УДК 621.311.1.001.24

ДИАКОПТИЧЕСКАЯ *Z–Y* МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКЦИИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА БОЛЬШОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Канд. техн. наук ХАЧАТРЯН К. В.

Государственный инженерный университет Армении

Перспективным направлением для решения задачи коррекции установившегося режима сложной и большой электроэнергетической системы (БЭЭС) является применение методов диакоптики (декомпозиции), когда вся система представляется как совокупность радиально связанных подсистем. Впервые эта идея была опубликована в [1], спустя четыре года аналогичное предлагается в [2].

До настоящего времени при построении диакоптической математической модели коррекции установившегося режима БЭЭС обычно используется *Y–Z* форма задания состояния пассивной части сети.

В отличие от существующих математических моделей в настоящей работе впервые предлагается пользоваться *Z–Y* формой задания состояния пассивной части сети. Рассматривается БЭЭС, состоящая из $M + 1$ узлов, которую после удаления определенного количества ветвей можно представить в виде совокупности радиально связанных N подсистем. Если полученные подсистемы будут состоять соответственно из $M_1, M_2, \ldots, M_N$ независимых узлов, то очевидно, что $M_1 + M_2 + \cdots + M_N = M$. Предполагается, что один из станционных узлов первой подсистемы выбран в качестве базисного (балансирующего).

Для построения соответствующей диакоптической математической модели принимается следующая система индексов:

- для существующих узлов

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

- для вновь полученных узлов:

$$\delta, \gamma = (\delta_1, \gamma_1; \delta_2, \gamma_2; \ldots; \delta_L, \gamma_L);$$

$$l, S = (l_1, S_1; l_2, S_2; \ldots; l_L, S_L),$$

где L – число удаленных ветвей.

Матричные уравнения отдельных подсистем можно представить в виде:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{U}}_{i_1} = \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}i_1} + \mathbf{Z}_{i_1 j_1} \dot{\mathbf{I}}_{j_1}; \\ \dot{\mathbf{U}}_{i_2} = \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}i_2} + \mathbf{Z}_{i_2 j_2} \dot{\mathbf{I}}_{j_2}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dot{\mathbf{U}}_{i_N} = \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}i_\text{N}} + \mathbf{Z}_{i_N j_N} \dot{\mathbf{I}}_{j_N}, \end{cases} \tag{1}$$

где

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}i_1} = \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}} + \mathbf{Z}_{i_1 M_1} \Delta \dot{\mathbf{I}}_{2,N} + \mathbf{Z}_{i_1 S_1} \dot{\mathbf{I}}_{\gamma}; \\ \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}i_2} = \dot{\mathbf{U}}_{M_1} + \mathbf{Z}_{i_2 M_{12}} \Delta \dot{\mathbf{I}}_{3,N} + \mathbf{Z}_{i_2 S_2} \dot{\mathbf{I}}_{\gamma}; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}i_N} = \dot{\mathbf{U}}_{M_1,\, N-1} + \mathbf{Z}_{i_N M} \Delta \dot{\mathbf{I}}_{N,N} + \mathbf{Z}_{i_N S_N} \dot{\mathbf{I}}_{\gamma}. \end{cases} \qquad (2)$$

Здесь $\mathbf{Z}_{i_1 M_1}, \mathbf{Z}_{i_2 M_2}, \dots, \mathbf{Z}_{i_N M_N}$ – последние столбцы матриц $\mathbf{Z}_{i_1 j_1}, \mathbf{Z}_{i_2 j_2}, \dots,$ $\mathbf{Z}_{i_N j_N}$; $\mathbf{Z}_{i_1 S_1}, \mathbf{Z}_{i_2 S_2}, \dots, \mathbf{Z}_{i_N S_N}$ – комплексные сопротивления вновь появившихся узлов (из-за разрезания БЭЭС), соответственно принадлежащих $1, 2, \dots, N$ подсистемам.

Приращения токов $\Delta\dot{\mathbf{I}}_{2,N}, \Delta\dot{\mathbf{I}}_{3,N}, \dots, \Delta\dot{\mathbf{I}}_{N,N}$ определяются на основе приведенных ниже выражений:

$$\begin{cases} \Delta\dot{\mathbf{I}}_{2N} = \sum\limits_{M_2} \dot{\mathbf{I}}_{i_2} + \sum\limits_{M_3} \dot{\mathbf{I}}_{i_3} + \dots + \sum\limits_{M_N} \dot{\mathbf{I}}_{i_N}; \\ \Delta\dot{\mathbf{I}}_{3N} = \sum\limits_{M_3} \dot{\mathbf{I}}_{i_3} + \sum\limits_{M_4} \dot{\mathbf{I}}_{i_4} + \dots + \sum\limits_{M_N} \dot{\mathbf{I}}_{i_N}; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \Delta\dot{\mathbf{I}}_{N-1,N} = \sum\limits_{M_N} \dot{\mathbf{I}}_{i_N}; \\ \Delta\dot{\mathbf{I}}_{N,N} = 0. \end{cases}$$

