

Daniel KLEJNA*
Radosław KOŁACIŃSKI**
Marek PALUSZCZAK***
Grzegorz TWARDOSZ****

KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ W ELEKTROWNIACH WIATROWYCH Z MASZYNAMI INDUKCYJNYMI

W pracy przedstawiono wyniki badań w przypadku regulacji mocy biernej na małej farmie wiatrowej $P_N = 0,9$ MW. Pomiarów przeprowadzono przy wyłączonej zewnętrznej dodatkowej baterii kondensatorów oraz przy jej współpracy z istniejącymi fabrycznie zamontowanymi pojemnościami. Wyniki pomiarów wskazują na konieczność stosowania dodatkowych pojemności i na prawidłową gospodarkę mocą farmy wiatrowej.

1. WPROWADZENIE

Zmiany w strukturze wytwarzania energii elektrycznej, wynikające przede wszystkim z rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) są przedstawione w Dyrektywie 2009/28/UE [1]. Generacja rozproszona pozostanie zapewne do 2050 roku w strukturze źródeł, których rozwój będzie wspierany na poziomie Unii Europejskiej i regulacji polskich. Odpowiednie sterowanie i zarządzanie mocą dostarczaną poprzez OZE, a także wyborem miejsca przyłączenia i wielkością mocy źródeł pozwala na przesunięcie w czasie rozbudowę sieci, czy zmniejszenie strat sieciowych związanych z dostawą energii do odbiorcy.

Elektrownie wiatrowe należą do źródeł, w których występują i będą występować trudności w prognozowaniu wielkości produkcji energii elektrycznej. Dlatego należy dążyć by w sposób ciągły poprawiać jakość energii pochodzącej z tych źródeł. Jednym z parametrów jakości energii elektrycznej jest poziom mocy biernej.

2. STEROWANIE MOCĄ BIERNĄ W ELEKTROWNIACH WIATROWYCH

Generatory asynchroniczne są powszechnie stosowane w elektrowniach wiatrowych o mocy $P_N < 800$ kW. W jednostkach o mocach $800 < P_N < 1500$ kW

* ASEL Automatyka i Elektrotechnika w Koninie.

** ENERGA OPERATOR Produkcja Sp. z o.o.

*** ENERGA-OPERATOR, Techniczna Obsługa Odbiorców, Sp z o.o.

**** Politechnika Poznańska.

generatory asynchroniczne stosowane są w około 95%. W turbinach o mocach większych od 1,5 MW, generatory asynchroniczne stosuje się tylko w około 17% urządzeń. W pozostałych 83% stosuje się generatory synchroniczne wolnoobrotowe.

Układ regulacji generatora asynchronicznego ze sterowaną rezystancją w obwodzie wirnika wpływa na moment i moc generowaną wprowadzaną przez elektrownię wiatrową do systemu poprzez zmianę poślizgu wirnika. Różnica między mocą uzyskiwaną z wiatru a mocą wprowadzaną do systemu jest proporcjonalna do poślizgu wirnika. Zatem zmieniając poślizg, można wpłynąć na różnicę tych mocy i tym samym na charakter zmian mocy wprowadzanej do systemu elektroenergetycznego. W maszynach asynchronicznych z wirnikiem klatkowym zmiany poślizgu są niewielkie (zwykle poniżej 2÷3%), a zatem zmiany mocy mechanicznej (wynik zmian prędkości wiatru) przenoszą się na stronę stojana niemal bezpośrednio. W maszynach asynchronicznych pierścieniowych dzięki dodaniu do obwodu wirnika rezystorów możliwe jest modyfikowanie charakterystyki mechanicznej maszyny. Zmieniając rezystancję, można zmieniać poślizg wirnika i jednocześnie, przy danym momencie, moc wprowadzaną do sieci. Jest to głównym celem stosowania takiego rozwiązania. Rozwiązanie to jednak powoduje zwiększenie strat mocy o straty na tej dodatkowej rezystancji. Aby wyeliminować to zjawisko stosuje się przekształtnik energoelektroniczny umożliwiający przepływ energii w kierunku od wirnika maszyny do sieci. System taki nazywa się kaskadą nadsynchroniczną, ponieważ przekształtnik umożliwia przepływ mocy tylko w jednym kierunku (od wirnika do sieci), a zatem generator może działać wyłącznie przy prędkościach przekraczających prędkość synchroniczną. Nie pozwala on również na regulację mocy biernej. Do tego celu należy wykorzystać inne układy, np. baterie kondensatorów.

