

XVI Międzynarodowa Konferencja Naukowa

AKTUALNE PROBLEMY W ELEKTROENERGETYCE APE'13

Jurata, 12-14 czerwca 2013

Referat nr 4

BILANS MOCY BIERNEJ KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO – REFERAT KONFERENCYJNY

Aleksander KOT¹

1. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel: 012 617 40 66 fax: 012 634 57 21 e-mail: akot@agh.edu.pl

Streszczenie: Artykuł podejmuje próbę analizy bilansu i zapotrzebowania na moc bierną Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). Bilanse mocy biernej sporządzono dla charakterystycznych stanów pracy systemu. Przeanalizowano występujące tendencje zmian na tle warunków regulacji wynikających z bilansów mocy i sformułowano wnioski.

Słowa kluczowe: moc bierna, zapotrzebowanie mocy, system elektroenergetyczny.

1. WSTĘP

Prawidłowa praca systemu elektroenergetycznego wymaga ciągłego bilansowania zarówno mocy czynnej, jak i mocy biernej. Zbilansowanie zapotrzebowania i generacji mocy czynnej związane jest z utrzymaniem ogólnosystemowego parametru jakim jest częstotliwość, natomiast zbilansowanie mocy biernej znajduje swoje odzwierciedlenie w poziomach napięć węzłów sieci zamkniętej. Oba wymienione parametry: f oraz U mają zasadnicze znaczenie dla bezpiecznej pracy systemu i zapewnienia ciągłości dostaw energii elektrycznej do odbiorców.

Niniejszy artykuł stanowi próbę przedstawienia aktualnej sytuacji w zakresie bilansu mocy biernej w polskim systemie elektroenergetycznym, a także prezentuje tendencje związane ze zmianami zapotrzebowania mocy biernej na przestrzeni ostatnich kilku lat.

Dane wejściowe dla przygotowania prezentowanych wielkości stanowiły modele rozprężowe systemu elektroenergetycznego dla poszczególnych stanów charakterystycznych oraz niektóre, wybrane wyniki obliczeń rozprężu mocy w sieci zamkniętej 400, 220 i 110 kV.

2. BILANS MOCY BIERNEJ KSE

W tabelicy 1 przedstawiono orientacyjne bilanse mocy biernej systemu elektroenergetycznego dla charakterystycznych stanów jego pracy: szczytu zimowego 2011/2012, szczytu letniego 2012, doliny letniej lata 2012 oraz doliny letniej w dni świąteczne.

Tablica 1. Przybliżone bilanse mocy biernej KSE dla charakterystycznych stanów pracy systemu.

Grupa elementów systemu	Szczyt zimowy 2011	Szczyt letni 2012	Dolina letnia 2012	Dolina letnia 2012 dni św.
zapotrzebowanie na moc czynną [MW]	- 25 152	- 20 633	- 14 248	- 10 532
Zapotrzebowanie Q [Mvar]				
zapotrzebowanie węzłów odbiorczych	-5 626	-5 220	-2 956	-2 648
zapotrzebowanie zespołów wytwórczych	-1 217	-1 001	-889	-738
praca pojemnościowa generatorów	-37	-16	-400	-917
straty podłużne w liniach	-2 780	-2 549	-1 016	-640
straty podłużne w transformatorach sieciowych	-931	-878	-343	-199
straty poprzeczne w transformatorach sieciowych	-85	-79	-80	-81
straty podłużne w transformatorach blokowych	-2 700	-2 353	-1 121	-700
dławiki			-514	-649
Razem zapotrzebowanie	-13 375	-12 097	-7 321	-6 571
Generacja Q [Mvar]				
wytwarzanie w generatorach	6 781	5 511	1 469	758
przekompensowane węzły odbiorcze	53	92	122	157
generacja w liniach	5 801	5 843	5 878	5 841
baterie kondensatorów	696	678		
Razem wytwarzanie	13 331	12 124	7 469	6 756

Analizując strukturę zapotrzebowania mocy biernej w szczycie zimowym należy zauważyć, że zapotrzebowanie węzłów odbiorczych stanowi jedynie około 42% ogółu potrzeb. Resztę (niemal 58%) stanowią potrzeby własne sieci oraz zespołów wytwórczych. Do najbardziej znaczących pozycji należą straty podłużne w liniach (około 21% zapotrzebowania) oraz straty podłużne w transformatorach blo-

kowych (około 20%), w dalszej kolejności potrzeby zespołów wytwórczych (około 9%) oraz straty w transformatorach sieciowych (około 8%). W rozważanym stanie pracy systemu występujące zapotrzebowanie na moc bierną pokrywane jest z dwóch zasadniczych źródeł: zespołów wytwórczych elektrowni (około 51%) oraz generacji w liniach sieci zamkniętej (około 44%) przy niewielkim wsparciu baterii kondensatorów (około 5%).

