

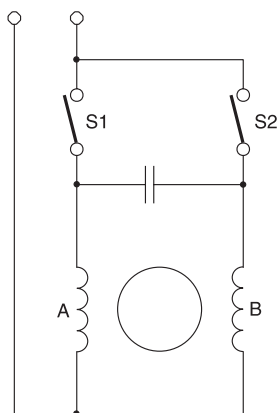
Silniki elektryczne w praktyce

elektronika, część 6

Silniki prądu zmiennego

Zmiana kierunku obrotów

Najczęściej kierunek obrotów jest wymuszony przez konstrukcję silnika i nie jest możliwa jego zmiana. Wyjątek stanowią silniki kondensatorowe z jednakowymi uzwojeniami A i B. W takim silniku zmiana kierunku obrotów polega na przełączeniu kondensatora z uzwojenia B do A. Można to zrealizować przy pomocy dwóch przełączników mechanicznych lub półprzewodnikowych (rys. 41). Kierunek obrotów silnika zależy od tego, czy zwarty jest styk S1 czy S2 (oczywiście trzeba zadbać aby nigdy nie były zwarte oba styki jednocześnie). Podobny sposób zmiany kierunku obrotów jest stosowany w silnikach napędu bębna pralek automatycznych.



Rys. 41

Kontynuujemy prezentację zagadnień związanych ze sterowaniem silników zmiennoprądowych, przedstawimy także podstawowe informacje o falownikach, które są obecnie najbardziej efektywnym narzędziem do sterowania pracą silników tego typu.

W silnikach asynchronicznych 3-fazowych zmiana kierunku wymaga przełączenia kolejności faz, zwykle jest realizowana przy pomocy styczników lub przełączników mechanicznych.

Regulacja prędkości obrotowej

Najłatwiejsza do zrealizowania jest regulacja poprzez zmianę poślizgu silników jednofazowych. Wykorzystywana jest tutaj zależność poślizgu od obciążenia i napięcia zasilania silnika. Obniżenie wartości napięcia przy niezmiennym obciążeniu spowoduje wzrost poślizgu i zmniejszenie obrotów silnika. Do regulacji napięcia najczęściej wykorzystuje się układy ze sterowaniem fazowym triaka - takie same jak do regulacji obrotów silnika uniwersalnego komutatorowego. Niestety taki sposób regulacji ma wiele wad i ograniczeń:

- Zastosowanie jest ograniczone do stałych obciążeń (wentylatory, małe pompy wodne), nie nadaje się do silników startujących pod dużym obciążeniem.
- Zakres regulacji jest ograniczony - można uzyskać do

50% obrotów znamionowych. Dalsze zmniejszanie obrotów spowoduje zatrzymanie silnika.

- Moment obrotowy zmniejsza się wraz ze spadkiem napięcia.
- Stabilność obrotów jest nie najlepsza - zależy od zmian obciążenia. Bez obciążenia efekt regulacji zanika.
- Przy starcie pod obciążeniem konieczny jest rozruch z pełnym napięciem zasilania, potem dopiero można je zmniejszyć do uzyskania pożądanego obrotów.
- Niektóre silniki reagują na sterowanie fazowe głośnym i nieprzyjemnym buczeniem. Zjawisko to jest trudne do usunięcia, ponieważ zależy od technologii produkcji silnika (sztywność konstrukcji, sposób impregnacji uzwojeń i blach stojana).
- Napięciowa metoda regulacji dość dobrze sprawdza się w przypadku silników kondensatorowych, nieco gorzej dla silników ze zwartą fazą rozruchową, natomiast praktycznie nie nadaje się do silników z uzwojeniem rozruchowym.

