ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2005. Т. LVIII, № 2.

УДК 621.311 ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, М.А. МНАЦАКАНЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Предлагается новый метод определения допустимых частных производных от потерь активной мощности по активным мощностям станционных узлов как результат расчета допустимого установившегося режима ЭЭС методом декомпозиции. Рассматривается случай, когда относительно независимых станционных узлов в качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности.

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

Как известно, при построении математической модели и оптимизации режима электроэнергетической системы (ЭЭС) важное место занимает учет состояния сети в виде функции потерь мощностей [1-5]. Из необходимого условия минимума целевой функции в последующих нелинейных алгебраических уравнениях оптимизации режима ЭЭС получаются выражения относительных приростов потерь в виде частных производных от потерь мощности по мощностям станционных узлов. Для определения допустимых оптимальных режимов ЭЭС необходимо обеспечить допустимость относительных приростов потерь мощностей.

В настоящей работе впервые ставится задача определения допустимых относительных приростов потерь активной мощности большой ЭЭС (БЭЭС) при P-Q типе станционных узлов методом декомпозиции.

Постановка задачи. Рассматривается БЭЭС, которая состоит из N электрически связанных подсистем и характеризуется M+1 узловыми точками. Каждая подсистема состоит из $M_1, M_2, \ldots, M_N$ узлов так, что $M_1 + M_2 + \cdots + M_N = M$. Один из станционных узлов выбирается базисным по напряжению и балансирующим по мощностям.

После удаления соответствующего количества межподсистемных связей БЭЭС представляется как совокупность N радиально связанных подсистем.

Принимается следующая система индексов:

- для станционных узлов:

$$m, n = (m_1, n_1; m_2, n_2; \ldots; m_N, n_N);$$

- для нагрузочных узлов:

$$k, \ell = (k_1, \ell_1; k_2, \ell_2; \ldots; k_N, \ell_N);$$

- для произвольных узлов, которые могут быть как станционными, так и нагрузочными:

$$i, j = (i_1\,,\ j_1\,;\ i_2\,,\ j_2\,;\ \ldots;\ i_N\,,\ j_N).$$

При этом математическая модель БЭЭС для определения допустимых относительных приростов потерь мощностей представляется в виде

$$\ddot{I}_{\ a} = (\ddot{I}_{\ a1}\,,\ \ddot{I}_{\ a2}\,,\ \ldots,\ \ddot{I}_{\ aN}), \tag{1}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|}
\hline
\begin{array}{l}\Phi_{pi_1}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\\ \Phi_{qi_1}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\end{array} & & & \\
\hline
 & \begin{array}{l}\Phi_{pi_2}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\\ \Phi_{qi_2}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\end{array} & & \\
\hline
 & & \ldots & \\
\hline
 & & & \begin{array}{l}\Phi_{pi_N}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\\ \Phi_{qi_N}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\end{array} \\
\hline
\end{array}\ , \tag{2}$$

$$U_{m_1,min} \le U_{m_1} \le U_{m_1,max}\,, \qquad Q_{m_1,min} \le Q_{m_1} \le Q_{m_1,max}\,; \tag{3}$$

$$U_{m_2,min} \le U_{m_2} \le U_{m_2,max}\,, \qquad Q_{m_2,min} \le Q_{m_2} \le Q_{m_2,max}\,; \tag{4}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$U_{m_N,min} \le U_{m_N} \le U_{m_N,max}\,, \qquad Q_{m_N,min} \le Q_{m_N} \le Q_{m_N,max}\,. \tag{5}$$

Здесь $\ddot{I}_{\ a1}\,,\ \ddot{I}_{\ a2}\,,\ \ldots,\ \ddot{I}_{\ aN}$ - функции потерь активных мощностей радиально связанных подсистем; в (2) приведены системы нелинейных алгебраических уравнений установившихся режимов отдельных подсистем, представленных в неявновыраженных формах; (3)-(5) изображают ограничения типа неравенств, налагаемые на режимные параметры станционных узлов.