Комплексный ток $\dot{\mathbf{I}}_{\gamma}$, который фигурирует во всех матричных уравнениях (2), является вектором токов разрезанных линий и определяется по формуле

$$\dot{\mathbf{I}}_{\gamma} = \left(Z_{l\text{б}} - Z_{\text{Л}}\right)^{-1} \Delta\dot{\mathbf{U}}_{j}. \qquad (3)$$

Комплексное сопротивление $Z_{l\text{б}}$, входящее в (3), определяется с помощью выражения

$$Z_{l\text{б}} = \left(Z_{l\gamma} - Z_{lS}\right) - \left(Z_{\text{б}\gamma} - Z_{\gamma S}\right).$$

$Z_{\text{л}}$ является диагональной матрицей:

$$Z_{\text{Л}} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}^{1}_{\text{ЛЭП}} & & & \\ & \mathbf{Z}^{2}_{\text{ЛЭП}} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \mathbf{Z}^{L}_{\text{ЛЭП}} \end{bmatrix}.$$

В то же время

$$\Delta\dot{\mathbf{U}}_{j} = \Delta\dot{\mathbf{U}}_{j_1} + \Delta\dot{\mathbf{U}}_{j_2} + \dots + \Delta\dot{\mathbf{U}}_{j_N}.$$

Принимается следующая дополнительная система индексов:

$$i_1 j_1 = (m_1, n_1; k_1, l_1),$$
$$i_2 j_2 = (m_2, n_2; k_2, l_2),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$i_N j_N = (m_N, n_N; k_N, l_N).$$

При этом первое матричное уравнение из (1) можно представить в виде

$$\left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{U}}_{m_1} \\ \hdashline \dot{\mathbf{U}}_{\ell_1} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}} \\ \hdashline \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}} \end{array}\right] + \left[\begin{array}{c:c} \mathbf{Z}_{m_1 n_1} & \mathbf{Z}_{m_1 k_1} \\ \hdashline \mathbf{Z}_{l_1 m_1} & \mathbf{Z}_{l_1 k_1} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{I}}_{n_1} \\ \hdashline \dot{\mathbf{I}}_{k_1} \end{array}\right]. \qquad (4)$$

В развернутой форме запишем:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{U}}_{m_1} &= \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}} + \mathbf{Z}_{m_1 n_1} \dot{\mathbf{I}}_{n_1} + Z_{m_1 k_1} \dot{\mathbf{I}}_{k_1}; \\ \dot{\mathbf{U}}_{\ell_1} &= \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}} + \mathbf{Z}_{l_1 m_1} \dot{\mathbf{I}}_{n_1} + Z_{l_1 k_1} \dot{\mathbf{I}}_{k_1}. \end{aligned} \qquad (5)$$

После соответствующего преобразования системы (5) и их повторного объединения в одно подматричное уравнение, получим

$$\left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{U}}_{m_1} \\ \hdashline \dot{\mathbf{I}}_{k_1} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}m_1} \\ \hdashline \dot{\mathbf{I}}_{\text{Б}k_1} \end{array}\right] + \left[\begin{array}{c:c} \mathbf{Z}_{m_1, n_1} & \dot{\mathbf{C}}_{m_1, l_1} \\ \hdashline \dot{\mathbf{D}}_{k_1, n_1} & \mathbf{Y}_{k_1, l_1} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{I}}_{n_1} \\ \hdashline \dot{\mathbf{U}}_{l_1} \end{array}\right],$$

где

$$\dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}m_1} = \left(1 - \mathbf{Z}_{m_1 k_1} \mathbf{Z}_{k_1 l_1}^{-1}\right) \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}} = \left(1 - \mathbf{Z}_{\mathrm{m}_1 k_1} \mathbf{Y}_{k_1, l_1}\right) \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}};$$

$$\dot{\mathbf{I}}_{\text{Б}k_1} = -\mathbf{Z}_{k_1 l_1}^{-1} \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}} = -\mathbf{Y}_{k_1, l_1} \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}};$$

$$\mathbf{Z}_{m_1, n_1} = \mathbf{Z}_{m_1 n} - \mathbf{Z}_{m_1 k_1} \mathbf{Z}_{k_1 l_1}^{-1} \mathbf{Z}_{l_1 n_1};$$

$$\dot{\mathbf{C}}_{m_1, l_1} = \mathbf{Z}_{m_1 k_1} \mathbf{Z}_{k_1 \ell_1}^{-1} = \mathbf{Z}_{m_1 k_1} \mathbf{Y}_{k_1, l_1};$$

$$\dot{\mathbf{D}}_{k_1, n_1} = -\mathbf{Z}_{k_1 l_1}^{-1} \mathbf{Z}_{l_1 n_1} = -\mathbf{Y}_{k_1, l_1} \mathbf{Z}_{l_1 n_1};$$

$$\mathbf{Z}_{k_1 l_1}^{-1} = \mathbf{Z}_{k_1, l_1}^{-1} = \mathbf{Y}_{k_1, l_1}.$$

