

Kompensacja mocy biernej generatorów indukcyjnych (asynchronicznych) w małych elektrowniach wodnych

Włodzimierz Koczara, Dominik Górski, Grzegorz Iwański, Jarosław Tępiński, Janusz Wiśniewski

Generatory indukcyjne klatkowe cechuje łatwość przyłączenia do sieci elektroenergetycznej i duży zapas stabilności. Cecha ta spowodowała dość obszerne ich wykorzystanie w małych elektrowniach o niezbyt stabilnym niekontrolowanym napędzie, np. w elektrowniach wiatrowych i wodnych. Jednakże generatory te, jako źródło energii czynnej, mają niekorzystną cechę w postaci dużego zapotrzebowania na energię bierną indukcyjną. W zasadzie oczekuje się, aby źródło energii elektrycznej dostarczało zarówno mocy czynnej, jak i mocy biernej, tak jak np. generatory synchroniczne z uzwojonym wirnikiem. Natomiast generator indukcyjny (asynchroniczny), np. o 3 parach biegunów i mocy znamionowej 110 kW, pobiera ok. 60 kVAr mocy indukcyjnej (prąd indukcyjny 86 A). Wraz ze zmianą punktu pracy generatora zmienia się wartość generowanej przez niego mocy czynnej, a także i pobieranej mocy biernej. W sytuacji braku obciążenia prąd biegu jałowego, czyli prąd indukcyjny, wynosi 66 A. Tak znaczne wartości prądu biernego pobieranego z sieci są przyczyną powstawania strat energii czynnej w sieci dystrybucyjnej. Dla zapobieżenia tym stratom wprowadzono obciążenia finansowe za pobór energii biernej przez małe elektrownie stosujące generatory indukcyjne.

W Polsce znajduje się ok. 300 małych elektrowni wodnych z generatorami indukcyjnymi. Ich moc mieści się w granicach od kilku kilowatów do ok. 700 kW [2]. Wprowadzenie opłat za energię bierną w znaczny sposób zmniejszyło opłacalność wytwarzania energii elektrycznej przez niewielkie elektrownie wodne i wymusiło tym samym kompensację tej mocy. Do kompensacji użyto baterii kondensatorów dołączanych do obwodu stojana stycznikami. Skokowo załączane baterie kondensatorów nie są w stanie w pełni skompensować mocy biernej. Ponadto obecność kondensatorów, które współpracują z generatorem indukcyjnym na zasadzie rezonansu równoległego, może doprowadzić do samowzbudzenia generatora w stanach przejściowych, np. podczas chwilowego zaniku napięcia sieci lub zmiany obciążenia. Zatem dla uniknięcia tej sytuacji generator indukcyjny powinien być wyposażony w zabezpieczenie nadnapięciowe, zapewniające szybkie odłączenie kondensatorów kompensujących. Kondensatorowe kompensatory wielostopniowe powodują znaczne podniesienie kosztów, a powstały układ nie gwarantuje pełnej kompensacji.

W obciążeniach finansowych elektrowni z generatorami indukcyjnymi określono granicę mocy biernej w postaci $tg\varphi_{ew} \leq 0,4$ [1, 2]. Zatem generator indukcyjny o danych (zwykle w elektrowniach wodnych są stosowane silniki indukcyjne pracujące przy poślizgu ujemnym, więc poniższe dane znamionowe maszyny w odniesieniu do pracy generatorowej są przybliżone): $P_N = 110$ kW, $n_N = 985$ obr/min, $M_N = 1066$ Nm, $\cos\varphi_n = 0,89$, $tg\varphi_n = 0,54$ i prądzie $I_{sn} = 189$ A, pobierający (jako silnik) prąd czynny $I_{sc} = 168$ A i prąd bierny $I_{sb} = 86$ A, bę-

Abstract: Paper describes reactive power compensation of generation systems proposed to small hydro power station. In small hydro power stations are usually applied as generators cage induction (asynchronous) machines. The induction generator, connected directly to grid, delivers active power but simultaneously is significant consumer of reactive lagging power. Conventional compensation, related to capacitor bank application, is not effective. In case of full compensation transient states of load disconnection may cause danger overvoltage. Therefore such compensation is very limited and still large amount of lagging power is demanded. Developed compensator, based on DC/AC three level power electronic converter, delivers stepless leading reactive power. Control system provides precise values of produced three phase sinusoidal leading current and then the generation system produces only active power. Simulation and laboratory tests confirm high dynamics of reactive power controller and full compensation in steady state.

dzie musiał być skompensowany tylko do wartości $tg\varphi_n = 0,4$. Moc bierna generatora $Q_{gN} = 59,4$ kVAr po skompensowaniu do $tg\varphi_{ew} = 0,4$, baterią kondensatorów o mocy 16 kVAr, będzie wynosiła $Q_S = 43,4$ kVAr. To liberalne podejście do mocy biernej w elektrowniach wodnych powoduje, że kompensacja ma charakter symboliczny. W przykładzie generatora $P_N = 110$ kW skompensowano tylko moc 16 kVAr, a pozostała część, czyli $Q_S = 43,4$ kVAr, zmniejsza efekty produkcyjne elektrowni.

