

*aktywny kompensator szeregowo-równoległy,
źródła rozproszone, sprzęganie źródeł
rozproszonych z systemem elektroenergetycznym*

Jacek RUSIŃSKI*

WŁAŚCIWOŚCI SZEREGOWO-RÓWNOLEGŁEGO KOMPENSATORA AKTYWNEGO W UKŁADZIE SPRZĘGANIA ŹRÓDEŁ ROZPROSZONYCH Z SIECIĄ ELEKTROENERGETYCZNĄ

Coraz częściej instalowane w systemie elektroenergetycznym odnawialne źródła energii powodują konieczność opracowania nowoczesnych układów sprzęgających. Mają one za zadanie zmniejszenie oddziaływania źródeł odnawialnych na pracę sieci elektroenergetycznej, oraz sterowanie w celu uzyskania odpowiednich parametrów źródła odnawialnego. W artykule zaprezentowano koncepcję zastosowania szeregowo-równoległego kompensatora aktywnego jako układu sprzęgu źródeł odnawialnych. Opisane zostały również wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych proponowanego układu

1. WSTĘP

Rozwój technologiczny, jaki nastąpił w ostatnim czasie związany głównie z automatyzacją procesów produkcyjnych oraz rozwojem elektroniki użytkowej spowodował wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Prowadzone analizy pokazują, że zależność gospodarki od energii elektrycznej w przyszłości będzie ciągle wzrastała. Spowodowane jest to rozwojem układów i technologii, ułatwiających dowolne sterowanie i przekształcanie energii elektrycznej w zależności od potrzeb odbiorcy finalnego. Dzięki temu jest ona najbardziej uniwersalnym rodzajem energii. Przewiduje się, że do roku 2030 konieczny będzie wzrost mocy zainstalowanej o około 1500 GW [2]. Jednocześnie wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa spowodowała zwrot ku technologiom wywierającym mniejszy wpływ na środowisko. Przykładem może być pakiet 3×20 dotyczący krajów Unii Europejskiej zobowiązujący do zmniejszenia

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Elektrycznej, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, e-mail: J.Rusinski@iee.uz.zgora.pl

emisji CO₂, zmniejszenia zużycia energii oraz zwiększenia produkcji energii ze źródeł odnawialnych.

Analiza gospodarki poszczególnych państw pokazuje, że nie wszystkie są przygotowane do spełnienia tych rygorystycznych zapisów [1]. Dążenie do zmiany tej sytuacji i próba spełnienia nałożonych wymogów spowodowała w ostatnich latach duży rozwój technologii niskoemisyjnych i technologii związanych z odnawialnymi źródłami energii. Najczęściej spotkać można w literaturze układy wykorzystujące ogniwa fotowoltaiczne, turbiny wiatrowe, biomasę, ogniwa paliwowe czy energię geotermalną [3]. Różnorodny charakter odnawialnych źródeł energii oraz duży wpływ warunków zewnętrznych na ich pracę powoduje konieczność stosowania specjalizowanych układów sprzęgających z systemem elektroenergetycznym. Głównym zadaniem układów sprzęgających jest dostosowanie i kontrola podstawowych parametrów energii przesyłanej ze źródła odnawialnego do sieci elektroenergetycznej. W prezentowanym artykule przedstawiono przegląd stosownych układów sprzęgających oraz zaprezentowano badania właściwości szeregowo-równoległego kompensatora aktywnego w układzie sprzęgania źródeł odnawialnych.

1.1. WPLYW ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH NA PRACĘ SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Prosta budowa układów przetwarzania energii pierwotnej oraz bardzo dobre nasłonecznienie i warunki wietrzne na dużych obszarach globu powodują, że elektrownie słoneczne i wiatrowe są najczęściej wykorzystywane do generowania energii elektrycznej. Niestety ze względu na bezpośrednią zależność wydajności tych źródeł od warunków atmosferycznych, pory dnia oraz pór roku elektrownie takie charakteryzują się znaczną zmiennością produkcji energii [4]. Pomimo tej wady w ostatnich latach nastąpił gwałtowny rozwój energetyki odnawialnej, głównie ze względów ekologicznych. Rosnąca liczba takich układów generacyjnych pracujących w systemie elektroenergetycznym spowodowała, że zaczęto zauważać problemy związane z ich wpływem na parametry jakości energii [5], [6].

Wspomniana wcześniej zależność wydajności turbin wiatrowych i ogniw PV od zmian warunków zewnętrznych może powodować szereg niepożądanych zjawisk w systemie elektroenergetycznym. Nagłe zmiany generowanej energii powodują gwałtowne zrzuty obciążenia i zmiany kierunku przepływu energii w sieciach, co pociąga za sobą wahania napięcia, tętnienia mocy oraz pogorszenie współczynnika migotania światła. Starsze układy generacyjne mogą być źródłem wyższych harmonicznych prądu i napięcia. Wymienione zjawiska powodują pogorszenie parametrów jakości energii w systemie. Niestabilność wartości energii generowanej przez turbiny wiatrowe i ogniwa PV powoduje utrudnione prowadzenie ruchu systemu, problemy z regulacją napięcia i mocy biernej oraz konieczność zwiększenia rezerwy mocy w innych źródłach. Natomiast ciągle załączanie i odłączanie źródeł od sieci elektroenergetycznej jest przyczyną trudności w planowaniu bilansu mocy i energii

