

УДК 621.519.311.1.

Б.К. АЛИЯРОВ, Д.С. АХМЕТБАЕВ

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ДИАКОПТИКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Приводится общая характеристика направлений развития метода диакоптики применительно к задачам исследования установившихся режимов электрических сетей энергосистемы. Анализируя преимущества и недостатки методов, наиболее часто используемых при исследованиях режимов электроэнергетических систем, в работе ставится задача совершенствования методов диакоптики на основе эквивалентности реакций цепей пересечений отдельных подсистем.

Получены аналитические выражения, удовлетворяющие условию эквивалентности реакций цепи пересечений отдельных подсистем. При этом режимы цепи пересечений отдельных подсистем будут такими, какими они были бы до разделения на подсистемы. Это существенно повышает эффективность метода диакоптики применительно к задачам электрических сетей энергосистем.

Одним из эффективных путей анализа сложных цепей является переход от исходной к исследованию более простых цепей на основе идеи диакоптики.

Известны различные модификации методов диакоптики в применении к задаче расчета установившихся режимов электрических цепей энергосистемы [1-4].

В результате расчленения исходной системы образуется дополнительная система - цепи пересечений, в которой собираются все параметры, возникающие в результате деления. По цепи пересечений устанавливается связь между старыми и новыми параметрами с помощью тензоров соединений. При этом каждая подсистема, исследования которой значительно проще, чем исследование исходной системы, анализируется отдельно, затем частные решения соединяются шаг за шагом до тех пор, пока не будет получено решение исходной системы. Практика применения этих методов выявила следующие недостатки:

1. В процессе расчета взаимные влияния между подсистемами могут проявляться недостаточно сильно по сравнению с имеющейся в действительности степенью взаимозависимости режимов работы подсистем. В результате возникают случаи отсутствия сходимости итерационного процесса для некоторых подсистем, в то время итерационный процесс расчета режима для системы в целом является сходящим.

2. Построение математической модели цепи пересечений длястыковки результатов расчета режимов отдельных подсистем связаны с логическими и вычислительными трудностями.

Эти недостатки были преодолены развитием метода диакоптики ряда авторами [5-8]. Впервые было предложено разрезание схем по узлам, а не по ветвям, с сохранением всех ветвей схемы. При этом подсистемы выделялись таким образом, чтобы они были соединены последовательно, образуя магистральную или радиальную цепь, соединенной с балансирующим узлом.

Одним из главных достоинств изложенного выше подхода является обеспечение благоприятного условия сходимости вычислительного процесса, так как связи между подсистемами не нарушаются ни на каком этапе этого процесса.

Применение метода диакоптики позволило построить процесс расчета по следующей схеме:

- 1) определяются матрицы обобщенных параметров выделенных подсистем;

- 2) определяется вспомогательная матрица, размер которой зависит от количества разорванных связей;

- 3) с помощью вспомогательной матрицы осуществляется пересчет матриц обобщенных параметров для подсистем, соответствующих восстановлению разорванных связей, а также определению взаимных матриц обобщенных параметров для подсистем.

Возникает естественный вопрос сокращения объема выполненных работ путем координального изменения методологию расчета сложной системы по частям. Если определить условия эквивалентности режимов, при котором реакции цепи, определяемые в результате индивидуаль-

ного расчета отдельных подсистем будут такими, какими бы они характеризовались на границах разорванных связей до разделения на части исходной системы. Такой подход позволяет исключить третий пункт расчета общей схемы, выше указанной модификации, метода диакоптики. Развиваемый в настоящей работе ниже подход принципиально отличается тем, что разрезание по узлам проводится так, чтобы каждая подсистема не имела замкнутых контуров и оставалась связанный с базисным узлом. Для получения разомкнутых цепей требуется разорвать значительно меньшее число узлов связей, так как разрезание одного узла может заменить разрезание нескольких ветвей, инцидентных этому узлу.

Узловые уравнения в форме баланса напряжения для разомкнутых цепей формируется непосредственно по схеме, что снимает проблему определения обобщенных параметров отдельных подсистем [9].

Условия эквивалентности реакции цепей пересечений подсистем. Путем разрезания узлов сложно - замкнутая цепь может быть произведена к разомкнутому виду. Выбор места разреза узла может быть произволен, главное, чтобы все контуры оказались разрезанными, а полученные в результате разомкнутые цепи оставались соединенными с базисным узлом.

Условия эквивалентности реакций исходной сложной системы и разомкнутых подсистем в узлах их пересечений могут быть установлены на основе многополюсника.

