

Cezary JĘDRYCZKA*, Jacek PROŚCIAK**

POŁOWO ZORIENTOWANE ALGORYTMY REGULACJI MOCY DWUSTRONNIE ZASILANEGO GENERATORA INDUKCYJNEGO NAPĘDZANEGO TURBINĄ WIATROWĄ

W artykule przedstawiono ideę sterowania generatorem indukcyjnym dwustronnie zasilanym z wykorzystaniem połowo zorientowanego algorytmu sterowania względem strumienia skojarzonego stojana. W celu weryfikacji rozważań opracowano model symulacyjny maszyny indukcyjnej dwustronnie zasilanej oraz jej układu sterowania. W układzie sterowania zastosowano kaskadowy układ regulacji umożliwiający niezależne sterowanie mocą czynną oraz bierną generatora. Badania symulacyjne przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania MATLAB® Simulink®. Przedstawiono i omówiono wybrane wyniki badań symulacyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: generator indukcyjny dwustronnie zasilany, sterowanie zorientowane połowo, regulacja mocy czynnej i biernej, symulacja komputerowa, energetyka wiatrowa.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach można zaobserwować na świecie dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej. Całkowita moc zainstalowana w instalacjach wiatrowych na świecie do końca 2016 roku wyniosła około 487 GW [7], a w Polsce około 8,4 GW. Przy czym całkowita moc zainstalowana w polskim systemie elektroenergetycznym wynosi około 42 GW [9]. Rozwój energetyki wiatrowej podyktowany jest względami ekologicznymi oraz docelowo ekonomicznymi. Generacja energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych jest przedmiotem prac badawczych w wielu ośrodkach naukowych i przemysłowych [3, 5, 6, 8, 10].

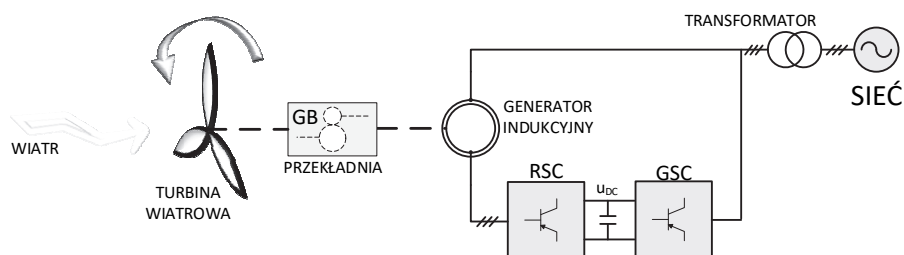
Z uwagi na zmienność prędkości wiatru układ sterowania generatorem w siłowni wiatrowej powinien zapewnić optymalną prędkość obrotową wirnika turbiny w celu uzyskania możliwie największej sprawności. Ponadto w większości krajów operatorzy sieci elektroenergetycznych, do których przyłączane są farmy wiatrowe, wymagają niezależnej regulacji mocy czynnej oraz mocy biernej generowanej w siłowni wiatrowej.

* Politechnika Poznańska

** Nordex Polska Sp. z o.o.

Obecnie popularnym wśród producentów siłowni wiatrowych rozwiązaniem jest wykorzystanie generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego [6, 8, 10]. Rozwiązanie to stanowi alternatywę dla generatora synchronicznego. W układzie generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego stosuje się przekształtnik energoelektroniczny przetwarzający zaledwie około 30% mocy znamionowej generatora [1]. Dla porównania siłownie wiatrowe z generatorami synchronicznymi muszą być wyposażone w przekształtniki energoelektroniczne o mocy równej mocy znamionowej generatora.

Schemat poglądowy generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego napędzanego turbiną wiatrową został przedstawiony na rys. 1. Uzwojenia stojana są połączone bezpośrednio z siecią, natomiast wirnik maszyny jest zasilony pośrednio poprzez przekształtnik energoelektroniczny.



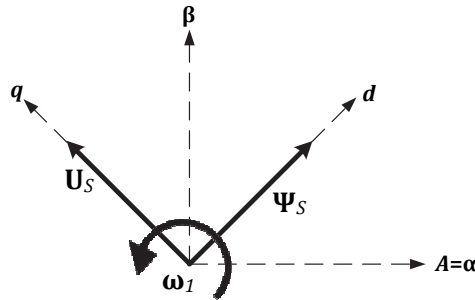
Rys. 1. Schemat poglądowy generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego napędzanego turbiną wiatrową

Przekształtnik energoelektroniczny składa się z dwóch półprzewodnikowych mostków trójfazowych z tranzystorami IGBT i diodami zwrotnymi. Oba mostki trójfazowe połączone są ze sobą poprzez pośredniczący obwód napięcia stałego. Jeden z mostków jest tzw. mostkiem strony sieci (ang. *Grid Side Converter*, GSC), natomiast drugi mostkiem strony maszyny (ang. *Rotor Side Converter*, RSC).

