$\frac{4M_s}{n}(1 - \cos\Theta_e)$$

gdzie:

Θ_e – kąt jednego kroku elektrycznego - 90° dla pełnego i 45° dla półkroku.

Widać tu, że praca półkrokowa w porównaniu z pracą pełnokrokową ogranicza energię wzbudzającą rezonans do 29%. Jeśli rozpatrywać mikrokrok o podziale 1/32 pozostaje tylko 0,1% energii pełnego kroku potrzebne do wykonania ruchu.

Niskie częstotliwości

Kiedy silnik sterowany jest przy niskich częstotliwościach z pełnym krokiem lub półkrokiem ruch staje się nieciągły i charakteryzuje się dużym poziomem zakłóceń i drgań. Ma to miejsce przy częstotliwościach poniżej naturalnej częstotliwości układu. W takim przypadku mikrokrok pozwala w łatwy i bezpieczny sposób rozszerzyć zakres częstotliwości w dół do 0 Hz. Zwykle jest wtedy konieczne zastosowanie podziału krokowego większego niż 1/32 pełnego kroku. Przy tak małym kroku energia przekazana rotorowi przy jednym kroku elektrycznym wynosi tylko 0,1 % energii pełnego kroku i jest tak mała, że może być z łatwością pochłonięta przez wewnętrzne tarcie w silniku. Nie powstają wtedy żadne drgania ani silnik nie wybiega w danej chwili poza swoje pożądane położenie. Odchylenie kolejnych pozycji mikrokrokowych rotora od linii prostej zależy wtedy od użycia nieskompensowanych przebiegów wejściowych sinus / cosinus.

Koszty

Chociaż układ elektroniczny służący do pracy z mikrokrokiem jest bardziej złożo-



Rys. 4. Sterownik SMC81

ny niż w przypadku pełnego kroku czy półkroku, całkowita złożoność systemu wraz z silnikiem, przekładnią i elementami przenoszenia napędu jest mniejsza. Wiąże się zatem z mniejszymi kosztami. Zastosowanie pracy mikrokrokowej może wpłynąć na uproszczenie przekładni i mechanizmów tłumiących drgania, ułatwia też wybór silnika.

W zastosowaniach z mikrokrokiem opartych na mikrokontrolerach można zastąpić zewnętrzne układy modulacji szerokości impulsu, a także przetworniki cyfrowo-analogowe wewnętrznymi elementami mikrokontrolera i wyposażać go w odpowiednie oprogramowanie. Możliwe jest wtedy osiągnięcie tak niskiego poziomu kosztu urządzenia, że staje się on porównywalny z kosztem tradycyjnego sterownika pracującego z pełnym krokiem i półkrokiem.

Pojawienie się wyspecjalizowanych układów sterujących produkowanych masowo (jak np. układy Trinamic) nie tylko obniża koszt sterownika, ale i skraca fazę projektowania i związane z tym koszty.

Gama sterowników silników krokowych

Sterownik SMC62

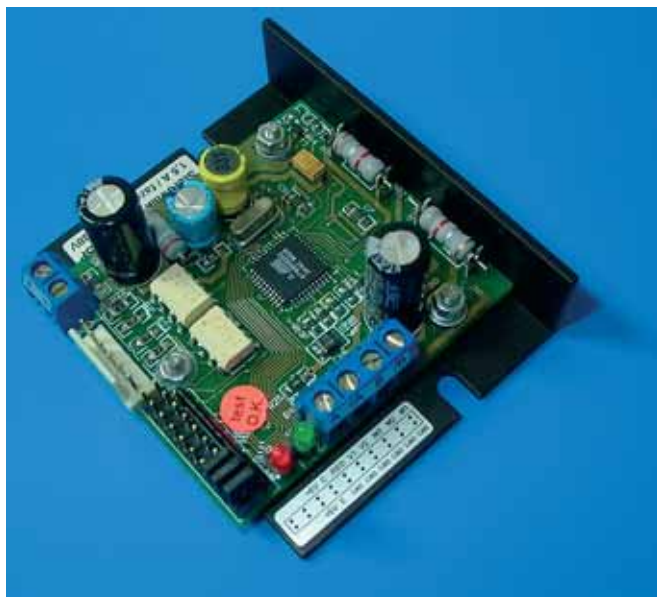
Najdłużej dostępny na rynku sterownik z mikrokrokiem 1/8 typu SMC62 budowany jest w dwóch wykonaniach: z chłodzeniem za pomocą wentylatora i do zabudowy na profilu L. Wszystkie sygnały dostępne są na złączach lub listwach zaciskowych rozłącznych zależnie od wyboru opcji. Ostatnia wersja urządzenia – przy zachowaniu całkowitej kompatybilności – posiada zmniejszoną płytkę sterownika. Sterownik wykorzystuje scalony stopień mocy IMT901 firmy Nanotec, zawierający w jednej obudowie, oprócz logiki sterującej w technologii CMOS, tranzystory FET stopnia mocy. Zasilany z niestabilizowanego napięcia około 30 V w taki sposób forsuje uzwojenie silnika, precyzyjnie kontrolując wartość przepływającego prądu (chopper), iż możliwe jest uzyskanie do ośmiu położenia na jeden pełny krok silnika.

