

Krzysztof TOMCZEWSKI¹, Andrzej WITKOWSKI²

POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI,
 INSTYTUT UKŁADÓW ELEKTROMECHANICZNYCH I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ,
¹ZAKŁAD NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO, DIAGNOSTYKI I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ,
²ZAKŁAD ROBOTYKI I ZASTOSOWAŃ INFORMATYKI

Wpływ wybranych układów zasilania na moment elektromagnetyczny czteropasmowego przełączalnego silnika reluktancyjnego

Dr inż. Krzysztof TOMCZEWSKI

Ukończył studia na Wydziale Elektro-fizyki Politechniki Lwowskiej w 1984 r. Stopień doktora uzyskał na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Opolskiej w 2002 r. Jest autorem około 30 publikacji.



e-mail: ktom@po.opole.pl

Dr inż. Andrzej WITKOWSKI

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Opolskiej w 1989 r. Stopień doktora uzyskał na Politechnice Śląskiej w 1997 r. Jest autorem około 25 publikacji.



e-mail: awit@po.opole.pl

Streszczenie

W artykule porównano wpływ trzech układów: półmostka typu H oraz dwóch układów umożliwiających zmianę konfiguracji uzwojeń pasma w czasie jego zasilania na maksymalny moment elektromagnetyczny uzyskiwany przy różnych prędkościach obrotowych przez czteropasmowy przełączalny silnik reluktancyjny. Uzyskane wyniki wykazały, że przy zastosowaniu tych układów możliwe jest uzyskanie wyższych wartości momentu elektromagnetycznego niż w układzie półmostka typu H.

Słowa kluczowe: przełączalny silnik reluktancyjny, SRM, układ zasilania, moment elektromagnetyczny.

Influence of selected drive systems on the torque of four-phase switched reluctance motor

Abstract

In this paper results of SRM power drives simulation are presented. The examined systems allow dynamic phase-windings connections configuration during its supply cycle. The drives were used for supplying a four-phase motor. To main reason for using this type of SRM drives is to obtain greater motor power at high rotational speed range. Obtained results were compared with the ones obtained for classic power drive.

Keywords: Switched Reluctance Motor, SRM, supply system, electromagnetic torque.

1. Wstęp

Silniki SRM umożliwiają budowanie układów napędowych pracujących w szerokim zakresie prędkości obrotowych. Uzyskiwana prędkość maksymalna przy zadanym momencie obciążenia uwarunkowana jest charakterystyką indukcyjności i wartością prądu w uzwojeniach.

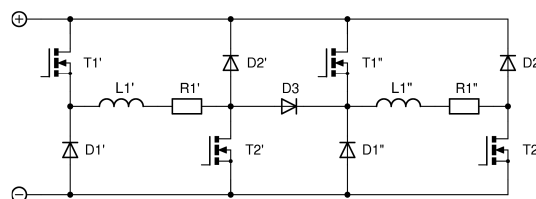
Wymuszenie przepływu prądu o odpowiednio dużej wartości w zakresie wysokich prędkości obrotowych wymaga przyłożenia do uzwojeń odpowiednio wysokiego napięcia. Napięcie to musi być wyższe od indukowanej w tym uzwojeniu siły elektromotorycznej. Im wyższe jest napięcie zasilania, tym szybciej przebiegają procesy narastania i opadania prądów w uzwojeniach i uzyskiwana jest wyższa średnia wartość prądu i momentu elektromagnetycznego. Stosowanie wysokich napięć zasilających powoduje jednak niekorzystne zjawiska w zakresie niskich i średnich prędkości, jakimi są wzrost pulsacji prądu lub wzrost częstotliwości kluczkowania tranzystorów. Efektem tego jest wzrost pulsacji momentu lub wzrostu strat w tych elementach i spadek sprawności układu napędowego.

2. Układy zasilania

Wzrost wartości prądu w uzwojeniach w zakresie wysokich prędkości w stosunku do układu półmostka H [4], można uzyskać poprzez zmianę konfiguracji połączeń uzwojeń tworzących pasmo w czasie jego zasilania. Jest to możliwe przy zastosowaniu jednego z opracowanych przez autorów układów zasilania [2]. Schematy tych układów przedstawiono na rys. 1 i 2. Zastosowanie tych układów wymaga rozdzielenia uzwojeń przeciwległych biegunów stojana wchodzących w skład jednego pasma na dwie niezależne sekcje: L1' i R1' oraz L1'' i R1'' (rys. 1 i 2).