Аналогичные матричные уравнения можно получить и для других подсистем. Для последней N-й подсистемы матричное уравнение представим следующим образом:

$$\left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{U}}_{m_N} \\ \hdashline \dot{\mathbf{I}}_{k_N} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}m_N} \\ \hdashline \dot{\mathbf{I}}_{\text{Б}k_N} \end{array}\right] + \left[\begin{array}{c:c} \mathbf{Z}_{m_N, n_N} & \dot{\mathbf{C}}_{m_N, l_N} \\ \hdashline \dot{\mathbf{D}}_{k_N, n_N} & \mathbf{Y}_{k_N, l_N} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} \dot{\mathbf{I}}_{n_N} \\ \hdashline \dot{\mathbf{U}}_{l_N} \end{array}\right],$$

где

$$\dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}m_N} = \left(1 - \mathbf{Z}_{m_N k_N} \mathbf{Z}_{k_N l_N}^{-1}\right) \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}N} = \left(1 - \mathbf{Z}_{m_N k_N} \mathbf{Y}_{k_N, l_N}\right) \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}};$$

$$\dot{\mathbf{I}}_{\text{Б}k_N} = -\mathbf{Z}_{k_N l_N}^{-1} \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}N} = -\mathbf{Y}_{k_N, l_N} \dot{\mathbf{U}}_{\text{БI}};$$

$$\mathbf{Z}_{m_N, n_N} = \mathbf{Z}_{m_N n_N} - \mathbf{Z}_{m_N k_N} \mathbf{Z}_{k_N l_N}^{-1} \mathbf{Z}_{l_N n_N} = \mathbf{Z}_{m_N n_N} - \mathbf{Z}_{m_N k_N} Y_{k_N, l_N} \mathbf{Z}_{l_N n_N};$$

$$\dot{\mathbf{C}}_{m_N,\, l_N} = \mathbf{Z}_{m_N k_N}\mathbf{Z}^{-1}_{k_N l_N} = \mathbf{Z}_{m_N k_N}\mathbf{Y}_{k_N,\, l_N};$$

$$\dot{\mathbf{D}}_{k_N,\, n_N} = -\mathbf{Z}^{-1}_{k_N l_N}\mathbf{Z}_{l_N n_N} = -\mathbf{Y}_{k_N,\, l_N}\mathbf{Z}l_{l_N n_N};$$

$$\mathbf{Z}^{-1}_{k_N l_N} = \mathbf{Z}^{-1}_{k_N,\, l_N} = \mathbf{Y}_{k_N,\, l_N}.$$

Здесь величины $\dot{\mathbf{C}}$ и $\dot{\mathbf{D}}$ являются безразмерными и комплексными.

Для рассматриваемой БЭЭС блочно-диагональную *Z–Y* диакоптическую модель можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{m_1} \\ \dot{\mathbf{I}}_{k_1} \\ \hline \cdots\cdots \\ \hline \dot{\mathbf{U}}_{m_N} \\ \dot{\mathbf{I}}_{k_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}_1} \\ \dot{\mathbf{I}}_{\text{Б}_1} \\ \hline \cdots\cdots \\ \hline \dot{\mathbf{U}}_{\text{Б}_N} \\ \dot{\mathbf{I}}_{\text{Б}_N} \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{cc|c|cc} \mathbf{Z}_{m_1,\, n_1} & \dot{\mathbf{B}}_{m_1,\, l_1} & & & \\ \dot{\mathbf{C}}_{k_1,\, n_1} & \mathbf{Y}_{k_1,\, l_1} & & & \\ \hline & & \ddots & & \\ \hline & & & \mathbf{Z}_{m_N,\, n_N} & \dot{\mathbf{B}}_{m_N,\, l_N} \\ & & & \dot{\mathbf{C}}_{k_N,\, n_N} & \mathbf{Y}_{k_N,\, l_N} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_{n_1} \\ \dot{\mathbf{U}}_{l_1} \\ \hline \cdots\cdots \\ \hline \dot{\mathbf{I}}_{n_N} \\ \dot{\mathbf{U}}_{l_N} \end{bmatrix}. \tag{6}$$

Полученная *Z–Y* форма (6) является исходной для построения соответствующей диакоптической математической модели установившегося режима БЭЭС

$$\left[\begin{array}{c|c|c|c|c} F_{pm_1}(I'_{n_1}, I''_{n_1}) = 0, & & & & \\ F_{qm_1}(I'_{n_1}, I''_{n_1}) = 0; & & & & \\ \hline & F_{pk_1}(U'_{l_1}, U''_{l_1}) = 0, & & & \\ & F_{qk_1}(U'_{l_1}, U''_{l_1}) = 0; & & & \\ \hline & & \ddots & & \\ \hline & & & F_{pm_N}(I'_{n_N}, I''_{n_N}) = 0, & \\ & & & F_{qm_N}(I'_{n_N}, I''_{n_N}) = 0; & \\ \hline & & & & F_{pk_N}(U'_{l_N}, U''_{l_N}) = 0, \\ & & & & F_{qk_N}(U'_{l_N}, U''_{l_N}) = 0. \end{array}\right] \tag{7}$$

