В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН, М.Г. ТАМРАЗЯН, А.Г. ГУЛЯН

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ГИБРИДНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЭС ПРИ СМЕШАННОМ ТИПЕ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Предлагается метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС), когда электрические станции одновременно могут быть как типа P-Q, так и типа P-U. Соответствующие системы нелинейных алгебраических уравнений составляются на основании Y-Z гибридной матрицы пассивной части электрической сети.

Ключевые слова: модель, матрица, узел, режим, функция, метод, параметр.

Под смешанным типом станционных узлов ЭЭС понимается случай, когда в качестве начальной информации относительно них задаются как P-U, так и P-Q режимные параметры. Исходным при составлении систем нелинейных гибридных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС является построение Y-Z расчетной матрицы. В настоящее время для решения задачи расчета установившегося режима ЭЭС успешно применяются уравнения типа Y-Z, которые функционируют как при P-U, так и при P-Q типе станционных узлов [1-3].

В данной работе рассматривается случай, когда независимые станционные узлы одновременно могут быть как типа P-U, так и P-Q. Соответствующие системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима составляются на основании Y-Z пассивных параметров ЭЭС. Для дальнейшего изложения материала принимается ниже-приведенная система индексов: $m(n) = 0, 1, 2, \dots, \Gamma'$, где Γ' - число станционных узлов типа P-Q, узел с индексом "0" выбирается в качестве базисного, который является узлом типа U - Ψ_u ; $k(\ell) = \Gamma' + 1, \Gamma' + 2, \dots, \Gamma' + \Gamma''$, где Γ'' - число станционных узлов типа P-U; $\Gamma = \Gamma' + \Gamma''$ - общее число независимых станционных узлов; $i(j) = \Gamma + 1, \Gamma + 2, \dots, \Gamma + N$, где N - число нагрузочных узлов.

Исходная Y-Z расчетная матрица имеет следующий вид:

$$Y - Z = \left[\begin{array}{c|c} Y_{m,n} & \dot{A}_{m,\ell} \\ \hline \dot{B}_{k,n} & Z_{k,\ell} \end{array} \right], \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} Y_{m,n} &= Y_{mn} - Y_{mk} Z_{k\ell} Y_{\ell n}, \\ \dot{A}_{m,\ell} &= Y_{mk} Z_{k\ell}, \quad \dot{B}_{k,n} = -Z_{k\ell} Y_{\ell n}, \quad Z_{k,\ell} = Z_{\ell k}. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $Y_{m,n}, Z_{k,\ell}$ - неособенные квадратные подматрицы, имеющие порядок соответственно Γ и H ; $\dot{A}_{m,\ell}, \dot{B}_{k,n}$ - прямоугольные матрицы (элементы которых не имеют размерности) соответственно порядков $H \times \Gamma$ и $\Gamma \times H$.

Соответствующие системы уравнений, вытекающие из (1), в неявно выраженной форме можно представить в виде [1]

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Bm} + \varphi_{pm}(U'_n, U''_n)] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Bm} + \varphi_{qm}(U'_n, U''_n)] = 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{Bk} + \varphi_{pk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{Bk} + \varphi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0. \end{cases} \quad (4)$$

На основании вышеприведенной системы индексов $Y-Z$ расчетную матрицу можно развернуть, представляя в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \frac{Y_{m,n}}{Y_{k,n}} & \frac{Y_{m,\ell}}{Y_{k,\ell}} & \frac{\dot{A}_{m,j}}{\dot{A}_{k,j}} \\ \dot{B}_{i,n} & \dot{B}_{i,\ell} & Z_{i,j} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Представим функции (3) и (4) также в развернутой форме с соответствующими индексами:

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Bm} + \varphi_{pm}(U'_n, U''_n; U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{pk} = P_k - [P_{Bk} + \varphi_{pk}(U'_n, U''_n, U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Bm} + \varphi_{qm}(U'_n, U''_n; U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{Bk} + \varphi_{qk}(U'_n, U''_n; U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pi} = P_i - [P_{Bi} + \varphi_{pi}(I'_j, I''_j)] = 0, \\ \Phi_{qi} = Q_i - [Q_{Bi} + \varphi_{qi}(I'_j, I''_j)] = 0. \end{cases} \quad (8)$$

