

doi:10.15199/48.2025.02.27

## Dostosowanie przełączalnego generatora reluktancyjnego do współpracy z małą elektrownią fotowoltaiczną

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono koncepcję utworzenia elektrowni hybrydowej fotowoltaiczno-wiatrowej na bazie małej elektrowni fotowoltaicznej. Turbinę wiatrową podłączono do wejścia falownika fotowoltaicznego, dzięki czemu ogranicza się koszty inwestycyjne. W układzie zastosowano przełączalny generator reluktancyjny, którego charakterystyki wyjściowe przystosowano do współpracy z wejściem falownika fotowoltaicznego, działającym zgodnie z algorytmem MPPT.

**Abstract.** The article presents the concept of creating a hybrid photovoltaic-wind power plant based on a small photovoltaic power plant. The wind turbine was connected to the input of the photovoltaic inverter, which reduces investment costs. The system uses a switched reluctance generator, the output characteristics of which were adapted to cooperate with the input of the photovoltaic inverter, operating according to the MPPT algorithm. (*Adaptation of a switched reluctance generator to work with a small photovoltaic power plant*).

**Słowa kluczowe:** elektrownia fotowoltaiczno-wiatrowa, falownik MPPT, przełączalny generator reluktancyjny, charakterystyki wyjściowe.  
**Keywords:** hybrid power plant, MPPT inverter, switched reluctance generator, output characteristics.

### Wprowadzenie

W ostatnich latach nastąpił w Polsce bardzo szybki rozwój mikroinstalacji fotowoltaicznych, szczególnie w okresie obowiązywania dogodnych dla prosumentów zasad rozliczania netmeteringu. Obecnie liczba zainstalowanych prosumenckich instalacji fotowoltaicznych przekracza 1,4 mln. Są to głównie instalacje o mocy do 10 kW, co wynika z warunków rozliczania w formie zwrotu 80% wyprodukowanej energii. Średnia moc mikroinstalacji fotowoltaicznych wynosi 7,8 kW. W skali kraju stanowi to znaczny udział w produkcji energii elektrycznej. Zaletą tego typu instalacji jest ograniczenie przesyłu energii, ponieważ znaczna jej część jest zużywana lokalnie. Ich wadą jest natomiast nierównomierne oddawanie energii do sieci energetycznej. [1-3] Powoduje to duże wahania energii dostarczanej do sieci energetycznej, zarówno w cyklu dobowym jak i rocznym, oraz zależnie od warunków atmosferycznych. W związku z rozkładem rocznym radiancji większość czasu elektrownie te nie produkują energii lub pracują z mocą znacznie mniejszą od znamionowej. Średnie wykorzystanie elektrowni fotowoltaicznych jest na poziomie zaledwie kilkunastu procent wydajności falownika. Podobnie zachowują się elektrownie wiatrowe, których produkcja zależna jest od warunków pogodowych, uzależnionych w znacznym stopniu od pory roku. Wyniki badań pokazują, że rozkłady dobowe, roczne i wynikające z warunków atmosferycznych energii słonecznej i wiatrowej dobrze wzajemnie się uzupełniają. [4] W związku z tym instalacje hybrydowe fotowoltaiczno-wiatrowe mogą dostarczyć znacznie więcej energii przy wykorzystaniu wspólnego falownika, co daje możliwość rozbudowy istniejących przydomowych instalacji fotowoltaicznych o elektrownię wiatrową. [4]

Małe instalacje fotowoltaiczne realizowane są w dwóch wariantach: z centralnym falownikiem fotowoltaicznym, do którego podłączone są połączone szeregowo panele fotowoltaiczne oraz z mikro-falownikami, do wejść których podłączone są pojedyncze panele fotowoltaiczne. W przypadku falowników centralnych napięcie wejściowe zawiera się zwykle w przedziale od 200 V do 800 V, a falowniki tego typu posiadają często więcej niż jedno wejście. Umożliwienia to podział paneli na sekcje, np. w przypadku występowania przeszkód terenowych. [5, 6] W przypadku braku takich przeszkód panele często łączone są w jeden obwód. Jest to korzystne ze względu na uzyskiwanie

napięcia minimalnego na wejściu falownika przy mniejszej radiancji. W takim przypadku pozostałe wejścia falownika pozostają niewykorzystane.

