

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

КОРРЕКЦИЯ Y-Z ДИАКОПТИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ ИСХОДНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается метод коррекции диакоптической Y-Z расчетной матрицы в случае, когда меняется структура исходной ЭЭС. Данный метод обеспечивает высокую маневренность и нуждается в малом объеме вычислительных работ при решении установившегося режима, когда состояние сети задается в Y-Z форме.

Ключевые слова: матрица, узел, нагрузка, система, сопротивление, напряжение, ток.

В настоящее время для решения режимных вопросов больших и сложных электроэнергетических систем (ЭЭС) перспективным направлением является диакоптический метод или метод декомпозиции [1-4]. Наряду с этим широкое применение получили методы решения уравнений установившегося режима при Y-Z форме задания состояния сети [5-10]. В связи с этим для решения режимных вопросов требуется сочетание Y-Z и диакоптических методов. Для обеспечения необходимой маневренности большое теоретическое и практическое значение имеет вопрос коррекции Y-Z диакоптической матрицы при изменении первоначальной пассивной части ЭЭС, чему и посвящена настоящая работа.

Представляя заданную ЭЭС, состоящую из M+1 узлов, в виде совокупности радиально связанных N подсистем, получим уравнение состояния [2]

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{i_1} \\ \dot{U}_{i_2} \\ \dots \\ \dot{U}_{i_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{Bi_1} \\ \dot{U}_{Bi_2} \\ \dots \\ \dot{U}_{Bi_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{i_1 j_1} & \dots & \dots \\ \dots & Z_{i_2 j_2} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & Z_{i_N j_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{j_1} \\ \dot{I}_{j_2} \\ \dots \\ \dot{I}_{j_N} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\dot{U}_i = (\dot{U}_{i_1}, \dot{U}_{i_2}, \dots, \dot{U}_{i_N})$; $\dot{I}_j = (\dot{I}_{j_1}, \dot{I}_{j_2}, \dots, \dot{I}_{j_N})$; $\dot{U}_B = (\dot{U}_{Bi_1}, \dot{U}_{Bi_2}, \dots, \dot{U}_{Bi_N})$ - многомерные векторы комплексных напряжений, токов и базисных напряжений радиально связанных подсистем; $Z_{ij} = (Z_{i_1 j_1}, Z_{i_2 j_2}, \dots, Z_{i_N j_N})$ - неособенные квадратные матрицы узловых сопротивлений тех же подсистем.

Компоненты многомерного вектора $\dot{U}_B$ определяются на основе выражений (2)-(6), приведенных в [6].

Представим диакоптическую модель (1) в развернутой форме

(2)

Для дальнейшего изложения материала принимается следующая дополнительная система индексов:

- $$\mathbf{m}(\mathbf{n}) = m_1(n_1), m_2(n_2), \dots, m_N(n_N); \quad (3)$$

- $$\mathbf{k}(\ell) = \mathbf{k}_1(\ell_1), \mathbf{k}_2(\ell_2), \dots, \mathbf{k}_N(\ell_N). \quad (4)$$

$$i(j) = m(n), (k, \ell). \quad (5)$$
$$\begin{aligned} i_1(j_1) &= m_1(n_1), k_1(\ell_1), \\ i_2(j_2) &= m_2(n_2), k_2(\ell_2), \end{aligned} \quad (6)$$

(6)

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{m}_1} \\ \dot{\mathbf{U}}_{\ell_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{E}_1} \\ \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{E}_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1\mathbf{n}_1} & \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1\mathbf{k}_1} \\ \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{n}_1} & \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{k}_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}_1} \\ \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{k}_1} \end{bmatrix}. \quad (7)$$
$$\begin{cases} \dot{\mathbf{U}}_{m_1} = \dot{\mathbf{U}}_{B_1} + \mathbf{Z}_{m_1 n_1} \dot{\mathbf{I}}_{n_1} + \mathbf{Z}_{m_1 k_1} \dot{\mathbf{I}}_{k_1}, \\ \dot{\mathbf{U}}_{\ell_1} = \dot{\mathbf{U}}_{B_1} + \mathbf{Z}_{\ell_1 n_1} \dot{\mathbf{I}}_{n_1} + \mathbf{Z}_{\ell_1 k_1} \dot{\mathbf{I}}_{k_1}. \end{cases} \quad (8)$$
$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{m}_1} \\ \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{k}_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{B}_1} \\ \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{B}_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1\mathbf{n}_1} - \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1\mathbf{k}_1} \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{k}_1}^{-1} \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{n}_1} & \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1\mathbf{k}_1} \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{k}_1}^{-1} \\ -\mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{k}_1}^{-1} \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{n}_1} & \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{k}_1}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}_1} \\ \dot{\mathbf{U}}_{\ell_1} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Полученное матричное уравнение называется гибридным, поскольку в квадратной матрице постоянных фигурируют обобщенные параметры как типа Z , так и типа Y .

