

Edward LAWERA

WSPÓLZALEŻNOŚĆ WYBRANYCH KRYTERIÓW PARAMETRYCZNYCH STABILNOŚCI NAPIĘCIOWEJ DLA WĘZŁÓW ODBIORCZYCH

Streszczenie. Stabilność napięciowa systemu elektroenergetycznego określana jest na podstawie kryteriów parametrycznych wykorzystujących uproszczone modele matematyczne. Wyznaczone za pomocą poszczególnych kryteriów wartości napięć określających warunki graniczne stabilności węzłów mogą się różnić w sposób istotny. Uzasadnia to analizę porównawczą kryteriów stabilności napięciowej. Próba takiej analizy dla węzłów odbiorczych jest przedmiotem artykułu.

INTERDEPENDENCE OF SELECTED PARAMETRIC VOLTAGE STABILITY CRITERIA FOR POWER SYSTEM CONSUMPTION NODES

Summary. Voltage stability of electric power network nodes is estimated basing on the parametric criteria defined using the simplified mathematical models. The voltage values describing the boundary conditions of stability, calculated using individual voltage stability criteria can differ substantially. It gives the reason for the comparative analysis of the parametric voltage stability criteria. An attempt to make such an analysis for the power system consumption nodes is described in the paper.

WECHSELBEZIEHUNG DER AUSGEWÄLTEN KRITERIEN DER SPANNUNGSSTABILITÄT FÜR VERBRAUCHERKNOTEN

Zusammenfassung. Spannungsstabilität des Elektroenergiesystems wird auf Grund von Parameterkriterien, die vereinfachte mathematische Modelle benutzen, bestimmt. Die mit Hilfe der einzelnen Kriterien erhaltene Spannungswerte, die über Grenzbedingungen der Stabilität der Knoten entscheiden, können sich deutlich unterscheiden. Dies begründet eine Vergleichsanalyse der Kriterien der Spannungsstabilität. Ein Versuch der solchen Analyse wird in diesem Beitrag dargestellt.

1. WSTĘP

Problem stabilności napięciowej (voltage stability) węzłów SEE staje się coraz bardziej istotny w eksploatacji i projektowaniu układów elektroenergetycznych [1, 3, 4, 5]. Napięciową stabilność lokalną można zdefiniować jako możliwość zachowania stanu pracy określonego przez napięcie, będące parametrem stanu, przy zaburzeniach statycznych. Badania stabilności lokalnej SEE i jego elementów składowych najczęściej prowadzone są za pomocą licznych znanych kryteriów parametrycznych. Kryteria te opierają się na zależnościach występujących między wybranymi, przeważnie dwoma, parametrami i to decyduje o uproszczeniach i ograniczeniach modeli matematycznych i samych kryteriów. Dla przeprowadzenia analizy porównawczej uzasadniony jest podział kryteriów parametrycznych na dwie grupy, z uwagi na rolę spełnianą w nich przez napięcie [4]. W grupie pierwszej napięcie jest wielkością kryterialną, dla której przekroczenie wartości krytycznej U_{kr} wskazuje na naruszenie stabilności napięciowej. W grupie drugiej napięcie nie występuje w zależnościach kryterialnych, ale dla granicznych warunków stabilności, określanych przez te kryteria, można wyznaczyć wartość graniczną napięcia U_{gr} . Analiza porównawcza kryteriów w grupie pierwszej może prowadzić do ustalenia kryterium, które wyznacza największe wartości U_{kr} . Jeżeli osiągnięcie U_{kr} następuje w przebiegającym w czasie procesie obniżania napięcia, to można powiedzieć, że kryterium wyznaczające największe wartości U_{kr} najwcześniej ujawnia naruszenie stabilności napięciowej. Analiza porównawcza kryteriów z grupy pierwszej z kryteriami z grupy drugiej daje możliwość wnioskowania, czy stabilność napięciowa zostaje naruszona przed naruszeniem stabilności określanej przez kryterium z tej grupy - wówczas $U_{kr} > U_{gr}$.

Porównanie wartości napięć U_{kr} i U_{gr} obliczonych za pomocą różnych kryteriów dla węzłów wybranych układów elektroenergetycznych [4] wykazuje znaczne, nawet kilkudziesięcioprocentowe (ok. 40%) różnice między tymi napięciami. Taki rodzaj analizy porównawczej ma jednak ograniczony charakter. Znacznie bardziej istotna jest analiza ustalająca związki między modelami matematycznymi i funkcjami kryteriów. Analiza taka może pozwolić na sformułowanie ogólnych zależności oraz wniosków umożliwiających dokonanie wyboru kryterium wyznaczającego największe wartości U_{kr} lub U_{gr} . Wybór takiego kryterium byłby możliwy bez konieczności obliczania wartości U_{kr} i U_{gr} . Próbe takiej analizy w odniesieniu do węzłów odbiorczych SEE podjęto w artykule.

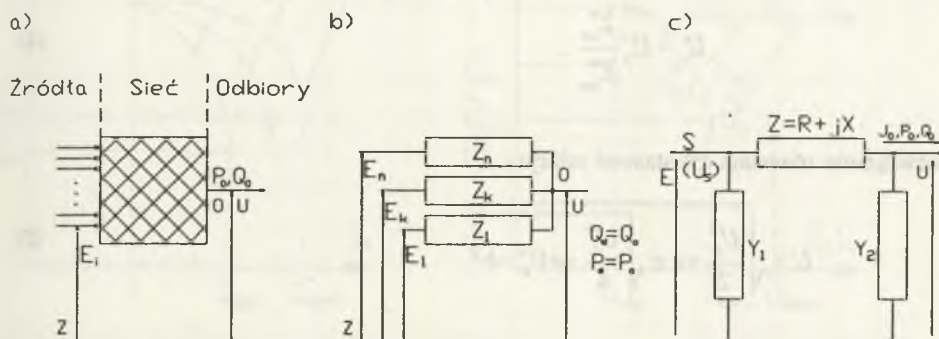
2. KRYTERIA STABILNOŚCI NAPIĘCIOWEJ WĘZŁÓW ODBIORCZYCH

Do określenia statycznej stabilności napięciowej węzłów odbiorczych, w których nie występują maszyny synchroniczne, wykorzystywane są trzy kryteria:

- strukturalne sieci zasilającej węzeł,
- pochodnej bilansu mocy biernej węzła,
- pochodnej momentu dynamicznego odbiorów silnikowych asynchronicznych w węźle.

Pierwsze kryterium bazuje na realności rozwiązań równań obwodowych dla sieci zasilającej węzeł. Dwa pozostałe kryteria opierają się na klasycznej zasadzie stabilności lokalnej, która stwierdza, że stan jest stabilny, jeżeli ograniczone zaburzenia takich parametrów jak moment, moc, energia prowadzą do przejścia w pobliski nowy stan stabilny.

Model SEE stosowany w badaniach stabilności statycznej węzła odbiorczego "0" oraz jego możliwe schematy zastępcze [4] przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Model i schematy zastępcze SEE:

a) model SEE, b) schemat zastępczy systemu n-maszynowego, c) schemat zastępczy systemu dwuwęzłowego

Fig. 1. Model and equivalent diagrams of the power system (SEE):

a) model of power system (SEE), b) equivalent diagram of n-generator system, c) equivalent diagram of two-node system

2.1. Kryterium strukturalne sieci zasilającej węzeł

Zależność wyjściową dla kryterium strukturalnego stanowi ogólne równanie symboliczne mocy węzłowej:

$$\underline{S}_k = \underline{U}_k \underline{I}_k^* = \underline{U}_k \sum_k \underline{U}_k^* \underline{Y}_{ki}^* \quad (1)$$

Równanie mocy węzłowej dla schematu z rys. 1c będzie miało postać

$$\underline{S}_{\infty} = \underline{U} \underline{I}_o^* = \underline{U} \underline{U}_s^* \underline{Y}_{os}^* + \underline{U} \underline{U}^* \underline{Y}_{oo}^* \quad (2)$$

gdzie $Y_{os} = \frac{1}{Z}$, $Y_{oo} = Y_2 + \frac{1}{Z}$.

Równanie (2) można, przy założeniu dla węzła z bilansu mocy $S_d = S_o$, przekształcić do postaci [1, 4]

$$\frac{S_d}{Y_{oo}^*} = \frac{S_o}{Y_{oo}^*} = a + jb = \underline{U}U_z + U^2. \quad (3)$$

Napięcie U_z w równaniu (3) określone jest relacją

$$U_z = U_s \frac{Y_{os}^*}{Y_{oo}^*}. \quad (4)$$

Rozwiązanie równania (3) stanowi relacja

$$U = \sqrt{\frac{U_z^2}{2} + a} \pm \sqrt{\frac{U_z^4}{4} + aU_z^2 - b^2}. \quad (5)$$

Zależność (3) określa zmiany mocy pozornej S_d dosyłanej układem sieciowym do węzła odbiorczego przy zmianach napięcia U w tym węźle. Realne rozwiązania równania (3) stanowią wartości napięć U określonych zależnością (5) przy znaku $+$ przed pierwiastkiem wewnętrznym. Przebiegi poglądowe $\bar{S}_d = \bar{S}_d(\bar{U})$ dla różnych parametrów i warunków pracy sieci, odniesione do mocy S_d przy napięciu znamionowym U_N , przedstawiono na rys. 2a.

Wartości mocy maksymalnych, czyli granicznych, S_{dgr} określa relacja [1, 4]

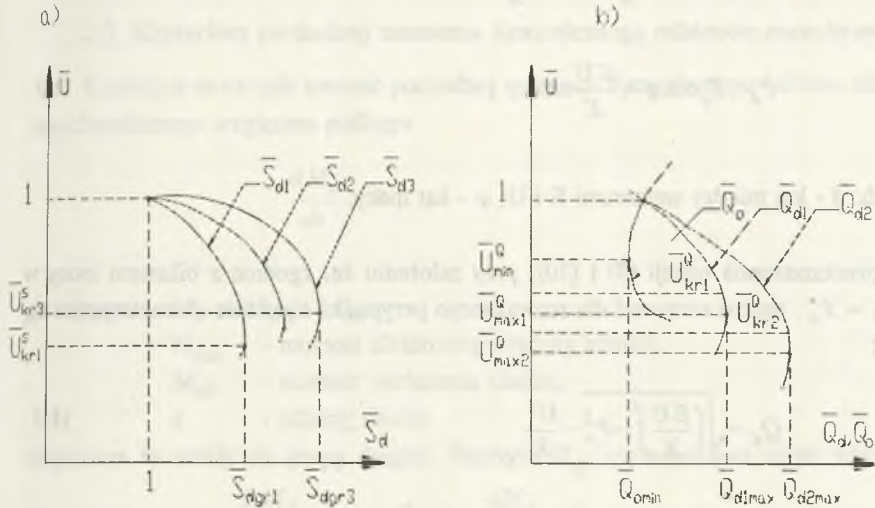
$$S_{dgr} = (U_{kr}^S)^2 Y_{oo}, \quad (6)$$

w której U_{kr}^S jest napięciem krytycznym określanym zależnością (15).

2.2. Kryterium pochodnej bilansu mocy biernej węzła

Kryterium to wykorzystuje napięciowe charakterystyki mocy biernej dosyłanej do węzła $Q_d = Q_d(U)$ i mocy biernej odbieranej w węźle $Q_o = Q_o(U)$. Charakterystyki $Q_d = Q_d(U)$ mogą być określone z różną dokładnością w zależności od przyjętych założeń i relacji wyjściowych. Wychodząc z relacji między E i U w schemacie z rys. 1c

$$E^2 = \left(U + \frac{P_o R + Q_o X}{U} \right)^2 + \left(\frac{P_o X - Q_o R}{U} \right)^2, \quad (7)$$



Rys. 2. Przebiegi charakterystyk węzłów odbiorczych:

a) charakterystyki $\bar{S}_d = \bar{S}_d(\bar{U})$, b) charakterystyki $\bar{Q}_d = \bar{Q}_d(\bar{U})$ i $\bar{Q}_o = \bar{Q}_o(\bar{U})$

Fig. 2. Characteristics of power consumption nodes:

a) relations $\bar{S}_d = \bar{S}_d(\bar{U})$, b) relations $\bar{Q}_d = \bar{Q}_d(\bar{U})$ and $\bar{Q}_o = \bar{Q}_o(\bar{U})$

otrzymuje się równanie charakterystyki $Q_d = Q_d(U)$ [2, 4]. Równanie to w wielkościach względnych odniesionych do napięcia znamionowego i mocy przy tym napięciu ma postać

$$\bar{Q}_d = -C\bar{U}^2 + \sqrt{-D\bar{U}^4 + F\bar{U}^2 - P_o}. \quad (8)$$

Przy założeniu $Y_1 = Y_2 = 0$

$$C = \frac{X}{Z^2}, D = \frac{R^2}{X}, F = \frac{E^2 - 2RP_o}{Z^2}.$$

Przy założeniu $Y_1 \neq 0, Y_2 \neq 0$

$$C = -\frac{A}{B} \sin(\alpha - \beta), D = -\frac{E^2}{B^2} + 2\frac{A}{B} \cos(\alpha - \beta), F = -\frac{A}{B^2} \cos^2(\alpha - \beta),$$

$$A = Ae^{j\alpha} = 1 + ZY_2, B = Be^{j\beta} = Z \frac{P_o}{U_N^2}.$$

Dla schematu z rys. 1c, przy założeniu $Y_1 = 0$, $Y_2 = 0$, $R = 0$, charakterystyki $Q_d = Q_d(U)$ można określić na podstawie znanych zależności

$$Q_d = S_d \sin \varphi = \frac{EU}{X} \cos \delta - \frac{U^2}{X}, \quad (9)$$

$$P_d = S_d \cos \varphi = \frac{EU}{X} \sin \delta, \quad (10)$$

w których: δ - kąt między wektorami E i U , φ - kąt mocy.

Z przekształcenia relacji (9) i (10), przy założeniu że, zgodnie z bilansem mocy w węźle $P_d = P_o$, można otrzymać dla rozważanego przypadku równanie charakterystyki $Q_d = Q_d(U)$

$$Q_d = \sqrt{\left(\frac{EU}{X}\right)^2 - P_o^2} - \frac{U^2}{X}. \quad (11)$$

Charakterystyki $Q_o = Q_o(U)$ są wystarczająco dokładnie określane wielomianem drugiego stopnia [2]

$$\bar{Q}_o = c + d\bar{U} + g\bar{U}^2. \quad (12)$$

Równanie (12) określa charakterystyki $\bar{Q}_o = \bar{Q}_o(\bar{U})$ w wielkościach względnych odniesionych do napięcia znamionowego i mocy biernej odbieranej przy tym napięciu. Przebieg charakterystyki $Q_o = Q_o(U)$ dla większości węzłów odbiorczych SEE zdeterminowany jest przez charakterystyki $Q_o = Q_o(U)$ odbiorów silnikowych asynchronicznych.

Charakterystyka bilansu mocy biernej węzła $Q_w = Q_w(U)$ określana jest jako różnica charakterystyk $Q_d = Q_d(U)$ i $Q_o = Q_o(U)$.

Kryterium pochodnej bilansu mocy biernej węzła najczęściej formułowane jest w postaciach

$$\frac{dQ_w}{dU} = \frac{d(Q_d - Q_o)}{dU} < 0 \quad \text{lub} \quad \frac{dQ_d}{dU} < \frac{dQ_o}{dU}. \quad (13)$$

Przebiegi poglądowe charakterystyk $\bar{Q}_d = \bar{Q}_d(\bar{U})$ dla różnych parametrów i warunków pracy układu sieciowego oraz charakterystyki $\bar{Q}_o = \bar{Q}_o(\bar{U})$, odniesione do mocy $Q_d = Q_o$ przy napięciu znamionowym, przedstawiono na rys. 2b.

2.3. Kryterium pochodnej momentu dynamicznego odbiorów asynchronicznych

Kryterium to określa wartość pochodnej momentu dynamicznego odbioru silnikowego asynchronicznego względem poślizgu

$$\frac{dM_d}{ds} > 0, \quad (14)$$

w którym: $M_d = M_{em} - M_{ob}$,

M_{em} - moment elektromagnetyczny silnika,

M_{ob} - moment obciążenia silnika,

s - poślizg silnika.

Kryterium to należy do grupy drugiej. Napięcie U_{gr} jest napięciem utyku silnika U_{utk} i odpowiada stanowi $\frac{dM_d}{ds} = 0$. Kryterium $\frac{dM_d}{ds} > 0$ może być stosowane dla węzłów, z

których zasilane są odbiory silnikowe asynchroniczne. Dla większości węzłów SEE odbiory takie stanowią podstawowe obciążenie.

Naruszenie stabilności odbiorów silnikowych asynchronicznych następuje na skutek niezachowania nierówności (14), ale rozważaną przyczyną pośrednią jest obniżanie się napięcia w węźle powodujące zmniejszenie M_{em} . Kryterium $\frac{dM_d}{ds} > 0$ może być

bepośrednio stosowane dla pojedynczych silników; jego zastosowanie dla grupy silników jest utrudnione, wymaga bowiem wyznaczenia charakterystyki zastępczej.

3. PORÓWNANIE WARTOŚCI NAPIĘĆ KRYTYCZNYCH

Stan graniczny stabilności napięciowej węzła według kryterium strukturalnego sieci zasilającej określany jest przez napięcie krytyczne U_{kr}^S . Napięcie U_{kr}^S odpowiada maksymalnym mocom charakterystyk $S_d = S_d(U)$ opisanych równaniem (3) i przedstawionym na rys. 2a; jego wartość może być wyznaczona z relacji [1, 4]

$$U_{kr}^S = \sqrt{\frac{U_z^2}{2} + a}. \quad (15)$$

Stan graniczny stabilności napięciowej węzła według kryterium pochodnej bilansu mocy biernej określony jest przez napięcie krytyczne U_{kr}^Q . Napięcie U_{kr}^Q wyznaczone jest z warunku

$$\frac{dQ_d}{dU} = \frac{dQ_o}{dU}. \quad (16)$$

Relacje na U_{kr}^Q wymagają określenia zależności zmian mocy czynnej odbieranej w odniesieniu do napięcia i mocy biernej. Nawet przy wykorzystaniu stosunkowo prostych zależności na Q_d (8), (11) relacje te posiadają zbliżoną strukturę. Wartości napięć U_{kr}^Q są obliczane z wykorzystaniem procedur iteracyjnych [2]. Stosunkowo prostą zależność na U_{kr}^Q otrzymuje się, przy założeniu że moc czynna odbierana, wyrażona w wielkościach względnych odniesionych do napięcia znamionowego i mocy znamionowej, określona jest relacją

$$\bar{P}_o = k_o \bar{U}. \quad (17)$$

Przy uwzględnieniu wzoru (17) relacja (11) przyjmuje postać w wielkościach względnych, odniesionych do napięcia znamionowego i mocy odbieranych przy tym napięciu

$$\bar{Q}_d = \bar{U} \sqrt{\left(\frac{\bar{E}}{\bar{X}}\right)^2 - k_o^2} - \frac{\bar{U}^2}{\bar{X}}. \quad (18)$$

Wykorzystując równania (12) i (18) można wyprowadzić relację na U_{kr}^Q z warunku (16) w postaci

$$\bar{U}_{kr}^Q = \frac{\sqrt{\left(\frac{\bar{E}}{\bar{X}}\right)^2 - k_o^2 - d}}{2\left(g + \frac{1}{\bar{X}}\right)}. \quad (19)$$

Z przebiegu charakterystyk $\bar{Q}_d = \bar{Q}_d(\bar{U})$ i $\bar{Q}_o = \bar{Q}_o(\bar{U})$ (rys. 2b) oraz warunku (16) wynika, że wartości U_{kr}^Q zawierają się w przedziale

$$U_{max}^Q \geq U_{kr}^Q \geq U_{min}^Q, \quad (20)$$

przy czym wartości U_{max}^Q odpowiada maksymalna moc Q_d , a wartości U_{min}^Q - minimalna moc Q_0 . Wartość U_{min}^Q można wyznaczyć ze wzoru dla charakterystyki $Q_0 = Q_0(U)$ określonej równaniem (12) z relacji

$$\bar{U}_{min}^Q = \frac{d}{2g}. \quad (21)$$

Wartość U_{max}^Q charakterystyki Q_d określonej zależnością (8) można wyznaczyć z zależności

$$\bar{U}_{max}^Q = \sqrt{\frac{F - \sqrt{\Delta}}{2D}}, \quad (22)$$

w której $\Delta = F^2(1 - DZ^2) - 4C^2D^2Z^2$.

Wartość U_{max}^Q charakterystyki Q_d określonej zależnością (18) można obliczyć z relacji

$$\bar{U}_{max}^Q = \frac{1}{2} \sqrt{E^2 - k_o^2 X^2}. \quad (23)$$

Porównanie kryterium strukturalnego sieci zasilającej i kryterium pochodnej bilansu mocy biernej pozwala stwierdzić, że

- kryterium strukturalne nie uwzględnia wpływu charakterystyk odbiorów, w tym przypadku charakterystyk mocy pozornej $S_o = S_o(U)$,
- kryterium pochodnej bilansu mocy biernej uwzględnia wpływ charakterystyk $Q_0 = Q_0(U)$ na stabilność węzła; napięcie U_{kr}^S wyznacza warunek (16),
- wyznaczone za pomocą kryterium strukturalnego sieci zasilającej wartości napięć U_{kr}^S należy traktować jako odpowiadające napięciom U_{max}^Q .

Ostatni wniosek potwierdzają wstępne obliczenia wartości U_{max}^Q i U_{kr}^S przeprowadzone przez autora dla typowych układów sieciowych 110 kV. Różnice obliczonych wartości U_{max}^Q i U_{kr}^S nie przekraczały 15%, przy czym wartości napięć U_{kr}^S były niższe od U_{max}^Q . Z warunku (20) wynika, że jeżeli dla węzła odbiorczego spełniona jest nierówność $U_{kr}^S \leq U_{max}^Q$, to zachodzi również $U_{kr}^S \leq U_{kr}^Q$.

4. PORÓWNANIE WARTOŚCI NAPIĘĆ KRYTYCZNYCH I GRANICZNYCH

Analizę porównawczą kryteriów: pochodnej bilansu mocy biernej węzła i pochodnej momentu dynamicznego odbiorów silnikowych asynchronicznych można sprowadzić do

porównania wartości U_{kr}^Q i $U_{gr} = U_{utk}$. Charakterystykę $Q_o = Q_o(U)$ silnika asynchronicznego dla momentu obciążenia o stałej wartości można opisać równaniem [2]

$$\bar{Q}_o = G\bar{U}^2 \pm H\sqrt{\bar{U}^4 - m}, \quad (24)$$

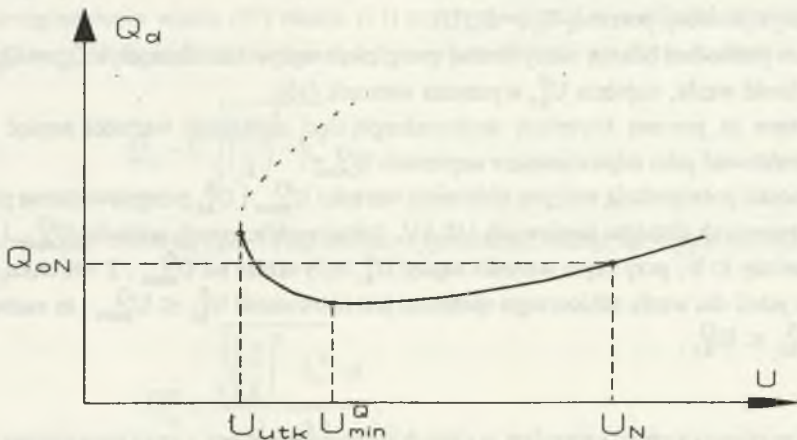
w którym $G = \frac{1 - 2\frac{X_z}{X_\mu}}{1 + 2\frac{X_z}{X_\mu} - \sqrt{1 - m^2}}$, $H = \frac{1}{1 + 2\frac{X_z}{X_\mu} - \sqrt{1 - m^2}}$, $m = \frac{M_N}{M_{maxN}}$,

X_μ - reaktancja magnesowania silnika,

X_z - zastępcza reaktancja rozproszenia silnika.

Przebieg charakterystyki $Q_o = Q_o(U)$ odbioru silnikowego asynchronicznego przedstawiono na rys. 3; przerywana część charakterystyki odpowiada znakowi "+" w relacji (24). Wartość U_{min}^Q charakterystyki opisanej równaniem (24) określa relacja

$$\bar{U}_{min}^Q = \sqrt{\frac{G^2 m^2}{G^2 - H^2}}, \quad (25)$$



Rys. 3. Przebieg charakterystyk odbioru silnikowego $Q_o = Q_o(U)$

Fig. 3. Characteristic of the asynchronous motor load $Q_o = Q_o(U)$

natomiast wartość napięcia utyku można wyznaczyć z zależności

$$\bar{U}_{utk} = \sqrt{m} . \quad (26)$$

Jeżeli węzeł obciążony będzie odbiorem silnikowym, to warunek (16) musi zostać spełniony przy wartości napięcia wyższej od U_{utk} , przy której $\frac{dQ_o}{dU} = -\infty$. Dla węzła zasilającego odbiór silnikowy asynchroniczny będzie zatem obowiązywała nierówność

$$U_{gr} = U_{utk} < U_{kr}^Q . \quad (27)$$

Z nierówności (27) wynika, że naruszenie stabilności węzła - przy wyższej wartości napięcia - zostaje ujawnione przez kryterium pochodnej bilansu mocy biernej wcześniej niż naruszenie stabilności odbioru silnikowego przez kryterium pochodnej momentu dynamicznego przy zachodzącym obniżeniu napięcia w węźle.

5. WNIOSKI

- a) Dla węzłów odbiorczych najwcześniej zostaje ujawnione naruszenie stabilności napięciowej przez kryterium pochodnej bilansu mocy biernej węzła.
- b) Kryterium pochodnej bilansu mocy biernej węzła może być stosowane do badania stabilności odbiorów silnikowych asynchronicznych zasilanych w węźle, w warunkach naruszenia stabilności napięciowej. Niezachowanie kryterium $\frac{dQ_w}{dU} < 0$ musi bowiem prowadzić do obniżenia napięcia węzła do wartości U_{utk} .
- c) Kryterium strukturalne sieci zasilającej zastosowane dla węzłów odbiorczych daje zbyt optymistyczne wyniki - wartości napięć krytycznych niższe niż wartości napięć U_{kr}^Q i $U_{gr} = U_{utk}$ określonych przez pozostałe analizowane kryteria.

LITERATURA

1. Kessel P., Glavitsch H.: Estimating the voltage stability of a power system. IEEE Trans. PWRD-1, July 1986.
2. Bogucki A., Lawera E., Przygodzki A., Szewc B.: Podatność częstotliwościowa i napięciowa systemu elektroenergetycznego i jego elementów. Monografia Wyd. Politechniki Śląskiej (skrypt), Gliwice 1983.

3. Flatabe N., Ognedal R., Carlsen T.: Voltage stability conditions in a power system calculated by sensitivity methods. IEEE Trans. on Power System. Vol.5, No.4, November 1990.
4. Lawera E.: Określenie stabilności napięciowej węzłów systemu elektroenergetycznego przy pomocy kryteriów parametrycznych. Materiały VI International Conference on Present-Day-Problems of Power Engineering. Vol. II Control and regulation, Gliwice 1993.
5. Price W., Klapper D., Miller N., Kurita A., Okubo H.: A multifaceted approach to power system voltage stability analysis. CIGRE 1992, sesion No. 38-205.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marian Cegielski

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 maja 1994 r.

Abstract

Three criteria are used to determine steady-state stability of power consumption nodes:

- the structural criterion for the network supplying the node (section 2.1 - Fig. 2a),
- the criteria of the torque balance for the node (section 2.2 - Fig. 2b),
- the criteria of the torque balance derivative for the asynchronous motors of the node (section 2.3).

The first and the second criteria are the voltage stability criteria and boundary conditions of stability are described using them by the critical voltage values - correspondingly U_{kr}^S and U_{kr}^Q . The limit value U_{gr} equal to the stall of the motor voltage U_{sk} corresponds to the

boundary conditions of stability described by the third criterion $\frac{dM_d}{ds} > 0$.

The comparative analysis of the above mentioned criteria is described in the paper. The analysis of models and relations forming the base for the criteria shows the possibility to choose the most restrictive criterion for the power consumption node. Such a criterion describes the most restrictive stability condition, i.e. gives the highest value of critical or limit voltage. The criterion can be chosen without necessity to make calculation of node stability. On a ground of comparative analysis the following conclusions can be drawn:

- a) the differential criterion of the reactive power balance for the power consumption node is the one which gives the earliest warning about the voltage unbalance of the node,
- b) the differential criterion of the reactive power balance for the node can be used for stability testing of the asynchronous motor loads supplied in the voltage unbalance conditions of the node. Failure to satisfy the condition $dQ_w/dU < 0$ results irreversibly in lowering the node voltage to the U_{utk} level,
- c) the structural criterion of the network supplying the node applied for the power consuming nodes gives the results which are optimistic - the critical voltage values U_{kr} are lower than both U_{kr}^Q and $U_{gr} = U_{utk}$ voltages determined by the two other criteria.