ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2001. Т. LIV, № 1.

УДК 621.311.1.001.24 ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН, К.В. ХАЧАТРЯН,

К.К. МАРКАРЯН

МЕТОД КОРРЕКЦИИ Y-Z РАСЧЕТНОЙ МАТРИЦЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается метод коррекции Y-Z расчетной матрицы при изменении начальной информации относительно обобщенных узлов электроэнергетической системы, что обеспечивает высокую маневренность при расчете установившихся режимов.

Ключевые слова: обобщенный узел, установившийся режим, гибридная матрица, система, нелинейное алгебраическое уравнение.

В последние годы при построении систем нелинейных алгебраических уравнений установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) широко применяются их Y-Z гибридные матрицы пассивных параметров [1-5]. Соответствующие системы нелинейных алгебраических уравнений ЭЭС обеспечивают преимущества относительно других типов уравнений при решении поставленной задачи:

- при любой форме задания исходной информации относительно независимых станционных узлов;
- сходимость решения при любой структуре электрической сети;
- при любой неоднородности схемы электроэнергетической системы;
- при произвольном выборе начальных значений зависимых режимных параметров.

Как известно, Y-Z расчетная матрица формируется на основании матриц узловых комплексных проводимостей и сопротивлений и имеет вид [1]

$$Y-Z=\left[\begin{array}{c|c} Y_{mn}-Y_{mk}Y_{kl}^{-1}Y_{ln} & Y_{mk}Y_{kl}^{-1} \\ \hline -Y_{kl}^{-1}Y_{ln} & Y_{kl}^{-1} \end{array}\right]. \qquad (1)$$

Учитывая, что

$$Y_{kl}^{-1}=Z_{kl}, \qquad (2)$$

матрица (1) принимает следующий вид:

$$Y-Z=\left[\begin{array}{c|c} Y_{mn}-Y_{mk}Z_{kl}Y_{ln} & Y_{mk}Z_{kl} \\ \hline -Z_{kl}Y_{ln} & Z_{kl} \end{array}\right]. \tag{3}$$

Если ввести обозначения:

$$Y_{m,n}=Y_{mn}-Y_{mk}Z_{kl}Y_{ln}, \qquad \dot{A}_{m,l}=Y_{mk}Z_{kl},$$
$$\dot{B}_{k,n}=-Z_{kl}Y_{ln}, \qquad Z_{k,l}=Z_{lk}, \tag{4}$$

то Y-Z расчетная матрица примет окончательный вид

$$Y-Z=\left[\begin{array}{c|c} Y_{m,n} & \dot{A}_{m,l} \\ \hline \dot{B}_{k,n} & Z_{k,l} \end{array}\right]. \tag{5}$$

Здесь $Y_{m,n}$, $Z_{k,l}$ - неособенные квадратные подматрицы, имеющие порядок соответственно Г (Г- число обобщенных узлов) и Н (Н- число нагрузочных узлов), а $\dot{A}_{m,l}$, $\dot{B}_{k,n}$ – прямоугольные матрицы (элементы которых не имеют размерности), имеющие порядок соответственно Н(Г и Г(Н.

В связи с этим для дальнейшего изложения материала удобно матрицу (5) представить в виде

$$Y-Z=\left[\begin{array}{c|c} Y_{ГГ} & \dot{A}_{ГН} \\ \hline \dot{B}_{НГ} & Z_{НН} \end{array}\right]. \tag{6}$$

В данной квадратной матрице индексы отдельных элементов показывают их порядок. Необходимо отметить, что в вышеприведенной неособенной квадратной матрице (5) индексы m(n) относятся к обобщенным узлам, к которым подключены как электрическая станция, так и нагрузки, а индексы k(l) к узлам, к которым подключены только нагрузки. Если узлы с индексом k(l) являются только узлами типа P-Q, относительно которых в качестве начальной информации заданы активные и реактивные мощности, то узлы с индексами m(n) могут быть как типа P-U, так и типа P-Q.

В случае, если вырабатываемой мощности электрической станции больше, чем потребляемой мощности нагрузки, данный обобщенный узел представляется как станционный и может быть как типа P-U, так и P-Q. В противном случае он представляется как нагрузочный и может быть только типа P-Q.

