- гликоли дефицитны и, обладая высокими скоростями охлаждения, опасны для высоколегированных сталей (вызывают трещинообразование и коробление).

Анализ вышеиспользованных полимерных сред выявил целесообразность поиска новых охлаждающих сред взамен масла, лишенных вышеуказанных недостатков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент США № 3220893. - HKN 148-28, 1965.
2. Каталог. Поливинилацетатные пластинки. - Черкассы, 1981. - с.

ГИУА 03.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 3, 1997, с. 194-203

УДК 621.311.1.001.24 **ЭНЕРГЕТИКА**

В.С. ХАЧАТРЯН, М.Б. АЛЬ-ДАРВИШ

РЕШЕНИЕ Y-Z - ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЦЫ ГЕССЕ

[illegible] Հեսսի [illegible] հիբրիդային տեսքի [illegible] հավասարումների համակարգը: Առաջարկված մեթոդը [illegible] առավելությունները, որոնք [illegible] են հիբրիդային տեսքի [illegible] և Հեսսի մատրիցին:

Решается система нелинейных алгебраических уравнений гибридного типа с применением матрицы Гессе. Предложенный метод обеспечивает преимущества, которые присущи как гибридным уравнениям установившегося режима, так и матрице Гессе.

Библиогр.: 4 назв.

Nonlinear algebraic equations of hybrid type is solved using the Gesse matrix. The proposed method provides with advantages inherent both to steady-state hydride equations and Gesse matrix.

Ref. 4.

В последние годы для решения задачи расчета установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) широко применяются уравнения типа Y-Z, которые дают возможность решить задачу при любой форме задания исходной информации относительно станционных узлов [1-3].

В настоящей работе предлагается решение Y-Z-формы гибридных уравнений методом второго порядка или методом матрицы Гессе [4].

Система гибридных Y-Z-уравнений в матричной форме при применении системы индексов "0" для узла типа $U-\psi_{0}$, $m(n)=1,2,\dots;\Gamma$- для узлов типа $P-u$ и $k(\ell)=\Gamma+1,\ \Gamma+2,\dots,\Gamma+H=M$ имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_m \\ --- \\ \dot{U}_{k0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{m,n} & \vert & \dot{A}_{m,\ell} \\ - & \vert & - \\ \dot{C}_{k,n} & \vert & Z_{k,\ell} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{n0} \\ --- \\ \dot{I}_\ell \end{bmatrix}, \tag{1}$$

где

$$\begin{gathered} Y_{m,n} = Y_{mn} - Y_{mk}Y_{k\ell}^{-1}Y_{\ell n};\ \dot{A}_{m,\ell} = Y_{mk}Y_{k\ell}^{-1}; \\ \dot{C}_{k,n} = -Y_{k\ell}^{-1}Y_{\ell n};\ Z_{k,\ell} = -Y_{k\ell}^{-1}. \end{gathered} \tag{2}$$

Матричное уравнение состояния (1) в алгебраической форме представляется в виде

$$\begin{cases} \dot{I}_m = \dot{I}_{Бm} + \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} Y_{m,n}\dot{U}_n + \sum\limits_{\ell=\Gamma+1}^{M} \dot{A}_{m,\ell}\dot{I}_\ell, \\ \dot{U}_k = \dot{U}_{Бk} + \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} \dot{C}_{k,n}\dot{U}_n + \sum\limits_{\ell=\Gamma+1}^{M} Z_{k,\ell}\dot{I}_\ell, \end{cases} \tag{3}$$

где $\dot{I}_{Бm} = -\sum\limits_{n=1}^{\Gamma} Y_{m,n}\dot{U}_0;\ \dot{U}_{Бk} = \left(1 - \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} \dot{C}_{k,n}\right)\dot{U}_0.$

