

WYBRANE ZAGADNIENIA KOMPENSACJI MOCY BIERNEJ W SIECI DYSTRYBUCYJNEJ

Sebastian KULIG¹, Wojciech BĄCHOREK², Janusz BROŻEK³

1. AGH Akademia Górniczo – Hutnicza, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, doktorant
tel: 12 617 3772 fax: 12 634 57 21 e-mail: skulig@agh.edu.pl
2. AGH Akademia Górniczo – Hutnicza, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel: 12 617 2599 fax: 12 634 57 21 e-mail: wojbach@agh.edu.pl
3. AGH Akademia Górniczo – Hutnicza, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel: 12 617 3772 fax: 12 634 57 21 e-mail: jbroz@agh.edu.pl

Streszczenie: Przesył mocy biernej w sieci elektroenergetycznej jest niezbędny do funkcjonowania urządzeń zasilanych napięciem przemiennym jednak wpływa on niekorzystnie na parametry jej pracy. Jednym ze sposobów ograniczenia tego wpływu jest instalacja urządzeń do kompensacji mocy biernej. Moc tych urządzeń ustalana jest najczęściej na podstawie obciążenia szczytowego sieci, tak aby spełnione zostały wymagania w zakresie dyrektywnego współczynnika mocy tgφ. Często moc takich źródeł mocy biernej jest stała, z zatem nie jest dostosowywana do zmian obciążenia sieci. W dolinie obciążenia przy braku tzw. kompensacji nadążnej może wystąpić problem przekompensowania co wpływa na poziomy napięcie sieci zasilających.

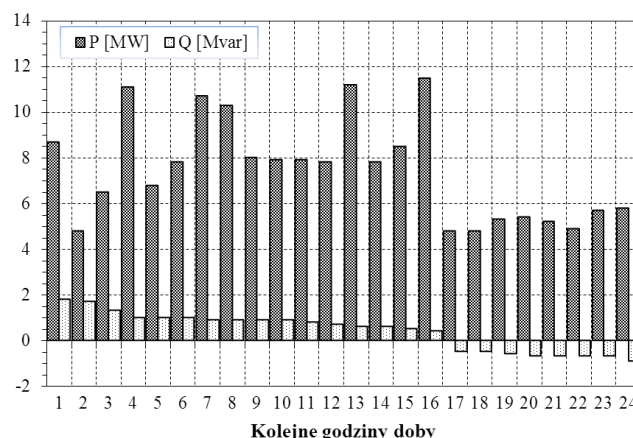
W artykule przedstawia się wybrane problemy kompensacji mocy biernej w sieci dystrybucyjnej. Przedstawiono przykłady i wyniki analiz ilustrujące wpływ sposobu kompensacji mocy biernej w sieci rozdzielczej na warunki pracy sieci elektroenergetycznej.

Słowa kluczowe: sieci elektroenergetyczne, kompensacja mocy biernej, rozptyły mocy.

1. WSTĘP

Problem rozptyłów mocy biernej jest zagadnieniem o wysokim znaczeniu w elektroenergetyce [1], [2] ze względu na ścisły związek mocy biernej z poziomami napięć w sieci (relacja U/Q) [3]. Ważność zależności U/Q potęgowana jest tendencją zmian bilansu mocy czynnej i biernej w systemie elektroenergetycznym w ostatnich latach. Obecnie zauważalne jest zmniejszanie się zapotrzebowania na moc bierną pojemnościową, wytwarzaną w elementach systemu elektroenergetycznego [1]. Do systemu wytwarzania mocy biernej pojemnościowej, poza generatorami, należą również powszechnie baterie kondensatorów lokowane sieciach dystrybucyjnych [4], [5]. Znaczna część baterii kondensatorów jest instalowana u odbiorców ze względu na wymagania stawiane przez Spółki Dystrybucyjne w zakresie dotrzymania dyrektywnego tg φ. Bateria kondensatorów jest zazwyczaj dobierana dla obciążenia szczytowego odbioru. Jeżeli z różnych przyczyn tak dobrana bateria pracuje z mocą maksymalną przez całą dobę (bateria włączona na stałe) może nastąpić w określanych okresach obciążenia doby przekompensowanie mocy biernej odbioru (zmiana

kierunku przepływu energii biernej). Przykład takiej sytuacji przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Uporządkowany (przykładowy) wykres obciążeń mocą czynną i bierną w ciągu doby w stacji 110/15 kV