При изменении режимов ЭЭС обобщенные узлы могут стать либо узлами типа P-U, либо узлами типа P-Q. В связи с этим соответственно изменяется структура Y-Z расчетной матрицы, приведенной в виде (6). При этом возникает задача коррекции матрицы (5), что и является основной целью настоящей работы.

Вышеприведенная Y-Z расчетная матрица (6) построена для случая, когда все Г обобщенные узлы были станционными типа P-U.

Предположим, что один из обобщенных узлов P-U превращается в узел типа P-Q, т.е. становится нагрузочным. В результате порядок подматрицы $Y_{m,n}$ уменьшается на единицу, а порядок подматрицы $Z_{k,1}$ увеличивается на единицу.

Пусть номер нового нагрузочного узла типа P-Q совпадает с последним номером узлов с индексами m(n), при котором квадратная матрица (6) принимает следующий вид:

$$Y-Z=\left[\begin{array}{c|c} Y_{Г-1,Г-1} & \dot{A}_{Г-1,Н+1} \\ \hline \dot{B}_{Н+1,Г-1} & Z_{Н+1,Н+1} \end{array}\right]. \tag{7}$$

Можно заметить, что если порядок квадратной матрицы $Y_{ГГ}$ уменьшается на единицу, то порядок квадратной матрицы $Z_{Н,Н}$ увеличивается на единицу.

Теперь необходимо установить численные значения новой матрицы $Z_{Н+1,Н+1}$ (7), когда известна матрица $Z_{Н,Н}$, приведенная в (6).

Основная суть задачи заключается в том, что при построении искомой матрицы $Z_{Н+1,Н+1}$ необходимо использовать известную матрицу $Z_{Н,Н}$, не изменяя ее структуры.

Представим структуру исходной неособенной квадратной матрицы порядка Н+1, с помощью которой необходимо построить искомую матрицу $Z_{Н+1,Н+1}$:

$$\left[\begin{array}{c|c} Y_{ГГ} & Y_{Г,Г+1} \quad Y_{Г,Г+2} \quad \cdots \quad Y_{Г,Г+Н} \\ \hline Y_{Г+1,Г} & \\ Y_{Г+2,Г} & [Y]_{Н,Н} \\ \vdots & \\ Y_{Г+Н,Г} & \end{array}\right]. \tag{8}$$

Можно заметить, что квадратная матрица $[Y]_{Н,Н}$, приведенная в (8), имеющая порядок Н, совпадает с порядком матрицы $Z_{Н,Н}$, приведенной в (6).

Теперь необходимо обратить вышеприведенную матрицу (8), имеющую порядок Н+1, с учетом известной матрицы, приведенной в (6).

Представим матрицу (8) в следующем виде:

$$Y_{Н+1,Н+1}=\left[\begin{array}{c|c} Y_{ГГ} & Y_{ГН} \\ \hline Y_{НГ} & Y_{НН} \end{array}\right]. \tag{9}$$

В блочной матрице (7) приняты обозначения:

$$Y_{ГН} = \left[Y_{Г,Г+1} \quad Y_{Г,Г+2} \quad \dots \quad Y_{Г,Г+Н} \right], \tag{10}$$

$$Y^{T}_{НГ} = \left[Y_{Г+1,Г} \quad Y_{Г+2,Г} \quad \dots \quad Y_{Г+Н,Г} \right]^{T}, \tag{11}$$

где Т - знак транспонирования.

Искомую матрицу $\dot{A}_{Н+1}$ представим в такой же структуре, как и исходную матрицу (9):

$$Z_{Н+1,Н+1} = \left[\begin{array}{c|c} \dot{T}_{ГГ} & \dot{T}_{ГН} \\ \hline \dot{T}_{НГ} & \dot{T}_{НН} \end{array} \right] . \tag{12}$$

При этом между блочными матрицами существует зависимость

$$\left[\begin{array}{c|c} Y_{ГГ} & Y_{ГН} \\ \hline Y_{НГ} & Y_{НН} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c|c} \dot{T}_{ГГ} & \dot{T}_{ГН} \\ \hline \dot{T}_{НГ} & \dot{T}_{НН} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} 1 & 0 \\ \hline 0 & E \end{array} \right], \tag{13}$$

где 1 и Е являются единичными матрицами.

