ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2004. Т. LVII, № 2.

УДК 621.311 ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН, М.А. МНАЦАКАНЯН

РЕАЛИЗАЦИЯ "Y-Z, P-Q" ДИАКОПТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА БОЛЬШОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТНОСИТЕЛЬНО U-Ψ ПАРАМЕТРОВ НЕЗАВИСИМЫХ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Предлагается новый диакоптический метод расчета установившегося режима большой электроэнергетической системы, когда в качестве независимых переменных выбираются модули, аргументы комплексных напряжений станционных узлов и составляющие комплексных токов нагрузочных узлов.

Ключевые слова: модель, система, матрица, узел, нагрузка, параметр, мощность, рекуррентное выражение.

В настоящее время единственным перспективным направлением для решения режимных вопросов больших электроэнергетических систем (ЭЭС) становится метод диакоптики [1-7]. В опубликованных работах в качестве независимых переменных для станционных узлов были выбраны составляющие комплексных напряжений, что вызывает определенные затруднения при решении задач расчета допустимого установившегося режима. В настоящей работе в качестве независимых переменных выбираются модули и аргументы комплексных напряжений, что позволяет рассмотреть также вопрос расчета допустимого установившегося режима ЭЭС.

Рассматривается ЭЭС, состоящая из M независимых узлов. После удаления соответствующего количества линий электропередач ЭЭС, состоящая из M независимых узлов, представляется в виде совокупности радиально связанных N подсистем, состоящих соответственно из $M_1, M_2, \ldots, M_N$ узлов так, что $M_1+M_2+\ldots+M_N=M$.

Для построения соответствующей математической модели принимается та же система индексов, что и в [1]. В результате диакоптическая математическая модель большой ЭЭС представляется как совокупность математической модели радиально связанных подсистем.

Для первой подсистемы имеем

$$\begin{cases}\Phi_{pn_1}\left(U_{m_1}, \Psi_{Um_1}\right)=0,\\ \Phi_{qn_1}\left(U_{m_1}, \Psi_{Um_1}\right)=0;\end{cases} \tag{1}$$

$$\begin{cases}\Phi_{p\ell_1}\left(I'_{k_1}, I''_{k_1}\right)=0,\\ \Phi_{q\ell_1}\left(I'_{k_1}, I''_{k_1}\right)=0;\end{cases} \tag{2}$$

для второй подсистемы:

$$\begin{cases}\Phi_{pn_2}\left(U_{m_2}, \Psi_{Um_2}\right)=0, \\ \Phi_{qn_2}\left(U_{m_2}, \Psi_{Um_2}\right)=0;\end{cases} \tag{3}$$

$$\begin{cases}\Phi_{p\ell_2}\left(I'_{k_2}, I''_{k_2}\right)=0, \\ \Phi_{q\ell_2}\left(I'_{k_2}, I''_{k_2}\right)=0;\end{cases} \tag{4}$$

для последней N-й подсистемы:

$$\begin{cases}\Phi_{pn_Н}\left(U_{m_Н}, \Psi_{Um_Н}\right)=0, \\ \Phi_{qn_Н}\left(U_{m_Н}, \Psi_{Um_Н}\right)=0;\end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases}\Phi_{p\ell_Н}\left(I'_{k_Н}, I''_{k_Н}\right)=0, \\ \Phi_{q\ell_Н}\left(I'_{k_Н}, I''_{k_Н}\right)=0.\end{cases} \tag{6}$$