W szczycie letnim 2012 roku zapotrzebowanie mocy biernej węzłów odbiorczych było nieznacznie mniejsze (o około 400 Mvar) niż dla szczytu zimowego przy różniącym się o około 4500 MW zapotrzebowaniu na moc czynną. Całkowite zapotrzebowanie (brutto) było mniejsze latem niż zimą o około 1300 Mvar z uwagi na zmniejszone przepływy, a co za tym idzie mniejsze potrzeby własne systemu. Po stronie wytwarzania zmniejszonemu zapotrzebowaniu odpowiadała adekwatnie mniejsza produkcja mocy biernej w zespołach wytwórczych..

Analizując przedostatnią kolumnę tabeli można stwierdzić, że obraz bilansu mocy biernej systemu ulega istotnej zmianie w letniej dolinie obciążenia. Znacząco spada zapotrzebowanie węzłów odbiorczych na moc bierną (o ponad 2200 Mvar w stosunku do szczytu letniego). Zmniejszeniu ulegają potrzeby zespołów wytwórczych (mniejsza liczba pracujących jednostek). Z uwagi na zmniejszone przepływy w sieci radykalnie zmniejszają się straty podłużne w liniach i transformatorach (o około 3300 Mvar w stosunku do szczytu letniego). Redukcji po stronie zapotrzebowania brutto o około 5500 Mvar odpowiada redukcja produkcji mocy biernej w generatorach o około 4000 Mvar. Dodatkowo część zespołów wytwórczych zostaje wysterowana do pracy pojemnościowej, to jest pobierania mocy biernej indukcyjnej na poziomie ponad 400 Mvar. Załączenie dławików powoduje pobór dodatkowo ponad 500 Mvar.

Wymowa liczb jest jeszcze bardziej znacząca dla stanu doliny letniej odpowiadającej dniom świątecznym (ostatnia kolumna tabeli 1). Zapotrzebowanie węzłów odbiorczych jest jeszcze niższe, straty podłużne w liniach i transformatorach także spadają. System zostaje zbilansowany dzięki znacznej redukcji wytwarzania w generatorach, głębokiej pracy pojemnościowej znacznej grupy zespołów wytwórczych oraz zwiększonej w stosunku do doliny w dniach roboczych mocy dławików.

Warto zwrócić uwagę na znaczną (ponad 5800 Mvar) i praktycznie niezależną od stanu pracy systemu wartość mocy biernej produkowanej przez linie. Wynika ona z pojemności doziemnych sieci. Z kolei podłużne straty mocy biernej w liniach i transformatorach zmieniają się w szerokim zakresie przy zmianach obciążenia systemu, co wynika z kwadratowej zależności strat od obciążenia oraz znacznych wartości reaktancji linii i transformatorów.

Godna odnotowania jest także sytuacja przekompensowania węzłów odbiorczych, czyli stanu, w którym w punkcie odbioru (stacja 110 kV/SN) zamiast zapotrzebowania mocy biernej pojawia się oddawanie mocy biernej do sieci zamkniętej. Tego typu przypadki jak wynika z tabeli 1 występują w każdym stanie pracy systemu, lecz zjawisko to narasta w dolinach obciążenia.