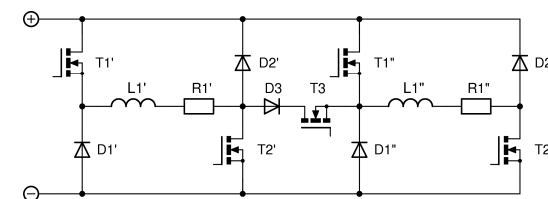
Układ przedstawiony na rys. 1. umożliwia szeregowe lub równoległe zasilanie uzwojeń pasma. W czasie zwrotu energii do źródła zasilania uzwojenia pasma zawsze są połączone szeregowo.

W bardziej rozbudowanym układzie (rys. 2) możliwy jest dodatkowo wybór równoległego lub szeregowego układu połączeń uzwojeń podczas zwrotu energii po wyłączeniu zasilania pasma.



Rys. 1. Schemat układu umożliwiającego szeregowe i równoległe zasilanie uzwojeń tworzących pasmo SRM

Fig. 1. Schematic diagram of the system allowing serial and parallel SRM phase-winding connection



Rys. 2. Schemat układu umożliwiającego zasilanie uzwojeń tworzących pasmo SRM oraz zwrot energii do źródła w układzie szeregowym i równoległym

Fig. 2. Schematic diagram of the system allowing serial and parallel SRM phase-winding connection and energy return

W stosunku do półmostka typu H układy te umożliwiają pracę w kilku dodatkowych trybach. Sterownik wykonany na bazie układu przedstawionego na rys. 2 umożliwia dodatkowo:

- zasilania pasma z uzwojeniami połączonymi równoległe,
- regulacji prądu w górę, uzyskiwaną przez cykliczną zmianę układu połączeń pomiędzy szeregowym i równoległym,
- zwrotu energii do źródła przy równoległym połączeniu uzwojeń.

3. Obiekt i metoda badań

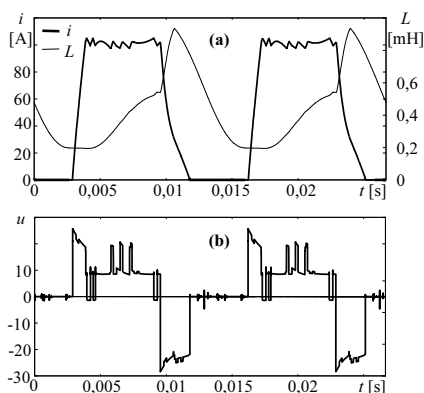
W wyniku zastosowania prezentowanych układów do zasilania silnika dwupasmowego uzyskano znaczny przyrost prędkości maksymalnej przy zadanych wartościach momentu obciążenia. Uzyskana w wyniku obliczeń i pomiarów dla tych układów prędkość była o ponad 80% wyższa, niż przy zasilaniu silnika z półmostka typu H [5].

Znaczna część silników SRM posiada większą liczbę pasm. Przydatność tych układów do zasilania silników czteropasmowych zbadano na przykładzie silnika MRV o mocy S1 900W. Silnik ten posiada osiem biegunów stojana i sześć zębów wirnika. Uzyskuje moment statyczny 25 Nm. Do obliczeń wykorzystano program symulacyjny LTSpice [1]. Użyty model indukcyjności uzwojeń silnika uwzględnia zależność indukcyjności od kąta obrotu wirnika i prądu. Zależność ta została wyznaczona pomiarowo [3]. Model nie uwzględnia indukcyjności wzajemnych. Dla wszystkich przedstawionych układów przeprowadzono serie obliczeń dla różnych prędkości obrotowych. Zmieniając wartości kątów, przy których następuje załączanie i wyłączenie zasilania pasma szukano takich, przy których uzyskany zostanie maksymalny moment elektromagnetyczny silnika. Obliczenia prowadzono zmieniając wartości kątów ze skokiem dwa stopnie. Na tej podstawie dla każdego z badanych układów wyznaczono dwie zależności momentu elektromagnetycznego od prędkości: przyjmując, że jednocześnie mogą być zasilane nie więcej niż dwa pasma silnika oraz bez tego ograniczenia.

Ustalając algorytm sterowania przyjęto, że zmiana konfiguracji uzwojeń z równoległej na szeregową następuje przy prądzie 102,5 A, a z konfiguracji szeregowej na równoległą przy 97,5 A. Wartość maksymalną prądu ograniczono tak, aby nie przekraczała wartości znamionowej, ustalając ją na 105 A. Przy osiągnięciu tej wartości następuje wyłączenie tranzystora T1'. Ponowne jego załączenie następuje po spadku prądu do wartości 100 A.