В полученной диакоптической *Z–Y* модели установившегося режима, отдельные блочные уравнения определяются следующим образом:

- для первой подсистемы:

$$\begin{cases} F_{pm_1}\left(I'_{n_1},\, I''_{n_1}\right) = P_{m_1} - \left\{P_{\text{Б}m_1} + \sum\limits_{n_1}\left[R_{m_1,\, n_1}\left(I'_{m_1}I'_{n_1} + I''_{m_1}I''_{n_1}\right) + X_{m_1,\, n_1}\left(I''_{m_1}I'_{n_1} - I'_{m_1}I''_{n_1}\right)\right]\right\} = 0; \\ F_{qm_1}\left(I'_{n_1},\, I''_{n_1}\right) = Q_{m_1} - \left\{Q_{\text{Б}m_1} + \sum\limits_{n_1}\left[X_{m_1,\, n_1}\left(I'_{m_1}I'_{n_1} + I''_{m_1}I''_{n_1}\right) - R_{m_1,\, n_1}\left(I''_{m_1}I'_{n_1} - I'_{m_1}I''_{n_1}\right)\right]\right\} = 0; \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} F_{pk_1}\left(U'_{l_1},\, U''_{l_1}\right) = P_{k_1} - \left\{P_{\text{Б}k_1} + \sum\limits_{\ell_1}\left[g_{k_1,\, l_1}\left(U'_{k_1}U'_{l_1} + U''_{k_1}U''_{l_1}\right) + b_{k_1,\, l_1}\left(U''_{k_1}U'_{l_1} - U'_{k_1}U''_{l_1}\right)\right]\right\} = 0; \\ F_{qk_1}\left(U'_{l_1},\, U''_{l_1}\right) = Q_{k_1} - \left\{Q_{\text{Б}k_1} + \sum\limits_{\ell_1}\left[g_{k_1,\, l_1}\left(U''_{k_1}U'_{l_1} - U'_{k_1}U''_{l_1}\right) - b_{k_1,\, l_1}\left(U'_{k_1}U'_{l_1} + U''_{k_1}U''_{l_1}\right)\right]\right\} = 0. \end{cases} \tag{9}$$

• для последней N-й подсистемы:

$$\begin{cases} F_{pm_N}\left(I'_{n_N}, I''_{n_N}\right) = P_{m_N} - \left\{P_{\text{Б}m_N} + \sum\limits_{n_N}\left[R_{m_N,n_N}\left(I'_{m_N}I'_{n_N} + I''_{m_N}I''_{n_N}\right) + X_{m_N,n_N}\left(I''_{m_N}I'_{n_N} - I'_{m_N}I''_{n_N}\right)\right]\right\} = 0; \\ F_{qm_N}\left(I'_{n_N}, I''_{n_N}\right) = Q_m - \left\{Q_{\text{Б}m_N} + \sum\limits_{n_N}\left[X_{m_N,n_N}\left(I'_{m_N}I'_{n_N} + I''_{m_N}I''_{n_N}\right) - R_{m_N,n_N}\left(I''_{m_N}I'_{n_N} - I'_{m_N}I''_{n_N}\right)\right]\right\} = 0; \end{cases} \tag{10}$$

$$\begin{cases} F_{pk_N}\left(U'_{l_N}, U''_{l_N}\right) = P_{k_N} - \left\{P_{\text{Б}k_N} + \sum\limits_{l_N}\left[g_{k_N,l_N}\left(U'_{k_N}U'_{l_N} + U''_{k_N}U''_{l_N}\right) + b_{k_N,l_N}\left(U''_{k_N}U'_{l_N} - U'_{k_N}U''_{l_N}\right)\right]\right\} = 0; \\ F_{qk_N}\left(U'_{l_N}, U''_{l_N}\right) = Q_{k_N} - \left\{Q_{\text{Б}k_N} + \sum\limits_{l_N}\left[g_{k_N,l_N}\left(U''_{k_N}U'_{l_N} - U'_{k_N}U''_{l_N}\right) - b_{k_N,l}\left(U'_{k_N}U'_{l_N} + U''_{k_N}U''_{l_N}\right)\right]\right\} = 0. \end{cases} \tag{11}$$

Выражения для величин $P_{\text{Б}m_1}$, $Q_{\text{Б}m_1}$; $P_{\text{Б}k_1}$, $Q_{\text{Б}k_1}$; …; $P_{\text{Б}m_N}$, $Q_{\text{Б}m_N}$; $P_{\text{Б}k_N}$, $Q_{\text{Б}k_N}$ (8)–(11) приведены в [3].

