

Silniki elektryczne w praktyce

elektronika, część 5

Silniki prądu zmiennego

W erze elektroniki podział na silniki AC i DC nie jest zbyt ścisły - szczególnie w przypadku traktowania jako całość zestawu: silnik + sterownik. Tradycyjnie do silników AC zalicza się wszystkie silniki zasilane bezpośrednio z sieci energetycznej 1-fazowej lub 3-fazowej. W pierwszej części cyklu omówiliśmy już uniwersalne silniki komutatorowe, powszechnie stosowane w urządzeniach gospodarstwa domowego. Pozostałe silniki prądu zmiennego mają jedną wspólną cechę: wirujące pole magnetyczne, powstałe w wyniku przepływu prądu sinusoidalnie zmiennego przez uzwojenia stojana. W zależności od prędkości obrotowej wyróżniamy silniki asynchroniczne i synchroniczne. Silniki synchroniczne mają prędkość obrotową wprost proporcjonalną do częstotliwości sieci zasilającej (prędkości wirowania

Zapowiadany przed miesiącem koniec cyklu jednak nie nastąpił. Wielu Czytelników domagało się przedstawienia w jego ramach także silników AC, co z przyjemnością czynimy.

pola). W silnikach asynchronicznych występuje zjawisko poślizgu - prędkość obrotowa wirnika jest mniejsza od prędkości wirowania pola. Przykładowo dla częstotliwości 50 Hz silnik synchroniczny może mieć obroty znamionowe 3000 obr./min., a silnik asynchroniczny 2750 obr./min. Prędkość wirowania pola zależy od konstrukcji (liczby biegunów) stojana i dla 50 Hz wynosi $6000/n$, gdzie n - oznacza liczbę biegunów.

W zależności od liczby biegunów (2, 4, 6 lub 8) można uzyskać prędkości wirowania pola 3000, 1500, 750 i 375 obr./min. Prędkości obrotowe silnika asynchroniczne-

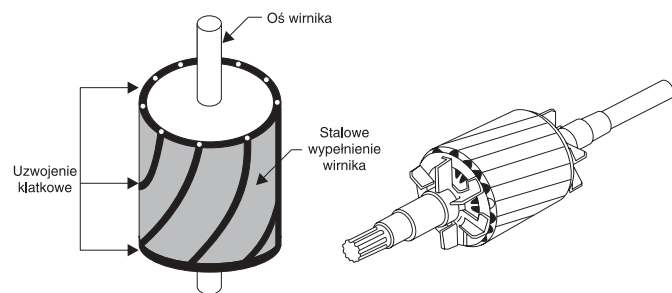
go będą oczywiście odpowiednio mniejsze - typowy poślizg może wynosić ok. 10%.

Asynchroniczne silniki indukcyjne

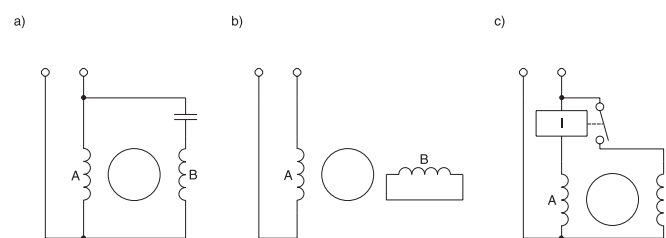
Najbardziej rozpowszechnionym rodzajem silnika asynchronicznego jest silnik indukcyjny. Jego zasadniczą cechą jest brak połączenia elektrycznego uzwojenia wirnika z zasilaniem - przepływ prądu w uzwojeniu wirnika jest wywołany indukcją elektromagnetyczną (pewną analogią dla zasady działania silnika indukcyjnego może być transformator ze zwartym uzwojeniem wtórnym). Zwykle uzwojenie wirnika ma konstrukcję klatkową (rys. 37). Uzwojenie wykonane z prętów miedzianych znajdu-

je się wewnątrz stalowego wypełnienia wirnika i zwykle nie jest widoczne, wirniki często wyglądają jak by były wykonane z jednego kawałka metalu. Budowa stojana zależy od rodzaju silnika. Najprościej jest w silniku trójfazowym: trzy uzwojenia zasilane z trzech faz napięciem sinusoidalnym w naturalny sposób wytwarzają wirujące pole magnetyczne. W silniku 1-fazowym występują trudności z uzyskaniem odpowiednio dużego momentu rozruchowego przy niejednorodnym wirowaniu pola. Najczęściej stosuje się trzy podstawowe rozwiązania:

