

Praca optymalna obcowzbudnego silnika prądu stałego

Streszczenie. W artykule dokonano porównania wyników badań symulacyjnych i laboratoryjnych dotyczących pracy optymalnej obcowzbudnego silnika prądu stałego. Wykazano, że wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych nie wykazują znaczących różnic i mogą być przydatne do zastosowań technicznych. Jednakże zachodzi konieczność opracowania algorytmu pozwalającego na analityczne wyznaczenie optymalnych wartości prądu wzbudzenia, co pozwoli na uniknięcie kłopotliwych badań symulacyjnych, a tym bardziej badań laboratoryjnych.

Abstract. In the article comparison of simulation and laboratory test results on the optimal operation of the separately excited dc motor is presented. It is shown that the results of the simulation and laboratory tests show no significant differences and can be useful for technical applications. However, there is a need to develop an algorithm to determine the optimal excitation current, in order to avoid embarrassing. **Optimal operation of the separately excited dc motor**

Słowa kluczowe: silnik obcowzbudny prądu stałego, praca optymalna, minimalizacja strat mocy

Keywords: separately excited d.c. motor, optimal operation, minimizing of power losses

Wstęp

W silnikach prądu stałego, podobnie jak w silnikach indukcyjnych pracujących przy zmiennych obciążeniach, istnieje możliwość obniżania strat przez odpowiedni dobór wartości strumienia stosownie do aktualnego obciążenia. Parametrem zasilania który minimalizuje straty całkowite w silniku, zapewniając maszynie tym samym pracę optymalną, jest odpowiednio sterowany prąd wzbudzenia. Rozważania związane z poprawą sprawności prowadzone są najczęściej przy założeniu stałej prędkości obrotowej, co sprawia, że pracę optymalną silnika dla dowolnego obciążenia można scharakteryzować przez podanie optymalnej wartości prądu wzbudzenia. Kolejny parametr to prąd twornika, którego wartość związana jest z momentem obciążenia oraz napięcie zasilania twornika wynikające z konieczności zachowania stałej prędkości obrotowej.

Zagadnieniom minimalizacji strat poświęcono już wiele artykułów w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Jednym z pierwszych był [1], w którym autorzy przedstawili możliwość budowy algorytmu sterowania w oparciu o zależności pomiędzy stratami. Znaczącym był również [2], gdzie przedstawiono oryginalne sterowanie silnika obcowzbudnego na podstawie opracowanego dość skomplikowanego modelu strat. Od połowy lat dziewięćdziesiątych obserwuje się praktycznie zanik zainteresowania problematyką minimalizacji strat w silnikach obcowzbudnych prądu stałego. Spowodowane to zostało przypuszczalnie coraz bardziej ekspansywnym wchodzeniem na rynki silników prądu stałego z magnesami trwałymi wysokoenergetycznymi typu BLDC. W ślad za tym zaczęła się pojawiać duża ilość artykułów poświęconych minimalizacji strat mocy w tego typu silnikach.

Niniejszy artykuł powraca do zagadnienia poprawy sprawności w konwencjonalnym obcowzbudnym silniku prądu stałego poprzez przedstawienie i porównanie wyników badań symulacyjnych, pracy optymalnej z wynikami badań laboratoryjnych, [3,4,5].

Opis badań

Przedmiotem badań symulacyjnych oraz badań laboratoryjnych był silnik prądu stałego wyprodukowany w „Komelu” o następujących danych:

Typ PZMb 44a

$P_N = 1,5 \text{ kW}$

$U_N = 220 \text{ V}$

$I_N = 8,6 \text{ A}$

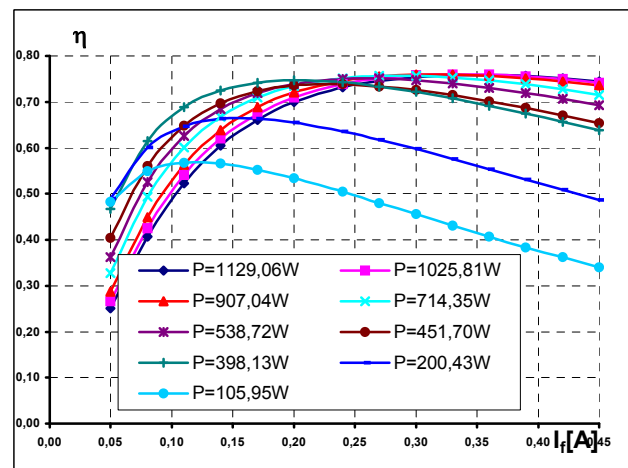
$n_N = 1500 \text{ obr/min}$

$I_{fN} = 0,40 \text{ A}$

Na potrzeby procesu symulacyjnego dokonano pomiaru następujących parametrów:

- rezystancji uzwojenia obwodu twornika i uzwojenia wzbudzenia w stanie nagrzanym,
- charakterystyki magnesowania maszyny tj. zależności napięcia indukowanego w funkcji prądu wzbudzenia dla wybranych prędkości obrotowych,
- strat jałowych w funkcji prądu wzbudzenia dla wybranych prędkości obrotowych.

Obliczenia symulacyjne polegały na przyjmowaniu kolejnych wartości mocy na wale z przedziału $(0,2-1,2)P_N$, właściwych dla założonych prędkości obrotowych. Dla każdej wartości mocy wydawanej dokonywano zmian prądu wzbudzenia, dochodząc tym samym do punktu pracy dla którego sprawność osiągała wartość maksymalną. Sposób postępowania ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Zależność sprawności w funkcji prądu wzbudzenia dla $n=1250 \text{ obr/min}$.

Badania laboratoryjne strat i sprawności przeprowadzono w układzie silnik obcowzbudny – wycechowana obcowzbudna prądnica prądu stałego o następujących parametrach:

Typ PZMb 44b

$P_N = 1,5 \text{ kW}$

$U_N = 220 \text{ V}$

$I_N = 6,5 \text{ A}$

$n_N = 1450 \text{ obr/min}$

$I_{fN} = 0,42 \text{ A}$

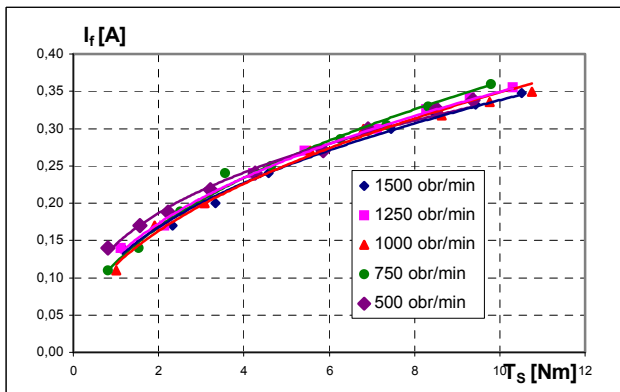
Do pomiarów sprawności badanego silnika zastosowano metodę bezpośrednią zgodnie z zależnością:

$$(1) \quad \eta = \frac{P}{P_{in}},$$

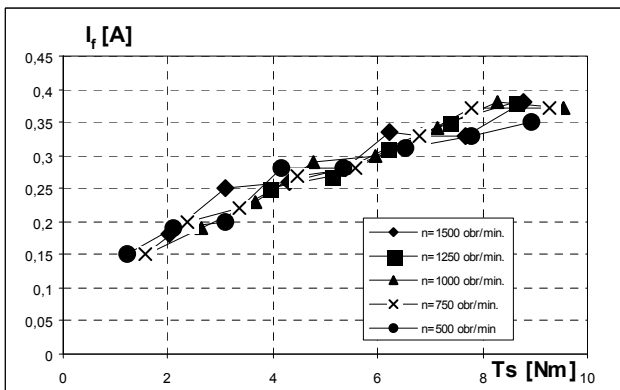
gdzie: P - moc wydawana na wale silnika, P_{in} - moc pobierana z sieci prądu stałego.