Mostek RSC ma za zadanie wymuszenie takiego przepływu uzwojenia wirnika, aby wirował on synchronicznie z przepływem uzwojenia stojana. W związku z tym, w odróżnieniu od klasycznych maszyn indukcyjnych, częstotliwość prądów wirnika f_r jest parametrem regulowanym przez układ sterowania, a niewynikającym z aktualnego stanu pracy maszyny.

W celu zapewnienia niezależnej regulacji mocy czynnej i biernej generowanych w elektrowni wiatrowej można zastosować algorytm sterowania zorientowanego połowo z odniesieniem do strumienia skojarzonego z uzwojeniem stojana [3, 4, 5]. W algorytmie tym przyjmuje się, że strumień skojarzony z uzwojeniem stojana jest stały i wiruje z pulsacją synchroniczną ω_r . Pomijając w układzie sterowania spadek napięcia na rezystancjach uzwojeń stojana oś wzdłużna

d rozpatrywanego układu odniesienia pokrywa się z wektorem przestrzennym strumienia stojana, natomiast wektor przestrzenny napięcia stojana jest prostopadły do strumienia stojana i pokrywa się z osią poprzeczną q . Wzajemne położenie wspomnianych wektorów przestrzennych zostało przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Wzajemna orientacja wektorów przestrzennych strumienia skojarzonego stojana i napięcia stojana

Przy przyjętych założeniach składowe wektora przestrzennego strumienia stojana wynoszą:

$$\Psi_{sd} = \Psi_S = const \quad (1)$$

$$\Psi_{sq} = 0 \quad (2)$$

gdzie: Ψ_{sd} – składowa wektora przestrzennego strumienia skojarzonego stojana w osi d wirującego układu odniesienia, Ψ_{sq} – składowa wektora przestrzennego strumienia skojarzonego stojana w osi q wirującego układu odniesienia.

Moc czynna stojana generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego określona jest zależnością [5]:

$$P_S = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_S} u_s i_{Rq} \quad (3)$$

gdzie: P_S – moc czynna stojana, L_m – indukcyjność wzajemna między uzwojeniami stojana i wirnika, L_S – indukcyjność własna uzwojenia stojana, u_s – napięcie na uzwojeniach stojana, i_{Rq} – składowa wektora przestrzennego prądów wirnika w osi q układu odniesienia zorientowanego względem strumienia stojana. Z zależności (3) wynika, że moc czynną stojana można regulować sterując składową wektora przestrzennego prądów wirnika w osi q zorientowanego względem strumienia stojana układu odniesienia.

Moc bierna generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego określona jest zależnością [5]:

$$Q_S = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_S} u_s i_{Rd} - \frac{3}{2} \frac{u_s^2}{\omega_1 L_S} \quad (4)$$

gdzie: i_{Rd} – składowa wektora przestrzennego prądów wirnika w osi d układu odniesienia zorientowanego względem strumienia stojana.

Z zależności (4) wynika, że moc bierną stojana można regulować poprzez zmianę składowej wektora przestrzennego prądów wirnika w osi d .

2. MODELOWANIE GENERATORA INDUKCYJNEGO DWUSTRONNIE ZASILANEGO

W celu weryfikacji skuteczności algorytmu sterowania zorientowanego polewo do niezależnej regulacji mocy czynnej i biernej generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego opracowano modele symulacyjne maszyny asynchronicznej pierścieniowej, turbiny wiatrowej oraz układu sterowania.

Zestaw równań różniczkowych zwyczajnych opisujący dynamikę maszyny indukcyjnej w stacjonarnym względem uzwojeń stojana układzie odniesienia α - β można zapisać następująco [2]:

$$\mathbf{U}_S^s = \mathbf{R}_S \mathbf{I}_S^s + \frac{d\mathbf{\Psi}_S^s}{dt} \quad (5a)$$

$$\mathbf{U}_R^s = \mathbf{R}_R \mathbf{I}_R^s + \frac{d\mathbf{\Psi}_R^s}{dt} - j p_b \omega_m \mathbf{\Psi}_R^s \quad (5b)$$

$$\mathbf{\Psi}_S^s = \mathbf{L}_S \mathbf{I}_S^s + \mathbf{L}_m \mathbf{I}_R^s \quad (5c)$$

$$\mathbf{\Psi}_R^s = \mathbf{L}_R \mathbf{I}_R^s + \mathbf{L}_m \mathbf{I}_S^s \quad (5d)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J_z} (T_e - T_{obc} - c_t \omega_m) \quad (5e)$$

$$T_e = -\frac{3}{2} p_b \mathbf{L}_m \text{Im} \{ \mathbf{I}_S^{s*} \mathbf{I}_R^s \} \quad (5f)$$

