

Paweł Dybowski, Waław Orlewski  
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## BADANIA GENERATORA INDUKCYJNEGO WZBUDZANEGO KONDENSATORAMI – OBCIĄŻENIE NIESYMETRYCZNE

### RESEARCH OF INDUCTION GENERATOR EXCITED CAPACITORS – NON-SYMMETRICAL LOAD

**Abstract:** Induction generator can work connected to power system or connected to separated 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. Authors call special attention for stabilization of amplitude and frequency of generated voltage. Measurements and time registration for non-symmetrical load are presented in this paper.

#### 1. Wstęp

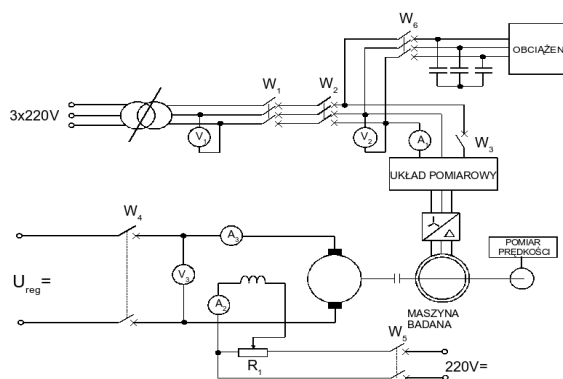
Generator indukcyjny może współpracować z siecią energetyczną, jak również pracować w sieci wydzielonej. Praca generatorowa maszyny indukcyjnej pracującej samotnie jest możliwa tylko wtedy, gdy zostanie jej dostarczona, niezbędna do pracy moc bierna. W celu realizacji tego zadania zastosowano specjalnie dobrane kondensatory wzbudzające. Badania podjęte przez autorów mają na celu sprawdzenie przydatności takiego generatora do pracy jako źródła energii elektrycznej niewielkich mocy w elektrowniach wiatrowych lub wodnych. W tej części pracy autorzy postanowili sprawdzić własności generatora indukcyjnego wzbudzanego kondensatorami podczas pracy z niesymetrycznym obciążeniem oraz w czasie zwarcia trójfazowego. Zwrócono uwagę na możliwości regulacyjne pracy generatora w celu stabilizacji napięcia i częstotliwości. 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.

#### 2. Układ pomiarowy

Badania wykonano dla silnika indukcyjnego typu Sg90L6, o numerze fabrycznym CL805351 oraz parametrach znamionowych:

$P_n = 1,1\text{kW}$ ,	$n_n = 925\text{obr/min}$ ,
$U_n = 230/400\text{V}$ ,	$I_n = 5,1/2,9\text{A}$ ,
$\cos\varphi_n = 0,74$ ,	praca S1,
temp. $40^\circ\text{C}$ ,	$f_n = 50\text{Hz}$ ,
IP55,	Isol F.

Sprawdzano pracę generatora wzbudzanego kondensatorami o różnych wartościach pojemności podczas pracy przy stałej częstotliwości lub stałej prędkości obrotowej. Jako napęd generatora użyty został silnik komutatorowy obcowzbudny, którego obwód twornika zasilany był z regulowanego źródła napięcia stałego. Tak wykonany napęd dawał możliwość płynnej regulacji prędkości obrotowej oraz jej stabilizacji podczas pracy ze stałą prędkością obrotową. Obciążenie niesymetryczne generatora indukcyjnego zrealizowano poprzez dołączenie zestawu żarówek. Zestaw składał się z żarówek o mocach 40W, 60W oraz 100W umieszczonych odpowiednio po sześć w poszczególnych fazach i połączonych w gwiazdę. Schemat układu połączeń wykorzystanego w pomiarach przedstawiono na rysunku 1.