Kumulacja tego typu zjawisk powoduje, że wypadkowe obciążenie, które określa się jako tzw. odbiory uogólnione (kompleksowe), obciąża węzły sieci nadrzędnej (np. 110 kV) mocą bierną pojemnościową, co przekłada się na wzrost napięcia w tych węzłach, niekiedy ponad wartości dopuszczalne [6].

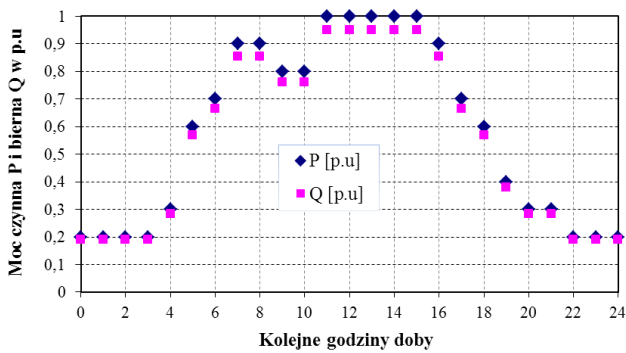
2. MODELE ELEMENTÓW SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Badania symulacyjne wykonano dla stanów ustalonych pracy fragmentu systemu elektroenergetycznego przy użyciu programu PLANS (wersja dydaktyczna) dedykowanego do obliczeń rozptyłów mocy i prądów systemów elektroenergetycznych.

2.1 Model odbioru uogólnionego (kompleksowego)

Obciążenie węzła uogólnianego jest wypadkową obciążeń odbiorów przyłączonych do sieci niższego napięcia [7]. Przyjmuje się, że przebieg zmienności obciążenia

odbioru uogólnianego, bez kompensacji mocy biernej (naturalny $\text{tg}\varphi$), jest zgodny z przebiegiem obciążenia przedstawionym na rysunku 2.

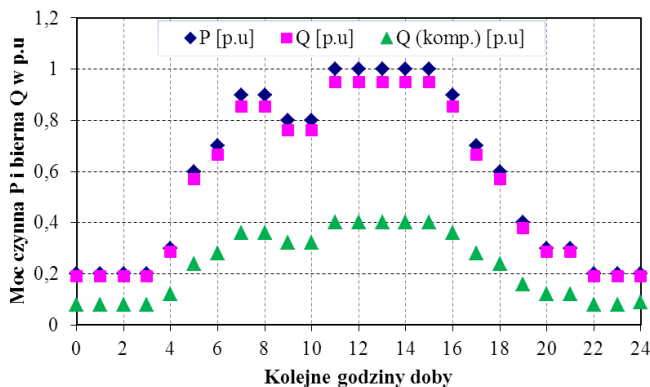


Rys. 2. Model odbioru (P, Q) - obciążenie w ciągu doby mocą czynną P i bierną Q (naturalny $\text{tg}\varphi$)

Przyjęto następujące stany pracy odbioru:

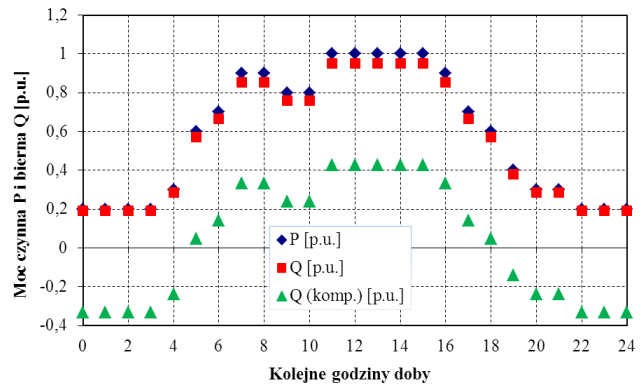
- naturalny $\text{tg}\varphi$ odbioru wynosi $\text{tg}\varphi = 0.95$,
- kompensacja nadążna mocy biernej do poziomu $\text{tg}\varphi = 0.4$ dla zmiennego obciążenia w ciągu doby (spełnienie wymagań spółki dystrybucyjnej),
- kompensacja mocy biernej przy stałej wartości pojemności baterii kondensatorów odpowiadającej kompensacji w szczycie obciążenia.

Na rysunku 3 przedstawiono wykres obciążenia dobowego odbioru z kompensacją nadążną ($\text{tg}\varphi = 0.4$).



Rys. 3. Model odbioru (P, Q) - obciążenie w ciągu doby mocą czynną P i bierną Q, Q (komp.) – moc bierna po kompensacji, $\text{tg}\varphi=0.4$ w ciągu całej doby, kompensacja nadążna.

Zdarza się, że odbiorca energii elektrycznej dla uniknięcia kosztów, załącza nie regulowaną baterię kondensatorów do kompensacji mocy biernej dobraną do obciążenia szczytowego. Na rysunku 4 przedstawiano wykres obciążenia mocą czynną P i bierną Q w ciągu doby, z kompensacją mocy biernej Q (komp.). Moc baterii kondensatorów ma stałą wartość odpowiadającą kompensacji przy obciążeniu szczytowym ($\text{tg}\varphi = 0.4$). W takim przypadku przy zmniejszonym zapotrzebowaniu mocy następuje przekompensowanie.



Rys. 4. Model odbioru (P, Q) - obciążenie w ciągu doby mocą czynną P i bierną Q, Q (komp.) – moc bierna po kompensacji; kompensacja mocy biernej przy stałej wartości baterii kondensatorów odpowiadającej kompensacji przy szczytowym obciążeniu.

2.2 Model systemu elektroenergetycznego

Każda analizowana sieć elektroenergetyczna, przy użyciu programu do obliczeń rozpliwów, ma określoną ilość węzłów odbiorczych (typ 1) i generatorowych (typ 2) oraz co najmniej jeden tzw. węzeł bilansujący (typ 4). Węzły te reprezentują rzeczywiste punkty sieci i odwzorowują określone funkcje i zachowania podczas pracy systemu elektroenergetycznego. Umownie przyjmuje się, że moce czynne P i bierne Q pobierane z węzła opisane są znakiem (-) a dostarczane do węzła ze znakiem (+) [7].

