ЛИТЕРАТУРА

1. **Toth L.E.** Transition Metal carbides and Nitrides. - New York, 1971. - 294 p.
2. **Самсонов Г.В.** Нитриды. - Киев: Наукова думка, 1969. - 378 с.
3. **Stone L., Marlolin H.** // J. Metals. - 1953. - №5. - P. 1498.
4. **Прокошкин Д.А.** Химико-термическая обработка металлов. Карбонитритация. - М.: Машиностроение, 1984. - 240 с.
5. **А.с. 1044676** СССР С 23 С 11/ 14. Способ газового азотирования твердосплавных пластин / **Г.С. Овсепян** (СССР). - № 3372128/22-02; Заявл. 23.12.81; Опубл. 30.09.83, Бюл. № 36. - 6 с.

ГИУА 08.07.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 3, 1998, с. 287-295.

УДК 621.311.001

ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН

РЕШЕНИЕ Y-Z- ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЭС МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ P-U-ТИПЕ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Առաջված ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգերի համախմբի լուծման է Նյուտոն-Ռաֆսոնի մեթոդով: Դիտարկվում է այն դեպքը, երբ տրված անկախ կենտրոնական կայանների համար նախնական ինֆորմացիա են համարվում ակտիվ հզորությունները և լարումների մոդուլները:

Применяется метод Ньютона-Рафсона для решения совокупности систем нелинейных алгебраических уравнений. Рассматривается случай, когда в качестве исходной информации относительно независимых станционных узлов задаются активные мощности и модули напряжений.

Библиогр.: 4 назв.

Newton-Rafson method is used for solving the simultaneous nonlinear algebraic equation set. A case is viewed when active powers and voltage modules are given as initial information on independent station units.

Ref. 4.

Рассматривается электроэнергетическая система (ЭЭС), состоящая из M+1 узлов, которую при удалении определенного количества ветвей можно представить как совокупность радиально связанных N подсистем [1-3]. Если полученные подсистемы состоят из $M_1, M_2, \ldots, M_N$ узлов, то $M_1 + M_2 + \ldots + M_N = M$. Предполагается, что один из станционных узлов выбран в качестве базисного, так что M характеризует число независимых узлов. Базисный узел выбирается в первой подсистеме, которая состоит из $M_1 + 1$ узлов. Для изложения работы принимается система индексов, что и в [4]. Однако, в отличие от [4], где рассматриваются станционные узлы типа P-Q, в настоящей работе рассматриваются станционные узлы типа P-U.

Как показано в [4], после представления заданной ЭЭС в виде совокупности радиально связанных N подсистем, их уравнения в матричной форме имеют вид

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ --- \\ \dot{U}_{\ell_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{Бm_1} \\ --- \\ \dot{U}_{Б\ell_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1n_1} & | & Z_{m_1k_1} \\ - & | & - \\ Z_{\ell_1n_1} & | & Z_{\ell_1k_1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ --- \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_2} \\ --- \\ \dot{U}_{\ell_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{Бm_2} \\ --- \\ \dot{U}_{Б\ell_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_2n_2} & | & Z_{m_2k_2} \\ - & | & - \\ Z_{\ell_2n_2} & | & Z_{\ell_2k_2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_2} \\ --- \\ \dot{I}_{k_2} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

....

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_N} \\ --- \\ \dot{U}_{\ell_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{Бm_N} \\ --- \\ \dot{U}_{Б\ell_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_Nn_N} & | & Z_{m_Nk_N} \\ - & | & - \\ Z_{\ell_Nn_N} & | & Z_{\ell_Nk_N} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_N} \\ --- \\ \dot{I}_{k_N} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Представим матричное уравнение (1) в развернутой форме:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{m_1} &= \dot{U}_{Бm_1} + Z_{m_1n_1}\dot{I}_{n_1} + Z_{m_1k_1}\dot{I}_{k_1}, \\ \dot{U}_{\ell_1} &= \dot{U}_{Б\ell_1} + Z_{\ell_1n_1}\dot{I}_{n_1} + Z_{\ell_1k_1}\dot{I}_{k_1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Умножив с левой стороны первую систему уравнений из (4) на $Z^{-1}_{m_1n_1}$ и введя обозначения:

$$\begin{aligned} &Y_{n_1m_1} = Z^{-1}_{m_1n_1}, \qquad \dot{A}_{n_1k_1} = -Y_{m_1n_1}Z_{m_1k_1}, \\ &\dot{Д}_{\ell_1m_1} = Z_{\ell_1n_1}Y_{m_1n_1}, \quad Z_{\ell_1k_1} = Z_{\ell_1k_1} - Z_{\ell_1n_1}Y_{m_1n_1}Z_{m_1k_1}, \end{aligned} \quad (5)$$

