

В.С. ХАЧАТРЯН, С.Э. ГРИГОРЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ ПОТЕРЬ МОЩНОСТЕЙ ПРИ P-U И P-Q ТИПАХ СТАЦИОННЫХ УЗЛОВ

Предлагается метод определения относительных приростов потерь мощностей, когда на режимные параметры станционных узлов налагаются ограничения типа неравенств. Рассматривается случай, когда станционные узлы одновременно могут быть как типа P-U, так и типа P-Q.

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

В настоящее время имеется множество методов по расчету установившихся режимов и частных производных от потерь мощностей по мощностям станционных узлов [1-10]. Однако все эти методы разработаны для случая, когда независимые станционные узлы являются узлами либо типа P-U, либо типа P-Q. В [9] рассмотрен случай, когда станционные узлы одновременно могут быть как типа P-U, так и типа P-Q. Однако в указанной работе не учтены ограничения типа неравенств, налагаемые на режимные параметры, что является решающим фактором для получения физически реальных электрических режимов ЭЭС. В настоящей работе впервые рассматривается случай, когда независимые станционные узлы являются одновременно типа P-U и P-Q и когда на их режимные параметры налагаются ограничения типа неравенств.

Для построения математической модели допустимых относительных приростов потерь выбирается та же система индексов, что и в [9]. При этом математическая модель допустимых относительных приростов потерь представляется в виде

$$\Pi_a = \Pi_a(P, Q, U, \Psi_u), \quad (1)$$

$$\Pi_p = \Pi_p(P, Q, U, \Psi_u), \quad (2)$$

$$\Phi_{pi}(P, Q, U, \Psi_u) = \begin{cases} \Phi_{pm}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \\ \Phi_{pk}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \\ \Phi_{pt}(P, Q, U, \Psi_u) = 0; \end{cases} \quad (3)$$

$$\Phi_{qi}(P, Q, U, \Psi_u) = \begin{cases} \Phi_{qm}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \\ \Phi_{qk}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \\ \Phi_{qt}(P, Q, U, \Psi_u) = 0; \end{cases} \quad (4)$$

$$U_{m,\min} \leq U_m \leq U_{m,\max}, \quad (5)$$

$$Q_{m,\min} \leq Q_m \leq Q_{m,\max},$$

$$U_{k,\min} \leq U_k \leq U_{k,\max}, \quad (6)$$

$$Q_{k,\min} \leq Q_k \leq Q_{k,\max},$$

где Π_a и Π_p - функции потерь активной и реактивной мощностей, зависящие от узловых режимных параметров; (3), (4) - системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима, написанные соответственно относительно независимых станционных узлов типа P-U и P-Q и нагрузочных узлов типа P-Q; (5), (6) - ограничения типа неравенств, налагаемые соответственно относительно станционных узлов типа P-U и P-Q; $U_{m,\max}$, $Q_{m,\max}$, $U_{k,\max}$, $Q_{k,\max}$ - допустимые предельные максимальные значения модулей комплексных напряжений и реактивных мощностей соответственно для станционных узлов типа P-U и P-Q; $U_{m,\min}$, $Q_{m,\min}$, $U_{k,\min}$, $Q_{k,\min}$ - допустимые предельные минимальные значения модулей комплексных напряжений и реактивных мощностей соответственно для станционных узлов типа P-U и P-Q.

При этом частные производные от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям независимых станционных узлов определяются в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_a}{\partial P_\alpha} = & \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_\alpha} \right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \\ & + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{un}} \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{u\ell}} \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{u\tau}} \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial P_\alpha}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_p}{\partial P_\alpha} = & \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_\alpha} \right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \\ & + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{un}} \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{u\ell}} \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{u\tau}} \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial P_\alpha}. \end{aligned} \quad (8)$$

Выражения частных производных, входящих в (7) и (8), приводятся в [9].