Moc falownika jest dostosowana do mocy paneli fotowoltaicznych. Nie ma więc uzasadnienia podłączenie do niewykorzystanych wejść dodatkowych paneli, ponieważ falownik ogranicza moc oddawaną do sieci i w okresach największej produkcji energia z dodatkowych paneli nie zostanie przekazana do sieci energetycznej. Nadwyżka przekraczająca moc maksymalną falownika jest tracona.

Istnieje natomiast możliwość wykorzystania falownika w czasie, gdy panele fotowoltaiczne nie generują energii lub generują ją z mocą mniejszą od mocy maksymalnej falownika. Odpowiedni do tego celu charakterystykę produkcji energii mają generatory wiatrowe. [7-9]

W artykule przedstawiono koncepcję utworzenia elektrowni hybrydowej fotowoltaiczno-wiatrowej na bazie istniejącej instalacji fotowoltaicznej. Obliczenia wykonano dla małej elektrowni fotowoltaicznej o mocy 1 kW z centralnym falownikiem fotowoltaicznym, z dołączonym generatorem wiatrowym o mocy znamionowej 0,75 kW i mocy maksymalnej 0,9 kW.

W przypadku podłączenia do falownika fotowoltaicznego generatora wiatrowego głównym problemem technicznym jest sposób działania wejść falowników fotowoltaicznych, które wyszukują optymalne warunki pracy paneli fotowoltaicznych, zgodnie z algorytmem MPPT (Maximum Power Point Tracking). [10] Koliduje to z charakterystykami wyjściowymi większości generatorów wiatrowych. W artykule pokazano możliwość dostosowania charakterystyk elektrowni wiatrowej z przełączalnym generatorem reluktancyjnym do współpracy z wejściem MPPT falownika fotowoltaicznego. [5, 9, 11, 13] Zaletą takiego rozwiązania jest zwiększenie produkcji energii przy niewielkich nakładach inwestycyjnych.

### Dostosowanie elektrowni wiatrowej do współpracy z falownikiem fotowoltaicznym MPPT

Algorytm MPPT umożliwia odebranie maksymalnej energii z paneli fotowoltaicznych, których optymalny punkt pracy zmienia się wraz z natężeniem światła. Algorytm ten w swojej istocie dostosowuje napięcie wejściowe falownika do warunków pracy paneli słonecznych, poszukując takich, w których moc generowana jest największa. [10] W przypadku większości generatorów moc wyjściowa rośnie wraz ze

wzrostem napięcia odbiornika energii. W związku z tym, po podłączeniu generatora do wejścia falownika fotowoltaicznego, algorytm MPPT zwiększy stopniowo napięcie wejściowe do wartości maksymalnej. Napięcie to przekracza wartości dopuszczalne dla generatora. W celu zapewnienia prawidłowej pracy wejścia MPPT i utrzymania oczekiwanej wartości napięcia wejściowego, konieczne jest ukształtowanie charakterystyki wyjściowej generatora w ten sposób, aby przy stałej prędkości obrotowej posiadała ona maksimum mocy dla napięcia znamionowego. [5, 12, 14, 15]

Oprócz tego konieczne jest spełnienie dodatkowych warunków typowych dla elektrowni wiatrowych, tzn. dostosowanie charakterystyki generatora do charakterystyki turbiny wiatrowej, zapewnienie ciągłości odbioru energii z generatora w celu zapobiegania niekontrolowanemu wzrostowi prędkości obrotowej, oraz wyłączenie turbiny w przypadku przekroczenia dopuszczalnej prędkości wiatru. Badania wykonano metodą symulacji z wykorzystaniem zweryfikowanego pomiarowo modelu symulacyjnego przełączalnego generatora reluktancyjnego.

### Model generatora SRG

Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano model matematyczny trójfazowej przełączalnej maszyny reluktancyjnej sformułowany metodą Lagrange'a. [16, 17] W modelu uwzględniono nieliniową charakterystykę magnesowania rdzenia generatora, natomiast pominięto zjawiska wzajemnych sprzężeń magnetycznych, przepływu prądów wirowych i histerezy obwodu magnetycznego. Zgodnie z przyjętymi założeniami równania końcowe modelu mają postać:

$$(1) \quad J \frac{d\theta}{dt} = T_m - T_e - D\dot{\theta}$$

$$(2) \quad \frac{d\psi_k(\theta, i_k)}{dt} = u_k - R_k i_k$$

gdzie:

$J$  – moment bezwładności,

$T_m$  – moment obrotowy na wale generatora,

$T_e$  – moment elektromagnetyczny,

$D$  – współczynnik oporu w ruchu obrotowym,

$\theta$  – kąt obrotu wirnika,

$\psi_k$  – strumień magnetyczny sprzężony z k-tym pasmem,

$u_k$  – napięcie k-tego pasma,

$R_k$  – rezystancja uzwojeń k-tego pasma,

$i_k$  – prąd k-tego pasma.