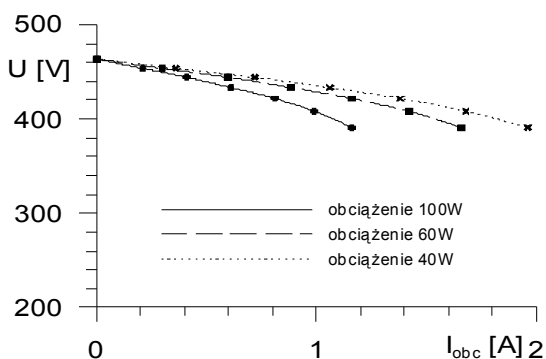


Rys. 1. Schemat pomiarowy do badania silnika indukcyjnego pracującego jako prądnica

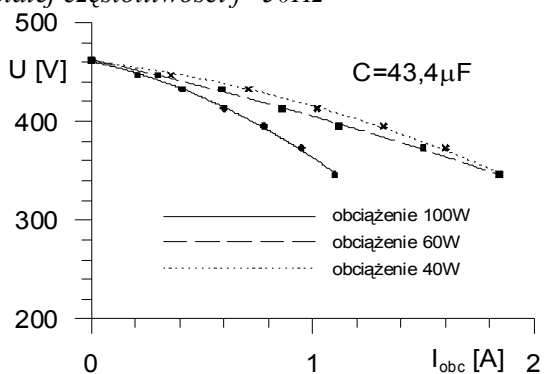
### 3. Pomiary laboratoryjne

#### 3.1 Charakterystyka $U(I_{obc})$

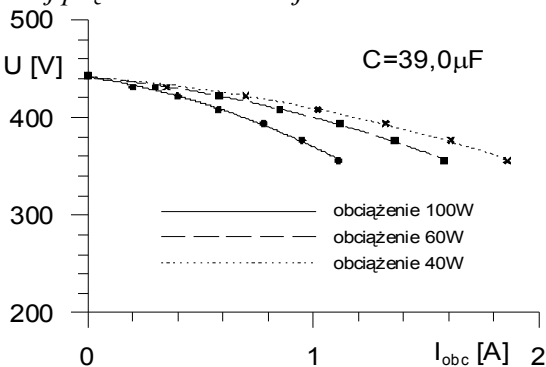
Poniżej zaprezentowano charakterystyki  $U(I_{obc})$  dla różnych pojemności kondensatorów wzbudzących uzyskanych podczas pracy generatora ze stałą częstotliwością  $f=50\text{Hz}$  oraz pracy ze stałą prędkością obrotową  $n=1013\text{obr/min}$ . Prąd  $I_{obc}$  jest to prąd płynący przez obciążenie (zestaw żarówek).



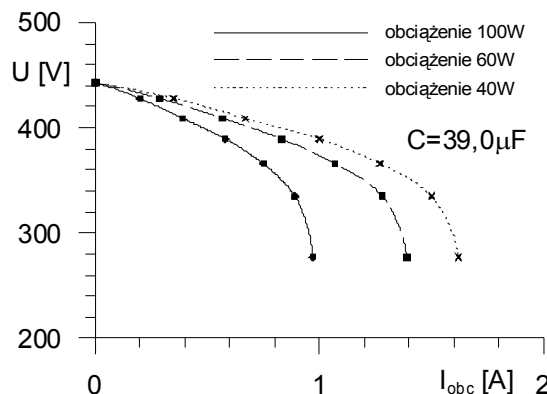
Rys. 2. Charakterystyka  $U(I_{obc})$  dla pojemności kondensatorów wzbudzących  $C=43,4\mu\text{F}$  przy stałej częstotliwości  $f=50\text{Hz}$



Rys. 3. Charakterystyka  $U(I_{obc})$  dla pojemności kondensatorów wzbudzących  $C=43,4\mu\text{F}$  przy stałej prędkości obrotowej  $n=1013\text{obr/min}$