Переходя к активным и реактивным мощностям из уравнений (3), получим

$$\begin{cases} P_m = P_{Бm} + \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n}(U'_m U'_n + U''_m U''_n) + b_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n)], \\ Q_m = Q_{Бm} + \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n) - b_{m,n}(U'_m U'_n + U''_m U''_n)]. \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{cases} P_k = P_{Бk} + \sum\limits_{\ell=\Gamma+1}^{M} [R_{k,\ell}(I'_k I'_\ell + I''_k I''_\ell) + x_{k,\ell}(I''_k I'_\ell - I'_k I''_\ell)], \\ Q_k = Q_{Бk} - \sum\limits_{\ell=\Gamma+1}^{M} [R_{k,\ell}(I''_k I'_\ell - I'_k I''_\ell) - x_{k,\ell}(I'_k I'_\ell + I''_k I''_\ell)]. \end{cases} \tag{5}$$

Представим (4) и (5) в следующем виде:

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Бm} + \varphi_{pm}(U'_n, U''_n)] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Бm} + \varphi_{qm}(U'_n, U''_n)] = 0. \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{Бk} + \varphi_{pk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{Бk} + \varphi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0, \end{cases} \tag{7}$$

где

$$
\begin{cases}
\varphi_{pm}(U'_n, U''_n) = \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n}(U'_m U'_n + U''_m U''_n) + b_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n)], \\
\varphi_{qm}(U'_n, U''_n) = \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n) - b_{m,n}(U'_m U'_n + U''_m U''_n)].
\end{cases} \tag{8}
$$

$$
\begin{cases}
\varphi_{pk}(I'_r, I''_r) = \sum\limits_{r=\Gamma+1}^{M} [R_{k,r}(I'_k I'_r + I''_k I''_r) + x_{k,r}(I''_k I'_r - I'_k I''_r)], \\
\varphi_{qk}(I'_r, I''_r) = -\sum\limits_{r=\Gamma+1}^{M} [R_{k,r}(I''_k I'_r - I'_k I''_r) - x_{k,r}(I'_k I'_r + I''_k I''_r)].
\end{cases} \tag{9}
$$

В уравнениях (6) и (7) приняты следующие обозначения:

$$
\begin{cases}
P_{bm} = -\sum\limits_{n=1}^{\Gamma} (g_{m,n} U'_n + b_{m,n} U''_n) U_b + \sum\limits_{r=\Gamma+1}^{M} [a'_{m,r}(U'_m I'_r + U''_m I''_r) + a''_{m,r}(U''_m I'_r - U'_m I''_r)], \\
Q_{bm} = -\sum\limits_{n=1}^{\Gamma} (g_{m,n} U''_n - b_{m,n} U'_m) U_b + \sum\limits_{r=\Gamma+1}^{M} [a'_{m,r}(U''_m I'_r - U'_m I''_r) - a''_{m,r}(U'_m I'_r + U''_m I''_r)].
\end{cases} \tag{10}
$$

$$
\begin{cases}
P_{bk} = I'_k U_b - \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} (C'_{k,n} I'_k + C''_{k,n} I''_k) U_b + \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} [C'_{k,n}(I'_k U'_n - I''_k U''_n) + C''_{k,n}(I''_k U'_n - I'_k U''_n)], \\
Q_{bk} = -I''_k U_b + \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} (C'_{k,n} I''_k - C''_{k,n} I'_k) U_b - \sum\limits_{n=1}^{\Gamma} [C'_{k,n}(I''_k U'_n - I'_k U''_n) - C''_{k,n}(I'_k U'_n + I''_k U''_n)].
\end{cases} \tag{11}
$$

Представим системы уравнений (6) и (7) в виде

$$
\Phi_{mm} \triangleq (\Phi_{pm}, \Phi_{qm}), \; \Phi_{k} = (\Phi_{pk}, \Phi_{qk}). \tag{12}
$$

Рассмотрим следующие вспомогательные функции:

$$
F(U) = \sum_{m=1}^{\Gamma} \Phi^2_{mm} = \sum_{m=1}^{\Gamma} (\Phi^2_{pm} + \Phi^2_{qm}), \tag{13}
$$

$$
F(I) = \sum_{k=\Gamma+1}^{M} \Phi^2_{k} = \sum_{k=\Gamma+1}^{M} (\Phi^2_{pk} + \Phi^2_{qk}). \tag{14}
$$

