ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXVII, № 2, 1974 Серия технических наук

ЭНЕРГЕТИКА

В. С. ХАЧАТРЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ БОЛЬШИХ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПРИ ЗАДАНИИ $P-Q$ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

В настоящей статье предлагается метод определения относительных приростов потерь в сетях больших энергосистем, основанный на идее их представления как совокупности радиально связанных подсистем [1, 2]. Уравнение состояния сети большой энергосистемы де ее представления как совокупности радиально связанных подсистем представляется с помощью следующего матричного уравнения:

$$\dot U_i = \dot U_{Б} + Z_{ij} \cdot \dot I_j \,. \tag{1}$$

Для составления инвариантного уравнения состояния сети рассматриваемой большой энергосистемы, после ее представления как совокупности радиальных подсистем, необходимо заранее построить расчетную Z-матрицу определенной структуры, принцип построения которой приводится в [2]:

$$\left|\begin{array}{cccc|c} Z_{i_1 j_1} & & & & \Delta Z_{i_1 s_1} \\ & Z_{i_2 j_2} & & & \Delta Z_{i_2 s_2} \\ & & \ddots & & \vdots \\ & & & Z_{i_N j_N} & \Delta Z_{i_N s_N} \\ & & & & \Delta Z \end{array}\right| \tag{2}$$

Расчетная Z-матрица (2) позволяет построить инвариантную систему уравнений большой системы, как совокупности уравнений отдельных подсистем:

$$\dot U_i = \dot U_i(\dot U_{i_1}; \dot U_{i_2}; \dot U_{iN}), \tag{3а}$$

при этом

$$\begin{aligned} \dot U_{i_1} &= \dot U_{Бi_1} + Z_{i_1 j_1} \cdot \dot I_{i_1}, \\ \dot U_{i_2} &= \dot U_{Бi_2} + Z_{i_2 j_2} \cdot \dot I_{j_2}, \\ & \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \dot U_{i_N} &= \dot U_{Бi_N} + Z_{i_N j_N} \cdot \dot I_{j_N} \end{aligned} \tag{3б}$$

Величины $\dot U_{Бi_1}, \dot U_{Бi_2}, \ldots, \dot U_{Бi_N}$ определяются на основании следующих выражений:

$$
\begin{aligned}
&\dot{U}_{\text{Б}i_1} = \dot{U}_{\text{Б}} + Z_{i_1\text{м}_1} \cdot \Delta \dot{I}_{1,\text{N}} + \Delta Z_{i_1s_1} \cdot \dot{I}_{\text{р}};\\
&\dot{U}_{\text{Б}i_2} = \dot{U}_{\text{м}_1} + Z_{i_2\text{м}_2} \cdot \Delta \dot{I}_{2,\text{N}} + \Delta Z_{i_2s_2} \cdot \dot{I}_{\text{р}};\\
&\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\\
&\dot{U}_{\text{Б}i_\text{N}} = \dot{U}_{\text{м}_{\text{N}-1}} + Z_{i_\text{N}\text{м}} \cdot \Delta \dot{I}_{\text{N},\text{N}} + \Delta Z_{i_\text{N}s_\text{N}} \cdot \dot{I}_{\text{р}},
\end{aligned} \tag{4}
$$

где $\dot{U}_{\text{Б}}$ — напряжение исходного единственного базисного узла;

$\dot{U}_{\text{м}_1}$—напряжение узла, принадлежащего первой подсистеме, являющегося базисным для второй подсистемы и т. д.;

$Z_{i_1\text{м}_1}$, $Z_{i_2\text{м}_2}$, . . ., $Z_{i_\text{N}\text{м}}$ —являются последними столбцами Z-матрицы соответственно I, II, . . ., N-ой подсистем. Токи $\Delta\dot{I}_{1,\text{N}}$, $\Delta\dot{I}_{2,\text{N}}$, . . .,$\Delta\dot{I}_{\text{N},\text{N}}$ определяются так:

$$
\begin{aligned}
&\Delta \dot{I}_{1,\text{N}} = \sum_{M_1} \dot{I}_{i_1} + \Delta \dot{I}_{2,\text{N}},\\
&\Delta \dot{I}_{2,\text{N}} = \sum_{M_2} \dot{I}_{i_2} + \Delta \dot{I}_{3,\text{N}},\\
&\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\\
&\Delta \dot{I}_{\text{N},\text{N}} = 0.
\end{aligned} \tag{5}
$$

Подробное описание определения величины $\dot{I}_{\text{р}}$ приводится в [2]. Определяя величины $\dot{U}_{\text{Б}i_1}$, $\dot{U}_{\text{Б}i_2}$, . . ., $\dot{U}_{\text{Б}i_\text{N}}$, систему матричных уравнений (3б) можно рассмотреть, как систему самостоятельных матричных уравнений отдельных подсистем. Потери активной и реактивной мощностей в сетях рассматриваемой большой энергосистемы определяются как совокупность соответствующих потерь отдельных подсистем:

$$\Pi_{\text{а}} = \Pi_{\text{а}}(\Pi_{\text{а}_1}, \Pi_{\text{а}_2}, \ldots, \Pi_{\text{а}_\text{N}}). \tag{6}$$

$$\Pi_{\text{р}} = \Pi_{\text{р}}(\Pi_{\text{р}_1}, \Pi_{\text{р}_2}, \ldots, \Pi_{\text{р}_\text{N}}). \tag{7}$$

Искомые относительные приросты потерь в сетях большой энергосистемы также определяются как совокупность соответствующих относительных приростов отдельных подсистем:

$$\frac{\partial \Pi_{\text{а}}}{\partial P_m} = \frac{\partial \Pi_{\text{а}}}{\partial P_m}\left(\frac{\partial \Pi_{\text{а}_1}}{\partial P_{m_1}}, \frac{\partial \Pi_{\text{а}_2}}{\partial \Pi_{m_2}}, \ldots, \frac{\partial \Pi_{\text{а}_\text{N}}}{\partial \Pi_{m_\text{N}}}\right); \tag{8а}$$

$$\frac{\partial \Pi_{\text{р}}}{\partial P_m} = \frac{\partial \Pi_{\text{р}}}{\partial P_m}\left(\frac{\partial \Pi_{\text{р}_1}}{\partial P_{m_1}}, \frac{\partial \Pi_{\text{р}_2}}{\partial P_{m_2}}, \ldots, \frac{\partial \Pi_{\text{р}_\text{N}}}{\partial P_{m_\text{N}}}\right); \tag{8б}$$

$$\frac{\partial \Pi_{\text{а}}}{\partial Q_m} = \frac{\partial \Pi_{\text{а}}}{\partial Q_m}\left(\frac{\partial \Pi_{\text{а}_1}}{\partial Q_{m_1}}, \frac{\partial \Pi_{\text{а}_2}}{\partial Q_{m_2}}, \ldots, \frac{\partial \Pi_{\text{а}_\text{N}}}{\partial Q_{m_\text{N}}}\right); \tag{9а}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m}=\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m}\left(\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial Q_{m_1}},\ \frac{\partial \Pi_{p_2}}{\partial Q_{m_2}},\ \cdots,\frac{\partial \Pi_{p_N}}{\partial Q_{m_N}}\right). \tag{9б}$$

В вышеприведенных выражениях принимается следующая система индексов:

для станционных узлов $m,\ n=(m_1,\ n_1;\ m_2,\ n_2;\ \cdots;\ m_N,\ n_N)$,

для нагрузочных узлов $k,\ g=(k_1,\ g_1;\ k_2,\ g_2;\ \cdots;\ k_N,\ g_N)$,

для произвольных узлов $i,\ j=(i_1,\ j_1;\ i_2,\ j_2;\ \cdots;\ i_N,\ j_N)$.

Предполагается, что число станционных и нагрузочных узлов в каждой подсистеме составляют соответственно: $\Gamma_1,\ H_1\ (\Gamma_1+H_1=M_1)$; $\Gamma_2,\ H_2\ (\Gamma_2+H_2=M_2)$; $\cdots$; $\Gamma_N,\ H_N\ (\Gamma_N+H_N=M_N)$.
В явновыраженной форме выражения для определения потерь мощностей в сетях отдельных подсистем имеют следующий вид:

$$\Pi_{a_1}+j\Pi_{p_1}=\sum_{i_1=1}^{M_1}\sum_{j_1=1}^{M_1}\hat{I}_{i_1}\cdot Z_{i_1j_1}\dot{I}_{j_1}+\sum_{j_1=1}^{M_1}\dot{U}_{0j_1}\hat{I}_{j_1}; \tag{10}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\Pi_{a_N}+j\Pi_{p_N}=\sum_{i_N=1}^{M_N}\sum_{j_N=1}^{M_N}\hat{I}_{i_N}Z_{i_Nj_N}\dot{I}_{j_N}+\sum_{j_N=1}^{M_N}\dot{U}_{0j_N}\hat{I}_{j_N}. \tag{11}$$

В выражениях (10) ÷ (11):

$$\dot{U}_{0j_1}=\dot{U}_{Бj_1}-\dot{U}_Б;$$

$$\cdots\cdots\cdots$$

$$\dot{U}_{0j_N}=\dot{U}_{Бj_N}-\dot{U}_Б. \tag{12}$$

Искомые частные производные определяются с помощью следующих выражений:

$$\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial P_{m_1}}=\left(\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial P_{m_1}}\right)+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial U_{j_1}}\cdot\frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}}+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial \psi_{j_1}}\cdot\frac{\partial \psi_{j_1}}{\partial P_{m_1}}; \tag{13}$$

$$\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial P_{m_1}}=\left(\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial P_{m_1}}\right)+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial U_{j_1}}\cdot\frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}}+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial \psi_{j_1}}\cdot\frac{\partial \psi_{j_1}}{\partial Q_{m_1}}; \tag{14}$$

$$\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial Q_{m_1}}=\left(\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial Q_{m_1}}\right)+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial U_{j_1}}\cdot\frac{\partial U_{j_1}}{\partial Q_{m_1}}+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial \psi_{j_1}}\cdot\frac{\partial \psi_{j_1}}{\partial Q_{m_1}}; \tag{15}$$

$$\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial Q_{m_1}}=\left(\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial Q_{m_1}}\right)+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial U_{j_1}}\cdot\frac{\partial U_{j_1}}{\partial Q_{m_1}}+\sum_{j_1=1}^{M_1}\frac{\partial \Pi_{p_1}}{\partial \psi_{j_1}}\cdot\frac{\partial \psi_{j_1}}{\partial Q_{m_1}}. \tag{16}$$

Аналогичные выражения для определения значений искомых частных производных можно написать для остальных подсистем.

Частные производные от потерь активной и реактивной мощностей ($\Pi_а$, $\Pi_р$) по режимным параметрам (P, Q, U, ψ) определяются непосредственно из аналитических выражений (10)÷(11):

$$\left(\frac{\partial \Pi_{а_1}}{\partial P_{m_1}}\right) = A_{i_1} + 2\sum_{j_1=1}^{M_1} R_{m_1 j_1} \cdot \alpha_{m_1 j_1}; \qquad (17а)$$

$$\left(\frac{\partial \Pi_{р_1}}{\partial P_{m_1}}\right) = A'_{i_1} + 2\sum_{j_1=1}^{M_1} X_{m_1 j_1} \cdot \alpha_{m_1 j_1}; \qquad (17б)$$

