

MINIMALIZACJA STRAT MOCY W TRÓJFAZOWYM SYNCHRONICZNYM SILNIKU RELUKTANCYJNYM POWER LOSS MINIMIZATION IN A THREE-PHASE SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTOR

Abstract: The three-phase reluctance motor has been investigated of rated power $P_N = 1,8$ kW and $n_N = 1500$ rpm. The motor was tested for the five selected frequencies $f_S = 50, 40, 30, 20, 10$ Hz. The load test was made for supplying with a rated voltage and with an optimal voltage. It was found that at optimal operation of the motor, its efficiency can be significantly improved, in particular at part load. The optimal power factor has constant value $\cos\phi = 0,5$ and is independent from load and frequencies of the supply voltage.

1. Wstęp

W synchronicznym silniku reluktancyjnym, podobnie jak w silniku indukcyjnym, istnieje możliwość optymalizowania sprawności przez minimalizowanie strat mocy w zależności od obciążenia maszyny [2,3]. W silniku tym można wyróżnić trzy rodzaje strat:

- straty mechaniczne,
- straty w uzwojeniu stojana,
- straty w żelazie.

Optymalizacja sprawności dla danego obciążenia realizowana jest przez dobór optymalnej wartości strumienia magnetycznego dla danego obciążenia. Praktycznie odbywa się to przez nastawianie odpowiedniej, wartości napięcia zasilającego, tak aby suma strat w uzwojeniach stojana i strat w żelazie osiągnęła minimum. Należy podkreślić, że ze względu na stałość strat mechanicznych wynikających ze stałej prędkości obrotowej nie mają one bezpośredniego wpływu na proces minimalizacji strat.

2. Budowa silnika

Badania laboratoryjne przeprowadzono na synchronicznym silniku reluktancyjnym o następujących danych znamionowych:
typ RSKg 100 L – 4 B/S

$$P_N = 1,8 \text{ kW}$$

$$U_N = 400 \text{ V}$$

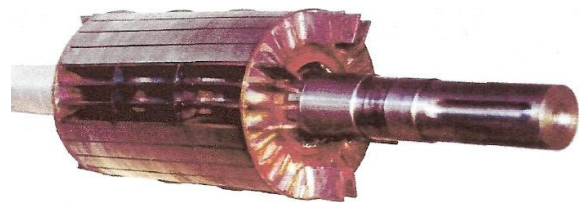
$$n_N = 1500 \text{ obr/min.}$$

$$f_S = 50 \text{ Hz}$$

układ połączeń uzwojeń stojana w gwiazdę

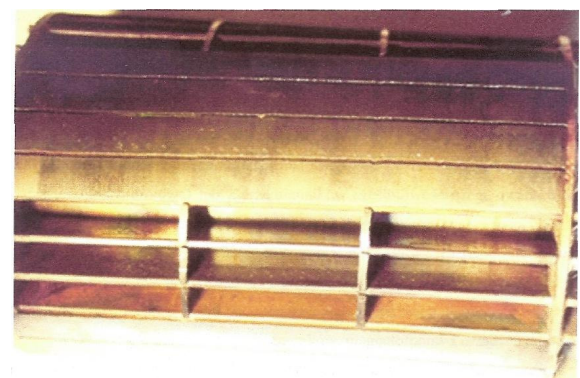
producent: BEVI - Szwecja

Wirnik badanego silnika wykonany był w tradycyjny sposób. Pakiet wirnika miał zróżnicowaną wysokość w osi d i w osi q , co zapewniało niezbędną dla pracy takiego silnika różnicę w przewodności magnetycznej w obu osiach. Mniejszą wysokość w osi q uzyskano w niewyszukany sposób, tj. przez likwidację zębów wirnika w tym obszarze, rys.1.