Системы нелинейных алгебраических уравнений, определяющие диакоптическую математическую модель (7), решаются методом Ньютона – Рафсона, при котором соответствующие рекуррентные выражения имеют следующий вид:

• для первой подсистемы:

$$\begin{bmatrix} I'_{m_1} \\ -- \\ I''_{m_1} \end{bmatrix}^{И+1} = \begin{bmatrix} I'_{m_1} \\ -- \\ I''_{m_1} \end{bmatrix}^{И} + \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial F_{pm_1}}{\partial I'_{n_1}} & \dfrac{\partial F_{pm_1}}{\partial I''_{n_1}} \\ \hline \dfrac{\partial F_{qm_1}}{\partial I'_{n_1}} & \dfrac{\partial F_{qm_1}}{\partial I''_{n_1}} \end{array}\right]^{-1} \begin{bmatrix} F_{pm_1}\left(I'_{n_1}, I''_{n_1}\right) \\ \hline F_{qm_1}\left(I'_{n_1}, I''_{n_1}\right) \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} U'_{k_1} \\ --- \\ U''_{k_1} \end{bmatrix}^{И+1} = \begin{bmatrix} U'_{k_1} \\ --- \\ U''_{k_1} \end{bmatrix}^{И} + \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial F_{pk_1}}{\partial U'_{l_1}} & \dfrac{\partial F_{pk_1}}{\partial U''_{l_1}} \\ \hline \dfrac{\partial F_{qk_1}}{\partial U'_{l_1}} & \dfrac{\partial F_{qk_1}}{\partial U''_{l_1}} \end{array}\right]^{-1} \begin{bmatrix} F_{pk_1}\left(U'_{l_1}, U''_{l_1}\right) \\ \hline F_{qk_1}\left(U'_{l_1}, U''_{l_1}\right) \end{bmatrix};$$

• для последней N-й подсистемы:

$$\begin{bmatrix} I'_{m_N} \\ --- \\ I''_{m_N} \end{bmatrix}^{И+1} = \begin{bmatrix} I'_{m_N} \\ --- \\ I''_{m_N} \end{bmatrix}^{И} + \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial F_{pm_N}}{\partial I'_{n_N}} & \dfrac{\partial F_{pm_N}}{\partial I''_{n_N}} \\ \hline \dfrac{\partial F_{qm_N}}{\partial I'_{n_N}} & \dfrac{\partial F_{qm_N}}{\partial I''_{n_N}} \end{array}\right]^{-1} \begin{bmatrix} F_{pm_N}\left(I'_{n_N}, I''_{n_N}\right) \\ \hline F_{qm_N}\left(I'_{n_N}, I''_{n_N}\right) \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} U'_{k_N} \\ --- \\ U''_{k_N} \end{bmatrix}^{И+1} = \begin{bmatrix} U'_{k_N} \\ --- \\ U''_{k_N} \end{bmatrix}^{И} + \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial F_{pk_N}}{\partial U'_{l_N}} & \dfrac{\partial F_{pk_N}}{\partial U''_{l_N}} \\ \hline \dfrac{\partial F_{qk_N}}{\partial U'_{l_N}} & \dfrac{\partial F_{qk_N}}{\partial U''_{l_N}} \end{array}\right]^{-1} \begin{bmatrix} F_{pk_N}\left(U'_{l_N}, U''_{l_N}\right) \\ \hline F_{qk_N}\left(U'_{l_N}, U''_{l_N}\right) \end{bmatrix}.$$

Если пользоваться понятиями векторов состояния (**X**), управления (**U**) и возмущения (**W**) [3–5], то можно записать:

$$\mathbf{X} = \{X_1,\ X_2,\ \ldots,\ X_N\};$$

$$\mathbf{U} = \{U_1,\ U_2,\ \ldots,\ U_N\};$$

$$\mathbf{W} = \{W_1,\ W_2,\ \ldots,\ W_N\}.$$

Векторы состояния, управления и возмущения будут иметь следующие структуры:

- для первой подсистемы:

$$[\mathbf{X}_1] = \begin{bmatrix} \left.\begin{matrix} P_0 \\ Q_0 \end{matrix}\right\} & \text{– для базисного (балансирующего) станционного узла типа } U-\Psi_u; \\ \left.\begin{matrix} I_1' \\ I_1'' \end{matrix}\right\} & \text{– для станционных узлов типа } P-Q; \\ \left.\begin{matrix} U_1' \\ U_1'' \end{matrix}\right\} & \text{– для нагрузочных узлов типа } P-Q; \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{U}_1] = \begin{bmatrix} \left.\begin{matrix} U_0 \\ \Psi_{u_0} \end{matrix}\right\} & \text{– для базисного (балансирующего) станционного узла типа } U-\Psi_u; \\ \left.\begin{matrix} P_1 \\ Q_1 \end{matrix}\right\} & \text{– для станционных узлов типа } P-Q; \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{W}_1] = \begin{bmatrix} \left.\begin{matrix} P_1 \\ Q_1 \end{matrix}\right\} & \text{– для нагрузочных узлов типа } P-Q; \end{bmatrix}$$