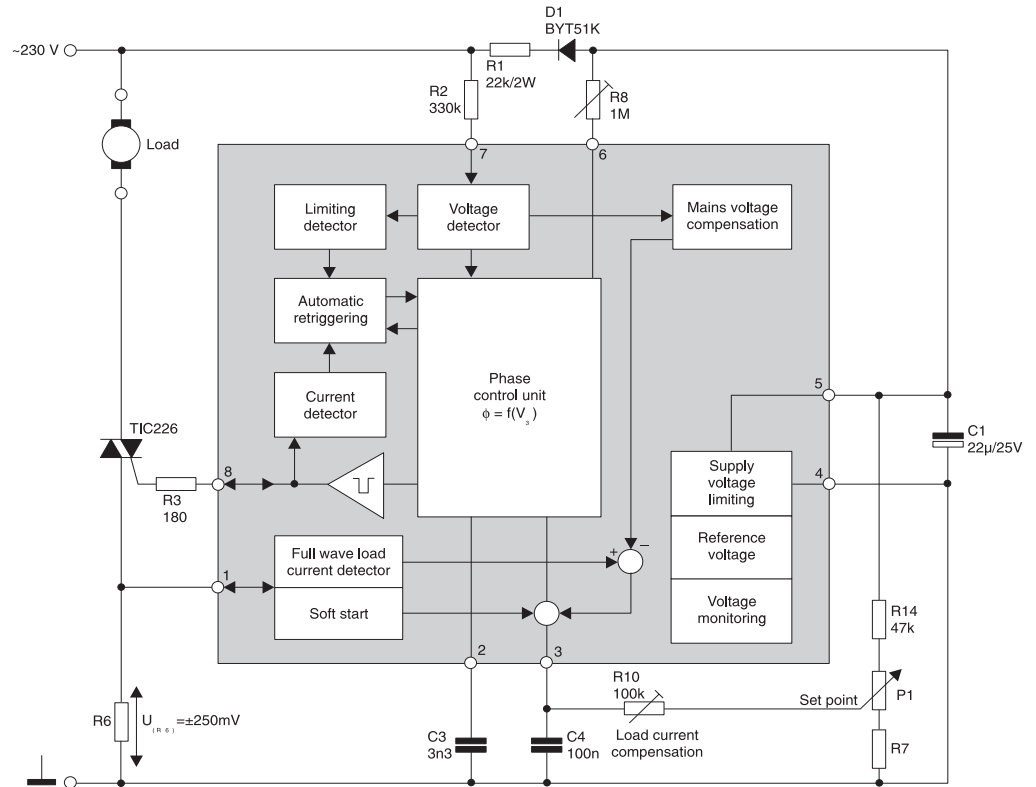
Pomimo wymienionych wad, jest to często stosowany sposób regulacji ze względu

na swoją prostotę. Na przykład polski producent silników - firma Besel oferuje kondensatorowe silniki 1-fazowe przystosowane do napięciowej regulacji obrotów (seria SSg, SSh). Do budowy sterownika fazowego doskonale nadaje się układ U2008B firmy TEMIC. Schemat aplikacyjny układu jest przedstawiony na rys. 42. Elementy R1, D1, C1 zapewniają zasilanie układu - wewnętrzny stabilizator ustala napięcie $-V_s$ (wyprowadzenie 5) na poziomie -14 V. Obroty silnika reguluje się poprzez zmianę napięcia na wyprowadzeniu 3 (potencjometrem P1). Napięcie to może się zmieniać w zakresie od -9 V (maksymalny kąt wyzwalania triaka = minimum obrotów) do -2 V (minimalny kąt wyzwalania = maksimum obrotów). Kąt wyzwalania α_{max} odpowiadający minimum obrotów reguluje się potencjometrem R8. W układzie U2008B jest doskonale rozwiązane wyzwalanie triaka: układ monitoruje prąd triaka (poprzez pomiar napięcia bramkowego) i daje impuls bramkowy dopiero po wykryciu zaniku prądu. Jeżeli triak nie załączył się, to układ kontroli prądu

powoduje wygenerowanie kolejnych impulsów bramkowych. Poza tym U2008B ma dodatkowe układy stabilizacji obrotów silnika przy zmianach napięcia sieci (wyprowadzenie 7) i zmianach obciążenia. Kontrolę prądu obciążenia realizuje wyprowadzenie 1 poprzez pomiar spadku napięcia na R6. Większe obciążenie silnika powoduje wzrost poboru prądu, układ regulacji reaguje zmniejszeniem kąta wyzwalania - co przeciwdziała spadkowi obrotów. Dodatkowo zapewnione jest wyższe napięcie zasilania w momencie rozruchu silnika. W przypadku sterowania silnikiem indukcyjnym należy dobrać parametry układu regulacji prądu do konkretnego silnika - poprzez zmianę wartości R6 i R10.

Silniki z podwójnym uzwojeniem

Jeżeli konieczna jest praca silnika z dwiema różnymi prędkościami obrotowymi, to można wykonać silnik z dwoma kompletami uzwojeń o różnej liczbie biegunów.



Rys. 42

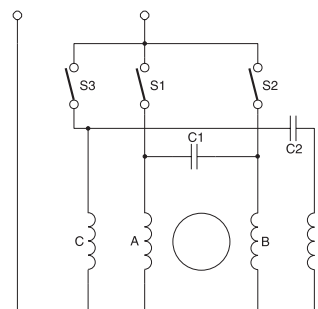
Przykładem mogą być silniki stosowane w starszych modelach pralek automatycznych (rys. 43). Uzwojenia A i B są 8-biegunowe (350 obr./min.) a uzwojenia C i D są 2-biegunowe (2800 obr./min.). Styki S1 i S2 uruchamiają tryb prania, a styk S3 - wirowanie.