$$\left(\frac{\partial \Pi_{а_1}}{\partial Q_{m_1}}\right) = B_{i_1} + 2\sum_{j_1=1}^{M_1} R_{m_1 j_1} \cdot \beta_{i_1 j_1}; \qquad (17в)$$

$$\left(\frac{\partial \Pi_{р_1}}{\partial Q_{m_1}}\right) = B'_{i_1} + 2\sum_{j_1=1}^{M_1} X_{m_1 j_1} \cdot \beta_{m_1 j_1}; \qquad (17г)$$

$$\frac{\partial \Pi_{а_1}}{\partial U_{j_1}} = C_{j_1} - \frac{2}{U_{j_1}}\sum_{j_1=1}^{M_1} R_{j_1 i_1} \cdot A_{j_1 i_1}; \qquad (18а)$$

$$\frac{\partial \Pi_{р_1}}{\partial U_{j_1}} = C'_{j_1} - \frac{2}{U_{j_1}}\sum_{j_1=1}^{M_1} X_{j_1 i_1} \cdot A_{j_1 i_1}; \qquad (18б)$$

$$\frac{\partial \Pi_{а_1}}{\partial \psi_{j_1}} = D_{j_1} - 2\sum_{i_1=1}^{M_1} R_{j_1 i_1} \cdot B_{j_1 i_1}; \qquad (19а)$$

$$\frac{\partial \Pi_{р_1}}{\partial \psi_{j_1}} = D'_{j_1} - 2\sum_{i_1=1}^{M_1} X_{j_1 i_1} \cdot B_{j_1 i_1}. \qquad (19б)$$

В этих выражениях:

$$A_{i_1} = -\frac{1}{U_{i_1}}(U_{0ai_1}\cos\psi_{i_1} + U_{0pi_1}\sin\psi_{i_1}); \qquad (20а)$$

$$A'_{i_1} = -\frac{1}{U_{i_1}}(U_{0ai_1}\sin\psi_{i_1} - U_{0pi_1}\cos\psi_{i_1}); \qquad (20б)$$

$$B_{i_1} = \frac{1}{U_{i_1}}(U_{0ai_1}\sin\psi_{i_1} - U_{0pi_1}\cos\psi_{i_1}); \qquad (21а)$$

$$B'_{i_1} = \frac{1}{U_{i_1}}(U_{0ai_1}\cos\psi_{i_1} + U_{0pi_1}\sin\psi_{i_1}); \qquad (21б)$$

$$C_{j_1} = -\frac{1}{U^2_{j_1}}(U_{0aj_1}\text{Н}_{j_1} + U_{0pj_1}\text{К}_{j_1}); \qquad (22а)$$

$$C'_{j_1} = \frac{1}{U^2_{j_1}}(U_{0aj_1}\text{К}_{j_1} - U_{0pj_1}\text{Н}_{j_1}); \qquad (22б)$$

$$D_{j_1} = -\frac{1}{U_{j_1}}(U_{0aj_1}\text{К}_{j_1} - U_{0pj_1}\text{Н}_{j_1}); \qquad (23а)$$

$$D'_{j_1} = -\frac{1}{U_{j_1}}(U_{0aj_1}\text{Н}_{j_1} + U_{0pj_1}\text{К}_{j_1}); \qquad (23б)$$

$$A_{j_1 i_1} = \frac{1}{U_{j_1} U_{i_1}} \left[(P_{j_1} P_{i_1} + Q_{j_1} Q_{i_1}) \cos(\psi_{j_1} - \psi_{i_1}) + (Q_{j_1} P_{i_1} - P_{j_1} Q_{i_1}) \sin(\psi_{j_1} - \psi_{i_1}) \right]; \tag{24а}$$

$$B_{j_1 i_1} = \frac{1}{U_{j_1} U_{i_1}} \left[(P_{j_1} P_{i_1} + Q_{j_1} Q_{i_1}) \sin(\psi_{j_1} - \psi_{i_1}) - (Q_{j_1} P_{i_1} - P_{j_1} Q_{i_1}) \cos(\psi_{j_1} - \psi_{i_1}) \right]; \tag{24б}$$