Napięcie zasilania pasma, zależnie od stanu pracy układu, obliczane jest jako:

$$(3) \quad u_k = U_z - u_T - u_D$$

w przedziale kątowym wzbudzenia pasma,

$$(4) \quad u_k = -U_z - 2u_D$$

w czasie generowania energii, gdzie:

$U_z, u_T, u_D$  – napięcie źródła zasilania, tranzystora i diody.

Zależności strumienia magnetycznego i momentu elektromagnetycznego od kąta obrotu wirnika  $\theta$  i prądu pasma  $i$  zaimplementowano w postaci dwuwymiarowych tablic  $i_k(\theta, \psi_k)$  i  $T_e(\theta, i_k)$ . Zależności te uzyskano na podstawie obliczeń polowych.

Z wykorzystaniem programu symulacyjnego wykonano obliczenia dla generatora o znamionowej mocy wyjściowej 750 W. Uwzględniając sprawność elektrowni wiatrowej wymagana moc wejściowa turbiny wynosi 950 W. Obliczenia wykonano w zadanej siatce wartości prędkości i napięć wyjściowych, zmieniając wartości kąta wyłączenia w zakresie  $10^\circ$  do  $25^\circ$ , oraz kąta załączania wzbudzenia od  $-15^\circ$  do  $-30^\circ$ , uwzględniając ograniczenie wartości skutecznej prądów w uzwojeniach pasm. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono zależności kątów sterowania od prędkości obrotowej, dla których przy napięciu znamionowym 325 V uzyskano wartości zbliżone do mocy

750 W. Ze względu na rozdzielczość kątową wynoszącą  $1^\circ$ , wartości te różnią się w niewielkim stopniu od wartości zadanej.

Istnieje szereg możliwości uzyskania zadanej mocy wyjściowej. [18] Ze względu na małą złożoność sterowania rozpatrzono dwa warianty zmian kątów: zmiana wartości kąta wyłączenia  $\alpha_{off}$  przy stałej szerokości przedziału wzbudzenia  $\Delta\alpha$  i zmiana szerokości przedziału wzbudzenia  $\Delta\alpha$  przy stałej wartości kąta wyłączenia  $\alpha_{off}$ . Następnie, dla ustalonych wartości kątów, ukształtowano zależności mocy od napięcia, zmniejszając szerokość przedziału wzbudzenia dla napięć mniejszych i większych od znamionowych. W rezultacie dla stałych wartości prędkości obrotowych uzyskano charakterystyki napięciowe posiadające maksimum dla napięcia znamionowego 325V. Zmniejszanie lub zwiększanie napięcia na wejściu MPPT falownika przy stałej prędkości obrotowej powodować będzie spadek mocy generowanej, co umożliwi prawidłową pracę wejścia falownika. Natomiast ustalona zależność kątów od prędkości dla napięcia 325 V umożliwi uzyskanie stałej mocy w zakresie od 1500 obr./min. do 3000 obr./min., zgodnie z charakterystyką turbiny.

W kolejnym kroku wprowadzono zabezpieczenie przed możliwością niekontrolowanego wzrostu prędkości. W tym celu dla prędkości większych od 3000 obr./min. wprowadzono korektę wartości szerokości przedziału wzbudzenia, uzyskując wzrost mocy wyjściowej generatora dla prędkości powyżej prędkości znamionowej 3000 obr./min. Powoduje to zwiększenie obciążenia turbiny i ograniczenie prędkości. Stan taki jest dozwolony w ograniczonym czasie, ze względu na zwiększone nagrzewanie się generatora. Jeśli w ustalonym czasie prędkość obrotowa nie zmniejszy się do 3000 obr./min. lub przekroczy 3500 obr./min., turbina zostaje zatrzymana za pomocą hamulca mechanicznego. Dopuszczenie do krótkotrwałego przekroczenia prędkości znamionowej umożliwia lepsze wykorzystanie generatora przy krótkotrwałych wzrostach prędkości wiatru, bez konieczności dokonywania ponownego rozruchu.

### Wyniki obliczeń charakterystyki sterowania

Wyniki symulacji uzyskane przy sterowaniu wartością kąta wyłączenia wzbudzenia przy stałej szerokości zakresu wzbudzenia dla napięcia znamionowego 325 V przedstawiono w tabeli 1. Tylko dla małych prędkości konieczne jest ograniczenie napięcia lub szerokości zakresu wzbudzenia. Ostatnia pozycja oznaczona polem szarym przedstawia skorygowane wartości kątów przy przekroczeniu prędkości znamionowej.

Tabela 1. Wartości kątów i mocy generowanej przy sterowaniu kątem wyłączenia przy stałej szerokości zakresu wzbudzenia.

$N$ [obr./min.]	$\alpha_{off}$ [°]	$\Delta\alpha$ [°]	$P_{SRG}$ [W]
1500	11	17	776
2000	11	20	778
2500	15	20	766
3000	18	20	752
3500	22	20	700
3500	23	20	846

Następnie, dla napięcia 325 V przyjęto kąty wyłączenia zgodnie z wyznaczonymi w tabeli 1, natomiast dla napięć 315 V i 335 V wprowadzono korektę  $-1^\circ$ , a dla napięć 305 V i 345 V korektę  $-2^\circ$ . W ten sposób ukształtowano zależność mocy generowanej od napięcia wyjściowego generatora  $U_{in}$  przy stałej prędkości obrotowej, osiągając maksimum przy napięciu znamionowym. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

W drugim przypadku wyznaczono zależność szerokości zakresu wzbudzenia od prędkości przy stałej wartości kąta wyłączania. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 2. Zależność mocy generowanej  $P$  od prędkości  $\omega$  i napięcia wejściowego falownika  $U_{in}$  po korekcie kątów  $\alpha_{off}$

$n$ [obr./min.]	$U_{in}$ 305V	$U_{in}$ 315V	$U_{in}$ 325V	$U_{in}$ 335V	$U_{in}$ 345V
1500	522 W	638 W	776 W	615 W	499 W
2000	571 W	668 W	778 W	646 W	536 W
2500	573 W	663 W	766 W	646 W	540 W
3000	571 W	659 W	752 W	638 W	534 W
3500	689 W	750 W	846 W	727 W	651 W

Ostatnia pozycja w tabeli 3, oznaczona kolorem szarym, przedstawia wartości skorygowane w celu zwiększenia mocy powyżej prędkości 3000 obr./min.

Tabela 3. Wartości kątów przy sterowaniu szerokością zakresu wzbudzenia, stałym kącie wyłączania

$n$ [obr./min.]	$\alpha_{off}$ [°]	$\Delta\alpha$ [°]	$P_{SRG}$ [W]
1500	11	17	776
2000	11	20	778
2500	11	22	731
3000	11	24	731
3500	11	26	738
3500	11	27	856

W tabeli 4. zestawiono zależności mocy generowanej od napięcia wyjściowego generatora dla różnych prędkości obrotowych, uzyskane po korekcie kątów. Zależności te posiadają maksima dla napięcia 235 V.

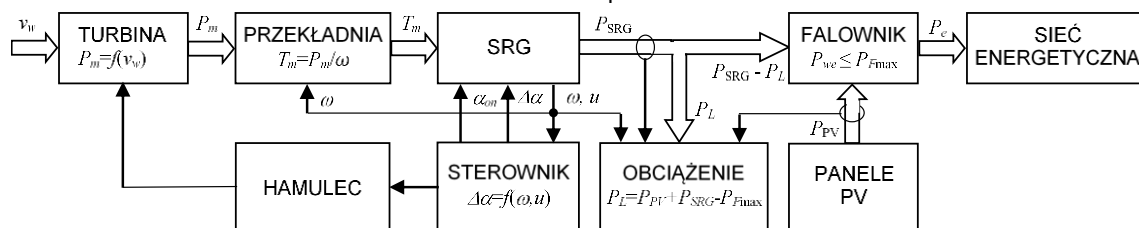
Tabela 4. Zależność mocy generowanej  $P$  od prędkości  $\omega$  i napięcia wejściowego falownika  $U_{in}$  po korekcie szerokości zakresu wzbudzenia  $\Delta\alpha$

$n$ [obr./min.]	$U_{in}$ 305V	$U_{in}$ 315V	$U_{in}$ 325V	$U_{in}$ 335V	$U_{in}$ 345V
1500	517 W	638 W	776 W	615 W	499 W
2000	571 W	668 W	778 W	646 W	536 W
2500	558 W	638 W	732 W	617 W	519 W
3000	578 W	651 W	731 W	621 W	533 W
3500	634 W	716 W	857 W	757 W	645 W

W celu oceny jakości obu metod sterowania wprowadzono kryterium oceny jakości sterowania w postaci stosunku mocy wyjściowej generatora do mocy strat w uzwojeniach generatora. Wyniki pokazano w tabeli 5.

