

WYKORZYSTANIE MOŻLIWOŚCI REGULACYJNYCH MOCY BIERNEJ WIELKICH ODBIORCÓW – REFERAT KONFERENCYJNY

Robert MAŁKOWSKI¹, Zbigniew SZCZERBA²

1. Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska
tel: 58 347 17 98 fax: 58 347 18 98 e-mail: r.malkowski@ely.pg.gda.pl
2. Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska
tel: 58 347 17 98 fax: 58 347 18 98 e-mail: z.szczzerba@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: W niniejszej pracy autorzy pragną zwrócić uwagę na celowości, i możliwości wykorzystania lokalnych źródeł mocy biernej przez układy Regulacji Grupowej Węzła Przesyłowego (RGWP). Jednym z takich źródeł są Wielcy Odbiorcy (WO). W pracy przedstawiono również zagadnienia związane z potrzebą koordynacji pomiędzy układami regulacji zainstalowanymi w sieci WO oraz koordynacji pomiędzy układami regulacji WO a układami regulacji nadrzędnej w sieci.

Słowa kluczowe: Regulacja napięcia, regulacja mocy biernej, Wielcy odbiorcy.

1. WSTĘP

Obecnie obserwuje się nadmierną ostrożność przy korzystaniu z możliwości regulacji mocy biernej i napięcia, jakimi dysponują Wielcy Odbiorcy (WO) przemysłowi.

Najczęściej na pytanie kierowane do WO, o możliwości dyspozycyjnej regulacji mocy biernej na rzecz wsparcia SEE w stanach przejściowego wzrostu poboru mocy biernej, uzyskuje się odpowiedź negatywną. Główną przyczyną tej niechęci jest groźba wysokich kary finansowych związanych z niedotrzymaniem wymaganego współczynnika tgφ.

2. TECHNICZNE MOŻLIWOŚCI STEROWANIE POZIOMAMI NAPIĘĆ I ROZPŁYWU MOCY BIERNEJ

W ogólnym przypadku WO dysponują następującymi środkami umożliwiającymi regulację napięcia i mocy biernej:

- Transformatory zasilające z podobciążeniowym przełącznikiem zaczepów,
- Generatory synchroniczne elektrociepłowni,
- Baterie kondensatorów – zainstalowane lokalnie przy poszczególnych odbiorach lub/oraz zainstalowane na szynach rozdzielni zasilających/elektrociepłowni.

Z punktu widzenia pracy sieci zasilającej istotna jest wartość i współczynnik mocy pobieranej z tej sieci, dlatego Wielkiego Odbiorcę należy rozpatrywać, jako jeden złożony odbiór.

W niniejszym opracowaniu skupiono się głównie na możliwości powstania deficytu mocy biernej skutkującym zbyt niskimi napięciami w SEE. Jest to spowodowane obecną sytuacją w SEE, gdzie dostrzega się głównie tego typu zagrożenie. Tworząc zasady wykorzystania Wielkiego Odbiorcy w celu wspomaganie SEE w stanach awaryjnych należałoby uwzględnić możliwość powstania również nadwyżki mocy biernej.

3. CELOWOŚĆ STEROWANIA LOKALNYCH ŹRÓDEŁ MOCY BIERNEJ

3.1. Wstęp

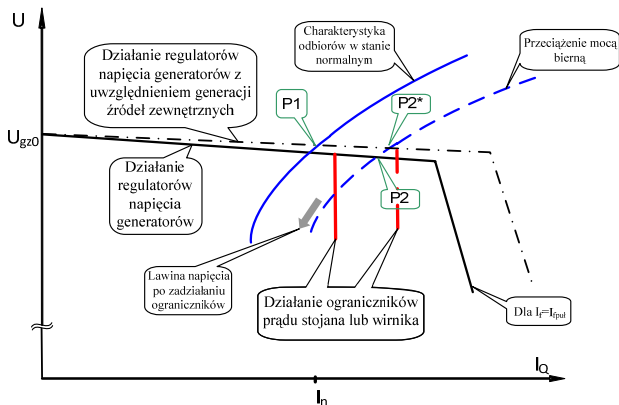
Jeżeli moce bierne generowane i pobierane nie bilansują się to występuje proces nieustalony stabilny lub niestabilny. W przypadku procesu stabilnego – zostaje osiągnięty nowy stan ustalony – przy nowych poziomach napięć. W przypadku procesu niestabilnego – mającego na ogół charakter aperiodyczny – występuje tzw. lawina napięcia.

$$\text{Jeżeli } \sum_{i=1}^n Q_{gi} - \sum_{i=1}^m Q_{oi} > 0 \text{ to } \frac{dU}{dt} > 0 \text{ i } U \text{ rośnie,}$$
$$\text{jeżeli } \sum_{i=1}^n Q_{gi} - \sum_{i=1}^m Q_{oi} < 0 \text{ to } \frac{dU}{dt} < 0 \text{ i } U \text{ maleje.}$$

W celu przywrócenia stanu normalnego niezbędne jest doprowadzenie do zbilansowania generacji i poboru mocy biernej. W wielu przypadkach wykorzystanie lokalnych źródeł mocy biernej, w tym Wielkich Odbiorców, do wspomaganie tego bilansowania mogłoby w znacznym stopniu przyczynić się do znacznego ograniczenia prawdopodobieństwa wystąpienia awarii napięciowej.

3.2. Wpływ regulacji mocy w elektrociepłowni przemysłowej WO

Ilustrację skutków deficytu mocy biernej pokazują rys.1 i rys.2.



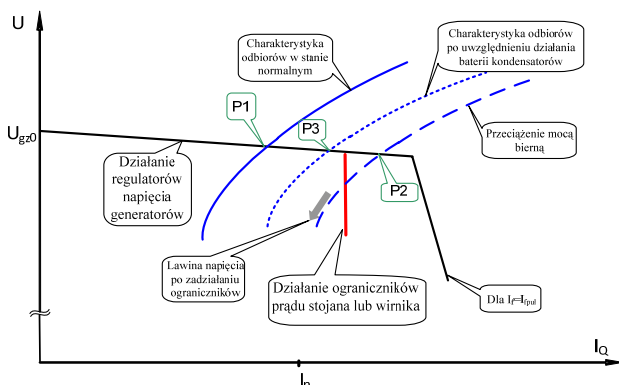
Rys.1. Ilustracja wpływu lokalnej generacji w przypadku wystąpienia deficytu mocy biernej.

Na rysunkach pokazano przejście do „lawiny napięcia” od stabilnego punktu pracy w stanie normalnym „P1”. Punkt ten leży w pobliżu granicy stabilności. Przy wzroście obciążenia mocą bierną, punkt pracy „P1” przesuwają się do nowego przecięcia się charakterystyk generacji i poboru mocy biernej. „P2”. Nowy punkt pracy nie jest punktem stabilnym, gdyż leży poza obszarem dopuszczalnych stanów generatorów. Ograniczniki, działające z opóźnieniem, wprowadzają – pokazane na rysunku – ograniczenie charakterystyk wytwarzania. Bez wykorzystania lokalnych źródeł powodują trwały deficyt mocy biernej i – pokazaną na rysunku – lawinę napięcia.

Uwzględnienie lokalnej generacji skutkuje zwiększeniem zakresu dyspozycyjnej mocy biernej objawiające się na charakterystyce rys.1 zmianą nachylenia oraz przesunięciem punktu działania ograniczników. Niewielka zmiana statyzmu charakterystyki skutkuje przesunięciem punktu pracy „P2” do „P2*”.

3.2. Wpływ regulacji baterii kondensatorów

Podobną analizę można przeprowadzić dla przypadku, w którym zwiększony pobór mocy biernej zostanie pokryty mocą załączonych do pracy baterii kondensatorów statycznych rys.2.



Rys.2. Ilustracja wpływu działania lokalnej baterii kondensatorów w przypadku wystąpienia deficytu mocy biernej.

W wyniku przeciążenia mocą bierną stabilny punkt pracy „P1” przesunie się do punktu „P2”. Podobnie jak w poprzednim przypadku, jest to punkt niestabilny, ze względu na ograniczenie charakterystyki wytwarzania. Załączenie do pracy baterii kondensatorów spowoduje odciążenie generatorów – przesunięcie charakterystyki odbiorów – i ustalenie się nowego stabilnego punktu pracy „P3”.

4. WPŁYW REGULACJI NAPIĘCIA TRANSFORMATORÓW NA CHARAKTERYSTYKI ZEWNĘTRZNE WIELKIEGO ODBIORCY

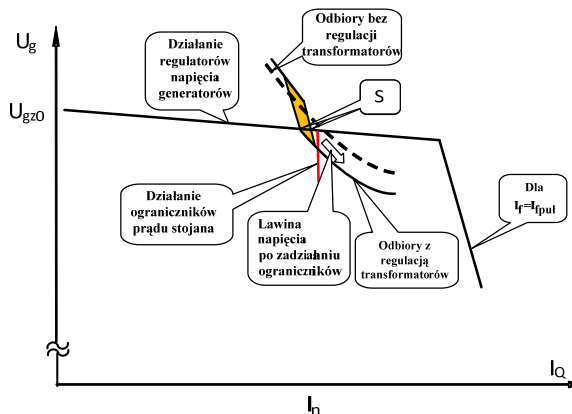
4.1. Wstęp

W znakomitej większości przypadków sieć wewnętrzna WO charakteryzuje się znacznym nasyceniem odbiorami silnikowymi i bateriami kondensator. Ponieważ ich udział w obciążeniu transformatora zasilającego jest znaczny z dużym prawdopodobieństwem można przypuszczać, że współczynnik podatności napięciowej (dQ/dU) ma znak ujemny lub jest bliski zera. W takim przypadku blokowanie regulacji transformatora jest niewskazane, gdyż może doprowadzić do pogłębienia deficytu mocy biernej.

4.3. Niekorzystny wpływ regulatorów napięcia transformatorów przy deficycie mocy biernej

Jeżeli współczynnik podatności napięciowej odbioru dQ/dU jest ujemny oznacza to, że przy obniżaniu się napięcia pobierana moc bierna rośnie. W takim przypadku naturalna charakterystyka odbiorów jest wyraźnie mniej korzystna od charakterystyki zdeterminowanej przez działanie regulatora napięcia transformatora, utrzymującego w pewnym zakresie stałe napięcie i wynikający z tego stały pobór mocy biernej.

Opisana szkodliwość blokowania regulatorów jest wyjaśniona dla przypadku pokazanym na rys.3. Przy charakterystykach poboru mocy biernej przez WO, o nachyleniu $dQ/dU < 0$, działający regulator napięcia transformatora prowadzi do uzyskania stabilnego, rozmytego punktu pracy S, natomiast blokowanie działania regulatora prowadzi do trwałego deficytu mocy biernej, powodującego niestabilność aperiodyczną – „lawinę napięcia”.



Rys.3. Ilustracja korzystnego wpływu regulatorów napięcia transformatorów WO przy deficycie mocy biernej. Oznaczenia : S – Stabilny (rozmyty) punkt stanu ustalonego, z działaniem regulatora napięcia, $I_{fpuł}$ – Pułap prądu wzbudzenia. Szare pole pokazuje nieciągłość układu regulacji napięcia, a jego pochylenie wynika ze wzrostu prądu po stronie pierwotnej transformatora przy stałej mocy.

Reasumując, dla wskazania zasadności wydłużenia opóźnienia czasowego zadziałania czy wręcz blokowania automatycznej regulacji konkretnego transformatora konieczna jest, co najmniej, znajomość współczynnika podatności napięciowej odbiorów widzianych z zacisków danego transformatora. W znakomitej większości przypadków współczynnik podatności napięciowej WO dQ/dU będzie miał wartość ujemną. Tym samym, dla ograniczenia poboru mocy biernej WO wskazanym byłaby szybka regulacja transformatora.

Pomiar charakterystyk, dla oszacowania ich wpływu na stabilność napięciową, może być dokonany przez personel właściciela sieci dystrybucyjnej w czasie normalnej eksploatacji. Możliwa jest również automatyzacja tego procesu i uwzględnienie wyników takiego pomiaru w algorytmie regulacji transformatora. Przykład takiego algorytmu zawarto w [4].

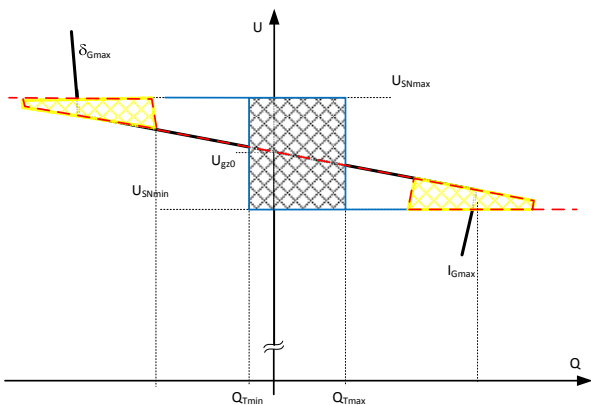
5. KOORDYNACJA ALGORYTMÓW DZIAŁANIA UKŁADÓW REGULACJI WO

Nadrzędnym celem układów regulacji napięcia WO jest utrzymanie akceptowalnych poziomów napięć wewnątrz sieci zakładowej oraz nieprzekraczanie wymaganego współczynnika $\text{tg}(\varphi)$.

Mając na uwadze powyższe požądane byłoby, aby poziom napięcia w sieci WO był utrzymywany za pomocą generatorów i baterii kondensatorów. Ze względu na fakt, że większe koszty generuje wytwarzanie mocy biernej przez generator synchroniczny niż baterię kondensatorów, wskazana byłaby właściwa koordynacja pomiędzy układami regulacji baterii kondensatorów i generatorów.

Regulatory transformatorów WN/SN powinny natomiast mieć charakterystyki zapewniające:

- Utrzymywanie wartości mocy biernej w zadanym przedziale $Q_{T\min} \div Q_{T\max}$, jeżeli napięcie po stronie SN mieści się w przedziale $U_{SN\min} \div U_{SN\max}$.
- Przejęcie zadania utrzymywania napięcia po stronie SN po wyczerpaniu się możliwości generatorów i baterii kondensatorów.
- W przypadku współpracy równoległej kilku transformatorów, utrzymywanie założony, proporcjonalny do mocy znamionowej odpowiednich uzwojeń transformatorów, rozdział mocy biernej.



Rys.4 Wypadkowa charakterystyka generatorów i transformatorów. U_{gz0} – wartość zadana napięcia przy biegu jałowym, $I_{G\max}$ – ograniczenie prądów stojana lub wirnika, δ_{\max} – ograniczenie kątów mocy.

Po nałożeniu się charakterystyk układów regulacji generatorów i transformatorów, zainstalowanych u WO, otrzymuje się wypadkową charakterystykę zewnętrzną WO pokazaną na rys.4. Zaznaczono tam dwa charakterystyczne obszary. Pierwszy ograniczony przez proste $Q_{T\min} \div Q_{T\max}$ oraz $U_{SN\min} \div U_{SN\max}$ jest obszarem, w którym nie działają układy regulacji transformatorów. Drugi zaznaczony kolorem żółtym na krańcach charakterystyki przedstawia rozmy-

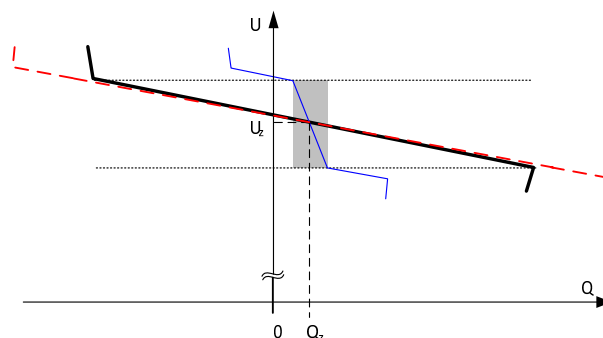
ta, wynikającą z działania układów regulacji transformatorów, część wypadkowej charakterystyki.

6. KOORDYNACJA ALGORYTMÓW DZIAŁANIA LOKALNYCH I NADRZĘDNYCH UKŁADÓW REGULACJI ORAZ DYSPOZYCJI MOCY

Poza koniecznością koordynacji algorytmów działania układów regulacji WO niezbędna jest również wzajemna koordynacja nadrzędnych układów regulacji i układów regulacji WO. Algorytmy działania lokalnych i nadrzędnych układów regulacji oraz dyspozycji mocy powinny być skoordynowane tak, aby:

- W stanach normalnych – układy systemowe oraz dyspozycje mocy optymalizowały pracę zgodnie z wymaganiami dla stanów normalnych, a układy lokalne zapewniały np. optymalizację taryfową (np. zadany $\text{tg}(\varphi)$).
- W stanach nienormalnych lub zagrożeniowych – układy systemowe oraz dyspozycje mocy oraz układy lokalne zapewniały możliwość maksymalnego rozszerzenia zakresu dyspozycyjnej mocy biernej (generacji lub poboru).

Przykład takiej koordynacji, pomijając rozmytą część charakterystyki pokazanej na rys.4 pokazano na rys. 5.



Rys.5. Propozycja koordynacji algorytmów działania układów regulacji napięcia i mocy biernej. Kolor czarny – Układ regulacji w systemie elektroenergetycznym, kolor niebieski – układ regulacji lokalnych źródeł mocy biernej, kolor czerwony: suma działania układów regulacji, szare pole – przykład regulacji, lokalnych źródeł, w stanach normalnych

Jak pokazano na rys.5 skoordynowane działanie lokalnych układów regulacji z układami nadrzędnymi i działaniem dyspozycji mocy wyraźnie rozszerza zakres dyspozycyjnej mocy biernej. Korzyści wynikające z opisanego skoordynowanego działania i wykorzystania możliwości regulacyjnych Wielkich Odbiorców są oczywiste.

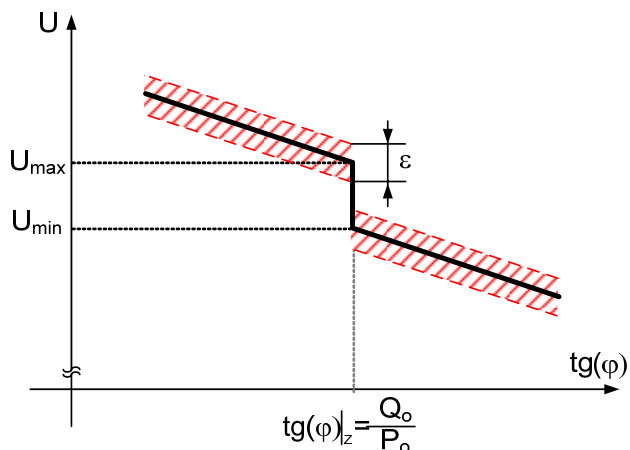
7. ALGORYTM STEROWANIA BILANSEM MOCY BIERNEJ WIELKIEGO ODBIORCY UMOŻLIWIAJĄCY WSPOMAGANIE SEE W STANACH ZABURZENIA BILANSU MOCY BIERNEJ W SEE

Zakładając, że wielki odbiorca wyrazi chęć świadczenia usług na rzecz właściwego operatora algorytm pracy takiego odbiorcy mógłby być realizowany wg charakterystyki pokazanej na rys.6. charakterystyka opisuje w sposób uogólniony algorytm sterowania mocą dyspozycyjną wielkiego odbior-

cy. Przyjęcie takiego sposobu sterowania możliwa spełnienie trzech kryteriów:

- w stanie normalnej pracy, w obszarze określonym, tu przez wartości napięć $U_{min}=U_{max}$ WO utrzymuje stałą zgodną z zawartą umową wartość współczynnika $tg(\varphi)$,
- poza tym obszarem następuje wspomaganie systemu poprzez dodatkową generację lub pobór mocy biernej,
- automatyczna koordynacja pomiędzy układami regulacji WO a układami regulacji nadrzędnej.

Zależnie od dostępnych środków zmiany mocy biernej WO należy uwzględnić pewną strefę nieczułości (skokowa zmiana mocy baterii kondensatorów).



Rys.6. Charakterystyka $U = f(Q)$ umożliwiającą wspomaganie przez wielkiego odbiorcę SEE w stanach wskazujących na deficyt mocy biernej

Regulator kształtujący charakterystykę pokazaną na rys.6 mógłby zostać zainstalowany u wielkiego odbiorcy. Wtedy to WO w sposób automatyczny zmieniłby kryterium regulacji z utrzymywania stałej wartości współczynnika $tg(\varphi)$. Można również przyjąć takie rozwiązanie, w którym po przekroczeniu granicznych wartości napięć w stacji objętej regulacją grupową przez układy RGWP wysyłany będzie sygnał do wielkiego odbiorcy na zmianę kryterium regulacji ze wskazaniem kierunku działań (zwiększenie lub zmniejszenie wymiany mocy biernej z SEE. W takim przypadku zmiana mocy realizowana będzie z poziomu dyspozytora u WO.

8. WNIOSKI KOŃCOWE

Lokalne źródła mocy biernej mogą być uzupełnieniem źródeł podstawowych, poprawiającym bezpieczeństwo elektroenergetyczne. Źródła te są obecnie rzadko wykorzystywane do poprawy lokalnych bilansów mocy biernej. Umożliwienie sterowania tymi źródłami w stanach zagrożeniowych i awaryjnych na ogół nie wymaga znaczących nakładów finansowych.

Wstępne rozmowy prowadzone z lokalnymi WO pozwalają stwierdzić, iż byliby oni gotowi do sterowania mającego na celu wspomaganie systemu w stanach zagrożenia deficytem mocy biernej. Wszyscy jednak zastrzegają, że koniecznym byłoby zwolnienie ich w takiej sytuacji z obowiązku dotrzymania $tg\varphi$.

Utrwalenie takiej postawy odbiorcy, dokładniej przełożenie zapewnien słownych w faktyczną gotowość do świadczenia takiej usługi, musi być poprzedzone zmianami legislacyjnymi. Należałoby, zatem opracować skuteczne i interesujące dla wielkiego odbiorcy systemy rozliczeń za oferowaną usługę na rzecz operatora sieci przesyłowej lub operatora sieci dystrybucyjnej. Koniecznym staje się wprowadzenia – korzystnej z punktu widzenia Wielkiego Odbiorcy – taryfy za świadczenie usługi.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Machowski J.: Regulacja i stabilność systemów elektroenergetycznych,
2. Machowski J.i in.: Power System Dynamics, Stability and Control, John Wiley 2008
3. Małkowski R., Szczerba Z.: Układy regulacji transformatorów sprzęgłowych w stacjach transformatorowych sieci przesyłowej. Stan obecny. Analiza – z uwzględnieniem stanów nienormalnych – zalecanych i niezbędnych zmian algorytmów działania regulatorów i stosowanych nastawień, w tym zwłok czasowych. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki. Gdańsk 2009. Punkt 8.4.11.A.
4. Małkowski R., Szczerba Z.: Nowy algorytm regulacji transformatorów zasilających sieć rozdzielczą - Acta Energetica 2012, nr 8,ISSN 2080-7570

THE LARGE CUSTOMER REACTIVE POWER CONTROL POSSIBILITIES LOGIC – CONFERENCE PAPER

Key-words: Voltage Control, Reactive Power control, Large Customer

In this paper, the authors wish to draw attention to the purpose, and the possibility of using local reactive power sources by Transmission Node Master Controller (TNMC). Large Customers (LC) are one of the possible reactive power sources. The paper presents the issues related to the need for coordination between the control systems installed in the LC network, and coordination between control systems the LC as well as master control systems in the network.