

Wolnoobrotowe prądnice z magnesami trwałymi

Zbigniew Goryca

1. Wstęp

Wzrost cen energii elektrycznej i unijne naciski na zwiększenie udziału „zielonej energii” w ogólnej wielkości energii wytwarzanej powoduje zwiększone zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii, w tym szczególnie wykorzystaniem energii wody małych rzek oraz wykorzystaniem siły wiatru. Duża grupa odbiorców indywidualnych zainteresowana jest małymi elektrowniami wiatrowymi przeznaczonymi do zasilania domów jednorodzinnych lub przeznaczonymi do wspomagania systemów grzewczych w takich domach. W celu obniżenia kosztów i podwyższenia sprawności przetwarzania energii wiatru w energię elektryczną buduje się bezprzekładniowe konstrukcje [1, 3, 7, 8], w których turbina wiatrowa mocowana jest bezpośrednio na wale prądnicy. 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 budowę elektrowni. Mała prędkość obrotowa takich turbin powoduje konieczność budowy wolnoobrotowych, wielobiegunowych prądnic. W pracy przedstawiono konstrukcje takich prądnic zapewniające mały moment zaczepowy, co pozwala na start elektrowni przy małej prędkości wiatru. Zaletą tych prądnic jest także mała masa wynikająca z zastosowania lekkiego wirnika. Unikalna, opatentowana konstrukcja [10] obwodu magnetycznego pozwala uzyskać wyjątkowo mały moment zaczepowy przy prostych zębach blach stojana. Dzięki temu można efektywnie wykorzystać powierzchnię żłobka i nie ma kłopotów związanych z wykonaniem uzwojenia, tak jak w przypadku stojanów o skośnych żłobkach. Prądnice te można także stosować z powodzeniem w mikroelektrowniach wodnych. Dane Towarzystwa Małych Elektrowni Wodnych pokazują, że w Polsce jest około 15 000 miejsc, w których można przy niewielkich nakładach zbudować mikroelektrownie wodne.

2. Założenia konstrukcyjne

Zbudowano dwie wolnoobrotowe prądnice o następujących założeniach:

- prądnica pierwsza:
 - moc prądnicy: 1 kW,
 - napięcie wyjściowe: 3×230 V,
 - częstotliwość: 50 Hz,
 - prędkość obrotowa: 125 obr/min;
- prądnica druga:
 - moc prądnicy: 2 kW,

🇬🇧 LOW SPEED GENERATORS WITH PERMANENT MAGNETS

Abstract: The paper presents the construction and chosen test results of multi-pole low speed generators with permanent magnets destined to gearless wind plant with vertical axis or water turbine. Thanks to unique patented construction of its magnetic circuit, the generators have very low cogging torque despite of many poles. The paper contains images of generators, measuring results of cogging torque, idle running characteristic, and the measurements of the influence of the load on the voltage produced by the generators. The generators are destined to wind turbine H Darius, it can also be useful in water plants.

- napięcie wyjściowe: 3×230 V,
- częstotliwość: 50 Hz,
- prędkość obrotowa: 176 obr/min.

Tak mała prędkość obrotowa wynika z zastosowania do napędu prądnic wolnobieżnej, trójłopatowej turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu lub turbiny wodnej, której prędkość obrotowa jest zbliżona do turbiny wiatrowej. Mała prędkość obrotowa (125 obr/min) przy częstotliwości napięcia wyjściowego 50 Hz narzuca liczbę biegunów wirnika równą 48 w przypadku pierwszej prądnicy i odpowiednio przy prędkości obrotowej 176 obr/min 34 bieguny w przypadku prądnicy drugiej.

3. Konstrukcje prądnic

Podstawowym problemem w wielobiegunowych maszynach z magnesami trwałymi jest duży moment zaczepowy [2, 4, 5, 6] wynikający z dużej liczby biegunów i proporcjonalny do tej liczby [9].