Rys.1.:Widok wirnika badanego silnika reluktancyjnego

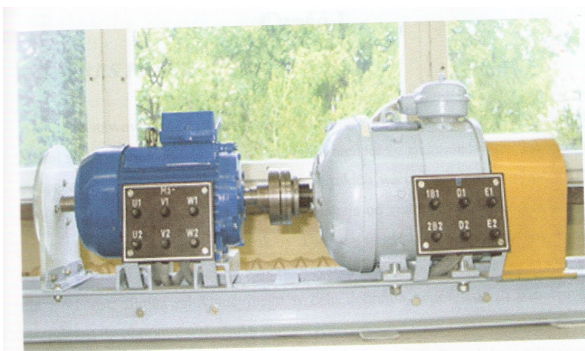
Wirnik został wyposażony również w miedzianą klatkę rozruchową, której część prętów została osadzona w żłobkach pakietu wirnika, rys.2.



Rys.2.:Widok prętów miedzianej klatki rozruchowej osadzonej na wirniku

3. Badania silnika

Przeprowadzono próbę obciążenia silnika reluktancyjnego współpracującego z wycechowaną hamownicą prądu stałego, rys.4.



Rys.4. Widok zespołu do badania silnika reluktancyjnego

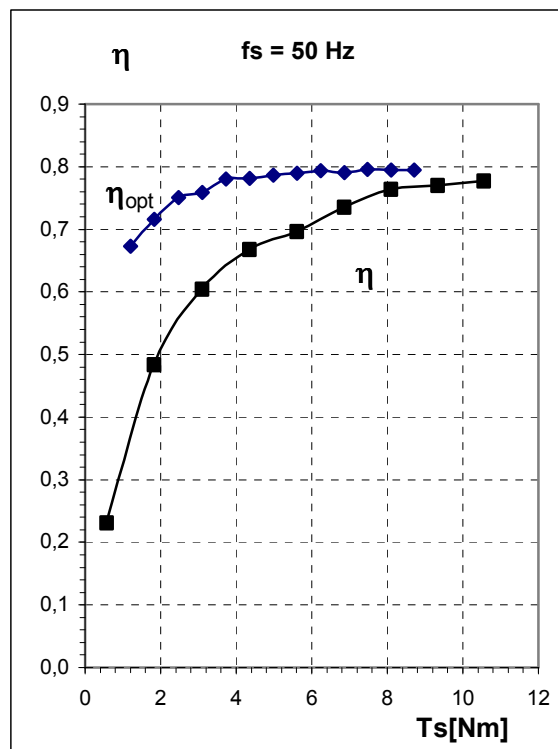
Pomiary przeprowadzono dla kilku wybranych częstotliwości napięcia zasilającego, a mianowicie: $f_s = 50, 40, 30, 20, 10$ Hz. Próby obciążenia wykonano dla dwóch przypadków:

- silnik zasilany napięciem znamionowym właściwym dla danej częstotliwości,
- silnik zasilany napięciem optymalnym dla danej częstotliwości i dla danego obciążenia.

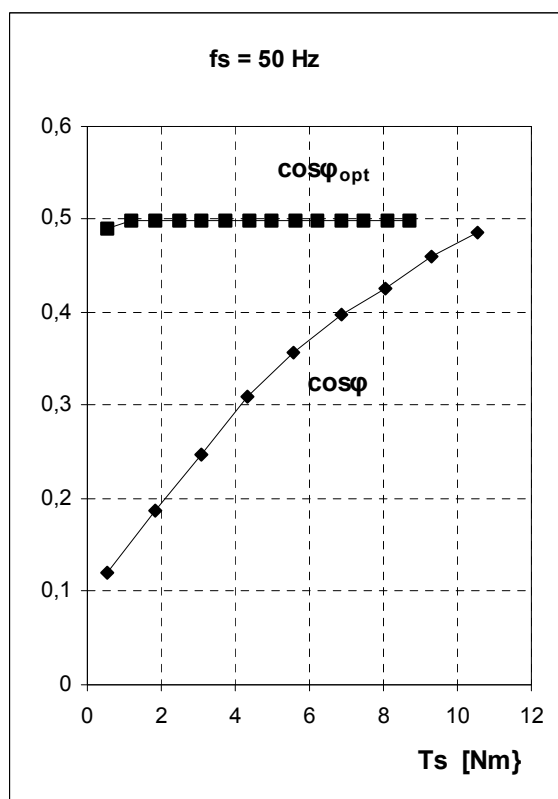
Należy nadmienić, że źródłem napięcia o sinusoidalnym przebiegu i regulowanej częstotliwości była prądnica synchroniczna o mocy $P_N = 11$ kW.