Предположим, что в результате разрезания первых k - узлов получена разветвленная разомкнутая цепь, где каждая разрезанная точка, заменена двумя фиктивными точками, снабженными дополнительными индексами ("и"). Таким образом, исходная сложная система разделена на две подсистемы, состоящей из схемы разомкнутых цепей.

Связь между исходными и новыми возмущениями в узлах пересечений подсистем устанавливается на основе первого закона Кирхгофа, которая записывается в матричной форме в виде:

$$J' + J'' = J, \quad (1)$$

Новые реакции цепи в узлах пересечений подсистем определяются на основе принципа положения, в виде суммы реакций подсистем, выз-

ванных новыми возмущениями приложенных к узлам пересечений подсистем и возмущениями приложенных к неразрезанным узлам подсистемы, которые вычисляются на основе матричных уравнений:

$$U'_\Delta = \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|' J' + \left\| C_p^t Z_e C_H \right\|' \underline{\mathcal{U}}_H, \quad (2)$$

$$U''_\Delta = \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|'' \underline{\mathcal{U}} + \left\| C_p^t Z_e C_H \right\|'' \underline{\mathcal{U}}_H, \quad (3)$$

где J', J'' - столбцовые матрицы фиктивных токов, приложенных к узлам пересечений подсистем;

C_p', C_p'' - матрицы коэффициентов распределения фиктивных узловых токов подсистем;

Z_e', Z_e'' - диагональные матрицы ветвей соответствующих подсистем;

$\left\| C_p^t Z_e C_p \right\|', \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|''$ - матрицы системных функций сопротивления относительно узлов пересечений подсистем;

$\left\| C_p^t Z_e C_H \right\|', \left\| C_p^t Z_e C_H \right\|''$ - матрицы системных функций сопротивления относительно неразрезанных узлов подсистем.

Реакции цепи пересечений разомкнутых подсистем будут эквивалентными реакции цепи исходной системы при равенстве векторов напряжений в узлах пересечений подсистем, полученных в результате обхода по разным ветвям:

$$\underline{\mathcal{U}}_\Delta = \underline{\mathcal{U}}'_\Delta, \quad (4)$$

Приравнивая правые части (2), (3):

$$\left\| C_p^t Z_e C_p \right\|' \underline{\mathcal{U}} - \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|'' \underline{\mathcal{U}} = \underline{\mathcal{U}}_{\Delta H}, \quad (5)$$

где $\underline{U}_{\Delta H} = U''_{\Delta H} - U'_{\Delta H}$ - алгебраическая разность узловых падений напряжений, вызванных токами неразрезанных узлов подсистем;

$U'_{\Delta H} = \left\| C_p^t Z_e C_H \right\|' J'_H$ - узловые падения напряжения, вызванные токами неразрезанных узлов подсистемы индексом ('');

$\underline{U}_{\Delta H}'' = \left\| C_p^t Z_e C_H \right\|^'' J_H''$ - то же самое, подсистемы с индексом ("').

Определение условий эквивалентности реакций исходной системы и систем, полученных в результате разрезания узлов сводится к определению новых возмущений, удовлетворяющих равенства реакций подсистем относительно узлов их пересечений. Для этой цели составляем систему из матричных уравнений (1) и (5):

$$\begin{aligned} & \underline{\mathcal{J}} + \underline{\mathcal{J}}' = \underline{\mathcal{J}} \\ & \left. \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|' \underline{\mathcal{J}}' - \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|^'' J'' = \underline{U}_{\Delta H} \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

где искомыми параметрами являются новые возмущения, J', J'' приложенные к узлам пересечений подсистем.

Система (6) может быть записана в виде матричного уравнения:

$$\begin{vmatrix} E & E \\ (C_p^t Z_e C_p)' & -(C_p^t Z_e C_p)'' \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} J' \\ J'' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J \\ \underline{U}_{\Delta H} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где Е - единичная диагональная матрица.

$$\begin{vmatrix} E & E \\ (C_p^t Z_e C_p)' & -(C_p^t Z_e C_p)'' \end{vmatrix} - \text{квадратная, неособенная матрица размерностью, равной количеству фиктивных узлов цепи пересечений.}$$