В развернутой форме уравнения отдельных подсистем можно представить в виде

$$\begin{cases}\Phi_{pn_i}\left(U_{m_i}, \Psi_{Um_i}\right)=\left\{P_{n_i}-\left[P_{Бn_i}+\varphi_{pn_i}\left(U_{m_i}, \Psi_{Um_i}\right)\right]\right\}=0, \\ \Phi_{qn_i}\left(U_{m_i}, \Psi_{Um_i}\right)=\left\{Q_{n_i}-\left[Q_{Бn_i}+\varphi_{qn_i}\left(U_{m_i}, \Psi_{Um_i}\right)\right]\right\}=0;\end{cases} \tag{7}$$

$$\begin{cases}\Phi_{p\ell_i}\left(I'_{k_i}, I''_{k_i}\right)=\left\{P_{\ell_i}-\left[P_{Б\ell_i}+\varphi_{p\ell_i}\left(I'_{k_i}, I''_{k_i}\right)\right]\right\}=0, \\ \Phi_{q\ell_i}\left(I'_{k_i}, I''_{k_i}\right)=\left\{Q_{\ell_i}-\left[Q_{Б\ell_i}+\varphi_{q\ell_i}\left(I'_{k_i}, I''_{k_i}\right)\right]\right\}=0,\end{cases} \tag{8}$$

$$i=1, 2, 3, \ldots, N.$$

Функции φ_{pn_i}, φ_{qn_i}, $\varphi_{p\ell_i}$ и $\varphi_{q\ell_i}$, входящие в (7) и (8), приведены в [6], где приводятся также аналитические выражения $P_{Бn_i}$, $Q_{Бn_i}$, $P_{Б\ell_i}$ и $Q_{Б\ell_i}$.

В настоящей работе предлагается решение систем уравнений (7) и (8) методом минимизации или второго порядка с применением неособенных квадратных матриц Гессе. Применение данного метода требует построения следующей вспомогательной квадратичной функции для любой подсистемы:

$$F_i(U, \Psi)=\sum_i\left(\Phi^2_{pn_i}+\Phi^2_{qn_i}\right). \tag{9}$$

Введем следующее обозначение:

$$W=(U, \Psi). \tag{10}$$

Тогда функция (9) принимает вид

$$F_i(W)=\sum_i\left(\Phi^2_{pn_i}+\Phi^2_{qn_i}\right). \tag{11}$$

Разлагая функцию (11) в ряд Тейлора, получим

$$F(W)=F\left(W^0\right)+\left.\frac{\partial F(W)}{\partial W}\right|_{\omega^0}\Delta W+\frac{1}{2}\Delta W^{\mathrm{T}}\left.\frac{\partial^2 F(W)}{\partial W^2}\right|_{\omega^0}\Delta W+F(W)_b, \tag{12}$$

где $F(W)_b$ - члены ряда Тейлора выше второго порядка; T - знак транспонирования.

Пренебрегая $F(W)_b$, выражение (12) примет вид

$$F(W) = F(W^0) + \left.\frac{\partial F(W)}{\partial W}\right|_{\omega^0} \Delta W + \frac{1}{2}\Delta W^{\mathrm{T}} \left.\frac{\partial^2 F(W)}{\partial W^2}\right|_{\omega^0} \Delta W \ . \qquad (13)$$

Теперь необходимо найти приращение ΔW вектора W, минимизирующего функцию (13). Производная функция (13) по ΔW дает

$$\frac{\partial \Phi(W)}{\partial \Delta W} = 0 \qquad (14)$$

или

$$\frac{\partial \Phi(W)}{\partial \Delta W}\left[\Phi(W^0) + \left.\frac{\partial \Phi(W)}{\partial W}\right|_{\omega^0} \Delta W + \frac{1}{2}\Delta W^{\mathrm{T}} \left.\frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2}\right|_{\omega^0} \Delta W\right] = 0 \ . \qquad (15)$$

Поскольку

$$\frac{\partial \Phi(W^0)}{\partial \Delta W} = 0 \ , \qquad (16)$$

выражение (15) принимает более упрощенный вид:

$$\frac{\partial}{\partial \Delta W}\left[\left.\frac{\partial \Phi(W)}{\partial W}\right|_{\omega^0} \Delta W + \frac{1}{2}\Delta W^{\mathrm{T}} \left.\frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2}\right|_{\omega^0} \Delta W\right] = 0 \ . \qquad (17)$$

