

Paweł Dybowski, Tomasz Fijoł, Waclaw Orlewski
AGH, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków

BADANIA GENERATORA INDUKCYJNEGO W PRACY AUTONOMICZNEJ Z KONDENSATORAMI – WYZNACZANIE SPRAWNOŚCI

RESEARCH OF INDUCTION GENERATOR EXCITED CAPACITORS – EFFICIENCY DETERMINATION

Streszczenie: Samowzbudny generator indukcyjny może pracować podłączony do systemu energetycznego lub jako źródło zasilania wydzielonej grupy odbiorników. Maszyna indukcyjna potrzebuje do pracy generatorowej energii biernej, którą w prezentowanym rozwiązaniu dostarcza specjalnie dołączona bateria kondensatorów. Tak wzbudzony generator indukcyjny może być z powodzeniem wykorzystywany w produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł np. w nowoczesnych elektrowniach wiatrowych lub wodnych. W artykule zostaną przedstawione obliczenia oraz wyniki badań laboratoryjnych dotyczących wyznaczenia sprawności generatora.

Abstract: Induction generator can work connected to power system or connected to separate system. Induction machine work can as generator only at this time, when reactive power is delivered to machine. Special selected capacitors were connected to the motor for realization this task. It is possible to use this generator as energy source in small water or wind power plant. Problems of efficiency determination for SEIG are presented in this paper.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, samowzbudny generator indukcyjny, sprawność
Keywords: electrical machines, self-excited induction generator, efficiency

1. Wstęp

Generator indukcyjny może współpracować z siecią energetyczną, jak również pracować w sieci wydzielonej. Praca generatorowa maszyny indukcyjnej pracującej samotnie jest możliwa tylko wtedy, gdy zostanie jej dostarczona, niezbędna do pracy moc bierna. W celu realizacji tego zadania zastosowano specjalnie dobrane kondensatory wzbudzające. Badania podjęte przez autorów mają na celu sprawdzenie przydatności takiego generatora do pracy, jako źródło energii elektrycznej w niewielkich elektrowniach wiatrowych lub wodnych. Jednym z kryteriów przyjętych podczas badań była dostępność na rynku maszyny indukcyjnej małej mocy. Użyty do badań egzemplarz jest dostępny w asortymencie oferowanym przez jednego ze znanych producentów tego typu maszyn. Podczas prac badawczych zaistniała potrzeba określenia sprawności samowzbudnego generatora. Przeprowadzono serię niezbędnych pomiarów służących określeniu sprawności. Wykonane zostały również obliczenia z wykorzystaniem schematu zastępczego generatora.

2. Układ pomiarowy

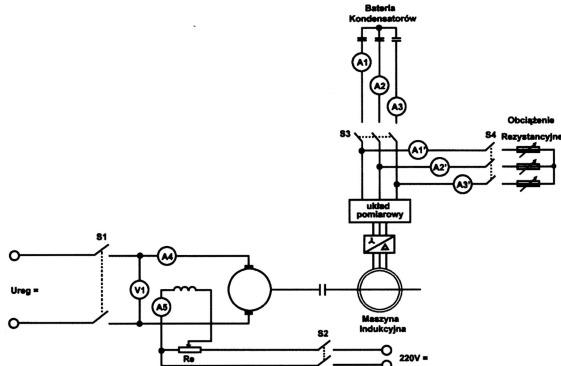
Na stanowisku badawczym generator indukcyjny był napędzany silnikiem prądu stałego. Jako samowzbudny generator wykorzystano silnik indukcyjny typu Sg90L6, o numerze fabrycznym CL805351 oraz parametrach znamionowych: $P_n = 1,1$ kW, $n_n = 925$ obr/min, $U_n = 230/400$ V, $I_n = 5,1/2,9$ A, $\cos\varphi_n = 0,74$, praca S1, temp. 40°C, $f_n = 50$ Hz, IP55, Isol F.

Jako napęd generatora użyty został silnik prądu stałego obcowzbudny typu: Komel PRO Zc 132 SY o numerze fabrycznym: 4911071 $P_N = 1,5$ kW; $U_N = 220$ V; $n_N = 1490$ obr/min; $I_N = 8,3$ A. Obwód twornika silnika obcowzbudnego był zasilany z regulowanego źródła napięcia stałego.