получим матричное уравнение первой подсистемы:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ --- \\ \dot{U}_{\ell_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1Б} \\ --- \\ \dot{U}_{\ell_1Б} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{n_1m_1} & | & \dot{A}_{n_1k_1} \\ - & | & - \\ \dot{Д}_{\ell_1m_1} & | & Z_{\ell_1k_1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ --- \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Аналогичным образом, представляя матричные уравнения 2, 3 и т.д. подсистем и объединяя их, можно получить следующую блочно-диагональную форму:

$$
\begin{bmatrix} \dot I_{n_1} \\ --- \\ \dot U_{\ell_1} \\ --- \\ \bullet \\ --- \\ \dot I_{n_N} \\ --- \\ \dot U_{\ell_N} \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} \dot I_{n_1 Б} \\ --- \\ \dot U_{\ell_1 Б} \\ --- \\ \bullet \\ --- \\ \dot I_{n_N Б} \\ --- \\ \dot U_{\ell_N Б} \end{bmatrix}
+
\begin{bmatrix}
\begin{array}{c|c} Y_{n_1,m_1} & \dot A_{n_1,k_1} \\ - & - \\ \dot Д_{\ell_1,m_1} & Z_{\ell_1,k_1} \end{array} & & \\
 & \ddots & \\
 & & \begin{array}{c|c} Y_{n_N,m_N} & \dot A_{n_N,k_N} \\ - & - \\ \dot Д_{\ell_N,m_N} & Z_{\ell_N,k_N} \end{array}
\end{bmatrix}
\times
\begin{bmatrix} \dot U_{m_1} \\ --- \\ \dot I_{k_1} \\ --- \\ \bullet \\ --- \\ \dot U_{m_N} \\ --- \\ \dot I_{k_N} \end{bmatrix}. \quad (7)
$$

Если из формы записи "ток-напряжение" (7) перейти к форме "активная-реактивная" мощности, то получим

$$
\begin{bmatrix}
\begin{array}{l} \Phi_{pn_1}(U_{m_1},\Psi_{um_1})=0, \\ \Phi_{qn_1}(U_{m_1},\Psi_{um_1})=0, \end{array} & & & & \\
 & \begin{array}{l} \Phi_{p\ell_1}(I'_{k_1},I''_{k_1})=0, \\ \Phi_{q\ell_1}(I'_{k_1},I''_{k_1})=0, \end{array} & & & \\
 & & \ddots & & \\
 & & & \begin{array}{l} \Phi_{pn_N}(U_{m_N},\Psi_{um_N})=0, \\ \Phi_{qn_N}(U_{m_N},\Psi_{um_N})=0, \end{array} & \\
 & & & & \begin{array}{l} \Phi_{p\ell_N}(I'_{k_N},I''_{k_N})=0, \\ \Phi_{q\ell_N}(I'_{k_N},I''_{k_N})=0. \end{array}
\end{bmatrix}. \quad (8)
$$

Для каждой подсистемы имеем

$$
\begin{cases} \Phi_{pn_i}(U_{m_i},\Psi_{um_i})=\{P_{n_i}-[P_{Бn_i}+\varphi_{pn_i}(U_{m_i},\Psi_{um_i})]\}=0, \\ \Phi_{qn_i}(U_{m_i},\Psi_{um_i})=\{Q_{n_i}-[Q_{Бn_i}+\varphi_{qn_i}(U_{m_i},\Psi_{um_i})]\}=0, \end{cases} \quad (9)
$$

$$
\begin{cases} \Phi_{p\ell_i}(I'_{k_i},I''_{k_i})=\{P_{\ell_i}-[P_{Б\ell_i}+\varphi_{p\ell_i}(I'_{k_i},I''_{k_i})]\}=0, \\ \Phi_{q\ell_i}(I'_{k_i},I''_{k_i})=\{Q_{\ell_i}-[Q_{Б\ell_i}+\varphi_{q\ell_i}(I'_{k_i},I''_{k_i})]\}=0. \end{cases} \quad (10)
$$