Tak łagodne potraktowanie elektrowni wodnych wynikało z założenia, w którym uwzględnia się konieczność poboru energii biernej dla funkcjonowania elektrowni. W rzeczywistości niedokładne funkcjonowanie automatyki kompensacji oraz skokowa zmiana pojemności kondensatorów mogą doprowadzić do przekompensowania, jak i łatwego samowzbudzenia w stanach przejściowych. Zatem liberalne potraktowanie elektrowni wodnych wynikało ze stanu dostępnej techniki kompensacji. Jednocześnie wymagania stawiane elektrowniom wiatrowym są znacznie bardziej zaostrzone [1]. Podczas produkcji mocy czynnej farma wiatrowa musi mieć możliwość pracy ze współczynnikiem mocy w granicach od 0,975 o charakterze indukcyjnym ($tg\varphi = 0,227$) do 0,975 ($tg\varphi = -0,227$) o charakterze pojemnościowym, w pełnym zakresie obciążenia farmy. Elektrownie wiatrowe, niegdyś również budowane z użyciem generatorów indukcyjnych klatkowych, uczyniły znaczny postęp w konstrukcji układu wyprowadzenia mocy do systemu elektroenergetycznego.

Rozważając inne metody kompensacji mocy biernej istniejących małych elektrowni wodnych, można wziąć pod uwagę

kompensację za pomocą przewzbudzonej maszyny synchronicznej oraz kompensację przekształtnikiem tranzystorowym o regulowanej fazie i amplitudzie prądu. Wykorzystanie maszyny synchronicznej można wykluczyć z tego samego powodu, dla którego nie wykorzystano jej do produkcji energii elektrycznej. Natomiast kompensator przekształtnikowy, realizujący bardzo szybką regulację mocy biernej i czynnej, bez nadmiernego wprowadzania elementów rezonansowych, może wykazać się dużą przydatnością w poprawie jakości energii produkowanej przez małe elektrownie wodne.

Artykuł, wychodząc z klasycznej kompensacji kondensatorowej, podaje zasadę kompensacji przekształtnikowej oraz układ regulacji wypełniający zadanie kompensacji mocy biernej generatora indukcyjnego (asynchronicznego).

1. Ograniczenia wynikające z kompensacji kondensatorowej

Generator indukcyjny (asynchroniczny) jest przyłączony bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej SE (rys. 1). Generator indukcyjny wytwarza moc czynną P_g w funkcji poślizgu, pobierając moc bierną indukcyjną Q_g , która zmienia się również w funkcji oddawanej mocy czynnej. Uproszczony schemat elektrowni wodnej z jednym generatorem jest podany na rys. 2. Elektrownia jest wyposażona w baterię kondensatorów KK1 ograniczającą pobór mocy biernej do wartości scharakteryzowanej $tg\varphi = 0,4$ w odniesieniu do mocy znamionowej. W przypadku zastosowania generatora asynchronicznego 110 kW kompensacja do $tg\varphi = 0,4$ sprowadza się do użycia kondensatora tylko 16 kVAr, pozostawiając 43,4 kVAr nieskompensowanej mocy indukcyjnej.

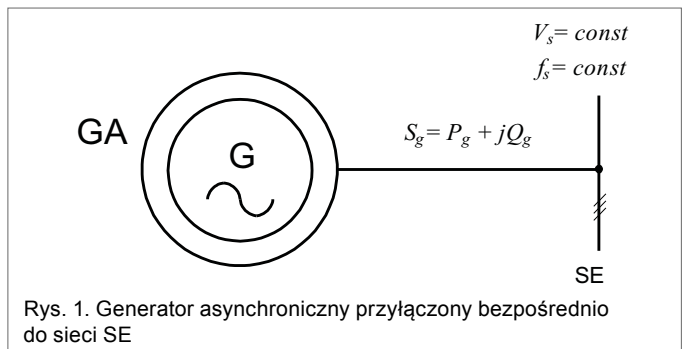
Projektując kompensację mocy biernej generatora indukcyjnego, należy uwzględnić wpływ skokowej zmiany obciążenia np. odbiornikiem miejscowym Odb1, pojemność C_{sk} kabli łączących z siecią, obecność innych kompensatorów mocy biernej KK2 stosowanych w sieci oraz stany odłączenia elektrowni od sieci elektroenergetycznej SE.

Schemat zastępczy fazy generatora indukcyjnego klatkowego dołączonego do sieci elektroenergetycznej jest podany na rys. 3. Generator indukcyjny pobiera z sieci moc indukcyjną potrzebną do magnesowania. Zadaniem kondensatora o pojemności C_{kk} jest dostarczenie mocy biernej i zmniejszenie tym samym zapotrzebowania tej mocy z sieci elektroenergetycznej.