W badaniach generator indukcyjny obciążono odbiornikiem rezystancyjnym o skokowo zmiennej wartości. Jako odbiornik użyto żarówek o mocy 60 W. W każdej fazie można było wpiąć od 0 do 6 żarówek.

Do wytworzenia mocy biernej niezbędnej do wytworzenia pola w maszynie asynchronicznej generatora zastosowano kondensatory o odpowiednio dobranych pojemnościach. Do jednej fazy generatora można było dołączyć trzy kon-

densatory $2,2\mu\text{F}$ oraz po jednym kondensatorze $5,6\mu\text{F}$; $12\mu\text{F}$; $27\mu\text{F}$ w różnych konfiguracjach. Schemat układu połączeń wykorzystanego do pomiarów przedstawiono na rysunku 1.

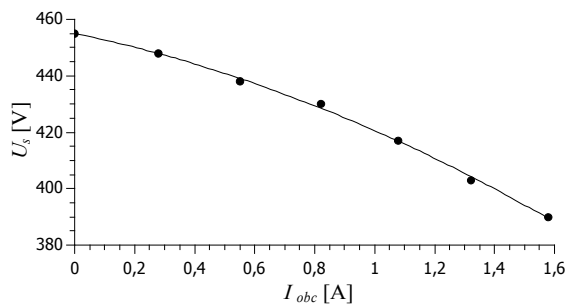


Rys. 1. Schemat pomiarowy do badania silnika indukcyjnego

3. Pomiary laboratoryjne

3.1. Pomiar napięcia i prądu w warunkach znamionowych

Pomiary napięcia i prądu na wyjściu generatora indukcyjnego zostały wykonane przy częstotliwości znamionowej $f=50\text{ Hz}$. Utrzymanie stałej częstotliwości przy zmieniającym się obciążeniu wymagało regulacji prędkości obrotowej silnika w zakresie 1010 – 1056 obr/min. Pojemność baterii kondensatorów $C=43,7\mu\text{F}$.

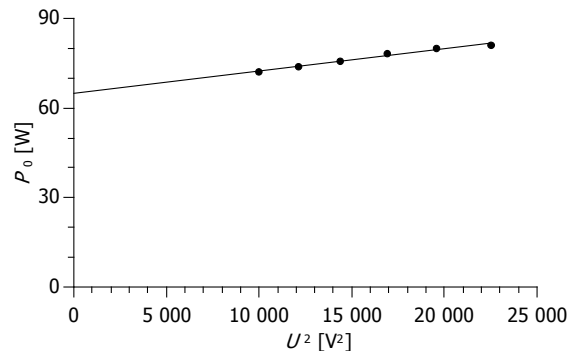


Rys. 2. Wykres napięcia generowanego na zaciskach maszyny w funkcji prądu obciążenia w warunkach znamionowych

3.2. Straty mechaniczne i straty w żelazie maszyny napędowej prądu stałego

Straty mechaniczne zespołu wyznaczono z pomiarów biegu jałowego maszyny komutatorowej. Wykonano rozdział strat na straty mechaniczne ΔP_{mec} oraz straty w żelazie maszyny napędowej ΔP_{Fe} . Ponieważ maszyny mają podobne gabaryty, toteż straty mechaniczne podzielono po równo dla każdej z maszyn. Wartości mocy strat mechanicznych przypadające na poszczególne maszyny to 32,5W. Pomiary zo-

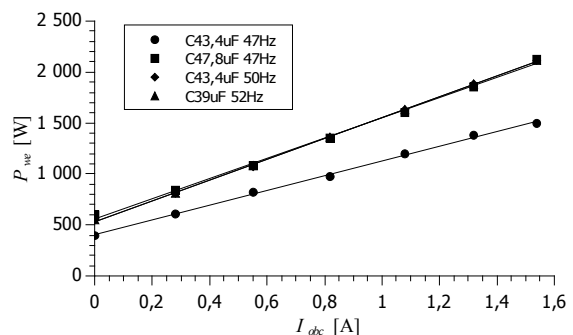
stały wykonane przy stałej prędkości obrotowej $n=1200\text{ obr/min}$. Z pomiarów tych wyznaczono również zależność strat w żelazie od napięcia zasilania.



