

Zbigniew Goryca, Damian Mazur
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego, Radom
Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

GENERATOR DO ELEKTROWNI WIATROWEJ O PIONOWEJ OSI OBROTU

GENERATOR FOR VERTICAL AXIS WIND TURBINE

Streszczenie: W artykule przedstawiono konstrukcję i wybrane wyniki badań generatora o mocy 2 kW i prędkości obrotowej 180 obr./min. przeznaczanego do małej elektrowni wiatrowej o pionowej osi obrotu. W elektrowni zastosowano turbinę typu H-Darrieus charakteryzującą się małą prędkością obrotową i niską wartością momentu rozruchowego. Z tego względu generator musi mieć mały moment zaczepowy ułatwiający rozruch elektrowni i małą prędkość obrotową dostosowaną do prędkości turbiny. Przy konstruowaniu generatora wykorzystano nowy, opatentowany sposób minimalizacji momentu zaczepowego oraz zastosowano wszystkie możliwe zabiegi zmniejszające jego masę. Wybrane wyniki badań obrazują zależność napięcia wyjściowego generatora od prędkości obrotowej i od obciążenia oraz przedstawiają kształt tego napięcia. Opracowany generator charakteryzuje się małą masą, dużą sprawnością oraz niezwykle małym momentem zaczepowym.

Abstract: The paper presents the construction and chosen results of test for generator of the power of 2kW and rotational speed of 180 rev/min destined for small wind power plant of vertical axis. Turbine of the type H-Darrieus having low rotational speed and cogging torque was applied in the power plant. Therefore the generator has to have low cogging torque allowing for start-up of power plant and low rotational speed adjusted to turbine speed. During the process of the generator construction, new patented methods allowing for minimization of cogging torque and all available methods decreasing its mass were used. Chosen results of test for generator show relationship between output voltage of generator and its rotational speed and additionally presents the output voltage waveform. Presented generator has low mass, high efficiency and extremely low cogging torque.

Słowa kluczowe: elektrownia wiatrowa, generator, analiza termiczna, moment zaczepowy

Keywords: wind turbine, generator, thermal analysis, cogging torque

1. Wstęp

Odbiorcy indywidualni zainteresowani są małymi konstrukcjami elektrowni wiatrowych przeznaczonymi do zasilania domów jednorodzinnych lub przeznaczonymi do wspomaganie systemów grzewczych w takich domach. W celu obniżenia kosztów i podwyższenia sprawności przetwarzania energii wiatru w energię elektryczną buduje się bezprzekładniowe konstrukcje [2], [8], [6], [7], [12], [13], w których turbina wiatrowa mocowana jest bezpośrednio na wale generatora. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się małe elektrownie wiatrowe o pionowej osi obrotu. Turbiny tego typu charakteryzują się małymi prędkościami obrotowymi i dzięki temu hałas wywołany przez nie jest niewielki i mało uciążliwy dla otoczenia. Ponadto urządzenia te można montować bezpośrednio na dachach domów (brak masztu) co dodatkowo zmniejsza nakłady finansowe na elektrownię. Mała prędkość

obrotowa takich turbin powoduje konieczność budowy wolnoobrotowych, wielobiegunowych generatorów. W pracy przedstawiono kolejną konstrukcję autora zapewniającą mały moment zaczepowy, co pozwala na start elektrowni przy małej prędkości wiatru. Zaletą tego generatora jest także mała masa wynikająca z zastosowania lekkiego wirnika i aluminiowej obudowy. Unikalna, opatentowana konstrukcja [5] obwodu magnetycznego pozwala uzyskać wyjątkowo mały moment zaczepowy przy prostych zębach blach stojana. Dzięki temu można efektywnie wykorzystać powierzchnię zębka i nie ma kłopotów związanych z wykonaniem uzwojenia tak, jak w przypadku stojanów o skośnych zębках.

2. Założenia konstrukcyjne

Przy projektowaniu generatora przyjęto następujące, podstawowe założenia:

- moc generatora 2 kW,
- napięcie wyjściowe 3X230 V,
- częstotliwość 50 Hz,
- prędkość obrotowa 180 obr./min.

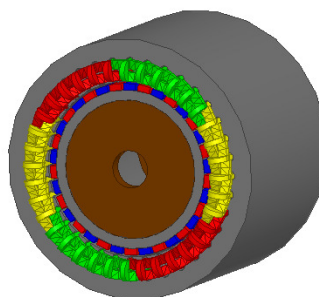
Tak mała prędkość obrotowa wynika z zastosowania do napędu generatora wolnobieżnej, trójłopatowej turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu. Mała prędkość obrotowa (180 obr./min.) przy częstotliwości napięcia wyjściowego 50 Hz narzuca liczbę biegunów wirnika równą 34.