В (9), (10) $\varphi_{pn_i}, \varphi_{qn_i}, \varphi_{p\ell_i}$ и $\varphi_{q\ell_i}$ определяются в виде

$$
\begin{cases} \varphi_{pn_i}(U_{m_i},\Psi_{um_i}) = \\ = \sum_{m_i=1}^{r_i} U_{n_i} U_{m_i} [g_{n_i,m_i}\cos(\Psi_{un_i}-\Psi_{um_i}) + b_{n_i,m_i}\sin(\Psi_{un_i}-\Psi_{um_i})], \end{cases}
$$

$$\begin{cases} \varphi_{q\mathrm{n}_i}(U_{m_i}, \Psi_{\mathrm{nm}_i}) = \\ = \sum\limits_{m_i=1}^{\Gamma_i} U_{n_i} U_{m_i} [g_{n_i,m_i} \sin(\Psi'_{\mathrm{m}_i} - \Psi_{\mathrm{nm}_i}) - b_{n_i,m_i} \cos(\Psi'_{\mathrm{m}_i} - \Psi_{\mathrm{nm}_i})]. \end{cases} \tag{11}$$

$$\begin{cases} \varphi_{p\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = \\ = \sum\limits_{k_i=\Gamma_i+1}^{\Gamma_i+H_i} [R_{\ell_i,k_i}(I'_{\ell_i} I'_{k_i} + I''_{\ell_i} I''_{k_i}) + x_{\ell_i,k_i}(I''_{\ell_i} I'_{k_i} - I'_{\ell_i} I''_{k_i})], \\ \varphi_{q\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = \\ = \sum\limits_{k_i=\Gamma_i+1}^{\Gamma_i+H_i} x_{\ell_i,k_i} [x_{\ell_i,k_i}(I'_{\ell_i} I'_{k_i} + I''_{\ell_i} I''_{k_i}) - R_{\ell_i,k_i}(I''_{\ell_i} I'_{k_i} - I'_{\ell_i} I''_{k_i})]. \end{cases} \tag{12}$$

Величины $P_{\text{Б}n_i}, Q_{\text{Б}n_i}, P_{\text{Б}\ell_i}$ и $Q_{\text{Б}\ell_i}$ определяются в виде

$$\begin{aligned} P_{\text{Б}n_i} &= p_{\text{Б}n_i} + \sum_{k_i=\Gamma_i+1}^{\Gamma_i+H_i} U_{n_i}(A'_{n_i,k_i} \tau'_{n_i,k_i} + A''_{n_i,k_i} \tau''_{n_i,k_i}), \\ Q_{\text{Б}n_i} &= q_{\text{Б}n_i} + \sum_{k_i=\Gamma_i+1}^{\Gamma_i+H_i} U_{n_i}(A'_{n_i,k_i} \tau''_{n_i,k_i} - A''_{n_i,k_i} \tau'_{n_i,k_i}). \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{Б}\ell_i} &= U'_{\ell_i\text{Б}} I'_{\ell_i} + U''_{\ell_i\text{Б}} I''_{\ell_i} + \sum_{m_i=1}^{\Gamma_i} (Д'_{\ell_i,m_i} K'_{m_i,\ell_i} + Д''_{\ell_i,m_i} K''_{m_i,\ell_i}), \\ Q_{\text{Б}\ell_i} &= -U'_{\ell_i\text{Б}} I''_{\ell_i} + U''_{\ell_i\text{Б}} I'_{\ell_i} + \sum_{m_i=1}^{\Gamma_i} (Д''_{\ell_i,m_i} K'_{m_i,\ell_i} - Д'_{\ell_i,m_i} K''_{m_i,\ell_i}). \end{aligned} \tag{14}$$

Величины p_{n_i}, q_{n_i}, входящие в (13), определяются в виде

$$\begin{aligned} p_{\text{Б}n_i} &= U_{m}(I'_{n_i\text{Б}} \cos\psi_{m_i} + I''_{n_i\text{Б}} \sin\psi_{m_i}), \\ q_{\text{Б}n_i} &= U_{m}(I'_{n_i\text{Б}} \sin\psi_{m_i} - I''_{n_i\text{Б}} \cos\psi_{m_i}). \end{aligned} \tag{15}$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} I'_{n_i\text{Б}} &= -(g_{m_i,n_i} U'_{\text{Б}m_i} - b_{m_i,n_i} U''_{\text{Б}m_i}), \\ I''_{n_i\text{Б}} &= -(g_{m_i,n_i} U''_{\text{Б}m_i} + b_{m_i,n_i} U'_{\text{Б}m_i}). \end{aligned} \tag{16}$$