Рассмотрим частные производные в отдельности:

$$\left.\frac{\partial \Phi(W)}{\partial W}\right|_{\omega^0} + \left.\frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2}\right|_{\omega^0} \Delta W = 0 \qquad (18)$$

или

$$\left.\frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2}\right|_{\omega^0} \Delta W = -\left.\frac{\partial \Phi(W)}{\partial W}\right|_{\omega^0} . \qquad (19)$$

Введем следующие обозначения:

$$\left[\frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2}\right] = [H(W)], \qquad (20)$$

где $[H(W)]$ - матрица Гессе, элементы которой состоят из частных производных второго порядка от заданной функции. Матрица Гессе является квадратной и особенной, в силу чего имеет обратную ей матрицу.

С другой стороны,

$$\left[\frac{\partial \Phi(W)}{\partial W}\right] = [G(W)] \tag{21}$$

и является столбцевой матрицей градиента от заданной нелинейной функции.

В результате выражение (19) принимает следующий вид:

$$\Delta W = -[H(W)]^{-1}_{\omega^0} \times [G(W)]_{\omega^0}. \tag{22}$$

Выражение (22) изображает приращение вектора W и является его корректирующим элементом.

Новый вектор определяется в виде

$$[W]^1 = [W]^0 + [\Delta W]. \tag{23}$$

Для произвольного N-го шага или итерации выражение (23) представляется как рекуррентное выражение в виде

$$[W]^{N+1} = [W]^N + [\Delta W]^N \tag{24}$$

или в регулярной форме:

$$[W]^{N+1} = [W]^N - [H(W)]^{-1} \times [G(W)], \tag{25}$$

где N – номер итерации или шага.

Поскольку вектор W состоит из двух компонентов U и Ψ_U, то рекуррентное выражение (25) в развернутой форме представляется в виде

$$\begin{bmatrix} U_{m_i} \\ \hline \Psi_{Um_i} \end{bmatrix}^{N+1} = \begin{bmatrix} U_{m_i} \\ \hline \Psi_{Um_i} \end{bmatrix}^{N} - \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{Un_i}} & \dfrac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{U_i}} \\ \hline \dfrac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial \Psi_{Um_i} \partial U_{n_i}} & \dfrac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial \Psi_{U_i} \partial \Psi_{U_j}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c} \dfrac{\partial F(U, \Psi_U)}{\partial U_{m_i}} \\ \hline \dfrac{\partial F(U, \Psi_U)}{\partial \Psi_{Um_i}} \end{array}\right]. \tag{26}$$

Частные производные первого порядка, входящие в столбцевую матрицу градиентов, определяются в виде

$$\frac{\partial F(U,\Psi)}{\partial U_{m_i}} = 2\sum_i \left(\Phi_{pn_i} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \right), \tag{27}$$

$$\frac{\partial F(U,\Psi)}{\partial \Psi_{Um_i}} = 2\sum_i \left(\Phi_{pn_i} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \right). \tag{28}$$

Частные производные второго порядка, входящие в матрицу Гессе рекуррентного выражения (26), определяются в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U,\Psi)}{\partial U_{m_i} \partial U_{n_i}} = 2\sum_i \Bigg(& \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{n_i}} + \\ & + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{n_i}} \Bigg), \end{aligned} \tag{29}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U,\Psi)}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{Un_i}} = 2\sum_i \Bigg(& \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{Un_i}} + \\ & + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{Un_i}} \Bigg), \end{aligned} \tag{30}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U,\Psi)}{\partial \Psi_{Um_i} \partial U_{n_i}} = 2\sum_i \Bigg(& \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial U_{n_i}} + \\ & + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial U_{n_i}} \Bigg), \end{aligned} \tag{31}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U,\Psi)}{\partial \Psi_{Um_i} \partial \Psi_{Un_i}} = 2\sum_i \Bigg(& \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial \Psi_{Un_i}} + \\ & + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial \Psi_{Un_i}} \Bigg), \end{aligned} \tag{32}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U,\Psi)}{\partial \Psi_{m_i}^2} = 2\sum_i \Bigg(& \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{m_i} \partial \Psi_{m_i}} + \\ & + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{m_i} \partial \Psi_{m_i}} \Bigg), \end{aligned} \tag{33}$$