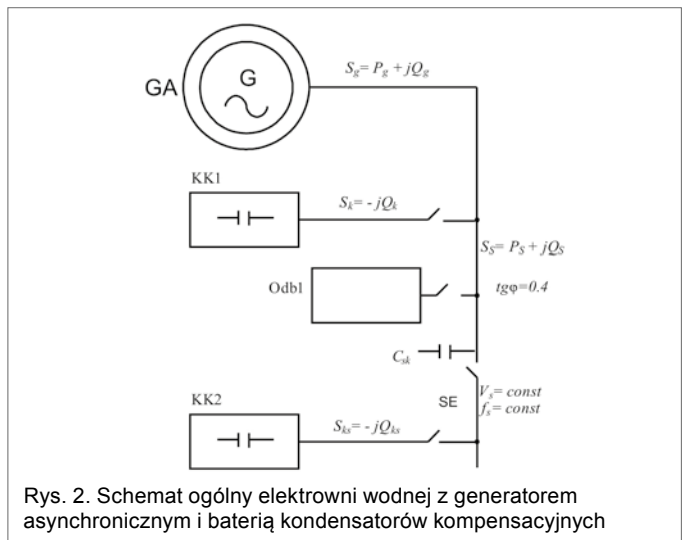
Jeżeli sieć elektroenergetyczna jest przyłączona poprzez kabel, to jego pojemność C_{sk} dodaje się do pojemności kondensatora kompensującego. Zapotrzebowanie mocy biernej przez generator jest zależne od obciążenia. W przypadku, gdy nastąpi pełna kompensacja poprzez wykorzystanie obydwu pojemności, po odłączeniu sieci wyłącznikiem Wy może nastąpić przekompensowanie skutkujące niekontrolowanym wzrostem napięcia stojana i możliwością uszkodzenia odbiorników zasilanych przez ten generator. Dla uniknięcia tej niekorzystnej sytuacji stosuje się zabezpieczenia nadnapięciowe wyłączające kondensatory kompensujące oraz niepełną kompensację ($tg\varphi_n = 0,4$).

2. Trójfazowy przekształtnik jako źródło regulowanej mocy czynnej i biernej

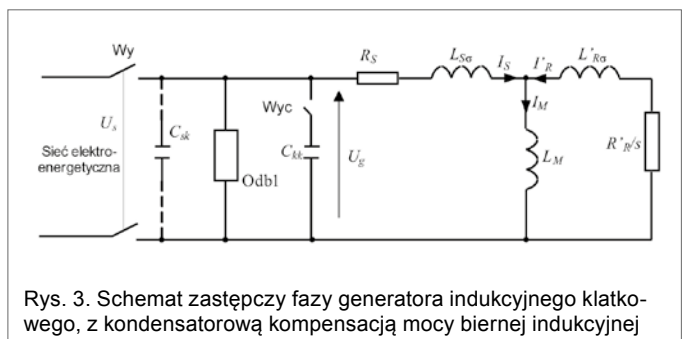
Trójfazowy tranzystorowy przekształtnik energoelektroniczny przyłączony do sieci elektroenergetycznej ma możliwość pracy w czterech kwadrantach układu $P_s + jQ_s$ (rys. 4).



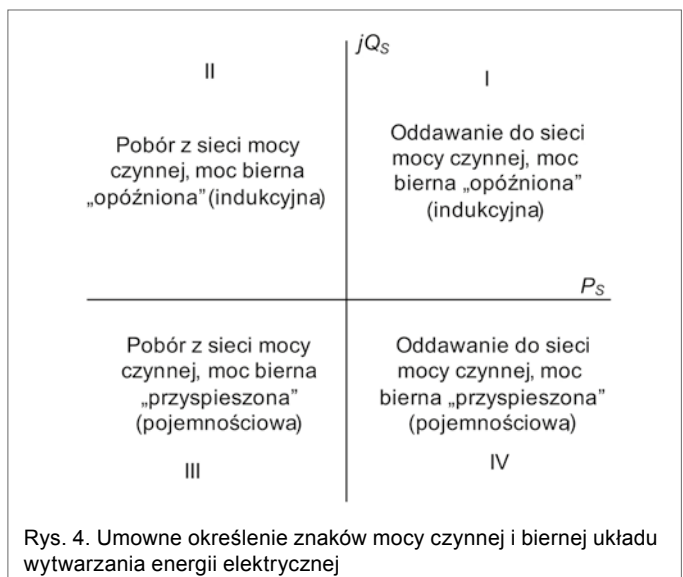
Rys. 1. Generator asynchroniczny przyłączony bezpośrednio do sieci SE



Rys. 2. Schemat ogólny elektrowni wodnej z generatorem asynchronicznym i baterią kondensatorów kompensacyjnych



Rys. 3. Schemat zastępczy fazy generatora indukcyjnego klatkowego, z kondensatorową kompensacją mocy biernej indukcyjnej



Rys. 4. Umowne określenie znaków mocy czynnej i biernej układu wytwarzania energii elektrycznej

AUTOMATYKA W ENERGETYCE

Przekształtnik, w zależności od kąta wysterowania, jest źródłem mocy biernej zarówno pojemnościowej, jak i indukcyjnej. Natomiast w odniesieniu do mocy czynnej (rys. 5) realizuje transmisję mocy pomiędzy obwodem napięcia stałego DC i przemiennego AC.

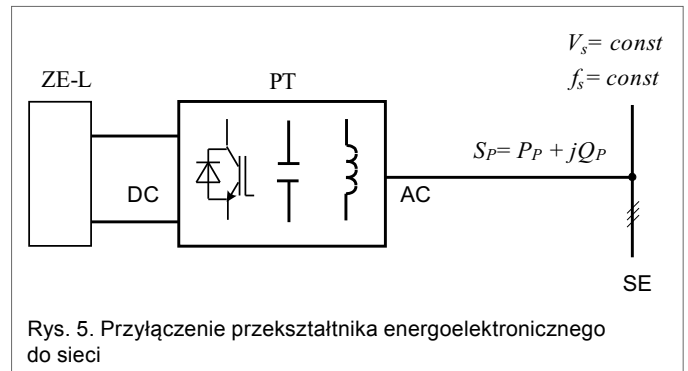
Wykres ilustrujący pracę przekształtnika w czterech ćwiartkach układu współrzędnych $P_p + jQ_p$ pokazuje rys. 6. Wartość mocy czynnej i biernej $S_p = P_p + jQ_p$ jest funkcją kąta wysterowania i amplitudy prądu sieci.