Falowniki - zasada działania

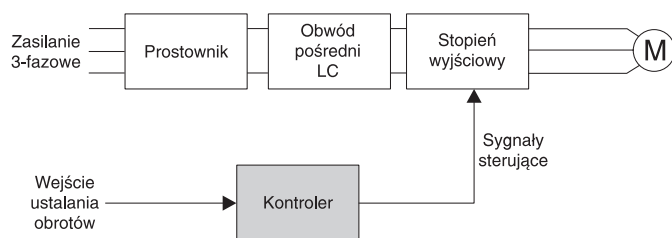
Falowniki umożliwiają regulację prędkości obrotowej indukcyjnych silników asynchronicznych poprzez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego. Schemat blokowy najprostszego falownika jest przedstawiony na rys. 44, realizacja praktyczna stopni mocy - na rys. 45. Stopień wyjściowy stanowi trzy układy półmostkowe z tranzystorami IGBT, zasilające impulsowo uzwojenia silnika. Stopień pośredni DC składa się z kondensatora C, di-

dy D1 i dławika L. Pamiętajmy, że przy kluczowaniu impulsowym obciążeniu indukcyjnym występuje tzw. faza regeneracyjna, kiedy energia samoindukcji jest zwracana do źródła zasilania. Kondensator C pełni rolę filtra prostownika, ale także przejmuje tę energię za pośrednictwem diody D1. Dławik L pełni rolę filtra ograniczającego zakłócenia. Schemat na rys. 45 jest bardzo uproszczony, rzeczywiste układy falowników zawierają wiele dodatkowych elementów zabezpieczających przed przecięciami, ograniczających prąd w stanach nieustalonych itp. Jeżeli z układu z rys. 45 usuniemy 2 diody z prostownika i 2 tranzystory wyjściowe, to uzyskamy układ falownika 1-fazowego.

Kształtowanie sinusoidalnego przebiegu prądu w uzwojeniach silnika uzyskuje się za pomocą modulacji impulsowej PWM. Uzwojenia silnika działają jako filtr dolno-przepustowy LR „wygładzający” przebieg prądu. Zasadę kształtowania prądu w uzwojeniach ilustruje rys. 46. Rzeczywisty kształt obwiedni krzywej prądu nie jest idealną sinusoidą, w najprostszych falownikach wykres prądu ma kształt zbliżony do trapezu i jest formowany z kilku impulsów.



Rys. 43



Rys. 44

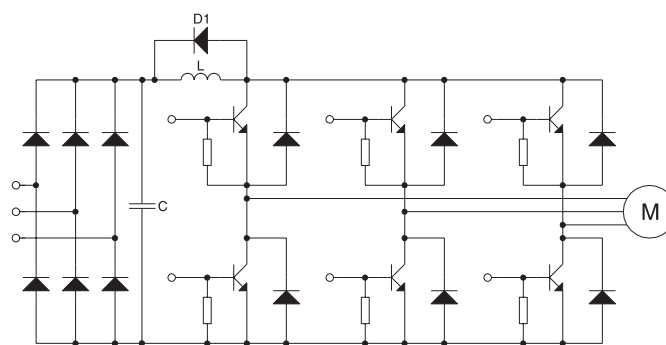
Falownik U/f

Pobór prądu przez silnik indukcyjny można w przybliżeniu określić wzorem $I=U/Z$, gdzie Z jest impedancją silnika w określonych warunkach pracy. Niestety impedancja Z jest proporcjonalna do częstotliwości, czyli przy zachowaniu stałej wartości napięcia zasilającego U silnik będzie pobierał bardzo duży prąd przy niskich częstotliwościach. Przy wysokich częstotliwościach prąd będzie bardzo mały i silnik nie rozwinie pełnej mocy. Widzimy już pierwsze ograniczenie falowników: jeżeli silnik jest przystosowany do napięcia 230 V, to przy pomocy falownika (zasi-

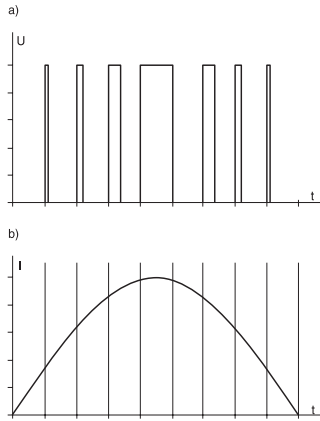
lanego wyprostowanym napięciem 230 V) można tylko zmniejszać jego obroty. Zwiększenie obrotów powyżej nominalnych wiąże się ze spadkiem mocy i momentu obrotowego. Przy zmniejszaniu obrotów należy zmniejszać amplitudę napięcia zasilającego U proporcjonalnie do zmniejszania częstotliwości f . Układ pracujący według powyższej zasady jest nazywany falownikiem ze stałym stosunkiem U/f . Współczynnik wypełnienia impulsów sterujących tranzystorami stopnia wyjściowego z rys. 45 musi zmieniać się w taki sposób, aby każdej prędkości obrotowej silnika odpowiadała właściwa ampli-