Разлагая в ряд Тейлора функцию (13) и учитывая, что она непосредственно зависит от вектора напряжения

$$
U = (U_1, U_2, \cdots, U_\Gamma),
$$

получим

$$
F(U) = F(U^0) + \left.\frac{\partial F(U)}{\partial U}\right|_{U^0} \cdot \Delta U + \frac{1}{2} \Delta U^T \left.\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2}\right|_{U^0} \cdot \Delta U + F_{UH}, \tag{15}
$$

где F_{UH} – члены ряда Тейлора выше второго порядка. Пренебрегая этими членами, выражение (15) принимает вид

$$
F(U) = F(U^0) + \left.\frac{\partial F(U)}{\partial U}\right|_{U^0} \cdot \Delta U + \frac{1}{2} \Delta U^T \left.\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2}\right|_{U^0} \cdot \Delta U. \tag{16}
$$

Условием минимума функции (16) будет

$$
\frac{\partial F(U)}{\partial U} = \frac{\partial F(U^0)}{\partial U} + \left.\frac{\partial F(U)}{\partial U}\right|_{U^0} + \left.\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2}\right|_{U^0} \cdot \Delta U = 0. \tag{17}
$$

Поскольку $\partial F(U^*)/\partial U = 0$, получим

$$\left.\frac{\partial F(U)}{\partial U}\right|_{U^*} + \left.\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2}\right|_{U^0} \cdot \Delta U = 0. \tag{18}$$

Если ввести обозначения

$$G(U) = \frac{\partial F(U)}{\partial U}; \quad H(U) = \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2}, \tag{19}$$

то уравнение (18) примет вид

$$G(U) + H(U)\Delta U = 0,$$

или

$$H(U)\Delta U = -G(U),$$

откуда

$$\Delta U = -H(U)^{-1} \cdot G(U). \tag{20}$$

В данном случае ΔU является поправочным вектором к переменному состояния U. Новый вектор определяется следующим рекуррентным выражением

$$U^1 = U^0 + \Delta U^0. \tag{21}$$

Для произвольной И-й итерации рекуррентное выражение (21) представляется в виде

$$U^{И+1} = U^И + \Delta U^И,$$

или в общей форме

$$U^{И+1} = U^И - [H(U)|_{U^И}]^{-1} G(U) \tag{22}$$

В выражении (22) $H(U)$ является неособенной квадратной матрицей Гессе, элементы которой состоят из частных производных второго порядка от вспомогательной функции (13) по вектору напряжения U; $G(U)$ — градиент от этой же функции.

В развернутой форме рекуррентное выражение (22) можно представить в следующем виде

$$\begin{bmatrix} U'_m \\ --- \\ U''_n \end{bmatrix}^{И+1} = \begin{bmatrix} U'_m \\ --- \\ U''_n \end{bmatrix}^{И} - \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U'_n} & \dfrac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U''_n} \\ \hline \dfrac{\partial^2 F(U)}{\partial U''_m \partial U'_n} & \dfrac{\partial^2 F(U)}{\partial U''_m \partial U''_n} \end{array}\right] \times \begin{bmatrix} \dfrac{\partial F(U)}{\partial U'_m} \\ --- \\ \dfrac{\partial F(U)}{\partial U''_m} \end{bmatrix}. \tag{23}$$

Поступая аналогичным образом относительно функции (14), можем установить следующее рекуррентное выражение

$$I^{И+1} = I^И - [H(I)|_{I^И}]^{-1} G(I), \tag{24}$$

или в развернутой форме

$$\begin{bmatrix} I'_i \\ --- \\ I''_i \end{bmatrix}^{И+1} = \begin{bmatrix} I'_i \\ --- \\ I''_i \end{bmatrix}^{И} - \left[\begin{array}{c|c} \dfrac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_i \partial I'_i} & \dfrac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_i \partial I''_i} \\ \hline \dfrac{\partial^2 F(U)}{\partial I''_i \partial I'_i} & \dfrac{\partial^2 F(U)}{\partial I''_i \partial I''_i} \end{array}\right]^{-1} \times \begin{bmatrix} \dfrac{\partial F(I)}{\partial I'_i} \\ --- \\ \dfrac{\partial F(I)}{\partial I''_i} \end{bmatrix} \tag{25}$$