Относительно систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (3), (4) можно написать

$$\begin{bmatrix}
\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau} \\
\frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{pk}} \\
\frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{pt}} \\
\frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{qm}} \\
\frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{qk}} \\
\frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{qt}} \\
\frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Psi_{u\ell}}
\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\tau}{\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_{qm}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial P_\alpha}{\partial P_\alpha} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Следует отметить, что выражения частных производных, входящих в квадратную матрицу уравнений (10), также приводятся в [9].

Искомые частные производные определяются в виде

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial P_\alpha}{\partial P_\alpha} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau} \\ \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{pk}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{pk}} \\ \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{pt}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{pt}} \\ \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{qm}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{qm}} \\ \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{qk}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{qk}} \\ \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Phi_{qt}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Phi_{qt}} \\ \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Psi_{u\ell}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Psi_{u\tau}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial U_\ell}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial U_\tau}{\partial \Psi_{u\ell}} \end{bmatrix}^{-1} \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_{qm}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial P_\alpha}{\partial P_\alpha} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Теперь рассмотрим решение систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (3), (4) с помощью метода Ньютона-Рафсона, при котором соответствующее рекуррентное выражение при P-Q типах всех стационарных узлов имеет вид

$$\begin{bmatrix} \Psi_{um} \\ \Psi_{uk} \\ \Psi_{ut} \\ U_m \\ U_k \\ U_t \end{bmatrix}^{I+1} = \begin{bmatrix} \Psi_{um} \\ \Psi_{uk} \\ \Psi_{ut} \\ U_m \\ U_k \\ U_t \end{bmatrix}^I - \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um} \\ \Delta\Psi_{uk} \\ \Delta\Psi_{ut} \\ \Delta U_m \\ \Delta U_k \\ \Delta U_t \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где I – номер итерации.

Столбцовая матрица с элементами $\Delta\Psi_{um}, \Delta\Psi_{uk}, \Delta\Psi_{ut}; \Delta U_m, \Delta U_k, \Delta U_t$ определяется на основании матричного выражения

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta P_t \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau} \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\tau} \\ \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\tau} \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\tau} \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\tau} \\ \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial \Psi_{u\tau}} & \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial U_\tau} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um} \\ \Delta\Psi_{uk} \\ \Delta\Psi_{ut} \\ \Delta U_m \\ \Delta U_k \\ \Delta U_t \end{bmatrix}. \quad (13)$$

В (13) $\Phi_{pm}, \Phi_{pk}, \Phi_{pt}; \Phi_{qm}, \Phi_{qk}, \Phi_{qt}$ определяются выражениями

$$\begin{cases} \Delta P_m = P_m - [P_{Bm} + \Phi_{pm}(P, Q, U, \Psi_u)] = \Phi_{pm}, \\ \Delta P_k = P_k - [P_{Bk} + \Phi_{pk}(P, Q, U, \Psi_u)] = \Phi_{pk}, \\ \Delta P_t = P_t - [P_{Bt} + \Phi_{pt}(P, Q, U, \Psi_u)] = \Phi_{pt}; \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} \Delta Q_m = Q_m - [Q_{Bm} + \Phi_{qm}(P, Q, U, \Psi_u)] = \Phi_{qm}, \\ \Delta Q_k = Q_k - [Q_{Bk} + \Phi_{qk}(P, Q, U, \Psi_u)] = \Phi_{qk}, \\ \Delta Q_t = Q_t - [Q_{Bt} + \Phi_{qt}(P, Q, U, \Psi_u)] = \Phi_{qt}. \end{cases} \quad (15)$$

Следует отметить, что аналитические выражения функций $\Phi_{pm}, \Phi_{pk}, \Phi_{pt}; \Phi_{qm}, \Phi_{qk}, \Phi_{qt}$ приводятся в [9] в виде (27)-(30).