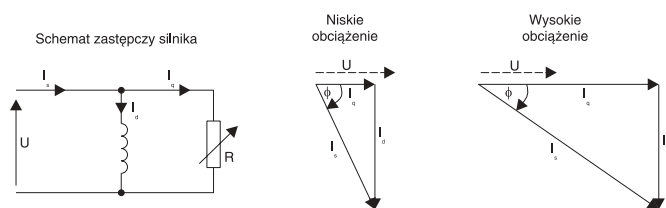
- Zasilanie kondensatorowe (rys. 38a). Kondensator powoduje przesunięcie o 90 fazy prądu w uzwojeniu B.



Rys. 37



Rys. 38



Rys. 39

Silnik dysponuje momentem rozruchowym równym 50...90% momentu obrotowego, ale jego wadą jest konieczność stosowania dość dużego i ciężkiego kondensatora. Silniki tego typu są stosowane np. w pralkach wirnikowych i automatycznych, szlifierkach, małych kompresorach.

- Silnik ze zwartą fazą rozruchową (rys. 38b). Dodatkowe uzwojenie rozruchowe B ma postać zwartego zwoju, w którym indukuje się prąd. Prostota konstrukcji okupiona jest małym momentem rozruchowym (ok. 40%). Ze względu na straty w uzwojeniu rozruchowym

moc tych silników nie przekracza kilkudziesięciu watów. Zastosowanie: wentylatory, pompy wody w pralce automatycznej, dawniej także w magnetofonach szpulowych i gramofonach.

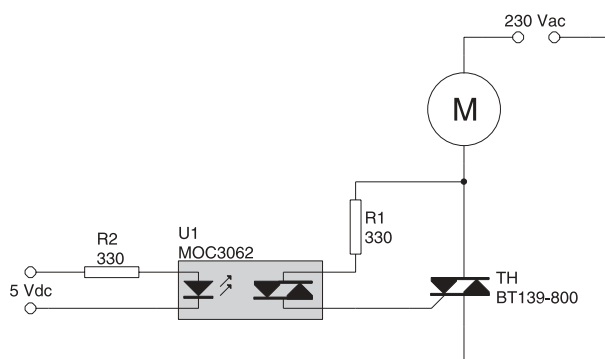
- Silnik z odłączanym uzwojeniem rozruchowym (rys. 38c). Uzwojenie rozruchowe jest odłączane przez przełącznik prądowy po rozpędzeniu silnika do ok. 70% obrotów nominalnych. Silniki tego typu mają większy moment rozruchowy od pozostałych silników indukcyjnych (90...150%), ale też największy prąd rozruchowy, 5...8-krotnie przewyższający prąd znamionowy. Typo-

wym zastosowaniem jest np. agregat w lodówce sprężarkowej. Czasami w szereg z uzwojeniem rozruchowym jest włączany kondensator - wtedy moment rozruchowy może być rzędu 200% przy niższym prądzie rozruchowym.

