

Zbigniew Goryca
Politechnika Świętokrzyska, Kielce

GENERATOR DO MIKROELEKTROWNI WODNEJ

GENERATOR FOR WATER MICRO POWER PLANT

Streszczenie: W artykule przedstawiono konstrukcję i parametry generatora przeznaczonego do mikroelektrowni wodnej. Pakiety stojana i wirnika wykonano techniką cięcia laserowego. W stojanie jest 36 żłobków, w których umieszczono trójfazowe, ośmiobiegunowe uzwojenie. Wewnątrz wirnika umieszczono 8 magnesów o przemiennej biegunowości. W celu minimalizacji momentu zaczepowego wirnik podzielono na 6 segmentów przesuniętych względem siebie o 2 stopnie. Do budowy generatora wykorzystano obudowę i tarcze łożyskowe typowego silnika trójfazowego. W artykule podano wybrane wyniki badań generatora – zależność napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej, zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia oraz wyniki pomiaru momentu zaczepowego. Pokazano zespół generatora z turbiną wodną przeznaczony do mikroelektrowni wodnych.

Abstract: The paper presents construction and parameters of generator for water micro power plant. The stator and rotor have been made using laser cutting. The stator consists of 36 grooves, in which three-phase 8 poles winding is placed. The rotor consists of 8 magnets with alternative polarity. In order to minimize cogging torque, the rotor has been splitted into 6 segments shifted by 2 degrees. The generator uses the case and discs from typical three-phase motor. The paper presents the relationship between output voltage and angular speed, the relationship between output voltage and load current as well as cogging torque measuring. The generator along with water turbine for micro power plants have been also given.

Słowa kluczowe: generator, elektrownia wodna
Keywords: generator, hydro-electric power plant

1. Wstęp

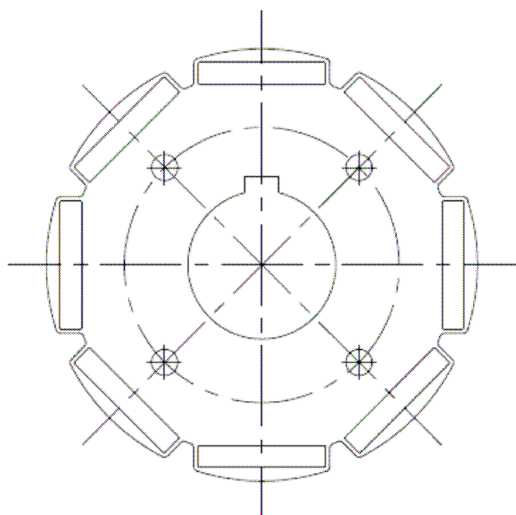
Według danych Towarzystwa Małych Elektrowni Wodnych [7] w Polsce jest od 12000 do 15000 miejsc po dawnych młynach lub tartakach wodnych. W miejscach tych mogą być umieszczone mikroelektrownie wodne pracujące przy małych przepływach i niewielkich spiętrzeniach wody. Informacje te przyczyniły się do rozpoczęcia prac nad mikrozestawem do produkcji energii elektrycznej składającym się z turbiny wodnej i generatora przeznaczonym do przepływów rzędu $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i spiętrzeń wody – do 1,5 m. W przypadku większych przepływów przewiduje się pracę równoległą turbin. W poniższej pracy przedstawiono konstrukcję i wybrane wyniki badań generatora napędzanego mikroturbiną wodną.

2. Konstrukcja generatora

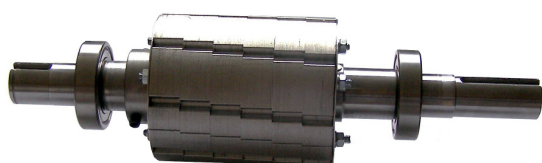
Przy projektowaniu generatora przyjęto następujące, podstawowe założenia:

- moc 2 kW
- napięcie wyjściowe 3X350 V
- częstotliwość 50 Hz
- prędkość obrotowa 750 obr./min.

Pakiety stojana i wirnika wykonano z blach elektrotechnicznych metodą cięcia laserowego. Do budowy generatora wykorzystano obudowę i tarcze łożyskowe typowego silnika trójfazowego o wzniosie 100 mm. Stojan generatora ma 36 prostych żłobków, w których umieszczono trójfazowe, ośmiobiegunowe uzwojenie. W wirniku umieszczono przemienno biegunowo 8 magnesów neodymowych N38S o wymiarach $30 \times 20 \times 5 \text{ mm}$. Na rys. 1 pokazano widok blachy wirnika z otworami, w których umieszcza się magnesy. Umieszczenie magnesów wewnątrz wirnika zmniejsza indukcję w szczelinie, ale zabezpiecza przed rozmagnesowaniem i zapewnia bezpieczną pracę generatora (brak możliwości awarii jak w przypadku magnesów klejonych na powierzchni wirnika i związanych z tym możliwości odklejenia się magnesów). W maszynach z magnesami trwałymi stosuje się różne metody minimalizacji momentu zaczepowego [1,2,3,4,5,6,9]. W opracowanym generatorze zastosowano skos magnesów w wirniku zrealizowany przez podział wirnika na 6 segmentów przesuniętych względem siebie o 2° . Na rys. 2 pokazano widok wirnika generatora.