Если воспользоваться свойствами разбиения

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \underline{\mathcal{J}} & \\ \underline{\mathcal{J}}' & \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} E \\ (C_p^t Z_e C_p)' \end{vmatrix} - \\ & \begin{vmatrix} E \\ -(C_p^t Z_e C_p)'' \end{vmatrix}^{-1} \cdot \begin{vmatrix} J \\ \underline{U}_{\Delta H} \end{vmatrix}, \end{aligned} \quad (8)$$

то решения (7) запишется

$$\begin{vmatrix} J' \\ J'' \\ J''' \\ M \\ J^N \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} E & E \\ (C_p^t Z_e C_p)' & -(C_p^t Z_e C_p)'' \\ (C_p^t Z_e C_p)' & 0 \\ - & - \\ (C_p^t Z_e C_p)' & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} E & K & E & \underline{J} \\ 0 & K & 0 & \underline{U}_{\Delta H}^{21} \\ -(C_p^t Z_e C_p)'' & K & 0 & \underline{U}_{\Delta H}^{31} \\ - & - & - & K \\ 0 & K & -(C_p^t Z_e C_p)^N & \underline{U}_{\Delta H}^{N1} \end{vmatrix},$$

матриц на блоки, то решение системы (6) можно существенно упростить путем исключения переменных J' . После несложных преобразований система (6) приводится к виду:

$$\underline{Z} \underline{\mathcal{J}} = \underline{\mathcal{U}}_{\Delta \Sigma}, \quad (9)$$

где $\underline{Z} = -(\left\| C_p^t Z_e C_p \right\|^'' + \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|')$ - квадратная, неособенная матрица размерностью, равной количеству узлов цепи пересечений исходной системы;

$\underline{U}_{\Delta \Sigma} = (\underline{\mathcal{U}}_{\Delta H} - \left\| C_p^t Z_e C_p \right\|' J)$ - столбцовая матрица фиктивных узловых падений напряжения.

Решение матричного уравнения (9)

$$\underline{J}'' = \underline{Z}^{-1} \underline{U}_{\Delta \Sigma}, \quad (10)$$

относительно J'' проще, чем решение матричного уравнения (8). Для решения (10) требуется вычисление обратной матрицы \underline{Z}^{-1} , размерностью равной количеству разрезанных узлов, что требует меньше затраты труда, чем определение обратной матрицы в выражении (8).

Значения остальных искомых переменных определяются по формуле:

$$\underline{J}' = \underline{J} - \underline{J}'', \quad (11)$$

После определения фиктивных токов всех узлов пересечений подсистем можно исследовать поведение исходной системы на основе режимов выделенных подсистем.

В общем случае исходная схема может быть разделена на N подсистем. Тогда для определения фиктивных токов в узлах их пересечений справедливо выражение:

где

$$\underline{U}_{\Delta H}^{N1} = \underline{U}_{\Delta H}^N - \underline{U}_{\Delta H}^I = \\ = \|C_p^t Z_e C_H\|^N \cdot J_H^N - \|C_p^t Z_e C_H\|' J'_H \quad - \text{алгебраическая разность узловых падений напряжений, вызванных токами неразрезанных узлов соответствующих подсистем.}$$

Выводы:

1. Сформулирована задача эквивалентности реакций цепей пересечений отдельных подсистем.

2. Получены аналитические выражения условий эквивалентности реакций цепей пересечений отдельных подсистем.

3. Самостоятельные расчеты эквивалентных разомкнутых подсистем существенно упрощают методику анализа сложных схем электрических сетей большой размерности.

ПРИЛОЖЕНИЕ

В качестве примера рассмотрим разветвленную разомкнутую электрическую цепь, изображенную на рисунке 1, полученную в результате разрезания узлов 1, 2, 3

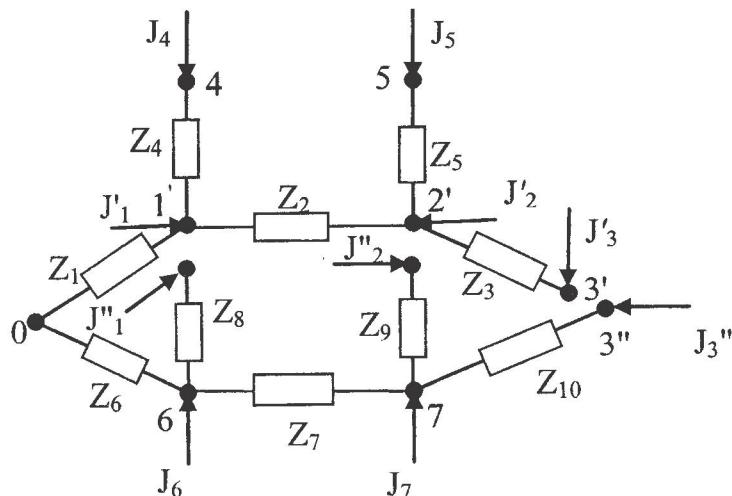


Рисунок 1

Каждая точка разрезания заменена двумя фиктивными точками, снабженными дополнительными индексами ('и'). Задающие узловые токи в фиктивных точках произвольно перераспределяются при условии (1):