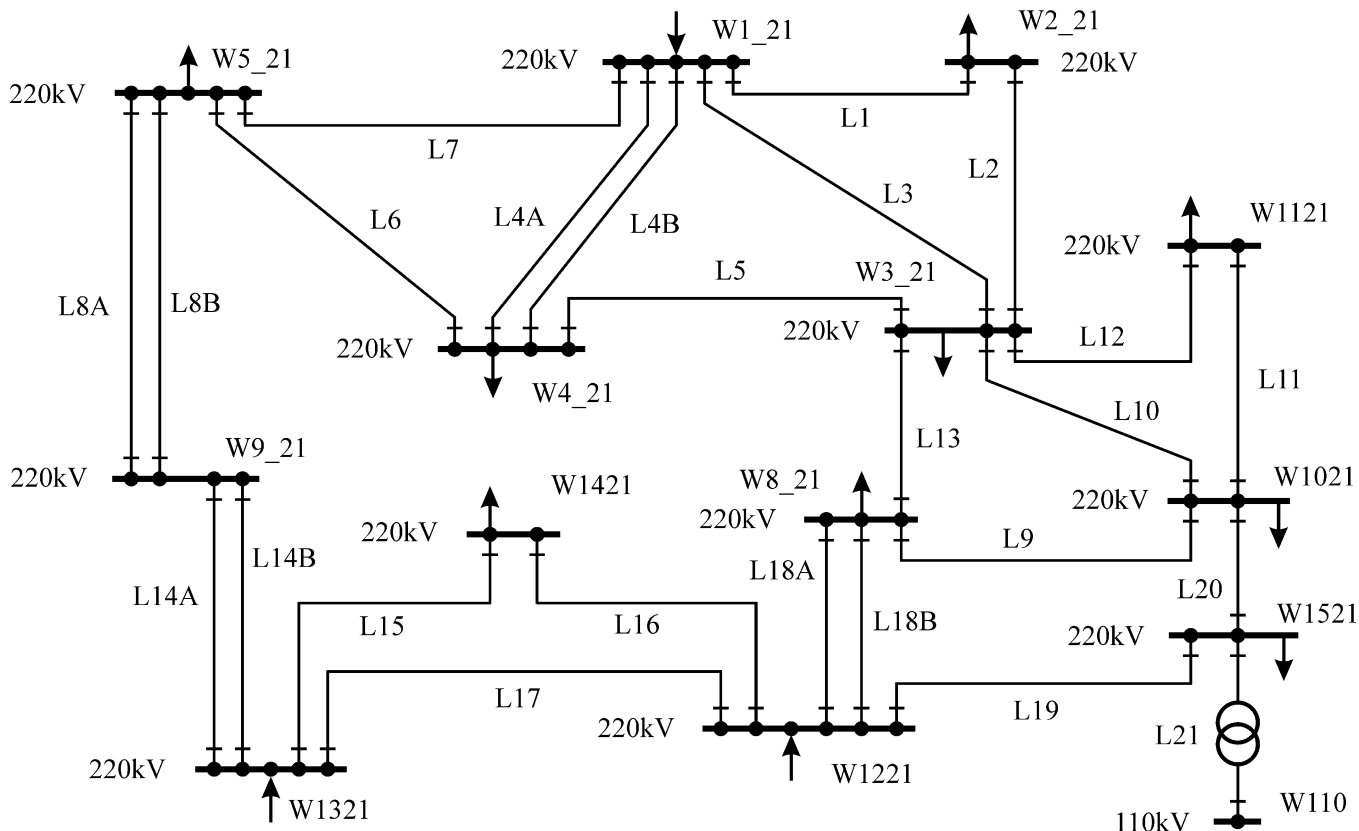
Przyjmuje się następujące założenia do budowy modelu systemu elektroenergetycznego:

- znane są obciążenia węzłów odbiorczych mocą czynną P i bierną Q (rys. 5), na podstawie których można wyliczyć prądy węzłowe (w programie rozpliwowym węzły typu 1),
- znane są moduły napięcia węzłów generatorowych $|U_g|$ i generowana moc czynna P_g (w programie rozpliwowym węzły typu 2),
- jest określony węzeł bilansujący, dla którego znany jest moduł napięcia $|U_s|$ i kąt napięcia δ (w programie rozpliwowym węzeł typu 4),
- struktura sieci jest jednoznacznie opisana przez macierz admitancyjną węzłową Y_w ,
- przyjmuje się następujące parametry dla odbioru uogólnionego:
 - moc szczytowa czynna $P = 60$ MVA,
 - moc szczytowa bierna $Q = 57$ Mvar,
 - napięcie zasilania $U = 110$ kV,
 - węzeł uogólniany jest zasilany z sieci 110 kV (węzeł W 110).