3. Konstrukcja generatora

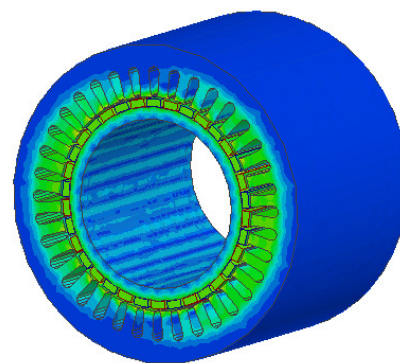
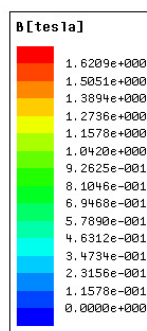
Podstawowym problemem w wielobiegunowych maszynach z magnesami trwałymi jest duży moment zaczepowy [2], [3], [8], [6], [13] wynikający z dużej liczby biegunów i proporcjonalny do tej liczby. Wywołuje on drgania maszyny podczas pracy i związany z nimi hałas. Poza tym elektrownia wiatrowa startuje dopiero przy znacznej prędkości wiatru, co ma głównie znaczenie psychologiczne dla odbiorcy. Najprostszym i najczęściej stosowanym sposobem minimalizacji tego momentu jest stosowanie skosu żłobków stojana [3], [4]. Można go jednak stosować w przypadkach, gdy długość pakietu blach stojana jest znaczna. Przy małej długości pakietu następuje wyraźne ograniczenie powierzchni użytkowej żłobka i trudności z umieszczeniem w nim uzwojenia. Innym popularnym sposobem minimalizacji momentu zaczepowego jest stosowanie skosu lub pseudoskosu (kilka magnesów na długości wirnika przesuniętych względem siebie o określony kąt) magnesów [10], [11]. Rozwiązanie to wymaga stosowania drogich przyrządów do klejenia magnesów i nie daje tak dobrych efektów jak skos zębów stojana. W przedstawionej konstrukcji minimalizację momentu zaczepowego uzyskano przez zastosowanie nietypowej, nieparzystej liczby zębów stojana różnej o dwa od liczby biegunów magnetycznych wirnika. Obliczenia projektowe modelu płaskiego wykonano przy użyciu programu COMSOL Multiphysics w wersji 3.3. Poniższe zdjęcia pokazują widok wykonanego prototypu generatora oraz widok prototypowej elektrowni wiatrowej z tym generatorem oraz rozkład temperatury analizowanego generatora.



Rys. 1. Widok wykonanego generatora



Rys. 2. Model CAD analizowanego generatora wykonany w programie Maxwell



Rys. 3. Rozkład indukcji magnetycznej analizowanego generatora wykonany w programie Maxwell

Analiza termiczna została przeprowadzona za pomocą komputerowej mechaniki płynów w systemie obliczeniowym Ansys Fluent, na podstawie strat powstałych na komponentach maszyny, określonych przy użyciu systemu obliczeniowego Ansys Maxwell.

Analiza termiczna jest wymagana w celu określenia rozkładu temperatury wewnątrz generatora, ponieważ zbyt wysoka temperatura może doprowadzić do rozmagnesowania się magnesów, jak również uszkodzenia izolacji uzwoje-

nia. Pośród metod termicznych stosowanych w maszynach elektrycznych można wyodrębnić dwie metody. Pierwsza z nich to tzw. metoda Schematów Ciepłych, natomiast drugą jest metoda numeryczna.

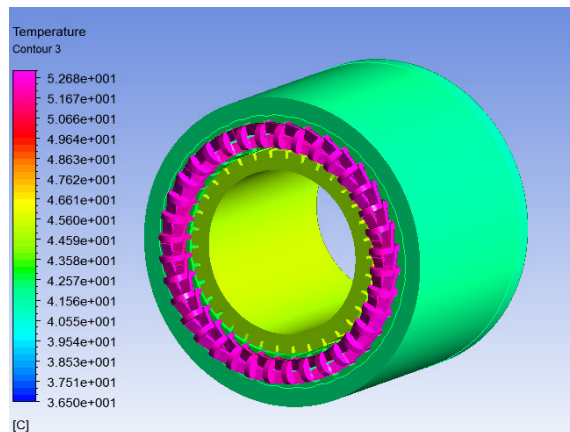
W naszym przypadku wykorzystaliśmy metodę numeryczną z wykorzystaniem komputerowej mechaniki płynów (CFD)

Określenie współczynnika przenikania ciepła (HTC) ma zasadniczy wpływ na rozprzestrzenianie się wytworzonego ciepła w generatorze. Wartość jego dla swobodnej konwekcji zazwyczaj przyjmowana jest w zakresie 2 do 25 W/(m²·°C) [10].