Решение задачи. Представим математическую модель БЭЭС (1)-(5) как совокупность математических моделей отдельных подсистем:

- для первой подсистемы:

$$\ddot{I}_{a1} = \ddot{I}_{a1}(P,\ Q,\ U\,,\ \Psi_u), \tag{6}$$

$$\begin{array}{ll}\Phi_{pm_1}(P,\ Q,\ U\,,\ \Psi_u) = 0, & \Phi_{pk_1}(P,\ Q,\ U\,,\ \Psi_u) = 0,\\ \Phi_{qm_1}(P,\ Q,\ U\,,\ \Psi_u) = 0, & \Phi_{qk_1}(P,\ Q,\ U\,,\ \Psi_u) = 0,\end{array} \tag{7}$$

$$U_{m_1,min} \le U_{m_1} \le U_{m_1,max}\,, \qquad Q_{m_1,min} \le Q_{m_1} \le Q_{m_1,max}\,; \tag{8}$$

- для второй подсистемы:

$$\ddot{I}_{\ a2} = \ddot{I}_{\ a2}(P,\ Q,\ U\,,\ \Psi_u), \tag{9}$$

$$\begin{gathered}\Phi_{pm_2}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \quad \Phi_{pk_2}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \\ \Phi_{qm_2}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \quad \Phi_{qk_2}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\end{gathered} \tag{10}$$

$$U_{m_2,\min} \le U_{m_2} \le U_{m_2,\max}, \quad Q_{m_2,\min} \le Q_{m_2} \le Q_{m_2,\max}; \tag{11}$$

- для N-й подсистемы:

$$\text{Ï}_{aN} = \text{Ï}_{aN}(P, Q, U, \Psi_u), \tag{12}$$

$$\begin{gathered}\Phi_{pm_N}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \quad \Phi_{pk_N}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \\ \Phi_{qm_N}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \quad \Phi_{qk_N}(P, Q, U, \Psi_u) = 0,\end{gathered} \tag{13}$$

$$U_{m_N,\min} \le U_{m_N} \le U_{m_N,\max}, \; Q_{m_N,\min} \le Q_{m_N} \le Q_{m_N,\max}. \tag{14}$$

Аналитические выражения потерь мощностей приводятся в [1-3].

Теперь рассмотрим решение задачи для отдельных подсистем, т.е. математическую модель (6)-(8) первой подсистемы. В зависимости от исходной информации относительно независимых станционных узлов, выражения относительных приростов потерь активной мощности по активным мощностям представляются в соответствующей форме.

В настоящей работе рассматривается случай, когда станционные узлы являются типа P-Q, т.е. относительно них в качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности. Соответствующее выражение относительных приростов потерь имеет вид

$$\frac{\partial \text{Ï}_{\text{à}1}}{\partial P_{m_1}} = \left(\frac{\partial \text{Ï}_{\text{à}1}}{\partial P_{m_1}}\right) + \sum_{j_1=1}^{M_1} \frac{\partial \text{Ï}_{\text{à}1}}{\partial U_{j_1}} \frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}} + \sum_{j_1=1}^{M_1} \frac{\partial \text{Ï}_{\text{à}1}}{\partial \Psi_{uj_1}} \frac{\partial \Psi_{uj_1}}{\partial P_{m_1}}. \tag{15}$$

С другой стороны, относительно системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима можно написать следующую систему уравнений:

$$\begin{gathered}\left(\frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial P_{m_1}}\right) + \sum_{j_1=1}^{M_1} \frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial U_{j_1}} \frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}} + \sum_{j_1=1}^{M_1} \frac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial \Psi_{uj_1}} \frac{\partial \Psi_{uj_1}}{\partial P_{m_1}} = 0, \\ \left(\frac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial P_{m_1}}\right) + \sum_{j_1=1}^{M_1} \frac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial U_{j_1}} \frac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}} + \sum_{j_1=1}^{M_1} \frac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial \Psi_{uj_1}} \frac{\partial \Psi_{uj_1}}{\partial P_{m_1}} = 0.\end{gathered} \tag{16}$$

Представим систему уравнений (16) в виде матричного уравнения

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial \Psi_{uj_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial U_{j_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial \Psi_{uj_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial U_{j_1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Psi_{uj_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial P_{m_1}} \end{bmatrix}. \tag{17}$$