$$\alpha_{m_1 j_1} = \frac{1}{U_{m_1} U_{j_1}} \left[P_{j_1} \cos(\psi_{m_1} - \psi_{j_1}) - Q_{j_1} \sin(\psi_{m_1} - \psi_{j_1}) \right]; \tag{25а}$$

$$\beta_{m_1 j_1} = \frac{1}{U_{m_1} U_{j_1}} \left[P_{j_1} \sin(\psi_{m_1} - \psi_{j_1}) + Q_{j_1} \cos(\psi_{m_1} - \psi_{j_1}) \right]; \tag{25б}$$

$$\mathrm{H}_{i_1} = P_{i_1} \cos\psi_{i_1} + Q_{i_1} \sin\psi_{i_1}; \tag{26а}$$

$$\mathrm{K}_{i_1} = P_{i_1} \sin\psi_{i_1} - Q_{i_1} \cos\psi_{i_1}. \tag{26б}$$

С другой стороны:

$$U_{0ai_1} = \mathrm{Re}(\dot{U}_{0i_1}); \qquad U_{0pi_1} = \mathrm{Im}(\dot{U}_{0i_1}). \tag{27}$$

Для определения частных производных типа $\frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}}$, $\frac{\partial \psi_{j_1}}{\partial P_{m_1}}$ и $\frac{\partial U_{j_1}}{\partial Q_{m_1}}$, $\frac{\partial \psi_j}{\partial Q_{m_1}}$ необходимо пользоваться выражением узловых активных и реактивных мощностей отдельных подсистем:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_{pi_1}(P, Q, U, \psi) &= 0, \\ \Phi_{qi_1}(P, Q, U, \psi) &= 0. \end{aligned}\right\} \tag{28}$$

$$\left.\begin{aligned} \Phi_{pi_2}(P, Q, U, \psi) &= 0, \\ \Phi_{qi_2}(P, Q, U, \psi) &= 0. \end{aligned}\right\} \tag{29}$$

. . . .

$$\left.\begin{aligned} \Phi_{pi_N}(P, Q, U, \psi) &= 0, \\ \Phi_{qi_N}(P, Q, U, \psi) &= 0. \end{aligned}\right\} \tag{30}$$

Здесь

$\Phi_{pi_1}, \Phi_{pi_2}, \ldots, \Phi_{pi_N}$ — неявные функции, имеющие размерность активной мощности;

$\Phi_{qi_1}, \Phi_{qi_2}, \ldots, \Phi_{qi_N}$ — неявные функции, имеющие размерность реактивной мощности. Относительно функций (28) ÷ (30) можно написать:

$$\begin{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial U_{j_1}} & \frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial\varphi_{j_1}} \\ \frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial U_{j_1}} & \frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial\varphi_{j_1}} \end{vmatrix} & & \\ & \ddots & \\ & & \begin{vmatrix} \frac{\partial\Phi_{pl_N}}{\partial U_{j_N}} & \frac{\partial\Phi_{pl_N}}{\partial\varphi_{j_N}} \\ \frac{\partial\Phi_{ql_N}}{\partial U_{j_N}} & \frac{\partial\Phi_{ql_N}}{\partial\varphi_{j_N}} \end{vmatrix} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \frac{\partial\varphi_{j_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \vdots \\ \frac{\partial U_{j_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \frac{\partial\varphi_{j_N}}{\partial P_{m_N}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{\partial\Phi_{p_1}}{\partial P_{m_1}} \\ -\frac{\partial\Phi_{q_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \vdots \\ -\frac{\partial\Phi_{pN}}{\partial P_{m_N}} \\ -\frac{\partial\Phi_{qN}}{\partial\varphi_{j_N}} \end{vmatrix}, \qquad (31)$$