Теперь необходимо установить аналитические выражения частных производных, входящих в рекуррентные выражения (23) и

(25). Частные производные первого порядка, т.е. элементы градиента выражения (23), определяются в виде

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial F(U)}{\partial U'_m} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U'_m} + \varphi_{qn}\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U'_m}\right),\\
\frac{\partial F(U)}{\partial U''_m} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U''_m} + \varphi_{qn}\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U''_m}\right).
\end{aligned}
\tag{26}
$$

Частные производные второго порядка, входящие в матрицу Гессе выражения (23), определяются в виде

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'^2_m} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left[\left(\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U'_m}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U'_m}\right)^2\right] + 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial^2 \varphi_{pn}}{\partial U'^2_m} + \varphi_{qn}\frac{\partial^2 \varphi_{qn}}{\partial U'^2_m}\right),\\
\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U''^2_m} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left[\left(\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U''_m}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U''_m}\right)^2\right] + 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial^2 \varphi_{pn}}{\partial U''^2_m} + \varphi_{qn}\frac{\partial^2 \varphi_{qn}}{\partial U''^2_m}\right),\\
\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U''_m} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left(\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U'_m}\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U''_m} + \frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U'_m}\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U''_m}\right) + 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial^2 \varphi_{pn}}{\partial U'_m \partial U''_m} + \varphi_{qn}\frac{\partial^2 \varphi_{qn}}{\partial U'_m \partial U''_m}\right),\\
\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U'_n} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left(\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U'_m}\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U'_n} + \frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U'_m}\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U'_n}\right) + 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial^2 \varphi_{pn}}{\partial U'_m \partial U'_n} + \varphi_{qn}\frac{\partial^2 \varphi_{qn}}{\partial U'_m \partial U'_n}\right),\\
\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U''_m \partial U''_n} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left(\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U''_m}\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U''_n} + \frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U''_m}\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U''_n}\right) + 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial^2 \varphi_{pn}}{\partial U''_m \partial U''_n} + \varphi_{qn}\frac{\partial^2 \varphi_{qn}}{\partial U''_m \partial U''_n}\right),\\
\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U''_n} &= 2\sum_{n=1}^{L}\left(\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U'_m}\frac{\partial \varphi_{pn}}{\partial U''_n} + \frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U'_m}\frac{\partial \varphi_{qn}}{\partial U''_n}\right) + 2\sum_{n=1}^{L}\left(\varphi_{pn}\frac{\partial^2 \varphi_{pn}}{\partial U'_m \partial U''_n} + \varphi_{qn}\frac{\partial^2 \varphi_{qn}}{\partial U'_m \partial U''_n}\right).
\end{aligned}
\tag{27}
$$

Для перехода от неявно выраженных форм частных производных к явно выраженным формам функции φ_{pm}, φ_{qm} удобнее представить в следующем виде:

$$
\begin{cases}
\varphi_{pm}(U'_m, U''_m) = g_{mm}(U'^2_m + U''^2_m) + \sum\limits_{\substack{n=1\\ n\neq m}}^{L}[g_{mn}(U'_m U'_n + U''_m U''_n) + b_{mn}(U''_m U'_n - U'_m U''_n)],\\
\varphi_{qm}(U'_m, U''_m) = -b_{mm}(U'^2_m + U''^2_m) + \sum\limits_{\substack{n=1\\ n\neq m}}^{L}[g_{mn}(U''_m U'_n - U'_m U''_n) - b_{mn}(U'_m U'_n + U''_m U''_n)].
\end{cases}
\tag{28}
$$

Частные производные первых порядков, входящие в (26) и (27), определяются в виде:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $n = m$:

$$
\frac{\partial \varphi_{pm}}{\partial U'_m} = -\left\{ I'_{Gm} + 2g_{mm}U'_m + \sum_{\substack{n=1\\ n\neq m}}^{L}(g_{mn}U'_n - b_{mn}U''_n)\right\},
$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U''_m} = -\left\{ I'_{Бm} + g_{m,m} U''_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} (g_{m,n} U''_n + b_{m,n} U'_n) \right\}, \qquad (29)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U'_m} = -\left\{ -I''_{Бm} - 2b_{m,m} U'_m - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} (g_{m,n} U''_n + b_{m,n} U'_n) \right\},$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U''_m} = -\left\{ I'_{Бm} - 2b_{m,m} U''_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} (g_{m,n} U'_n - b_{m,n} U''_n) \right\},$$