Из матричного уравнения (17) можно определить столбцовую матрицу искомых частных производных $\partial \Psi_{uj_1} / \partial P_{m_1}$ и $\partial U_{j_1} / \partial P_{m_1}$:

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Psi_{uj_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial U_{j_1}}{\partial P_{m_1}} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial \Psi_{uj_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial U_{j_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial \Psi_{uj_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial U_{j_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pi_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qi_1}}{\partial P_{m_1}} \end{bmatrix}. \tag{18}$$

Аналитические выражения частных производных $\left(\partial \text{Ï}_{a1} / \partial P_{m_1}\right)$, $\partial \text{Ï}_{a1} / \partial U_{j_1}$, $\partial \text{Ï}_{a1} / \partial \Psi_{uj_1}$, а также $\partial \Phi_{pi_1} / \partial P_{m_1}$, $\partial \Phi_{qi_1} / \partial P_{m_1}$ подробно приводятся в [3].

Рассмотрим вопрос определения допустимых относительных приростов потерь активной мощности, определяемых формулой (15).

Матричное уравнение (18) в подробной форме можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Psi_{un_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial \Psi_{uk_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial U_{n_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial U_{k_1}}{\partial P_{m_1}} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial U_{\ell_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial U_{\ell_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial U_{\ell_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qk_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qk_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qk_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial \Phi_{qk_1}}{\partial U_{\ell_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pn_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial P_{m_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qn_1}}{\partial P_{n_1}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qk_1}}{\partial P_{m_1}} \end{bmatrix}. \tag{19}$$

Рассмотрим решение системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (7) методом Ньютона-Рафсона, при котором соответствующее рекуррентное выражение имеет вид

$$\begin{bmatrix} \Psi_{um_1} \\ \hdashline \Psi_{uk_1} \\ \hline U_{m_1} \\ \hdashline U_{k_1} \end{bmatrix}^{\text{È}+1} = \begin{bmatrix} \Psi_{um_1} \\ \hdashline \Psi_{uk_1} \\ \hline U_{m_1} \\ \hdashline U_{k_1} \end{bmatrix}^{\text{È}} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_1} \\ \hdashline \Delta\Psi_{uk_1} \\ \hline \Delta U_{m_1} \\ \hdashline \Delta U_{k_1} \end{bmatrix}, \qquad (20)$$

где И - номер итерации.

Вторая столбцовая матрица правой части рекуррентного выражения (20) определяется на основании следующего матричного выражения:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{m_1} \\ \hdashline \Delta P_{k_1} \\ \hline \Delta Q_{m_1} \\ \hdashline \Delta Q_{k_1} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c:c|c:c} \dfrac{\partial\Phi_{pm_1}}{\partial\Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pm_1}}{\partial\Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pm_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pm_1}}{\partial U_{\ell_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial\Phi_{pk_1}}{\partial\Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pk_1}}{\partial\Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pk_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pk_1}}{\partial U_{\ell_1}} \\ \hline \dfrac{\partial\Phi_{qm_1}}{\partial\Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{qm_1}}{\partial\Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pm_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{qm_1}}{\partial U_{\ell_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial\Phi_{qk_1}}{\partial\Psi_{un_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{qk_1}}{\partial\Psi_{u\ell_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{pk_1}}{\partial U_{n_1}} & \dfrac{\partial\Phi_{qk_1}}{\partial U_{\ell_1}} \end{array}\right] \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_1} \\ \hdashline \Delta\Psi_{uk_1} \\ \hline \Delta U_{m_1} \\ \hdashline \Delta U_{k_1} \end{bmatrix}, \qquad (21)$$

где ΔP_{m_1}, ΔP_{k_1}, ΔQ_{m_1}, ΔQ_{k_1} - приращения соответствующих режимных параметров независимых узлов первой подсистемы.

Выражения частных производных, входящих в матрицу Якоби (21), определяются на основании (7), аналитические выражения которых приведены в [5] в виде систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (20) и (21).