. . . .

$$\begin{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial U_{j_1}} & \frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial\varphi_{j_1}} \\ \frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial U_{j_1}} & \frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial\varphi_{j_1}} \end{vmatrix} & & \\ & \ddots & \\ & & \begin{vmatrix} \frac{\partial\Phi_{pl_N}}{\partial U_{j_N}} & \frac{\partial\Phi_{pl_N}}{\partial\varphi_{j_N}} \\ \frac{\partial\Phi_{ql_N}}{\partial U_{j_N}} & \frac{\partial\Phi_{ql_N}}{\partial\varphi_{j_N}} \end{vmatrix} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \frac{\partial U_{j_1}}{\partial Q_{m_1}} \\ \frac{\partial\varphi_{j_1}}{\partial Q_{m_1}} \\ \vdots \\ \frac{\partial U_{j_N}}{\partial Q_{m_N}} \\ \frac{\partial\varphi_{j_N}}{\partial Q_{m_N}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial Q_{m_1}} \\ -\frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial Q_{m_1}} \\ \vdots \\ -\frac{\partial\Phi_{pl_N}}{\partial Q_{m_N}} \\ -\frac{\partial\Phi_{ql_N}}{\partial Q_{m_N}} \end{vmatrix}. \qquad (32)$$

Полученные выражения (31) и (32) показывают, что при определении частичных производных типа $\frac{\partial U_j}{\partial P_m}$, $\frac{\partial\varphi_j}{\partial P_m}$ и $\frac{\partial U_j}{\partial Q_m}$, $\frac{\partial\varphi_j}{\partial Q_m}$ вместо обращения одной матрицы большого порядка M обращается N матриц меньших порядков ($M_1, M_2, \ldots, M_N$), что и приводит к резкому уменьшению требуемого числа вычислительных операций. Из выражений (31) и (32) нетрудно заметить, что, как при определении частных производных типа $\frac{\partial U_j}{\partial P_m}$, $\frac{\partial\varphi_j}{\partial P_m}$, так и $\frac{\partial U_j}{\partial Q_m}$, $\frac{\partial\varphi_j}{\partial Q_m}$ необходимо построить одну и ту же матрицу Якоби.

Искомые частные производные определяются следующим образом

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \frac{\partial\varphi_{j_1}}{\partial P_{m_1}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial U_{j_1}} & \frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial\varphi_{j_1}} \\ \frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial U_{j_1}} & \frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial\varphi_{j_1}} \end{vmatrix}^{-1} \times \begin{vmatrix} -\frac{\partial\Phi_{pl_1}}{\partial P_{m_1}} \\ -\frac{\partial\Phi_{ql_1}}{\partial P_{m_1}} \end{vmatrix}, \qquad (33a)$$

. . . .

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial U_{j_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \dfrac{\partial \psi_{j_N}}{\partial P_{m_N}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pi_N}}{\partial U_{j_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pi_N}}{\partial \psi_{j_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qi_N}}{\partial U_{j_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qi_N}}{\partial \psi_{j_N}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -\dfrac{\partial \Phi_{pi_N}}{\partial P_{m_N}} \\ -\dfrac{\partial \Phi_{qi_N}}{\partial P_{m_N}} \end{bmatrix}, \tag{33б}$$

. . . .

. . . .

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial U_{j_1}}{\partial Q_{m_1}} \\ \dfrac{\partial \psi_{j_1}}{\partial Q_{m_1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial U_{j_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial \psi_{j_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial U_{j_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial \psi_{j_1}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -\dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial Q_{m_1}} \\ -\dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial Q_{m_1}} \end{bmatrix}, \tag{34а}$$

. . . .

