

Prądnica tarczowa do małej elektrowni wiatrowej

Streszczenie. W artykule przedstawiono model bezrdzeniowej prądnicy tarczowej przeznaczonej do elektrowni wiatrowych o pionowej osi obrotu. Przeprowadzono badania symulacyjne modelu polowego w celu wyznaczenia indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej oraz indukowanych napięć. Na podstawie wyników symulacji, zbudowano model fizyczny prądnicy. Przedstawiono porównanie wyników badań symulacyjnych z wynikami badań laboratoryjnych modelu fizycznego.

Abstract. This article presents a model of coreless disc generator used in vertical axis wind turbines. Calculations were performed field model including the designation of a field of magnetic induction in the air gap and distribution of induced voltage. Based on simulation results, the model of a physical generator. A comparison of the results of simulations with the results of laboratory tests of the physical model. (Disc generator to a small wind turbine).

Słowa kluczowe: prądnica tarczowa, elektrownia wiatrowa

Keywords: disc generator, wind turbine

doi:10.12915/pe.2014.01.04

Wstęp

Wzrost cen energii w Polsce oraz prognozy dalszego jej wzrostu, wynikające z prawa unijnego wymuszającego zwiększenie udziału tzw. "zielonej energii" w produkcji energii elektrycznej powoduje, że coraz więcej odbiorców indywidualnych zainteresowanych jest produkcją energii za pomocą elektrowni wiatrowych. Rozwój technologii sprawia, że wytwarzanie energii wiatrowej szybko tanieje. W latach osiemdziesiątych XX wieku cena 1kWh energii wyprodukowanej z energii wiatru była kilkakrotnie większa od takiej samej ilości, wytworzonej w konwencjonalnych elektrowniach. Dziś ta proporcja zmalała już do dwóch. Uwzględniając w rachunku opłacalności po stronie strat szkody ekologiczne i zdrowotne związane ze spalaniem tradycyjnych kopalin, okazałoby się, że wiatr jest już dziś konkurencyjnym źródłem taniego prądu. Ilość wyprodukowanej energii zależy przede wszystkim od prędkości wiejącego wiatru. W związku z tym w klasycznych rozwiązaniach wiatraków stosowane są skomplikowane układy naprowadzające na wiatr, przekładnie, hamulce, itd. [1]. Inna sytuacja jest w przypadku konstrukcji elektrowni z wirnikiem o pionowej osi obrotu. Mogą one pracować niezależnie od kierunku wiejącego wiatru. Dodatkowo ich niska prędkość obrotowa powoduje, że są bardzo ciche, jednak wymagają stosowania prądnic wolnoobrotowych [1]. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań modelu symulacyjnego oraz wyniki badań laboratoryjnych modelu fizycznego takiej prądnicy. Zdecydowano się na konstrukcję prądnicy bezrdzeniowej, ze względu na brak momentu zaczepowego wywołanego współdziałaniem magnesów wirnika z rdzeniem magnetycznym stojana. W wyniku uzyskano praktycznie sinusoidalny rozkład indukcji w szczelinie, a tym samym sinusoidalny przebieg generowanego napięcia. Rezygnacja z rdzenia powoduje, że do rozruchu elektrowni wiatrowej potrzebny jest tylko niewielki moment napędowy, pokonujący jedynie moment bezwładności wirnika.

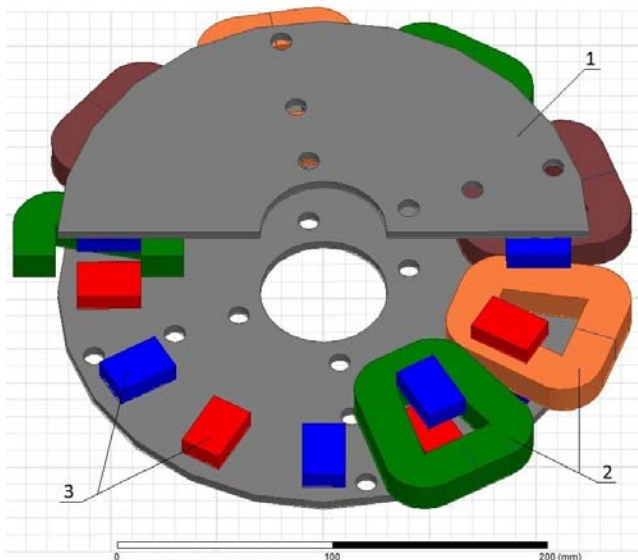
Model symulacyjny prądnicy

W badaniach symulacyjnych wykorzystano model prądnicy o prędkości 250 obr/min, który charakteryzował się następującymi parametrami:

Moc	$P=150\text{ W}$
Napięcie międzyfazowe	$U=24\text{ V}$
Prąd fazowy	$I=4,4\text{ A}$
Częstotliwość	$f=25\text{ Hz}$

Model symulacyjny prądnicy przedstawiono na rysunku 1. Zbudowany jest on z dwóch tarcz stalowych o grubości 5 mm, które stanowią wirnik maszyny (1). Na tarczach

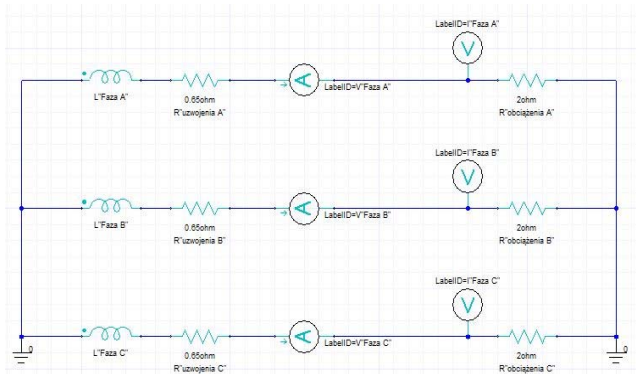
umieszczono 12 par magnesów trwałych o wymiarach 30x20x10, w taki sposób, aby naprzeciw siebie znajdowały się magnesy o przeciwnej polaryzacji (3). Stojan maszyny stanowi bezrdzeniowe uzwojenie w postaci 12 cewek o 115 zwojach, umieszczone pomiędzy ruchomymi tarczami (2). Na każdą fazę przypadają po trzy cewki, nawinięte drutem nawojowym o grubości 1,5 mm. Obliczona rezystancja uzwojenia pojedynczej fazy wynosi 0,65 Ω .



Rys. 1. Model symulacyjny bezrdzeniowej prądnicy tarczowej
1 - tarcza, 2 - cewki, 3 - magnesy

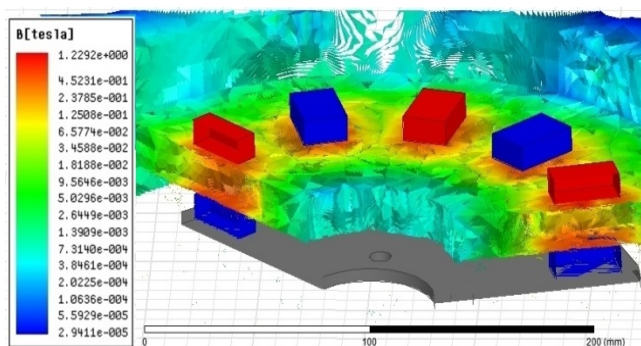
Wyniki badań symulacyjnych

Do odwzorowania obwodu magnetycznego prądnicy wykorzystano MES zaimplementowaną w oprogramowaniu Maxwell3D. Ze względu na charakterystyczny rozpląt strumienia magnetycznego w szczelinie prądnicy tarczowej, badania symulacyjne zostały wykonane na modelu trójwymiarowym. Po zdefiniowaniu właściwości materiałowych poszczególnych elementów modelu prądnicy, zadano wymuszenie w postaci stałej prędkości obrotowej wirnika $n=250\text{ obr/min}$. Przyjęto, że trójfazowe uzwojenie stojana połączone jest w sposób przedstawiony na schemacie elektrycznym, opracowanym w edytorze Maxwell Circuit Editor. W schemacie zadawane są między innymi rezystancja uzwojenia każdej fazy stojana, a także rezystancja odbiornika obciążającego generator (rys. 2).