Innym, spotykanym w systemach elektroenergetycznych typem elektrowni są układy z generatorem asynchronicznym dwustronnie zasilanym. Układ regulacji takiego generatora jest bardziej złożony. Składa się on z regulatora przekształtnika sieciowego oraz z regulatora przekształtnika generatorowego, tj. falownika przyłączonego do uzwojeń wirnika maszyny. Pierwszy z nich reguluje wielkości w układzie pośredniczącym - napięcie na kondensatorze w układzie z falownikiem napięcia lub prąd w układzie z falownikiem prądu. Umożliwia również regulację prądu lub mocy biernej po stronie przemiennoprądowej przekształtnika (od strony sieci). Moc bierna po stronie sieciowej jest zwykle utrzymywana na poziomie bliskim zeru. Wówczas przekształtnik generatorowy umożliwia regulację mocy biernej wytwarzanej (pobieranej) przez elektrownię wiatrową.

Układ regulacji przekształtnika składa się z regulatorów umożliwiających regulację mocy czynnej lub prędkości wirnika oraz mocy biernej. Zwykle wykorzystują one ideę rozłącznego sterowania mocami przez sterowanie poziomami napięć wirnika otrzymanymi w wyniku przekształceń wartości prądów,

napięć, strumieni magnetycznych, itd. Moc czynna i bierna na wyjściu (pierścieniach) wirnika jest proporcjonalna do iloczynu poślizgu i mocy stojana. Moc czynna, pomijając straty, przenosi się za transformator falownika sieciowego, a moc bierna za tym transformatorem może być regulowana przez ten przekształtnik. W związku z tym moc na szynach elektrowni, która jest sumą mocy stojana i w pewnym przybliżeniu mocy wirnika, może być efektywnie kontrolowana przez oddziaływanie na składowe prądu wirnika.

3. WYNIKI BADAŃ REGULACJI MOCY BIERNEJ I ICH ANALIZA

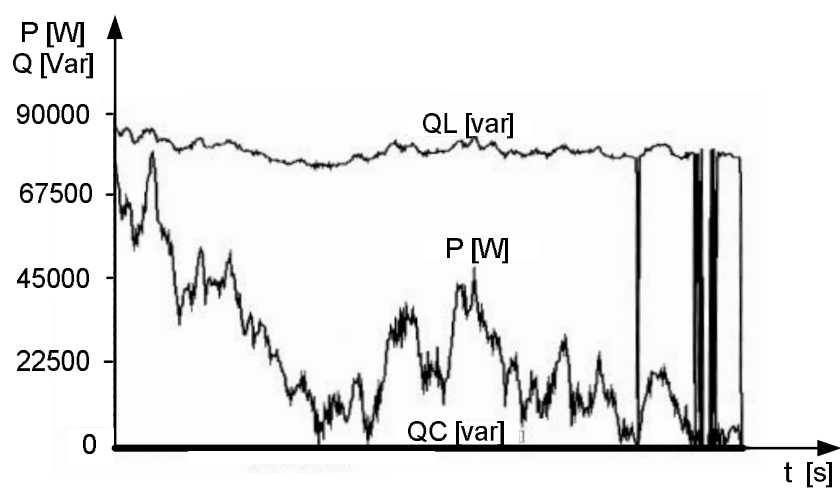
Pomiary przeprowadzono na małej farmie wiatrowej o mocy całkowitej $P_N = 0,9$ MW. W skład farmy wchodzi jedna turbina BONUS, dwie turbiny WINDWORLD i trzy turbiny NORDTANK, każda o mocy $P_N = 150$ kW. Zainstalowane przez producentów kondensatory mają zbyt małą pojemność by zapewnić w polskich warunkach prawidłową gospodarkę mocą bierną. Załączenie standardowych pojemności następuje po 40 s od uruchomienia elektrowni wiatrowej. Pomiary mocy czynnej, biernej oraz obliczenia $\cos\varphi$ przeprowadzono przy użyciu analizatora parametrów sieci HT - Italia model PQA824 [8].