Porównanie optymalnych parametrów zasilania

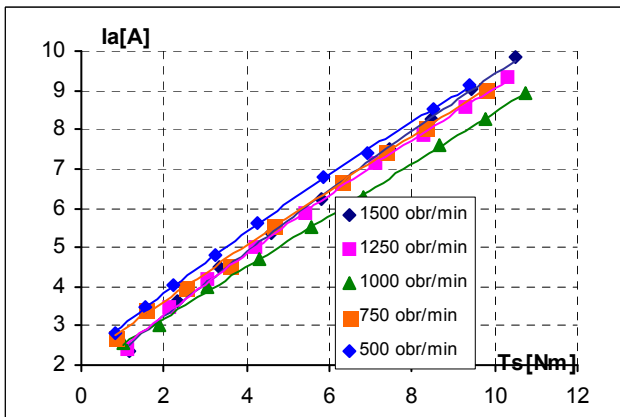
Jak już wspomniano wcześniej, najważniejszym parametrem jest optymalny prąd wzbudzenia umożliwiający pracę energooszczędną silnika obcowzbudnego. Poniżej przedstawiono wykresy tego prądu w funkcji momentu obrotowego otrzymane na drodze badań symulacyjnych rys.2 i laboratoryjnych rys.3.



Rys.2. Prąd wzbudzenia silnika dla przyjętych prędkości obrotowych w funkcji momentu na wale – badania symulacyjne



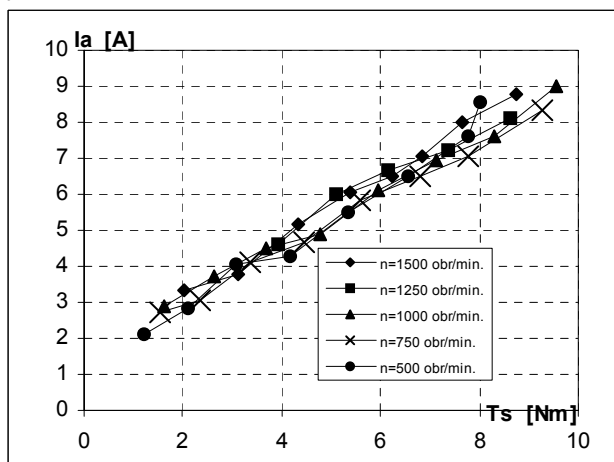
Rys.3. Prąd wzbudzenia silnika dla przyjętych prędkości obrotowych w funkcji momentu na wale – badania laboratoryjne



Rys.4. Prąd twornika dla przyjętych prędkości obrotowych w funkcji momentu na wale silnika – badania symulacyjne

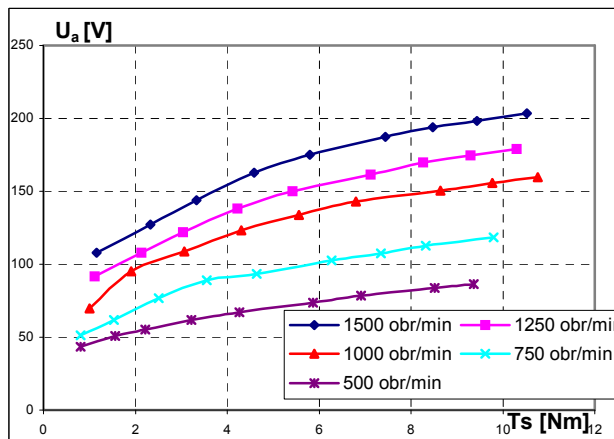
Ogólna tendencja związana ze wzrostem wartości prądu wzbudzenia przy zwiększającym się obciążeniu jest zachowana w obu przypadkach. Przedstawione prądy wzbudzenia stanowią rodzinę krzywych leżącą bardzo blisko siebie. Dla założonej stałej wartości momentu obciążenia skupienie rodziny prądów wzbudzenia jest znacznie silniejsze w przypadku badań symulacyjnych niż dla badań laboratoryjnych, cechujących się większym rozrzutem spowodowanych błędami pomiarowymi. Mimo tego zauważalne skupienie rodziny charakterystyk prądów wzbudzenia, wskazuje na możliwość zastąpienia ich jedną wypośredkowaną krzywą. W związku z tym pojawia się potencjalna możliwość budowy prostego układu sterowania w oparciu o związek pomiędzy prądem wzbudzenia, a momentem na wale silnika.