Na poniższych rysunkach przedstawiono przykładowo zmiany sprawności i współczynnika mocy dla zasilania napięciem znamionowym oraz dla zasilania napięciem optymalnym, dobranym dla nastawionego obciążenia. Jako przykładowe wybrano charakterystyki dla dwóch częstotliwości: $f_s = 50$ i 30 Hz, [7].

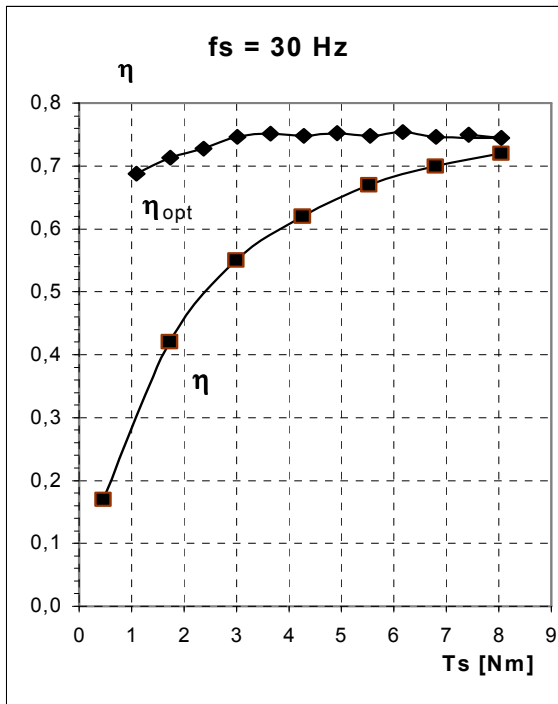
W celu określenia wartości napięcia optymalnego zastosowano specjalny układ pomiarowy z miernikiem parametrów sieci N10. Wartość optymalną napięcia otrzymywano wtedy, kiedy przy danym obciążeniu uzyskiwano minimum mocy pobieranej z sieci



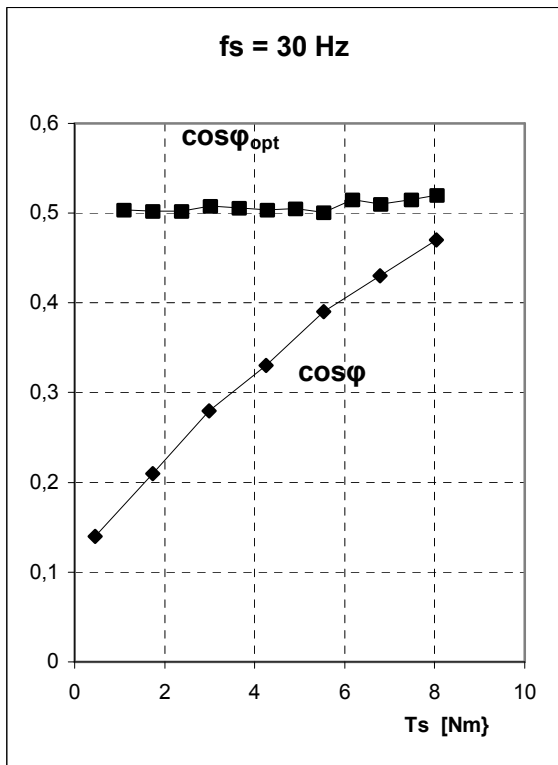
Rys.5. Sprawność silnika reluktancyjnego dla zasilania napięciem znamionowym η i zasilania napięciem optymalnym η_{opt} dla $f_s = 50$ Hz