Величины $U'_{\ell_i\text{Б}}, U''_{\ell_i\text{Б}}$, входящие в (14), определяются в виде

$$\begin{aligned} U'_{\ell_i\text{Б}} &= U'_{\text{Б}\ell_i} - (R_{\ell_i,n_i} g_{m_i,n_i} - x_{\ell_i,n_i} b_{m_i,n_i}) U'_{\text{Б}m_i} + \\ &+ (R_{\ell_i,n_i} b_{m_i,n_i} + x_{\ell_i,m_i} g_{m_i,n_i}) U''_{\text{Б}m_i}, \\ U'_{\ell_i\text{Б}} &= U''_{\text{Б}\ell_i} - (R_{\ell_i,n_i} g_{m_i,n_i} - x_{\ell_i,n_i} b_{m_i,n_i}) U''_{\text{Б}m_i} - \\ &- (R_{\ell_i,n_i} b_{m_i,n_i} + x_{\ell_i,n_i} g_{m_i,n_i}) U'_{\text{Б}m_i}. \end{aligned} \tag{17}$$

С другой стороны, величины $\tau'_{n_i k_i}$, $\tau''_{n_i k_i}$, входящие в (13), и $Д'_{\ell_i m_i}$, $Д''_{\ell_i m_i}$, входящие в (14), определяются в виде

$$\tau'_{n_i k_i} = I'_{k_i}\cos\Psi'_{um_i} + I''_{k_i}\sin\Psi'_{um_i}, \quad \tau''_{n_i k_i} = I'_{k_i}\sin\Psi'_{um_i} - I''_{k_i}\cos\Psi'_{um_i}, \tag{18}$$

$$K'_{m_i,\ell_i} = U'_{m_i} I'_{\ell_i} + U''_{m_i} I''_{\ell_i}, \qquad K''_{m_i,\ell_i} = U'_{m_i} I''_{\ell_i} - U''_{m_i} I'_{\ell_i}. \tag{19}$$

Необходимо иметь в виду, что

$$\begin{gathered} A'_{n_i,k_i} = \mathrm{Re}(\dot{A}_{n_i,k_i}), \quad A''_{n_i,k_i} = J_m(\dot{A}_{n_i,k_i}), \\ Д'_{\ell_i,m_i} = \mathrm{Re}(\dot{Д}'_{\ell_i,m_i}), \quad Д''_{\ell_i,m_i} = J_m(\dot{Д}_{\ell_i,m_i}). \end{gathered} \tag{20}$$

В вышеприведенных выражениях (9)-(20) индекс i принимает все значения от 1 до N, т.е. номера всех радиально связанных подсистем.

Поскольку индексы m(n) относятся к станционным узлам типа P-U, т.е. заданы модули комплексных напряжений, то обобщенное матричное выражение (8) можно представить в виде

$$\begin{bmatrix}
\Phi_{pm_1}(\Psi'_{um_1}) = 0, & & & & \\
\Phi_{qm_1}(\Psi'_{um_1}) = 0, & & & & \\
& \Phi_{p\ell_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) = 0, & & & \\
& \Phi_{q\ell_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) = 0, & & & \\
& & \ddots & & \\
& & & \Phi_{pm_N}(\Psi'_{um_N}) = 0, & \\
& & & \Phi_{qm_N}(\Psi'_{um_N}) = 0, & \\
& & & & \Phi_{p\ell_N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) = 0, \\
& & & & \Phi_{q\ell_N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) = 0
\end{bmatrix}. \tag{21}$$

Для определения аргументов комплексных напряжений Ψ_{um_1}, $\Psi_{um_2}, \ldots, \Psi'_{um_N}$ достаточно рассмотреть функции $\Phi_{pm_1}, \Phi_{pm_2}, \ldots, \Phi_{pn_N}$ и из (21) исключить $\Phi_{qn_1}, \Phi_{qn_2}, \ldots, \Phi_{qn_N}$.