Для обеспечения компактности записи матричного уравнения (9) принимаются также следующие обозначения:

$$\begin{aligned} Z_{m_1, n_1} &= Z_{m_1 n_1} - Z_{m_1 k_1} Y_{\ell_1 k_1} Z_{\ell_1 n_1}, \\ \dot{B}_{m_1, \ell_1} &= Z_{m_1 k_1} \cdot Y_{\ell_1 k_1}, \\ \dot{A}_{k_1, n_1} &= -Y_{\ell_1 k_1} \cdot Z_{\ell_1 n_1}, \\ Y_{k_1, \ell_1} &= Z_{k_1, \ell_1}^{-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

При этом матричное уравнение (9) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_1} \\ \dot{I}_{B_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1, n_1} | \dot{B}_{m_1 k_1} \\ \dot{A}_{\ell_1 n_1} | Y_{k_1 \ell_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \dot{U}_{\ell_1} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B_1} &= \dot{U}_{B_{m_1}} - Z_{m_1 k_1} Y_{\ell_1 k_1} \dot{U}_{B_{\ell_1}}, \\ \dot{I}_{B_1} &= -Y_{\ell_1 k_1} U_{B_{\ell_1}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для второй подсистемы можем написать

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_2} \\ \dot{I}_{k_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_2} \\ \dot{I}_{B_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_2, n_2} | \dot{B}_{m_2 k_2} \\ \dot{A}_{\ell_2 n_2} | Y_{k_2 \ell_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_2} \\ \dot{U}_{\ell_2} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} Z_{m_2, n_2} &= Z_{m_2 n_2} - Z_{m_2 k_2} Y_{\ell_2 k_2} Z_{\ell_2 n_2}, \\ \dot{B}_{m_2, \ell_2} &= Z_{m_2 k_2} \cdot Y_{\ell_2 k_2}, \\ \dot{A}_{k_2, n_2} &= -Y_{\ell_2 k_2} \cdot Z_{\ell_2 n_2}, \\ Y_{k_2, \ell_2} &= Z_{k_2, \ell_2}^{-1}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B_2} &= \dot{U}_{B_{m_2}} - Z_{m_2 k_2} Y_{\ell_2 k_2} \dot{U}_{B_{\ell_2}}, \\ \dot{I}_{B_2} &= -Y_{\ell_2 k_2} U_{B_{\ell_2}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Если аналогичное выражение написать для N -й подсистемы, получим

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_N} \\ \dot{I}_{k_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_N} \\ \dot{I}_{B_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_N, n_N} | \dot{B}_{m_N k_N} \\ \dot{A}_{\ell_N n_N} | Y_{k_N \ell_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_N} \\ \dot{U}_{\ell_N} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где

$$\begin{aligned} Z_{m_N, n_N} &= Z_{m_N n_N} - Z_{m_N k_N} Y_{\ell_N k_N} Z_{\ell_N n_N}, \\ \dot{B}_{m_N, \ell_N} &= Z_{m_N k_N} \cdot Y_{\ell_N k_N}, \\ \dot{A}_{k_N, n_N} &= -Y_{\ell_N k_N} \cdot Z_{\ell_N n_N}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} Y_{k_N, \ell_N} &= Z_{k_N, \ell_N}^{-1}, \\ \dot{U}_{B_N} &= \dot{U}_{B m_N} - Z_{m_N k_N} Y_{\ell_N k_N} \dot{U}_{B \ell_N}, \\ \dot{I}_{B_N} &= -Y_{\ell_N k_N} U_{B \ell_N}. \end{aligned} \quad (18)$$

Для рассматриваемой ЭЭС блочно-диагональное матричное уравнение можно представить в форме

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_m \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_1} \\ \vdots \\ \dot{U}_m \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_b \\ \vdots \\ \dot{I}_b \\ \vdots \\ \dot{U}_b \\ \vdots \\ \dot{I}_{b_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1, n_1} & \dot{A}_{m_1, \ell_1} & & \\ \vdots & \vdots & & \\ \dot{B}_{k_1, n_1} & Y_{k_1, \ell_1} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ & & & Z_{m_N, n_N} & \dot{A}_{m_N, \ell_N} \\ & & & \dot{B}_{k_N, n_N} & Y_{k_N, \ell_N} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \vdots \\ \dot{U}_{\ell_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{n_N} \\ \vdots \\ \dot{U}_{\ell_N} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

9) Фактически форма записи (19) представляет совокупность систем уравнений "напряжение - ток"

"Поскольку относительно независимых узлов задаются активные и реактивные мощности, то целесообразно перейти из формы "напряжение-ток" к форме записи "активная-реактивная" мощности. При этом блочно-диагональная форма (19) принимает в

$\begin{aligned} F_{pm_i}(I'_{n_i}, I''_{n_i}) &= 0 ; \\ F_{qm_i}(I'_{n_i}, I''_{n_i}) &= 0 ; \\ F_{pk_i}(U'_{\ell_i}, U''_{\ell_i}) &= 0 ; \\ F_{qk_i}(U'_{\ell_i}, U''_{\ell_i}) &= 0 ; \end{aligned}$	$\dots$	$.(20)$
$\begin{aligned} F_{pm_n}(I'_{n_n}, I''_{n_n}) &= 0 ; \\ F_{qm_n}(I'_{n_n}, I''_{n_n}) &= 0 ; \\ F_{pk_n}(U'_{\ell_n}, U''_{\ell_n}) &= 0 ; \\ F_{qk_n}(U'_{\ell_n}, U''_{\ell_n}) &= 0 . \end{aligned}$	$\dots$	