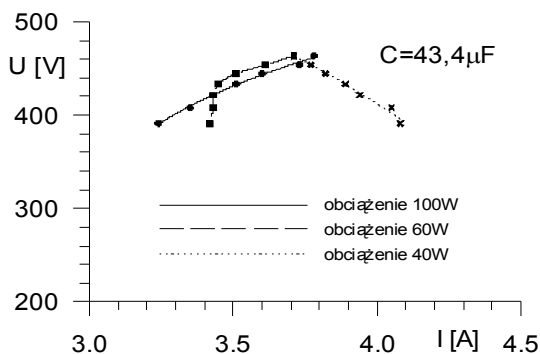
Rys. 4. Charakterystyka  $U(I_{obc})$  dla pojemności kondensatorów wzbudzących  $C=39,0\mu\text{F}$  przy stałej częstotliwości  $f=50\text{Hz}$



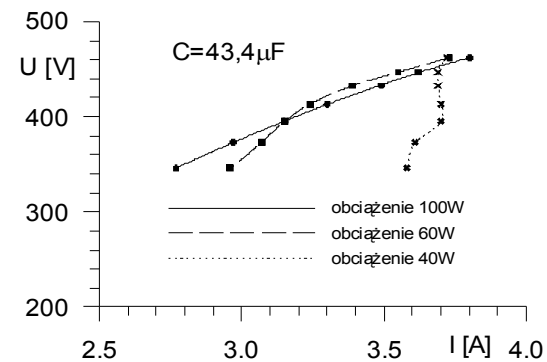
Rys. 5. Charakterystyka  $U(I_{obc})$  dla pojemności kondensatorów wzbudzących  $C=39,0\mu\text{F}$  przy stałej prędkości obrotowej  $n=1013\text{obr/min}$

#### 3.2 Charakterystyka $U(I)$

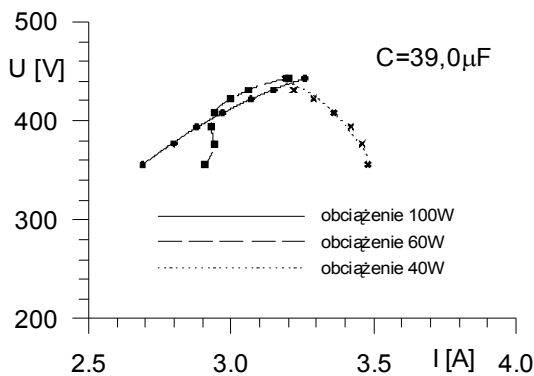
Poniżej zaprezentowano charakterystyki  $U(I)$  dla różnych pojemności kondensatorów wzbudzących uzyskanych podczas pracy generatora ze stałą częstotliwością  $f=50\text{Hz}$  oraz pracy ze stałą prędkością obrotową  $n=1013\text{obr/min}$ . Prąd  $I$  jest to prąd stojana generatora indukcyjnego.



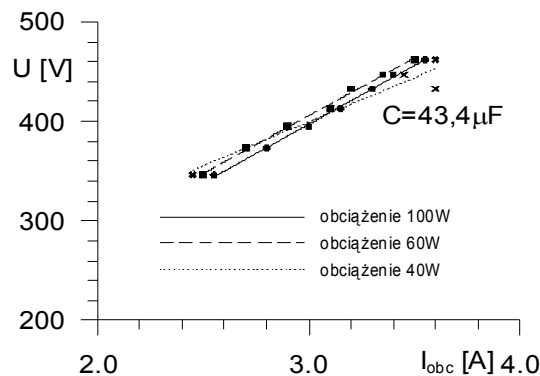
Rys. 6. Charakterystyka  $U(I)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzących  $C=43,4\mu\text{F}$  przy stałej częstotliwości  $f=50\text{Hz}$



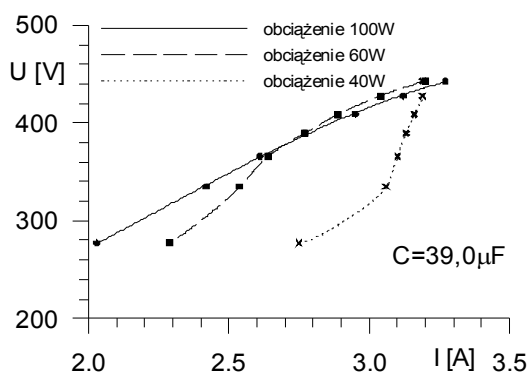
Rys. 7. Charakterystyka  $U(I)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzących  $C=43,4\mu\text{F}$  przy stałej prędkości obrotowej  $n=1013\text{obr/min}$