Pracę w trzeciej ćwiartce $S_{p3} = P_{p3} + jQ_{p3}$ wykorzystuje się do wytwarzania mocy biernej pojemnościowej. Niewielka wartość mocy czynnej P_{p3} odpowiada poborowi mocy czynnej wynikającej ze strat w przekształtniku. Praca w ćwiartce drugiej odzwierciedla pobór mocy biernej indukcyjnej i może służyć np. do zmniejszania przekompensowania kondensatorami.

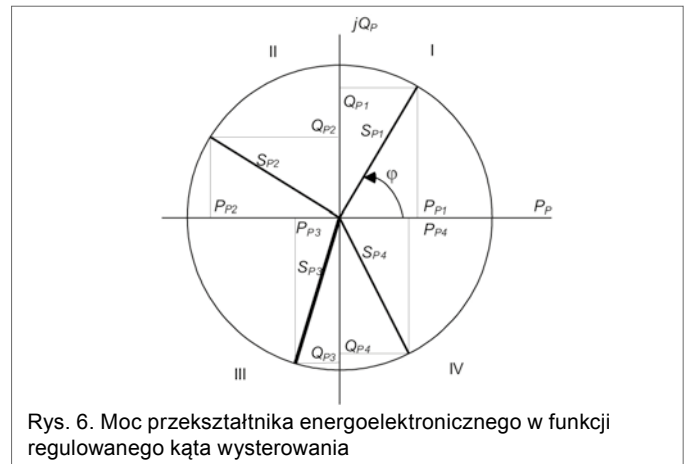
Przykłady topologii przekształtników, realizujących pracę w czterech kwadrantach, są podane na rys. 7 i 8. Przekształtnik dwupoziomowy (rys. 7) jest popularnie stosowany jako falownik w technice napędu silnikami indukcyjnymi. Dostarcza do silnika indukcyjnego moc czynną i bierną indukcyjną o zadanej częstotliwości.

Opracowany początkowo dla napędów wysokonapięciowych falownik trójpoziomowy (rys. 8) znajdzie wkrótce zastosowanie również w układach niskich napięć. Zalety przekształtnika trójpoziomowego to mniejsza zawartość wyższych harmonicznych oraz mniejsze filtry indukcyjne.

Postęp w budowie przekształtników zintegrowanych, zawierających w jednym bloku komplet tranzystorów, przyczynia się do obniżenia kosztów przekształtnika.



Rys. 5. Przyłączenie przekształtnika energoelektronicznego do sieci



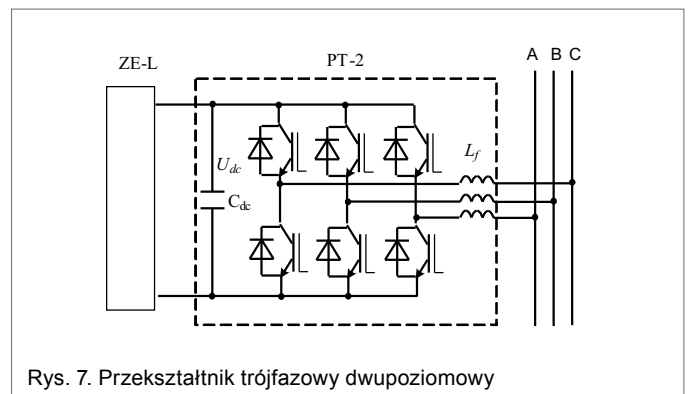
Rys. 6. Moc przekształtnika energoelektronicznego w funkcji regulowanego kąta wysterowania

3. Układy generatorów o regulowanym współczynniku mocy

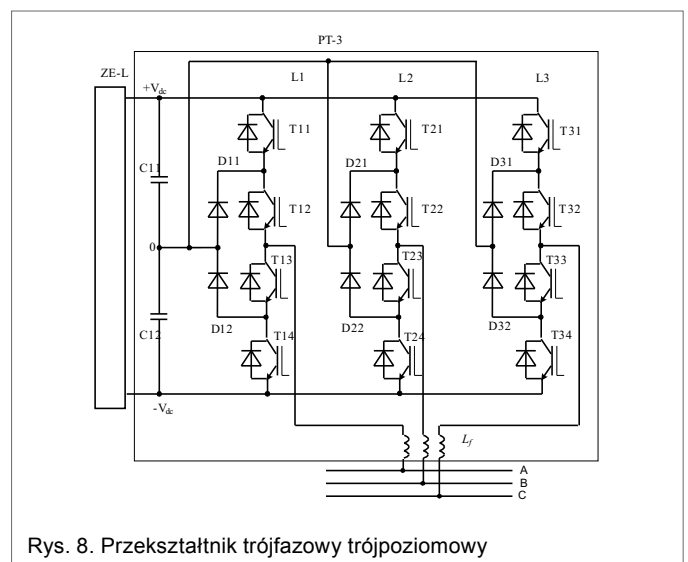
Wykorzystanie przekształtników do poprawy jakości energii elektrycznej, czyli do budowy układów o regulowanej mocy biernej, jest zilustrowane na rys. 9 i 10.