Tabela 5. Porównanie stosunku mocy generowanej do mocy strat w uzwojeniach dla obu metod sterowania

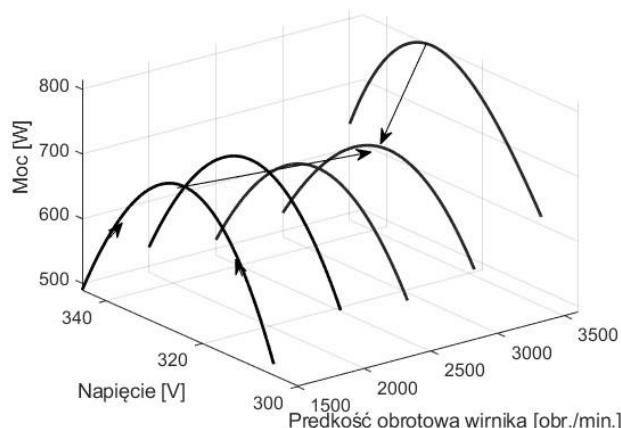
$n$ [obr./min.]	$\Delta\alpha = \text{const.}$		$\alpha_{off} = \text{const.}$	
	$P_{cu}$ [W]	$P_{gen}/P_{gen}$ [W/W]	$P_{cu}$ [W]	$P_{gen}/P_{gen}$ [W/W]
1500	52,0	14,9	52,0	14,9
2000	35,3	22,1	35,3	22,1
2500	31,1	24,7	31,1	29,3
3000	29,0	26,0	29,0	34,2
3500	39,0	21,7	39,0	34,8



Rys. 2. Schemat blokowy elektrowni hybrydowej na bazie falownika fotowoltaicznego

Zgodnie z tabelą 5 lepsze efekty daje sterowanie szerokością zakresu kątów wzbudzenia.

Przyjęty sposób sterowania zilustrowano na rysunku 1, w oparciu o zależności mocy generowanej od prędkości obrotowej i napięcia wejściowego falownika.



Rys. 1. Zależność zakresu kąta wzbudzenia generatora od prędkości obrotowej i napięcia z zaznaczoną charakterystyką sterowania dla zależności przedstawionych w Tabeli 4.

Elektrownia hybrydowa, schemat blokowy której pokazano na rysunku 2, składa się z instalacji fotowoltaicznej, w skład której wchodzi panele fotowoltaiczne oraz falownik z wejściami MPPT. Do instalacji fotowoltaicznej dodano turbinę wiatrową wraz z przekładnią mechaniczną, przełączalny generator reluktancyjny (SRG) ze sterownikiem, obciążenie sterowane, w skład którego wchodzi rezystory balastowe, będące w komplecie z turbiną, sterownik, oraz hamulec mechaniczny. Funkcje sterujące obciążeniem może po modyfikacji pełnić sterownik generatora. Układ podłączenia elektrowni wiatrowej do istniejącej instalacji fotowoltaicznej opracowano w taki sposób, aby ograniczyć koszty.

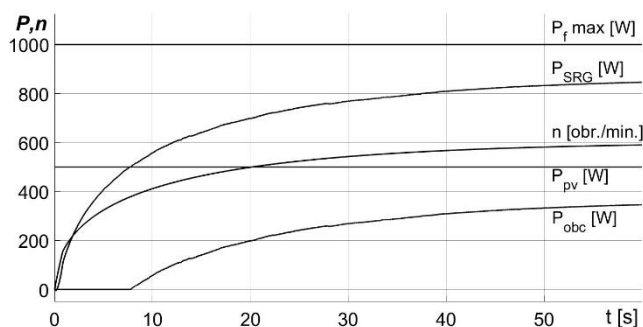
Zastosowana mała elektrownia wiatrowa składa się z turbiny wraz ze standardowym obciążeniem balastowym oraz generatora SRG. Charakterystyka generatora została dopasowana do charakterystyki turbiny poprzez dobór kątów komutacji. Do sterownika doprowadzono sygnał z czujnika położenia, służący do wyznaczania zakresów wzbudzenia generatora i pomiaru prędkości obrotowej oraz dodatkowo wartość napięcia wejściowego falownika. Do sterownika obciążenia doprowadzane są wartości mocy chwilowych paneli fotowoltaicznych i generatora. Sterownik obciążenia oblicza sumaryczną moc na wejściach falownika. Nadwyżkę mocy, przekraczającą moc maksymalną falownika przekazuje do obciążenia.