где

$$I'_{Бm} = -\sum_{n=1}^{\Gamma} g_{m,n} U_0 + \sum_{i=\Gamma+1}^{M} (a'_{m,i} I'_i - a''_{m,i} I''_i),$$

$$I''_{Бm} = -\sum_{n=1}^{\Gamma} B_{m,n} U_0 + \sum_{i=\Gamma+1}^{M} (a'_{m,i} I''_i + a''_{m,i} I'_i);$$

- при разных индексах, т.е когда $n \neq m$:

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U'_n} = -(g_{m,n} U'_m + b_{m,n} U''_m),$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U''_n} = -(g_{m,n} U''_m - b_{m,n} U'_m),$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U'_n} = -(g_{m,n} U''_m - b_{m,n} U'_m), \qquad (30)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U''_n} = -(-g_{m,n} U'_m - b_{m,n} U''_m).$$

Частные производные вторых порядков, входящие в выражения (27), определяются в виде

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U'^2_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U''^2_m} = -2g_{m,m}, \qquad \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U'^2_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U''^2_m} = 2b_{m,m},$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U'^2_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U''^2_m} = 0, \qquad \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U'_m \partial U''_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U''_m \partial U'_m} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U'_n \partial U'_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U''_n \partial U''_m} = -g_{m,n}, \qquad \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U'_n \partial U'_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U''_n \partial U''_m} = b_{m,n}, \qquad (31)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U'_n \partial U'_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U''_n \partial U''_m} = 0, \qquad \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U''_n \partial U'_m} = \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U''_n \partial U'_m} = 0.$$

$$\frac{\partial^2\Phi_{pm}}{\partial U''_n \partial U'_m} = b_{mn}, \qquad \frac{\partial^2\Phi_{pn}}{\partial U'_n \partial U'_m} = -b_{mn},$$

$$\frac{\partial^2\Phi_{qm}}{\partial U'_n \partial U'_m} = g_{mn}, \qquad \frac{\partial^2\Phi_{qn}}{\partial U''_n \partial U'_m} = -g_{mn},$$

где $S=(p,q)$, $\alpha=(m,n)$, $\beta\neq(m,n)$.

Частные производные первых порядков, т.е. элементы градиента выражения (25), определяются в виде

$$\frac{\partial F(I)}{\partial I'_k} = 2\sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\ell}\frac{\partial \Phi_{p\ell}}{\partial I'_k} + \Phi_{q\ell}\frac{\partial \Phi_{q\ell}}{\partial I'_k}\right),$$

$$\frac{\partial F(I)}{\partial I''_k} = 2\sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\ell}\frac{\partial \Phi_{p\ell}}{\partial I''_k} + \Phi_{q\ell}\frac{\partial \Phi_{q\ell}}{\partial I''_k}\right) \qquad (32)$$

Частные производные вторых порядков, входящие в матрицу Гессе выражения (25), определяются в виде