$$\frac{\partial^2 F(U,\Psi)}{\partial U_{m_i}^2} = 2\sum_i \left(\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{m_i}} + \right.$$
$$\left. + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{m_i}} \right). \qquad (34)$$

Для перехода от неявновыраженных форм частных производных к явновыраженным формам функций φ_{pm_i} и φ_{qm_i} удобнее их представить в виде

$$\Phi_{pn_i} = P_{n_i} - \left\{ P_{Бn_i} + g_{n_i,n_i} U_{n_i}^2 + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} \left[g_{n_i,m_i} \cos\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right) + \right.\right.$$
$$\left.\left. + b_{n_i,m_i} \sin\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right)\right] U_{m_i} \right\}, \qquad (35)$$

$$\Phi_{qn_i} = Q_{n_i} - \left\{ Q_{Бn_i} - b_{n_i,n_i} U_{n_i}^2 + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} \left[g_{n_i,m_i} \sin\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right) - \right.\right.$$
$$\left.\left. - b_{n_i,m_i} \cos\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right)\right] U_{m_i} \right\}. \qquad (36)$$

Пользуясь выражениями (35) и (36), можно определить частные производные первого и второго порядков, входящие в (27)-(34).

Частные производные первого и второго порядка, входящие в (27) и (28), определяются в виде:

– при одинаковых индексах, т.е. когда $m_i = n_i$:

$$\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{n_i}} = -\left\{ \frac{\partial P_{Бn_i}}{\partial U_{n_i}} + 2 g_{n_i,n_i} U_{n_i} + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} \left[g_{n_i,m_i} \cos\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right) + \right.\right.$$
$$\left.\left. + b_{n_i,m_i} \sin\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right)\right] U_{m_i} \right\}, \qquad (37)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{n_i}} = -\left\{ \frac{\partial Q_{Бn_i}}{\partial U_{n_i}} - 2 b_{n_i,n_i} U_{n_i} + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} \left[g_{n_i,m_i} \sin\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right) - \right.\right.$$
$$\left.\left. - b_{n_i,m_i} \cos\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right)\right] U_{m_i} \right\}, \qquad (38)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} = -\left\{ \frac{\partial P_{Бn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} - \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} \left[g_{n_i,m_i} \sin\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right) - \right.\right.$$
$$\left.\left. - b_{n_i,m_i} \cos\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right)\right] U_{m_i} \right\}, \tag{39}$$

$$\frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} = -\left\{ \frac{\partial Q_{Бn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} - \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} \left[g_{n_i,m_i} \cos\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right) + \right.\right.$$
$$\left.\left. + b_{n_i,m_i} \sin\left(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}\right)\right] U_{m_i} \right\}. \tag{40}$$

Для определения частных производных $\partial P_{Бn_i} / \partial U_{n_i}$, $\partial Q_{Бn_i} / \partial U_{n_i}$, $\partial P_{Бn_i} / \partial \Psi_{Un_i}$ и $\partial Q_{Бn_i} / \partial \Psi_{Un_i}$ имеем

$$P_{Бn_i} = -\sum_{m_i} \left(g_{n_i,m_i} \cos \Psi_{Un_i} + b_{n_i,m_i} \sin \Psi_{Un_i} \right) U_0 U_{n_i} +$$
$$+ \sum_{\ell_i} \left[\left(A'_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} \right) \cos \Psi_{Un_i} + \left(A'_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} \right) \sin \Psi_{Un_i} \right] U_{n_i}, \tag{41}$$

$$Q_{Бn_i} = -\sum_{m_i} \left(g_{n_i,m_i} \sin \Psi_{Un_i} - b_{n_i,m_i} \cos \Psi_{Un_i} \right) U_0 U_{n_i} +$$
$$+ \sum_{\ell_i} \left[\left(A'_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} \right) \sin \Psi_{Un_i} - \left(A'_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} \right) \cos \Psi_{Un_i} \right] U_{n_i}. \tag{42}$$