$$\left. \begin{aligned} \underline{\mathcal{I}}_1 + \underline{\mathcal{I}}_1' &= \underline{\mathcal{I}}_1 \\ \underline{\mathcal{I}}_2 + \underline{\mathcal{I}}_2' &= \underline{\mathcal{I}}_2 \\ \underline{\mathcal{I}}_3 + \underline{\mathcal{I}}_3' &= \underline{\mathcal{I}}_3 \end{aligned} \right\}, \quad (P1)$$

Режимы разомкнутых цепей будут эквивалентными режиму сложно-замкнутой цепи при условии соблюдения тождества:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_{\Delta 1}^{\mathcal{I}} &= \underline{U}_{\Delta 1}^{\mathcal{I}} \\ \underline{U}_{\Delta 2}^{\mathcal{I}} &= \underline{U}_{\Delta 2}^{\mathcal{I}} \\ \underline{U}_{\Delta 3}^{\mathcal{I}} &= \underline{U}_{\Delta 3}^{\mathcal{I}} \end{aligned} \right\}, \quad (P2)$$

Значения фиктивных токов (П1) обеспечивающие условия тождества (П2) определяются на основе матричного уравнения (7), которое в развернутой форме запишется в виде:

$$\begin{vmatrix} \underline{J}'_1 \\ \underline{J}'_2 \\ \underline{J}'_3 \\ \underline{J}''_1 \\ \underline{J}''_2 \\ \underline{J}''_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 & -(\underline{Z}_6 + \underline{Z}_8) & -\underline{Z}_6 & -\underline{Z}_6 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & -\underline{Z}_6 & -(\underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_9) & -(\underline{Z}_6 + \underline{Z}_7) \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 & -\underline{Z}_6 & -(\underline{Z}_6 + \underline{Z}_7) & -(\underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_{10}) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \\ \underline{J}_3 \\ \underline{U}_{\Delta 1}^H \\ \underline{U}_{\Delta 2}^H \\ \underline{U}_{\Delta 3}^H \end{vmatrix}^{-1} \quad (\text{П3})$$

где $E = \begin{vmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{vmatrix}$ - диагональная единичная матрица;

$\underline{J} = \begin{vmatrix} \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \\ \underline{J}_3 \end{vmatrix}$ - столбцовая матрица задающих токов;

$$\begin{vmatrix} C_p^t & \underline{Z}_6 & C_p \end{vmatrix}' = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \underline{Z}_1 & & & & \\ & \underline{Z}_2 & & & \\ & & \underline{Z}_3 & & \\ & & & \underline{Z}_4 & \\ & & & & \underline{Z}_5 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{vmatrix} \quad \text{- матрица узловых со-}$$

противлений схемы относительно разрезанных узлов и индексами (');

$$\begin{vmatrix} C_p^t \underline{Z}_6 C_p \end{vmatrix}'' = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \underline{Z}_6 & & & & \\ & \underline{Z}_7 & & & \\ & & \underline{Z}_8 & & \\ & & & \underline{Z}_9 & \\ & & & & \underline{Z}_{10} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \underline{Z}_6 + \underline{Z}_8 & \underline{Z}_6 & \underline{Z}_6 \\ \underline{Z}_6 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_9 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 \\ \underline{Z}_6 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_{10} \end{vmatrix}$$

- матрица узловых сопротивлений схемы, относительно разрезанных узлов с индексами ("");

$$\begin{aligned}
 \begin{vmatrix} U_{\Delta 1}^H \\ U_{\Delta 2}^H \\ U_{\Delta 3}^H \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{matrix} \underline{Z}_6 \\ Z_7 \\ \underline{Z}_8 \\ Z_9 \\ \underline{Z}_{10} \end{matrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{matrix} J_6 \\ J_7 \end{matrix} = \\
 - \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{matrix} \underline{Z}_1 \\ Z_2 \\ \underline{Z}_3 \\ Z_4 \\ \underline{Z}_5 \end{matrix} &\cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{matrix} J_4 \\ J_5 \end{matrix} = \\
 &= \begin{vmatrix} \underline{Z}_6 J_6 + \underline{Z}_6 J_7 - \underline{Z}_1 J_4 - \underline{Z}_1 J_5 \\ \underline{Z}_6 J_6 + (\underline{Z}_6 + \underline{Z}_7) J_7 - \underline{Z}_1 J_4 - (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) J_5 \\ Z_6 J_6 + (Z_6 + Z_4) J_7 - (Z_1 J_4) - (Z_1 + Z_2) J_5 \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