При этом функции $\varphi_{pm}, \varphi_{qm}$ и $\varphi_{pk}, \varphi_{qk}$ будут определяться следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \varphi_{pm} = & \sum_{n=1}^{\Gamma} \left[g_{m,n}(U'_m U'_n + U''_m U''_n) + b_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n) \right] + \\ & + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma'+\Gamma''} \left[g_{m,\ell}(U'_m U'_\ell + U''_m U''_\ell) + b_{m,\ell}(U''_m U'_\ell - U'_m U''_\ell) \right], \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{pk} = & \sum_{n=1}^{\Gamma'} g_{k,n} [(U'_k U'_n + U''_k U''_n) + b_{k,n} (U''_k U'_n - U'_k U''_n)] + \\ & + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} [g_{k,\ell} (U'_k U'_\ell + U''_k U''_\ell) + b_{k,\ell} (U''_k U'_\ell - U'_k U''_\ell)], \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{qm} = & \sum_{n=1}^{\Gamma'} [g_{m,n} (U''_m U'_n - U'_m U''_n) - b_{m,n} (U'_m U'_n + U''_m U''_n)] + \\ & + \sum_{k=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} [g_{m,k} (U''_m U'_k - U'_m U''_k) - b_{m,n} (U'_m U'_k + U''_m U''_k)], \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{qk} = & \sum_{n=1}^{\Gamma'} [g_{k,n} (U''_k U'_n - U'_k U''_n) - b_{k,n} (U'_k U'_n + U''_k U''_n)] + \\ & + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} [g_{k,\ell} (U''_k U'_\ell - U'_k U''_\ell) - b_{k,\ell} (U'_k U'_\ell + U''_k U''_\ell)] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\varphi_{pi} = \sum_{j=\Gamma'+1}^M [R_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) + X_{i,j} (I''_i I'_j - I'_i I''_j)], \quad (13)$$

$$\varphi_{qi} = \sum_{j=\Gamma'+1}^M [X_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) - R_{i,j} (I''_i I'_j - I'_i I''_j)]. \quad (14)$$

Величины $P_{Бм}, P_{Бк}, Q_{Бм}, Q_{Бк}$, входящие в (6) и (7), определяются в виде

$$\begin{aligned} P_{Бм} &= P'_{Бм} + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^M [A'_{m,\ell} (U'_m I'_\ell + U''_m I''_\ell) + A''_{m,\ell} (U''_m I'_\ell - U'_m I''_\ell)], \\ P_{Бк} &= P'_{Бк} + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^M [A'_{k,\ell} (U'_k I'_\ell + U''_k I''_\ell) + A''_{k,\ell} (U''_k I'_\ell - U'_k I''_\ell)], \\ Q_{Бм} &= Q'_{Бм} + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^M [A'_{m,\ell} (U''_m I'_\ell - U'_m I''_\ell) - A''_{m,\ell} (U'_m I''_\ell + U''_m I'_\ell)], \\ Q_{Бк} &= Q'_{Бк} + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^M [A'_{k,\ell} (U''_k I'_\ell - U'_k I''_\ell) - A''_{k,\ell} (U'_k I''_\ell + U''_k I'_\ell)]. \end{aligned} \quad (15)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}
P'_{Бм} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{m,n} U'_m + b_{m,n} U''_m) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{m,\ell} U'_m + b_{m,\ell} U''_m) U_0, \\
P'_{Бк} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{k,n} U'_k + b_{k,n} U''_k) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{k,\ell} U'_k + b_{k,\ell} U''_k) U_0, \\
Q'_{Бм} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{m,n} U''_m - b_{m,n} U'_m) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{m,\ell} U''_m - b_{m,\ell} U'_m) U_0, \\
Q'_{Бк} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{k,n} U''_k - b_{k,n} U'_k) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{k,\ell} U''_k - b_{k,\ell} U'_k) U_0,
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
P'_{Бi} &= I'_{ii} U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma'} (B'_{i,n} I'_i + B''_{i,n} I''_i) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (B'_{i,\ell} I'_i + B''_{i,\ell} I''_i) U_0, \\
Q'_{Бi} &= -I''_{ii} U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma'} (B'_{i,n} I''_i + B''_{i,n} I'_i) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (B'_{i,\ell} I''_i + B''_{i,\ell} I'_i) U_0.
\end{aligned} \tag{17}$$

