

*maszyny elektryczne, magnesy trwałe, konstrukcja, generatory
synchroniczne, prądnice tarczowe, magnetowody, elektrownie wiatrowe*

Bogusław KAROLEWSKI*

BADANIE WOLNOOBROTOWEJ PRĄDNICY PRZEZNACZONEJ DO MAŁYCH ELEKTROWNI WIATROWYCH

Przedstawiono wyniki pomiarów parametrów bezrdzeniowej prądnicy tarczowej z okrągłymi cewkami, zakupionej w serwisie aukcyjnym ALLEGRO. Prądnice takie przeznaczone są do małych elektrowni wiatrowych. Podane przez producenta wartości parametrów są znacznie zawyżone. Możliwa do uzyskania moc prądnicy okazała się kilkukrotnie niższa od deklarowanej. Główną przyczyną słabych parametrów jest za mała grubość tarcz wirnika.

1. WPROWADZENIE

Małe elektrownie wiatrowe stają się coraz bardziej popularne, a zainteresowanie nimi może jeszcze wzrosnąć, bo wg dyrektyw UE projektanci budynków będą musieli uwzględnić wykorzystanie energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii (OZE). Elektrownie wiatrowe dobrze nadają się do spełnienia tego warunku.

Przydomowe elektrownie wiatrowe mogą służyć jako dodatkowe źródło energii, zmniejszające zapotrzebowanie na energię pobieraną z sieci, której ceny ciągle rosną.

Najprostsze elektrownie przydomowe wykorzystują wolnobieżne synchroniczne prądnice tarczowe z magnesami trwałymi. Nie wymagają one przekładni mechanicznej, co pomniejsza koszt układu i obniża poziom hałasu. Sprawność takich prądnic może być duża, a koszt ich wykonania jest stosunkowo niewielki. Na wyjściu takiej prądnicy otrzymuje się napięcie przemiennie o zmieniającej się wartości i częstotliwości. Zmiany te są funkcją prędkości turbiny wiatrowej, która z kolei zależy od prędkości wiatru. Z elektrowni można zasilić bezpośrednio wydzielony obwód z odbiornikami.

* Politechnika Wrocławska, Instytut Maszyn, Napędów i pomiarów Elektrycznych, ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław, bogusław.karolewski@pwr.wroc.pl

kami grzejnymi – np. wspomagać grzanie ciepłej wody użytkowej. W celu zasilenia bardziej wymagających odbiorników, konieczne jest prostowanie i akumulowanie wytworzonej energii (z zastosowaniem kontrolera ładowania akumulatorów), a następnie wykorzystanie falownika i transformatora, aby uzyskać napięcie o stałych parametrach, podobne do sieciowego.

W ostatnim okresie pojawiło się wiele ofert, umożliwiających zakup wolnobieżnej prądnicy tarczowej, między innymi w serwisie aukcyjnym ALLEGRO. Niektórzy producenci wytwarzają prądnice w dość prymitywnych warsztatach i nie mają warunków ani potrzebnych urządzeń, aby pomiarowo sprawdzić parametry uzyskanego wyrobu. Po zakupie takiej przykładowej prądnicy wykonano badania laboratoryjne, określające czy maszyna posiada parametry podane przez producenta.

Opis działania prądnicy stosowanych w elektrowniach wiatrowych przedstawiono np. w [2], [3], [5], a wyniki badań modeli prądnic w [1], [4], [6], [7].

2.PARAMETRY DEKLAROWANE

Prądnice wykonano jako tarczową bezrdzeniową. Wirnik składa się z 2 tarcz z magnesami. Między tarczami wirnika zamocowano stojan z cewkami o kształcie kołowym. Dokładniejszy opis tego typu prądnicy można znaleźć np. w [5].