Duży moment zaczepowy wywołuje 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 [4, 6]. Można go jednak stosować w przypadkach, gdzie 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



Fot. 1.
Prądnica o mocy
1 kW



Fot. 2.
Prądnica o mocy
2 kW



Fot. 3. Widok stanowiska badawczego pierwszej prądnicy



Fot. 4. Widok stanowiska badawczego drugiej prądnicy

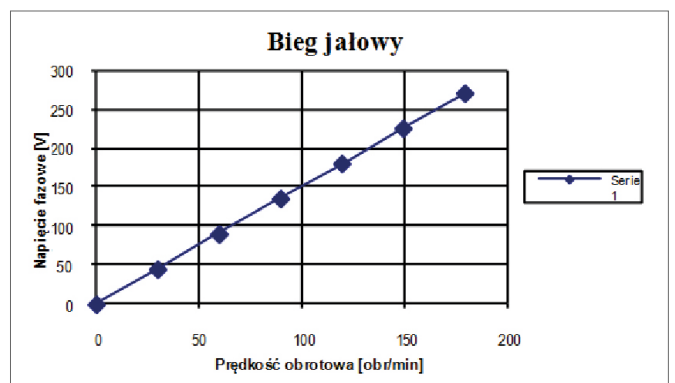
o określony kąt) magnesów [5]. Rozwiązanie to wymaga stosowania drogich przyrządów do klejenia magnesów i nie daje tak dobrych efektów jak skos zębów stojana. W przedstawionych konstrukcjach minimalizację momentu zaczepowego uzyskano przez zastosowanie nietypowej, nieparzystej liczby zębów stojana różnej o trzy i o dwa od liczby biegunów magnetycznych wirnika. Obliczenia projektowe modeli płaskich wykonano przy użyciu programu COMSOL Multiphysics w wersji 3.3. Poniższe zdjęcia pokazują opracowane i wykonane prototypy prądnic. Są to maszyny z wewnętrznymi wirnikami. Na wirnikach tych maszyn umieszczono magnesy o przemiennej biegunowości. Jedyną istotną różnicą w stosunku do klasycznych rozwiązań maszynowych jest nietypowa, nieparzysta liczba biegunów stojana różna o trzy i o dwa od liczby biegunów wirnika. Jak wspomniano wcześniej, rozwiązanie to pozwala uzyskać wyjątkowo mały moment zaczepowy jak na maszynę wielobiegunową przy zachowaniu prostych żłobków stojana.

4. Wybrane badania laboratoryjne

Wstępne badania prądnic obejmowały: pomiary momentu zaczepowego, pomiar napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej, obserwację kształtu napięcia fazowego i przewodowego oraz wyznaczenie zależności napięcia wyjściowego od prądu obciążenia. Badane prądnice napędzane

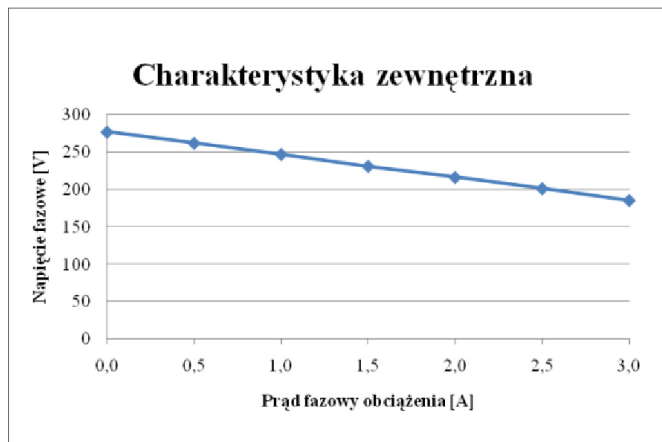
były przez przekładnię asynchronicznym silnikiem klatkowym zasilanym z falownika. Wartość maksymalną momentu zaczepowego zmierzono przy pomocy zrównoważonej dźwigni i precyzyjnych odważników. Dokonano 10 pomiarów w różnych położeniach wirnika i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Jak wspomniano wcześniej, średnia wartość momentu zaczepowego pierwszej prądnicy jest niewielka jak na maszynę wielobiegunową i wynosi 1,61 Nm, co stanowi 2,1% momentu znamionowego. W przypadku drugiej prądnicy było to odpowiednio 1,25 Nm i 1,2% momentu znamionowego.

Zasilanie silnika napędowego prądnic przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charakterystyk biegu jałowego.