- для N-й подсистемы:

$$[\mathbf{X}_N] = \begin{bmatrix} \left.\begin{matrix} I_N' \\ I_N'' \end{matrix}\right\} & \text{– для станционных узлов типа } P-Q; \\ \left.\begin{matrix} U_N' \\ U_N'' \end{matrix}\right\} & \text{– для нагрузочных узлов типа } P-Q; \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{U}_N] = \begin{bmatrix} \left.\begin{matrix} P_N \\ Q_N \end{matrix}\right\} & \text{– для станционных узлов типа } P-Q; \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{W}_N] = \begin{bmatrix} \left.\begin{matrix} P_N \\ Q_N \end{matrix}\right\} & \text{– для нагрузочных узлов типа } P-Q. \end{bmatrix}$$

Таким образом, диакоптическая математическая модель для БЭЭС (7) примет вид

$$
\begin{array}{|l|l|l|l|l|}
\hline
F_{Z_1(Y_1)}(X_1, U_1, W_1)=0, & & & & \\
\hline
 & F_{Y_1(Z_1)}(X_1, U_1, W_1)=0; & & & \\
\hline
 & & \ddots & & \\
\hline
 & & & F_{Z_N(Y_N)}(X_N, U_N, W_N)=0, & \\
\hline
 & & & & F_{Y_N(Z_N)}(X_N, U_N, W_N)=0. \\
\hline
\end{array}
$$

Если вектор состояния $\mathbf{X}_1$ получит приращение $\Delta\mathbf{X}_1$, то соответствующие приращения $\Delta\mathbf{U}_1$ и $\Delta\mathbf{W}_1$ получат векторы управления $\mathbf{U}_1$ и возмущения $\mathbf{W}_1$, и тогда для первой подсистемы можем написать выражения:

$$\mathbf{F}_{Z_1(Y_1)}\left(\mathbf{X}_1^P + \Delta\mathbf{X}_1;\ \mathbf{U}_1^0 + \Delta\mathbf{U}_1;\ \mathbf{W}_1^0 + \Delta\mathbf{W}_1\right) = 0; \tag{12}$$

$$\mathbf{F}_{Y_1(Z_1)}\left(\mathbf{X}_1^P + \Delta\mathbf{X}_1;\ \mathbf{U}_1^0 + \Delta\mathbf{U}_1;\ \mathbf{W}_1^0 + \Delta\mathbf{W}_1\right) = 0. \tag{13}$$

Разлагая (12) и (13) в ряд Тейлора и оставляя только члены, имеющие частные производные первого порядка, получим:

$$\Delta\mathbf{X}_{Z_1(Y_1)} = \mathbf{S}^U_{Z_1(Y_1)}\Delta\mathbf{U}_{Z_1(Y_1)} + \mathbf{S}^W_{Z_1(Y_1)}\Delta\mathbf{W}_{Z_1(Y_1)};$$

$$\Delta\mathbf{X}_{Y_1(Z_1)} = \mathbf{S}^U_{Y_1(Z_1)}\Delta\mathbf{U}_{Y_1(Z_1)} + \mathbf{S}^W_{Y_1(Z_1)}\Delta\mathbf{W}_{Y_1(Z_1)},$$

в которых приняты следующие обозначения:

$$\mathbf{S}^U_{Z_1(Y_1)} = -\left(\frac{\partial\mathbf{F}_{Z_1(Y_1)}}{\partial\mathbf{X}_1}\right)^{-1}\frac{\partial\mathbf{F}_{Z_1(Y_1)}}{\partial\mathbf{U}_1}; \tag{14}$$

$$\mathbf{S}^W_{Z_1(Y_1)} = -\left(\frac{\partial\mathbf{F}_{Z_1(Y_1)}}{\partial\mathbf{X}_1}\right)^{-1}\frac{\partial\mathbf{F}_{Z_1(Y_1)}}{\partial\mathbf{W}_1}; \tag{15}$$

$$\mathbf{S}^U_{Y_1(Z_1)} = -\left(\frac{\partial\mathbf{F}_{Y_1(Z_1)}}{\partial\mathbf{X}_1}\right)^{-1}\frac{\partial\mathbf{F}_{Y_1(Z_1)}}{\partial\mathbf{U}_1}; \tag{16}$$

$$\mathbf{S}^W_{Y_1(Z_1)} = -\left(\frac{\partial\mathbf{F}_{Y_1(Z_1)}}{\partial\mathbf{X}_1}\right)^{-1}\frac{\partial\mathbf{F}_{Y_1(Z_1)}}{\partial\mathbf{W}_1}. \tag{17}$$

Здесь выражения (14)–(17) являются матрицами чувствительности.