Искомая столбцовая матрица приращений режимных параметров имеет вид

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_1} \\ \hdashline \Delta\Psi_{uk_1} \\ \hline \Delta U_{m_1} \\ \hdashline \Delta U_{k_1} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c:c|c:c} a_{m_1n_1} & a_{m_1\ell_1} & b_{m_1n_1} & b_{m_1\ell_1} \\ \hdashline a_{k_1n_1} & a_{k_1\ell_1} & b_{k_1n_1} & b_{k_1\ell_1} \\ \hline c_{m_1n_1} & c_{m_1\ell_1} & d_{m_1n_1} & d_{m_1\ell_1} \\ \hdashline c_{k_1n_1} & c_{k_1\ell_1} & d_{k_1n_1} & d_{k_1\ell_1} \end{array}\right] \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_{m_1} \\ \hdashline \Delta P_{k_1} \\ \hline \Delta Q_{m_1} \\ \hdashline \Delta Q_{k_1} \end{bmatrix}, \qquad (22)$$

где a, b, c, и d - элементы обращенной матрицы.

Предположим, что относительно независимых станционных узлов задаются активные мощности и модули комплексных напряжений. Тогда матричное выражение (22) примет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_1} \\ \hdashline \Delta\Psi_{uk_1} \\ \hline 0 \\ \hdashline \Delta U_{k_1} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c:c|c:c} a_{m_1n_1} & a_{m_1\ell_1} & b_{m_1n_1} & b_{m_1\ell_1} \\ \hdashline a_{k_1n_1} & a_{k_1\ell_1} & b_{k_1n_1} & b_{k_1\ell_1} \\ \hline c_{m_1n_1} & c_{m_1\ell_1} & d_{m_1n_1} & d_{m_1\ell_1} \\ \hdashline c_{k_1n_1} & c_{k_1\ell_1} & d_{k_1n_1} & d_{k_1\ell_1} \end{array}\right] \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_{m_1} \\ \hdashline \Delta P_{k_1} \\ \hline \Delta Q_{m_1} \\ \hdashline \Delta Q_{k_1} \end{bmatrix}. \tag{23}$$

Представим матричное выражение (23) в виде двух подматричных выражений:

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_1} \\ \hdashline \Delta\Psi_{uk_1} \\ \hline \Delta U_{k_1} \end{bmatrix} = -\left[\begin{array}{c:c|c:c} a_{m_1n_1} & a_{m_1\ell_1} & b_{m_1n_1} & b_{m_1\ell_1} \\ \hdashline a_{k_1n_1} & a_{k_1\ell_1} & b_{k_1n_1} & b_{k_1\ell_1} \\ \hline c_{k_1n_1} & c_{k_1\ell_1} & d_{k_1n_1} & d_{k_1\ell_1} \end{array}\right] \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_{m_1} \\ \hdashline \Delta P_{k_1} \\ \hline \Delta Q_{m_1} \\ \hdashline \Delta Q_{k_1} \end{bmatrix}, \tag{24}$$

$$0 = c_{m_1n_1}\Delta P_{m_1} + c_{m_1\ell_1}\Delta P_{k_1} + d_{m_1n_1}\Delta Q_{m_1} + d_{m_1\ell_1}\Delta Q_{k_1}. \tag{25}$$

Из (25) устанавливаем следующее выражение для приращения реактивной мощности:

$$\Delta Q_{m_1} = -d_{m_1n_1}^{-1} K_{n_1\ell_1}, \tag{26}$$

где

$$K_{n_1\ell_1} = c_{m_1n_1}\Delta P_{m_1} + c_{m_1\ell_1}\Delta P_{k_1} + d_{m_1\ell_1}\Delta Q_{k_1}. \tag{27}$$