Если ввести следующие обозначения:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{mn} = \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}}, a_{m\ell} = \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\ell}}, a_{m\tau} = \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\tau}}, \\ a_{kn} = \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{un}}, a_{k\ell} = \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{u\ell}}, a_{k\tau} = \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{u\tau}}, \\ a_{un} = \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{un}}, a_{u\ell} = \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{u\ell}}, a_{u\tau} = \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{u\tau}}; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} b_{mn} = \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n}, b_{m\ell} = \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell}, b_{m\tau} = \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau}, \\ b_{kn} = \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n}, b_{k\ell} = \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell}, b_{k\tau} = \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\tau}, \\ b_{un} = \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_n}, b_{u\ell} = \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\ell}, b_{u\tau} = \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\tau}; \end{array} \right. \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{mn} = \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}}, c_{m\ell} = \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{u\ell}}, c_{m\tau} = \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{u\tau}}, \\ c_{kn} = \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{un}}, c_{k\ell} = \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{u\ell}}, c_{k\tau} = \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{u\tau}}, \\ c_{un} = \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial \Psi_{un}}, c_{u\ell} = \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial \Psi_{u\ell}}, c_{u\tau} = \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial \Psi_{u\tau}}; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} d_{mn} = \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n}, d_{m\ell} = \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell}, d_{m\tau} = \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\tau}, \\ d_{kn} = \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_n}, d_{k\ell} = \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\ell}, d_{k\tau} = \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\tau}, \\ d_{un} = \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial U_n}, d_{u\ell} = \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial U_\ell}, d_{u\tau} = \frac{\partial \Phi_{qt}}{\partial U_\tau}; \end{array} \right. \quad (17)$$

то матричное уравнение (13) примет вид

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta P_t \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{mn} & a_{m\ell} & a_{m\tau} & b_{mn} & b_{m\ell} & b_{m\tau} \\ a_{kn} & a_{k\ell} & a_{k\tau} & b_{kn} & b_{k\ell} & b_{k\tau} \\ a_{tn} & a_{t\ell} & a_{t\tau} & b_{tn} & b_{t\ell} & b_{t\tau} \\ c_{mn} & c_{m\ell} & c_{m\tau} & d_{mn} & d_{m\ell} & d_{m\tau} \\ c_{kn} & c_{k\ell} & c_{k\tau} & d_{kn} & d_{k\ell} & d_{k\tau} \\ c_{tn} & c_{t\ell} & c_{t\tau} & d_{tn} & d_{t\ell} & d_{t\tau} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{um} \\ \Delta \Psi_{uk} \\ \Delta \Psi_{ut} \\ \Delta U_m \\ \Delta U_k \\ \Delta U_t \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Обращая неособенную квадратную матрицу коэффициентов матричного уравнения (18), установим следующее выражение для определения $\Delta \Psi_{um}, \Delta \Psi_{uk}, \Delta \Psi_{ut}; \Delta U_m, \Delta U_k, \Delta U_t$:

$$\begin{bmatrix} \Delta \Psi_{um} \\ \Delta \Psi_{uk} \\ \Delta \Psi_{ut} \\ \Delta U_m \\ \Delta U_k \\ \Delta U_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \alpha_{m\ell} & \alpha_{m\tau} & \beta_{mn} & \beta_{m\ell} & \beta_{m\tau} \\ \alpha_{kn} & \alpha_{k\ell} & \alpha_{k\tau} & \beta_{kn} & \beta_{k\ell} & \beta_{k\tau} \\ \alpha_{tn} & \alpha_{t\ell} & \alpha_{t\tau} & \beta_{tn} & \beta_{t\ell} & \beta_{t\tau} \\ \gamma_{mn} & \gamma_{m\ell} & \gamma_{m\tau} & \delta_{mn} & \delta_{m\ell} & \delta_{m\tau} \\ \gamma_{kn} & \gamma_{k\ell} & \gamma_{k\tau} & \delta_{kn} & \delta_{k\ell} & \delta_{k\tau} \\ \gamma_{tn} & \gamma_{t\ell} & \gamma_{t\tau} & \delta_{tn} & \delta_{t\ell} & \delta_{t\tau} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta P_t \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_t \end{bmatrix}, \quad (19)$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ являются элементами обращенной матрицы, причем обращение данной матрицы целесообразно осуществлять блочным методом.