Do sterownika generatora doprowadzony jest sygnał prędkości obrotowej, na podstawie którego obliczana jest prędkość obrotowa generatora, wartość napięcia wejściowego falownika, do którego podłączony jest generator. Sterownik posiada dodatkowe wyjście załączające hamulec mechaniczny po przekroczeniu prędkości maksymalnej lub limitu czasu pracy z prędkością ponad 3000 obr./min.

Opisy zamieszczone na rys. 2 oznaczają odpowiednio:  
 $\Delta\alpha$  – zakres kątów wzbudzenia generatora,  
 $\omega$  – prędkość kątowna wirnika,  
 $v_w$  – prędkość wiatru,  
 $P_m$  – moc wyjściowa turbiny wiatrowej,  
 $T_m$  – moment obrotowy na wyjściu przekładni,  
 $P_e$  – moc oddawana do sieci energetycznej,  
 $P_{PV}$  – moc generowana przez panele fotowoltaiczne,  
 $P_{SRG}$  – moc wyjściowa generatora wiatrowego,  
 $P_L$  – moc oddawana do obciążenia sterowanego.

Sterowane mocą obciążenia jest elementem koniecznym, ze względu na ograniczenia mocy falownika. Gdy moc chwilowa generatora jest większa od różnicy mocy maksymalnej falownika i mocy z paneli fotowoltaicznych, jej nadwyżka jest oddawana do obciążenia. W przypadku gdy możliwe jest ustalenie priorytetów odbioru energii z poszczególnych wejść falownika, obciążenie to jest zbędne, jeśli generator wiatrowy zostanie podłączony do wejścia o najwyższym priorytecie. W takim przypadku ograniczona zostanie moc odbierana z paneli fotowoltaicznych.

Bazując na modelu symulacyjnym generatora opracowano program do symulacji pracy elektrowni hybrydowej, zgodnie ze schematem blokowym przedstawionym na rys. 2. Jako wartości wejściowe do symulacji podawane są: prędkość wiatru i moc paneli fotowoltaicznych. Turbinę wiatrową wraz z przekładnią mechaniczną zaimplementowano w postaci tablicy zależności momentu obrotowego od prędkości wiatru. Na rys. 3 pokazano skalowaną do 1 kW dystrybucję mocy pomiędzy wejściami falownika i obciążeniem sterowanym, oraz moc wyjściową falownika przy wzroście prędkości wiatru, przy stałej wartości mocy paneli fotowoltaicznych.



Rys. 3. Dystrybucja mocy w elektrowni hybrydowej fotowoltaiczno-wiatrowej skalowana do 1 kW ( $n$  – prędkość obrotowa turbiny,  $P_{fmax}$  – moc maksymalna falownika,  $P_{pv}$  – moc wyjściowa paneli fotowoltaicznych,  $P_g$  – moc wyjściowa generatora wiatrowego,  $P_{obc}$  – moc oddawana do obciążenia)

### Podsumowanie

Proponowane rozwiązanie umożliwia znaczne ograniczenie kosztów instalacji elektrowni wiatrowej, o cenę falownika i jego przyłączenia do sieci elektroenergetycznej. Wcześniejsze badania wykazały, że dzięki uzupełniającym się rozkładom wietrzności i radiancji tylko niewielka część wyprodukowanej energii jest oddawana do obciążenia. W wyniku ukształtowania charakterystyk mocy generatora, może być on podłączony do wejścia falownika fotowoltaicznego działającego zgodnie z algorytmem MPPT. Nadwyżka energii, która nie może być odprowadzona do sieci energetycznej może być wykorzystana np. do ogrzewania wody. Przekroczenie prędkości znamionowej powoduje zwiększenie obciążenia w celu jej ograniczenia. W przypadku przekroczenia prędkości maksymalnej zostaje załączony hamulec mechaniczny. Rolę sterownika obciążenia, po modyfikacji może pełnić sterownik SRG. W celu praktycznej implementacji charakterystyk sterowania w układzie sterowania należy zwiększyć rozdzielczość kątów.