Drugim parametrem wynikającym z pracy optymalnej jest prąd twornika. Na poniższych wykresach przedstawiono zmiany tego prądu w zależności od obciążenia dla wybranych prędkości obrotowych, rys.4 i rys.5.



Rys.5. Prąd twornika dla przyjętych prędkości obrotowych w funkcji momentu na wale silnika – badania laboratoryjne

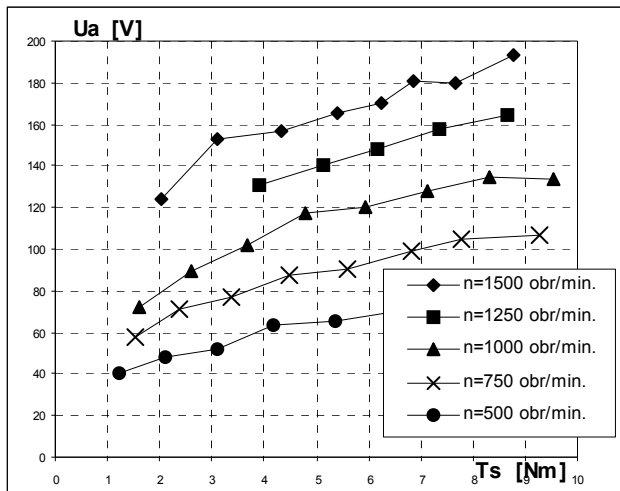
Porównanie obu wykresów wskazuje na podobne zmiany prądów twornika w obu przypadkach. Można je aproksymować funkcją liniową, a ich rozrzut w obu przypadkach jest niewielki.



Rys.6. Napięcie twornika w funkcji momentu na wale dla przyjętych prędkości obrotowych – badania symulacyjne

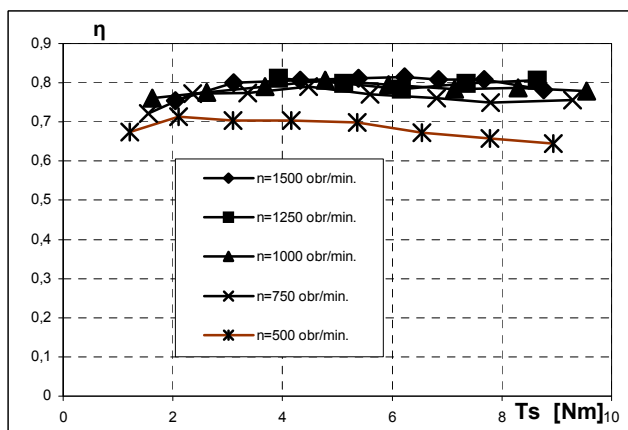
Z prądem twornika związane jest napięcie zasilania obwodu wirnika. Musi ono mieć odpowiednią wartość aby utrzymać założoną wartość prędkości obrotowej. Zmiany tego napięcia dla poszczególnych prędkości obrotowych pokazano na rys.6.

Wzrost obciążenia determinuje wzrost napięcia zasilającego. Wywołane jest to koniecznością pokrycia spadków napięć na zestyku ślizgowym i na rezystancji obwodu twornika, jak również rosnącą wartością napięcia indukowanego spowodowanego koniecznością jednoczesnego zwiększania wartości prądu wzbudzenia, rys. 7, [6].



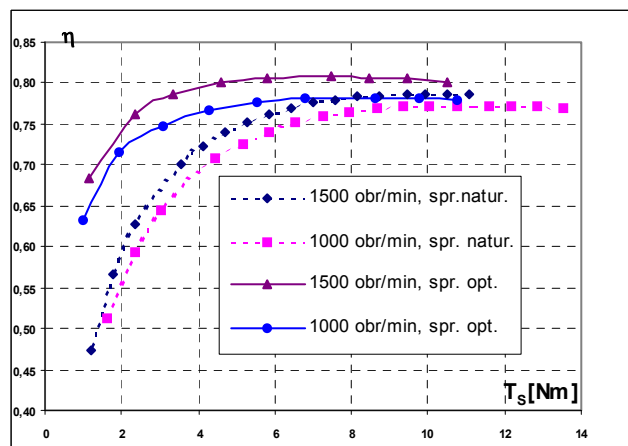
Rys. 7. Napięcie twornika w funkcji momentu na wale dla przyjętych prędkości obrotowych – badania laboratoryjne