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial U_{j_N}}{\partial Q_{m_N}} \\ \dfrac{\partial \psi_{j_N}}{\partial Q_{m_N}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pi_N}}{\partial U_{j_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pi_N}}{\partial \psi_{j_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qi_N}}{\partial U_{j_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qi_N}}{\partial \psi_{j_N}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -\dfrac{\partial \Phi_{pi_N}}{\partial Q_{m_N}} \\ -\dfrac{\partial \Phi_{qi_N}}{\partial Q_{m_N}} \end{bmatrix}. \tag{34б}$$

Для определения частных производных, входящих в вышеприведенные матричные уравнения, необходимо пользоваться системами уравнений (28) ÷ (30), записанных в явновыраженной форме:

$$\Phi_{pi_1}(P, Q, U, \psi) = \frac{1}{U_{i_1}} (U_{\text{Ба}i_1} \text{H}_{i_1} + U_{\text{Бр}i_1} \text{K}_{i_1}) - \gamma_{i_1 i_1} - P_{i_1} = 0, \tag{35а}$$

$$\Phi_{qi_1}(P, Q, U, \psi) = -\frac{1}{U_{i_1}} (U_{\text{Ба}i_1} \text{K}_{i_1} - U_{\text{Бр}i_1} \text{H}_{i_1}) + \delta_{i_1 i_1} - Q_i = 0. \tag{35б}$$

При одинаковых индексах

$$\frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial U_{i_1}} = -\frac{P_{i_1}^2 + Q_{i_1}^2}{U_{i_1}^2} R_{i_1 i_1} - \frac{P_{i_1}}{U_{i_1}}; \tag{36а}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial \psi_{i_1}} = -\frac{P_{i_1}^2 + Q_{i_1}^2}{U_{i_1}^2} X_{i_1 i_1} + Q_{i_1}; \tag{36б}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial U_{i_1}} = -\frac{P_{i_1}^2 + Q_{i_1}^2}{U_{i_1}^2} X_{i_1 i_1} - \frac{Q_{i_1}}{U_{i_1}}; \tag{37а}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial \psi_{i_1}} = \frac{P_{i_1}^2 + Q_{i_1}^2}{U_{i_1}^2} R_{i_1 i_1} - P_{i_1}; \tag{37б}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial P_{i_1}} = \frac{1}{U_{i_1}} (U_{\text{Ба}i_1} \cos \psi_{i_1} + U_{\text{Бр}i_1} \sin \psi_{i_1}) + \frac{2P_{i_1}}{U_{i_1}^2} R_{i_1 i_1} + \zeta_{i_1 i_1} - 1; \tag{38а}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial Q_{i_1}} = \frac{1}{U_{i_1}} (U_{\text{Ба}i_1} \sin \psi_{i_1} - U_{\text{Бр}i_1} \cos \psi_{i_1}) + \frac{2Q_{i_1}}{U_{i_1}^2} R_{i_1 i_1} + \Theta_{i_1 i_1}; \tag{38б}$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial P_{i_1}} = -\frac{1}{U_{i_1}}\left(U_{\text{Б}ai_1}\sin\psi_{i_1} - U_{\text{Б}pi_1}\cos\psi_{i_1}\right) + \frac{2P_{i_1}}{U_{i_1}^2} X_{i_1i_1} - \Theta_{i_1i_1}; \tag{39а}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial Q_{i_1}} = \frac{1}{U_{i_1}}\left(U_{\text{Б}ai_1}\sin\psi_{i_1} + U_{\text{Б}pi_1}\sin\psi_{i_1}\right) + \frac{2Q_{i_1}}{U_{i_1}^2} X_{i_1i_1} + \xi_{i_1i_1} - 1. \tag{39б}$$

Частные производные при неодинаковых индексах ($i \neq j$) и величины γ_{ij}, δ_{ij}, ξ_{ij} и Θ_{ij} определяются аналогичными выражениями, приведенными в [1]. После определения значений частных производных типа $\frac{\partial U_i}{\partial P_m}$, $\frac{\partial \psi_i}{\partial P_m}$ и $\frac{\partial U_i}{\partial Q_m}$, $\frac{\partial \psi_i}{\partial Q_m}$ нетрудно установить значения искомых относительных приростов.