gdzie: \mathbf{U}_S^s – wektor przestrzenny napięć stojana zorientowany względem osi fazy A stojana, \mathbf{R}_S – wektor rezystancji uzwojeń stojana, \mathbf{I}_S^s – wektor przestrzenny prądów stojana zorientowany względem osi fazy A stojana, $\mathbf{\Psi}_S^s$ – wektor przestrzenny strumienia skojarzonego stojana zorientowany względem osi fazy A stojana, t – czas, \mathbf{U}_R^s – wektor przestrzenny napięć wirnika zorientowany względem osi fazy A stojana, \mathbf{R}_R – wektor rezystancja uzwojeń wirnika, \mathbf{I}_R^s – wektor przestrzenny prądów wirnika zorientowany względem osi fazy A stojana, p_b – liczba par biegunów maszyny, ω_m – pulsacja mechaniczna wirnika, $\mathbf{\Psi}_R^s$ – wektor przestrzenny strumienia skojarzonego wirnika zorientowany względem osi fazy A stojana, \mathbf{L}_R – macierz indukcyjności własnych uzwojeń wirnika, J_z – zastępczy moment bezwładności układu, T_e - moment elektromagnetyczny maszyny, T_{obc} – moment obciążenia na wale maszyny, c_t – współczynnik tarcia.

Po wyodrębnieniu w równaniach (5) składowych wektorów przestrzennych i przekształceniu uzyskanych zależności do postaci dogodnej dla potrzeb modelowania komputerowego, równania stojana można zapisać w postaci [2]:

$$\frac{d\Psi_{S\alpha}}{dt} = u_{S\alpha} - R_S M_R \Psi_{S\alpha} + R_S M_m \Psi_{Rd} \quad (6)$$

$$\frac{d\Psi_{S\beta}}{dt} = u_{S\beta} - R_S M_R \Psi_{S\beta} + R_S M_m \Psi_{Rq} \quad (7)$$

Analogicznie można postąpić z równaniami napięciowymi wirnika [2]:

$$\frac{d\Psi_{Rd}}{dt} = u_{Rd} - R_R M_S \Psi_{Rd} + R_R M_m \Psi_{S\alpha} - p_b \omega_m \Psi_{Rq} \quad (8)$$

$$\frac{d\Psi_{Rq}}{dt} = u_{Rq} - R_R M_S \Psi_{Rq} + R_R M_m \Psi_{S\beta} - p_b \omega_m \Psi_{Rd} \quad (9)$$

Natomiast składowe wektorów przestrzennych prądów stojana i wirnika w stacjonarnym układzie odniesienia względem uzwojeń stojana określają równania [2]:

$$i_{S\alpha} = M_R \Psi_{S\alpha} - M_m \Psi_{Rd} \quad (10)$$

$$i_{S\beta} = M_R \Psi_{S\beta} - M_m \Psi_{Rq} \quad (11)$$

$$i_{Rd} = M_S \Psi_{Rd} - M_m \Psi_{S\alpha} \quad (12)$$

$$i_{Rq} = M_S \Psi_{Rq} - M_m \Psi_{S\beta} \quad (13)$$

Współczynniki M_R , M_S i M_m występujące w powyższych równaniach można wyznaczyć znając parametry maszyny według zależności podanych poniżej [2]:

$$M_R = \frac{L_R}{L_S L_R - L_m^2} \quad (14)$$

$$M_S = \frac{L_S}{L_S L_R - L_m^2} \quad (15)$$

$$M_m = \frac{L_m}{L_S L_R - L_m^2} \quad (16)$$

Równanie równowagi mechanicznej po przekształceniach pominięciu zjawiska tarcia przyjmie postać:

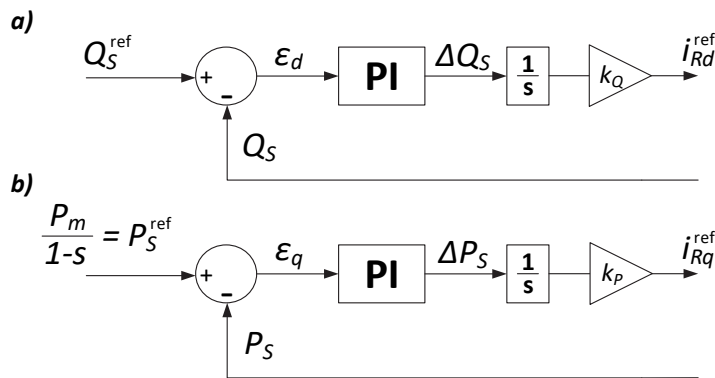
$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J_z} \left(T_{nap} - \frac{3}{2} p_b L_m (i_{S\alpha} i_{Rq} - i_{S\beta} i_{Rd}) \right) \quad (17)$$

gdzie T_{nap} – moment napędowy na wale przekładni.