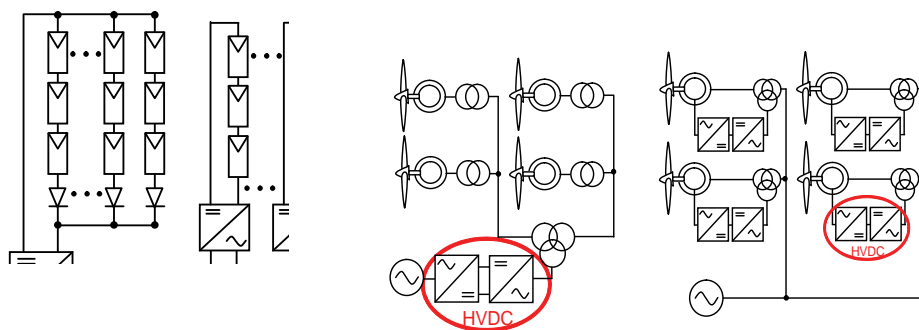
oraz problemów z opanowaniem mocy zwarcia w punkcie wpięcia i stabilności pracy systemu.

Opisane zjawiska niepożądane związane z pracą odnawialnych źródeł energii spowodowały konieczność poszukiwania metod ich eliminacji. Zmniejszenie wpływu zmian mocy wyjściowej źródeł odnawialnych na sieć można uzyskać poprzez budowę zaawansowanych układów sprzęgających [4], [7], [8], [9].

1.2. SPRZĘGANIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII Z SIECIĄ ELEKTROENERGETYCZNĄ

Źródła rozproszone najczęściej przyłączane są do sieci za pomocą energoelektronicznych układów przekształtnikowych, których głównym zadaniem jest dostosowanie parametrów energii źródła odnawialnego i systemu elektroenergetycznego.

Niestety klasyczne układy sprzęgające nie zapewniają możliwości sterowania pracą źródła oraz są często źródłem harmonicznych. Konieczne jest więc opracowanie nowych układów sprzęgających, które zminimalizują niekorzystny wpływ źródeł odnawialnych na parametry jakości energii i pozwolą kontrolować pracę źródła i współpracujących z nim układów magazynowania energii. W zależności od rodzaju źródła odnawialnego przekształtniki stosowane w układach sprzęgania różnią się między sobą topologią i rodzajem przekształcania energii. Na rysunku 1 przedstawiono podstawowe topologie układów sprzęgania ogniw fotowoltaicznych i turbin wiatrowych z siecią.



Rys. 1. Podstawowe topologie układów sprzęgania ogniw fotowoltaicznych i turbin wiatrowych z siecią

Do sprzęgania ogniw fotowoltaicznych, będących źródłami napięcia stałego, z siecią elektroenergetyczną niezbędne jest zastosowanie falownika. W zależności od mocy, ilości i napięcia zainstalowanych ogniw obwód sprzęgający może dodatkowo zawierać przekształtnik DC/DC oraz transformator zapewniający dopasowanie napięciowe i izolację galwaniczną.

Wartości mocy turbin wiatrowych zawierają się w zakresie od kilkuset watów do kilku megawatów. Generatory dużych turbin wiatrowych są maszynami prądu przemiennego. W starszych rozwiązaniach montowane były zazwyczaj generatory asynchroniczne, natomiast obecnie najczęściej spotyka się generatory synchroniczne i generatory pierścieniowe DFIG. Bardzo często turbiny były bezpośrednio podłączone do sieci elektroenergetycznej, co było przyczyną występowania tętnienia mocy i wahań napięcia w punkcie przyłączenia do sieci. Układ taki ze względu na brak obwodów sterujących nie umożliwiał regulacji parametrów generowanej energii. Wraz z rozwojem technologii pojawiały się jednostki coraz większych mocy, które zaczęto wyposażać w sprzęgające układy przekształtnikowe.

Przekształtniki energoelektroniczne turbin wiatrowych głównie mają za zadanie poprawę właściwości regulacyjnych, tzn. umożliwiają regulację oddawanej mocy czynnej i biernej, pozwalają na pracę turbiny przy zmiennej prędkości wiatru, uniezależniają generator od zmian jakości energii w systemie elektroenergetycznym oraz w uzasadnionych przypadkach umożliwiają pracę wyspą układu.

Topologia przekształtników stosowanych w klasycznych układach sprzęgania turbin wiatrowych z systemem elektroenergetycznym najczęściej jest analogiczna do układu HVDC (rys.1) [6], [10], [11], [12]. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość przesyłu energii pomiędzy obwodami o różnych częstotliwościach dzięki dwustopniowej konwersji energii AD/DC-DC/AC.