Silniki synchroniczne

Obroty silnika synchronicznego nie zależą od obciążenia, a wyłącznie od częstotliwości napięcia zasilającego tzn. poślizg jest równy zero. Silniki te są stosowane wszędzie tam gdzie wymagana jest bardzo dobra stabilność obrotów, np. w elektromechanicznych układach czasowych, programatorach pralek itp. Konstrukcja silników synchronicznych jest zbliżona do opisanych w poprzedniej części artykułu silników krokowych reluktancyjnych i z wirującym magnesem. Elektroniczne sterowanie obrotami silnika synchronicznego jest możliwe (przy pomocy falownika) ale raczej

nie stosowane - główną cechą użytkową tych silników jest utrzymywanie stabilnych obrotów bez układów elektronicznych. Silniki synchroniczne są obecnie rzadziej spotykane, ponieważ zanika ich typowy obszar zastosowań czyli elektromechaniczne układy programatorów czasowych. Tylko jedna podgrupa silników synchronicznych zyskuje popularność - są to tzw. *AC Servo Motors*. Była już o nich mowa w drugiej części artykułu, dotyczącej trójfazowych silników BLDC. Są to silniki z wirującym magnesem, trudne do sklasyfikowania. Jeżeli mają zainstalowane czujniki Halla i sterowanie impulsowe - to są to silniki BLDC, ale ten sam silnik zasilany z falownikiem jest trójfazowym silnikiem synchronicznym AC. Często producenci oferują ten sam silnik w różnych wykonaniach: podstawowej (bez czujników), z czujnikami Halla lub z enkoderem, nazywając go po prostu *serwomotor*.



Rys. 40

Współczynnik mocy

Współczynnik mocy, czyli tak nie lubiany przez niektórych $\cos \phi$ jest ważnym parametrem silników indukcyjnych. Spróbujmy potraktować silnik jako równoległe połączenie indukcyjności uzwojenia L i rezystancji R. Rezystancja zmienia swoją wartość w zależności od obrotów i obciążenia silnika. Prąd całkowity I_s jest sumą prądu płynącego przez indukcyjność (I_d) i prądu rezystancji (I_q), ale ze względu na występu-

jące przesunięcie fazowe jest to suma wektorowa - **rys. 39**. Można przyjąć, że prąd I_q wytwarza moment obrotowy, a prąd I_d wytwarza strumień magnetyczny silnika - wtedy użytecznym dla nas prądem jest tylko I_q . Współczynnik mocy $\cos \phi = I_q/I_s$ powinien być jak najbliższy wartości 1 (tzn. $\phi = 0$ oraz $I_d=0$). Z rozkładów wektorowych przedstawionych na rys. 39 widzimy, że przy małym obciążeniu silnika rośnie wartość I_d , czyli ma-

łeje współczynnik mocy. Niskie wartości współczynnika mocy powodują niepotrzebne zużywanie energii elektrycznej, a w przypadku silników dużej mocy - zakłócenia napięcia sieci mogą niekorzystnie wpływać na inne urządzenia.

Porównanie silników indukcyjnych i komutatorowych AC

Silniki indukcyjne charakteryzują się cichszą pracą i większą niezawodnością (w praktyce ograniczoną głównie trwałością łożysk wirnika). Silniki komutatorowe uniwersalne mają znacznie wyższy moment rozruchowy, korzystniejszy stosunek mocy do wielkości i wagi silnika oraz możliwość uzyskiwania większych prędkości obrotowych (dla silników indukcyjnych górną granicą jest 3000 obr./min. przy częstotliwości sieci 50 Hz). Z punktu widzenia elektronika istotna jest różnica metod regulacji prędkości obrotowej. Silnik komu-

Przydatne linki

Polscy producenci i dystrybutorzy silników indukcyjnych:

- www.tamel.pl/oferta/silniki
- www.cantonimotor.com.pl
- www.wamel.com.pl/indexpl.htm

Polskie strony producentów falowników:

- www.europe.omron.com/PL_pl/cor/iab/home/product_catalog/Mechatronics
- www.danfoss.com.pl/main/falowniki.html

Linki zagraniczne:

- www.irf.com/technical-info - International Rectifier (podzespoły dla energoelektroniki)
- www.ab.com/support/abdrives - Allen-Bradley (silniki i falowniki)

tatorowy daje się łatwo regulować poprzez zmianę napięcia zasilającego, zachowując duży moment obrotowy w szerokim zakresie prędkości obrotowych. Regulacja obrotów silników indukcyjnych jest znacznie trudniejsza. Nie wielki zakres regulacji prędkości obrotowej silników indukcyjnych 1-fazowych można

uzyskać poprzez zmianę poślizgu. Bardziej efektywna ale skomplikowana metoda, to zmiana częstotliwości napięcia zasilającego silnik przy pomocy falownika.