Rys. 9 podaje wykorzystanie przekształtnika z pośrednim obwodem napięcia stałego dla różnych generatorów, np. indukcyjnych klatkowych GI, z magnesami trwałymi GMT lub synchronicznych SG. Energia elektryczna w postaci prądu o zmiennej częstotliwości, otrzymywana z generatora, jest przekształcana na energię napięcia stałego w przekształtniku „maszynowym” PECEM. Przekształtnik „sieciowy” PECS przekształca energię z obwodu napięcia stałego na energię napięcia przemiennego o częstotliwości napięcia sieci f_s . Czterokwadrantowy przekształtnik PECS ma właściwości opisane na rys. 6. Jest zatem źródłem mocy czynnej i biernej. Moc czynna jest uzależniona od mocy dostarczonej przez generator. Natomiast moc bierna jest w pełni regulowana.

Przekształtnik maszynowy PECEM jest zwymiarowany na moc czynną dostarczaną przez generator i moc bierną dostarczaną do generatora. Przekształtnik sieciowy PECS jest zwymiarowany na moc czynną odbieraną z przekształtnika PECEM oraz na moc bierną przewidywaną do dostarczenia do sieci. Zatem energia pobierana z generatora jest dwukrotnie przekształcana w PECEM i PECS, co mimo dosyć wysokiej sprawności przekształtników, w przypadku małej mocy, może mieć istotny, negatywny wpływ na straty mocy, czyli na sprawność elektrowni. Ponadto wymiarowanie przekształtników na pełną moc pozorną zwiększa w sposób istotny nakłady finansowe w stosunku do prostych układów generacji (rys. 2). Z tego względu bardzo



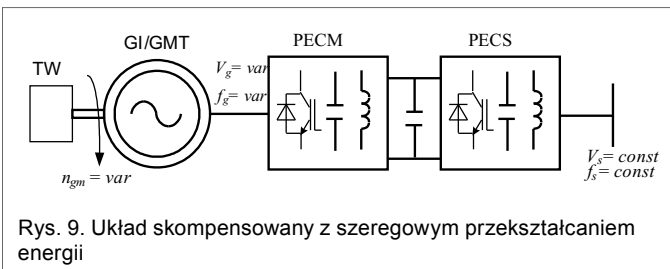
Rys. 7. Przekształtnik trójfazowy dwupoziomowy



Rys. 8. Przekształtnik trójfazowy trójpoziomowy

Tabela 1. Orientacyjne wartości mocy przekształtników energoelektronicznych, zapewniających współczynnik mocy $\cos\varphi = 1$ w układzie wyprowadzenia mocy z generatora o mocy 110 kW napędzanego turbiną wodną

Lp.	Układ	Rodzaj generatora	Moc czynna generatora	Moc pozorna generatora	Moc przekształtnika PECM	Moc przekształtnika PECS/K	Moc sumaryczna przekształtników
			kW	kVA	kVA	kVA	kVA
1	Szeregowy	Indukcyjny	110	124	124	110	234
2	Szeregowy	PMG	110	110	110	110	220
3	Szeregowy	Synchron	110	110	110	110	220
4	Równoległy	Indukcyjny	110	124	0	60	60
5	Równoległy hybrydowy	Indukcyjny	110	124	0	44	44



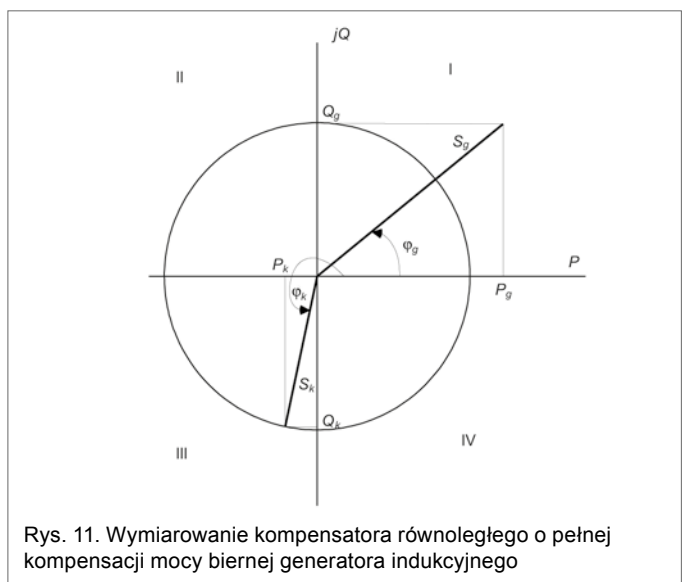
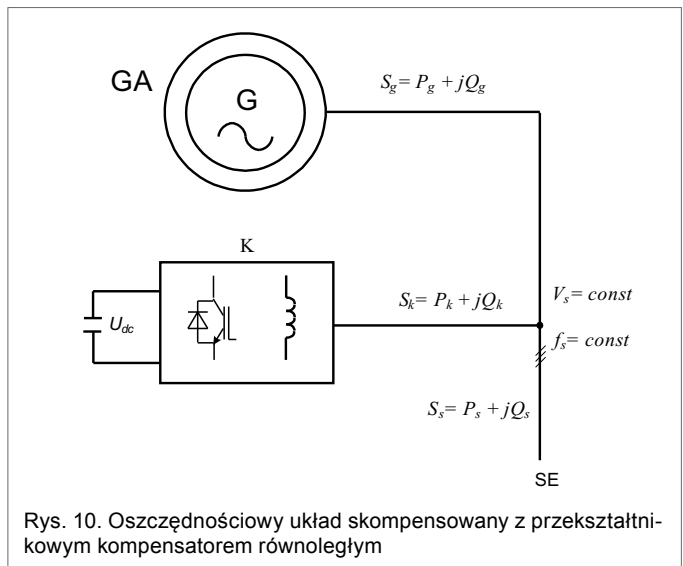
korzystny, z punktu widzenia możliwości regulacyjnych, układ szeregowy nie znajduje dzisiaj szerszego zastosowania w małych elektrowniach wodnych. Z tego powodu rozważyć należy kompensację równoległą z przekształtnikiem kompensacyjnym przyłączonym równolegle do generatora indukcyjnego, tak jak to pokazano na rys. 10. W tym przypadku przekształtnik kompensacyjny K służy tylko do wytwarzania mocy biernej dostarczanej do generatora lub ewentualnie do wytwarzania energii biernej dostarczanej również do sieci. Uwzględniając wartość mocy kompensatora K (rys. 10), należy uznać, że jest ona wielokrotnie mniejsza od mocy każdego z przekształtników układu szeregowego (rys. 9).