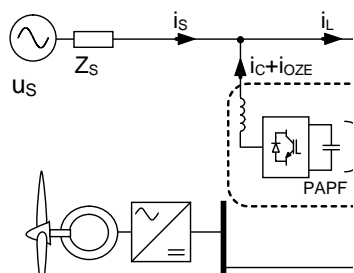
Klasyczne układy HVDC budowane są z zastosowaniem tyrystorów SCR, co jest przyczyną generowania harmonicznych prądu w systemie elektroenergetycznym. Konieczne jest więc zastosowanie układów filtracyjnych. Znacznie lepszymi właściwościami mają układy zbudowane na bazie elementów wyłączalnych umożliwiających pracę z dużo wyższymi częstotliwościami komutacji, co pozwala na dokładną modulację przebiegu prądu wyjściowego.

Coraz częściej spotykanym w literaturze rozwiązaniem jest sprzęganie źródeł odnawialnych za pomocą szyny DC [14]. Taki system pozwala w prosty sposób łączyć ze sobą źródła o różniących się charakterystykach, jak również sprzęgać współpracujące ze źródłami zasobniki energii [16].

2. SZEREGOWO-RÓWNOLEGLY KOMPENSATOR AKTYWNY JAKO UKŁAD SPRZĘGU OZE Z SYSTEMEM ELEKTROENERGETYCZNYM

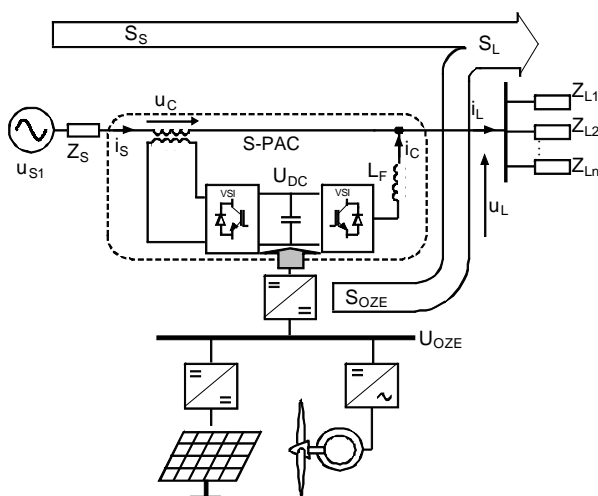
W ostatnich latach pojawiło się wiele koncepcji zastosowania zaawansowanych układów przekształtnikowych do sprzęgania źródeł odnawialnych z siecią elektroenergetyczną. Jednym z najczęściej opisywanych rozwiązań jest zastosowanie do tego celu równoległego kompensatora aktywnego (rys. 2) [15]. W takim układzie kompensator równoległy ma za zadanie kompensować harmoniczne prądu, moc bierną oraz wprowadzać energię generowaną przez źródło odnawialne. Energia generowana przez

źródło odnawialne wprowadzana jest do systemu za pośrednictwem obwodu DC kompensatora równoległego [2], [13], [18], [19]. Pociąga to za sobą konieczność zwiększenia mocy przekształtnika kompensatora do wartości mocy źródła. Układ taki jest dużo droższy od klasycznych układów sprzężenia zapewnia jednak znaczną poprawę parametrów energii oddawanej do systemu elektroenergetycznego.



Rys. 2. Równoległy filtr aktywny jako sprzęg OZE z systemem elektroenergetycznym

Najbardziej uniwersalnym układem sprzężenia źródeł odnawialnych z siecią, spotykanym w literaturze jest układ o topologii kompensatora szeregowo równoległego. Do tej grupy zaliczane są: zintegrowane układy poprawy jakości energii elektrycznej (UPQC) oraz zintegrowane sterowniki rozpyływu mocy (UPFC). Jest to połączenie kompensatora równoległego i szeregowego, które sprzężone są wspólnym obwodem DC. Literatura na temat klasycznego użycia układów UPQC i UPFC jest bardzo bogata, lecz nowa koncepcja ich zastosowania jako systemu sprzężenia źródeł odnawialnych z siecią elektroenergetyczną pojawiła się dopiero jakiś czas temu (rys. 3) [17], [20].



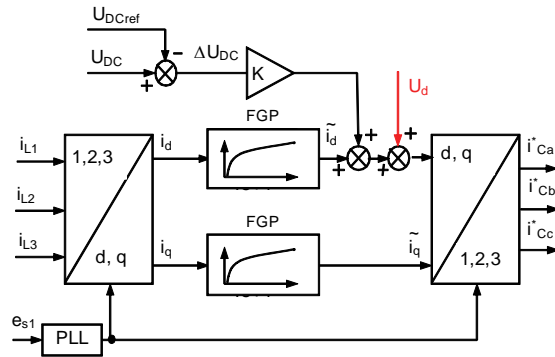
Rys. 3. Szeregowo-równoległy kompensator aktywny w układzie sprzężenia źródeł rozproszonych z siecią elektroenergetyczną