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I'^2_k} = 2\sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}\left[\left(\frac{\partial \Phi_{p\ell}}{\partial I'_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_{q\ell}}{\partial I'_k}\right)^2\right] + 2\sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\ell}\frac{\partial^2 \Phi_{p\ell}}{\partial I'^2_k} + \Phi_{q\ell}\frac{\partial^2 \Phi_{q\ell}}{\partial I'^2_k}\right),$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I''^2_k} = 2\sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}\left[\left(\frac{\partial \Phi_{p\ell}}{\partial I''_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_{q\ell}}{\partial I''_k}\right)^2\right] + 2\sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\ell}\frac{\partial^2 \Phi_{p\ell}}{\partial I''^2_k} + \Phi_{q\ell}\frac{\partial^2 \Phi_{q\ell}}{\partial I''^2_k}\right), \qquad (33)$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_k \partial I''_k} = 2\sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}\left(\frac{\partial \Phi_{p\ell}}{\partial I'_k}\frac{\partial \Phi_{p\ell}}{\partial I''_k} + \frac{\partial \Phi_{q\ell}}{\partial I'_k}\frac{\partial \Phi_{q\ell}}{\partial I''_k}\right) + 2\sum_{k=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\ell}\frac{\partial^2 \Phi_{p\ell}}{\partial I'_k \partial I''_\ell} + \Phi_{q\ell}\frac{\partial^2 \Phi_{q\ell}}{\partial I'_k \partial I''_k}\right),$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_k \partial I'_\ell} = 2\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\left(\frac{\partial \Phi_{p\tau}}{\partial I'_k}\frac{\partial \Phi_{p\tau}}{\partial I'_\ell} + \frac{\partial \Phi_{q\tau}}{\partial I'_k}\frac{\partial \Phi_{q\tau}}{\partial I'_\ell}\right) + 2\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\tau}\frac{\partial \Phi_{p\tau}}{\partial I'_k \partial I'_\ell} + \Phi_{q\tau}\frac{\partial^2 \Phi_{q\tau}}{\partial I'_k \partial I'_\ell}\right),$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I''_k \partial I''_\ell} = 2\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\left(\frac{\partial \Phi_{p\tau}}{\partial I''_k}\frac{\partial \Phi_{p\tau}}{\partial I''_\ell} + \frac{\partial \Phi_{q\tau}}{\partial I''_k}\frac{\partial \Phi_{q\tau}}{\partial I''_\ell}\right) + 2\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\tau}\frac{\partial^2 \Phi_{p\tau}}{\partial I''_k \partial I''_\ell} + \Phi_{q\tau}\frac{\partial^2 \Phi_{q\tau}}{\partial I''_k \partial I''_\ell}\right),$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_\ell \partial I''_k} = 2\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\left(\frac{\partial \Phi_{p\tau}}{\partial I'_\ell}\frac{\partial \Phi_{p\tau}}{\partial I''_k} + \frac{\partial \Phi_{q\tau}}{\partial I'_\ell}\frac{\partial \Phi_{q\tau}}{\partial I''_k}\right) + 2\sum_{\tau=\Gamma+1}^{M}\left(\Phi_{p\tau}\frac{\partial^2 \Phi_{p\tau}}{\partial I'_\ell \partial I''_k} + \Phi_{q\tau}\frac{\partial^2 \Phi_{q\tau}}{\partial I'_\ell \partial I''_k}\right)$$

Теперь необходимо установить аналитические выражения частных производных первых и вторых порядков, входящих в выражения (32) и (33). При этом также функции φ_{pk} и φ_{qk} удобнее представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \varphi_{pk}(I'_\ell, I''_\ell) = R_{k,k}(I'^2_k + I''^2_k) + \sum\limits_{\ell=\Gamma+1}^{M}[R_{k,\ell}(I'_k I'_\ell + I''_k I''_\ell) + x_{k,\ell}(I''_k I'_\ell - I'_k I''_\ell)], \\ \varphi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell) = x_{k,k}(I'^2_k + I''^2_k) - \sum\limits_{\ell=\Gamma+1}^{M}[R_{k,\ell}(I''_k I'_\ell - I'_k I''_\ell) - x_{k,\ell}(I'_k I'_\ell + I''_k I''_\ell)]. \end{cases} \qquad (34)$$

Частные производные первых порядков определяются в виде:

- при одинаковых индексах, т.е когда $\ell=k$:

$$\frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial I'_k} = -\left\{U'_{бm} + 2R_{k,k}I'_k + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}(R_{k,\ell}I'_\ell - x_{k,\ell}I''_\ell)\right\},$$

$$\frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial I''_k} = -\left\{U''_{бm} + 2R_{k,k}I''_k + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}(R_{k,\ell}I''_\ell + x_{k,\ell}I'_\ell)\right\},$$

$$\frac{\partial\Phi_{qk}}{\partial I'_k} = -\left\{U''_{бm} + 2x_{k,k}I'_k + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}(R_{k,\ell}I''_\ell + x_{k,\ell}I'_\ell)\right\}, \tag{35}$$

$$\frac{\partial\Phi_{qk}}{\partial I''_k} = -\left\{-U'_{бm} + 2x_{k,k}I''_k - \sum_{\ell=\Gamma+1}^{M}(R_{k,\ell}I'_\ell - x_{k,\ell}I''_\ell)\right\},$$