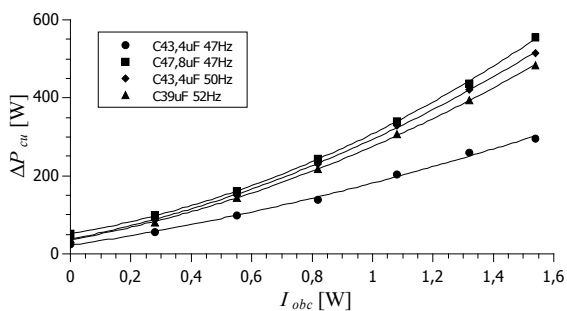
Rys. 3. Wyznaczanie strat mechanicznych zespołu i strat w żelazie maszyny napędowej

3.3. Straty jałowe i obciążeniowe w maszynie prądu stałego

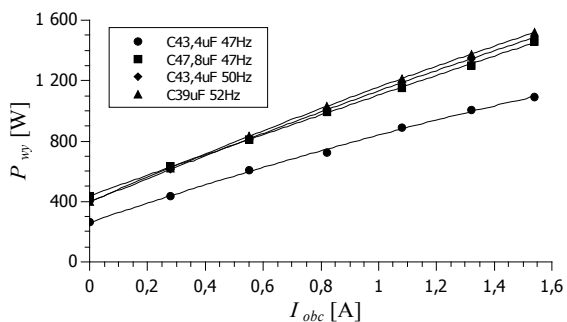
Na podstawie pomiarów napięcia i prądu zasilającego maszynę DC wyznaczono moc P_{we} dostarczoną do maszyny napędowej z układu zasilającego. Na podstawie pomiarów biegu jałowego maszyny określono straty mechaniczne ΔP_{mec} . Wyznaczono również straty w żelazie ΔP_{Fe} oraz straty w miedzi ΔP_{Cu} maszyny napędowej. Moc uzyskaną na wale maszyny P_{wy} obliczono jako różnicę mocy dostarczonej do maszyny z zasilacza P_{we} i sumy wszystkich strat $\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{mec}$. W obliczeniach nie uwzględniono strat dodatkowych. Pomiary wykonano dla różnych wartości pojemności baterii kondensatorów wzbudzających maszynę indukcyjną oraz różnych częstotliwości napięcia wyjściowego.



Rys. 4. Moc czynna dostarczana do maszyny napędowej



Rys. 5. Straty mocy czynnej w uzwojeniach maszyny napędowej

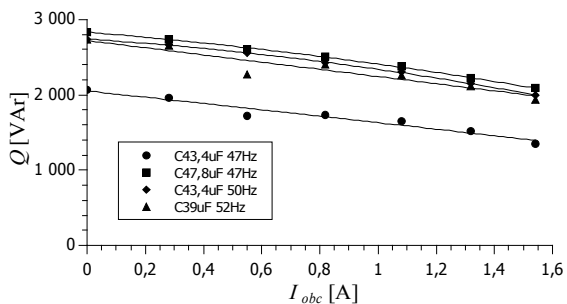


Rys. 5. Moc czynna wydawana przez maszynę napędową

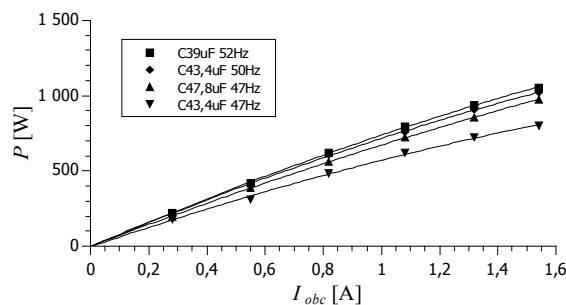
Jako zmienną przyjęto we wszystkich przebiegach prąd obciążenia generatora indukcyjnego I_{obc} .

3.4. Moc czynna, bierna i pozorna generatora indukcyjnego dla obciążenia rezystancyjnego

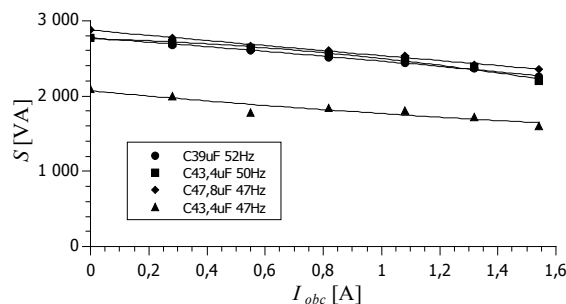
Moc czynną, bierną i pozorną maszyny indukcyjnej wyznaczono na podstawie pomiarów napięć oraz prądów czynnych i biernych na wyjściu maszyny. Wielkości te zmieniały się wraz ze zmianą obciążenia maszyny. Pomiarów wykonano dla kilku wartości pojemności baterii kondensatorów oraz różnych częstotliwości napięcia wyjściowego.