В результате обобщенное выражение (21) принимает более упрощенный вид

$$\begin{bmatrix}
\Phi_{pm_1}(\Psi'_{um_1}) = 0, & & & & \\
& \Phi_{p\ell_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) = 0, & & & \\
& \Phi_{q\ell_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) = 0, & & & \\
& & \ddots & & \\
& & & \Phi_{pm_N}(\Psi'_{um_N}) = 0, & \\
& & & & \Phi_{p\ell_N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) = 0, \\
& & & & \Phi_{q\ell_N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) = 0
\end{bmatrix}. \tag{22}$$

Для решения систем нелинейных алгебраических уравнений радиально связанных подсистем, приведенных в (22), применяется метод Ньютона-Рафсона, при котором соответствующие рекуррентные выражения можно представить в следующем виде:

$$\left[\Psi_{um_i}\right]^{И+1}=\left[\Psi_{um_i}\right]^{И}-\left[\frac{\partial\Phi_{pn_i}}{\partial\Psi_{um_i}}\right]^{-1}\times\left[\Phi_{pn_i}(\Psi_{um_i})\right], \tag{23}$$

$$\begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ --- \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^{И+1}=\begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ --- \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^{И}-\begin{bmatrix} \dfrac{\partial\Phi_{p\ell_i}}{\partial I'_{k_i}} & \dfrac{\partial\Phi_{p\ell_i}}{\partial I''_{k_i}} \\ - & - \\ \dfrac{\partial\Phi_{q\ell_i}}{\partial I'_{k_i}} & \dfrac{\partial\Phi_{q\ell_i}}{\partial I''_{k_i}} \end{bmatrix}^{-1}\times\begin{bmatrix} \Phi_{p\ell_i}(I'_{k_i},I''_{k_i}) \\ --------- \\ \Phi_{q\ell_i}(I'_{k_i},I''_{k_i}) \end{bmatrix}, \tag{24}$$

где И - номер итерации.

В рекуррентных выражениях индекс i принимает значения $i=1,2,\ldots,N$, т.е. все индексы радиально связанных N подсистем.

Для установления аналитических выражений частных производных, входящих в рекуррентное выражение (23), Φ_{pn_i} удобнее представить в виде

$$\Phi_{pn_i}=P_{n_i}-\{P_{Бn_i}+g_{n_i,n_i}U^2_{n_i}+\sum_{\substack{m_i=1\\ m_i\neq n_i}}^{Г_i}U_{n_i}U_{m_i}[g_{n_i,m_i}\times$$
$$\times\cos(\Psi_{un_i}-\Psi_{um_i})+b_{n_i,m_i}\sin(\Psi_{un_i}-\Psi_{um_i})]\}. \tag{25}$$

При этом соответствующие частные производные определяются в виде

- при $m_i=n_i$:

$$\frac{\partial\Phi_{pn_i}}{\partial\Psi_{un_i}}=\left\{\frac{\partial P_{Бn_i}}{\partial\Psi_{un_i}}-\sum_{\substack{m_i=1\\ m_i\neq n_i}}^{Г_i}U_{n_i}U_{m_i}[g_{n_i,m_i}\sin(\Psi_{un_i}-\Psi_{um_i})-\right.$$
$$-b_{n_i,m_i}\cos(\Psi_{un_i}-\Psi_{um_i})]\}; \tag{26}$$

- при $m_i\neq n_i$:

$$\frac{\partial\Phi_{pn_i}}{\partial\Psi_{um_i}}=-U_{n_i}U_{m_i}[g_{n_i,m_i}\sin(\Psi_{un_i}-\psi_{um_i})-b_{n_i,m_i}\cos(\Psi_{un_i}-\Psi_{um_i}). \tag{27}$$

Из (26) имеем

$$\frac{\partial P_{Бn_i}}{\partial\Psi_{un_i}}=-U_{n_i}(I'_{n_iБ}\sin\Psi_{un_i}-I''_{n_iБ}\cos\Psi_{un_i})-$$
$$-\sum_{K_i=Г+1}^{Г_i+Н_i}U_{n_i}(A'_{n_i,k_i}\tau''_{n_i,k_i}-A''_{n_i,k_i}\tau'_{n_i,k_i}). \tag{28}$$