где

$$U'_{бm} = \left(1 - \sum_{n=1}^{\Gamma}C'_{k,n}\right)U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma}(C'_{k,n}U'_n - C''_{k,n}U''_n),$$

$$U''_{бm} = -\sum_{n=1}^{\Gamma}C''_{k,n}U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma}(C'_{k,n}U''_n + C''_{k,n}U'_n);$$

- при разных индексах, т.е. когда $\ell \neq k$:

$$\frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial I'_\ell} = -(R_{k,\ell}I'_k + x_{k,\ell}I''_k), \quad \frac{\partial\Phi_{pk}}{\partial I''_\ell} = -(R_{k,\ell}I''_k - x_{k,\ell}I'_k),$$

$$\frac{\partial\Phi_{qk}}{\partial I'_\ell} = -(-R_{k,\ell}I''_k + x_{k,\ell}I'_k), \quad \frac{\partial\Phi_{qk}}{\partial I''_\ell} = -(R_{k,\ell}I'_k - x_{k,\ell}I''_k). \tag{36}$$

Частные производные вторых порядков, входящие в выражения (33), определяются в виде

$$\frac{\partial^2\Phi_{pk}}{\partial I'^2_k} = \frac{\partial^2\Phi_{pk}}{\partial I''^2_k} = -2R_{k,k}, \qquad \frac{\partial^2\Phi_{qk}}{\partial I'^2_k} = \frac{\partial^2\Phi_{qk}}{\partial I''^2_k} = -2x_{k,k},$$

$$\frac{\partial^2\Phi_{p\gamma}}{\partial I'^2_k} = \frac{\partial^2\Phi_{q\gamma}}{\partial I''^2_k} = 0, \qquad \frac{\partial^2\Phi_{x\gamma}}{\partial I'_k \partial I''_k} = \frac{\partial^2\Phi_{s\gamma}}{\partial I''_k \partial I'_k} = 0,$$

$$\frac{\partial^2\Phi_{p\gamma}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = \frac{\partial^2\Phi_{p\gamma}}{\partial I''_\ell \partial I''_k} = -R_{k,\ell}, \qquad \frac{\partial^2\Phi_{q\gamma}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = \frac{\partial^2\Phi_{q\gamma}}{\partial I''_\ell \partial I''_k} = -x_{k,\ell}, \tag{37}$$

$$\frac{\partial^2\Phi_{p\delta}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = \frac{\partial^2\Phi_{p\delta}}{\partial I''_\ell \partial I''_k} = 0, \qquad \frac{\partial^2\Phi_{q\gamma}}{\partial I''_\ell \partial I'_k} = \frac{\partial^2\Phi_{q\gamma}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = 0,$$

$$\frac{\partial^2\Phi_{pm}}{\partial I''_\ell \partial I'_k} = x_{k,\ell}; \quad \frac{\partial^2\Phi_{qk}}{\partial I''_\ell \partial I'_k} = -R_{k,\ell}, \quad \frac{\partial^2\Phi_{p\gamma}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = -x_{k,\ell}; \quad \frac{\partial^2\Phi_{q\gamma}}{\partial I''_n \partial I'_k} = R_{k,\ell},$$

где $\gamma = (k;\ell)$; $\delta \pm (k,\ell)$.

Устанавливая аналитические выражения частных производных первого и второго порядков, необходимо перейти к описанию вычислительного алгоритма для решения численно-практических задач.

Принимая узловые комплексные напряжения независимых узлов равными заданному напряжению базисного узла, будем иметь $U'_1 = U'_2 = \ldots = U'_M = U_0$, $U''_1 = U''_2 = \ldots = U''_M = 0$, для узлов типа $P-Q$ можно определить составляющие комплексных токов.