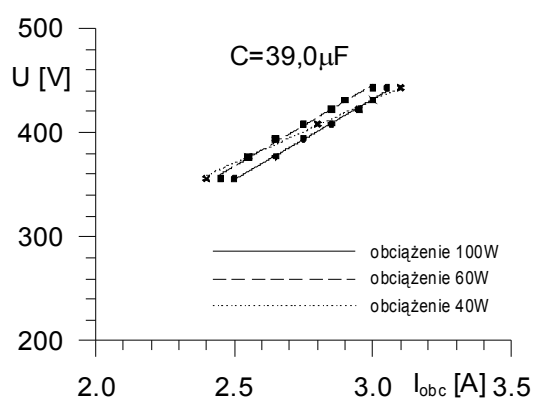
Rys. 8. Charakterystyka  $U(I)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=39,0\mu\text{F}$  przy stałej częstotliwości  $f=50\text{Hz}$



Rys. 11. Charakterystyka  $U(I_c)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu\text{F}$  przy stałej prędkości obrotowej  $n=1013\text{obr/min}$



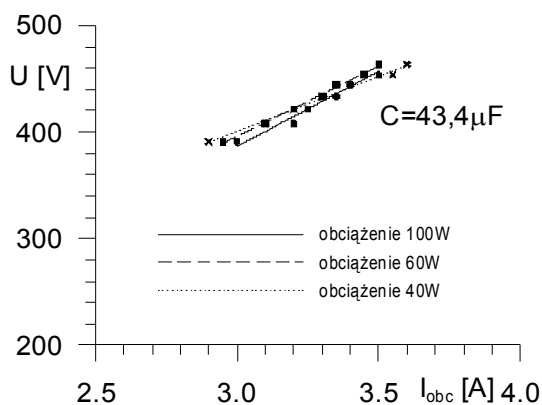
Rys. 9. Charakterystyka  $U(I)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=39,0\mu\text{F}$  przy stałej prędkości obrotowej  $n=1013\text{obr/min}$



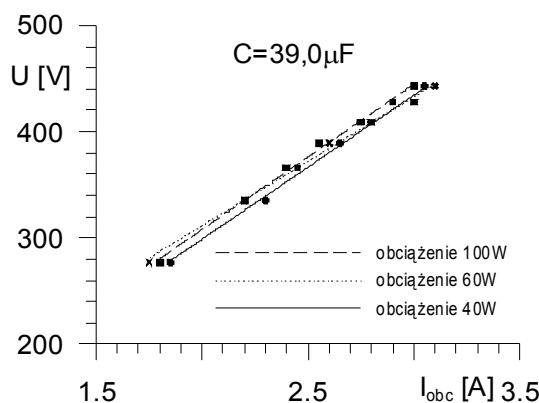
Rys. 12. Charakterystyka  $U(I_c)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=39,0\mu\text{F}$  przy stałej częstotliwości  $f=50\text{Hz}$

### 3.3 Charakterystyka $U(I_c)$

Poniżej zaprezentowano charakterystyki  $U(I_c)$  dla różnych pojemności kondensatorów wzbudzających uzyskanych podczas pracującego generatora ze stałą częstotliwością  $f=50\text{Hz}$  oraz pracy ze stałą prędkością obrotową  $n=1013\text{obr/min}$ . Prąd  $I_c$  jest to prąd płynący przez kondensatory wzbudzające.