Rys.6. Współczynnik mocy silnika reluktancyjnego dla obu napięć zasilania dla $f_s = 50$ Hz



Rys.7. . Sprawność silnika reluktancyjnego dla zasilania napięciem znamionowym η i zasilania napięciem optymalnym η_{opt} dla $f_s = 30$ Hz



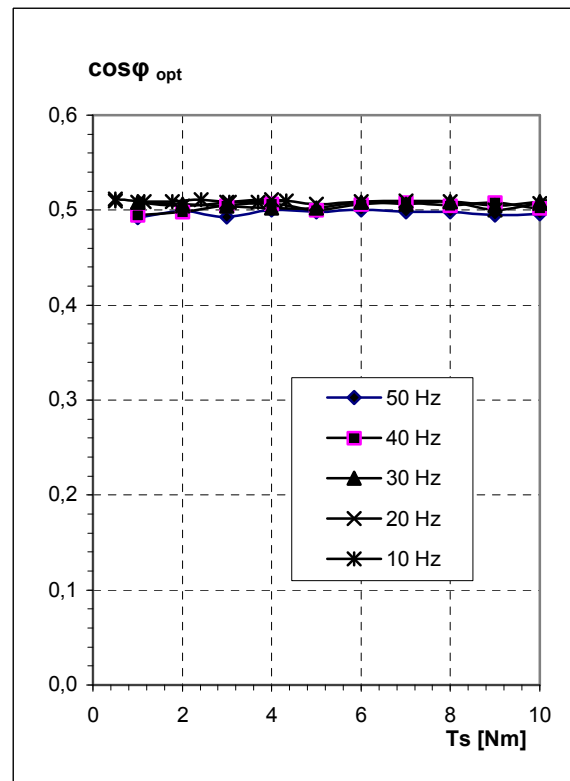
Rys.8. Współczynnik mocy dla obu napięć zasilania dla $f_s = 30$ Hz

Z przedstawionych wykresów wynika, że przy zasilaniu napięciem optymalnym następuje radykalna poprawa sprawności silnika dla obciążeń mniejszych od znamionowego. Znamionowy moment dla połączenia uzwojeń stojana w gwiazdę wynosi:

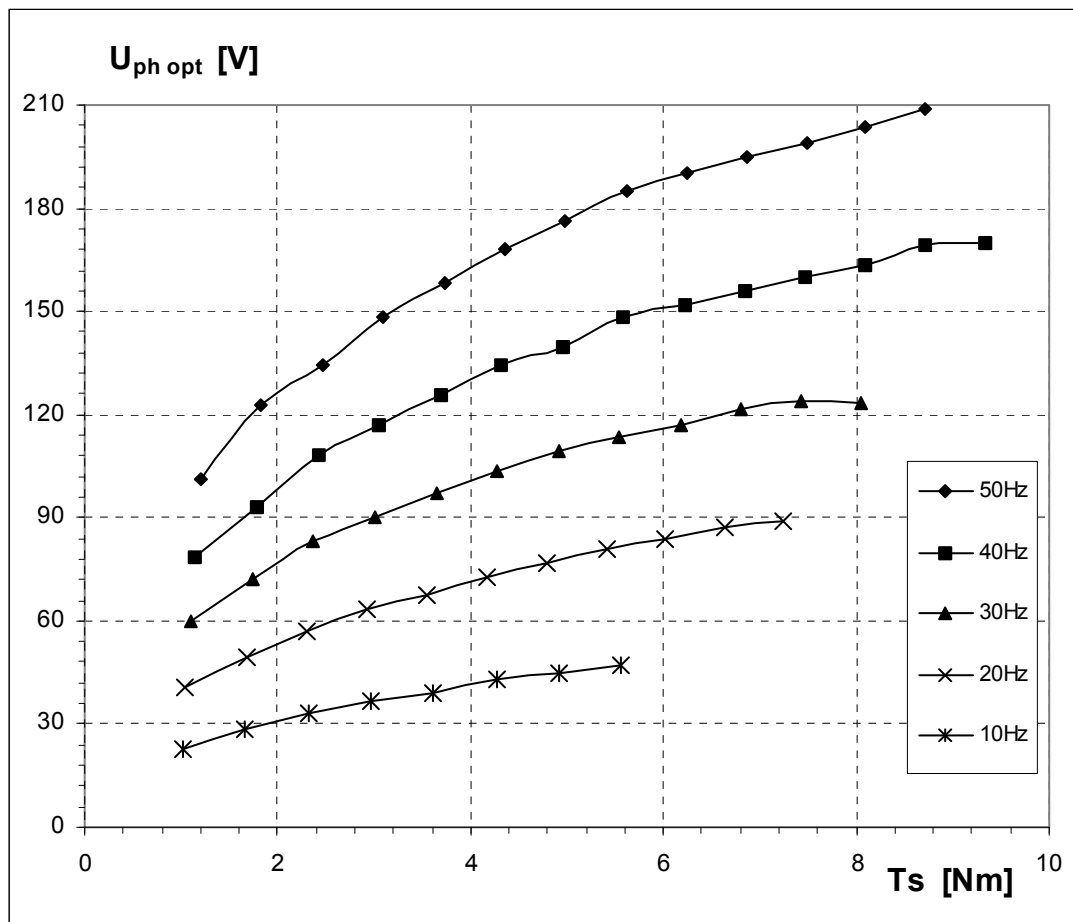
$$T_{SN} = \frac{P_N}{2\Pi n_S} = \frac{1800}{2\Pi \times 25} = 11,5 Nm \quad (1)$$

Próby dla obciążenia momentem znamionowym nie przeprowadzono, gdyż wiązałoby się to z przekroczeniem dopuszczalnej przeciążalności prądem miernika parametrów sieci N10.

W interesujący sposób zachowuje się współczynnik mocy. Przy zasilaniu napięciem znamionowym, dla wartości momentów bliskich znamionowemu, $\cos\varphi$ zbliża się do optymalnych wartości współczynnika mocy $\cos\varphi_{opt}$, uzyskanych przy zasilaniu silnika napięciem optymalnym. Wartość współczynnika mocy dla zasilania napięciem optymalnym jest praktycznie stała, niezależna od obciążenia.



Rys.9. Współczynnik mocy $\cos\varphi$ silnika przy zasilaniu napięciem optymalnym dla wybranych częstotliwości



Rys.10. Napięcie fazowe optymalne $U_{ph\ opt}$ synchronicznego silnika reluktancyjnego w funkcji obciążenia momentem T_s dla przebadanych częstotliwości zasilania [7]

Jeszcze lepiej daje się to uchwycić na charakterystykach zbiorczych, sporządzonych dla wszystkich przebadanych częstotliwości, rys.9. Z rysunku tego wynika, że praktycznie dla każdej częstotliwości wartość współczynnika mocy dla zasilania napięciem optymalnym nie ulega zmianie. Należy podkreślić, że optymalna wartość tego współczynnika zachowuje się podobnie jak w silniku indukcyjnym i jest bardzo bliska wartości znamionowej [5].

Wartości napięć optymalnych przedstawione na rys.10 zmieniają się podobnie jak dla innych maszyn prądu przemiennego, np. silnika indukcyjnego klatkowego [6]. Ogólnie wzrostowi częstotliwości napięcia zasilającego oraz wzrostowi obciążenia momentem towarzyszy zwiększanie wartości napięcia optymalnego.

Na wykresie brakuje wartości napięć optymalnych dla biegu jałowego. Wynika to z tego, że nie można było uzyskać pracy z prędkością synchroniczną przy małych wartościach napięcia optymalnego i niewielkim obciążeniu. Silnik w takich warunkach przechodził natychmiast na pracę asynchroniczną.