Скорректированные векторы состояния для первой подсистемы будут:

$$\mathbf{X}^{\text{Н}}_{Z_1(Y_1)} = \mathbf{X}^{\Phi}_{Z_1(Y_1)} + \Delta\mathbf{X}_{Z_1(Y_1)}; \tag{18}$$

$$\mathbf{X}^{\text{Н}}_{Y_1(Z_1)} = \mathbf{X}^{\Phi}_{Y_1(Z_1)} + \Delta\mathbf{X}_{Y_1(Z_1)}, \tag{19}$$

где Н – новый; Ф – функционирующие (установившиеся) режимы.

В развернутом виде уравнения (18) и (19) можно записать следующим образом:

$$
\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_1} \\ -- \\ \mathbf{I}''_{m_1} \end{bmatrix}^{\text{Н}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_1} \\ -- \\ \mathbf{I}''_{m_1} \end{bmatrix}^{\Phi} &- \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{P}_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{Q}_{n_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_1}}{\partial \mathbf{P}_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_1}}{\partial \mathbf{Q}_{n_1}} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P}_{n_1} \\ ---- \\ \Delta \mathbf{Q}_{n_1} \end{bmatrix} - \\
&- \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{U}'_{l_1} \\ ---- \\ \Delta \mathbf{U}''_{l_1} \end{bmatrix};
\end{aligned}
\tag{20}
$$

$$
\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_1} \\ --- \\ \mathbf{U}''_{k_1} \end{bmatrix}^{\text{Н}} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_1} \\ --- \\ \mathbf{U}''_{k_1} \end{bmatrix}^{\Phi} &- \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{I}'_{n_1} \\ --- \\ \Delta \mathbf{I}''_{n_1} \end{bmatrix} - \\
&- \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c:c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{P}_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{Q}_{l_1}} \\ \hdashline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{P}_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{Q}_{l_1}} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P}_{k_1} \\ ---- \\ \Delta \mathbf{Q}_{k_1} \end{bmatrix}.
\end{aligned}
\tag{21}
$$

Аналогичным образом можем записать соответствующие выражения для других подсистем, следовательно, и для N-й подсистемы:

$$\mathbf{F}_{Z_N(Y_N)}\left(\mathbf{X}_N^P + \Delta\mathbf{X}_N;\ \mathbf{U}_N^0 + \Delta\mathbf{U}_N;\ \mathbf{W}_N^0 + \Delta\mathbf{W}_N\right) = 0;$$

$$\mathbf{F}_{Y_N(Z_N)}\left(\mathbf{X}_N^P + \Delta\mathbf{X}_N;\ \mathbf{U}_N^0 + \Delta\mathbf{U}_N;\ \mathbf{W}_N^0 + \Delta\mathbf{W}_N\right) = 0,$$

из которых следует:

$$\Delta\mathbf{X}_{Z_N(Y_N)} = \mathbf{S}^U_{Z_N(Y_N)}\Delta\mathbf{U}_{Z_N(Y_N)} + \mathbf{S}^W_{Z_N(Y_N)}\Delta\mathbf{W}_{Z_N(Y_N)}; \tag{22}$$

$$\Delta\mathbf{X}_{Y_N(Z_N)} = \mathbf{S}^U_{Y_N(Z_N)}\Delta\mathbf{U}_{Y_N(Z_N)} + \mathbf{S}^W_{Y_N(Z_N)}\Delta\mathbf{W}_{Y_N(Z_N)}. \tag{23}$$

В (22), (23) приняты следующие обозначения:

$$\mathbf{S}^U_{Z_N(Y_N)} = -\left(\frac{\partial F_{Z_N(Y_N)}}{\partial X_N}\right)^{-1} \frac{\partial F_{Z_N(Y_N)}}{\partial U_N};$$

$$\mathbf{S}^W_{Z_N(Y_N)} = -\left(\frac{\partial F_{Z_N(Y_N)}}{\partial X_N}\right)^{-1} \frac{\partial F_{Z_N(Y_N)}}{\partial W_N};$$

$$\mathbf{S}^U_{Y_N(Z_N)} = -\left(\frac{\partial F_{Y_N(Z_N)}}{\partial X_N}\right)^{-1} \frac{\partial F_{Y_N(Z_N)}}{\partial U_N};$$

$$\mathbf{S}^{W}_{Y_N(Z_N)} = -\left(\frac{\partial F_{Y_N(Z_N)}}{\partial X_N}\right)^{-1} \frac{\partial F_{Y_N(Z_N)}}{\partial W_N}.$$

Аналогично можем записать:

$$\mathbf{X}^{\text{Н}}_{Z_N(Y_N)} = \mathbf{X}^{\Phi}_{Z_N(Y_N)} + \Delta\mathbf{X}_{Z_N(Y_N)};$$

$$\mathbf{X}^{\text{Н}}_{Y_N(Z_N)} = \mathbf{X}^{\Phi}_{Y_N(Z_N)} + \Delta\mathbf{X}_{Y_N(Z_N)},$$