**Autor:** dr hab. inż. Krzysztof Tomczewski, Politechnika Opolska, Katedra Automatyk Napędów i Robotyki, ul. Prószkowska 76, 60-965 Opole, E-mail: k.tomczewski@po.edu.pl.

### LITERATURA

- [1] Bashir M., Sadeh J., Optimal sizing of hybrid wind/photovoltaic/battery considering the uncertainty of wind and photovoltaic power using Monte Carlo, *11th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Venice, Italy, (2012), 1081-1086
- [2] Al-Shetwi A., Sujod M., Blaabjerg F., Low voltage ride-through capability control for single-stage inverter-based grid-connected photovoltaic power plant, *Solar Energy*, 159 (2018), 665-681
- [3] Kamiński J., Pietracho R., Wyznaczenie optymalnej struktury elektrowni hybrydowej ze źródłami typu wiatrowo-solarnego, *Przegląd Elektrotechniczny*, NR 12/2019, (2019), 136-139
- [4] Allik A., Annuk A., Autocorrelations of power output from small scale PV and wind power systems. *2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Birmingham, UK, (2016), 279-284
- [5] Ji G., Ohyama K., MPPT control of Variable Speed Wind Power Generation System using Switched Reluctance Generator and AC-AC converter. *23rd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Hamamatsu, Japan, (2020), 1012-1016
- [6] Świderski M., Gwóźdź M., Wpływ efektu zacienienia na pracę elektrowni solarnej z systemem rozproszonych paneli fotowoltaicznych. *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 96 NR 7/2020, (2020), 76-79
- [7] Hałuszczak B., Putz Ł., Dobrzycki A., Mikulski S., Hybrydowa instalacja OFF-GRID jako źródło zasilania w budynku lotniskowym, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11/2022, (2022), 248-252
- [8] Ahmed N. A., Miyatake M., A Stand-Alone Hybrid Generation System Combining Solar Photovoltaic and Wind Turbine with Simple Maximum Power Point Tracking Control, *2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Shanghai, China, (2006), 1-7
- [9] França B. W., Castro A. R., Aredes M., Wind and photovoltaic power generation integrated to power grid through dc link and synchronverter. *2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)*, Fortaleza, Brazil, (2015), 1-6
- [10] Tang S., Zhang J., Ai Q., Li S., Chen K., Zhong J., The research of control strategy for Household Micro Power Grid inverter. *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yinchuan, China, (2016), 6159-6163
- [11] Torrey D. A., Switched Reluctance Generators and Their Control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 49, No 1, February, (2002), 3-14
- [12] Masashi S., Naoki Y., Muneaki I., Development of Photovoltaic cell emulator using the small scale wind turbine. *2012 15th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Sapporo, Japan, (2012), 1-4.
- [13] Tomczewski K., Wróbel K., Rataj D., Trzmiel G., A Switched Reluctance Motor Drive Controller Based on an FPGA Device with a Complex PID Regulator, *Energies*, vol. 14 (2021), nr 5, 1-22
- [14] Wang T., He D., Wang Q., Huo Y., Lu L., Li J., Power balance control for switched reluctance generator integrated in DC microgrid. *2015 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, Beijing, (2015), 594-598
- [15] Choi D., Byun S., Cho, Y. A., Study on the Maximum Power Control Method of Switched Reluctance Generator for Wind Turbine. *IEEE Transactions on Magnetics*, (2014), 50, 1-4
- [16] Powrózek A., Bogusz P., Stabilizacja napięcia wyjściowego generatora reluktancyjnego przełączalnego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 03/2014, (2014), 172
- [17] Bogusz P., Korkosz M., Powrózek A., Prokop J., Motor-generator operation modeling of switched reluctance drive. *Przegląd Elektrotechniczny*, December 2011, 88(12), (2011), 56-61
- [18] Wróbel K., Tomczewski K., Śliwiński A., Tomczewski A., Optimization of a Small Wind Power Plant for Annual Wind Speed Distribution, *Energies*, vol. 14 (2021), nr 6, s.1-18Nr 158