0)Предположим, произошло структурное изменение в первой подсистеме вследствие подключения линий А, В и С, D между соответствующими узлами. Коррекция Z матрицы первой подсистемы осуществляется на основании следующей формул

$$Z_{ij}^L = \frac{1}{\Delta} \left\{ (Z_{iA} - Z_{iB}) [\Delta_{CD} (-Z_{Aj} + Z_{Bj}) + \Delta_{ABCD} (-Z_{Cj} + Z_{Dj})] + \right. \\ \left. + (Z_{iC} - Z_{iD}) [\Delta_{ABCD} (-Z_{Aj} + Z_{Bj}) + \Delta_{AB} (-Z_{Cj} + Z_{Dj})] \right\}, \quad \text{БГ:} \quad (2)$$

1)Г

$$\begin{aligned} \Delta_{AB} &= Z^{AB} + Z_{AA} + Z_{BB} - 2Z_{AB}, & \text{де} & \quad (2) \\ \Delta_{CD} &= Z^{CD} + Z_{CC} + Z_{DD} - 2Z_{CD}, \\ \Delta_{ABCD} &= Z_{BC} + Z_{AD} - Z_{BD} - Z_{AC}^2 & \quad), & \quad (2) \\ \Delta &= \Delta_{AB} \Delta_{CD} - \Delta_{ABCD}^2 & \quad 3 & \quad), & \quad (2) \\ Z_{ij}^L &= \frac{(Z_{iA} - Z_{iB}) (-Z_{Aj} + Z_{Bj})}{Z^{AB} + Z_{AA} + Z_{BB} - 2Z_{AB}} & \quad 4 & \quad), & \quad (2) \end{aligned}$$

$$Z_{i_k j_k}^H = Z_{i_k j_k}^\Pi + \Delta Z_{i_k j_k}^\Delta \quad 5 \quad).(2)$$

6)Элементы дополнительной матриц $\Delta Z_{i_k j_k}^\Delta$ БГ определяются формулами (21)-(24). В случае, если подключается одна ветвь, необходимо воспользоваться выражением (25). Устанавливая окончательную структуру Y-Z подматрицы первой подсистемы, переходим к построению диакоптической матрицы и осуществляем расчет установившегося режим

Аналогичным способом можем поступить с другими подсистемами, уточняя их структуры, а затем и структуры кибернетической матриц

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Суханов О.А.** Диаоптика и задача определения обобщенных параметров больших энергосистем // Электричество .- 1973.-№0 4.-С.1-10
2. **Хачатрян В.С.** Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1974.-№0 4.- С.36-43
3. **Гераскин О.Т., Селенков Т.Г.** Решение уравнений установившихся режимов больших электроэнергетических систем в Y – диаоптической форме итерационным методом Ньютона-Рафсона на многопроцессорных ЭВМ // Изв. вузов СССР. Энергетика.- 1994.- №0 9-10.-С. 13-2
4. **Салливан Р.Р.** Проектирование развития электроэнергетических систем. - М.: Энергоиздат.-1982.-357 с.
5. **Хачатрян В.С., Аль-Дарвиш М. Б.**Решение Y-Z формы уравнений установившегося режима электроэнергетической системы с применением матрицы Гессе // Изв. НАН РА и ГИУА.- Сер. ТН. - 1997.-Т.50,№0 3. - С.194-203
6. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество .- 1987.-№0 3.-С.6-13
7. **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,№0 2.-С. 96-103
8. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Бадалян Н.П.** Решение гибридных уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом диаоптики // Электричество .- 1999.-№0 4.-С.7-12
9. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П., Хачатрян К. В., Гулян А. Г.** Решение систем гибридных уравнений установившегося режима ЭЭС при смешанном типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т. 54,№0 2.- С. 210-217.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.08.200

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Մ.Ա. ՄՆԱՏԱԿԱՆՅԱՆ Y-Z ԴԻԱՎՈՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԻ ՃՇԳՐՏՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՓՈՓՈԽՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Առաջարկվում է Y-Z դիավոպտիկական մատրիցի ճշգրտման մեթոդ, երբ տեղի է ունենում ԷԷՀ-ի նախնական կառուցվածքի փոփոխություն: Տվյալ մեթոդն ապահովում է բարձր մանևրաբնություն, իսկ կայունացված ռեժիմի հաշվման ժամանակ պահանջվում է նվազագույն հաշվողական ծավալ:

V.S. KHACHATRYAN, N.B. BADALYAN, M.A. MNATSAKANYAN Y-Z DIACOPTIC MATRIX CORRECTION IN CHANGING INITIAL ELECTRIC POWER SYSTEM STRUCTURE

A method of Y-Z design diacoptic matrix correction is proposed for the case when the structure of electric power systems is changed. The given method provides high manoeuvrability and needs a small volume of computations for solving steady-state conditions when the network state is given in the Y-Z form.