Для узла с индексами $m(n)$, поскольку заданы активная и реактивная мощности, искомыми являются составляющие комплексного напряжения U'_n, U''_n . Для узла с индексами $k(\ell)$ заданы активная мощность и модуль комплексного напряжения, аргумент которого является искомым. Для определения аргумента комплексного напряжения также необходимо иметь его составляющие. Однако на основании выражения

$$U_k'^2 + U_k''^2 = U_k^2, \quad k = \Gamma' + 1, \Gamma' + 2, \dots, \Gamma' + \Gamma'' = \Gamma \tag{18}$$

можно заметить, что при задании U_k достаточно определить одну из составляющих U'_k или U''_k .

Представим систему уравнений (18) в виде следующей функции:

$$\Phi_{uk} = U_k^2 - \varphi_{uk}(U'_\ell, U''_\ell) = 0. \tag{19}$$

При этом из систем уравнений (6) и (7) можно исключить функцию Φ_{qk} , и расчетные системы примут следующий вид:

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Бm} + \varphi_{pm}(U'_n U''_n; U'_\ell U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Бm} + \varphi_{qm}(U'_n U''_n; U'_\ell U''_\ell)] = 0, \end{cases} \tag{20}$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{Бk} + \varphi_{pk}(U'_n, U''_n, U'_\ell U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{uk} = U_k^2 - \varphi_{um}(U'_\ell, U''_\ell) = 0. \end{cases} \tag{21}$$

Системы уравнений (20), (21) и (8) решаются методом Ньютона-Рафсона, на основании которого можно написать рекуррентные выражения :

$$\begin{bmatrix} U_n' \\ \dots \\ U_n'' \\ \dots \\ U_\ell' \\ \dots \\ U_\ell'' \end{bmatrix}^{I+1} = \begin{bmatrix} U_n' \\ \dots \\ U_n'' \\ \dots \\ U_\ell' \\ \dots \\ U_\ell'' \end{bmatrix}^I - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell''} \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell''} \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell''} \\ \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_\ell''} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pm} \\ \dots \\ \Phi_{qm} \\ \dots \\ \Phi_{pk} \\ \dots \\ \Phi_{uk} \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} I_i' \\ \dots \\ I_i'' \end{bmatrix}^{I+1} = \begin{bmatrix} I_i' \\ \dots \\ I_i'' \end{bmatrix}^I - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_i'} & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_i''} \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_i'} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_i''} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pi} \\ \dots \\ \Phi_{qi} \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Для определения частных производных, входящих в рекуррентные выражения, необходимо воспользоваться функциями (20), (21) и (8), при которых удобно $\Phi_{pm}, \Phi_{qm}, \Phi_{pk}, \Phi_{um}$, а также Φ_{pi} и Φ_{qi} представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Phi_{pm} = & g_{m,m}(U_m'^2 + U_m''^2) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} [g_{m,n}(U_m' U_n' + U_m'' U_n'') + \\ & + b_{m,n}(U_m'' U_n' - U_m' U_n'')] + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma} [g_{m,\ell}(U_m' U_\ell' + U_m'' U_\ell'') + \\ & + b_{m,\ell}(U_m'' U_\ell' - U_m' U_\ell'')], \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{qm} = & -b_{m,m}(U_m'^2 + U_m''^2) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} [g_{m,n}(U_m'' U_n' - U_m' U_n'') - b_{m,n}(U_m' U_n' + U_m'' U_n'')] + \\ & + \sum_{k=\Gamma+1}^{\Gamma} [g_{m,k}(U_m'' U_k' - U_m' U_k'') - b_{m,k}(U_m' U_k' + U_m'' U_k'')], \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{pk} = & g_{k,k}(U_k'^2 + U_k''^2) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq k}}^{\Gamma} [g_{k,n}(U_k' U_n' + U_k'' U_n'') + b_{k,n}(U_k'' U_n' - U_k' U_n'')] + \\ & + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma} [g_{k,\ell}(U_k' U_\ell' + U_k'' U_\ell'') + b_{k,\ell}(U_k'' U_\ell' - U_k' U_\ell'')], \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{uk} = & U_k'^2 - U_k''^2. \end{aligned} \quad (27)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}\varphi_{pi} &= (I_i'^2 + I_i''^2) R_{i,i} + \sum_{\substack{i=\Gamma+1 \\ i \neq j}}^M [R_{i,j} (I_i' I_j' + I_i'' I_j'') + X_{i,j} (I_i'' I_j' - I_i' I_j'')], \\ \varphi_{qi} &= -(I_i'^2 + I_i''^2) X_{i,i} + \sum_{\substack{i=\Gamma+1 \\ i \neq j}}^M [R_{i,j} (I_i'' I_j' - I_i' I_j'') - X_{i,j} (I_i' I_j' + I_i'' I_j'')].\end{aligned}\quad (28)$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения (22), определяются нижеприведенными выражениями:

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

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m'} &= - \left[I_{E_k}' + \sum_{n=1}^{\Gamma} H_{mn} + (g_{m,m} U_m' + b_{m,m} U_m'') \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m''} &= - \left[I_{E_k}'' + \sum_{n=1}^{\Gamma} K_{mn} + (g_{m,m} U_m'' - b_{m,m} U_m') \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m'} &= - \left[-I_{E_k}'' + \sum_{n=1}^{\Gamma} K_{mn} + (g_{m,m} U_m'' - b_{m,m} U_m') \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m''} &= - \left[I_{E_k}' + \sum_{n=1}^{\Gamma} H_{mn} - (g_{m,m} U_m' + b_{m,m} U_m'') \right],\end{aligned}\quad (29)$$

где

$$H_{mn} = g_{m,n} U_n' - b_{m,n} U_n'', \quad K_{mn} = g_{m,n} U_n'' + b_{m,n} U_n'. \quad (30)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}I_{E_k}' &= - \sum_{n=1}^{\Gamma} g_{m,n} U_n + \sum_{k=\Gamma+1}^M (A'_{m,k} I_k' - A''_{m,k} I_k''), \\ I_{E_k}'' &= - \sum_{n=1}^{\Gamma} b_{m,n} U_n + \sum_{k=\Gamma+1}^M (A'_{m,k} I_k'' + A''_{m,k} I_k').\end{aligned}\quad (31)$$

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

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n'} &= - (g_{m,n} U_m' + b_{m,n} U_m''), & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n''} &= - (g_{m,n} U_m'' - b_{m,n} U_m'), \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n'} &= - (g_{m,n} U_m'' - b_{m,n} U_m'), & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n''} &= - (-g_{m,n} U_m' - b_{m,n} U_m'').\end{aligned}\quad (32)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell'} &= - (g_{m,\ell} U_m' + b_{m,\ell} U_m''), & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell''} &= - (g_{m,\ell} U_m'' - b_{m,\ell} U_m'), \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell'} &= - (g_{m,\ell} U_m'' - b_{m,\ell} U_m'), & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell''} &= - (-g_{m,\ell} U_m' - b_{m,\ell} U_m''),\end{aligned}\quad (33)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U'_n} &= -\left(g_{k,n} U'_k + b_{k,n} U''_k \right), & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U''_n} &= -\left(g_{k,n} U''_k - b_{k,n} U'_k \right), \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U'_\ell} &= -\left(g_{k,\ell} U'_k + b_{k,\ell} U''_k \right), & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U''_j} &= -\left(g_{k,\ell} U''_k - b_{k,\ell} U'_k \right).\end{aligned}\quad (34)$$

Затем определяем следующие типы частных производных:

$$\frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U'_n} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U''_n} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U'_\ell} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U''_\ell} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U'_k} = -2U'_k, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U''_k} = -2U''_k. \quad (35)$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения (23), определяются нижеприведенными выражениями:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $i=j$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I'_i} &= -\left[U'_{Bi} + \sum_{j=\Gamma+1}^M D_{ij} + \left(R_{i,i} I'_i + X_{i,i} I''_i \right) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I''_i} &= -\left[U''_{Bi} + \sum_{j=\Gamma+1}^M N_{ij} + \left(R_{i,i} I''_i - X_{i,i} I'_i \right) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I'_i} &= -\left[U'_{Bi} + \sum_{j=\Gamma+1}^M N_{ij} - \left(R_{i,i} I''_i - X_{i,i} I'_i \right) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I''_i} &= -\left[-U'_{Bi} - \sum_{j=\Gamma+1}^M D_{ij} + \left(R_{i,i} I'_i + X_{i,i} I''_i \right) \right],\end{aligned}\quad (36)$$