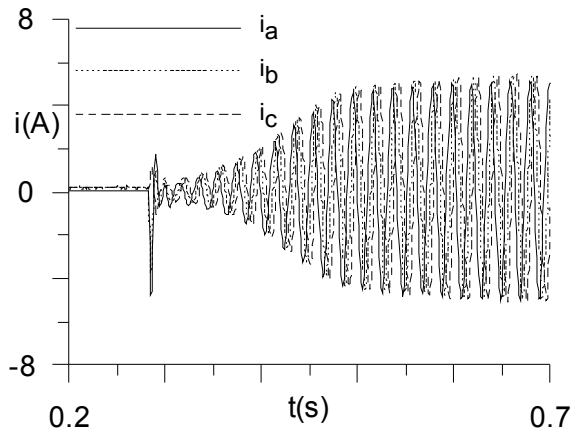
Rys. 10. Charakterystyka  $U(I_c)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu\text{F}$  przy stałej częstotliwości  $f=50\text{Hz}$



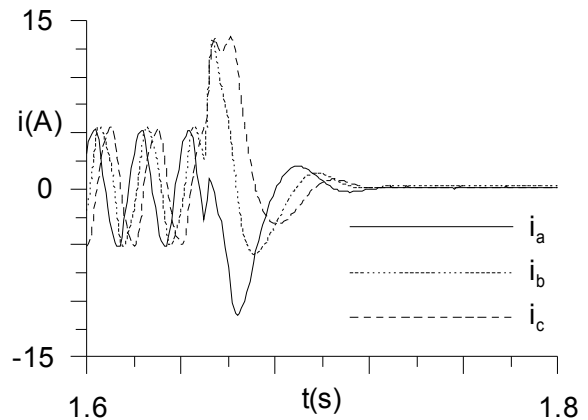
Rys. 13. Charakterystyka  $U(I_c)$  dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=39,0\mu\text{F}$  przy stałej prędkości obrotowej  $n=1013\text{obr/min}$

## 4. Przebiegi czasowe

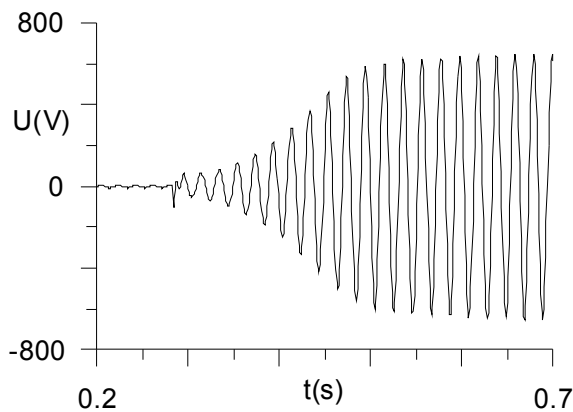
Poniżej zostały zaprezentowane przebiegi czasowe prądów stojana, napięcia międzyfazowego stojana oraz prędkości obrotowej wirnika przy wzbudzaniu się generatora, podczas zwarcia trójfazowego oraz w czasie ponownego wzbudzania się generatora po ustaniu zwarcia trójfazowego.



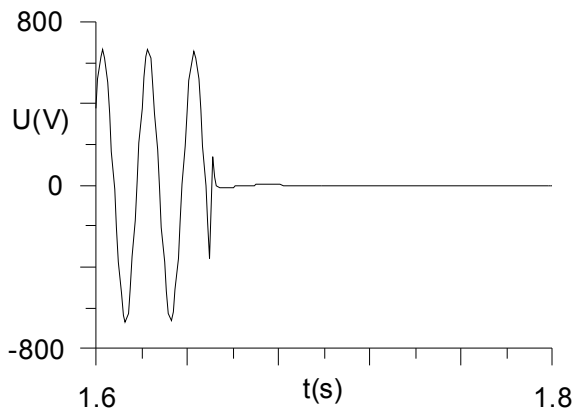
Rys. 14. Przebieg czasowy prądów stojana podczas procesu wzbudzenia się generatora dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



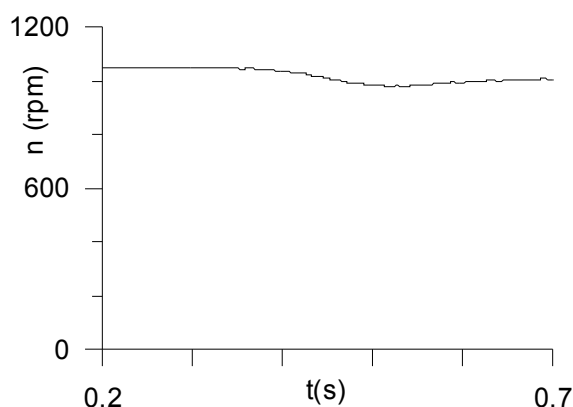
Rys. 17. Przebieg czasowy prądów stojana podczas zwarcia trójfazowego dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