Пользуясь правилом умножения блочных матриц, на основании (13) получим следующие системы матричных уравнений:

$$\begin{array}{ll} Y_{ГГ}\,\dot{T}_{ГГ} + Y_{ГН}\,\dot{T}_{НГ} = 1 \ , & Y_{ГГ}\,\dot{T}_{ГН} + Y_{ГН}\,\dot{T}_{НН} = 0 \ , \\ Y_{НГ}\,\dot{T}_{ГГ} + Y_{НН}\,\dot{T}_{НГ} = 0 \ , & Y_{НГ}\,\dot{T}_{ГН} + Y_{НН}\,\dot{T}_{НН} = E \ . \end{array} \tag{14}$$

Полученная система (14) является блочно-матричной, в которой известными являются блоки $Y_{ГГ}, Y_{ГН}, Y_{НГ}, Y_{НН}$, а искомыми - $T_{ГГ}, T_{ГН}, T_{НГ}, T_{НН}$. Пользуясь методом исключения неизвестных блоков, можно установить следующие их выражения:

$$\dot{T}_{ГГ} = \frac{1}{Y_{ГГ} - Y_{ГГ} \cdot Y^{-1}_{НН} \cdot Y_{НГ}}, \tag{15}$$

$$\dot{T}_{НГ} = -Y^{-1}_{НН} \cdot Y_{НГ} \cdot \dot{T}_{ГГ}, \tag{16}$$

$$\dot{T}_{ГН} = -Y_{НГ} \cdot Y^{-1}_{НН} \cdot \dot{T}_{ГГ}, \tag{17}$$

$$\dot{T}_{НН} = Y^{-1}_{НН} + Y^{-1}_{НН} \cdot Y_{НГ} \cdot Y_{ГН} \cdot Y^{-1}_{НН} \cdot \dot{T}_{ГГ}. \tag{18}$$

Учитывая, что $Y^{-1}_{НН} = Z_{НН}$, искомая неособенная квадратная матрица (12) принимает следующий окончательный вид:

$$Z_{Н+1,Н+1} = \left[\begin{array}{c|c} \left(Y_{ГГ} - Y_{ГН}\, Z_{НН}\, Y_{НГ} \right)^{-1} & -Y_{ГН} Z_{НН} \dot{T}_{ГГ} \\ \hline -Z_{НН} Y_{НГ} \dot{T}_{ГГ} & Z_{НН} + Z_{НН} Y_{НГ} Y_{ГН} Z_{НН} \dot{T}_{ГГ} \end{array} \right] . \tag{19}$$

Из структуры искомой матрицы (19) можно заметить, что в ней действительно фигурирует известная матрица $Z_{НН}$, приведенная в исходной Y-Z расчетной матрице (6).

В полученной матрице (19) верхний левый блок является одним числом, верхний правый блок- строчной матрицей порядка 1×Н, нижний левый блок - столбцевой матрицей порядка Н×1, а нижний правый блок- квадратной матрицей порядка Н.

В отличие от классического подхода, предложенный новый метод не требует обращения какой-либо матрицы.

После установления численных значений элементов подматрицы $Z_{Н+1,Н+1}$ нетрудно построить искомую Y-Z расчетную матрицу, которая будет иметь структуру, приведенную в виде (7).