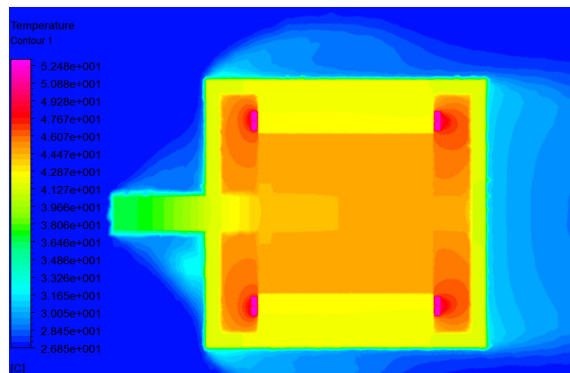
W przypadku zastosowania numerycznej mechaniki płynów wartość ta jest obliczana wraz z temperaturą.

W celu dokonania obliczeń termicznych należy zasymulować opływ generatora przez wiatr.

Analiza opływu została przeprowadzona dla prędkości opływu kadłuba generatora przez powietrze.



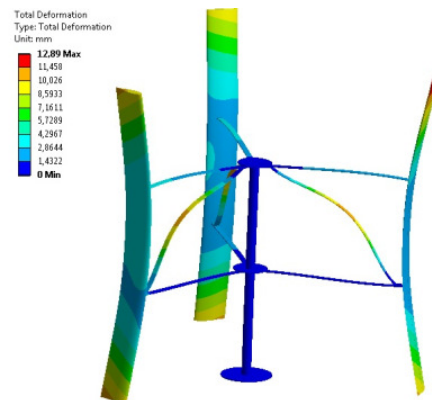
Rys. 4. Rozkład temperatury modelu 3D generatora dla prędkości opływu 2,5 m/s



Rys. 5. Rozkład temperatury na przekroju generatora dla prędkości opływu 2,5 m/s



Rys. 6. Widok małej elektrowni VAWT z opracowanym generatorem (targi ENERGETICS w Lublinie 2012 rok)



Rys. 7. Wyniki odkształceń sumarycznych dla modelu turbiny o osi pionowej

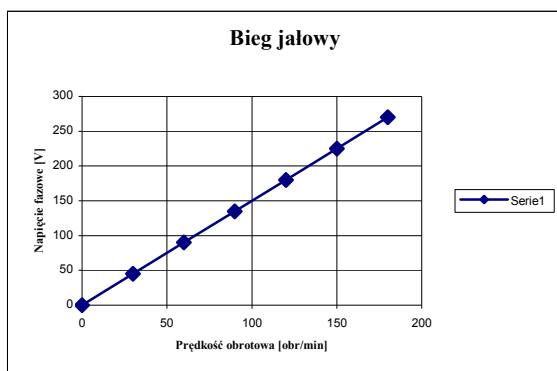
4. Badania laboratoryjne

Badania generatora obejmowały pomiary: momentu zaczepowego, pomiar napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej, Wyznaczenie charakterystyki zewnętrznej oraz obserwację kształtu napięcia fazowego i przewodowego. Badany generator napędzany był przez przekładnię asynchronicznym silnikiem klatkowym zasilanym z falownika. Wartość maksymalną momentu zaczepowego zmierzono przy pomocy zrównoważonej dźwigni i precyzyjnych odważników. Dokonano 10–ciu pomiarów w różnych położeniach wirnika i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Jak wspomniano wcześniej średnia wartość momentu zaczepowego jest jak na maszynę wielobiegunową niewielka i wynosi 1,25 Nm, co stanowi 1,2% momentu znamionowego.