Zasadę działania układu z rysunku 3 opisują równania:

$$i_S = i_L + i_C \quad (1)$$

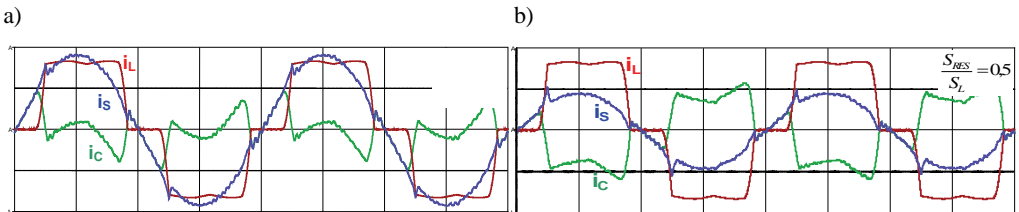
$$u_L = u_S + u_C \quad (2)$$

Głównymi funkcjami układu równoległego są: kompensacja harmonicznego prądu, kompensacja mocy biernej, symetryzacja prądu linii zasilającej, kontrola napięcia w obwodzie DC oraz wprowadzanie energii generowanej przez źródło odnawialne do sieci (1). Natomiast zadaniem obwodu szeregowego jest: kompensacja harmonicznego napięcia źródła, stabilizacja wartości napięcia odbiornika oraz sterowanie rozplywem mocy w punkcie wpięcia (2). Dzięki zastosowaniu układu sprzęgającego o takiej topologii uzyskuje się możliwość regulacji parametrów jakości energii oraz sterowania rozplywem mocy w punkcie wpięcia źródeł odnawialnych do systemu elektroenergetycznego.



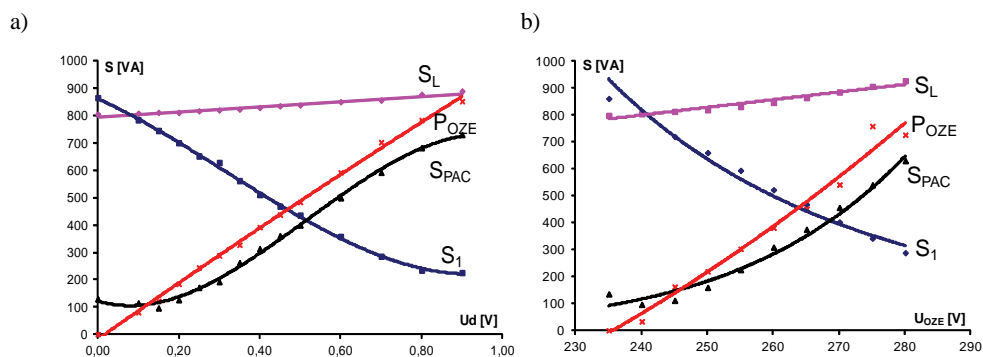
Rys. 4. Układ sterowania kompensatora równoległego

W układach sterowania kompensatorów aktywnych najczęściej stosowana jest teoria mocy chwilowych. Na rysunku 4 przedstawiony został schemat blokowy takiego właśnie układu sterowania kompensatora równoległego. Dzięki temu w prosty sposób można kontrolować wartość energii oddawanej do systemu.



Rys. 5. Wyniki badań kompensatora szeregowo równoległego w układzie sprzęgu źródeł odnawialnych, przebiegi prądu sieci i_S , prądu odbiornika i_L , oraz prądu kompensatora równoległego i_C dla różnych wartości energii generowanej przez źródło odnawialne

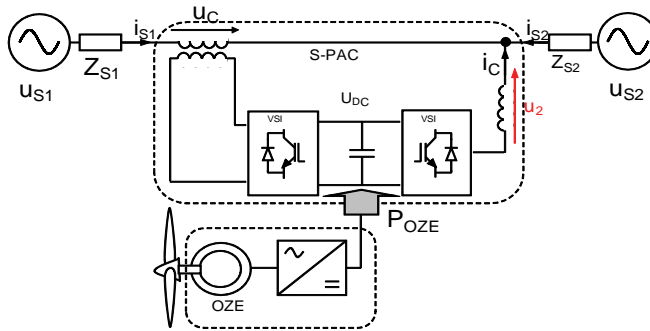
Na rysunku 5 zamieszczone zostały wyniki badań symulacyjnych kompensatora szeregowo-równoległego pracującego w układzie pokazanym na rysunku 3. Pokazane przebiegi napięć i prądów obrazują pracę układu dla dwóch przypadków: na rysunku 5a odbiornik zasilany jest tylko z systemu elektroenergetycznego a źródło odnawialne nie generuje energii, natomiast na rysunku 5b zapotrzebowanie mocy odbiornika jest pokrywane w połowie z sieci elektroenergetycznej oraz w połowie ze źródła odnawialnego. Poza funkcją sprzęgu źródła odnawialnego układ pracuje również jako kompensator harmonicznych prądu odbiornika, co potwierdza sinusoidalny prąd sieci i_s .



