

Wolnoobrotowa prądnica do elektrowni wiatrowej lub wodnej

Zbigniew Goryca, Mariusz Malinowski, Artur Pakosz

1. Wstęp

Wzrost cen energii elektrycznej i unijne naciski na zwiększenie udziału „zielonej energii” w ogólnej wielkości energii wytwarzanej powodują wzrost zainteresowania wykorzystaniem siły wiatru do produkcji tej energii. Duża grupa odbiorców indywidualnych zainteresowana jest małymi konstrukcjami 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 [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 elektrownię. Mała prędkość obrotowa takich turbin powoduje konieczność budowy wolnoobrotowych, wielobiegunowych prądnic. W pracy przedstawiono konstrukcję takiej prądnicy, zapewniającą mały moment zaczepowy, co pozwala na start elektrowni przy małej prędkości wiatru. Zaletą tej prądnicy 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.

2. Założenia konstrukcyjne

Przy projektowaniu prądnicy przyjęto następujące, podstawowe założenia:

- moc prądnicy 1 kW;
- napięcie wyjściowe 3×230 V;
- częstotliwość 50 Hz;
- prędkość obrotowa 125 obr./min.

Tak mała prędkość obrotowa wynika z zastosowania do napędu prądnicy wolnobieżnej, trójłopatowej turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu. Mała prędkość obrotowa (125 obr./min.) przy częstotliwości napięcia wyjściowego 50 Hz narzuca liczbę biegunów wirnika równą 48.

3. Konstrukcja prądnicy

Podstawowym problemem w wielobiegunowych maszynach z magnesami trwałymi jest duży moment zaczepowy [2, 4, 5, 6]

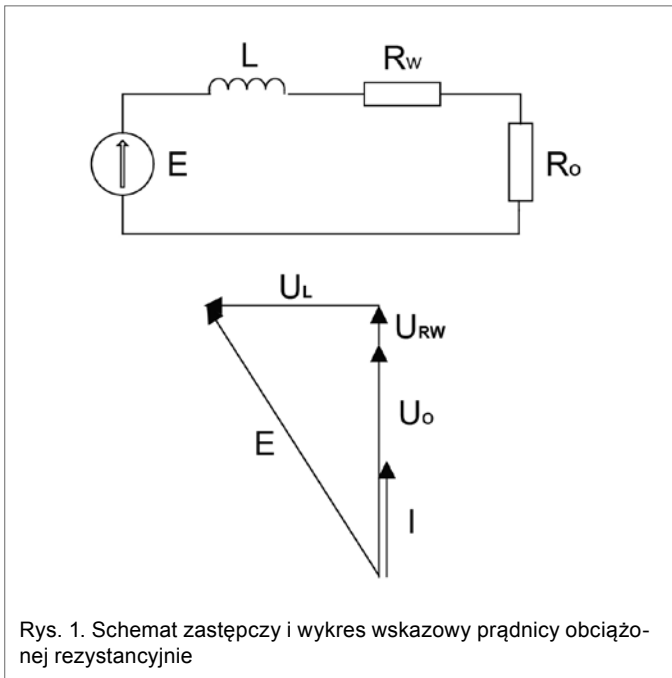
LOW SPEED GENERATOR FOR WIND OR WATER PLANT

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

wynikający z dużej liczby biegunów i proporcjonalny do tej liczby. Przykładowo moment ten w prototypie 40-biegunowej prądnicy wyprodukowanej w BOBRME KOMEL wynosi 8 Nm, co stanowi 3,7% momentu znamionowego [9]. Tak 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 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 przedstawionej konstrukcji minimalizację momentu zaczepowego uzyskano przez zastosowanie nietypowej, nieparzystej liczby zębów stojana, różnej o trzy od liczby biegunów magnetycznych wirnika. Obliczenia projektowe modelu płaskiego wykonano przy użyciu programu COMSOL Multiphysics w wersji 3.3. Poniższe zdjęcia pokazują konstrukcje stojana, wirnika i widok wykonanego prototypu prądnicy.

4. Wstępne badania laboratoryjne

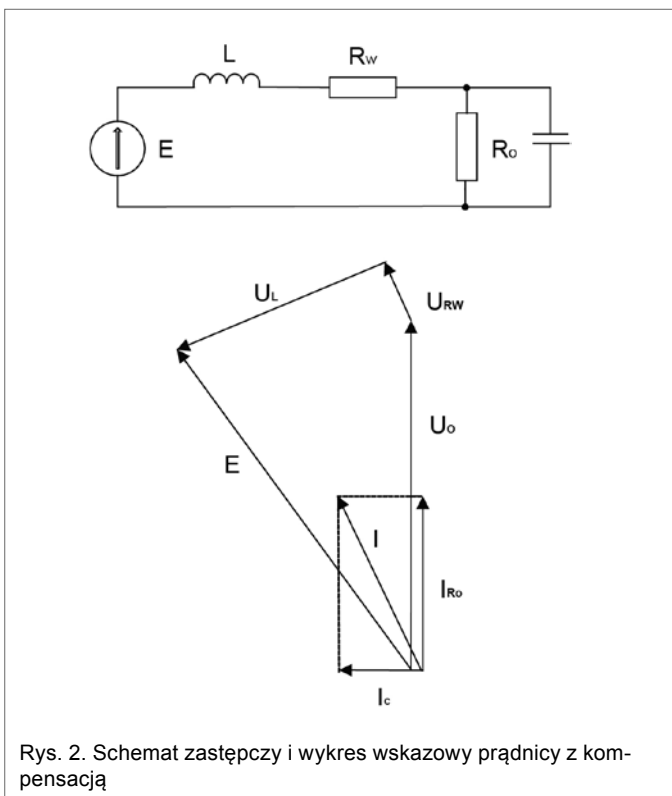
Wstępne badania prądnicy obejmowały pomiary: momentu zaczepowego, napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej oraz obserwację kształtu napięcia fazowego i przewodowego. Badana prądnica napędzana była przez przekładnię