Układ sterowania generatorem indukcyjnym dwustronnie zasilanym z wykorzystaniem algorytmu sterowania zorientowanego polowo wymaga przekształcenia wielkości fazowych napięć oraz prądów stojana i prądów wirnika do układu $\alpha - \beta$ stacjonarnego względem uzwojeń maszyny przy użyciu transformacji Clarke, a następnie przekształcenie odpowiednich sygnałów do układu stacjo-

narnego względem wektora przestrzennego strumienia skojarzonego stojana przy użyciu transformacji Park'a. W celu regulacji mocy czynnej i biernej generatora zastosowano kaskadowy układ regulacji z nadrzędnym regulatorem mocy i podrzędnym regulatorem prądu wirnika.

Układ sterowania mocą w opracowanym modelu składa się z dwóch niezależnych regulatorów typu PI: (a) mocy biernej i (b) mocy czynnej. Sygnał referencyjny mocy biernej może być zadany jako wartość stała lub funkcja zmienna w czasie. Natomiast sygnał referencyjny mocy czynnej stojana wyznacza się z zależności pomiędzy mocą czynną stojana, a mocą mechaniczną na wale turbiny wiatrowej i poślizgu, z jakim pracuje w danym momencie maszyna. Unika się w ten sposób potrzeby wyznaczania tablic zawierających wartości referencyjne mocy czynnej stojana dla danej prędkości wiatru i prędkości obrotowej wirnika. Schemat ideowy regulatorów mocy został przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Schematy ideowe regulatorów a) mocy biernej generatora, b) mocy czynnej generatora

Sygnałami wyjściowymi z regulatorów mocy są sygnały referencyjne dla regulatorów prądów wirnika w osiach d i q .

Napięcia wirnika w osiach d i q po przekształceniach wyrażone są wzorami [4]:

$$u_{Rd} = R_R i_{Rd} + \sigma L_R \frac{di_{Rd}}{dt} - \omega_s \sigma L_R i_{Rq} \quad (18)$$

$$u_{Rq} = R_R i_{Rq} + \sigma L_R \frac{di_{Rq}}{dt} + \omega_s \sigma L_R i_{Rd} + \omega_s \frac{L_m}{L_S} \Psi_S \quad (19)$$

gdzie: σ – współczynnik rozproszenia strumienia magnetycznego, ω_s – pulsacja poślizgu.

Wyrażenia (18) i (19) można przedstawić w postaci:

$$u_{Rd} = e_{td} + e_d \quad (20)$$

$$u_{Rq} = e_{iq} + e_q + e_\psi \quad (21)$$

gdzie: e_{td} – siła elektromotoryczna transformacji w osi d , e_{tq} – siła elektromotoryczna transformacji w osi q , e_d – siła elektromotoryczna rotacji w osi d , e_q – siła elektromotoryczna rotacji w osi q , e_ψ – siła elektromotoryczna rotacji w osi q pochodząca od strumienia stojana.

Siły elektromotoryczne w równaniach (20) i (21) można wyrazić zależnościami:

$$e_{td} = R_R i_{Rd} + \sigma L_R \frac{di_{Rd}}{dt} \quad (22)$$

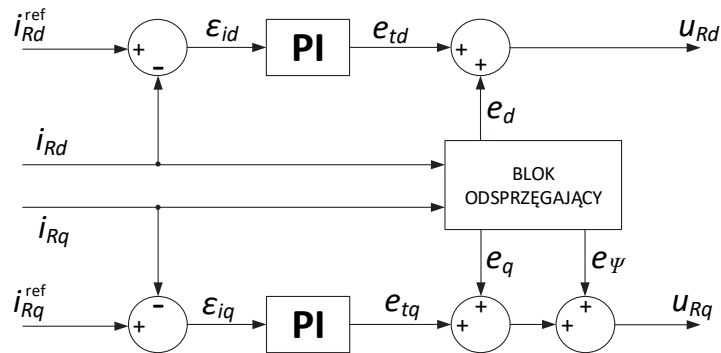
$$e_{tq} = R_R i_{Rq} + \sigma L_R \frac{di_{Rq}}{dt} \quad (23)$$

