

Zbigniew Damm
F.S.E. Besel S.A. , Brzeg

JEDNOFAZOWY SILNIK SYNCHRONICZNY RELUKTANCYJNY Z ROZRUCHEM ASYNCHRONICZNYM

SINGLE-PHASE SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTOR WITH ASYNCHRONOUS START-UP

Abstract: In this paper a new concept of a single-phase reluctance motor with asynchronous start-up is shown. The paper describes a way of evolving of construction to achieve the final successful result. Details of the “hybrid” rotor construction and motor characteristics are shown. The main advantage of these motors are synchronous operation with single-phase supply and simple and cheap motor construction based on a squirrel-cage induction motor.

1. Wstęp

Silniki indukcyjne są najbardziej rozpowszechnionym rodzajem silników stosowanym w przemyśle. O ile w przypadku silników dużej mocy stosuje się silniki trójfazowe o tyle w przypadku silników o zakresie mocy od kilkudziesięciu watów do kilku kilowatów znaczący fragment zapotrzebowania przemysłu wypełniają silniki o zasilaniu jednofazowym.

Na przykładzie doświadczeń Fabryki Silników Elektrycznych BESEL z Brzegu można stwierdzić, że zapotrzebowanie na silniki jednofazowe w przedstawionym zakresie mocy zawiera się w liczbie ok. 40% wszystkich silników indukcyjnych klatkowych. Z tego powodu opracowując nowe rozwiązania w zakresie takich silników prędzej czy później pojawia się pytanie o możliwość wykonania wersji o zasilaniu jednofazowym.

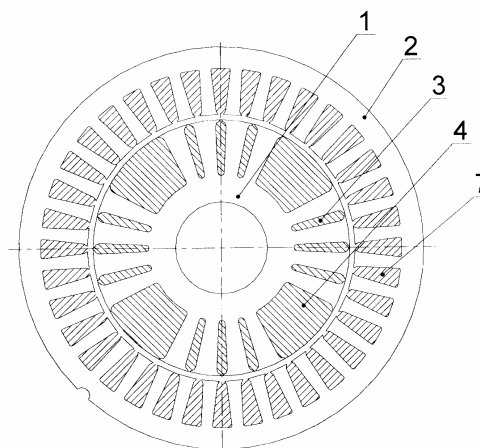
Tym samym kierowano się podejmując starania o wykonanie wersji jednofazowej silnika synchronicznego reluktancyjnego z rozruchem asynchronicznym.

2. Charakterystyka

Silnik synchroniczny reluktancyjny z rozruchem asynchronicznym zwany także silnikiem asynchronicznym synchronizowanym momentem reluktancyjnym (ASMR) czy w skrócie silnikiem reluktancyjnym (tak będzie on nazywany w dalszej części referatu) jest budową bardzo zbliżony do silnika indukcyjnego klatkowego. Zasadniczą cechą różniącą go od standardowego silnika klatkowego jest budowa wirnika. Dzięki charakterystycznemu, niesymetrycznemu rozmieszczeniu wąskich i szerokich prętów klatki wirnika dochodzi do powstania momentu reluktancyjnego,

który przy prędkościach bliskich prędkości synchronicznej powoduje *wciągnięcie* silnika w synchronizm i pracę z prędkością synchroniczną (zależną od liczby par biegunów silnika oraz częstotliwości napięcia zasilającego) tak długo, dopóki moment obciążenia nie przekracza momentu maksymalnego synchronicznego (M_{max}).

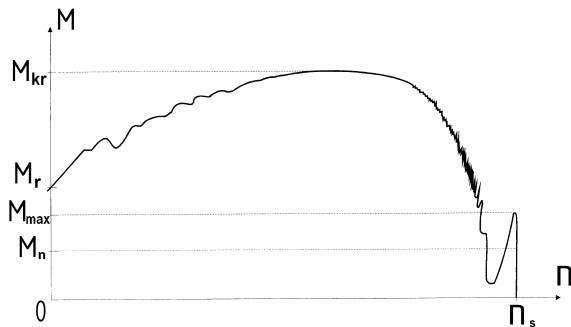
Przekrój obwodu elektromagnetycznego silnika reluktancyjnego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny obwodu elektromagnetycznego silnika reluktancyjnego: 1 – blacha wirnika, 2 – blacha stojana, 3 i 4 – wąskie i szerokie pręty uzwojenia wirnika, 7 – uzwojenie stojana