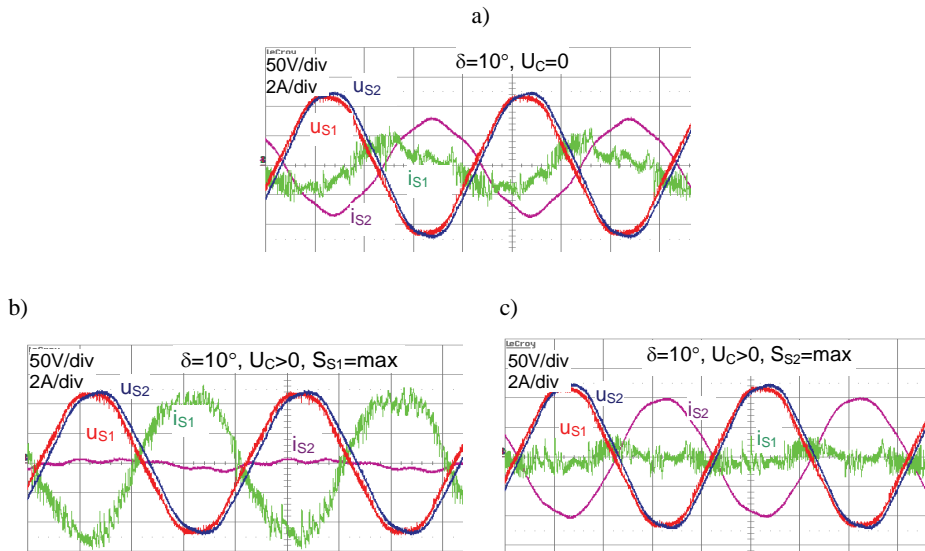
Rys. 6. Charakterystyka zależności mocy pobieranej przez odbiornik S_L , mocy źródła odnawialnego P_{OZE} , mocy kompensatora równoległego S_{PAC} oraz mocy pobieranej z sieci S_1 w funkcji:
a) zmian napięcia U_d w torze sterowania; b) zmian napięcia źródła odnawialnego U_{OZE}

Sterowanie wartości energii przekazywanej ze źródeł odnawialnych w badanym układzie może odbywać się na dwa sposoby. Poprzez zmianę wartości sygnału stałonapięciowego U_d w torze d układu sterowania (rys. 4) lub przez zmianę wartości napięcia generowanego przez źródło odnawialne. Możliwości regulacyjne układu potwierdzone zostały w badaniach modelu laboratoryjnego opisywanego układu. W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano charakterystyki zamieszczone na rysunku 6 przedstawiające zależności mocy pobieranej przez odbiornik S_L , mocy źródła odnawialnego P_{OZE} , mocy kompensatora równoległego S_{PAC} oraz mocy pobieranej z sieci S_1 w funkcji zmian napięcia U_d oraz napięcia źródła odnawialnego U_{OZE} . W obu przypadkach potwierdzono możliwość regulacji wartości energii przesyłanej ze źródła odnawialnego do odbiornika. Zarówno zwiększenie wartości napięcia U_d jak i napięcia U_{OZE} powoduje zwiększenie przesyłu mocy P_{OZE} i zmniejszenie obciążenia źródła S_1 .

Pełną funkcjonalność proponowany układ sprzęgania zyskuje jednak w systemie dwustronnie zasilanym pokazanym na rysunku 7. Układ taki umożliwia sterowanie przesyłu energii ze źródła odnawialnego do wybranego obwodu systemu elektroenergetycznego. Funkcja ta również została potwierdzona podczas badań eksperymentalnych. Na rysunku 8 zamieszczono uzyskane w modelu pokazanym na rysunku 7 oscylogramy napięć i prądów.



Rys. 7. Szeregowo-równoległy kompensator aktywny w układzie sprzęgania źródeł rozproszonych z SE w układzie dwustronnie zasilanym



Rys. 8. Wyniki badań eksperymentalnych szeregowo-równoległego kompensatora aktywnego w układzie sprzęgania źródeł rozproszonych jako układu sterowania rozplywu mocy ze źródeł odnawialnych do układu dwustronnie zasilanego

Połączenie szeregowe impedancji sieci Z_S , źródeł U_{S1} i U_{S2} oraz kompensatora szeregowego powoduje, że na jego parametry wpływa dużo więcej zmiennych. Przez uzwojenie wtórne transformatora dodatkowego kompensatora płynie prąd roboczy źródła i_{S1} , którego wartość i charakter zależy od obciążenia źródeł oraz od wartości kąta przesunięcia δ pomiędzy napięciami U_{S1} i U_{S2} . Na parametry prądu płynącego przez transformator kompensatora duży wpływ ma również wartość impedancji linii zasilającej Z_{S1} i Z_{S2} . Każda zmiana topologii oraz parametrów impedancyjnych linii zasilającej będzie miała wpływ

na rozptył mocy w układzie. Parametrem bezpośrednio wpływającym, na wartość mocy kompensatora szeregowego jest również amplituda i faza napięcia dodawczego U_C , które zależą od funkcji kompensatora. W przypadku, gdy kompensator steruje tylko rozptyłem mocy, napięcie sieci $U_{S1} = U_{S2} = U_N$, a zmienia się wartość kąta δ napięcie źródła dodawczego wyznaczone jest z zależności:

$$\underline{U}_C = U_C \left(-\sin \frac{\delta}{2} + i \cos \frac{\delta}{2} \right) \quad (3)$$