$$e_d = -\omega_S \sigma L_R i_{Rq} \quad (24)$$

$$e_q = \omega_S \sigma L_R i_{Rd} \quad (25)$$

$$e_\psi = \omega_S \frac{L_m}{L_S} \Psi_S \quad (26)$$

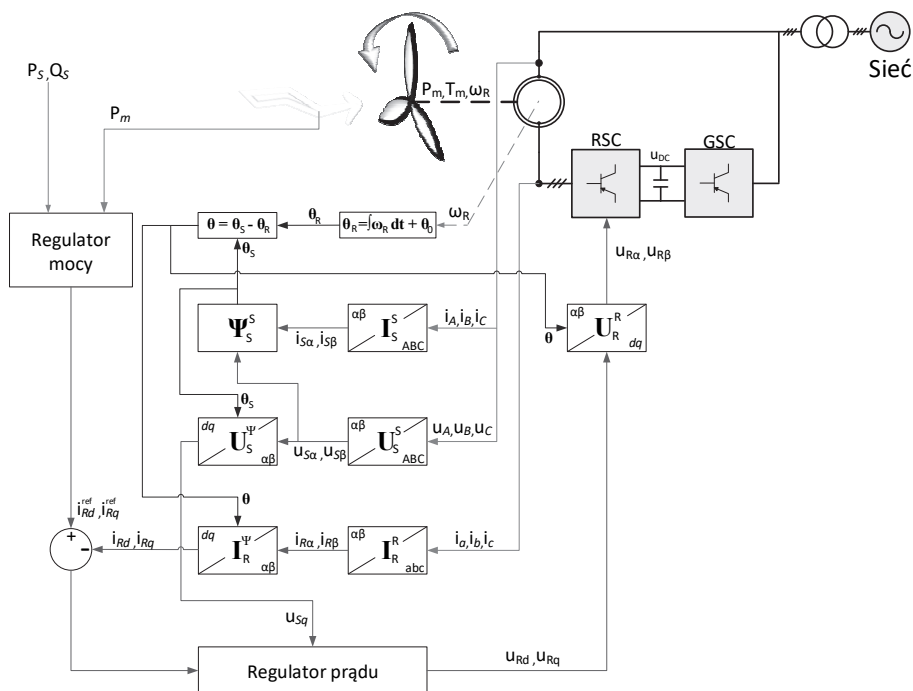
Regulator prądów wirnika składa się z dwóch niezależnych regulatorów typu PI odpowiednio w osi d i q oraz układu odsprzęgającego sygnały między osiami układu odniesienia. Korzysta się przy tym ze sprzężenia w przód. Schemat ideowy regulatora prądów wirnika przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat ideowy regulatora prądów wirnika

Sygnały napięć wirnika w osiach d i q uzyskane z regulatora prądów wirnika są transformowane do układu stacjonarnego względem uzwojeń wirnika za pomocą odwrotnej transformacji Park'a.

Schemat ideowy opracowanego układu sterowania został przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Schemat ideowy układu sterowania generatorem indukcyjnym dwustronnie zasilanym

3. BADANIA SYMULACYJNE MODELU GENERATORA INDUKCYJNEGO DWUSTRONNIE ZASILANEGO

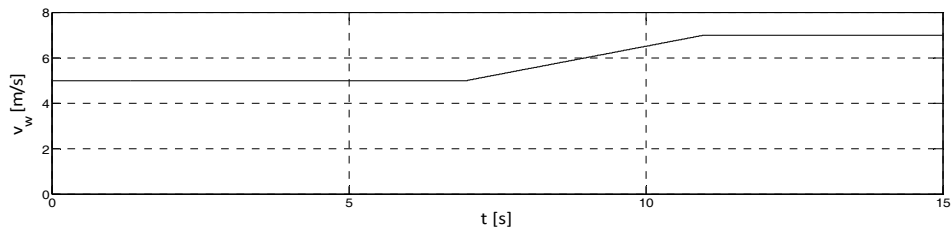
Celem badań symulacyjnych było przedstawienie możliwości niezależnego sterowania mocą czynną i bierną generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego. Badania symulacyjne przeprowadzono w środowisku MATLAB® Simulink®, w którym zaimplementowano opracowany model rozpatrywanego układu.

W rozważaniach przyjęto, że układ sterowania oraz zasilanie maszyny były załączane dopiero po osiągnięciu przez wirnik generatora prędkości synchronicznej. Pomimo to załączeniu zasilania generatora towarzyszy stan nieustalony. Występują udary prądowe, skutkujące przetężeniami momentu elektromagnetycznego i zapadem prędkości wirnika. W układach rzeczywistych w celu uniknięcia niebezpiecznych stanów przejściowych stosuje się układy synchronizujące generator z siecią.

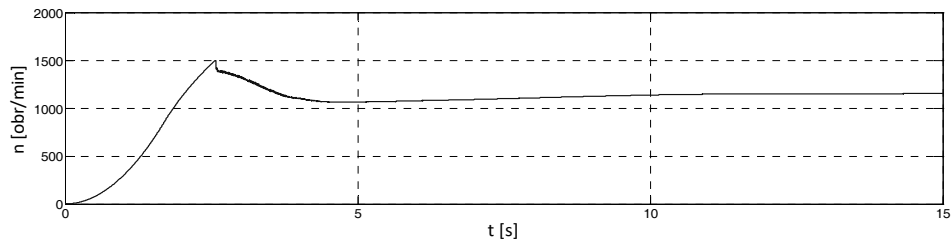
W dalszej części artykułu przedstawiono wybrane wyniki badań symulacyjnych. Przeanalizowano kilka wariantów sterowania mocą czynną oraz bierną podczas pracy przy zmiennej prędkości wiatru.