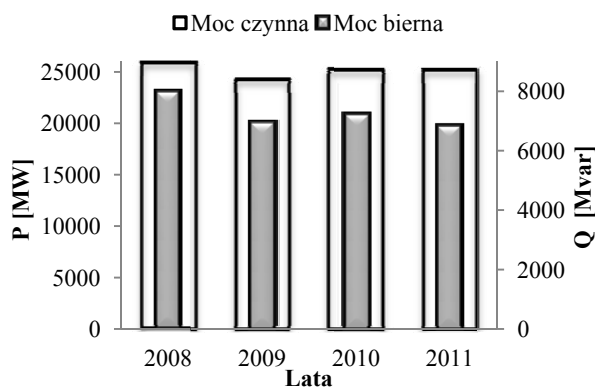
Niskie zapotrzebowanie mocy przez węzły odbiorcze, któremu towarzyszą znikome przepływy mocy w sieci zmusza do korzystania z intensywnej regulacji przy użyciu generatorów (zarówno w zakresie redukcji produkcji mocy biernej, jak i wykorzystania pracy pojemnościowej). Taki stan może w pewnych fragmentach systemu prowadzić do niebezpieczeństwa utraty zdolności regulacji napięć i trudności

z opanowaniem wysokich napięć w węzłach sieci przesyłowej.

3. ZAPOTRZEBOWANIE NA MOC BIERNĄ W OSTATNICH LATACH

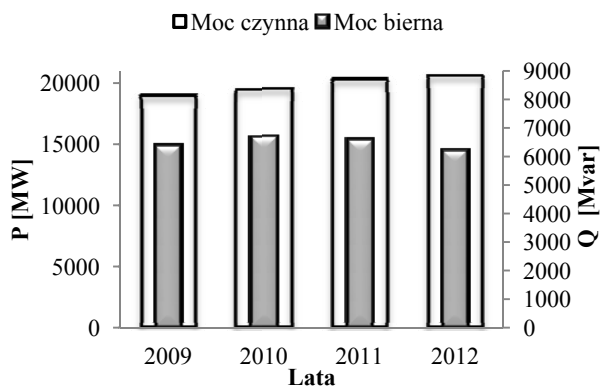
Poza sporządzeniem bilansów mocy biernej dla charakterystycznych stanów pracy systemu elektroenergetycznego dokonano analizy zmian zapotrzebowania mocy czynnej i biernej w takich stanach na przestrzeni ostatnich kilku lat. Wyniki zestawiono na rysunkach 1-3, przedstawiających wielkość zapotrzebowania na moc czynną i bierną w KSE odpowiednio: w szczytach zimowych z lat 2008÷2011, w szczytach letnich z lat 2009÷2012 oraz w letnich dolinach nocnych z lat 2009÷2012. Wielkość prezentowana jako zapotrzebowanie na moc bierną odpowiada pozycjom bilansu obejmującym łącznie zapotrzebowanie węzłów odbiorczych oraz jednostek wytwórczych.

Analizując wykres zamieszczony na rysunku 1 można stwierdzić, że największe zapotrzebowanie na moc czynną w analizowanym okresie miało miejsce zimą 2008 roku i wynosiło ponad 25 700 MW. W roku następnym – 2009 - spadło do nieco ponad 24 000 MW, a potem w 2010 zwiększyło się do poziomu około 25 000 MW i niemal dokładnie powtórzyło się w ostatnim szczycie. Maksymalnemu zapotrzebowaniu mocy czynnej w roku 2008 towarzyszyło znaczne zapotrzebowanie mocy biernej, które zmniejszyło się wraz z obciążeniem czynnym w następnym roku. Potem - w 2009 roku - wzrostowi P towarzyszył wzrost Q, a w ostatnim roku odnotowano spadek zapotrzebowania mocy biernej przy stałym poziomie mocy czynnej. Gdyby posłużyć się „tangensem systemu” jako stosunkiem mocy zapotrzebowanej biernej do czynnej, to dla zimowych szczytów obciążenia wynosiłyby on kolejno: w roku 2008 – 0.31, w 2009 – 0.29, w 2010 – 0.29 i w 2011 – 0.27.



Rys. 1. Zapotrzebowanie węzłów KSE na moc czynną i bierną w szczytach zimowych w latach 2008 ÷2011.