Pomiary mocy czynnej i biernej przeprowadzono przy pomocy analizatora parametrów sieci HT-PQA 824. W pamięci wewnętrznej tego mikroprocesorowego przyrządu może być rejestrowane jednocześnie do 251 parametrów. Obsługuje pamięci zewnętrzne poprzez port USB oraz gniazdo kart pamięci compact flash. Pomiary mogą być prezentowane na ekranie o rozdzielczości 320 x 240 pikseli, w postaci wyników, histogramów, czy przebiegów w funkcji czasu lub wykresów wskazowych. Informacje uzyskane w czasie pomiaru przez regulatory mocy biernej zostają wprowadzone do mikroprocesora. Pozwala to na w pełni skomputeryzowane zarządzanie i sterowanie procesami załączania i wyłączania odpowiedniej wartości pojemności i doboru odpowiednich kondensatorów z zestawu.

Na rysunkach 1÷3 przedstawiono wyniki pomiarów przy wyłączonej dodatkowej baterii kondensatorów. Na rysunku 1 pokazano przebieg zmian mocy czynnej i biernej w czasie, generowanej przy prędkości wiatru, którego przebieg zmienności ukazuje rys. 2. Na rysunku 3 przedstawiono przebieg zmian współczynnika mocy farmy wiatrowej. Jak widać nie osiągniętożądanego przez Operatora Sieci Dystrybucyjnej wartości $\cos\varphi$ ($\cos\varphi \geq 0,93$).

Na rysunkach 4÷6 przedstawiono wyniki pomiarów wyżej wymienionych wielkości, w przypadku załączonej, dodatkowo zainstalowanej i skonstruowanej przez firmę ASEl, baterii kondensatorów. Chwilowy znaczny wzrost mocy biernej do wartości około 260 kvar był spowodowany szybką zmianą prędkości wiatru i wolniejszym cyklem załączania dodatkowych pojemności. W regulatorach czas załączania zawiera się na ogół w przedziale $1s \leq t \leq 250s$. Zaleca się czasy reakcji