Deklarowane przez producenta parametry prądnicy trójfazowej są następujące:

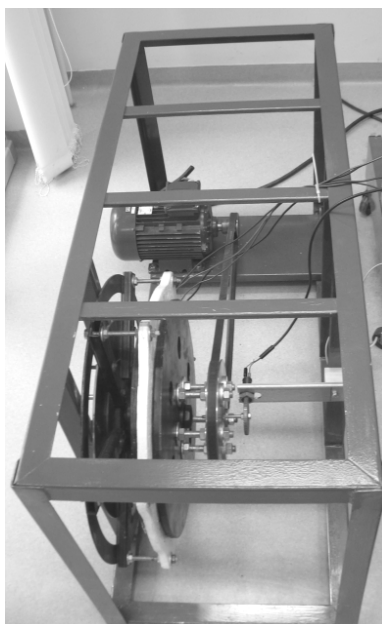
- moc 3 kW przy 250 obr/min,
- napięcie za trójfazowym mostkiem prostowniczym 110 V,
- po 24 magnesy na każdej tarczy (12 par biegunów) czyli napięcie ma częstotliwość 50 Hz przy 250 obrotach,
- średnica tarcz wirnika 51 cm, a średnica stojana 57 cm,
- wymiary magnesów 45x25x10,
- cewki nawinięte drutem o średnicy 1,6 mm,
- prawdopodobnie cewka ma 15 zwojów (nie podano),
- 6 cewek na fazę daje 90 zwojów na fazę.

Na rys. 1 przedstawiono zdjęcie prądnicy.



Rys. 1. Wygląd badanej prądnicy
Fig. 1. Appearance of researched generator

Prądnica jest przystosowana do bezpośredniego zamontowania na maszcie elektrowni. Nie posiada pełnej osi, a tylko półś samochodową. Z drugiej strony (góra na rys. 1) przewidziano montaż turbiny trójłłatowej. W celu wykonania badań samej prądnicy, konieczne było wykonanie specjalnej konstrukcji mocującej. W osi prądnicy zamiast turbiny dodano koło pasowe, służące do połączenia prądnicy z silnikiem napędzającym maszynę. Dodano również czujnik i głowiczkę do pomiaru prędkości. Badany układ przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Prądnica wraz z napędem umieszczona w konstrukcji mocującej
Fig. 2. Generator with drive placed in grappling construction

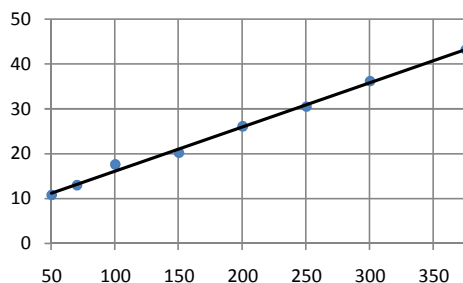
3. WYNIKI POMIARÓW

Silnik napędowy zasilono przez przemiennik częstotliwości. Silnik napędzał prądnicę przez przekładnię pasową o przełożeniu 4. Moc wejściową mierzono w układzie jednego watomierza. Prędkość prądnicy wskazywał miernik cyfrowy, współpracujący z enkoderem indukcyjnym.

3.1. CHARAKTERYSTYKI BIEGU JAŁOWEGO

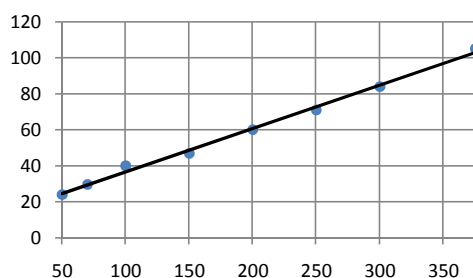
Wykonano badania napięć na zaciskach prądnicy podczas pracy na biegu jałowym. W wariancie pierwszym prądnicę traktowano jako trójfazową maszynę prądu zmiennego, a w drugim, po dodaniu prostownika, jako źródło prądu stałego. Przebiegi uzyskanych charakterystyk przedstawiono na rys. 3 i 4.

Przy 250 obr/min napięcie wyprostowane miało wartość 72 V zamiast deklarowanych 110 V. Aby uzyskać napięcie 110 V, trzeba prądnicę napędzić z prędkością rzędu 400 obr/min.



Rys. 3. Charakterystyka biegu jałowego: zależność napięcia przemiennego średniego z 3 faz U_{sr} od prędkości obrotowej n

Fig. 3. Characteristic of idle run: dependence of AC voltage medium of 3 phases U_{sr} from rotary speed n



Rys. 4. Charakterystyka biegu jałowego: zależność napięcia wyprostowanego U_{pr} od prędkości