Rys. 6. Moc bierna pobierana przez generator indukcyjny



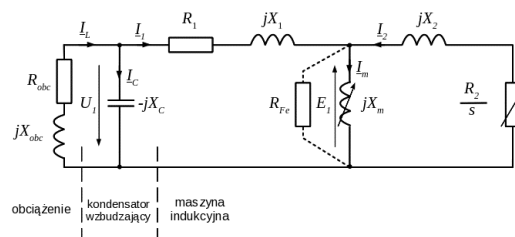
Rys. 7. Moc czynna wydawana przez generator indukcyjny



Rys. 8. Moc pozorna wydawana przez generator indukcyjny

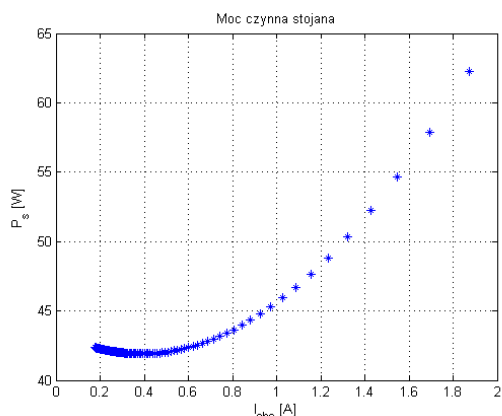
4. Obliczenia strat mocy czynnej generatora indukcyjnego

W celu weryfikacji wyznaczenia sprawności generatora indukcyjnego z pomiarów wykonano również obliczenia strat mocy czynnej generatora wykorzystując jego schemat zastępczy. Obliczenia weryfikacyjne wykonano dla największego stopnia obciążenia, częstotliwości $f=50$ Hz i pojemności baterii $C=43,4 \mu F$.

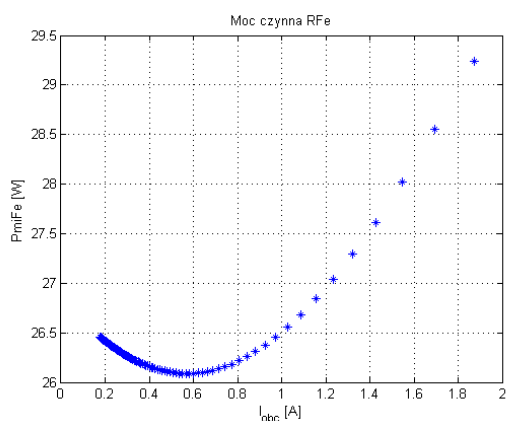


Rys. 9. Schemat zastępczy generatora indukcyjnego wzbudzanego kondensatorami

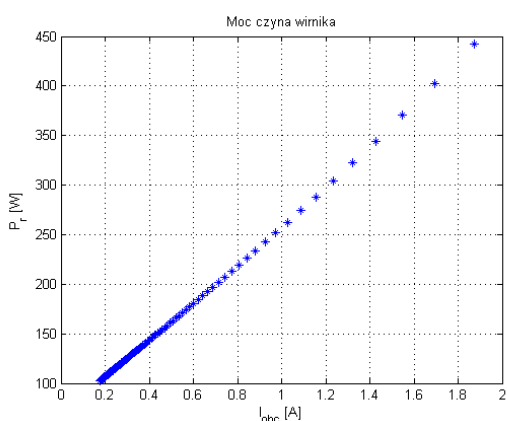
Uzyskano przebiegi strat mocy czynnej w uzwojeniach stojana, uzwojeniach wirnika oraz straty mocy czynnej w żelazie w zależności od obciążenia generatora indukcyjnego.