Sterownik SMC81

Kolejny miniaturowy sterownik o nazwie SMC81 wykorzystuje jako stopień mocy układ Allegro A3972 posiadający stopnie wyjściowe o niskiej rezystancji włączenia, a jako element sterujący mikro-



Rys. 3. Sterownik SMC62



Rys. 5. Sterownik SMC51

procesor RISC. Zmontowany w profilu o kształcie U zajmuje niewiele więcej miejsca niż pudełko zapalek. Przewody do silnika i przewody zasilające mocowane są w listwie zaciskowej, a sygnały sterujące doprowadzono poprzez miniaturowe złącze.

Sterownik SMC81 dysponuje dużą rozdzielczością mikrokroku. Na wejściach sterujących M1, M2, M3 ustawiać można podział krokowy do 1/32, co w przypadku silnika hybrydowego z krokiem 1,8 stopnia daje aż 6400 położeń osi silnika. Należy tu przypomnieć, że dzięki temu wymagana do zmiany położenia osi energia maleje do 0,1% wartości energii potrzebnej do wykonania skoku przy pracy pełnokrokowej.

Sterownik SMC51

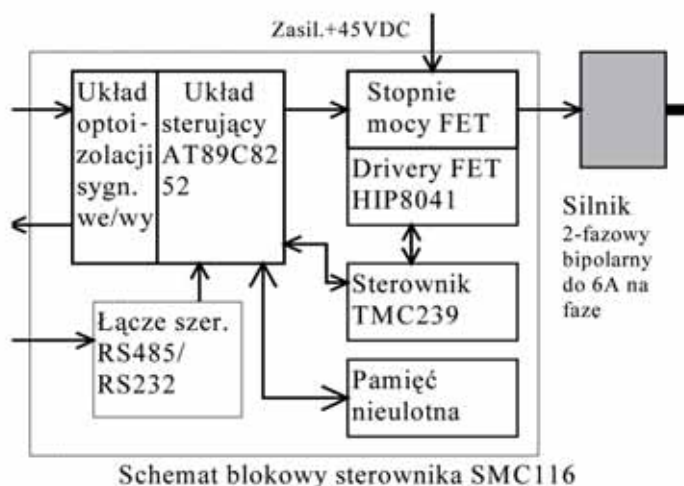
W aplikacjach wymagających optoizolacji sygnałów wejściowych sprawdzi się sterownik SMC51 o maksymalnym prądzie fazy 1,5A dysponujący podziałem krokowym 1/16. Przetwornica impulsowa zasilająca układ, mieszany tryb pracy stopni wyjściowych powodują płynną pracę silnika krokowego i pozwalają na osiągnięcie oszczędności energii. Sterownik posiada cyfrowy pomiar temperatury. Informacje te wykorzystuje procesor sterujący SMC51 informując użytkownika o zaistniałych stanach alarmowych.

Sterownik SMC64

W przypadku średnich silników można użyć sterownika SMC64 o prądzie fazy do 3,5A. Dostępny jest w wersji do montażu na szynie standardowej (wyposażony jest w wentylator) lub w wersji na profilu aluminiowym L-kształtnym przeznaczonej do zabudowy w maszynie. Sterownik wyposażono m.in. w funkcje programowania samodzielnie generowanej częstotliwości jazdy, odłączalną automatyczną redukcję prądu. Możliwe jest wyposażenie urządzenia w łącze szeregowe RS232 lub RS485.

Sterownik SMC116

Sterownik SMC116 pozwala na obsługę większych silników dostarczając prąd o wartości maksymalnej do 6,7A na fazę. SMC116GP to nowoczesny, miniaturowy, mikrokrokowy sterownik 2-fazowego silnika krokowego z miniaturowymi stopniami mocy, pozwalający na płynną pracę średniego i dużego



Rys. 6. Schemat blokowy SMC116

zespołu napędowego. Dzięki wykorzystaniu nowoczesnej technologii sterownik ma niewielkie rozmiary. Standardowo wykonywany jest w profilu zamkniętym (G) przeznaczonym do zabudowy wewnątrz maszyny czy szafy sterującej. Rozłączne listwy zaciskowe Riacon dla przewodów zasilania, silnika i sygnałów sterujących pozwalają na szybki montaż i demontaż bez potrzeby odkręcania przewodów. Przy prądach w pobliżu 5 do 6,7A sterownik SMC116 wymaga dodatkowego chłodzenia.

Stopnie mocy w sterowniku SMC116 pracują przy częstotliwości czopowania

25 kHz. Mieszany sposób gaszenia prądu daje oszczędności energii przy optymalnym kształcie przebiegu prądu, co wiąże się z precyzją ruchu silnika krokowego (mixed decay).