Rys. 1. Kształt blach wirnika



Rys. 2. Widok wirnika generatora – widoczny skos ułożenia magnesów

Przy takim wykonaniu wirnika poszczególne segmenty silnie odpychają się i dlatego zachodzi konieczność ich skręcenia widocznymi na rys. 2 śrubami. Dodatkowo magnesy w zewnętrznych segmentach są wypychane na zewnątrz i w celu ich przytrzymania zastosowano widoczne na rys. 2 zewnętrzne, antymagnetyczne blachy. Stojan generatora ma proste żłobki, w których umieszczono trójfazowe, ośmiobiegunowe uzwojenie. Generator wykonano w typowej dla silnika asynchronicznego obudowie aluminiowej. Prototyp pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Widok prototypowego generatora

3. Wyniki badań laboratoryjnych

Badania laboratoryjne generatora obejmowały pomiary: momentu zaczepowego, napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej oraz napięcia wyjściowego w funkcji obciążenia przy prędkości znamionowej. 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. Średnia wartość momentu zaczepowego jest jak na maszynę wielobiegunową niewielka i wynosi 0,37 Nm, co stanowi 1% momentu znamionowego. Należy podkreślić, że w wynikach tych zawarty jest również moment tarcia łożysk generatora. Zasilanie silnika napędowego przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charakterystyki biegu jałowego generatora. Charakterystykę tą wyznaczono w stanie zimnym i w stanie nagrzanym maszyny. Odpowiednie wyniki pomiarów zawarte są w tabeli 1 i tabeli 2.

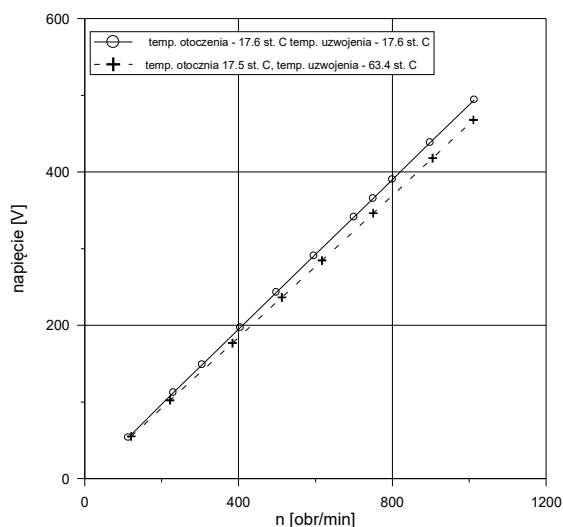
Tabela 1.

$\vartheta_{ot} = 17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\vartheta_{Cu} = 17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$		
n	f	U
obr/min	Hz	V
113.3	7.55	53.6
230.2	15.35	112.2
305.3	20.35	148.8
404.5	26.97	197.0
498.3	33.22	243.0
596.0	39.73	290.7
700.1	46.67	341.2
750.0	50.00	365.6
800.3	53.35	390.3
898.2	59.88	438.4
1013.5	67.57	494.2

Tabela 2.

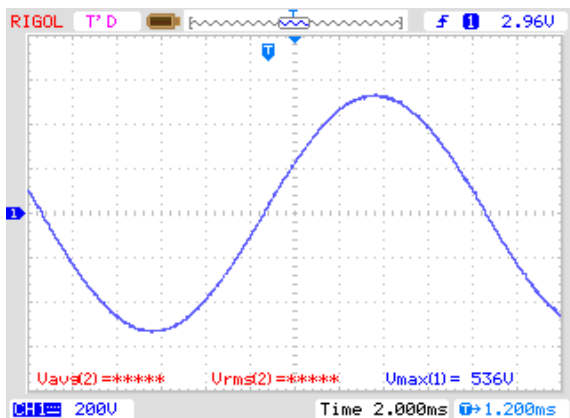
$\vartheta_{ot} = 17.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\vartheta_{Cu} = 63.4\text{ }^{\circ}\text{C}$		
n	f	U
obr/min	Hz	V
120.7	8.05	55.1
221.8	14.79	102.2
384.2	25.61	176.9
512.5	34.17	236.5
617.0	41.13	284.6