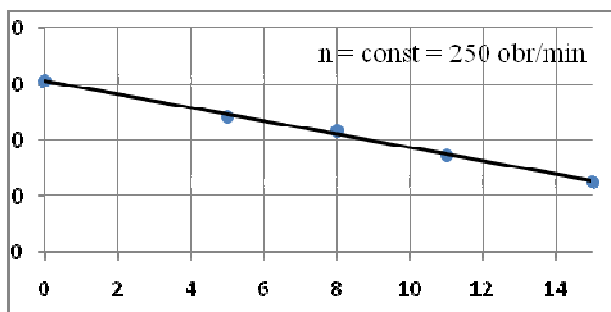
Fig. 4. Characteristic of idle run: dependence of rectified voltage from speed U_{pr}

3.2.CHARAKTERYSTYKI ZEWNĘTRZNE

Utrzymując stałą prędkość obrotową zwiększano rezystancyjne obciążenie prądnicy. Przykład uzyskanych wyników przedstawiono w tab. 1, a charakterystykę zewnętrzną prądnicy prądu zmiennego na rys. 5.

Tabela 1. Wyniki dla trójfazowej prądnicy prądu zmiennego przy prędkości $n = 250$
Table 1. Results for 3 phase AC generator at speed $n = 250$

L.p.	Pobór z sieci			Napięcia fazowe prądnicy				Prądy fazowe prądnicy				Moc wyj.
	P_w	I_f	U_f	U_1	U_2	U_3	U_{sr}	I_1	I_2	I_3	I_{sr}	P
	[W]	[A]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[W]
1.	151	1,2	230	32,9	29,5	29,2	30,5	0	0	0	0	0
2.	310	2,5	230	26,4	23,4	22,7	24,1	5,2	4,8	5,0	5,0	361,5
3.	380	3,1	230	23,6	21,0	20,3	21,6	8,3	7,9	7,8	8,0	518,4
4.	560	4,9	230	19,0	16,5	16,2	17,2	11,6	11,0	11,0	11,2	577,9
5	740	5,8	230	14,5	11,9	11,0	12,5	15,6	14,7	14,6	15,0	562,5



Rys. 5. Charakterystyka zewnętrzna U_{sr} w funkcji I_{sr} dla prędkości $n = 250$
Fig. 5. External characteristic U_{sr} in function of I_{sr} for speed $n = 250$

Moc prądnicy przy obciążaniu początkowo rośnie, a po przekroczeniu pewnej wartości zaczyna maleć. Maksymalna moc czynna (obciążenie było rezystancyjne, więc jest to również moc pozorna) przy 250 obr/min odpowiada wartości prądu jednej fazy około 12 A. Jest to zresztą prąd bliski maksymalnego dopuszczalnego prądu obciążenia prądnicy, gdyż przyrost temperatury uzwojeń przy tym prądzie osiąga wartość około 50°C. Napięcie fazowe wynosi wtedy 16,5 V, czyli moc prądnicy $P = 3 * U_{sr} * I_{sr} = 3 * 16,5 * 12 \approx 600$ W. Jest to kilkukrotnie mniej niż moc deklarowana o wartości 3 kW. Z szacunkowych obliczeń wynika, że dla uzyskania mocy 3 kW przy prądzie znamionowym 12 A, należałoby napędzić prądnicę z prędkością rzędu 800 obr/min.

3.3. SPRAWNOŚĆ PRĄDNICY

Przykładową wartość sprawności wyznaczono dla pomiaru nr 4 z tab. 1. Prądnica pracowała wtedy z mocą nieco mniejszą od maksymalnej. Moc pobierana przez silnik przy założeniu, że przemiennik ma sprawność 98% wynosi:

$$P_s = 3 * 0,98 * P_w = 3 * 0,98 * 560 = 1646,4W \quad (1)$$

Znamionowa sprawność silnika wynosiła 77,8%. Przyjęto, że przy wyliczonym obciążeniu, stanowiącym około połowy znamionowego obciążenia silnika, jego sprawność wynosiła 65%. Moc dostarczana do prądnicy:

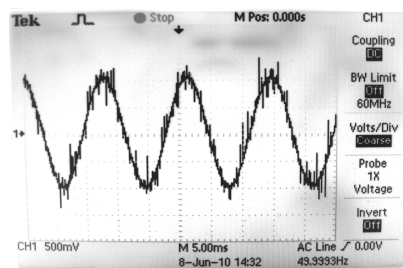
$$P_{We} = P_s * \eta = 1646,4 * 0,65 = 1070,2 W \quad (2)$$

Sprawność prądnicy:

$$\eta = \frac{P}{P_{We}} * 100\% = \frac{577,9}{1070,2} 100 = 54 \% \quad (3)$$

Podczas pracy w warunkach przyjętych jako znamionowe (prędkość 250 obr/min, prąd fazowy $I_f = 12 A$, napięcie fazowe $U_f = 16,5 V$) sprawność prądnicy osiągnie około 60 %.