В результате имеем

$$\frac{\partial P_{Бn_i}}{\partial U_{n_i}} = -\sum_{m_i} \left(g_{n_i,m_i} \cos \Psi_{Un_i} + b_{n_i,m_i} \sin \Psi_{Un_i} \right) U_0 +$$
$$+ \sum_{\ell_i} \left[\left(A'_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} \right) \cos \Psi_{Un_i} + \left(A'_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} \right) \sin \Psi_{Un_i} \right], \tag{43}$$

$$\frac{\partial Q_{Бn_i}}{\partial U_{n_i}} = -\sum_{m_i} \left(g_{n_i,m_i} \sin \Psi_{Un_i} + b_{n_i,m_i} \cos \Psi_{Un_i} \right) U_0 +$$
$$+ \sum_{\ell_i} \left[\left(A'_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} \right) \sin \Psi_{Un_i} - \left(A'_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} \right) \cos \Psi_{Un_i} \right], \tag{44}$$

$$\frac{\partial P_{Бn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} = \sum_{m_i} \left(g_{n_i,m_i} \sin \Psi_{Un_i} - b_{n_i,m_i} \cos \Psi_{Un_i} \right) U_0 U_{n_i} -$$
$$- \sum_{\ell_i} \left[\left(A'_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} \right) \sin \Psi_{Un_i} - \left(A'_{n_i,\ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i,\ell_i} I'_{\ell_i} \right) \cos \Psi_{Un_i} \right] U_{n_i}, \tag{45}$$

$$\frac{\partial Q_{Бn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} = -\sum_{m_i}\left(g_{n_i,m_i}\cos\Psi_{Un_i} + b_{n_i,m_i}\sin\Psi_{Un_i}\right)U_0U_{n_i} + \\ + \sum_{\ell_i}\left[\left(A'_{n_i,\ell_i}I'_{\ell_i} - A''_{n_i,\ell_i}I''_{\ell_i}\right)\cos\Psi_{Un_i} + \left(A'_{n_i,\ell_i}I''_{\ell_i} + A''_{n_i,\ell_i}I'_{\ell_i}\right)\sin\Psi_{Un_i}\right]. \quad (46)$$

Устанавливая аналитические выражения, входящие в (26), переходим к решению систем нелинейных алгебраических уравнений (8) методом минимизации или второго порядка. При этом рассматривается следующая квадратная минимизирующая функция:

$$F(I) = \sum_i\left(\Phi^2_{pk_i} + \Phi^2_{qk_i}\right). \quad (47)$$

Поступая аналогичным образом, устанавливаем следующее рекуррентное выражение:

$$\begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ -- \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^{N+1} = \begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ -- \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^{N} - \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_{k_i}\partial I'_{\ell_i}} & \dfrac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_{k_i}\partial I''_{\ell_i}} \\ \hline \dfrac{\partial^2 F(I)}{\partial I''_{k_i}\partial I'_{\ell_i}} & \dfrac{\partial^2 F(I)}{\partial I''_{k_i}\partial I''_{\ell_i}} \end{array}\right]^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial F(I)}{\partial I'} \\ \hline \dfrac{\partial F(I)}{\partial I''} \end{bmatrix}. \quad (48)$$

Частные производные первого и второго порядков, входящие в рекуррентное выражение (48), подробно приводятся в [6].

При наличии аналитических выражений необходимых частных производных первого и второго порядков предлагается соответствующий вычислительный алгоритм для реализации численных математических моделей, суть которого заключается в том, что, строя численные математические модели установившегося режима, последовательно осуществляется их реализация методом минимизации или второго порядка с применением матрицы Гессе.