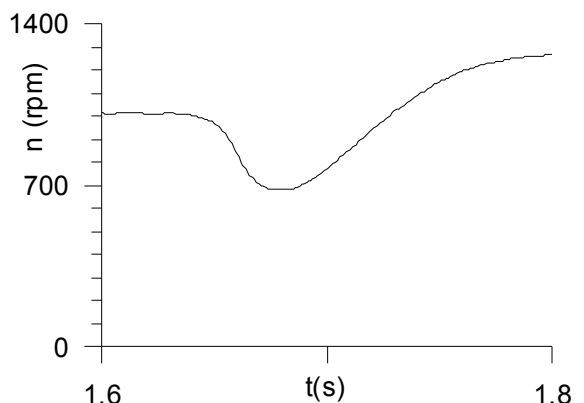
Rys. 15. Przebieg czasowy napięcia międzyfazowego stojana podczas procesu wzbudzenia się generatora dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



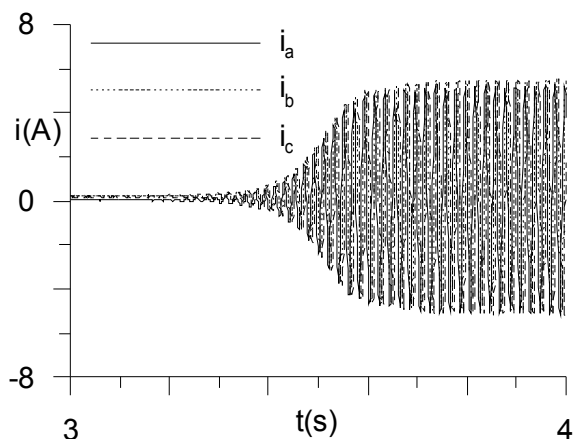
Rys. 18. Przebieg czasowy napięcia międzyfazowego stojana podczas zwarcia trójfazowego dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



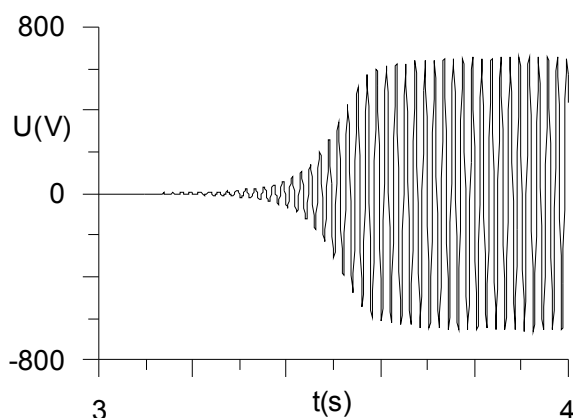
Rys. 16. Przebieg czasowy prędkości obrotowej wirnika podczas procesu wzbudzenia się generatora dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



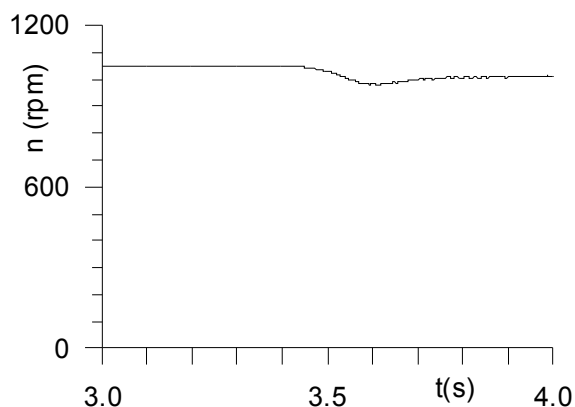
Rys. 19. Przebieg czasowy prędkości obrotowej wirnika podczas zwarcia trójfazowego dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