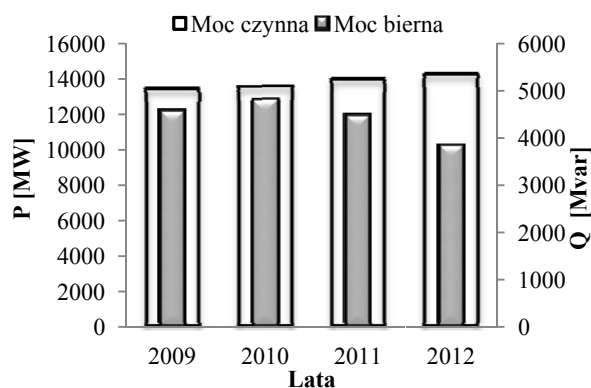
Rysunek 2 prezentuje zapotrzebowanie mocy czynnej i biernej w szczytach letnich od 2009 do 2012 roku. W tym okresie obserwuje się wzrost zapotrzebowanej mocy czynnej od około 19 000 MW do ponad 20 600 MW.



Rys. 2. Zapotrzebowanie węzłów KSE na moc czynną i bierną w szczytach letnich w latach 2009÷2012.

Zapotrzebowanie na moc bierną zwiększyło się w 2010 roku, ale w ostatnich dwóch latach maleje mimo rosnącej mocy czynnej. Odpowiada to wartościom „tangensów systemu”: w roku 2009 – 0.34, w 2010 – 0.34, w 2011 – 0.32 i w 2012 – 0.30.

Na rysunku 3 przedstawiono wielkości zapotrzebowania systemu na moc czynną i bierną w dolinach letnich od 2009 do 2012 roku. Tendencje w zakresie zmian P i Q wyglądają podobnie jak dla szczytu letniego z rysunku 2. Z roku na rok zwiększa się zapotrzebowanie mocy czynnej w letnich dolinach obciążenia od ponad 13 400 MW w roku 2009 do ponad 14 200 MW w roku 2012. Zapotrzebowanie na moc bierną nieco wzrosło w 2010 roku, ale w kolejnych latach spada. Wyznaczone według przyjętej wcześniej zasady „tangensy systemu” przyjmują wartości: w roku 2009 – 0.34, w 2010 – 0.35, w 2011 – 0.32 i w 2012 – 0.27. Ostatnia zmiana jest szczególnie znacząca.



Rys. 3. Zapotrzebowanie węzłów KSE na moc czynną i bierną w letnich dolinach nocnych w latach 2009÷2012.

4. PODSUMOWANIE

Bilans mocy biernej ma bardzo istotne znaczenie dla pracy systemu elektroenergetycznego z uwagi na jego bezpośredni związek z poziomami napięć węzłowych. Poziomy napięć z kolei stanowią jeden z podstawowych wyznaczników bezpieczeństwa pracy sieci zamkniętej.

Analiza bilansów mocy biernej KSE sporządzonych dla charakterystycznych stanów pracy systemu pozwala stwierdzić podobieństwo sytuacji w zakresie gospodarki mocą bierną w obu szczytowych stanach obciążenia:

zimowym oraz letnim. W tych stanach pracy uwagę zwraca bardzo znaczny poziom potrzeb własnych systemu w ogólnym zapotrzebowaniu.

Obraz sytuacji istotnie zmienia się w stanach niskich obciążeń (dolina letnia). Redukcja zapotrzebowania węzłów odbiorczych połączona z bardzo dużym spadkiem potrzeb własnych sprawia, że zapotrzebowanie brutto kształtuje się na poziomie połowy wartości spotykanej w szczycie. Wysoka i stale obecna generacja mocy biernej na pojemnościach doziemnych sieci może stanowić wyzwanie do wyregulowania zwłaszcza przy niskim poborze mocy i towarzyszących takiemu stanowi niewielkich przepływach.

Podstawowy środek regulacji napięcia w systemie (bilansu mocy biernej węzłów) stanowią jednostki wytwórcze przyłączone do sieci zamkniętej. Ich dopuszczalny obszar pracy w zakresie mocy biernej wyznaczają po stronie wytwarzania mocy biernej parametry konstrukcyjne (gabaryty układów wzbudzenia oraz stojana), a po stronie jej poboru granica równowagi statycznej.

Obserwacja poziomu zapotrzebowania na moc czynną i bierną w systemie na przestrzeni ostatnich kilku lat w charakterystycznych stanach obciążenia, prowadzi do stwierdzenia tendencji malejącego zapotrzebowania na moc bierną zarówno w okresach szczytów, jak i dolin. Widoczna jest tendencja do wzrostu zapotrzebowania mocy czynnej w szczytach letnich oraz dolinach letnich. Wskazana tendencja malejąca w obszarze zapotrzebowania mocy biernej wynika w znacznym stopniu ze zmniejszającego się zapotrzebowania na moc bierną węzłów 110 kV/SN.