Model sieci elektroenergetycznej można opisać układem równań:

$$I_w = Y_w \cdot U_w \quad (1)$$

gdzie: I_w – wektor prądów węzłowych, U_w – wektor napięć węzłowych, Y_w – macierz admitancyjna węzłowa tworzona z definicji



Rys. 5. Fragment systemu elektroenergetycznego

Analizowany fragment systemu elektroenergetycznego przedstawiono na rysunku 5. Sieć składa się z 13 węzłów i 21 gałęzi. Przyjęto węzeł W1321 jako węzeł bilansujący, natomiast do węzła W110 przyłączono odbiór kompleksowy. W czasie badań nie uwzględniano regulacji przekładni transformatorów.

Badania mają na celu zweryfikowanie pracy systemu elektroenergetycznego w zależności od modelu przyłączanego węzła uogólnionego do sieci elektroenergetycznej. Modele węzłów uogólnionych, przyłączanych do sieci, zostały zbudowane w oparciu o różne harmonogramy pracy baterii kondensatorów do kompensacji mocy biernej, które mogą występować w rzeczywistej sieci.

3. WYNIKI OBLICZEŃ

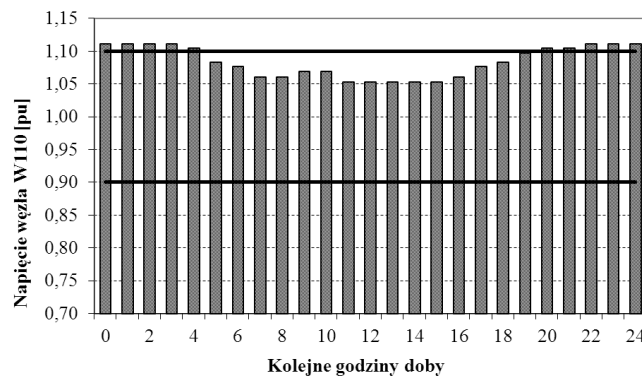
Wykorzystując dane obciążenia przypisane poszczególnym modelom uogólnionym odbiorów, (rys. 2, 3, 4) wykonano obliczenia zmian poziomu napięcia w sieci elektroenergetycznej (rys. 5). Wyniki przedstawiono na rysunkach 6, 7, 8.

Na rysunku 6 przedstawiono wartości napięć w węźle W110 przy zmianie obciążenia wg przebiegu z rysunku 2 (przypadek braku kompensacji mocy biernej). Zaznaczono również dopuszczalne wartości napięć. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, w żadnej godzinie doby wartości te nie zostały przekroczone.

W przypadku kompensacji nadążnej mocy biernej (przebieg obciążenia wg rysunku 3), zauważa się nieznaczny wzrost napięcia w węźle W110 powyżej wartości dopuszczalnej (rys. 7). Wzrost napięcia następuje w okresie zmniejszonego obciążenia sieci.



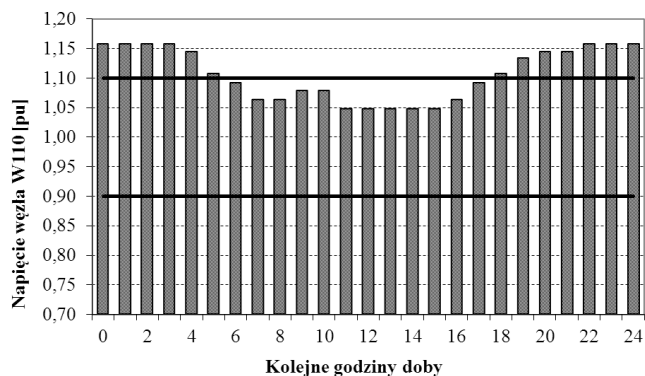
Rys. 6. Zmiana poziomu napięcia w węźle W110 przy naturalnym tgφ (brak kompensacji mocy biernej)



Rys. 7. Zmiana poziomu napięcia w węźle W110 przy nadążnej kompensacji

Wartości napięć w węźle W110 przy zastosowaniu kompensacji o stałej wartości mocy baterii, odpowiadającej szczytowemu obciążeniu odbioru, (stała wartość mocy baterii kondensatorów w ciągu całej doby) przedstawiono na

rysunku 8. W takim stanie pracy wzrost napięć w dolinie obciążenia jest znaczący.