Elektronicznie sterowane załączanie i wyłączanie silników indukcyjnych

Bardzo często nie jest konieczna regulacja obrotów a jedynie mikroprocesorowe sterowanie załączaniem silnika. Do tego celu nadają się przekaźniki elektroniczne SSR (*Solid State Relay*). Przekaznik SSR prądu zmiennego składa się z triaka mocy, układu wyzwalań przy przejściu sieci przez zero oraz transoptora separującego obwody wejściowe. Wiele firm produkuje gotowe moduły przekaźników SSR na prądy obciążenia 1...100 A, ale można też wykonać taki przekaźnik z elementów dyskretnych (**rys. 40**). Zastosowany optotriak typu MOC3062 ma wbudowany

układ załączania w zerze sieci i poprzez rezystor ograniczający R1 powoduje wyzwolenie triaka mocy. Wejście sterujące jest odizolowane od sieci i może współpracować bezpośrednio z układami cyfrowymi (pobór prądu ok. 10 mA). Projektując układ załączania silników przy pomocy przekaźników SSR należy pamiętać o dwóch ważnych zagadnieniach:

- Triak mocy musi mieć prąd maksymalny przynajmniej 3-krotnie większy od prądu znamionowego silnika (ze względu na prąd rozruchowy).
- W silnikach indukcyjnych występuje opóźnienie fazy prądu względem napięcia - w chwili przejścia napięcia sieci przez zero triak jest jeszcze w fazie przewodzenia z poprzedniego półokresu. Dlatego też impuls bramkowy powinien być opóźniony względem przejścia napięcia przez zero oraz musi mieć wystarczająco długi czas trwania,

dotyczy to przypadku pracy z pełną prędkością tj. kąta przewodzenia triaka zbliżonego do 180°. Dla niewielkich silników wystarczy opóźnienie 300...600 μ s i czas trwania impulsu bramkowego 300 μ s, (najlepiej dobrać odpowiednią wartość do konkretnego silnika). Stosuje się też wyzwalań triaka serią następujących po sobie impulsów bramkowych. Fabryczne przekaźniki SSR zwykle radzą sobie z tym problemem, ale warto sprawdzić w danych katalogowych, czy wybrany typ jest przeznaczony do pracy z obciążeniami indukcyjnymi. Nie przestrzeganie tego warunku spowoduje załączanie triaka co drugi półokres sieci i w konsekwencji pojawienie się w obciążeniu składowej stałej - czego silniki indukcyjne bardzo nie lubią.

Fabryczne przekaźniki półprzewodnikowe do celów przemysłowych są elementami

dość dużymi i kosztownymi. Znani producenci to Omron, Crydom, Crouzet, ostatnio także polski Relpol. Do własnych konstrukcji Czytelników poleciłbym tańsze i dobrej jakości przekaźniki SSR firmy Sharp: S202S02 (prąd do 8 A) i S216S02 (prąd do 16 A). Układy montowane są w jednorzędowych 4-końcówkowych obudowach zbliżonych do TO247, mają wbudowany układ wyzwalań w zerze dobrze radzący sobie z obciążeniami indukcyjnymi oraz transoptor separujący (prąd diody LED ok. 10 mA). Do pracy z pełnym obciążeniem wymagany jest radiator.

W zakresie prądów 1...3 A oferta producentów jest znacznie szersza, ceny i wymiary przekaźników SSR są porównywalne z odpowiednikami elektromechanicznymi. Przykładowe typy: PS2601E (CP Clare), S201S02 (Sharp), AO241 (Crydom), V23100-S302 (Siemens).

Jacek Przepiórkowski