- алгебраическая сумма узловых падений напряжений от токов неразрезанных узлов;

$$C'_p = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad C''_p = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

- матрица коэффициентов распределения фиктивных токов разомкнутых цепей;

$$C'_H = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad C''_H = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$$

- матрицы коэффициентов распределения токов неразрезанных узлов

подсистем;

$$\underline{J}'_H = \begin{vmatrix} J_4 \\ J_5 \end{vmatrix}, \quad J''_H = \begin{vmatrix} J_6 \\ J_7 \end{vmatrix}$$

- матрицы задающих токов неразрезанных узлов соответствующих подсистем.

По мере усложнения схемы электрической цепи размер обращаемой матрицы в выражении (П3) существенно возрастает, что сопровождается трудностями, связанными с увеличением объема выполняемых работ. Эти трудности могут быть озлоблены, если пользоваться свойствами, вытекающими из разделения матриц на блоки.

Для определения фиктивных токов \underline{J}'' может быть использована формула (10), которая в развернутой форме имеет вид:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \underline{J}_1'' \\ \underline{J}_2'' \\ \underline{J}_3'' \end{vmatrix} &= - \left(\begin{vmatrix} \underline{Z}_6 + \underline{Z}_8 & \underline{Z}_6 & \underline{Z}_6 \\ \underline{Z}_6 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_9 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 \\ \underline{Z}_6 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 & \underline{Z}_6 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_{10} \end{vmatrix}'' + \begin{vmatrix} \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{vmatrix}' \right)^{-1} \times \\ &\times \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} \underline{U}_{\Delta 1}^H \\ \underline{U}_{\Delta 2}^H \\ \underline{U}_{\Delta 3}^H \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \\ \underline{J}_3 \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} \underline{U}_{\Delta 1}^H \\ \underline{U}_{\Delta 2}^H \\ \underline{U}_{\Delta 3}^H \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \\ \underline{J}_3 \end{vmatrix} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (\text{П4})$$

Для остальных искомых токов справедливо выражение:

$$\begin{vmatrix} \underline{J}_1' \\ \underline{J}_2' \\ \underline{J}_3' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \\ \underline{J}_3 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \underline{J}_1'' \\ \underline{J}_2'' \\ \underline{J}_3'' \end{vmatrix}, \quad (\text{П5})$$

Анализ режимов исходной схемы, после определения фиктивных токов в узлах пересечений подсистем, производится на основе расчетов разомкнутых цепей, матрицы коэффициентов токораспределения которых, равны:

$$C'_p = (C'_p C'_H) = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \quad C'' = (C''_p C''_H) = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

тогда, узловые падения напряжения схемы отдельных подсистем, снабженные с индексами ("и") определяются как:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \underline{U}'_{\Delta 1} \\ \underline{U}'_{\Delta 2} \\ \underline{U}'_{\Delta 3} \\ \underline{U}'_{\Delta 4} \\ \underline{U}'_{\Delta 5} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{matrix} \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_4 \\ \underline{Z}_5 \end{matrix} \quad \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \underline{J}'_1 \\ \underline{J}'_2 \\ \underline{J}'_3 \\ \underline{J}'_4 \\ \underline{J}'_5 \end{vmatrix}, \end{aligned} \quad (\text{П6})$$

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} U''_{\Delta 1} \\ U''_{\Delta 2} \\ U''_{\Delta 3} \\ U''_{\Delta 6} \\ U''_{\Delta 7} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \cdot \begin{array}{c} Z_6 \\ Z_7 \\ Z_8 \\ Z_9 \\ Z_{10} \end{array} \end{array} \quad \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} J'_1 \\ J'_2 \\ J'_3 \\ J'_6 \\ J'_7 \end{array} \right| \\ \cdot \begin{array}{c} J''_1 \\ J''_2 \\ J''_3 \\ J''_6 \\ J''_7 \end{array} \end{array} \quad (П7)$$