и, следовательно:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_N} \\ --- \\ \mathbf{I}''_{m_N} \end{bmatrix}^{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_N} \\ --- \\ \mathbf{I}''_{m_N} \end{bmatrix}^{\Phi} - \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{P}_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{Q}_{n_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{P}_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{Q}_{n_N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{P}_{n_N} \\ ---- \\ \Delta\mathbf{Q}_{n_N} \end{bmatrix} - \tag{24}$$
$$- \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{U}'_{l_N} \\ ---- \\ \Delta\mathbf{U}''_{l_N} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_N} \\ --- \\ \mathbf{U}''_{k_N} \end{bmatrix}^{\text{Н}} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_N} \\ --- \\ \mathbf{U}''_{k_N} \end{bmatrix}^{\Phi} - \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{I}'_{n_N} \\ ---- \\ \Delta\mathbf{I}''_{n_N} \end{bmatrix} - \tag{25}$$
$$- \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{P}_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{Q}_{l_N}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{P}_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{Q}_{l_N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{P}_{k_N} \\ ---- \\ \Delta\mathbf{Q}_{k_N} \end{bmatrix}.$$

Необходимо отметить, что матричные выражения (20), (21) и (24), (25) получены для самого общего случая, когда одновременно изменяются как вектор управления **U**, так и вектор возмущения **W**. На практике чаще изменяются активные и реактивные мощности нагрузочных узлов, т. е. компоненты вектора возмущения **W**.

При этом матричные выражения (20), (21) и (24), (25) соответственно принимают вид:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_1} \\ -- \\ \mathbf{I}''_{m_1} \end{bmatrix}^{\text{Н}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_1} \\ -- \\ \mathbf{I}''_{m_1} \end{bmatrix}^{\Phi} - \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm}}{\partial \mathbf{I}'_{n_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm}}{\partial \mathbf{I}''_{n_1}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \\ \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{U}'_{l_1} \\ ---- \\ \Delta\mathbf{U}''_{l_1} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_1} \\ \hline \mathbf{U}''_{k_1} \end{bmatrix}^{\text{Н}} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_1} \\ \hline \mathbf{U}''_{k_1} \end{bmatrix}^{\Phi} - \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \\ \hline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{U}'_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{U}''_{l_1}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{P}_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_1}}{\partial \mathbf{Q}_{l_1}} \\ \hline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{P}_{l_1}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_1}}{\partial \mathbf{Q}_{l_1}} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P}_{k_1} \\ \hline \Delta \mathbf{Q}_{k_1} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_N} \\ \hline \mathbf{I}''_{m_N} \end{bmatrix}^{\text{Н}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}'_{m_N} \\ \hline \mathbf{I}''_{m_N} \end{bmatrix}^{\Phi} - \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \\ \hline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{I}'_{n_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{I}''_{n_N}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pm_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \\ \hline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qm_N}}{\partial \mathbf{U}''_{\ell_N}} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{U}'_{l_N} \\ \hline \Delta \mathbf{U}''_{l_N} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_N} \\ \hline \mathbf{U}''_{k_N} \end{bmatrix}^{\text{Н}} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}'_{k_N} \\ \hline \mathbf{U}''_{k_N} \end{bmatrix}^{\Phi} - \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \\ \hline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{U}'_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{U}''_{l_N}} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{P}_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{pk_N}}{\partial \mathbf{Q}_{l_N}} \\ \hline \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{P}_{l_N}} & \dfrac{\partial \mathbf{F}_{qk_N}}{\partial \mathbf{Q}_{l_N}} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P}_{k_N} \\ \hline \Delta \mathbf{Q}_{k_N} \end{bmatrix}.$$

Частные производные, входящие в матрицы Якоби, приведены в [3]. Другие частные производные определяются на основании соответствующих аналитических выражений установившегося режима БЭЭС.

ВЫВОД

Полученные аналитические выражения для коррекции параметров установившегося режима БЭЭС в гибридной *Z–Y*-форме позволяют оперативно корректировать значения мощностей контролируемых узлов в БЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Х а ч а т р я н, В. С. К методам расчета собственных и взаимных сопротивлений сложных энергосистем / В. С. Хачатрян // Электричество. – 1964. – № 10. – С. 47–57.
2. Н а р р, H. H. Z-diakoptics, torn subdivisions radially attached / H. H. Happ // IEEE Transactions. – 1967. – V. PAS-86. – No. 6. – P.751–769.
3. Х а ч а т р я н, К. В. Метод коррекции установившегося режима электроэнергетической системы / К. В. Хачатрян // Электричество. – 2005. – № 5. – С. 8–11.
4. Х а ч а т р я н, К. В. Новая диакоптическая обобщенная математическая модель коррекции установившегося режима сложной электроэнергетической системы / К. В. Хачатрян // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2005. – № 1. – С. 76–88.
5. Х а ч а т р я н, В. С. Новый метод коррекции установившегося режима сложной электроэнергетической системы / В. С. Хачатрян, К. В. Хачатрян // Вестник инженерной Академии Армении. – 2005. – № 1. – С. 19–26.

Поступила 17.10.2005