Fot. 1. Uzwojony stojan prądnicy – widoczne proste żłobki



Fot. 2. Wirnik prądnicy z naklejonymi magnesami



Fot. 3. Widok prototypu prądnicy

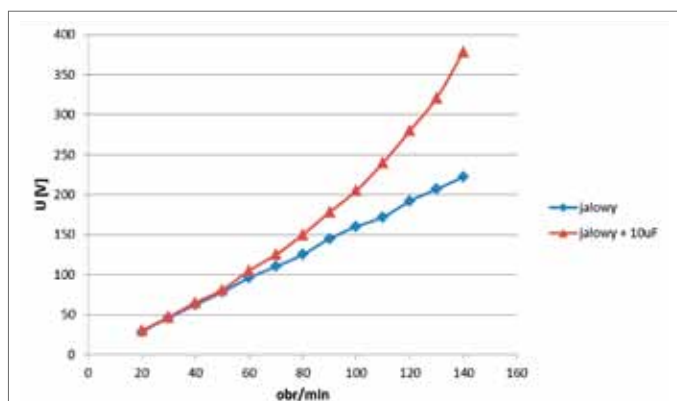


Fot. 4. Widok stanowiska badawczego

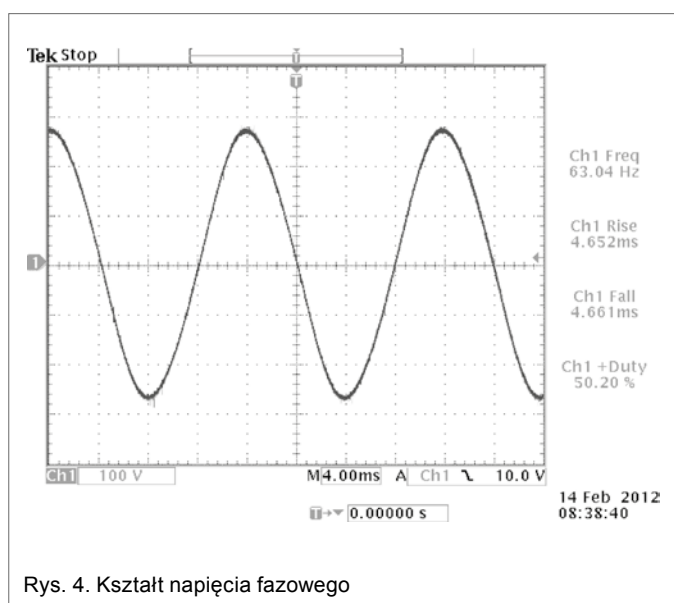
asynchronicznym silnikiem klatkowym zasilanym z falownika. Wartość maksymalną momentu zaczepowego zmierzono przy pomocy zrównoważonej dźwigni i precyzyjnych odważników. Dokonano 10 pomiarów w różnych położeniach wirnika i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Jak wspomniano wcześniej, średnia wartość momentu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

Zasilanie silnika napędowego prądnicy przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charaktery-

styki biegu jałowego prądnicy. Prądnica ma małą prędkość obrotową, jej uzwojenie ma dużą liczbę zwojów i związaną z tym znaczną indukcyjność, a zatem spadek napięcia na x_L będzie znaczny. Można to przedstawić na wykresie wskazowym pokazanym powyżej.



Rys. 3. Zależność napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej prądnicy



Rys. 4. Kształt napięcia fazowego

W celu kompensacji spadku napięcia na indukcyjności uzwojenia do wyjścia prądnicy włączono trzy kondensatory o pojemności 10 μF . Uzyskano wyraźne zwiększenie napięcia wyjściowego prądnicy – co pokazano na rys. 2 i 3.

Z wykresu przedstawionego na rys. 2 wynika, że przy odpowiedniej wartości pojemności możliwe jest uzyskanie napięcia wyjściowego większego od SEM. Tak pełną kompensację można uzyskać tylko w określonym punkcie pracy prądnicy, gdyż przy innych od znamionowej prędkościach inna jest częstotliwość indukowanego napięcia i inne jest x_L .

5. Wnioski

Wolnoobrotowe, bezprzekładniowe prądnice z magnesami trwałymi znajdują coraz częstsze zastosowanie w małych elektrowniach 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. Prezentowana w pracy konstrukcja ma mały moment zaczepowy przy prostych żłóbkach stojana i prostych magnesach. Dzięki

ki temu elektrownia wiatrowa startować będzie już przy słabych wiatrach. Zaletą jest także mała prędkość obrotowa – 125 obr./min. – co pozwala umieszczać turbinę wiatrową bezpośrednio na wale prądnicy. Przedstawiona prądnica ma średnicę 310 mm i długość 170 mm – zatem niewielkie wymiary, a także małą masę wynoszącą 33 kg. Praca została wykonana w ramach projektu rozwojowego nr N R01 0015 06/2009 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

6. Literatura

- [1] CZUCZMAN J., CZEREPANJAK M., SCZUR 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 przelączalnego 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., BEZAŃSKI A.: *Małe elektrownie wiatrowe – przykłady praktycznego zastosowania*, XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń, 18–20 maja 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. P.R. – Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki, e-mail: tgoryca@kki.net.pl, z.goryca@pr.radom.pl;
dr inż. Mariusz Malinowski – Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej, e-mail: malin@isep.pw.edu.pl;
mgr inż. Artur Pakosz – Zespół Szkół Elektronicznych, e-mail: apakosz@wp.pl