Jeżeli kompensator K ma być zwymiarowany tylko do kompensacji mocy biernej generatora, czyli dla pełnej kompensacji zapewniającej pracę elektrowni ze współczynnikiem mocy $\cos\varphi = 1$, to wartość mocy biernej kompensatora S_k (pokazanego na rys. 11) wyznacza zależność, czyli praktycznie ma być równa mocy biernej generatora Q_g .

Przekształtnik kompensacyjny cechuje się bardzo dużą szybkością regulacji prądu, co eliminuje zagrożenia związane z przekompensowaniem.

Tabela 1 podaje orientacyjne moce przekształtników energoelektronicznych, wynikające z przyjętej topologii kompensatora dla generatora o mocy 110 kW.

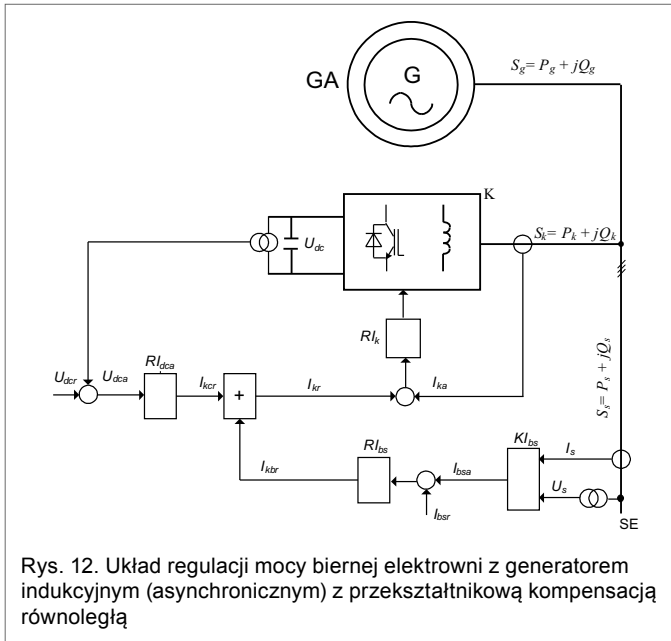
Generator indukcyjny, zbudowany z maszyny o mocy 110 kW, wymaga kompensacji mocy biernej rzędu 60 kVAR. Stosując przekształtnikowy układ szeregowy z pośrednim obwodem napięcia stałego, należy użyć dwóch przekształtników. Przekształtnik od strony generatora PECM powinien zapewnić pobór mocy na poziomie mocy pozornej generatora. W przypadku generatora indukcyjnego klatkowego moc przekształtnika maszynowego PECM wynosi 124 kVA, a moc sieciowego PECS 110 kVA, czyli obliczeniowa „zainstalowana” moc przekształtników wyniesie ok. 234 kVA. Natomiast w przypadku kompensacji równoległej wymagana moc przekształtnika – kompensatora wyniesie tylko 60 kVA. Odpowiednio do rozptyłu mocy straty mocy czynnej w przekształtniku równoległym będą mniejsze. Ponadto, jeżeli jest zastosowana częściowa kompensacja kondensatorowa do $\text{tg}\varphi = 0,4$, a od $\text{tg}\varphi = 0,4$ do $\text{tg}\varphi = 0$