Согласно постановке задачи, независимые стационарные узлы с индексом $m(n)$ являются типа P-U, при котором можем написать:

$$[\Delta U_m] = 0. \quad (20)$$

В результате матричное выражение (19) примет вид

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um} \\ \Delta\Psi_{uk} \\ \Delta\Psi_{ut} \\ 0 \\ \Delta U_k \\ \Delta U_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \alpha_{m\ell} & \alpha_{m\tau} & \beta_{mn} & \beta_{m\ell} & \beta_{m\tau} \\ \alpha_{kn} & \alpha_{k\ell} & \alpha_{k\tau} & \beta_{kn} & \beta_{k\ell} & \beta_{k\tau} \\ \alpha_{tn} & \alpha_{t\ell} & \alpha_{t\tau} & \beta_{tn} & \beta_{t\ell} & \beta_{t\tau} \\ \gamma_{mn} & \gamma_{m\ell} & \gamma_{m\tau} & \delta_{mn} & \delta_{m\ell} & \delta_{m\tau} \\ \gamma_{kn} & \gamma_{k\ell} & \gamma_{k\tau} & \delta_{kn} & \delta_{k\ell} & \delta_{k\tau} \\ \gamma_{tn} & \gamma_{t\ell} & \gamma_{t\tau} & \delta_{tn} & \delta_{t\ell} & \delta_{t\tau} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta P_t \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_t \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Представим матричное уравнение (21) в виде совокупности следующих трех подматричных уравнений:

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um} \\ \Delta\Psi_{uk} \\ \Delta\Psi_{ut} \\ \Delta U_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \alpha_{m\ell} & \alpha_{m\tau} & \beta_{mn} & \beta_{m\ell} & \beta_{m\tau} \\ \alpha_{kn} & \alpha_{k\ell} & \alpha_{k\tau} & \beta_{kn} & \beta_{k\ell} & \beta_{k\tau} \\ \alpha_{tn} & \alpha_{t\ell} & \alpha_{t\tau} & \beta_{tn} & \beta_{t\ell} & \beta_{t\tau} \\ \gamma_{tn} & \gamma_{t\ell} & \gamma_{t\tau} & \delta_{tn} & \delta_{t\ell} & \delta_{t\tau} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta P_t \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_t \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$[0] = [\gamma_{mn} \mid \gamma_{m\ell} \mid \gamma_{m\tau} \mid \delta_{mn} \mid \delta_{m\ell} \mid \delta_{m\tau}] \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta P_t \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_t \end{bmatrix}, \quad (23)$$

$$[\Delta U_k] = [\gamma_{kn} \mid \gamma_{k\ell} \mid \gamma_{k\tau} \mid \delta_{kn} \mid \delta_{k\ell} \mid \delta_{k\tau}] \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta P_t \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_t \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Рассмотрим матричное выражение (23), представляя его в виде

$$[0] = [\gamma_{mn}] \cdot [\Delta P_m] + [\gamma_{m\ell}] \cdot [\Delta P_k] + [\gamma_{m\tau}] \cdot [\Delta P_t] + [\delta_{mn}] \cdot [\Delta Q_m] + [\delta_{m\ell}] \cdot [\Delta Q_k] + [\delta_{m\tau}] \cdot [\Delta Q_t]. \quad (25)$$

На основании (25) можно установить следующее выражение для ΔQ_m :

$$[\Delta Q_m] = -[\delta_{mn}]^{-1} \cdot [\Delta_{m\tau}], \quad (26)$$

где

$$[\Delta_{m\tau}] = [\gamma_{mn}] \cdot [\Delta P_m] + [\gamma_{m\ell}] \cdot [\Delta P_k] + [\gamma_{m\tau}] \cdot [\Delta P_t] + [\delta_{m\ell}] \cdot [\Delta Q_k] + [\delta_{m\tau}] \cdot [\Delta Q_t]. \quad (27)$$