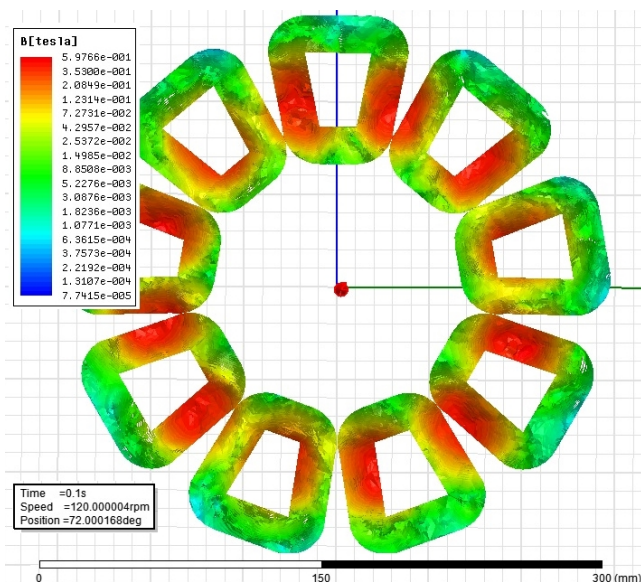


Rys. 2. Schemat elektryczny obwodu prądnicy

W pierwszym etapie badań symulacyjnych wyznaczono rozkład indukcji magnetycznej w szczelinie pomiędzy magnesami. Na rysunku 3 i 4 przedstawiono rozkład indukcji pola magnetycznego w poszczególnych elementach obwodu elektromagnetycznego w wybranej chwili czasowej.

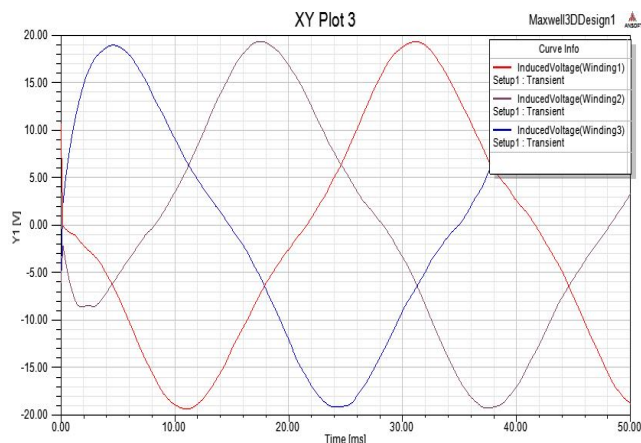


Rys.3. Rozkład indukcji magnetycznej pomiędzy magnesami



Rys. 4. Rozkład indukcji magnetycznej w uzwojeniach

Następnie wyznaczono przebiegi napięć indukowanych w uzwojeniach. Napięcia fazowe na biegu jałowym dla prędkości obrotowej $n=250$ obr/min przedstawiono na rysunku 5. Otrzymane w wyniku symulacji przebiegi mają kształt bardzo zbliżony do sinusoidy. W dalszej kolejności wyznaczono przebiegi napięć i momentu na wale prądnicy przy różnym prądzie obciążenia.

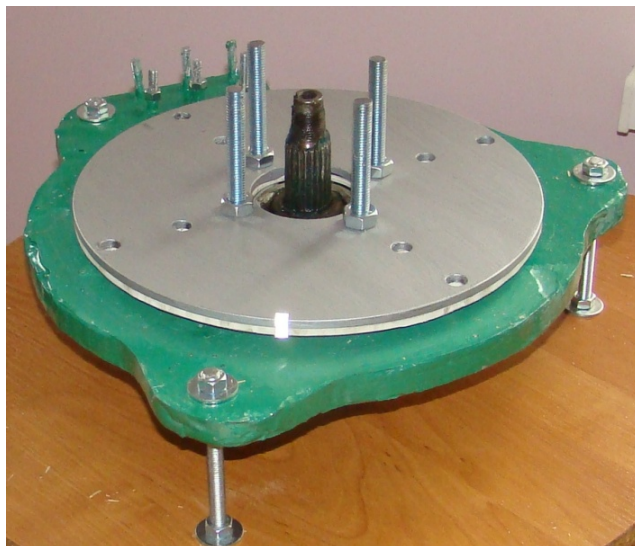


Rys. 5. Przebiegi napięć fazowych na biegu jałowym dla prędkości obrotowej 250 obr/min

Model fizyczny prądnicy

Wykorzystując wyniki badań symulacyjnych, opracowano i wykonano model rzeczywisty prądnicy. Model ten przedstawiono na rysunku 6. Model o średnicy 300 mm i masie całkowitej 9,7 kg wykonano w taki sposób, aby jego konstrukcja pozwalała na sprawną wymianę poszczególnych elementów, zarówno stojana, jak i wirnika. Największym problemem było wykonanie bezrdzeniowego uzwojenia tak, aby cewki każdej fazy były identyczne zarówno pod względem elektrycznym, jak i geometrycznym. Wiązało się to z odpowiednim ułożeniem cewek, zapewniającym symetrię napięć fazowych. W celu zapewnienia odpowiedniej grubości i wytrzymałości mechanicznej stojana, uzwojenia umieszczono w żywicy epoksydowej.

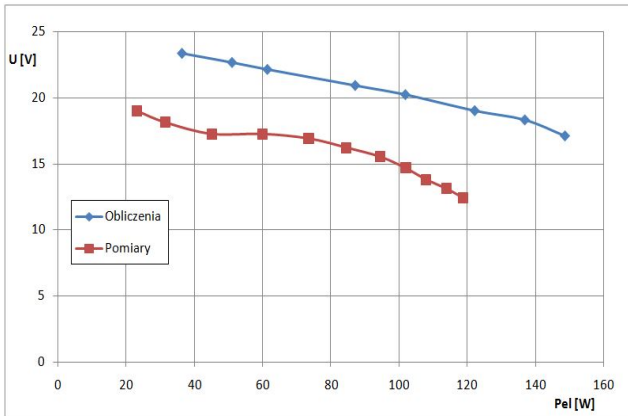
Dużą trudnością przy montażu prądnicy było utrzymanie stałej i możliwie jak najmniejszej szczeliny powietrznej pomiędzy wirującymi magnesami, a powierzchnią cewek stojana.



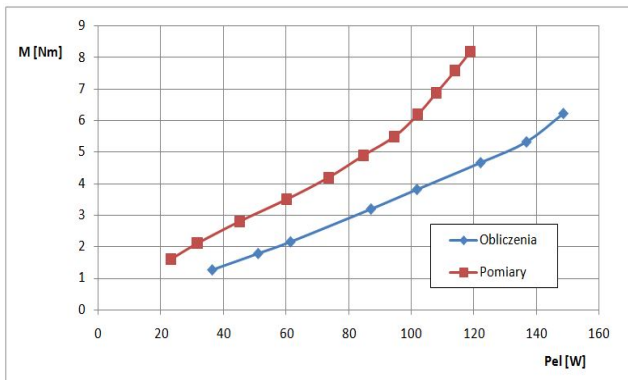
Rys. 6. Model fizyczny prądnicy tarczowej

Porównanie wyników obliczeń z wynikami badań laboratoryjnych

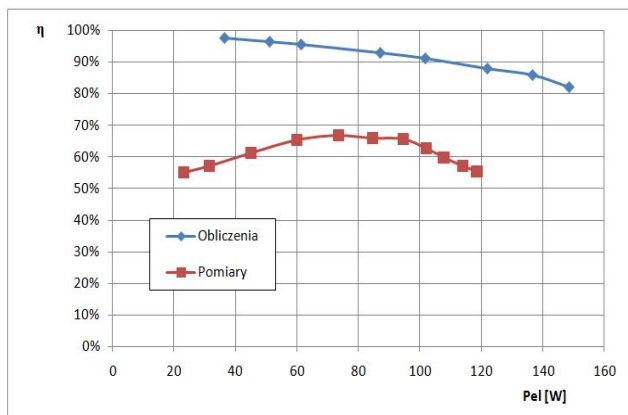
W celu zweryfikowania wyników uzyskanych w trakcie badań symulacyjnych, przeprowadzono badania laboratoryjne wykonanego modelu prądnicy. Do tego celu wykorzystano charakterystyki zależności wybranych parametrów modelu prądnicy oraz prądnicy rzeczywistej w funkcji mocy elektrycznej obciążenia przy ustalonej prędkości obrotowej wirnika – rys. 6, 7 i 8.



Rys. 6. Zależność napięcia na zaciskach prądnicy w funkcji mocy elektrycznej dla prędkości 250 obr/min



Rys. 7. Zależność momentu na wale prądnicy w funkcji mocy elektrycznej dla prędkości 250 obr/min



Rys. 8. Sprawność prądnicy w funkcji mocy elektrycznej dla prędkości 250 obr/min

Obliczenia MES modelu wykonanego w programie Maxwell3D różnią się od pomiarów wykonanych na rzeczywistym modelu. W przypadku napięcia generowanego przez prądnicę, różnica ta wynika

z wielkości szczeliny powietrznej między wirnikiem, a stojanem. W modelu symulacyjnym szerokość szczeliny była równa 1 mm. W rzeczywistym modelu szczelina wynosi 1,7mm, ze względu na ugięcie tarcz, spowodowane silnym oddziaływaniem magnesów oraz tolerancję wykonania stojana.

Różnice widać także na wykresie momentu hamującego na wale maszyny. Ta z kolei wynika z faktu, iż podczas symulacji uwzględniono moment hamujący wynikający tylko z obciążenia elektrycznego. W przeciwieństwie do modelu fizycznego, nie uwzględniono momentu hamującego wynikającego ze strat mechanicznych na łożyskach wału. Z tego powodu sprawność prądnicy wyznaczona na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych jest niższa od sprawności wyznaczonej na podstawie symulacji.

Podsumowanie i wnioski końcowe

W artykule omówiono bezrdzeniową prądnicę tarczową przeznaczoną do małych elektrowni wiatrowych o pionowej osi obrotu. Podstawowymi zaletami przedstawionej prądnicy są praktycznie sinusoidalny przebieg indukowanych napięć fazowych oraz brak statycznego momentu hamującego wywołanego momentem zaczepowym, którego nie ma w opracowanej prądnicy.

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych dotyczące pracy prądnicy przy prędkości wirnika 250 obr/min. Należy jednak mieć na uwadze, że podstawowe parametry, takie jak generowane napięcie, moc, czy częstotliwość, ściśle zależą od prędkości wiejącego wiatru.

LITERATURA

- [1] Polak A., Barański M.: *Porównanie turbin wiatrowych*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, nr 74 2006
- [2] Glinka T., Jakubiec M.: *Rozwiązania silników tarczowych*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, 77 (2007), 243-249
- [3] Wang W., Cheng K.W.E., Ding K., Meng L.c.: *A novel approach to the analysis of the axial-flux permanent-magnet generator with coreless stator supplying a rectifier load*, IEEE Transactions on Magnetic, 47 (2011), no.10, 2391-2394
- [4] Bumbly J.R., Martin R.: *Axial-flux permanent-magnet air-cored generator for small-scale wind turbines*, IEE Electric Power Applications, 152 (2005), no.5, 1065-1075
- [5] Glinka T., Król E., Wolnik T.: *Model polowy bezrdzeniowej maszyny tarczowej*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, 86 (2010), 187-190

Autorzy:

mgr inż. Jurij Owczynnukow, e-mail: owczynnukow@o2.pl;

mgr inż. Dominik Wojtaszczyk, e-mail:

d.wojtaszczyk@pwsz.kalisz.pl;

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu, Katedra Elektrotechniki, ul. Poznańska 201-205, 62-800 Kalisz