где

$$D_{ij} = R_{i,j} I'_j - X_{i,j} I''_j, \quad N_{ij} = R_{i,j} I''_j + X_{i,j} I'_j. \quad (37)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}U'_{Bi} &= \left(1 - \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{k,n} \right) U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma} (B'_{k,n} U'_n - B''_{k,n} U''_n), \\ U''_{Bi} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma} B_{k,n} U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma} (B'_{k,n} U''_n + B''_{k,n} U'_n);\end{aligned}\quad (38)$$

- при разных индексах, т.е. когда $i \neq j$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I'_j} &= -\left(R_{i,j} I'_i + X_{i,j} I''_i \right), & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I''_j} &= -\left(R_{i,j} I''_i - X_{i,j} I'_i \right), \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I'_j} &= -\left(-R_{i,j} I''_i + X_{i,j} I'_i \right), & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I''_j} &= -\left(R_{i,j} I'_i + X_{i,j} I''_i \right).\end{aligned}\quad (39)$$

Устанавливая предварительные численные значения частных производных, входящих в матрицу Якоби, можно организовать итерационный процесс решения системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС.

Итерационный процесс считается завершенным, если обеспечиваются следующие условия:

$$\left| P_{\lambda} - (P_{B_{\lambda}} + \varphi_{P_{\lambda}}) \right| \leq \Delta P_{\lambda}, \quad (40)$$

$$\left| Q_{\lambda} - (Q_{B_{\lambda}} + \varphi_{Q_{\lambda}}) \right| \leq \Delta Q_{\lambda},$$

$$\left| P_i - (P_{B_i} + \varphi_{P_i}) \right| \leq \Delta P_i, \quad (41)$$

$$\left| Q_i - (Q_{B_i} + \varphi_{Q_i}) \right| \leq \Delta Q_i,$$

$$\left| U_k^2 - \varphi_{U_k} \right| \leq \Delta U_k,$$

где $\lambda = (m, k)$, $\Delta P_{\lambda}, \Delta Q_{\lambda}, \Delta P_i, \Delta Q_i$ и ΔU_k являются заданными положительными величинами и характеризуют точность получения численных значений искомых переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество.- 1991.- №1.- С. 6-13.
2. **Хачатрян К.В.** К решению системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима электроэнергетических систем методом Ньютона-Рафсона // Изв. НАН РА и ГИУА .Сер. ТН.- 1999.-Т.52, №1.- С. 38-43.
3. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В., Маркарян К.К.** Метод коррекции Y-Z расчетной матрицы ЭЭС // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2001.- Т 54, №1.- С. 41-46.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.1999.

**Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ,
Մ.Գ. ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ, Ա.Գ. ԴՈՒԼՅԱՆ**
**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵՃԻՄԻ
ՀԻՐԴՆԱԿԱՆ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱԶԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ ԽԱՌՔԻ ԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ
ԴԵՊՔՈՒՄ**

Առաջարկվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հաշվման նոր մեթոդ, երբ կայանային հանգույցները միաժամանակ կարող են լինել ինչպես P-Q, այնպես էլ P-U տեսքի: Համապատասխան ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգերը կազմվում են էլեկտրական ցանցի պասիվ մասի Y-Z հիբրիդային մատրիցի հիման վրա:

**V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN,
M.G. TAMRAZIAN, A.G. GULYAN**
**HYBRID NONLINEAR ALGEBRAIC SIMULTANEOUS SYSTEM SOLUTION OF
EPS STEADY-STATE CONDITIONS WITH MIXED TYPES OF STANDARD
UNITS**

Steady-state condition calculation method of electric power system (EPS) when electric power stations can simultaneously be both of P-Q type and P-U type is proposed. Appropriate nonlinear algebraic simultaneous systems are made up on the basis of Y-Z hybrid matrix of passive part of power network.