Silnik taki przy rozruchu oraz przy pracy z momentem obciążenia większym od M_{max} zachowuje się jak standardowy silnik indukcyjny. Dodatkową zaletą tych silników jest możliwość ponownego osiągnięcia synchronizmu po prze-

ciążeniu, gdy obciążenie spadnie powrotnie poniżej M_{max} . Charakterystykę mechaniczną silnika reluktancyjnego przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Charakterystyka mechaniczna silnika synchronicznego reluktancyjnego z rozruchem asynchronicznym

3. Zastosowanie

Dzięki swoim specyficznym właściwościom silniki asynchroniczne synchronizowane momentem reluktancyjnym mogą zastępować o wiele droższe i bardziej skomplikowane napędy.

Podstawowym polem zastosowań tych silników są napędy grupowe, współbieżne gdzie wymagana jest jednakowa prędkość obrotowa wielu, wspólnie zasilanych silników (taśmociągi, transportery, grupowe napędy jezdne itp.).

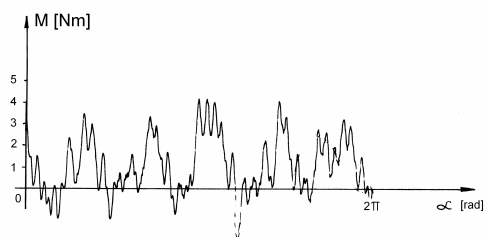
Ponadto, dzięki niewrażliwości prędkości obrotowej na zmiany obciążenia i amplitudę napięcia zasilania silniki te mogą mieć zastosowanie w napędach indywidualnych, wymagających stałej, ściśle określonej prędkości obrotowej. Zastosowanie takich aplikacji eliminuje konieczność pomiaru prędkości i stosowania układów ze sprzężeniami zwrotnymi.

W chwili obecnej F.S.E. BESEL ma w swojej katalogowej ofercie silniki reluktancyjne jednofazowe 4-biegunowe wielkości mechanicznej 71 i 80 o mocach od 0,12 do 1,1kW. Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu klientów (szczególnie z Europy Zachodniej, gdzie silniki tego typu są bardzo popularne) BESEL wykonał oprzyrządowanie do produkcji seryjnej umożliwiając seryjną produkcję we wszystkich z wymienionych wielkości.

4. Silnik reluktancyjny jednofazowy

W zaawansowanej fazie testów jest jednofazowa wersja silnika reluktancyjnego. Umożliwi ona zastosowanie tego typu napędu w miejscach, gdzie niedostępne jest zasilanie trójfazowe, a konieczne jest uzyskanie prędkości synchronicznej przy niewielkich nakładach.

Pierwsze próby stworzenia jednofazowej wersji silnika reluktancyjnego opartego na wyżej opisanej konstrukcji wirnika nie przyniosły pozytywnych rezultatów. Przeniesienie schematu uzwojenia stosowanego dla silników jednofazowych 4-biegunowych na stosowaną dla silników reluktancyjnych konstrukcję blachy stojana (36 żłobków) ujawniły potencjalne problemy produkcyjne przy operacji zwojenia. Powstały jednak prototypy, które poddano badaniom w laboratorium elektrycznym. Wyniki testów nie były zadowalające. Największym problemem okazały się zbyt niskie wartości momentu rozruchowego uzyskiwane przez silniki w powyższym wykonaniu. Szczególnie rozkład momentu rozruchowego w funkcji kąta położenia wirnika wykazał, że w pewnych ustawieniach wirnika moment rozruchowy ma wartość zerową, co oznaczałoby, że silnik mógłby nie ruszyć nawet bez obciążenia. Rozkład momentu rozruchowego w funkcji kąta położenia wirnika dla silnika z uzwojeniem jednofazowym i wirnikiem reluktancyjnym pokazuje rysunek 3.