tuda i częstotliwość obwiedni prądu z rys. 46. Nie jest trudno zaprojektować układ z mikrokontrolerem do sterowania sześcioma tranzystorami, znacznie większym problemem jest napisanie odpowiedniego oprogramowania. Na razie rzadko spotyka się amatorskie konstrukcje falowników, jednak niedługo może się to zmienić ze względu na gwałtowny wzrost zapotrzebowania na tanie falowniki do sprzętu AGD. Powstają już pierwsze „klocki” do budowy falowników:

- IRAMS10UP60A (International Rectifier) - zintegrowany stopień wyjściowy, złożony z 6 tranzystorów IGBT oraz logiki sterującej i układów pomocniczych (zabezpieczenia, pomiar prądu). Sześć wejść sterujących można podłączyć bezpośrednio do mikrokontrolera.
- PIC18F2539 (Microchip) - mikrokontroler specjalnie zaprojektowany do sterowania obrotami 1-fazowego silnika indukcyjnego. Zawiera 2 generatory PWM oraz procedury sterowania nimi, do-



Rys. 45



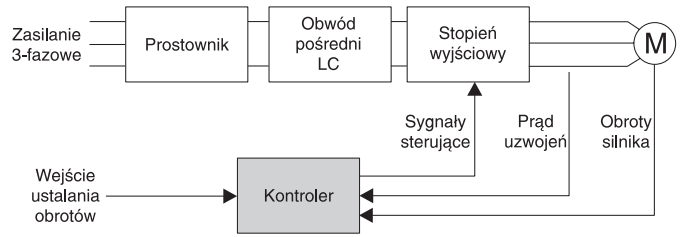
Rys. 46

stępane z poziomu kompilatora C jako predefiniowane funkcje API.

Falownik wektorowy

Opisany powyżej falownik nie potrafi korygować warunków pracy silnika przy rozpędzaniu, hamowaniu i zmianach obciążenia. Można przewidywać, że w niektórych sytuacjach współczynnik mocy silnika będzie bardzo niekorzystny, poza tym poślizg sil-

nika też może się zmieniać w szerokich granicach. Wad tych jest pozbawiony falownik ze sterowaniem wektorowym z rys. 47. Czujniki obrotów silnika oraz chwilowego prądu uzwojeń dostarczają pełnej informacji o aktualnych warunkach pracy. Kontroler dokonuje analizy wektorowej składowych prądu i tak dobiera obwiednię i częstotliwość prądu w uzwojeniach, aby w każdej chwili zapewnić optymalne warunki pracy silnika. Dzięki temu możliwe jest płynne rozpędzanie i hamowanie silnika z uwzględnieniem bezwładności napędu oraz stabilizacja prędkości obrotowej przy zmianach obciążenia. W napędach dużej mocy istotna jest także optymalizacja zużycia energii elektrycznej poprzez utrzymywanie możliwie najwyższego współczynnika mocy $\cos\phi$. Realizacja sterowania wektorowego wymaga zastosowania szybkich procesorów DSP z bardzo rozbudowanym oprogramowaniem. Falowniki stosowane w automatyce przemysłowej mają je-



Rys. 47

den lub kilka cyfrowych portów we/wy, umożliwiających pracę w sieciach transmisji danych, konfigurowanie falownika do określonych potrzeb, współpracę ze sterownikami PLC.

Zamiast słowniczka - pułapki językowe

Wszystkie sterowniki opisywane w poprzednich częściach artykułu można było umieścić w grupie *motor driver*, ale nie dotyczy to falowników. Angielskim odpowiednikiem falownika jest *AC Motor Inverter*.

Sporo problemów dostarcza nazewnictwo silników indukcyjnych: nazwa *AC induction motor* jest rzadko

używana, spotyka się *asynchronous motor*, *cage motor* lub po prostu *AC motor*. Najgorzej jest z *brushless motor*, bo może tu chodzić o każdy rodzaj silnika nie zawierającego szczotek. Nawet jeżeli jest *brushless AC motor*, to mamy wybór: silnik asynchroniczny, synchroniczny, przemysłowy silnik serwo AC z wirującym magnesem.

Kondensator rozruchowy - konsekwentnie jest tak nazywany po polsku i po angielsku: *motor starting capacitor*. Nie ma znaczenia, że w konkretnym silniku jest on kondensatorem pracy - po prostu ta grupa towarowa kondensatorów tak się nazywa.

Jacek Przepiórkowski