- Sterowanie mocą czynną przy zmiennej prędkości wiatru i zadanym współczynniku mocy $\cos\varphi = 1$

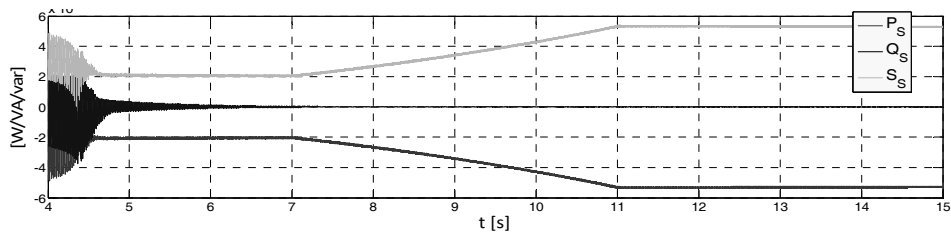
Uzyskane przebiegi prędkości wirnika, mocy stojana oraz sygnałów w pętli regulatorów mocy i prądu wirnika w osi q dla przyjętego profilu prędkości wiatru (rys. 6) pokazano odpowiednio na rysunkach 7 do 10.



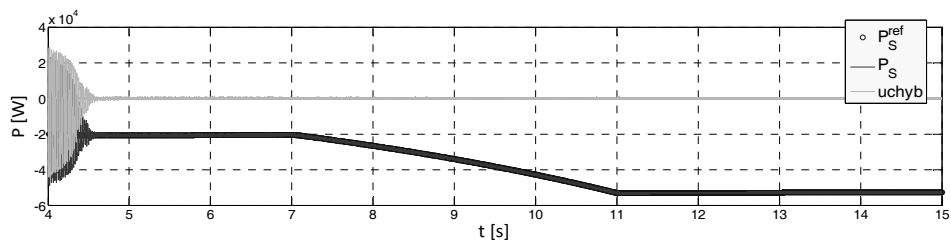
Rys. 6. Przebieg prędkości wiatru



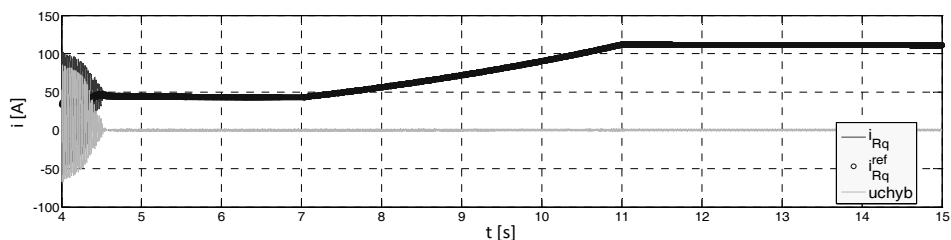
Rys. 7. Prędkość wirnika dla pracy generatora przy zmiennym wietrze



Rys. 8. Moce stojana dla pracy generatora przy zmiennym wietrze



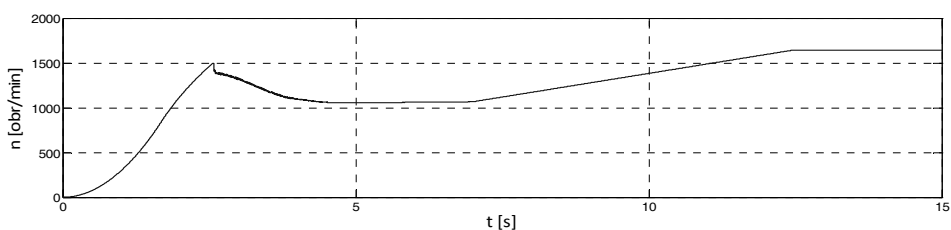
Rys. 9. Sygnały w pętli regulatora mocy czynnej dla pracy generatora przy zmiennym wietrze



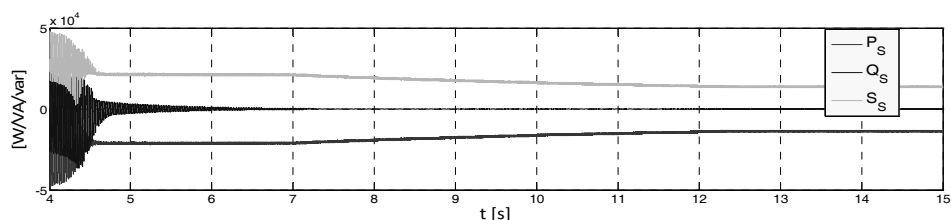
Rys. 10. Sygnały w pętli regulatora prądów wirnika w osi q dla pracy generatora przy zmiennym wietrze

- Sterowanie mocą czynną – zmiana trybu pracy z pracy podsynchronicznej do pracy nadsynchronicznej