Rys. 3. Wykres zależności momentu rozruchowego w funkcji kąta położenia wirnika dla silnika z uzwojeniem jednofazowym i wirnikiem reluktancyjnym

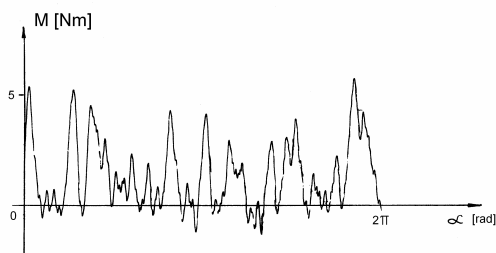
Zmienność momentu rozruchowego jest charakterystyczną cechą silników reluktancyjnych. O ile przy dużych krotnościach momentów rozruchowych w wypadku silników trójfazowych nie ma to większego znaczenia, to przy zasilaniu jednofazowym, gdzie krotność momentu rozruchowego odniesiona do momentu znamionowego jest znacznie mniejsza od jedności – stanowi poważny problem.

Do powyższych problemów doszły również zbyt duże przyrosty temperatur uzwojeń oraz zwiększony poziom hałasu.

Zdecydowano się na zmianę konstrukcji uzwojenia. Zastosowano uzwojenie 3-fazowe zasilane w układzie Steinmetza. Układ ten pozwala

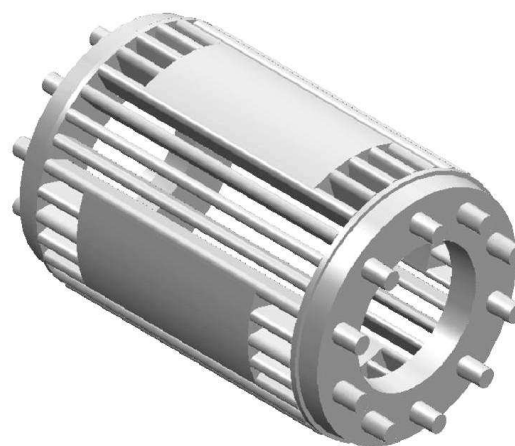
na zasilanie jednofazowe trójfazowego uzwojenia (połączenie w trójkąt z kondensatorem pracy połączonym równolegle z jedną z faz). Zabieg taki pozwolił na wyeliminowanie problemów ze zwojeniem stojana oraz zaowocował osiągnięciem wyraźnie korzystniejszych parametrów silnika. Zmniejszyły się przyrosty temperatur uzwojeń i hałas, wyraźnie poprawiły się parametry elektryczne. Kwestią do rozwiązania pozostała zmienność momentu rozruchowego w funkcji kąta położenia wirnika.

Rozpoczęto szereg prób modyfikacji wirnika w celu poprawy parametrów rozruchowych silnika. Pozytywnych efektów nie dała ani korekta skosu, pojemności kondensatora, ani zastosowanie wirnika z magnesami trwałymi umieszczonymi w szerokich złóbkach wirnika (szczegółowy opis wirnika z magnesami trwałymi podaje publikacja [2]). Co więcej zastosowanie magnesów trwałych zwiększyło jeszcze asymetrię wirnika co dało efekt jak na rysunku 4.



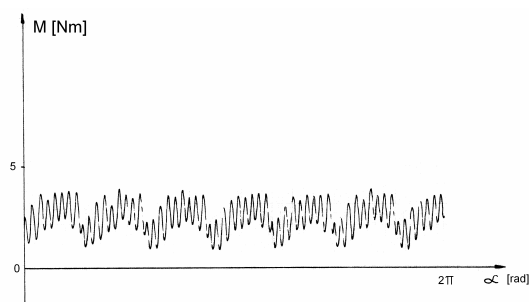
Rys. 4. Wykres zależności momentu rozruchowego w funkcji kąta położenia wirnika dla silnika z uzwojeniem trójfazowym zasilanym jednofazowo w układzie Steinmetza i wirnikiem z magnesami trwałymi.