Kształt napięć przedstawiono na rys. 6. Wartość okresu przebiegu potwierdza poprawność pomiaru prędkości obrotowej prądnicy.



Rys. 6. Przykładowy oscylogram jednego z napięć fazowych prądnicy na biegu jałowym przy prędkości 375 obrotów

Fig. 6. Exemplary oscillogram of one phase voltage of generator on idle run at 375 rotation speed

4. PODSUMOWANIE

Parametry badanej prądnicy znacznie odbiegają od deklarowanych przez producenta. Podana moc jest około pięciokrotnie zawyżona. Cena prądnicy (poniżej 2 tys. zł) była stosunkowo niska, ale jej osiągi są słabe.

Pomimo, że okna cewek mają kształt okrągły, zastosowano magnesy o przekroju prostopadłościennym. Lepsze byłyby magnesy walcowe, o przekroju kołowym. Objętość magnesów wynosi $11,2 \text{ cm}^3$, co jest wartością dość małą w stosunku do planowanej mocy.

Wykonano uproszczone obliczenia obwodu magnetycznego prądnicy. Przyjęto indukcję szczątkową magnesu trwałego $B_r = 1,2 \text{ T}$ a natężenie pola koercji $H_c = 9 \cdot 10^5 \text{ A/m}$. Jeden z elementów obwodu magnetycznego stanowią odcinki każdej z tarcz pomiędzy sąsiednimi magnesami. Grubość stalowej tarczy wirnika wynosiła tylko 3 mm. Dalszą warstwę stanowiła żywica ustalająca położenie magnesów. Dla stali konstrukcyjnej na ogół po przekroczeniu indukcji rzędu 1,5 T pojawia się nasycenie – charakterystyka magnesowania zaczyna się zaginać. Okazało się, że w badanej prądnicie ta graniczna wartość jest znacznie przekroczona. Wskutek nasycenia tarczy strumień magnetyczny jest silnie ograniczony. Z obliczeń wynika, że grubość tarczy w analizowanej prądnicie – przynajmniej w obszarze zamontowania magnesów - powinna wynosić co najmniej 10 mm. To jest podstawową przyczyną ograniczenia mocy prądnicy.

Obliczeniowa wartość napięcia fazowego na biegu jałowym przy prędkości znamionowej wynosi 36 V (z pomiarów 30,5 V), co również znacznie odbiega od deklarowanej wartości 46 V.

LITERATURA

- [1] Dąbała K., Krzemień Z.: *Prądnica o małej prędkości obrotowej, przeznaczona do stosowania w odnawialnych źródłach energii*. Zeszyty Problemowe COMEL – Maszyny Elektryczne 2009, nr. 84
- [2] Glinka T.: *Prądnice dla małych elektrowni wiatrowych*. Wiadomości Elektrotechniczne 2002, nr 10/11
- [3] Goryca Z.: *Prądnica do małej bezprzekładniowej elektrowni wiatrowej*. Zeszyty Problemowe COMEL – Maszyny Elektryczne 2010, nr. 86
- [4] Goryca Z.: *Wolnoobrotowy generator tarczowy do małej elektrowni wiatrowej*. Zeszyty Problemowe COMEL – Maszyny Elektryczne 2008, nr. 80
- [5] Karolewski B., Ligocki P.: *Rodzaje prądnic tarczowych*. Wiadomości Elektrotechniczne 2008, nr 8
- [6] Karolewski B., Ligocki P.: *Badania modelu prądnicy tarczowej rdzeniowej o nietypowej konstrukcji*. Wiadomości Elektrotechniczne 2008 nr 10
- [7] Karolewski B., Ligocki P.: *Badania modelu prądnicy tarczowej bezrdzeniowej z kołowymi cewkami*. Wiadomości Elektrotechniczne 2008 nr 11

SLOW RUNNING GENERATOR ORIENTED FOR WIND POWER STATION

Measurements of parameters of coreless disc generator with circular coils, bought in auction service ALLEGRO were presented. Generators such are assigned for small wind power stations. Given by producer value of parameters are considerable inflated. Power of generator possible to obtainment is lowest than declared many times. Small thickness of shield of rotor is main reason of weak parameters.