Правильность выполненных расчетов можно проверить по условиям эквивалентности реакций замкнутых и разомкнутых цепей, которые записываются для узлов пересечений:

$$\begin{aligned} U'_{\Delta 1} &= U''_{\Delta 1} \\ U'_{\Delta 2} &= U''_{\Delta 2} \\ U'_{\Delta 3} &= U''_{\Delta 3} \end{aligned}$$

Для токов в ветвях схемы разомкнутых цепей справедливы выражения:

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \cdot \begin{array}{c} J'_1 \\ J'_2 \\ J'_3 \\ J'_4 \\ J'_5 \end{array} \end{array} \quad \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} I_6 \\ I_7 \\ I_8 \\ I_9 \\ I_{10} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right| \cdot \begin{array}{c} J''_1 \\ J''_2 \\ J''_3 \\ J''_6 \\ J''_7 \end{array} \end{array} \quad (П8)$$

ЛИТЕРАТУРА

- Хачатрян В.С. Метод пересчета узловых сопротивлений при изменении схемы замещения // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1966. № 2. С. 71-76.
- Гераскин О.Т., Бякова П.П., Бяков А.Ю. Метод расчета матриц обобщенных параметров для электрических сетей сверхсложной конфигурации // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1974. № 5. С 74-82.
- Хачатрян В.С. К методам расчета собственных и взаимных сопротивлений сложных энергосистем // Электротехничество. 1946. № 10. С.47-51.
- Хачатрян В.С., Суханов О.А. Диакоптика и задача определения обобщенных параметров больших энергосистем // Электротехничество. 1993. № 4. С.1-10.
- Хачатрян В.С., Балабекян М.А. Метод представления больших систем как совокупность радиально связанных оптимальных подсистем // Известия АН СССР. Серия технических наук. 1974. № 6. С.29-35.
- Гераскин О.Т., Григорьев В.А. Обобщенные параметры больших энергосистем и их определение методом диакоптики // Электротехничество. 1981. № 8. С.7-12.
- Хачатрян В.С., Балабекян М.А. Автоматизация разбивки больших систем на радиально связанные оптимальные подсистемы // Электротехничество. 1977. № 9. С. 15-20.
- Гераскин О.Т. Диакоптика и разреженность в задаче расчета установившихся режимов больших ЭЭС // Известия ВУЗов СССР. Энергетика. 1982. С.7-12.
- Моделирование режимов сложной электрической цепи путем приведения ее к эквивалентной разомкнутой // Вестник ПГУ. Серия энергетическая. Павлодар. 2005. № 1. С. 9-13.

Резюме

Энергожүйесіндегі электр желісінің тұракталған жүктемелерін зерттеудің есептерге байланысты диакоптикалық әдістемелерді дамыту бағыттарының жалпылама

сипаттамасы берілген. Электрэнергетика жүйесінің жүктемелерін зерттеуге жіңіздеріндең әдістемелердің жетістіктері мен көмістіктерін салыстыра отырып, жекелендігендегі жүйелердің киылсызы тізбектерінің эквиваленттік реакцияларына байланысты диакоптикалық әдістемені жетілдіру мақсаты қойылған.

Жекелендірілген жүйелердің киылсызы тізбектерінің реакцияларының эквиваленттік шарттарын қанағаттандыратын аналитикалық өрнектер алынған. Жекелендірілген жүйелердің киылсызы тізбектерінің жүктемелері, олардың белшектенбей түрған кезіндегі жүктемелеріне тен болады. Бұл жағдай, энергия жүйесіндегі электр желісінің есептеріне байланысты пайдалынатын диакоптикалық әдістеменің мүмкінділігін артырады.

Summary

The paper provides a general characteristic of directions of the development of the diakoptik's method is used to study problems of steady regimes of electric power networks. Analyzing the advantages and disadvantages of the methods most used in studies of investigating modes of electric power systems, the work put to the task of improving diakoptik that is based on the equivalence of intersections of chains of reactions of individual subsystems.

The analytical expressions received are satisfying the equivalence of intersections of the chain reactions of individual subsystems. In this mode, the chain of intersections of the individual subsystems will be as they would have been to the division into subsystems. This significantly increases the efficiency of the diakoptik's method relation to problems of electric power networks.

РГКП «Межрегиональный профессиональный центр по подготовке и переподготовке кадров технического и обслуживающего труда для топливно - энергетической отрасли», г. Экибастуз

Поступила 10.10.09