750.4	50.03	346.2
904.9	60.33	418.2
1011.0	67.40	468.0



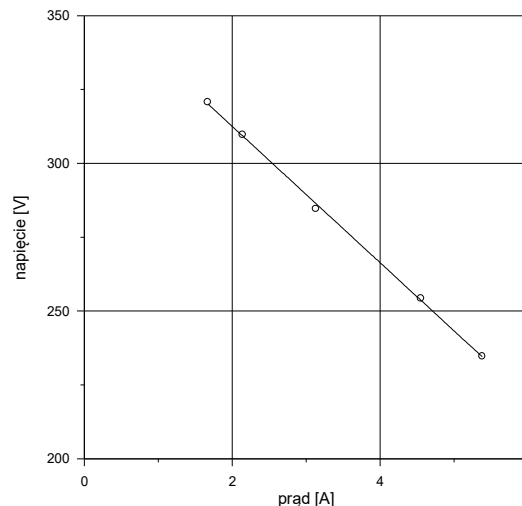
Rys. 4. Zależność napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej

Dodatkowo sprawdzono kształt napięcia wyjściowego generatora – pokazano go na rys. 5.



Rys. 5. Kształt napięcia przewodowego przy biegu jałowym generatora

Napięcie to praktycznie nie odbiega od sinusoidy. Następnym etapem badań było wyznaczenie charakterystyki obciążenia, gdyż ona najlepiej obrazuje właściwości energetyczne generatora. Podczas jej wyznaczania badany generator obciążony był rezystancyjnie, symetrycznie w każdej fazie. Podczas tej próby ustalono prędkość obrotową 750 obr./min. i stopniowo obciążano generator. Charakterystykę tę wyznaczono w stanie nagrzanym maszyny. Wyniki pomiarów pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia

4. Wnioski

Małe elektrownie wodne wyposażone w generatory z magnesami trwałymi osiągają wyższe sprawności w porównaniu z elektrowniami z maszynami asynchronicznymi [8]. Przedstawiony w pracy generator jest przeznaczony do współpracy z małą turbiną wodną. Na rysunku nr 7 pokazano wykonany zestaw – turbina z generatorem.



Rys. 7. Widok zestawu turbina - generator

Energia otrzymywana z generatora może być przekształcana i zwracana do sieci energetycznej lub może być wykorzystywana do zasi-

lania wybranych odbiorników. Nietypowe napięcie wyjściowe generatora założono ze względu na dopuszczalne napięcie wejściowe falownika przekazującego energię do sieci. Obecnie trwają próby eksploatacyjne zestawu na stanowisku wodnym. Przewiduje się, że ze względu na niską cenę (około 25000 zł) zestaw ten znajdzie duże zastosowanie w mikroelektrowniach wodnych.

5. Literatura

- [1]. Glinka T.: Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [2]. Goryca Z.: Wolnoobrotowa prądnica o mocy 3 kW do elektrowni wiatrowej lub wodnej, „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryty 28-30 maj, 2014, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, zeszyt nr 101.
- [3]. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A.: Wielobiegowa maszyna z magnesami trwałymi o zredukowanym momencie zaczepowym, Patent nr 218930.
- [4]. Goryca Z., Kwolek W.: Wolnoobrotowy generator do małej elektrowni wodnej, „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryty 28-30 maj, 2014, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, zeszyt nr 101, s.39-42.
- [5]. Goryca Z., Różowicz A.: Wielobiegowa, pierścieniowa prądnica do elektrowni wodnej, Zgłoszenie patentowe nr P.407481 z dnia 12.03.2014.
- [6]. Goryca Z., Różowicz S.: Generator zwłaszcza do mikroelektrowni wodnej, Zgłoszenie patentowe nr P.417047 z dnia 29.04.2016.
- [7]. Malko J., Mała hydroenergetyka w perspektywicznej strukturze energii Unii Europejskiej, Energetyka, Katowice, Oficyna Wydawnicza ENERGIA, 2009, luty 2009
- [8]. Rossa R., Pistelok P., Rossa R.: Małe elektrownie wodne jako źródła energii odnawialnej, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, zeszyt nr 2/2014, s. 75-80.
- [9]. Rossa R., Pistelok P., Dąbrowski A.: Projekt prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi do odnawialnych źródeł energii. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 3/2012.

Autor

dr hab. inż. Zbigniew Goryca prof. PŚk

tel. +(48-41) 34-24-850, 601-25-05-30

e-mail: tgoryca@kki.net.pl

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Katedra Inżynierii Budowli i Energii Odnawialnych
ul. Aleja 1000-lecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce