ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2006. Т. LIX, № 3.

УДК 621.311 ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, С.Э. ГРИГОРЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО АКТИВНЫМ МОЩНОСТЯМ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Предлагается метод определения частных производных от потерь мощностей по активным мощностям независимых станционных узлов, которые одновременно могут быть как типа P-U, так и типа P-Q.

Ключевые слова: оптимизация, матрица, узел, модель, станция, потеря, мощность, модуль, аргумент, режим.

При оптимизации режима электроэнергетической системы (ЭЭС) важным фактором является учет изменения потерь мощностей в сетях, осуществляемый с помощью соответствующих выражений относительных приростов потерь [1-5].

В настоящее время имеется множество методов определения относительных приростов потерь мощностей, которые рассматриваются как определенный этап расчета установившегося режима ЭЭС, однако при P-U или при P-Q типах станционных узлов.

В данной статье рассматривается вопрос определения относительных приростов потерь как определенный этап расчета установившегося режима ЭЭС, при котором станционные узлы могут быть одновременно как типа P-U, так и типа P-Q.

Для построения соответствующей математической модели относительных приростов потерь или частных производных от потерь мощностей по активным мощностям станционных узлов принимается следующая система индексов:

$m(n) = Б, 1, 2, \ldots, \Gamma_1$, где Γ_1 - число независимых станционных узлов типа P-U. Станционный узел с индексом "Б" выбирается в качестве базисного (балансирующего) и является зависимым узлом; $k(\ell) = \Gamma_1 + 1, \Gamma_1 + 2, \ldots, \Gamma_1 + \Gamma_2 = \Gamma$, где Γ_2 - число независимых станционных узлов типа P-Q, а Γ - общее число независимых станционных узлов; $t(\tau) = \Gamma + 1, \Gamma + 2, \ldots, \Gamma + H = M$, где H - число нагрузочных узлов типа P-Q, а M - число независимых узлов рассматриваемой ЭЭС; $i(j) = 1, 2, \ldots, \Gamma_1; \Gamma_1 + 1, \Gamma_1 + 2, \ldots, \Gamma_1 + \Gamma_2; \Gamma_1 + \Gamma_2 + 1, \Gamma_1 + \Gamma_2 + 2, \ldots, \Gamma_1 + \Gamma_2 + H$, в состав которых входят все M независимые узлы.

Математическая модель ЭЭС для определения относительных приростов потерь мощностей представляется в виде

$$\Pi_a = \Pi_a(P, Q, U, \Psi_u), \tag{1}$$

$$\Pi_p = \Pi_p(P, Q, U, \Psi_u); \tag{2}$$

$$\Phi_{pi}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \tag{3}$$

$$\Phi_{qi}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \tag{4}$$

где Π_a и Π_p - функции потерь активной и реактивной мощностей, зависящие от узловых режимных параметров; выражения (3), (4) – системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима.

На основании вышеприведенной математической модели (1)-(4), с учетом выбранной системы индексов, можно написать следующие выражения для определения частных производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям станционных узлов:

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_\alpha} = \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_\alpha}\right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_n}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\ell}\frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^{M} \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\tau}\frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \sum_{j=1}^{M} \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{uj}}\frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha}, \tag{5}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_\alpha} = \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_\alpha}\right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_n}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\ell}\frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^{M} \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\tau}\frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \sum_{j=1}^{M} \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{uj}}\frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha}. \tag{6}$$

Частные производные $(\partial\Pi_a/\partial P_\alpha)$, $(\partial\Pi_p/\partial P_\alpha)$; $\partial\Pi_a/\partial Q_n$, $\partial\Pi_p/\partial Q_n$; $\partial\Pi_a/\partial U_\ell$, $\partial\Pi_p/\partial U_\ell$; $\partial\Pi_a/\partial U_\tau$, $\partial\Pi_p/\partial U_\tau$; $\partial\Pi_a/\partial\Psi_{uj}$, $\partial\Pi_p/\partial\Psi_{uj}$ определяются на основании аналитических выражений функции потерь активной и реактивной мощностей.

В выражениях (5), (6): $\partial Q_n/\partial P_\alpha$, $\partial U_\ell/\partial P_\alpha$, $\partial U_\tau/\partial P_\alpha$, $\partial\Psi_{uj}/\partial P_\alpha$ - соответственно частные производные от реактивных мощностей независимых станционных узлов типа P-U; от модулей комплексных напряжений независимых станционных узлов типа P-Q; от модулей комплексных напряжений нагрузочных узлов типа P-Q; от аргументов комплексных напряжений независимых узлов по активным мощностям станционных узлов.

Таким образом, число вышеотмеченных частных производных составляет 2M, для определения которых относительно систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (3)-(4), с учетом выбранной системы индексов, можем написать

$$\left(\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_\alpha}\right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell}\frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^{M} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau}\frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \sum_{j=1}^{M} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{uj}}\frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha} = 0, \tag{7}$$

$$\left(\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_\alpha}\right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial Q_n}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell}\frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^{M} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\tau}\frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \sum_{j=1}^{M} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uj}}\frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha} = 0, \tag{8}$$

$$\left(\frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial P_\alpha}\right)+\sum_{n=1}^{\Gamma_1}\frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial Q_n}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha}+\sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma}\frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial U_\ell}\frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha}+\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial U_\tau}\frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha}+\sum_{j=1}^{M}\frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial\Psi_{uj}}\frac{\partial\Psi_{uj}}{\partial P_\alpha}=0\,,\quad(9)$$

$$\left(\frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial P_\alpha}\right)+\sum_{n=1}^{\Gamma_1}\frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial Q_n}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha}+\sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma}\frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial U_\ell}\frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha}+\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial U_\tau}\frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha}+\sum_{j=1}^{M}\frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial\Psi_{uj}}\frac{\partial\Psi_{uj}}{\partial P_\alpha}=0\,.\quad(10)$$

Системы уравнений (7)-(10) в матричной форме имеют вид

$$\begin{bmatrix}\frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial\Psi_{uj}}\\ \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial\Psi_{uj}}\\ \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial\Psi_{uj}}\\ \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial\Psi_{uj}}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha}\\ \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha}\\ \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha}\\ \frac{\partial\Psi_{uj}}{\partial P_\alpha}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial P_\alpha}\\ -\frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial P_\alpha}\\ -\frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial P_\alpha}\\ -\frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial P_\alpha}\end{bmatrix}.\quad(11)$$

Искомые частные производные определяются в виде

$$\begin{bmatrix}\frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha}\\ \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha}\\ \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha}\\ \frac{\partial\Psi_{uj}}{\partial P_\alpha}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial\Psi_{uj}}\\ \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial\Psi_{uj}}\\ \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial\Psi_{uj}}\\ \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial Q_n} & \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial\Psi_{uj}}\end{bmatrix}^{-1}\cdot\begin{bmatrix}-\frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial P_\alpha}\\ -\frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial P_\alpha}\\ -\frac{\partial\Phi_{pt}}{\partial P_\alpha}\\ -\frac{\partial\Phi_{qi}}{\partial P_\alpha}\end{bmatrix}.\quad(12)$$

В явновыраженной форме функции активной и реактивной мощностей имеют вид

$$\Pi_a=\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M}\left[a_{ij}\left(P_iP_j+Q_iQ_j\right)+b_{ij}\left(Q_iP_j-P_iQ_j\right)\right],\quad(13)$$

$$\Pi_p=\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M}\left[c_{ij}\left(P_iP_j+Q_iQ_j\right)+d_{ij}\left(Q_iP_j-P_iQ_j\right)\right],\quad(14)$$

где

$$a_{ij}=\frac{R_{ij}}{U_iU_j}\cos\left(\Psi_{ui}-\Psi_{uj}\right),\qquad b_{ij}=\frac{R_{ij}}{U_iU_j}\sin\left(\Psi_{ui}-\Psi_{uj}\right),\quad(15)$$

$$c_{ij} = \frac{X_{ij}}{U_i U_j} \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}), \qquad d_{ij} = \frac{X_{ij}}{U_i U_j} \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}). \tag{16}$$

Частные производные $(\partial \Pi_a / \partial P_\alpha)$, $\partial \Pi_a / \partial Q_n$, $\partial \Pi_a / \partial U_\ell$, $\partial \Pi_a / \partial U_\tau$, а также $\partial \Pi_a / \partial \Psi_{uj}$, входящие в выражение (5), определяются в виде

$$\left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_\alpha}\right) = 2\sum_{j=1}^{M} \left(a_{\alpha j} P_j - b_{\alpha j} Q_j\right), \tag{17}$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_n} = 2\sum_{j=1}^{M} \left(a_{nj} Q_j + b_{nj} P_j\right), \tag{18}$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\ell} = -\frac{2}{U_\ell} \sum_{j=1}^{M} \left[a_{\ell j}\left(P_\ell P_j + Q_\ell Q_j\right) + b_{\ell j}\left(Q_\ell P_j - P_\ell Q_j\right)\right], \tag{19}$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\tau} = -\frac{2}{U_\tau} \sum_{j=1}^{M} \left[a_{\tau j}\left(P_\tau P_j + Q_\tau Q_j\right) + b_{\tau j}\left(Q_\tau P_j - P_\tau Q_j\right)\right], \tag{20}$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{uj}} = -2\sum_{j=1}^{M} \left[b_{ij}\left(P_i P_j + Q_i Q_j\right) + a_{ij}\left(Q_i P_j - P_i Q_j\right)\right]. \tag{21}$$

Частные производные $(\partial \Pi_p / \partial P_\alpha)$, $\partial \Pi_p / \partial Q_n$, $\partial \Pi_p / \partial U_\ell$, $\partial \Pi_p / \partial U_\tau$ и $\partial \Pi_p / \partial \Psi_{uj}$, входящие в выражение (6), определяются в виде

$$\left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_\alpha}\right) = 2\sum_{j=1}^{M} \left(c_{\alpha j} P_j - d_{\alpha j} Q_j\right), \tag{22}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_n} = 2\sum_{j=1}^{M} \left(c_{nj} Q_j + d_{nj} P_j\right), \tag{23}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\ell} = -\frac{2}{U_\ell} \sum_{j=1}^{M} \left[c_{\ell j}\left(P_\ell P_j + Q_\ell Q_j\right) + d_{\ell j}\left(Q_\ell P_j - P_\ell Q_j\right)\right], \tag{24}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\tau} = -\frac{2}{U_\tau} \sum_{j=1}^{M} \left[c_{\tau j}\left(P_\tau P_j + Q_\tau Q_j\right) + d_{\tau j}\left(Q_\tau P_j - P_\tau Q_j\right)\right], \tag{25}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{uj}} = -2\sum_{j=1}^{M} \left[d_{ij}\left(P_i P_j + Q_i Q_j\right) + c_{ij}\left(Q_i P_j - P_i Q_j\right)\right]. \tag{26}$$

Частные производные $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$ и $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$, входящие в выражения (5) и (6), определяются на основании систем нелинейных алгебраических уравнений (7)-(10) или матричного уравнения (12).

Представим системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (3) и (4) в виде

$$\Phi_{pm} = P_m - \left[\frac{U_Б}{U_m} \left(P_m \cos\Psi_{um} + Q_m \sin\Psi_{um} \right) + \sum_{j=1}^{M} \left(R_{mj} A_{mj} + X_{mj} B_{mj} \right) \right] = 0, \quad (27)$$

$$\Phi_{pk} = P_k - \left[\frac{U_Б}{U_k} \left(P_k \cos\Psi_{uk} + Q_k \sin\Psi_{uk} \right) + \sum_{j=1}^{M} \left(R_{kj} A_{kj} + X_{kj} B_{kj} \right) \right] = 0, \quad (28)$$

$$\Phi_{pt} = P_t - \left[\frac{U_Б}{U_t} \left(P_t \cos\Psi_{ut} + Q_t \sin\Psi_{ut} \right) + \sum_{j=1}^{M} \left(R_{tj} A_{tj} + X_{tj} B_{tj} \right) \right] = 0, \quad (29)$$

$$\Phi_{qi} = Q_i - \left[-\frac{U_Б}{U_i} \left(P_i \sin\Psi_{ui} - Q_i \cos\Psi_{ui} \right) + \sum_{j=1}^{M} \left(X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij} \right) \right] = 0, \quad (30)$$

где

$$A_{ij} = \frac{1}{U_i U_j} \left[\left(P_i P_j + Q_i Q_j \right) \cos\left(\Psi_{ui} - \Psi_{uj} \right) + \left(Q_i P_j - P_i Q_j \right) \sin\left(\Psi_{ui} - \Psi_{uj} \right) \right], \quad (31)$$

$$B_{ij} = \frac{1}{U_i U_j} \left[\left(P_i P_j + Q_i Q_j \right) \sin\left(\Psi_{ui} - \Psi_{uj} \right) - \left(Q_i P_j - P_i Q_j \right) \cos\left(\Psi_{ui} - \Psi_{uj} \right) \right], \quad (32)$$

причем

$$i, j = \left[m(n), k(\ell), t(\tau) \right].$$

Можно заметить, что число нелинейных алгебраических уравнений (27)-(32) составляет 2М, т.е. столько, сколько имеется неизвестных частных производных типа $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$ и $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$.

На основании систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС (27)-(32) определим аналитические выражения частных производных, входящих в матричное выражение (12).

Для определения необходимых частных производных целесообразно вышеприведенные выражения представить в виде

$$\Phi_{pm} = P_m - \left[\frac{U_{\square}}{U_m} \left(P_m \cos\Psi_{um} + Q_m \sin\Psi_{um} \right) + \frac{R_{mm}}{U_m^2} \left(P_m^2 + Q_m^2 \right) + \right.$$
$$\left. + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^{M} \left(R_{mj} A_{mj} + X_{mj} B_{mj} \right) \right] = 0, \quad (33)$$

$$\Phi_{pk} = P_k - \left[\frac{U_{\square}}{U_k} \left(P_k \cos\Psi_{uk} + Q_k \sin\Psi_{uk} \right) + \frac{R_{kk}}{U_k^2} \left(P_k^2 + Q_k^2 \right) + \right.$$
$$\left. + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{M} \left(R_{kj} A_{kj} + X_{kj} B_{kj} \right) \right] = 0, \quad (34)$$

$$\Phi_{pt} = P_t - \left[\frac{U_Б}{U_t}\left(P_t \cos\Psi_{ut} + Q_t \sin\Psi_{ut}\right) + \frac{R_{tt}}{U_t^2}\left(P_t^2 + Q_t^2\right) + \right.$$
$$\left. + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq t}}^{M} \left(R_{tj} A_{tj} + X_{tj} B_{tj}\right) \right] = 0, \tag{35}$$

$$\Phi_{qi} = Q_i - \left[-\frac{U_Б}{U_i}\left(P_i \sin\Psi_{ui} - Q_i \cos\Psi_{ui}\right) + \frac{X_{ii}}{U_i^2}\left(P_i^2 + Q_i^2\right) + \right.$$
$$\left. + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{M} \left(X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}\right) \right] = 0. \tag{36}$$

На основании (33)-(36) можно установить аналитические выражения частных производных, входящих в выражение (12):

- при одинаковых индексах:

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_m} = -\left[\frac{U_Б}{U_m}\sin\Psi_{um} + \frac{2Q_m}{U_m^2} R_{mm} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq m}}^{M} \left[Q_j\left(a_{mj} + d_{mj}\right) + P_j\left(b_{mj} - c_{mj}\right)\right]\right], \tag{37}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial Q_i} = 1 - \left[\frac{U_Б}{U_i}\cos\Psi_{ui} + \frac{2Q_i}{U_i^2} X_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{M} \left[Q_j\left(c_{ij} - b_{ij}\right) + P_j\left(d_{ij} + a_{ij}\right)\right]\right], \tag{38}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_k} = \frac{U_Б}{U_k^2}\left(P_k \cos\Psi_{uk} + Q_k \sin\Psi_{uk}\right) + \frac{2\left(P_k^2 + Q_k^2\right)}{U_k^3} R_{kk} +$$
$$+ \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M} \left[\frac{1}{U_k}\left(R_{kj} A_{kj} + X_{kj} B_{kj}\right)\right], \tag{39}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_t} = \frac{U_Б}{U_t^2}\left(P_t \cos\Psi_{ut} + Q_t \sin\Psi_{ut}\right) + \frac{2\left(P_t^2 + Q_t^2\right)}{U_t^3} R_{tt} +$$
$$+ \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq t}}^{M} \left[\frac{1}{U_t}\left(R_{tj} A_{tj} + X_{tj} B_{tj}\right)\right], \tag{40}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_i} = -\frac{U_Б}{U_i^2}\left(P_i \sin\Psi_{ui} - Q_i \cos\Psi_{ui}\right) + \frac{2\left(P_i^2 + Q_i^2\right)}{U_i^3} X_{ii} + \\ + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{M} \left[\frac{1}{U_i}\left(X_{ij}A_{ij} - R_{ij}B_{ij}\right)\right], \tag{41}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um}} = \frac{U_Б}{U_m}\left(P_m \sin\Psi_{um} - Q_m \cos\Psi_{um}\right) + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq m}}^{M}\left(R_{mj}B_{mj} - X_{mj}A_{mj}\right), \tag{42}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uk}} = \frac{U_Б}{U_k}\left(P_k \sin\Psi_{uk} - Q_k \cos\Psi_{uk}\right) + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M}\left(R_{kj}B_{kj} - X_{kj}A_{kj}\right), \tag{43}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{ut}} = \frac{U_Б}{U_t}\left(P_t \sin\Psi_{ut} - Q_t \cos\Psi_{ut}\right) + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq t}}^{M}\left(R_{tj}B_{tj} - X_{tj}A_{tj}\right), \tag{44}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{ui}} = \frac{U_Б}{U_i}\left(P_i \cos\Psi_{um} + Q_m \sin\Psi_{um}\right) + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{M}\left(R_{ij}A_{ij} + X_{ij}B_{ij}\right). \tag{45}$$

Затем определим следующие частные производные:

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_m} = 1 - \left\{\frac{U_Б}{U_m}\cos\Psi_{um} + \frac{2P_m}{U_m^2}R_{mm} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq m}}^{M}\left[P_m\left(a_{mj} + d_{mj}\right) - Q_m\left(b_{mj} - c_{mj}\right)\right]\right\}, \tag{46}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_k} = 1 - \left\{\frac{U_Б}{U_k}\cos\Psi_{uk} + \frac{2P_k}{U_k^2}R_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M}\left[P_k\left(a_{kj} + d_{kj}\right) - Q_k\left(b_{kj} - c_{kj}\right)\right]\right\}, \tag{47}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial P_t} = 1 - \left\{\frac{U_Б}{U_t}\cos\Psi_{ut} + \frac{2P_t}{U_t^2}R_{tt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq t}}^{M}\left[P_t\left(a_{tj} + d_{tj}\right) - Q_t\left(b_{tj} - c_{tj}\right)\right]\right\}, \tag{48}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial P_i} = -\left\{-\frac{U_Б}{U_i}\sin\Psi_{ui} + \frac{2P_i}{U_i^2}X_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{M}\left[P_i\left(c_{ij} - b_{ij}\right) - Q_i\left(d_{ij} + a_{ij}\right)\right]\right\}; \tag{49}$$

- при разных индексах:

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n} = -\left\{\frac{R_{mn}}{U_m U_n}\left[Q_m \cos\left(\Psi_{um} - \Psi_{un}\right) - P_m \sin\left(\Psi_{um} - \Psi_{un}\right)\right] + \right. \\ \left. + \frac{X_{mn}}{U_m U_n}\left[Q_m \sin\left(\Psi_{um} - \Psi_{un}\right) + P_m \cos\left(\Psi_{um} - \Psi_{un}\right)\right]\right\}, \tag{50}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial Q_n} = -\left\{ \frac{R_{kn}}{U_m U_n} \left[Q_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) - P_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) \right] + \right.$$
$$\left. + \frac{X_{kn}}{U_k U_n} \left[Q_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) + P_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) \right] \right\}, \tag{51}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial Q_n} = -\left\{ \frac{R_{tn}}{U_t U_n} \left[Q_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{un}) - P_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{un}) \right] + \right.$$
$$\left. + \frac{X_{tn}}{U_t U_n} \left[Q_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{un}) + P_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{un}) \right] \right\}, \tag{52}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial Q_n} = -\left\{ \frac{X_{in}}{U_i U_n} \left[Q_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{un}) - P_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{un}) \right] - \right.$$
$$\left. - \frac{R_{in}}{U_i U_n} \left[Q_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{un}) + P_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{un}) \right] \right\}, \tag{53}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_n} = -\left\{ \frac{R_{mn}}{U_m U_n} \left[P_m \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + Q_m \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) \right] + \right.$$
$$\left. + \frac{X_{mn}}{U_m U_n} \left[P_m \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - Q_m \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) \right] \right\}, \tag{54}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_\ell} = -\left\{ \frac{R_{k\ell}}{U_k U_\ell} \left[P_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) + Q_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) \right] + \right.$$
$$\left. + \frac{X_{k\ell}}{U_k U_\ell} \left[P_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) - Q_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) \right] \right\}, \tag{55}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial P_\tau} = -\left\{ \frac{R_{t\tau}}{U_t U_\tau} \left[P_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau}) + Q_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau}) \right] + \right.$$
$$\left. + \frac{X_{t\tau}}{U_t U_\tau} \left[P_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau}) - Q_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau}) \right] \right\}, \tag{56}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial P_j} = -\left\{ \frac{X_{ij}}{U_i U_j} \left[P_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) + Q_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) \right] - \right.$$
$$\left. - \frac{R_{ij}}{U_i U_j} \left[P_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) - Q_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) \right] \right\}, \tag{57}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial U_j} = \frac{1}{U_n}\left(R_{ij} A_{ij} + X_{ij} B_{ij}\right), \tag{58}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_j} = \frac{1}{U_j}\left(R_{ij} B_{ij} - X_{ij} A_{ij}\right), \tag{59}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial \Psi_{uj}} = \left(R_{ij} B_{ij} - X_{ij} A_{ij}\right), \tag{60}$$

где

$$i = (m,\ k,\ t), \quad j = (n,\ \ell,\ \tau),$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{uj}} = -\left(X_{ij} B_{ij} + R_{ij} A_{ij}\right). \tag{61}$$

В результате установлены аналитические выражения частных производных, входящих в (11) или (12).

Имея численные значения аналитических выражений частных производных, входящих в матричное выражение (12), можно определить численные значения искомых частных производных $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$, $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$.

Следует отметить, что численные значения частных производных первого порядка, входящих в квадратную неособенную матрицу выражения (12), определяются на основании численных значений активных параметров установившегося режима рассматриваемой ЭЭС на данной итерации или данном этапе.

Имея численные значения частных производных $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$, а также $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$, можно установить численные значения частных производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям независимых станционных узлов или относительных приростов потерь мощностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В. С.** К вопросу об определении производных от потерь активной и реактивной мощности по активным мощностям станционных узлов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1970.- N 2.-С. 101-108.
2. **Хачатрян В. С.** Метод определения относительных приростов потерь в сетях больших электроэнергетических систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1974.- N 5.-С. 138-142.
3. **Хачатрян В. С.** Метод определения относительных приростов потерь в сетях больших электроэнергетических систем при задании P-Q режимных параметров станционных узлов // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.-1974.-N 2.-С. 57-65.
4. **Хачатрян В. С.** Метод и алгоритм оптимизации режимов больших энергосистем // Изв. АН СССР. Энергетика и Транспорт.-1976.- N 5.- С. 24-34.

5. **Хачатрян В.С., Мнацаканян М.А.** Определение допустимых относительных приростов потерь активной мощности электроэнергетической системы методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2005.- Т. 58, N 2.-С. 260-268.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.02.2006.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Է. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՑԱՆՑԻ ԱԿՏԻՎ ԵՎ ՌԵԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՄԱՄՆԱԿԻ ԱԾԱՆՑՅԱԼՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԸՍՏ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ

Առաջարկվում է ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների կորուստների մասնակի ածանցյալների որոշման նոր մեթոդ՝ ըստ էլեկտրական կայանների ակտիվ հզորությունների, որոնք կարող են միաժամանակ լինել P-U և P-Q տեսքերի:

Առանցքային բառեր. լավարկում, մատրից, հանգույց, մոդել, կայան, կորուստ, հզորության մոդուլ, արգումենտ, ռեժիմ:

V.S. KHACHATRYAN, S.E. GRIGORYAN

METHOD OF DEFINING PARTIAL DERIVATIVES FROM LOSSES OF ACTIVE AND REACTIVE POWERS IN ELECTROPOWER SYSTEM OF ACTIVE POWERS OF STATION UNITS

A method of defining partial derivatives from losses of active and reactive powers in electropower system of active powers for independent station units which can simultaneously be both P-U types is proposed.

***Keywords*:** optimization, matrix, unit, model, station, loss, power, module, argument, mode.