4. Wyniki symulacji

Sposób działania układu w różnych trybach pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Przebiegi indukcyjności i prądu (a) oraz napięcia (b) uzwojenia jednego bieguna pasma silnika MRV zasilanego w układzie z rys. 2

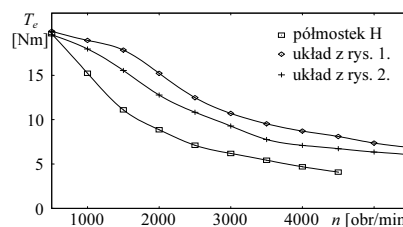
Fig. 3. Inductance, current (a) and voltage (b) time-curves for a single pole winding of a MRV motor supplied with the system presented in fig. 2

Przedstawiono na nim przebiegi indukcyjności, prądu i napięcia na uzwojeniu jednego bieguna uzyskane przy prędkości 750 obr/min w układzie z rys. 2. W początkowej części cyklu zasilania pasma jego uzwojenia połączone są równolegle. Każde z uzwojeń zasilane jest przez oddzielną parę tranzystorów pełnym napięciem zasilania pasma. Napięcie to jest równe napięciu zasilania pomniejszonemu o spadki napięć na elementach energoelektronicznych. Po osiągnięciu przez prąd wartości 102,5 A układ zmienia konfigurację i uzwojenia zasilane są szeregowo. Na każde uzwojenie przypada połowa napięcia zasilającego pasmo. Przy dalszym wzroście prądu układ przechodzi do pracy w trybie ograniczania prądu. Napięcie na uzwojeniu zmienia się pomiędzy połową napięcia zasilającego pasmo a wartością bliską zeru. Po spadku

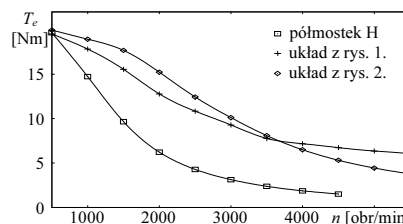
wartości prądu układ przechodzi do pracy w trybie regulacji prądu w górę. Napięcie na uzwojeniu zmienia się pomiędzy pełnym i połową napięcia zasilania pasma. Po wyłączeniu wszystkich tranzystorów układ przechodzi do trybu zwrotu energii przy równoległym połączeniu uzwojeń. Polaryzacja napięcia na uzwojeniach zmienia się na przeciwną.

Na rys. 3a widoczny jest wpływ prądu na przebieg indukcyjności pasma.

Na rys. 4 i 5 przedstawiono wyniki obliczeń maksymalnego momentu elektromagnetycznego możliwego do uzyskania przy zadanych prędkościach obrotowych dla trzech badanych układów.



Rys. 4. Maksymalny moment elektromagnetyczny silnika w funkcji prędkości
Fig. 4. Top values of electromagnetic torque in respect to rotational-speed.
Angle range not limited



Rys. 5. Maksymalny moment elektromagnetyczny silnika w funkcji prędkości przy ograniczeniu przedziału kątów zasilania do 30°
Fig. 5. Top values of electromagnetic torque in respect to rotational-speed.
Angle range limited to 30°

5. Podsumowanie

Uzyskane wyniki wykazują przydatność badanych układów do zasilania czteropasmowych silników SRM. Przy ich zastosowaniu uzyskano wzrost wartości momentu elektromagnetycznego czteropasmowego silnika SRM w szerokim zakresie prędkości bez przekraczania parametrów znamionowych silnika. Umożliwiają one również uzyskanie wyższych prędkości obrotowych przy tym samym momencie obciążenia i napięciu zasilania. Badania przeprowadzone dla silnika czteropasmowego potwierdzają wyniki uzyskane wcześniej dla silnika dwupasmowego. Podobnie jak dla silnika dwupasmowego przy zasilaniu silnika czteropasmowego z układów przedstawionych na rys. 1 i 2 uzyskano znaczny wzrost momentu w porównaniu z zasilaniem go z półmostka typu H.

6. Literatura

- [1] Rolim L.G.B., Heidrich P., Hanitsch R., Suemitsu W.I.: Spice Simulation of a Switched Reluctance Machine Drive, COBEP'95 Conference Proceedings, Sao Paulo, Brazylia, 12 1995.
- [2] Tomczewski K., Witkowski A.: LTSpice simulation of power supply system for switched reluctance motors, Computer applications in electrical engineering, ALWERS, Poznań 2006, pp. 131-143.
- [3] Tomczewski K., Wach P.: Control characteristics for quasi-optimal operation of switched reluctance motors, Electrical Engineering, vol. 85, No 5, 2003, pp. 275-281.
- [4] Vukosavic S., Stefanovic V.R.: SRM Inverter Topologies: A Comparative Evaluation, IEEE Transactions on Industry Applications, vol 27, nr 6, str. 1034-1047, 11/12 1991.
- [5] Witkowski A., Tomczewski K.: Układ zasilania przełączalnego silnika reluktancyjnego ze zmienną konfiguracją uzwojeń pasm. Śląski Przegląd Elektrotechniczny, 1,2006, s. 4-10.