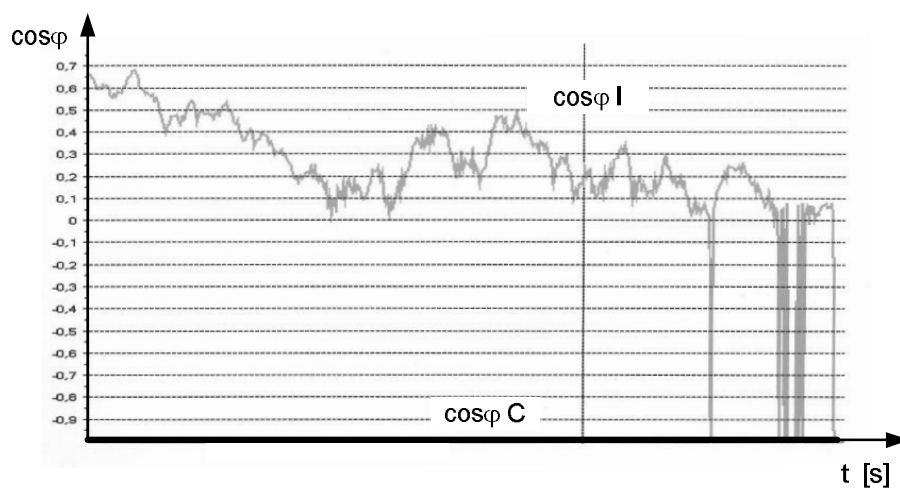
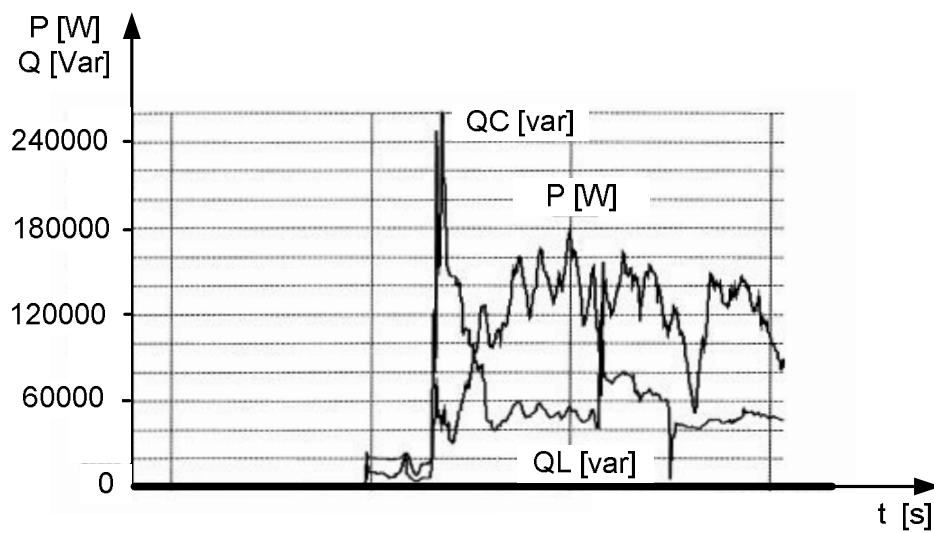
ustawić na kilka sekund. Należy pamiętać, że czas rozładowania pojemności są rzędu kilkudziesięciu sekund. Krótkie czasy załączania wymagają stosowania dużej liczby kondensatorów, co powoduje znaczny wzrost ceny baterii. Średni współczynnik mocy utrzymuje się na poziomie 0,9. Przekompensowanie nie występuje, na mierniku ustawia się "domyślna" wartość $\cos\varphi_C = -1$.



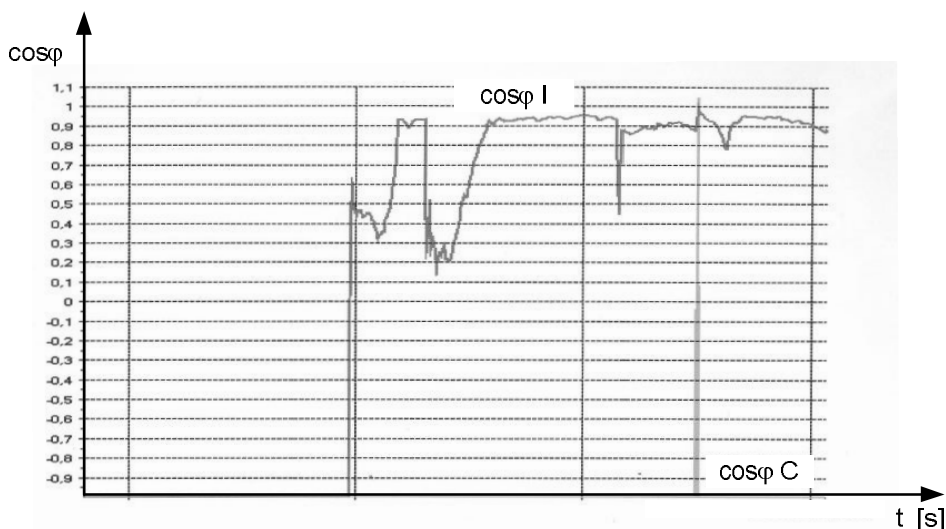
Rys. 1. Przebieg mocy czynnej i biernej farmy wiatrowej przy wyłączonej dodatkowej baterii kondensatorów