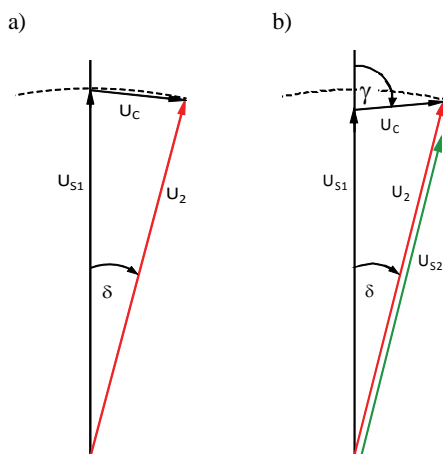
$$U_C = \frac{U_{S1} \sin \delta}{\cos \frac{\delta}{2}} \quad (4)$$

Wykres wektorowy napięć w takim przypadku pokazano na rysunku 9a. W sytuacji, gdy wartość napięcia sieci odbiega od wartości znamionowej tzn. $U_{S1} \neq U_{S2} \neq U_N$ oraz $\delta = \text{var}$ kompensator stabilizuje również wartość napięcia w punkcie wpięcia do systemu. Napięcie kompensatora szeregowego wyznaczone jest wtedy z zależności:

$$\underline{U}_C = U_C (\cos \gamma + i \sin \gamma) \quad (5)$$

$$U_C = \sqrt{U_{S1}^2 + U_2^2 - 2U_{S1}U_2 \cos \delta} \quad (6)$$

Wykres wektorowy napięć dla takiego przypadku pokazano na rysunku 9b. Jak można wywnioskować taka zmiana warunków pracy zasadniczo wpływa na parametry kompensatora.

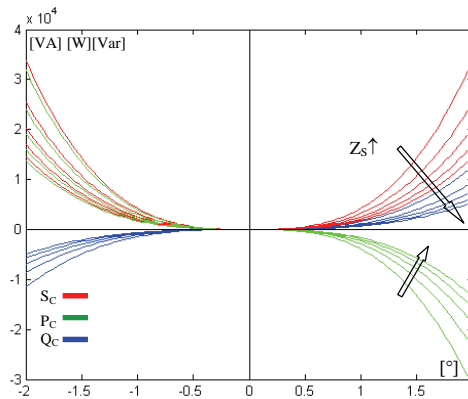


Rys. 9. Wykresy wektorowe napięć pokazujące zasadę pracy kompensatora szeregowego w układzie z rysunku 7: a) $U_{S1} = U_{S2} = U_N$, $\delta = \text{var}$, b) $U_{S1} \neq U_{S2} \neq U_N$, $\delta = \text{var}$

W celu wyznaczenia zależności wartości mocy kompensatora szeregowego od parametrów impedancji i napięcia sieci przeprowadzone zostały badania symulacyjne układu pokazanego na rysunku 7. Podczas badań kompensator aktywny, źródła zasilające i odnawialne źródło energii modelowano jako źródło idealne. Parametry linii Z_{S1} były stałe i wynosiły $R_1 = 1,8 \Omega$, $L_1 = 15 \text{ mH}$, natomiast impedancja linii Z_{S2} była zmienna, jej wartości zamieszczono w Tabelicy 1.

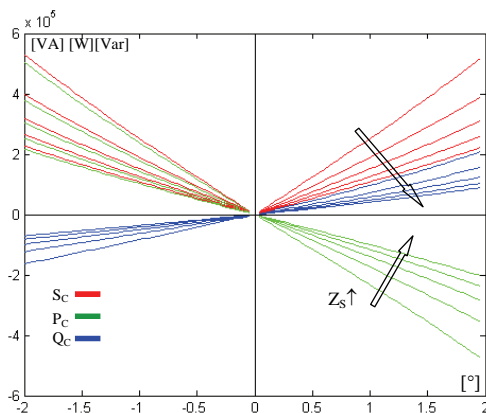
Tabela 1. Parametry linii Z_{S1}

Lp.	$R_S [\Omega]$	$L_S [\text{mH}]$
1.	0,6	5
2.	1,2	10
3.	1,8	15
4.	2,4	20
5.	3,0	25



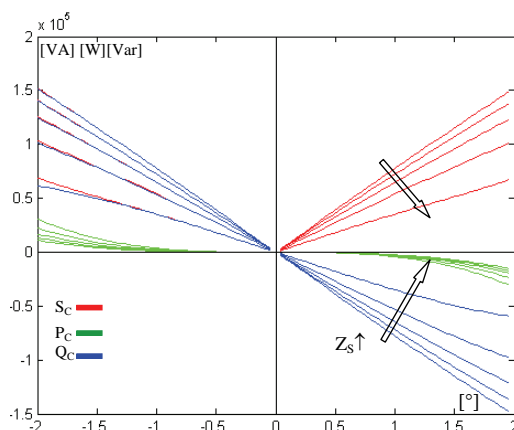
Rys. 10. Charakterystyka mocy kompensatora szeregowego:
funkcja – sterowanie rozplywem mocy dla $U_{S1} = U_{S2} = U_N$, $\delta = \text{var}$

W wyniku przeprowadzonych symulacji otrzymano rodziny charakterystyk mocy czynnej, biernej i pozornej kompensatora szeregowego w funkcji zmian opisanych parametrów. Na rysunku 10 zamieszczona została charakterystyka mocy kompensatora szeregowego, gdy jego funkcją jest tylko sterowanie rozplywem mocy w punkcie wpięcia. W omawianym przypadku napięcia U_{S1} i U_{S2} mają wartości znamionowe oraz nie występuje przesył energii ze źródła odnawialnego. Jak można zauważyć dla wartości kąta $\delta = (-1^\circ \div 1^\circ)$ wartości mocy są bliskie 0. Dalszy wzrost wartości kąta δ powoduje znaczny wzrost mocy kompensatora, przy czym wymienia on głównie moc czynną, a jej max wartość w badanym zakresie wynosi około 30 kW. Wzrost wartości impedancji linii Z_{S2} powoduje znaczne zmniejszenie mocy kompensatora. Spowodowane jest to zmniejszeniem wartości prądu płynącego w linii.