Пример расчета. Для иллюстрации предложенного метода расчета относительных приростов или частных производных от потерь активной мощности по активным мощностям отдельных станционных узлов рассмотрим схему замещения одной энергосистемы, состоящей из десяти узлов [2]. После удаления трех связывающих ветвей, данная схема представляется как совокупность радиально связанных трех подсистем. Для определения значений искомых частных производных необходимо построить расчетную Z-матрицу для полученной конфигурации схемы.

Численные значения элементов расчетной Z-матрицы исследуемой схемы замещения приведены в [2], на основании которых будем устанавливать искомые частные производные. Рассматриваемая схема характеризуется значениями узловых режимных параметров, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Значения узловых режимных параметров

Узлы	Подсистемы	*P, Мвт*	*Q, Мвар*	*U, кв*	ψ
ЭС−0		150,19	89,91	220,00	0°0′
ЭН−1	I	110,00	50,00	210,13	−1°40′
ЭС−2		106,00	92,46	215,11	−0°50′
ЭН−3		60,00	28,00	211,92	−1°30′
ЭН−4		104,00	51,00	208,79	−1°55′
ЭС−5	II	85,00	−71,10	210,27	−0°14′
ЭН−6		100,00	48,00	208,31	−2°9′
ЭС−7		60,00	136,70	215,26	−2°27′
ЭН−8	III	94,00	45,00	210,13	−2°41′
ЭН−9		80,00	−5,80	212,21	−1°23′

При помощи режимных параметров подсчитаны численные значения искомых частных производных, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

$\frac{\partial П_н}{\partial P_2}$	$\frac{\partial П_н}{\partial P_5}$	$\frac{\partial П_н}{\partial P_7}$	$\frac{\partial П_н}{\partial P_0}$
−0,042457	0,024563	−0,061602	−0,059678

На основании предложенного метода составлена программа на АЦВМ «УРАЛ-14Д», которая является составной частью общей программы оптимизации установившихся режимов больших энергосистем. Приведенный пример является результатом расчета с помощью составленной программы. Программа позволяет, при использовании только оперативной памяти АЦВМ, решить поставленную задачу для электроэнергетических систем, состоящих из 400—500 узлов.

Выводы

1. Предложенный метод позволяет резко увеличить порядок решаемой задачи в результате минимизации исходной информации, вводимой в память машины.

2. Объем вычислительных работ уменьшается пропорционально числу подсистем рассматриваемой энергосистемы.

АрмНИИЭ

Поступило 21.I.1974

Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՄԵԾ ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆ ԱՃԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ՝ ԵՐԲ ՏՐՎԱԾ ԵՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ P-Q ՌԵԺԻՄԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԸ

Ամփոփում

Հոդվածում առաջարկվում է էլեկտրական ցանցերում ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների կորուստների հարաբերական աճերի որոշման մեթոդ՝ երբ մեծ էներգահամակարգը ներկայացված է որպես շառավղայնորեն միմյանց միացված ենթահամակարգերի ամբողջություն։ Առաջարկվող մեթոդը բարձր կարգի մեկ մատրիցայի շրջումը ցածր կարգեր ունեցող մի շարք մատրիցաների շրջումով փոխարինելու հնարավորություն է ընձեռնում, որը բերում է պահանջվող հաշվողական օպերացիաների թվի խիստ կրճատման։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хачатрян В. С.* Метод расчета частных производных от потерь активной и реактивной мощности по активным мощностям отдельных станционных узлов. «Известия ВУЗ. Энергетика», 1971, № 5.

2. *Хачатрян В. С.* Метод и алгоритм расчета установившихся режимов больших электроэнергетических систем. «Известия АН СССР. Энергетика и транспорт», 1973, № 4.