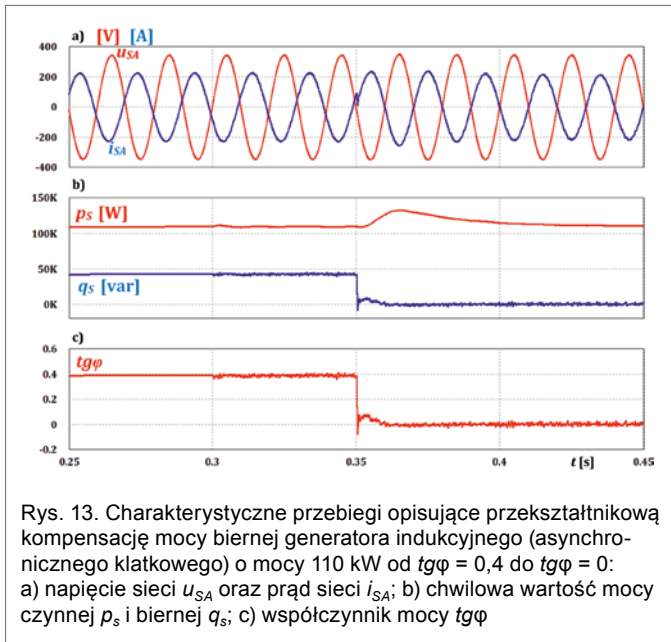
przekształtnikiem energoelektronicznym, czyli w układzie hybrydowym (pozycja 5), to wymagana moc przekształtnika energoelektronicznego wynosi tylko 44 kVA.

4. Układ elektrowni wodnej o regulowanym współczynniku mocy z przekształtnikowym kompensatorem równoległym

Układ elektrowni z generatorem asynchronicznym klatkowym jest pokazany na rys. 12. Generator wytwarza moc czyn-



Rys. 12. Układ regulacji mocy biernej elektrowni z generatorem indukcyjnym (asynchronicznym) z przekształtnikową kompensacją równoległą

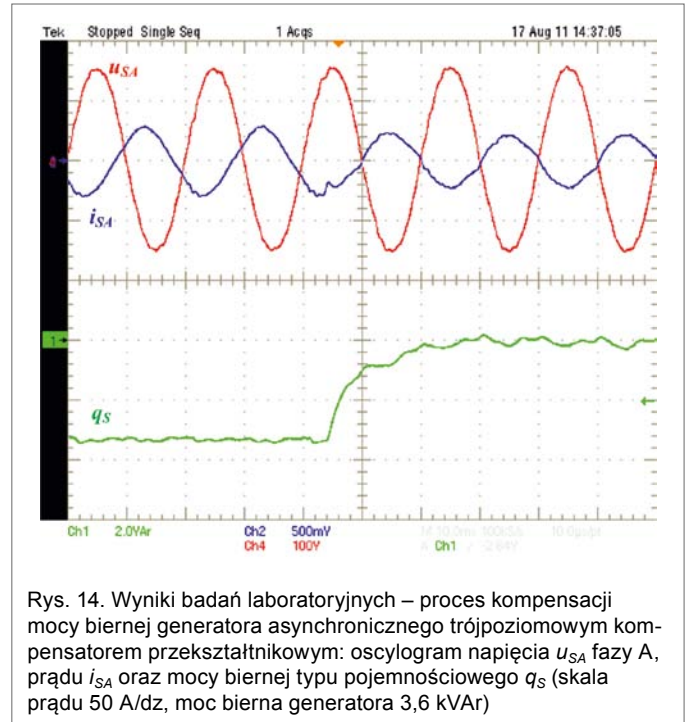


Rys. 13. Charakterystyczne przebiegi opisujące przekształtnikową kompensację mocy biernej generatora indukcyjnego (asynchronicznego klatkowego) o mocy 110 kW od $tg\varphi = 0,4$ do $tg\varphi = 0$: a) napięcie sieci u_{SA} oraz prąd sieci i_{SA} ; b) chwilowa wartość mocy czynnej p_s i biernej q_s ; c) współczynnik mocy $tg\varphi$

na P_g i oddaje bezpośrednio do sieci SE. Moc bierną Q_g , potrzebną do pracy generatora, dostarcza kompensator K , czyli $Q_k = Q_g$. Wartość mocy biernej pobieranej/oddawanej do sieci $Q_{ks} = Q_k \pm Q_g$.

Regulację mocy biernej wprowadzanej do sieci uzyskuje się, stosując regulator prądu biernego RI_{bs} przez zadawanie wartości prądu biernego I_{bsr} . Regulator prądu biernego RI_{bs} otrzymuje informacje o prądzie rzeczywistym I_{bsa} i odpowiednio zadaje prąd kompensatora poprzez sygnał I_{kbr} , wchodzący na wejście regulatora prądu kompensatora RI_k .

Badania komputerowe układu wytwarzania energii z kompensatorem równoległym (rys. 13) wskazują na szybkość i skuteczność kompensacji mocy biernej generatora asynchronicznego. W czasie t od 0 do 0,35 s układ wytwarzania energii pracuje z $tg\varphi = 0,4$. Przebieg prądu i_{SA} fazy A jest przesunięty w stosunku do napięcia fazy A u_{SA} (rys. 13 a). W chwili $t = 0,35$ s podany zostaje sygnał zadany $tg\varphi = 0$ i regulator mocy biernej powoduje przesunięcie prądu sieci do kąta równego zero. Moc



Rys. 14. Wyniki badań laboratoryjnych – proces kompensacji mocy biernej generatora asynchronicznego trójpoziomym kompensatorem przekształtnikowym: oscylogram napięcia u_{SA} fazy A, prądu i_{SA} oraz mocy biernej typu pojemnościowego q_s (skala prądu 50 A/dz, moc bierna generatora 3,6 kVAR)

bierna sieci q_s maleje do zera (rys. 13 b). Maleje również do zera $tg\varphi$ (rys. 13 c). Czas do osiągnięcia pełnej kompensacji jest bardzo krótki, co świadczy o możliwości kompensacji szybkimi przebiegami wywołanych np. zadziałaniem łączników mechanicznych lub innymi stanami przejściowymi w sieci.