Пользуясь полученными численными значениями составляющих комплексных токов, устанавливаются численные значения I'_{kn} и I''_{kn}, затем частных производных, входящих в (23). Обращая матрицу Гессе и умножая ее на столбцевую матрицу градиента, определяются новые значения составляющих комплексных напряжений станционных узлов - U'_n, U''_i.

Используя полученные новые значения составляющих комплексных напряжений станционных узлов, определяются U'_{km} и U''_{km}. Имея предварительные численные значения составляющих комплексных токов нагрузочных узлов, устанавливаются численные значения частных производных, входящих в (25). Обращая матрицу Гессе и умножая ее на градиент, получим новые значения составляющих комплексных токов нагрузочных узлов - I'_i, I''_i. В результате осуществлена первая итерация и получены новые численные значения составляющих комплексных напряжений и токов соответственно для станционных и нагрузочных узлов.

Затем переходим ко второй итерации. Она прекращается, когда обеспечиваются условия:

- для системы (13):

$$\max \sum_{m=1}^{\Gamma} \left(\Phi^2_{pm} + \Phi^2_{qm} \right) \le \varepsilon_m ; \tag{38}$$

- для системы (14):

$$\max \sum_{k=\Gamma+1}^{M} \left(\Phi^2_{pk} + \Phi^2_{qk} \right) \le \varepsilon_k , \tag{39}$$

где ε_m и ε_k —заданные положительные величины, характеризующие точность получения численных значений текущих активных и реактивных мощностей станционных и нагрузочных узлов.

Таким образом, впервые предлагается решение гибридных уравнений установившегося режима с применением матрицы Гессе. Предложенный вычислительный алгоритм обеспечивает решение численных задач по расчету установившегося режима за 2-3 итерации. Указанный метод можно сочетать с идеей декомпозиции, что позволит решить поставленные задачи для ЭЭС любой сложности и с любым количеством узловых точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Метод расчета установившегося режима электрической системы // Изв. вузов СССР. Энергетика. - 1989. - № 5. - С. 12-18.
2. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество. - 1991. - № 1. - С. 6-13.
3. **Тамразян М.Г.** Об одном Y-Z-методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т. 49. - № 3. - С. 138-142.
4. **Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С.** Расчет установившихся режимов электрических систем с применением матрицы Гессе при Z-форме задания состояния сети // Изв. вузов СССР. Энергетика. - 1990. - № 1. - С. 20-28.

ГИУА 1.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 3, 1997, с. 203-207

ՀՏԴ 621.173.3 **ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ**

Կ.Ռ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ

ՋԷԿ-Ի ՀԵՐԹԱՓՈԽԱՅԻՆ ԱՆՁՆԱԿԱԶՄԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄՆ ՈՒ ԻՐԱՑՈՒՄԸ

Համապատասխան հաշվարկային մեթոդի ու ալգորիթմի մշակման և իրականացման արդյունքում հավաստիորեն գնահատվում է ՋԷԿ-ի գործառնական անձնակազմի (յուրաքանչյուր հերթափոխի) գործունեությունը՝ չափանիշ ընդունելով վառելիքի գերածախսը (կամ տնտեսումը): Արդյունքները կարող են օգտագործվել 200 ՄՎտ հզորությամբ ԿՀՏ-ով էներգաբլոկների ՏԳ ԱԿՀ-ի մշակման և նախագծման ընթացքում:

Вследствие разработки и реализации соответствующей расчетной методики и алгоритма достоверно оценивается деятельность оперативного персонала ТЭС (каждой вахты), принимая в качестве критерия перерасход или экономию топлива. Результаты могут быть использованы при разработке и проектировании АСУ ТП энергоблоков мощностью 200 МВт с КОУ.

Библиогр.: 2 назв.

Based on development and realization of a relevant calculation method and algorithm, a true assessment is done of the activities of TES personnel (each shift) taking as a criterion the fuel saving or overexpenditure. The results can be applied for developing and designing TES Automated Control Systems for power units of 200 MW with condensing cooling units.

Ref. 2.

ՋԷԿ-ում վառելիքի տնտեսական ծախսերի նվազեցման պայմանի ապահովման առավել արդյունավետ միջոցներից մեկը բանող սարքավորումների տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների բարձրացումն ու նախագծված