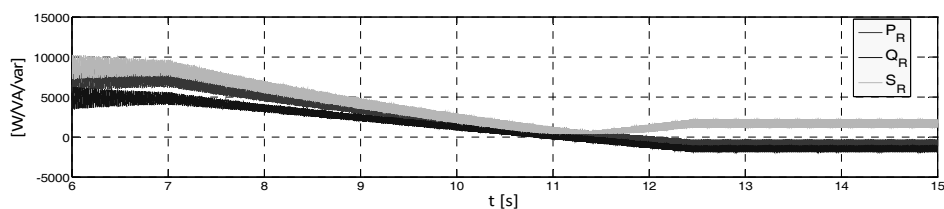
W celu przeprowadzenia badań opracowany model symulacyjny uzupełniono o układ wymuszający prędkość nadsynchroniczną generatora. W analizowanym przykładzie układ ten zostaje aktywowany po 7 sekundach od chwili załączenia generatora do sieci - patrz rys. 11. Ponieważ referencyjna wartość mocy czynnej wyznaczana jest na podstawie poślizgu (rys. 12) układ pozostaje stabilny. Analizując przebiegi mocy wirnika (rys. 13) można zaobserwować zmianę znaku mocy czynnej. Dla prędkości nadsynchronicznych następuje również zmiana kierunku wirowania przepływu wirnika - odwrócona zostaje kolejność faz prądów rotora - rys. 14.



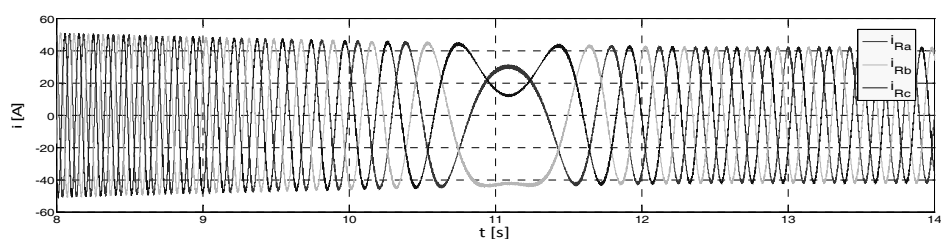
Rys. 11. Prędkość wirnika z wymuszeniem prędkości nadsynchronicznej



Rys. 12. Moce stojana dla pracy z wymuszeniem prędkości nadsynchronicznej



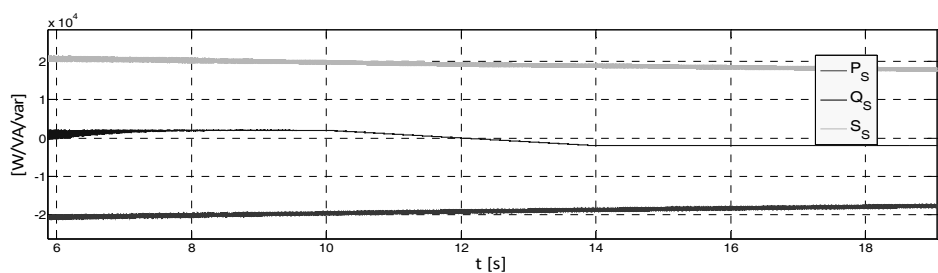
Rys. 13. Moce rotora dla pracy generatora z wymuszeniem prędkości nadsynchronicznej



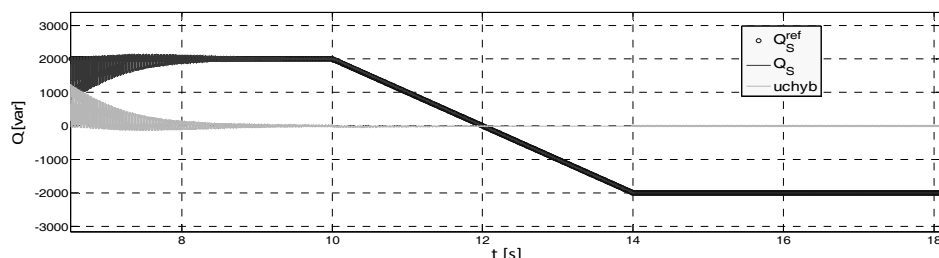
Rys. 14. Prądy wirnika dla pracy generatora z wymuszeniem prędkości nadsynchronicznej

– Sterowanie mocą bierną

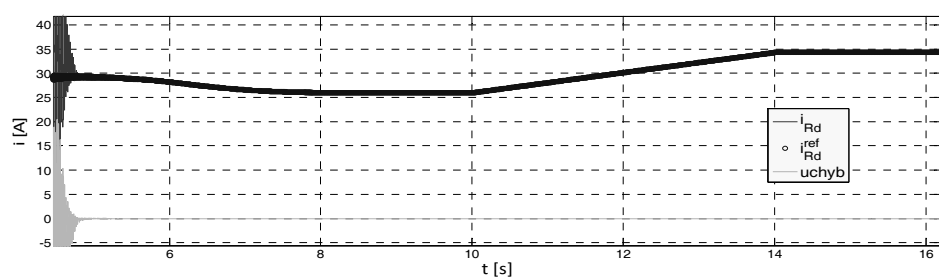
Uzyskane przebiegi mocy stojana oraz sygnałów w pętli regulatorów mocy i prądu w osi d pokazano na rysunkach odpowiednio 15 do 17. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że regulacja mocy biernej realizowana jest poprawnie. Wartości uchybu regulatorów mocy oraz prądu w osi d dążą do zera. Należy zauważyć jednak, że stromość sygnału referencyjnego nie jest zbyt duża. W celu zapewnienia stabilnej pracy układu przy większej dynamice zmian sygnału referencyjnego konieczna jest dalsza optymalizacja nastaw regulatorów.