Rys. 10. Straty mocy czynnej w uzwojeniach stojana generatora indukcyjnego



Rys. 11. Straty mocy czynnej w żelazie stojana generatora indukcyjnego

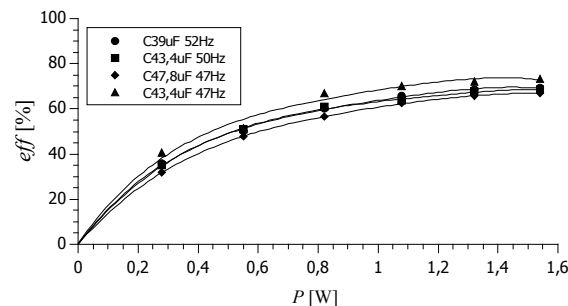


Rys. 12. Straty mocy czynnej w uzwojeniach wirnika generatora indukcyjnego

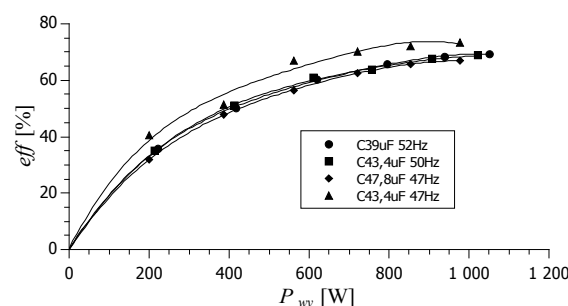
Suma strat mocy czynnej w silniku oraz strat mechanicznych dla prądu obciążenia $I_{obc}=1,5A$ wynosi około 470W. Wynik ten zgadza się z rezultatami uzyskanymi z pomiarów.

5. Sprawność maszyny indukcyjnej

Sprawność wyznaczono jako stosunek mocy czynnej wydawanej oraz mocy czynnej dostarczonej do generatora indukcyjnego.



Rys. 13. Sprawność generatora indukcyjnego od prądu obciążenia



Rys. 14. Sprawność generatora indukcyjnego od mocy wydawanej

Największą sprawność $\eta=73\%$ maszyna indukcyjna osiąga dla częstotliwości niższej niż sieciowa $f=47$ Hz. i pojemności baterii kondensatorów $C=43,4 \mu F$. Sprawność maleje wraz ze wzrostem częstotliwości i zmianą pojemności baterii kondensatorów. Dla częstotliwości sieciowej, optymalnej pojemności baterii: $C=43,4 \mu F$ i przy pełnym obciążeniu sprawność maszyny wynosi nieco poniżej 70%.

6. Literatura

- [1]. Ouazone L., McPherson G.: *Analysis of the isolated induction generator*, IEEE Trans., IAS-102, 8, 1983.
- [2]. Glinka T.: *Prądnicą indukcyjną 1-fazową*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Komel nr 62/2001, Katowice 2001.
- [3]. Glinka T., Kłapciński K., Jakubiec M.: *Prądnicą asynchroniczna 3-fazowa z wydzielonym uzwojeniem wzbudzenia*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Komel nr 62/2001, Katowice 2001.
- [4]. Orlewski W.: *Praca generatora asynchronicznego w sieci wydzielonej*. Mat. Konf. Współczesne Kierunki Rozwoju Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji, Kraków 2002

[5]. Tarek A., Noro O., Matsuo K. Shindo Y., Nakao M.: *Wind Turbine Coupled Three-Phase Self-Excited Induction Generator Voltage Regulation Scheme with Static VAR Compensator Controlled by PI Controller*, Electrical Machines and Systems, ICEMS, Chiny 2003.

[6]. Dybowski P., Orlewski W.: *Badania generatora indukcyjnego wzbudzanego kondensatorami*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Komel nr 77/2007, Katowice 2007.

[7]. Dybowski P., Orlewski W.: *Badania laboratoryjne samowzbudnego generatora indukcyjnego*, Przegląd Elektrotechniczny nr 05a/2012.

Autorzy

dr inż. Paweł Dybowski, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków tel. (+48 12) 617-28-97

e-mail: dybowski@agh.edu.pl

mgr inż. Tomasz Fijoł, absolwent AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii, obecnie: TELE-FONIKA Kable S.A. Zakład Kraków-Bieżanów, ul. Nad Drwiną 20, 30-841 Kraków, T (+48) 12 651 41 52

dr inż. Wacław Orlewski, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii Al. A. Mickiewicza 30 30-059 Kraków tel. (+48 12) 617-28-97 e-mail: orlewski@agh.edu.pl