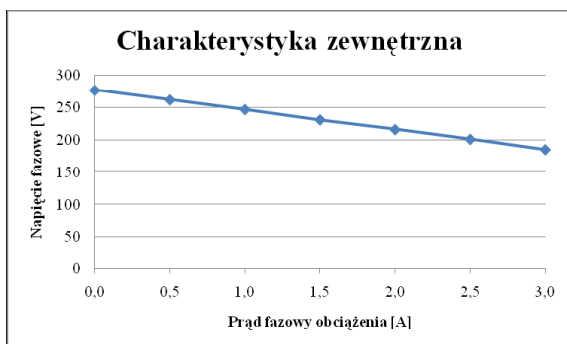


Rys. 8. Widok stanowiska badawczego

Zasilanie silnika napędowego generatora przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charakterystyki biegu jałowego i charakterystyki zewnętrznej generatora.



Rys. 9. Zależność napięcia od prędkości obrotowej – bieg jałowy



Rys. 10. Charakterystyka zewnętrzna przy prędkości obrotowej 176 obr/min

5. Wnioski

Małe turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu zyskują coraz szersze zastosowanie głównie dzięki temu, że nie są uciążliwe dla otoczenia. Turbiny te mają niewielki moment rozruchowy i dlatego od stosowanych w nich wolnoobrotowych, bezprzekładniowych generatorów wymaga się małego momentu zaczepowego. Prezentowana w pracy konstrukcja ma mały moment zaczepowy przy prostych żłobkach stojana i prostych magnesach. Dzięki temu

elektrownia wiatrowa startować będzie już przy słabych wiatrach. Zaletą jest także mała prędkość obrotowa – 180 obr/min, co pozwala umieszczać turbinę wiatrową bezpośrednio na wale generatora. Przedstawiony generator ma średnicę 280 mm i długość 410 mm – zatem niewielkie wymiary, a także małą masę wynoszącą 37 kg.

6. Literatura

- [1]. Boglietti A., Cavagnino A., Pastorelli M., Station D., Vagati A.: *Thermal analysis of induction and synchronous reluctance motors*, "IEEE Trans. Industry Applications", Vol. 42, No. 3, pp. 675-680, May-June 2006.
- [2]. Czuczman J., Czerepaniak M., Sczur I., Golubowski P.: *Generatory synchroniczne do autonomicznych, bezprzekładniowych elektrowni wiatrowych*, XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 18-20 maj, 2005.
- [3]. Gajewski M.: *Analiza pulsacji momentu w silnikach bezszczotkowych z magnesami trwałymi*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, 2007.
- [4]. Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [5]. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A.: *Wielobiegunowa maszyna z magnesami trwałymi o zredukowanym momencie zaczepowym*, Zgłoszenie patentowe nr P-395663 z dnia 15.07.2011.
- [6]. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A.: *Wolnoobrotowa prądnica do elektrowni wiatrowej lub wodnej*, XXI Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryto 23-25 maj, 2012, Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, nr 96.
- [7]. Goryca Z., Młodzikowski P.: *Analiza konstrukcji bezprzekładniowych prądnic do małych elektrowni wiatrowych*, Konferencja Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki” PPEEm, Wisła 14-17.12.2009.
- [8]. Goryca Z.: *Wolnoobrotowy generator tarczowy do małej elektrowni wiatrowej*, XVI Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryto 28-30 maj, 2008.
- [9]. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T.L., Lavine A. S.: *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed., Hoboken, NJ:Wiley, 2006, pp. 6-8.
- [10]. Kowol M.: *Analiza pracy przelączalnego silnika reluktancyjnego z wirnikiem zewnętrznym do napędu lekkich pojazdów*, rozprawa doktorska, Politechnika Opolska, 2008.
- [11]. Łukaniszyn M., Młot A.: *Analiza momentu elektromagnetycznego i składowych pulsacji w bezszczotkowym silniku prądu stałego wzbudzonym*

magnesami trwałymi, Przegląd Elektrotechniczny nr 10/2005.

[12]. Polak A., Beżański A.: *Małe elektrownie wiatrowe-przykłady praktycznego zastosowania*, XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 18-20 maj, 2005.

[13]. Rossa R., Białas A.: *Prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi do przydomowych elektrowni wiatrowych*, XX Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryto 25-27 maj, 2011.

Adresy służbowe autorów

dr hab. inż. Zbigniew Goryca prof. UTH
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny
im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu,
Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut
Automatyki i Telematyki, ul. Malczewskiego
29, 26-600 Radom, tel. +(48-48) 361-77-26,
601-25-05-30, fax: +(48-48) 361-70-12 e-mail:
tgoryca@kki.net.pl, z.goryca@pr.radom.pl

dr inż. Damian Mazur,
Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektro-
techniki i Informatyki, ul. W. Pola 2, B206,
35-959 Rzeszów, e-mail: mazur@prz.edu.pl.