Badania laboratoryjne (rys. 14) działania układu kompensatora przekształtnikowego trójpoziomowego (rys. 8) potwierdzają skuteczność i szybkość jego działania. Rysunek przedstawia proces kompensacji prądu generatora asynchronicznego, w którym na skutek sygnału zadanego prąd i_{SA} fazy A osiąga przesunięcie fazowe równe zero ($\cos\varphi = 1$). Zmiana fazy prądu jest praktycznie bezinercyjna. Prąd zespołu prądotwórczego, złożonego z generatora asynchronicznego i kompensatora, zmienia swój przebieg tak, aby przy pierwszym przejściu przez zero napotkać na wartość zerową napięcia sieci.

W wyniku kompensacji prądu biernego generatora amplituda prądu sieci maleje. Do sieci jest dostarczany tylko prąd czynny.

5. Podsumowanie

- Stosowane w małych elektrowniach wodnych generatory indukcyjne (asynchroniczne) cechuje znaczny pobór energii biernej indukcyjnej.
- Stosowanie kompensacji kondensatorowej generatora asynchronicznego klatkowego jest w znacznym stopniu ograniczone, a wymagany poziom bezpiecznej kompensacji do wartości $tg\varphi = 0,4$ jest wynikiem niskiego poziomu techniki kompensacji kondensatorowej elektrowni z generatorami asynchronicznymi. Pełne skompensowanie mocy biernej generatora asynchronicznego kondensatorami może doprowadzić w stanach przejściowych do niekontrolowanego samowzbudzenia i wzrostu napięcia do wartości przekraczających wartości nominalne.
- Przekształtnik energoelektroniczny, o regulowanej fazie i amplitudzie prądu trójfazowego, jest źródłem mocy biernej, które może być zastosowane w procesie modernizacji elektrowni wodnych.

- Kompensator pracujący w układzie równoległym zapewnia pełną i szybką kompensację mocy biernej, zachowując płynną (bez skoków amplitudy) regulację prądu biernego.
- Moc przekształtników kompensacyjnych równoważnego układu równoległego jest 4-krotnie mniejsza w stosunku do mocy przekształtników układu szeregowego.
- Przekształtnik energoelektroniczny pracujący jako kompensator charakteryzuje się dużą szybkością regulacji mocy biernej.
- Badania komputerowe oraz badania laboratoryjne potwierdzają bardzo dobre właściwości regulacyjne kompensatora przekształtnikowego, co stwarza perspektywę szybkiego wdrożenia w małych elektrowniach wodnych.

Literatura

- [1] Instrukcja ruchu i eksploatacji sieci przesyłowej. Warunki korzystania, prowadzenia ruchu eksploatacji i planowania rozwoju sieci. Polskie Sieci Elektroenergetyczne Operator SA. Wersja 1.2.
- [2] ROZLUCKI W.: *Kompensacja mocy biernej w małych elektrowniach wodnych (MEW)*. ELMA ENERGIA.
- [3] STRZELECKI R., BENYSEK G. (RED.): *Power Electronics in Smart Electrical Networks*. Springer Verlag, London 2008.
- [4] KOCZARA W., RUKAT M., TEOFILAK R., GRZESIAK L.: *Active filter operation providing unity power factor for drives and battery charging*. Proceedings of International Conference INTELEC95-PES-IEEE, Power Electronics Society of the IEEE, 29 October – 1 November 1995, Hague, Netherlands.
- [5] DAKYO B., LE BUNETEL J.C., PROTIN L., KOCZARA W.: *Single Phase Active Filter Power Correction*. Proc. of 6th European Power Electronics & App. Conference EPE'95, 19–21 September 1995, Sevilla, Spain.
- [6] KOCZARA W., DAKYO B., PROTIN L.: *AC/AC Three phase Converter operating with Unity Power Factor and Sinusoidal Input Current*. Proc. of 6th European Power Electronics & App. Conf. EPE'95, 19–21 September 1995, Sevilla, Spain.
- [7] KOCZARA W., RUKAT M., TEOFILAK R., GRZESIAK L.: *Active filter operation providing unity power factor for drives and battery charging*. Proceedings of International Conference INTELEC95-PES-IEEE, Power Electronics Society of the IEEE, 29 October – 1 November 1995, Hague, Netherlands.
- [8] KOCZARA W., RUKAT M., TEOFILAK R., PATTERSON E.B.: *High Quality Output Current Non Active Power Compensator*. Proc. of Int. Conference on Power Quality. Nov. 7–9, 1995, Bremen, Germany.
- [9] TEOFILAK R., KOCZARA W.: *Reactive Power Compensation by Power Electronic Drive*. Proceedings of the International Symposium on Industrial Electronics ISIE'96 – IEEE, June 17–20, 1996, volume 1, pp. 283–287.

Praca jest częścią projektu rozwojowego nr N R01 0016 06/2009 pt. „Inteligentny układ kompensacji mocy biernej do elektrowni z maszynami indukcyjnymi” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

prof. dr hab. inż. Włodzimierz Koczara, mgr inż. Dominik Górski,
dr inż. Grzegorz Iwański, mgr inż. Jarosław Tępiński,
dr inż. Janusz Wiśniewski – Instytut Sterowania i Elektroniki
Przemysłowej, Politechnika Warszawska