На основании полученного выражения (27) можно установить численные значения реактивных мощностей независимых станционных узлов первой подсистемы. Затем определяются действительные значения реактивных мощностей Q_{m_1}, пользуясь вторым уравнением системы (7), и проверяются условия их допустимости:

$$Q_{m_1,\min} \le Q_{m_1} \le Q_{m_1,\max}. \tag{28}$$

1. Предположим, что условие (28) полностью обеспечивается, т.е. реактивные мощности независимых станционных узлов находятся в допустимых пределах. При этом, определяя на основании (24) приращения $\Delta\Psi_{um_1}, \Delta\Psi_{uk_1}, \Delta U_{k_1}$, устанавливаем их действительные значения:

$$\begin{bmatrix} \Psi_{um_1} \\ \hdashline \Psi_{uk_1} \\ \hline U_{k_1} \end{bmatrix}^{\grave{E}+1} = \begin{bmatrix} \Psi_{um_1} \\ \hdashline \Psi_{uk_1} \\ \hline U_{k_1} \end{bmatrix}^{\grave{E}} - \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_1} \\ \hdashline \Delta\Psi_{uk_1} \\ \hline \Delta U_{k_1} \end{bmatrix}. \tag{29}$$

Фактически для станционных узлов, относительно которых были заданы активные мощности и модули комплексных напряжений, были определены их неизвестные аргументы и допустимые реактивные мощности. Для нагрузочных узлов определены модули и аргументы комплексных напряжений.

2. Если условие (28) не обеспечивается, то могут быть два случая, когда реактивные мощности больше $Q_{m_1,max}$ или меньше $Q_{m_1,min}$. В первом случае станционный узел типа $P_{m_1}-U_{m_1}$ заменяется на $P_{m_1}-Q_{m_1,max}$, а во втором - на $P_{m_1}-Q_{m_1,min}$. Фактически независимые станционные узлы типа P-U превращаются в узлы типа P-Q. При этом расчет установившегося режима осуществляется на основании рекуррентного выражения (20). Проведя первую итерацию, устанавливаем численные значения режимных параметров, Ψ_{um}, Ψ_{uk}, U_k и U_m. Определяя модули комплексных напряжений независимых станционных узлов, проверяется следующее условие допустимости:

$$U_{m_1,min} \le U_{m_1} \le U_{m_1,max}\,. \tag{30}$$

Если это условие обеспечивается, то это означает, что задача допустимого установившегося режима решалась при P-Q типе станционных узлов. Следовательно, матрица Якоби рекуррентного выражения (21), т.е. матрица Якоби выражения (19), допустимая. В силу этого допустимые относительные приросты потерь активной мощности определяются на основании (15).

Определяя требуемые допустимые относительные приросты первой подсистемы, переходим к решению данной задачи для второй подсистемы путем построения соответствующей математической подмодели установившегося режима. При этом используются результаты расчета установившегося режима первой подсистемы. Имея численное значение комплексного напряжения примыкающего узла первой подсистемы, для определения допустимых относительных приростов второй подсистемы поступаем аналогичным образом и т.д. Допустимые относительные приросты потерь активной мощности для последней N - й подсистемы определяются на основании следующего выражения:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \ddot{I}_{aN}}{\partial P_{m_N}} = \left(\frac{\partial \ddot{I}_{aN}}{\partial P_{m_N}}\right) + \sum_{n_N}\frac{\partial \ddot{I}_{aN}}{\partial U_{n_N}}\frac{\partial U_{n_N}}{\partial P_{m_N}} + \sum_{k_N}\frac{\partial \ddot{I}_{aN}}{\partial U_{k_N}}\frac{\partial U_{k_N}}{\partial P_{m_N}} + \\ + \sum_{n_N}\frac{\partial \ddot{I}_{aN}}{\partial \Psi_{un_N}}\frac{\partial \Psi_{un_N}}{\partial P_{m_N}} + \sum_{k_N}\frac{\partial \ddot{I}_{aN}}{\partial \Psi_{uk_N}}\frac{\partial \Psi_{uk_N}}{\partial P_{m_N}}.\end{aligned} \tag{31}$$

Частные производные $\partial\Psi_{un_N}/\partial P_{m_N}$, $\partial\Psi_{uk_N}/\partial P_{m_N}$, $\partial U_{n_N}/\partial P_{m_N}$ $\partial U_{k_N}/\partial P_{m_N}$ определяются на основании следующего матричного выражения:

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Psi_{un_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \dfrac{\partial \Psi_{uk_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \dfrac{\partial U_{n_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \dfrac{\partial U_{k_N}}{\partial P_{m_N}} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{\ell_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{\ell_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial U_{\ell_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qk_N}}{\partial U_{\ell_N}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pn_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qn_N}}{\partial P_{m_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qk_N}}{\partial P_{m_N}} \end{bmatrix}. \tag{32}$$

Рекуррентное выражение, вытекающее из метода Ньютона-Рафсона, для решения систем нелинейных алгебраических уравнений (13) установившегося режима N - й подсистемы представляется в виде

$$\begin{bmatrix} \Psi_{um_N} \\ \Psi_{uk_N} \\ U_{mn} \\ U_{k_N} \end{bmatrix}^{\grave{E}+1} = \begin{bmatrix} \Psi_{um_N} \\ \Psi_{uk_N} \\ U_{mn} \\ U_{k_N} \end{bmatrix}^{\grave{E}} - \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_N} \\ \Delta\Psi_{uk_N} \\ \Delta U_{mn} \\ \Delta U_{k_N} \end{bmatrix} \tag{33}$$

и

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{m_N} \\ \Delta P_{k_N} \\ \Delta Q_{m_N} \\ \Delta Q_{k_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{\ell_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{\ell_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial U_{\ell_N}} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \dfrac{\partial \Phi_{qk_N}}{\partial U_{\ell_N}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_N} \\ \Delta\Psi_{uk_N} \\ \Delta U_{m_N} \\ \Delta U_{k_N} \end{bmatrix}, \tag{34}$$

где ΔP_{m_N}, ΔP_{k_N}, ΔQ_{m_N}, ΔQ_{k_N} - приращения соответствующих режимных параметров N-й подсистемы.

Искомая столбцовая матрица приращений определяется в виде

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um_N} \\ \Delta\Psi_{uk_N} \\ \Delta U_{m_N} \\ \Delta U_{k_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{m_N n_N} & a_{m_N \ell_N} & b_{m_N n_N} & b_{m_N \ell_N} \\ a_{k_N n_N} & a_{k_N \ell_N} & b_{k_N n_N} & b_{k_N \ell_N} \\ c_{m_N n_N} & c_{m_N \ell_N} & d_{m_N n_N} & d_{m_N \ell_N} \\ c_{k_N n_N} & c_{k_N \ell_N} & d_{k_N n_N} & d_{k_N \ell_N} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_{m_N} \\ \Delta P_{k_N} \\ \Delta Q_{m_N} \\ \Delta Q_{k_N} \end{bmatrix}. \tag{35}$$

Затем требуется установить матрицу Якоби для определения допустимых относительных приростов согласно выражению (31). Допустимость матрицы Якоби осуществляется вышеприведенным методом.

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.- №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.- №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.-№2.-С. 57-65.
4. **Хачатрян В. С.** Метод и алгоритм оптимизации режимов больших энергосистем // Изв. АН СССР. Энергетика и Транспорт.-1976.- №5.- С. 24-34.
5. **Мнацаканян М. А.** Расчет допустимого установившегося режима ЭЭС методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2004.-Т. 57, №1.- С. 83-93.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.05.2004.

Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Մ. Ա. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՍՏԻ ԹՈՒՅԼԱՏՐԵԼԻ ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆ ԱՃԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՏՐՈՀՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Առաջարկվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի ակտիվ հզորության կորստի թույլատրելի մասնակի ածանցյալների որոշման նոր մեթոդ՝ որպես թույլատրելի կայունացված ռեժիմի հաշվման արդյունք: Դիտարկվում է այն դեպքը, երբ անկախ կայանային հանգույցների համար որպես նախնական ինֆորմացիա տրվում են ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունները:

V.S. KHACHATRYAN, M.A. MNATSAKANYAN

PERMISSIBLE RELATIVE POWER LOSS GROWTH DETERMINATION IN THE ELECTRICAL POWER SYSTEM BY DECOMPOSITION METHOD

A new method of determining permissible partial derivative losses of active power in station units as a result of steady-state conditions by decomposition method is proposed.