Rys. 8. Zmiana poziomu napięcia w węźle W110 przy zastosowaniu kompensacji przy użyciu baterii o stałej wartości mocy w ciągu doby odpowiadającej szczytowemu obciążeniu odbioru

4. WNIOSKI KOŃCOWE

- Bilans mocy biernej ma zasadnicze znaczenie dla pracy systemu elektroenergetycznego ze względu na jego bezpośredni wpływ na poziomy napięcie w węzłach systemu elektroenergetycznego.
- Przeprowadzone badania wskazują na problem rozpyływów mocy biernej z zainstalowanych baterii kondensatorów do kompensacji, w zależności od obciążenia i sposobu prowadzenia ruchu pracy baterii. Harmonogram pracy baterii kondensatorów, przyłączanych do systemu elektroenergetycznego, których moc nie jest regulowana w zależności od obciążenia sieci, powinien być okresowo weryfikowany.
- Konieczne jest prowadzenie badań w zakresie budowania nowych modeli odbiorów uogólnionych uwzględniających pobór mocy biernej przez współczesne

odbioru typu zasilacze impulsowe, klimatyzacja, urządzenia AGD.

- Wydaje się rzeczą konieczną pomiar dwukierunkowy przepływu mocy biernej u odbiorców stosujących kompensację mocy biernej.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Kot A., Szpyra W., Nowak W., Tarko R.: Zapotrzebowanie i bilans mocy biernej KSE. Materiały II Konferencji Naukowo – Technicznej: Problemy mocy biernej w sieciach dystrybucyjnych i przesyłowych, PTPiREE, Wisła, 24-25 października 2012.
2. Kot A.: Bilans i zapotrzebowanie mocy biernej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym, Acta Energetica, numer 1/2013, s. 45–49, ISSN 2080-7570.
3. Machowski J: Regulacja i stabilność systemu elektroenergetycznego, Oficyna Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007 r. ISBN 978-83-7207-689-2.
4. Praca zbiorowa pod red. Jerzego Kulczyckiego: Straty energii elektrycznej w sieciach dystrybucyjnych, Poznań PTPiRE 2009, ISBN 978-83-925667-1-7.
5. Kulig S., Brożek J.: Optymalne projektowanie struktur promieniowych sieci elektroenergetycznych z kompensacją mocy biernej. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej nr 31 (2012), s. 89–92, ISSN 1425-5766.
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 04.05.2007 w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, Dz.U. 2007 nr 93, poz. 623.
7. Kremens Z., Sobierajski M.: Analiza systemów elektroenergetycznych, Warszawa WNT 1996, ISBN 83-240-2060-1.

SELECTED PROBLEMS OF THE REACTIVE POWER COMPENSATION IN DISTRIBUTION NETWORKS

Key-words: electric power networks, reactive power compensation, load models, power flow

In the paper, the selected problems of reactive power compensation in a distribution network are presented. Reactive power is indispensable for a proper functioning of alternating current devices. The negative influence of the transfer of reactive power on the working of an electric power system makes the electric power operators to reduce its consumption by determining the required value of the directive power factor ($\text{tg } \varphi$) in the consumer's network. In order to meet the value of the directive factor, the consumers compensate the reactive power. If they decide to use the reactive power compensator for peak loads, it is likely that overcompensation will take place at low loads. In such cases, the load becomes a receiver of the reactive power. Such a load results in the increased voltage at the connection point even above the admissible levels. In the paper, the influence of the direction of change in the reactive power flow on the levels of voltage in an electric power system is analyzed.