Для установления аналитических выражений частных производных, входящих в рекуррентное выражение (24), функции $\Phi_{p\ell_i}$ и $\Phi_{q\ell_i}$ необходимо представить в виде

$$\Phi_{p\ell_i} = P_{\ell_i} - \{P_{Б\ell_i} + R_{\ell_i,\ell_i}(I_{\ell_i}'^2 + I_{\ell_i}''^2) + \sum_{\substack{k_i=\Gamma_i+1 \\ k_i \neq \ell_i}}^{\Gamma_i+H_i} [R_{\ell_i,k_i}(I_{\ell_i}' I_{k_i}' + I_{\ell_i}'' I_{k_i}'') + x_{\ell_i,k_i}(I_{\ell_i}'' I_{k_i}' - I_{\ell_i}' I_{k_i}'')]\} = 0, \tag{29}$$

$$\Phi_{q\ell_i} = Q_{\ell_i} - \{Q_{Б\ell_i} + x_{\ell_i,\ell_i}(I_{\ell_i}'^2 + I_{\ell_i}''^2) + \sum_{\substack{k_i=\Gamma_i+1 \\ k_i \neq \ell_i}}^{\Gamma_i+H_i} [x_{\ell_i,k_i}(I_{\ell_i}' I_{k_i}' + I_{\ell_i}'' I_{k_i}'') - R_{\ell_i,k_i}(I_{\ell_i}'' I_{k_i}' - I_{\ell_i}' I_{k_i}'')]\} = 0. \tag{30}$$

Соответствующие частные производные определяются в виде

- при $k_i = \ell_i$:

$$\begin{gathered}
\frac{\partial \Phi_{p\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}'} = -\left[\frac{\partial P_{Б\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}'} + 2R_{\ell_i,\ell_i} I_{\ell_i}' + \sum_{\substack{k_i=\Gamma_i+1 \\ k_i \neq \ell_i}}^{\Gamma_i+H_i} (R_{\ell_i,k_i} I_{k_i}' - x_{\ell_i,k_i} I_{k_i}'')\right], \\
\frac{\partial \Phi_{p\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}''} = -\left[\frac{\partial P_{Б\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}''} + 2R_{\ell_i,\ell_i} I_{\ell_i}'' + \sum_{\substack{k_i=\Gamma_i+1 \\ k_i \neq \ell_i}}^{\Gamma_i+H_i} (R_{\ell_i,k_i} I_{k_i}'' + x_{\ell_i,k_i} I_{k_i}')\right], \\
\frac{\partial \Phi_{q\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}'} = -\left[\frac{\partial Q_{Б\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}'} + 2x_{\ell_i,\ell_i} I_{\ell_i}' + \sum_{\substack{k_i=\Gamma_i+1 \\ k_i \neq \ell_i}}^{\Gamma_i+H_i} (x_{\ell_i,k_i} I_{k_i}' + R_{\ell_i,k_i} I_{k_i}'')\right], \\
\frac{\partial \Phi_{q\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}''} = -\left[\frac{\partial Q_{Б\ell_i}}{\partial I_{\ell_i}''} + 2x_{\ell_i,\ell_i} I_{\ell_i}'' + \sum_{\substack{k_i=\Gamma_i+1 \\ k_i \neq \ell_i}}^{\Gamma_i+H_i} (x_{\ell_i,k_i} I_{k_i}'' - R_{\ell_i,k_i} I_{k_i}')\right],
\end{gathered} \tag{31}$$

- при $k_i \neq \ell_i$:

$$\begin{gathered}
\frac{\partial \Phi_{p\ell_i}}{\partial I_{k_i}'} = -(R_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}' + x_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}''), \quad \frac{\partial \Phi_{p\ell_i}}{\partial I_{k_i}''} = -(R_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}'' - x_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}'), \\
\frac{\partial \Phi_{q\ell_i}}{\partial I_{k_i}'} = -(x_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}' - R_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}''), \quad \frac{\partial \Phi_{q\ell_i}}{\partial I_{k_i}''} = -(x_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}' + R_{\ell_i,k_i} I_{\ell_i}'').
\end{gathered} \tag{32}$$