Rys. 15. Moce stojana dla pracy generatora przy stałym wietrze ze zmienną referencją mocy biernej



Rys. 16. Sygnały w pętli regulatora mocy biernej dla pracy generatora przy stałym wietrze ze zmienną referencją mocy biernej



Rys. 17. Sygnały w pętli regulatora prądu w osi d dla pracy generatora ze zmienną referencją mocy biernej

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono model generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego przystosowanego do pracy w elektrowniach wiatrowych. W celu niezależnego sterowania mocą czynną oraz mocą bierną generatora zaproponowano kaskadowy układ regulacji, z nadrzędną pętlą sterowania mocy oraz podrzędną pętlą regulacji prądu wirnika. Przeprowadzono szereg badań symulacyjnych dla różnych stanów pracy rozpatrywanego układu.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że zastosowanie układu regulacji kaskadowej, z nadrzędną pętlą regulacji mocy oraz podrzędną pętlą regulacji prądu wirnika umożliwia skuteczną regulację mocy czynnej i biernej generatora.

Generator indukcyjny dwustronnie zasilany umożliwia generowanie energii elektrycznej zarówno przy pracy nadsynchronicznej, jak i podsynchronicznej. Przy pracy nadsynchronicznej nadmiar energii z układu przepływa przez uzwojenia wirnika w stronę sieci, natomiast przy pracy podsynchronicznej niedobór energii w układzie jest uzupełniany z sieci. Zmiana kierunku przepływu energii przez uzwojenia wirnika wiąże się ze zmianą kolejności wirowania faz prądów.

LITERATURA

- [1] Aktarujjaman M., Haque M.E., Muttaqi K.M., Negnevitsky M. and Ledwich G., Control Dynamics of a doubly fed induction generator under sub- and super-synchronous modes of operation, *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, Pittsburgh, PA, 2008, s. 1–9.
- [2] Grzesiak L., Ufnalski B., Kaszewski A., Sterowanie napędów elektrycznych, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2016.
- [3] Hopfensperger B., Atkinson D.J., Lakin R.A., Stator-flux-oriented control of a doubly-fed induction machine with and without position encoder, *IEE Proceedings – Electric Power Applications*, Volume 147, Issue 4, 2000, s. 241–250.
- [4] Hung-Cheng Chen, Po-Hung Chen, Active and Reactive Power Control of a Doubly Fed Induction Generator, *Applied Mathematics & Information Sciences* 8, No. 1L, 2014, s. 117–124.
- [5] Lei Sun, Zengqiang Mi, Yang Yu, Tao Wu, Haifeng Tian, Active and Reactive Power Regulation Capacity Study of DFIG Wind Turbine, *SUPERGEN '09, International Conference on Sustainable Power Generation and Supply*, 2009.
- [6] Materiały promocyjne producenta turbin wiatrowych GE Renewable Energy <https://www.gerenewableenergy.com/wind-energy/turbines/4mw-platform> (dostęp 15.12.2017).
- [7] Oficjalna strona internetowa Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej (International Renewable Energy Agency), www.irena.org/wind (dostęp 6.11.2017).
- [8] Materiały promocyjne producenta turbin wiatrowych Nordex SE, http://www.nordexonline.com/fileadmin/MEDIA/Produktinfos/EN/Nordex_Delta4000_Brochure_en.pdf (dostęp: 18.11.2017.).
- [9] Oficjalna strona internetowa Urzędu Regulacji Energetyki, www.ure.gov.pl (dostęp 6.11.2017.).
- [10] Materiały promocyjne producenta turbin wiatrowych Vestas Wind Systems, <http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/2MWbrochure/2MWProductBrochure/?page=8> (dostęp 15.12.2017).

FIELD ORIENTED ALGORITHMS OF ACTIVE AND REACTIVE POWER CONTROL OF DOUBLY FEED INDUCTION GENERATOR DRIVEN BY WIND TURBINE

Wound rotor asynchronous machines have found application in wind power generation system as doubly fed induction generators (DFIG). The paper presents the idea of controlling active and reactive power of DFIG with the use of a field oriented algorithm. In order to verify the considerations models of DFIG and its control system have been developed. The control system uses a cascade controller that allows for independent regulation of the active and reactive power of the generator. In order to verify proposed approach the simulation tests were carried out using the MATLAB® Simulink® environment. Selected results have been presented and discussed.

(Received: 16.02.2018, revised: 10.03.2018)