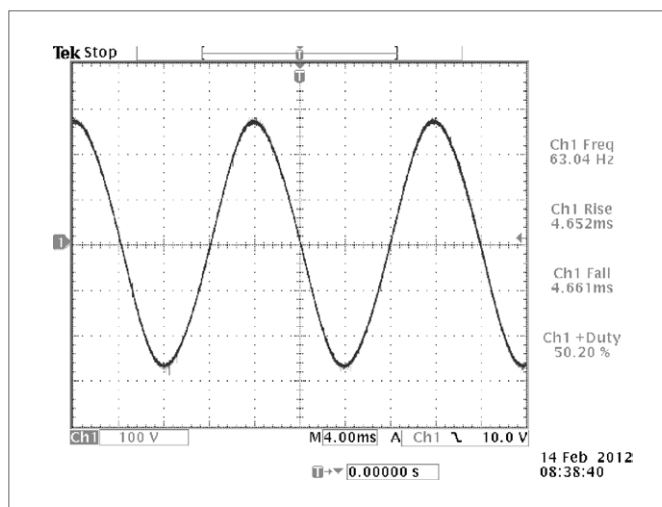
Rys. 1. Typowa zależność napięcia od prędkości obrotowej (prądnica druga)

W obu prądnicach napięcie biegu jałowego zależy liniowo od prędkości obrotowej. Również podobnie zachowują się obie prądnice w przypadku obciążenia.



Rys. 2. Zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia

W trakcie badań prądnice obciążone były symetrycznie w każdej fazie. Obciążenie stanowiły zespoły grzałek – obciążenie rezystancyjne. Przy tym obciążeniu napięcia uzyskiwane z obu prądnic nie wykazywały odstępstw od sinusoidy, co pokazuje poniższy rysunek.



Rys. 3. Kształt napięcia fazowego


5. Wnioski

Wolnoobrotowe, bezprzekładniowe prądnice z magnesami trwałymi znajdują coraz częstsze zastosowanie w małych elektrowniach wodnych lub wiatrowych przeznaczonych do wspomagania układu grzewczego domów jednorodzinnych. Latem uzyskiwana z nich energia może być magazynowana w akumulatorach lub zwracana do sieci energetycznej przez układy energoelektroniczne. Prezentowane w pracy konstrukcje mają mały moment zaczepowy przy prostych żłóbkach stojana i prostych magnesach. Dzięki temu elektrownia wiatrowa startować będzie już przy słabych wiatrach, a elektrownia wodna przy małych przepływach. Zaletą pokazanych konstrukcji jest także

mała prędkość obrotowa, co pozwala umieszczać turbiny wiatrową lub wodną bezpośrednio na wale prądnic. Przedstawione konstrukcje mają aluminiowe korpusy i rurowe wirniki i dzięki temu można było uzyskać niewielką masę prądnic.

Literatura

- [1] CZUCZMAN J., CZEREPANJAK M., SZUR I., GOLUBOWSKI P.: *Generatory synchroniczne do autonomicznych, bezprzekładniowych elektrowni wiatrowych*. XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”. Ustroń, 18–20 maja, 2005.
- [2] GLINKA T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [3] GORYCA Z.: *Wolnoobrotowy generator tarczowy do małej elektrowni wiatrowej*. XVI Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”. Ryto, 28–30 maja, 2008.
- [4] KOWOL M.: *Analiza pracy przełączalnego silnika reluktancyjnego z wirnikiem zewnętrznym do napędu lekkich pojazdów*. Rozprawa doktorska. Politechnika Opolska, 2008.
- [5] ŁUKANISZYN M., MŁOT A.: *Analiza momentu elektromagnetycznego i składowych pulsacji w bezszczotkowym silniku prądu stałego wzbudzonym magnesami trwałymi*. „Przegląd Elektrotechniczny” 10/2005.
- [6] GAJEWSKI M.: *Analiza pulsacji momentu w silnikach bezszczotkowych z magnesami trwałymi*. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, 2007.
- [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] POLAK A., BEŻAŃSKI A.: *Małe elektrownie wiatrowe. Przykłady praktycznego zastosowania*. XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”. Ustroń, 18–20 maj, 2005.
- [9] ROSSA R., BIAŁAS A.: *Prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi do przydomowych elektrowni wiatrowych*. XX Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”. Ryto 25–27 maja, 2011.
- [10] 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.

 **dr hab. inż. Zbigniew Goryca, prof. PŚk** – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Katedra Fizyki Budowli i Eneгии Odnowialnych, e-mail: tgoryca@kki.net.pl

artykuł recenzowany

reklama