Поскольку имеются предварительные численные значения

$\Delta P_m, \Delta P_k, \Delta P_t, \Delta Q_k, \Delta Q_t$, то на основании (26) можно установить численные значения реактивных мощностей независимых станционных узлов типа P-U, т.е. индексом $m(n)$:

$$\Delta Q_m (m = 1, 2, \dots, \Gamma_1). \quad (28)$$

Действительные значения реактивных мощностей тех же узлов определяются в виде

$$Q_m = \Delta Q_m + \varphi_{qm}. \quad (29)$$

Затем, имея численное значение ΔU_k , на основании (24), пользуясь пятой строкой выражения (12), устанавливаются численные значения искомым модулей комплексного напряжения станционного узла с индексом $k(\ell) - U_k$:

$$[U]_k^l = [U]_k^0 - [\gamma_{kn} \mid \gamma_{k\ell} \mid \gamma_{kt} \mid \delta_{kn} \mid \delta_{k\ell} \mid \delta_{kt}] \cdot \begin{bmatrix} \frac{\Delta P_m}{\Delta P_k} \\ \frac{\Delta P_t}{\Delta Q_m} \\ \frac{\Delta Q_k}{\Delta Q_t} \end{bmatrix}. \quad (30)$$

или

$$[U]_k^l = [U]_k^0 - [\gamma_{kn}] \cdot [\Delta P_m] + [\gamma_{k\ell}] \cdot [\Delta P_k] + [\gamma_{kt}] \cdot [\Delta P_t] + [\delta_{kn}] \cdot [\Delta Q_m] + [\delta_{k\ell}] \cdot [\Delta Q_k] + [\delta_{kt}] \cdot [\Delta Q_t]. \quad (31)$$

В результате имеем численные значения Q_m и U_k . Проверяем условия их допустимостей:

$$Q_{m,\min} \leq Q_m \leq Q_{m,\max}, \quad (32)$$

$$U_{k,\min} \leq U_k \leq U_{k,\max}. \quad (33)$$

Предположим, что при проверке условия допустимости реактивных мощностей станционных узлов типа P-U согласно (32) и модулей комплексных напряжений станционных узлов типа P-Q согласно (33) обеспечиваются. Это означает, что численные значения реактивных мощностей станционных узлов типа $P_m - U_m, Q_m$ и модули комплексных напряжений станционных узлов типа $P_k - Q_k, U_k$ находятся в пределах допустимости.

Другие искомые режимные параметры определяются на основании следующего выражения:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Psi_{um}}{\Psi_{uk}} \\ \frac{\Psi_{ut}}{U_t} \end{bmatrix}^l = \begin{bmatrix} \frac{\Psi_{um}}{\Psi_{uk}} \\ \frac{\Psi_{ut}}{U_t} \end{bmatrix}^0 - \begin{bmatrix} \frac{\Delta \Psi_{um}}{\Delta \Psi_{uk}} \\ \frac{\Delta \Psi_{ut}}{\Delta U_t} \end{bmatrix}, \quad (34)$$

причем $\Delta\Psi_{um}$, $\Delta\Psi_{uk}$, $\Delta\Psi_{ut}$; ΔU_t определяются на основании (22).

Необходимо отметить, что в конечном итоге задача допустимого установившегося режима ЭЭС при $P_m - U_m$ и $P_k - Q_k$ типах станционных узлов на данной итерации решена. В результате матрица Якоби выражения (13) и, следовательно, матрица Якоби выражения (11) будут допустимыми. Затем, для данной итерации определяются допустимые относительные приросты.

Завершая первую итерацию, переходим к осуществлению последующей итерации, и если при этом условия (32), (33) также удовлетворяются, то решение поставленной задачи продолжается до установления численных значений допустимых относительных приростов.