Для определения подматриц $Y_{Г-1,\,Г-1}, \dot{A}_{Г-1,\,Н+1}, \dot{B}_{Н+1,\,Г-1}$ необходимо воспользоваться формулами

$$Y_{Г-1,Г-1} = Y_{(Г-1)(Г-1)} - Y_{(Г-1)(Н+1)} Z_{(Н+1)(Н+1)} Y_{(Н+1)(Г-1)}\,, \tag{20}$$

$$\dot{A}_{Г-1,\,Н+1} = -Y_{(Г-1)(Н+1)} Z_{(Н+1)(Н+1)}\,, \tag{21}$$

$$\dot{B}_{Н+1,\,Г-1} = -Z_{(Н+1)(Н+1)} Y_{(Н+1)(Г-1)}\,. \tag{22}$$

В случае, когда два обобщенных узла типа P-U превращаются в узлы типа P-Q, при котором матрица (7) представляется в виде

$$Y\ -Z\ = \left[\begin{array}{c|c} Y_{Г-2,Г-2} & \dot{A}_{Г-2,Н+2} \\ \hline \dot{B}_{Н+2,\,Г-2} & Z_{Н+2,Н+2} \end{array}\right]\,, \tag{23}$$

подматрица (19) принимает вид

$$Z_{Н+2,Н+2} =$$

$$= \left[\begin{array}{c|c} (Y_{Г-1,Г-1} - Y_{Г-1,Н+1} Z_{Н+1,Н+1} Y_{Н+1,Г-1})^{-1} & -Y_{Г-1,Н+1} Z_{Н+1,Н+1} \dot{T}_{Г-1,Г-1} \\ \hline -Z_{Н+1,Н+1} Y_{Н+1,Г-1} \dot{T}_{Г-1,Г-1} & Z_{Н+1,Н+1} + Z_{Н+1,Н+1} Y_{Н+1,Г-1} Y_{Г-1,Н+1} Z_{Н+1,Н+1} \dot{T}_{Г-1,Г-1} \end{array}\right], \tag{24}$$

где

$$T_{Г-1,Г-1} = \frac{1}{Y_{Г\text{-}1,Г\text{-}1} - Y_{Г\text{-}1,Н+1} Z_{Н+1,Н+1} Y_{Н+1,Г\text{-}1}}\,. \tag{25}$$

Другие подматрицы Y-Z расчетной матрицы (23) определяются в виде

$$Y_{Г-2,Г-2} = Y_{(Г-2)(Г-2)} - Y_{(Г-2)(Н+2)} Z_{(Н+2)(Н+2)} Y_{(Н+2)(Г-2)}\,, \tag{26}$$

$$\dot{A}_{Г-2,\,Н+2} = -Y_{(Г-2)(Н+2)} Z_{(Н+2)(Н+2)}\,, \tag{27}$$

$$\dot{B}_{Н+2,\,Г-2} = -Z_{(Н+2)(Н+2)} Y_{(Н+2)(Г-2)}\,. \tag{28}$$

Пользуясь предложенным методом, можно построить Y-Z расчетную матрицу при превращении любого количества обобщенных узлов типа P-U в узлы типа P-Q.

Таким образом, метод обеспечивает высокую маневренность для расчета установившихся режимов ЭЭС при изменении исходной информации относительно обобщенных узлов.

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 В.С., Аль-Дарвиш М.Б.** Решение Y-Z-формы уравнения установившегося режима электроэнергетической системы с применением матрицы Гессе // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 1997. - Т.50, № 3.-С.194-203.
3. **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.
4. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Бадалян Н.П.** Решение гибридных уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом диакоптики // Электричество. - 1999.- № 4.- С. 7-12.
5. **Хачатрян К.В.** Расчет установившегося режима ЭЭС при P-U типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2000.-Т.53, № 1.-С.39-43.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.04. 2000.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Կ.Վ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ,
Կ.Կ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ Y-Z ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՄԱՏՐԻՑԻ ՃՇՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Առաջարկվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի Y-Z հաշվարկային մատրիցի վերահաշվման մեթոդ, երբ փոխվում է ընդհանրացված հանգույցների նկատմամբ տրված նախնական ինֆորմացիան, որն ապահովում է մեծ շարժունակություն՝ կայունացված ռեժիմների հաշվման ժամանակ:

**V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN, K.V. KHACHATRYAN,
K.K. MARKARYAN**

Y-Z DESIGN MATRIX CORRECTION METHOD FOR POWER ENERGETIC SYSTEM

The Y-Z design matrix correction method for initial information variation about generalized units in the power energetic system is presented. It provides high manoeuvrability for steady-state condition calculation.