Rys. 11. Charakterystyka mocy kompensatora szeregowego:
funkcja – sterowanie rozplywem mocy, stabilizacja napiecia dla $U_{S1} = U_N$, $U_{S2} \neq U_N$, $\delta = \text{var}$

Rysunek 11 przedstawia charakterystykę zmian mocy kompensatora szeregowego w przypadku, gdy dodatkowo spełnia on funkcję stabilizacji napiecia w punkcie wpięcia. W tym przypadku nastąpiła zmiana przebiegu charakterystyk oraz wystąpiło znaczne zwiększenie wartości mocy kompensatora spowodowane dodatkową składową napiecia wyjściowego.

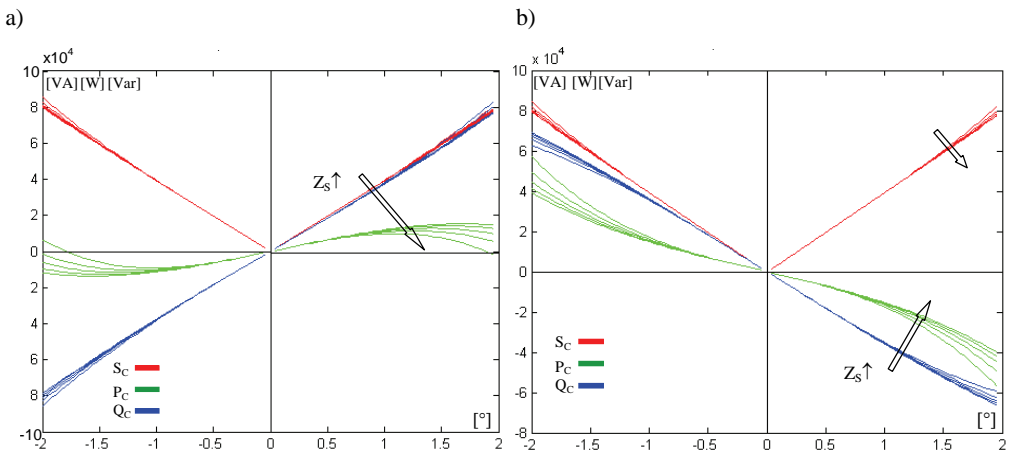


Rys. 12. Charakterystyka mocy kompensatora szeregowego: funkcja – sterowanie rozplywem mocy,
stabilizacja napiecia dla $U_{S1} = U_N$, $U_{S2} \neq U_N$, $\delta = \text{var}$ oraz sprzeganie zrodla odnawialnego

Dodanie funkcji sprzegu odnawialnego zrodla energii w badanym ukladzie spowodowalo kilkukrotne zmniejszenie mocy kompensatora szeregowego (rys. 12). Zmianie ulegl rowniez charakter zrodla. Otrzymane wyniki pokazuja, ze w takim przypadku wymienia ono glownie moc bierna. Przyczyna tego zjawiska jest zmiana fazy pradu

źródła i_{S1} oraz zmniejszenie jego wartości spowodowane oddawaniem energii ze źródła odnawialnego. Zmiana impedancji linii Z_{S2} powoduje analogiczne zmiany jak w poprzednich przypadkach. Na rysunku 13 zamieszczone zostały wyniki badań wpływu przesyłu energii pomiędzy źródłami S_1 i S_2 na parametry kompensatora szeregowego.

Badania przeprowadzono dla przypadku, gdy $U_{S1} = U_{S2} = U_N$ oraz braku oddawania energii ze źródła odnawialnego. Jak można zauważyć dla badanego przypadku moc kompensatora zmienia się liniowo ze zmianą kąta δ , natomiast zmiana wartości Z_{S2} nie ma tak dużego wpływu jak w poprzednich przypadkach. Na rysunku zamieszczono wyniki dla dwóch kierunków przesyłu energii, ponieważ ma on znaczny wpływ na moc czynną kompensatora, co jest spowodowane zmianą fazy prądu i_{S1} .