Występujące w węzłach sieci zamkniętej zagregowane zapotrzebowanie jest wypadkową zjawisk zachodzących w pracujących w konfiguracjach otwartych podsystemach dystrybucyjnych. Można wskazać grupy zjawisk, które mogą być odpowiedzialne za zmniejszanie się zapotrzebowania mocy biernej w sieciach rozdzielczych. Należą do nich: wzrost liczby urządzeń kompensacyjnych o działaniu ciągłym, wzrost liczby elementów w wykonaniu kablowym w sieciach SN i nn czy wielkoskalowa wymiana odbiorników energii przez odbiorców detalicznych. Ustalenie stopnia wpływu poszczególnych czynników na obserwowaną tendencję wymagałoby przeprowadzenia dodatkowych, obszernych badań.

Ponadto należy zwrócić uwagę na fakt, że dostępne w modelach sieci zamkniętej wielkości zapotrzebowania mocy biernej przez systemy dystrybucyjne - zwłaszcza w stanach niskich poborów - mogą nie do końca odzwierciedlać rzeczywistość, z uwagi na nie wszędzie dostępny dwukierunkowy pomiar mocy biernej w GPZ.

Obserwowane przemieszczanie się składowej stałej przebiegu rocznego poboru mocy biernej w KSE w kierunku niższych wartości, może powodować problemy regulacyjne objawiające się trudnościami w opanowaniu wysokich napięć węzłowych w pewnych obszarach systemu w dolinach zapotrzebowania. Z uwagi na lokalny charakter relacji U-Q ogólnokrajowe zbilansowanie środków regulacyjnych nie jest wystarczające. Bardzo istotna jest właściwa alokacja zasobów regulacyjnych w KSE.

Mając powyższe na uwadze niezbędnym wydaje się prowadzenie całościowych i wszechstronnych analiz systemu elektroenergetycznego w zakresie gospodarki mocą bierną. Analizy te winy prowadzić do opracowania racjonalnych rozwiązań w zakresie:

- budowania adekwatnych taryf i zasad rozliczeń za moc bierną z elektrowniami systemowymi, lokalnymi wytwórcami oraz odbiorcami końcowymi,
- koordynacji działań OSP i OSD w obszarze zarządzania istniejącymi zasobami regulacji mocy biernej w sieciach przesyłowych i dystrybucyjnych,
- oceny ewentualnych potrzeb, wskazania lokalizacji oraz parametrów nowych środków regulacji,
- tworzenia rozwiązań organizacyjnych, proceduralnych i rozliczeniowych dotyczących niwelowania naturalnego konfliktu interesów: z jednej strony OSD dążących do uzasadnionego z ekonomicznego punktu widzenia minimalizowania przepływów

mocy biernej, a z drugiej strony OSP patrzącego kategoriami bezpieczeństwa sieci zamkniętej.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Kot A., Szpyra W.: „Moc bierna w systemach dystrybucyjnych – przegląd problematyki”, Materiały Konferencji „Problematyka Mocy Biernej w Sieciach Dystrybucyjnych i Przesyłowych”, Wisła, 7-8 grudnia 2010, str. 01.1–01.13
2. Kot A., Szpyra W.: „Problemy mocy biernej w systemach dystrybucyjnych”, XV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Aktualne Problemy w Elektroenergetyce” APE'11, Gdańsk–Jurata, 8–10 czerwca 2011, Tom IV, str. 99-106, ISBN 978-83-931317-0-9.

BALANCE SHEET AND ANALYSIS OF REACTIVE POWER DEMAND IN THE POLISH POWER SYSTEM – CONFERENCE PAPER

Key-words: reactive power, power demand, electric power system

The paper presents an analysis of the balance sheet and the reactive power demand of the Polish Power System. Reactive power balance sheets were made for the specific operating conditions of the system: the last winter peak, summer peak and summer off peak load. The basis of the study was load flow models and selected load flow calculation results. In addition, changes in demand for active and reactive power in recent years were presented.