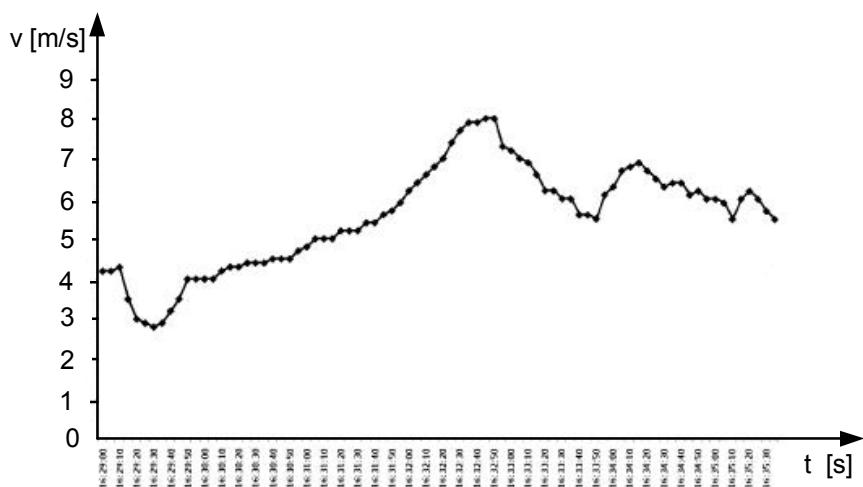
Rys. 2. Przebieg zmian prędkości wiatru w funkcji czasu

Rys. 3. Przebieg zmian $\cos\phi$ farmy wiatrowej przy wyłączonej dodatkowej baterii kondensatorów

Rys. 4. Przebieg zmian mocy czynnej i biernej farmy wiatrowej przy załączonej dodatkowej baterii kondensatorów



Rys. 5. Przebieg zmian współczynnika mocy farmy wiatrowej przy załączonej dodatkowej baterii kondensatorów



Rys. 6. Przebieg zmian prędkości wiatru w funkcji czasu

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Regulacja mocy biernej układu elektrownia wiatrowa - sieć elektroenergetyczna polega na określeniu: wartości $\cos\varphi$ (warunki przyłączenia), czułość regulatora (indywidualnie), czasów załączania i wyłączenia pojemności (indywidualnie) oraz sposobu doboru wartości pojemności zestawu, w zależności od dostarczanej energii

czynnej (indywidualnie). Z uwagi na znaczne zmiany wartości mocy czynnej generowanej w funkcji czasu przez elektrownie wiatrowe nie korzysta się w większości przypadków z regulacji liniowej i kołowej, tylko opracowuje się indywidualnie specjalne szeregi regulacyjne. Regulacja mocy biernej na obiekcie rzeczywistym przeprowadzona jest kompleksowo. Oznacza to, że steruje się pracą wszystkich źródeł wytwórczych pracujących równolegle na sieć elektroenergetyczną. Jest to najtrudniejszy sposób regulacji ponieważ turbiny mają różną moc oraz sprawność, jednocześnie jest to jedyny ekonomicznie uzasadniony sposób. Wyniki pomiarów wykazują, że kompensacja wykonana jest poprawnie. Nie występuje przekompensowanie energii na charakter RC. Przy załączonej baterii kondensatorów moc bierna pojemnościowa równa jest zeru, oznacza to, że moc bierna dostarczana przez zestaw kondensatorów częściowo kompensuje moc bierną indukcyjną.

Według przewidywań Unii Europejskiej, do 2050 roku całkowity popyt na energię elektryczną pokrywać będą odnawialne źródła energii. Zarządzanie i sterowanie zasobami energii elektrycznej będzie polegać nie tylko na regulacji mocy, ale także istotną rolę będą odgrywać magazyny energii, których miejsce widzi się na obszarze działania sieci dystrybucyjnej, a nie przesyłowych. Obecnie podobną rolę pełnią systemy FACTS, SVC czy CAES.

LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2009/29/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009.
- [2] Lubośny Z.: Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. WNT, Warszawa, 2006.
- [3] Anuszczyk J.: Maszyny elektryczne w energetyce. WNT, Warszawa, 2005.

THE COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN WIND POWER SYSTEMS WITH INDUCTION MACHINES

In this paper are presented issues of parallel collective compensation of reactive power in wind power systems. Are discussed the impact of the reactive power compensation on the power network. A various methods of compensation of reactive power and analysis results measurements of the wind velocity, active and reactive power and power factor are presented as well.