W miarę obniżania częstotliwości zmniejszono obciążenia momentem maksymalnym aby nie nastąpiło przegrzanie silnika reluktancyjnego wynikające z tego, że miał on chłodzenie własne. Przy obudowie zamkniętej i zmniejszającej się prędkości obrotowej związanej z obniżeniem częstotliwości, przyrosty temperatury poszczególnych elementów maszyn mogłyby wzrastać do wartości niepożądanych wskutek pogorszonych warunków chłodzenia.

4. Wnioski

W synchronicznym silniku reluktancyjnym trójfazowym podobnie jak w silniku indukcyjnym możliwe jest minimalizowanie strat przez dobór optymalnej wartości strumienia. Optymalną wartość tego strumienia uzyskuje się przez zasilanie maszyny napięciem optymalnym właściwym dla danego obciążenia. Przeprowadzone badania silnika zasilanego napięciem o przebiegu sinusoidalnym prowadzą do następujących spostrzeżeń:

- w przypadku badanego silnika obserwuje się znaczącą poprawę sprawności dla obciążeń mniejszych od znamionowego,
- poprawa sprawności jest tym większa, im mniejsze jest obciążenie silnika,
- badany silnik ma tę korzystną cechę, że dla obciążenia momentem znamionowym jego sprawność znamionowa jest bliska sprawności optymalnej i jest tym samym idealnym obiektem do współpracy z układami minimalizującymi straty w maszynie,
- współczynnik mocy przy zasilaniu napięciem optymalnym niezależnie od częstotliwości napięcia zasilającego przyjmuje stałą wartość równą w tym przypadku $\cos\varphi = 0,5$,
- stałość współczynnika mocy pozwala wnioskować, że przy sterowaniu prądowym składowe wektora przestrzennego I_{sd} i I_{sq} będą pozostawały w stałej relacji, niezależnie od obciążenia silnika,
- współczynnik mocy ze względu na jego stałą wartość i niezależność od częstotliwości napięcia zasilającego może stanowić kryterium optymalizacyjne przy zastosowaniu strategii poszukiwawczych dla potrzeb minimalizacji strat mocy w silniku reluktancyjnym,
- współczynnik mocy przy zasilaniu napięciem optymalnym jest porównywalny z wartością współczynnika mocy przy obciążeniu znamionowym.

5. Literatura

- [1] Boldea I.: *Reluctance synchronous machines and drives*. Clarendon Press Oxford 1996
- [2] Jung-Sik Choi, Jac-Sub Ko, Dong-Hwa Chung: *Efficiency Optimization Control of SynRM Drive*, SICE-ICASE International Joint Conference 2006
- [3] Lubin T., Razik H., Rezzoug A.: *On-line efficiency optimization of a synchronous reluctance motor*. Electric Power Systems Research, Vol.77 Issue:5-6 April 2007, pp.1-1
- [4] Kaźmierkowski M.P., Krishnen R., Blaabjerd F.: *Control in Power Electronics*. Academic Press-USA, 2002
- [5] Banach H.: *Współczynnik mocy indukcyjnego silnika klatkowego pracującego z minimalnymi stratami*. Proceedings of XL International Symposium on Electrical Machines SME "Losses and Efficiency in Electrical Machines", Hajnówka -18.06.2004, str.56-57
- [6] Banach H.: *Metoda doboru wartości napięcia zasilającego minimalizującego straty mocy w indukcyjnym silniku klatkowym*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne nr78/2007, wyd. BOBRME Komel, str.91-94
- [7] Klimowicz A., Kusyk M.: *Minimalizacja strat mocy w trójfazowym silniku synchronicznym reluktancyjnym*. Praca dyplomowa, Politechnika Lubelska 2009, opiekun pracy - dr inż. Henryk Banach

Autor

Dr inż. Henryk Banach

Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Lubelska
ul.Nadbystrzycka 38 A
20-618 Lublin

tel. 81 / 538-46-06

e-mail:h.banach@pollub.pl