Bazując na doświadczeniu przy stosowaniu niekonwencjonalnych rozwiązań konstrukcyjnych dokonano prób skonstruowania wirnika hybrydowego. Połączono część wirnika reluktancyjnego z fragmentami klasycznego wirnika klatkowego. Klatkę wirnika silnika reluktancyjnego 1-fazowego przedstawia rysunek 5.

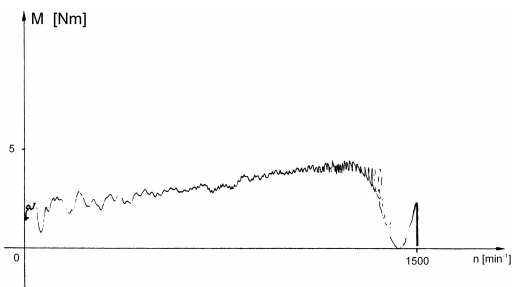


Rys. 5. Klatka wirnika silnika reluktancyjnego 1-fazowego

Dzięki takim zabiegom podniesiono wartość momentu rozruchowego asynchronicznego M_r oraz ograniczono jego wahania w funkcji kąta położenia wirnika. Poprawa powyższych parametrów odbyła się oczywiście kosztem momentu maksymalnego synchronicznego M_{max} , jednakże po kilku próbach znaleziono optymalne rozwiązanie. Wykres zależności momentu rozruchowego w funkcji kąta położenia wirnika oraz charakterystykę dla finalnej wersji silnika RSSh71-4C przedstawiają rysunki 6 i 7.



Rys. 6. Wykres zależności momentu rozruchowego w funkcji kąta położenia wirnika dla silnika z uzwojeniem trójfazowym zasilanym jednofazowo w układzie Steinmetza i wirnikiem hybrydowym



Rys. 7. Charakterystyka mechaniczna silnika z uzwojeniem trójfazowym zasilanym jednofazowo w układzie Steinmetza i wirnikiem hybrydowym

Zależnie od wymagań aplikacji, w której mógłby być zastosowany powyższy silnik można optymalizować wirnik, a zarazem parametry silnika poprzez różny stosunek długości części asynchronicznej do synchronicznej (reluktancyjnej) oraz jej układ (rozmięszczenie). Można w taki sposób sterować zarówno momentem rozruchowym asynchronicznym jak i momentem maksymalnym synchronicznym. Zależność jest prosta – im większy udział części asynchronicznej (klasycznej) w wirniku, tym bardziej charakterystyka silnika zbliża się do standardowego silnika indukcyjnego, a więc maleje możliwość wejścia w synchronizm, ale za to uzyskujemy pewniejszy rozruch asynchroniczny.

5. Wnioski

Powstała wersja silnika wciąż jest w fazie końcowych testów i prób optymalizacji obwodu elektromagnetycznego. Pomimo tego, wyniki badań pozwalają stwierdzić, że osiągnięto sukces. Udało się połączyć zalety silnika synchronicznego czyli pracę ze stałą prędkością obrotową z możliwością jednofazowego zasilania i prostotą konstrukcji bazującej na konstrukcji silnika indukcyjnego klatkowego.

Prowadzone są równoległe prace nad wykorzystaniem powyższej konstrukcji wirnika w silniku reluktancyjnym trójfazowym. Zabieg taki ma na celu uzyskiwanie prędkości synchronicznej przy stosunkowo dużych momentach bezwładności urządzenia napędzanego. Dotychczasowa konstrukcja zapewniała wejście w synchronizm przy 10-krotności momentu bezwładności napędzanego urządzenia w stosunku do momentu bezwładności wirnika silnika.

6. Literatura

- [1]. Gańsiorowski T., Wieczorek A.: „Silniki reluktancyjne synchroniczne – alternatywa napędu z układem sprzężenia zwrotnego”. Zeszyty Problemowe BOBRME „Komet” nr 62/2001.
- [2]. Glinka T., Jakubiec M., Rossa R.: „Silniki synchroniczne o rozruchu asynchronicznym”. Zeszyty Problemowe BOBRME „Komet” nr 68/2004.