Interesującym jest, jak będą przebiegały krzywe sprawności w warunkach pracy optymalnej. Na poniższym rys. 8 przedstawiono otrzymane wykresy sprawności na drodze badań laboratoryjnych. Krzywe sprawności zachowują prawie stałą wartość w szerokim zakresie obciążeń. Następuje istotna poprawa sprawności szczególnie w zakresie obciążeń znacznie mniejszych od obciążenia znamionowego.



Rys. 8. Wykresy sprawności w warunkach pracy optymalnej dla wybranych prędkości obrotowych – badania laboratoryjne

W celu lepszej ilustracji poprawy sprawności przy pracy optymalnej na rys. 9 dokonano porównania krzywych sprawności uzyskanych poprzez obliczenia symulacyjne, w warunkach zasilania prądem wzbudzenia o znamionowej wartości oraz prądem wzbudzenia optymalnym warunkującym pracę energooszczędną. Zauważalna poprawa sprawności ma miejsce dla wartości momentu obrotowego leżących w przedziale (0 – 0,6) T_{sN} .



Rys. 9. Porównanie charakterystyk sprawności „naturalnych” dla znamionowej wartości prądu wzbudzenia i optymalnych dla pracy energooszczędnej – badania symulacyjne

Wnioski końcowe

Przeprowadzone porównanie wyników badań symulacyjnych oraz laboratoryjnych dotyczących pracy optymalnej obcowzbudnego silnika prądu stałego pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- przedstawione wykresy wybranych wielkości w postaci optymalnych wartości prądu wzbudzenia, prądu twornika i napięcia zasilającego wykazują relatywnie dużą zgodność,
- wskazanym byłoby opracowanie analitycznej metody wyznaczania optymalnego prądu wzbudzenia w zależności od obciążenia i założonej prędkości obrotowej, aby uniknąć kłopotliwych badań symulacyjnych bądź laboratoryjnych w celu określenia optymalnych parametrów zasilania,
- algorytm do wyznaczania optymalnej wartości prądu wzbudzenia będzie oparty na znajomości parametrów silnika takich jak rezystancje poszczególnych uzwojeń, jak też na znajomości strat jałowych i charakterystyki magnesowania.

Autorzy: mgr inż. Grzegorz Bartosik, PPH Stel – ul. Stefczyka 36, 20 – 151 Lublin, E-mail: g.bartosik@pollub.pl
dr hab. inż. Henryk Banach, Politechnika Lubelska, Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: h.banach@pollub.pl

LITERATURA

- [1] Kusko A., Galler D.: Control means for minimization of losses in ac and dc motor drivers. *IEEE Transactions on Industry Application*, vol 1A-19, 1983 pp. 561-570.
- [2] Margaris N., Goutas T., Dowlgeir Z., Paschali A.: Loss minimization in dc drivers. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 38 1991, pp 328-336.
- [3] Bartosik G., Banach H.: Parametry zasilania silnika obcowzbudnego prądu stałego pracującego z minimalnymi stratami. *VI Sympozjum Naukowe-Sterowanie i Monitorowanie Układów Przemysłowych SM 2003*, str 13-19.
- [4] Bartosik G., Banach H.: Badania symulacyjne sprawności obcowzbudnego silnika prądu stałego w warunkach zmiennego obciążenia. *Zeszyty Problemowe-Maszyny Elektryczne nr 69/2004*, str.175-177.
- [5] Kwiatek M., Majewski R.: Badania strat i sprawności silnika obcowzbudnego prądu stałego małej mocy. *Praca dyplomowa inżynierska*, Politechnika Lubelska, Lublin 2008
- [6] Jabłoński M.: *Maszyny prądu stałego*, Politechnika Łódzka 1980.