W układzie sterującym TMC239 znajdują się nieliniowe przetworniki D/A pozwalające na uzyskanie podziału krokowego 1/8. Urządzenie wyposażone jest w precyzyjny układ kontroli prądu i kontroli przeciążeń górnej i dolnej gałęzi mostka mocy. Stan przeciążenia termicznego lub rozwarcia mostka (przewody od silnika) sygnalizowany jest na wyjściu jako stan alarmowy.

Stopień mocy zbudowano na nowoczesnych tranzystorach mocy HEXFET o niskiej rezystancji włączenia $R_{on}=0,023 \Omega$ i prądzie ciągłym 57 A w miniaturowej obudowie D2Pak przystosowanej do montażu powierzchniowego. Ośiem takich tranzystorów sterowanych jest przez dwa wydajne układy drivera HIP4081 z uwagi na potrzebę dostarczenia dużego ładunku do bramek tranzystorów FET.

Nowoczesny kontroler TMC239 firmy Trinamic zarządza pracą sterownika, kształtując prądy w fazach silnika na polecenia procesora. Stan przeciążenia termicznego lub przeciążenia prądowego powoduje odcięcie stopni wyjściowych. Sterownik ma zaimplementowane dodatkowe funkcje, takie jak filtr przeciwzakłóceńowy pozwalający na eliminowanie krótkotrwałych impulsów na wejściu CLK oraz automatyczną redukcję prądową.

Sterownik SMC139

SMC139 jest sterownikiem przeznaczonym do dynamicznego sterowania średnich i dużych silników krokowych o prądzie fazy z przedziału od 3 do 8,2 A. Sterownik można zasilac stałym napięciem niestabilizowanym z zakresu 24 do 75 V, co pozwala na uzyskiwanie większych prędkości obrotowych silnika niż np. za pomocą sterownika SMC116. Dzięki zastosowaniu sterowania mikrokrokowego urządzenie pozwala na płynną pracę napędu. Dodatkowe podziały 1/5 i 1/10 kroku ułatwiają przeliczanie wartości skoku rotora na np. przesunięcie liniowe przy współpracy ze śrubami pociągowymi (przy podziale 1/5 na jeden obrót rotora potrzebne jest 1000 mikrokroków czyli jeden mikrokrok powoduje przesunięcie o 1/1000 skoku śruby).

Sterownik SMC139 posiada interfejs sterowania zgodny z pozostałymi sterownikami oferowanymi przez firmę Wobit (interfejs krok / kierunek). Dzięki temu możliwa jest zamiana, gdy następuje potrzeba podniesienia dynamiki pracy maszyny. Niewątpliwą zaletą sterownika jest możliwość zmian prądu fazy sterownika za pomocą miniaturowych przełączników DIP bez żadnej ingerencji we wnętrze sterownika. Za pomocą przełączników DIP możliwy jest poza tym wybór głębokości



Rys. 7. Sterownik SMC116

R E K L A M A

Agregaty prądotwórcze – skup-sprzedaż – bardzo duży wybór z zapasów magazynowych. Fabrycznie nowe, w ciągłej sprzedaży. 170 sztuk w magazynie o mocy od 8 kW do 500 kW oraz 1 megawat i 2,5 megawata. Czynne od 7.00 do 17.00. Zabrze, tel. 032 271 95 08



Rys. 8. Sterownik SMC139WP

podziału krokowego oraz włączenie / wyłączenie automatycznej redukcji prądu fazy i filtru sygnału kroku.

Sterownik wykonywany jest w aluminiowym profilu zamkniętym i wyposażony w wentylator. Wszystkie sygnały zewnętrzne (zarówno sterujące jak i prądowe) wyprowadzone są za pomocą rozłącznych złącz śrubowych, co znacznie upraszcza i przyspiesza proces montażu sterownika na maszynie. Do dyspozycji użytkownika jest także dodatkowe, odizolowane galwanicznie napięcie 5 V służące do zasilania optoizolowanych obwodów wejściowych.

Podsumowanie

Opisywane powyżej sterowniki oczekują impulsów sterujących (CLK=STEP=KROK), które decydują o osiągniętej przez silnik krokowy prędkości i docelowej pozycji oraz sygnału deklarującego kierunek obrotu (DIR=KIER). Sygnały takie generują najprostsze generatory (produkowane przez firmę Wobit: GEN1 i GEN2), odpowiednio zaprogramowane sterowniki PLC, a także specjalizowane indeksery i karty pozycjonujące, jak np. czteroosiowa LMKPCI-4P z interpolacją kołową 2,5 osi jako karta rozszerzenia do komputera PC.

mgr inż. Witold Ober
Autor jest właścicielem
firmy Wobit



KONTAKT

P.P.H. Wobit Witold Ober

61-474 Poznań
ul. Gruszkowa 4

tel. (61) 835 08 00, 835 06 20

fax (61) 835 07 04, 835 08 04

e-mail: wobit@wobit.com.pl

www.wobit.com.pl