С другой стороны,

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial P_{Б\ell_i}}{\partial I'_{\ell_i}} = U'_{\ell_i Б} + \sum_{m_i=1}^{Г_i} (Д'_{\ell_i,m_i} U'_{m_i} - Д''_{\ell_i,m_i} U''_{m_i}),\\
&\frac{\partial P_{Б\ell_i}}{\partial I''_{\ell_i}} = U''_{\ell_i Б} + \sum_{m_i=1}^{Г_i} (Д'_{\ell_i,m_i} U''_{m_i} + Д''_{\ell_i,m_i} U'_{m_i}),\\
&\frac{\partial Q_{Б\ell_i}}{\partial I'_{\ell_i}} = U''_{\ell_i Б} + \sum_{m_i=1}^{Г_i} (Д''_{\ell_i,m_i} U'_{m_i} + Д'_{\ell_i,m_i} U''_{m_i}),\\
&\frac{\partial Q_{Б\ell_i}}{\partial I''_{\ell_i}} = -U'_{\ell_i Б} + \sum_{m_i=1}^{Г_i} (Д''_{\ell_i,m_i} U''_{m_i} - Д'_{\ell_i,m_i} U'_{m_i}).
\end{aligned}
\tag{33}
$$

Как видно, i принимает все индексы радиально связанных подсистем.

Установив аналитические выражения необходимых частных производных, можно перейти к организации итерационного процесса для решения практических задач. После построения Y-матриц отдельных подсистем Z-расчетной матрицы строятся системы численных уравнений типа (25) и (29) для первой подсистемы. Установив численные значения частных производных, входящих в рекуррентное выражение типа (23), и осуществив соответствующую итерацию, определяются численные значения аргументов комплексных напряжений станционных узлов первой подсистемы. Используя их численные значения, устанавливаются численные значения частных производных, входящих в рекуррентное выражение типа (24), а осуществляя также первую итерацию, определяются численные значения составляющих комплексных токов первой подсистемы. Завершая итерации внутри первой подсистемы и используя численные значения соответствующих параметров, устанавливаются численные уравнения типа (25) и (29) для второй подсистемы. Затем осуществляется итерационный процесс внутри второй подсистемы и т.д. Осуществляя также итерацию внутри N-й подсистемы, завершается одна полная итерация для системы в целом.

Итерационный процесс считается завершенным, если для каждой подсистемы обеспечиваются условия:

$$
\begin{aligned}
&\Phi_{pn_i}(\Psi_{шn_i}) = P_{n_i} - [P_{Бn_i} + \varphi_{pn_i}(\Psi_{шn_i})] \le \Delta P,\\
&\Phi_{p\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = P_{\ell_i} - [P_{Б\ell_i} + \varphi_{p\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i})] \le \Delta P,\\
&\Phi_{q\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = Q_{\ell_i} - [Q_{Б\ell_i} + \varphi_{p\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i})] \le \Delta Q,
\end{aligned}
\tag{34}
$$

где ΔP и ΔQ - заданные положительные величины, характеризующие точность определения искомых режимных параметров отдельных подсистем.

Затем определяются численные значения реактивных мощностей станционных узлов, пользуясь второй системой уравнений из (9).

В результате определяются реактивные мощности и аргументы напряжений для станционных узлов, составляющие комплексных токов и, при необходимости, комплексных напряжений нагрузочных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хачатрян В.С.** Метод и алгоритм установившихся режимов больших энергосистем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1973. - № 4. - С. 45-57.
2. **Хачатрян В.С.** Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1974. - № 4. - С. 36-43.
3. **Хачатрян В.С.** Определение установившихся режимов больших энергосистем методом подсистем // Электричество. - 1974. - № 5. - С. 75-78.
4. **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.

ГИУА 03.06.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, №3, 1998, с. 295 - 300.

УДК 621.311.001 ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, АЛЬ-ИССА ИБРАХИМ, К.В. ХАЧАТРЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Առաջարկվում է թույլատրելի ռեժիմի որոշման էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգի լուծման վրա հիմնված մեթոդ, երբ անհավասարության տեսքով սահմանափակումներ դրվում են անկախ կայանների լարումներից և ռեակտիվ հզորություններից:

Предлагается метод определения допустимого режима, основанный на решении системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС при наличии ограничений типа неравенств, налагаемых на модули напряжений и реактивных мощностей независимых станционных узлов. Библиогр.: 8 назв.

A method of the admissible mode definition based on the solution of nonlinear algebraic steady-state equations for electric power system mode having inequality type restrictions is proposed. The restrictions are imposed on voltage and reactive power of independent station unit modules.
Ref. 8.