Решение поставленной задачи считается завершенным, если обеспечиваются условия сходимости:

$$|P_m - [P_{bm} + \varphi_{pm}(P, Q, U, \Psi_u)]| \leq \Delta P_m, \quad |Q_m - [Q_{bm} + \varphi_{qm}(P, Q, U, \Psi_u)]| \leq \Delta Q_m; \quad (35)$$

$$|P_k - [P_{bk} + \varphi_{pk}(P, Q, U, \Psi_u)]| \leq \Delta P_k, \quad |Q_k - [Q_{bk} + \varphi_{qk}(P, Q, U, \Psi_u)]| \leq \Delta Q_k; \quad (36)$$

$$|P_t - [P_{bt} + \varphi_{pt}(P, Q, U, \Psi_u)]| \leq \Delta P_t, \quad |Q_t - [Q_{bt} + \varphi_{qt}(P, Q, U, \Psi_u)]| \leq \Delta Q_t, \quad (37)$$

где ΔP_m , ΔP_k , ΔP_t , ΔQ_m , ΔQ_k , ΔQ_t являются заданными положительными величинами, характеризующими точность установления численных значений искомых режимных переменных.

Для ослабления условия сходимости принимаются следующие допущения:

$$\begin{aligned} \Delta P_m = \Delta P_k = \Delta P_t = \Delta P, \\ \Delta Q_m = \Delta Q_k = \Delta Q_t = \Delta Q. \end{aligned} \quad (38)$$

В других случаях необходимо поступить так, как это предложено в [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Балабекян М.А.** К теории оптимизации режимов больших электроэнергетических систем // Электричество.-1980.-N 10.-С 55-57.
2. **Горнштейн В.М.** Методы оптимизации режимов энергосистем.-М.: Энергоиздат, 1981.-336 с.
3. **Веников В.А.** Электрические системы в примерах и иллюстрациях.-М.: Энергоиздат, 1983.-504 с.
4. **Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А.** Оптимизация режимов электростанций и энергосистем.-М.: Энергоиздат, 1990.-350 с.
5. **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.
6. **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.

7. **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.
8. **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.
9. **Хачатрян В.С., Григорян С.Э.** Метод определения частных производных от потерь активной и реактивной мощностей электроэнергетической системы по активным мощностям станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2006.-Т. 59, N 3.- С. 539-548.
10. **Григорян С.Э.** Метод расчета допустимого установившегося режима электроэнергетической системы // Вестник ИАА.-2006.-Т.3, N 1.-С. 54-65.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.06.2006.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Է. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

P-U ԵՎ P-Q ՏԵՍՔԻ ԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ ԴԵՊԲՈՒՄ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ԹՈՒՑԱՏՐԵԼԻ ՀԱՐԱՐԵՐԱԿԱՆ ԱՃԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Առաջարկվում է հզորության կորուստների հարաբերական աճերի որոշման մեթոդ, երբ կայանային հանգույցների ռեժիմային պարամետրերի վրա դրվում են անհավասարության տեսքի սահմանափակումներ: Դիտարկվում է այն դեպքը, երբ կայանային հանգույցները միաժամանակ կարող են լինել ինչպես P-U, այնպես էլ P-Q տեսքերի:

Առանձնային բառեր. մատրից, հանգույց, մոդել, կայան, կորուստ, հզորություն, մոդուլ, համակարգ, ռեժիմ:

V.S. KHACHATRYAN, S.E.GRIGORYAN

METHOD FOR DEFINING ALLOWABLE RELATIVE GAINS OF CAPACITIES LOSSES AT P-U AND P-Q TYPES OF STATION UNITS

The method for defining relative gains of capacities losses when restrictions are imposed on regime parameters of station units such as inequalities is offered. The case when station units can simultaneously be both such as P-U, and such as P-Q is considered.

Keywords: matrix, unit, model, station, loss, capacity, module, system, mode.