Rys. 13. Charakterystyka mocy kompensatora szeregowego: funkcja – sterowanie rozplywem mocy, stabilizacja napięcia dla $U_{S1} = U_N$, $U_{S2} \neq U_N$, $\delta = \text{var}$ oraz sprzężenie źródła odnawialnego, a) przesył energii ze źródła S_1 do S_2 , b) przesył energii ze źródła S_2 do S_1

3. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano krótki przegląd metod i układów sprzężenia odnawialnych źródeł energii z systemem elektroenergetycznym. Omówione zostały właściwości konwencjonalnych układów sprzężenia oraz zaprezentowano pojawiające się w literaturze propozycje zastosowania do tych celów zaawansowanych układów przekształtnikowych takich jak szeregowo-równoległy kompensator aktywny. Zaprezentowane wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych modelu laboratoryjnego potwierdziły jego funkcjonalność jako układ sprzęgu źródeł odnawialnych. Zastosowanie takiego układu umożliwia poprawę parametrów jakości energii w punkcie wpięcia, oraz regulację przesyłu mocy ze źródła odnawialnego.

Przedstawione charakterystyki mocy kompensatora szeregowego pokazały, że dobór jego parametrów zależy od wielu czynników. Przy doborze układu do konkretnego zastosowania należy przede wszystkim wziąć pod uwagę wymaganą funkcjonalność oraz parametry i topologię sieci elektroenergetycznej w punkcie wpięcia takiego układu, jak również kierunek przesyłu energii w systemie.

LITERATURA

- [1] JAGER-WALDAU A., *Photovoltaic's and renewable energies in Europe*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 11, 1414–1437.
- [2] ROLIM L.G.B., ORTIZ A., AREDES M., PREGITZER R., PINTO J.G., AFONSO J.L., *Custom Power Interfaces for Renewable Energy Source*, IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE 2007, Spain 2007.
- [3] SAIDUR R., ISLAM M.R., RAHIM N.A., SOLANGI K.H., *A review on global wind energy policy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14, 1744–1762.
- [4] BUENO C., CARTA J.A., *Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2006, 10, 312–340.
- [5] ELTAWIL M. A., ZHAO Z., *Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems – A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14, 112–129.
- [6] CHEN Z., BLAABJERG F., *Wind farm - A power source in future power systems*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13, 1288–1300.
- [7] DAS R., BAJPAI P., SINHA A. K., *Dynamic Interaction of Renewable Hybrid Power Plant with Grid*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '10), Spain 2010.
- [8] WANG Z., YUWEN B., LANG Y., CHENG M., *Improvement of Operating Performance for the Wind Farm With a Novel CSC-Type Wind Turbine-SMES Hybrid System*, IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, Vol. 28, No. 2.
- [9] SEME, S., ŠTUMBERGER G., VORŠIČ J., *Energy storage device as a part of electric energy production system based on renewable energy sources*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '08), Spain, 2008.
- [10] POPAT. M., BIN WU, ZARGARI, N. R., *A Novel Decoupled Interconnecting Method for Current-Source Converter-Based Offshore Wind Farms*, IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, Vol. 27, No. 10.
- [11] VAN HERTEM D., GHANDHARI M., *Multi-terminal VSC HVDC for the European supergrid: Obstacles*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14, 3156–3163.
- [12] VELASCO D., TRUJILLO C.L., PENA R.A., *Power transmission in direct current. Future expectations for Colombia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15, 759–765.
- [13] MELÍCIO R., MENDES V.M.F., CATALÃO J.P.S., *Wind Energy Systems and Power Quality: Matrix versus Two-Level Converters*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '08), Spain, 2008.
- [14] GURGUIATU G., VECHIU I., MUNTEANU T., *Power quality improvement using renewable energy*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '11), Spain, 2011.
- [15] SINGH M., KHADKIKAR V., CHANDRA A., R. VARMA K., *Grid Interconnection of Renewable Energy Sources at the Distribution Level With Power-Quality Improvement Features*, IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, Vol. 26, No. 1.

- [16] SUN K., ZHANG LI, XING Y., GUERRERO J.M., *A Distributed Control Strategy Based on DC Bus Signaling for Modular Photovoltaic Generation Systems With Battery Energy Storage*, IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, Vol. 26, No. 10.
- [17] KHADEM S.K., BASU M., CONLON M.F., *Power Quality in Grid connected Renewable Energy System: Role of Custom Power Device*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '10), Spain, 2010.
- [18] PINTO J.G., PREGITZER R., MONTEIRO L.F.C., AFONSO J.L., *3-Phase 4-Wire Shunt Active Power Filter with Renewable Energy Interface*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'07), Spain, 2007.
- [19] ADAMIDIS G., TSENGENES G., KELESIDIS K., *Three Phase Grid Connected Photovoltaic System with Active and Reactive Power Control Using "Instantaneous Reactive Power Theory"*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '10), Spain, 2010.
- [20] ALE-EMRAN M., FORGHANI M., ABEDI M., GHAREHPETIAN G.B., *Combined Operation of UPQC and Fuel Cell with Common DC Bus*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '08), Spain, 2008.

PROPERTIES OF SERIAL-PARALLEL ACTIVE COMPENSATOR IN RENEWABLE ENERGY SOURCE AND POWER GRID INTERFACE

Today in practice for generating electrical energy in energetic grid often are using renewable energy source. For correct electrical energy transmission from the renewable energy source to energetic grid it is necessary apply interconnection system. In a paper are present results of simulation and experimental researches of series-parallel active compensator using as interconnection of renewable energy source and energetic grid.