Rys. 20. Przebieg czasowy prądów stojana podczas powrotu napięcia po zwarceniu trójfazowym dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



Rys. 21. Przebieg czasowy napięcia międzyfazowego stojana podczas powrotu napięcia po zwarceniu trójfazowym dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$



Rys. 22. Przebieg czasowy prędkości obrotowej wirnika podczas powrotu napięcia po zwarceniu trójfazowym dla pojemności kondensatorów wzbudzających  $C=43,4\mu F$

## 5. Podsumowanie

Na podstawie zaprezentowanych powyżej wyników badań laboratoryjnych można stwierdzić, że maszyna indukcyjna wzbudzana kondensatorami wykazuje bardzo dobre własności podczas pracy generatorowej w czasie niesymetrycznego obciążenia. Symetria prądów płynących przez kondensatory wzbudzające podczas niesymetrycznego obciążenia daje możliwość łatwego doboru tych kondensatorów bez potrzeby korygowania ich wartości podczas niesymetrii obciążenia. Ciekawą własnością takiego zastosowania maszyny indukcyjnej jest samoczynne odwzbudzenie się generatora podczas zwarcia trójfazowego oraz automatyczny powrót do pracy generatorowej po ustaniu zwarcia. Jest to bardzo cenna własność z punktu widzenia bezpiecznego (szczególnie pod względem przeciwpożarowym) użytkownika źródła napięcia. Dzięki takim własnościom ruchowym można z powodzeniem zastosować taki generator do produkcji energii elektrycznej w małej elektrowni wiatrowej lub wodnej. Dobierając odpowiednio baterię kondensatorów wzbudzających oraz układ napędowy można skonstruować taki układ sterowania, który będzie utrzymywał stabilne parametry napięcia wyjściowego, takie jak amplituda oraz częstotliwość. Niewątpliwą zaletą jest również użycie jako generatora seryjnie produkowanego silnika indukcyjnego.

## 6. Literatura

- [1]. Glinka T.: *Prądnica indukcyjna 1-fazowa*. Zeszyty Problemowe BOBRME Komel nr 62/2001, Ustroń 2001, s. 113-116.
- [2]. Glinka T., Kłapciński K., Jakubiec M.: *Prądnica asynchroniczna 3-fazowa z wydzielonym uzwojeniem wzbudzenia*. Zeszyty Problemowe BOBRME Komel nr 62/2001, Ustroń 2001, s. 117-121.
- [3]. Tarek A., Noro O., Matsuo K. Shindo Y., Nakaoka M.: *Wind Turbine Coupled Three-Phase Self-Excited Induction Generator Voltage Regulation Scheme with Static VAR Compensator Controlled by PI Controller*. Mat. Konf. Electrical Machines and Systems, ICEMS 2003, Chiny, s. 293 – 296.
- [4]. Orlewski W.: *Praca generatora asynchronicznego w sieci wydzielonej*. Mat. Konf. Współczesne Kierunki Rozwoju Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji, Kraków 2002, s. 179-180.
- [5]. Dybowski P., Orlewski W.: *Badania generatora indukcyjnego wzbudzanego kondensatorami*. Zeszyty Problemowe BOBRME Komel nr 77/2007, Ryto 2007, wyd., s. 23-26.

**Autorzy**

Dr inż. Paweł Dybowski,  
Katedra Maszyn Elektrycznych, Wydział  
Elektrotechniki Automatyki Informatyki  
i Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Al.  
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (012)  
617-28-97, fax (012) 634-10-96, e-mail:  
dybowski@agh.edu.pl

Dr inż. Waclaw Orlewski,  
Katedra Maszyn Elektrycznych, Wydział  
Elektrotechniki Automatyki Informatyki i  
Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Al.  
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (012)  
617-28-98, fax (012) 634-10-96, e-mail:  
orlewski@agh.edu.pl

*Publikację opracowano w ramach pracy  
własnej nr 10.10.120*