Итерационный процесс считается завершенным, если точность вычисления режимных параметров как станционных, так и нагрузочных узлов удовлетворяет требуемым условиям.

При этом в качестве условий сходимости решения соответствующих систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС представляются:

– для станционных узлов отдельных подсистем:

$$\left|P_{n_i} - \left(P_{Бn_i} + \varphi_{pn_i}\right)\right| \le \Delta P_{n_i}, \quad (49)$$

$$\left|Q_{n_i} - \left(Q_{Бn_i} + \varphi_{qn_i}\right)\right| \le \Delta Q_{n_i}, \quad (50)$$

$$i = 1, 2, 3, \ldots, N;$$

– для нагрузочных узлов отдельных подсистем:

$$\left|P_{\ell_i} - \left(P_{Б\ell_i} + \varphi_{p\ell_i}\right)\right| \le \Delta P_{\ell_i}, \quad (51)$$

$$\left|Q_{\ell_i} - \left(Q_{Б\ell_i} + \varphi_{q\ell_i}\right)\right| \le \Delta Q_{\ell_i}, \quad (52)$$

$$i = 1, 2, 3, \ldots, N.$$

Как и в предыдущих случаях, для облегчения условий сходимости принимаются:

$$\Delta P_{n_i} = \Delta P_{\ell_i} = \Delta P, \qquad (53)$$

$$\Delta Q_{n_i} = \Delta Q_{\ell_i} = \Delta Q. \qquad (54)$$

Как видно, положительные величины ΔP и ΔQ характеризуют точность получения искомых режимных параметров отдельных подсистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Решение (Y-Z)-уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1997.-Т. 50, № 2.-С. 96-103.
2. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Решение Y-Z формы уравнения установившегося режима ЭЭС методом декомпозиции при P-U типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1998.-Т. 51, № 3.-С. 287-295.
3. **Хачатрян В. С., Этмекчян Э. А., Бадалян Н. П.** Решение гибридных уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом диакоптики // Электричество.-1999.-№ 4.-С. 7-12.
4. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П., Хачатрян К. В., Маркарян К. К.** Метод коррекции Y-Z расчетной матрицы электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т. 54, № 1.-С. 41-46.
5. **Бадалян Н. П.** Построение "Y-Z, P-Q" математической модели установившегося режима ЭЭС и ее реализация методом минимизации // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т. 54, № 3.-С. 372-378.
6. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Диакоптическая "Y-Z, P-U" математическая модель установившегося режима электроэнергетической системы и ее реализация методом минимизации // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2002.- Т 55, № 3.-С. 392-399.
7. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Расчет установившегося режима большой электроэнергетической системы методом диакоптики // Электричество.-2003.-№ 6.-С. 13-17.

8. ГИУА. Материал поступил в редакцию 22.11.2002.

Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն. Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Մ. Ա. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ

ՄԵԾ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ԴԻԱԿՈՊՏԻԿԱԿԱՆ “Y-Z, P-Q” ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ԻՐԱՑՈՒՄՆ ԱՆԿԱԽ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ U-Ψ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՆԿԱՏՄԱՄԲ

Առաջարկվում է նոր դիակոպտիկական մեթոդ մեծ էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հաշվման համար, երբ որպես անկախ փոփոխականներ ընտրվում են կայանային հանգույցների համալիր լարումների մոդուլներն ու արգումենտները և բեռային հանգույցների համալիր հոսանքների բաղադրիչները:

V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN, M.A. MNATSAKANYAN

Y-Z, P-Q DIACOPTIC LARGE ELECTRICAL POWER SYSTEM REALIZATION RELATIVE TO U-Ψ PARAMETERS OF INDEPENDENT STATION UNIT

A new diacoptic method of steady-state conditions when modules, arguments of complex station unit voltages and components of complex loading unit currents are chosen as independent variables is proposed.