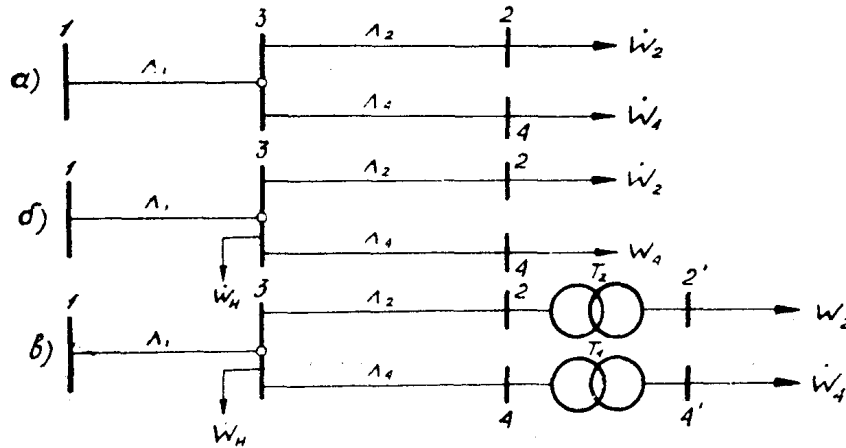


Расчет радиальных линий местных электрических сетей

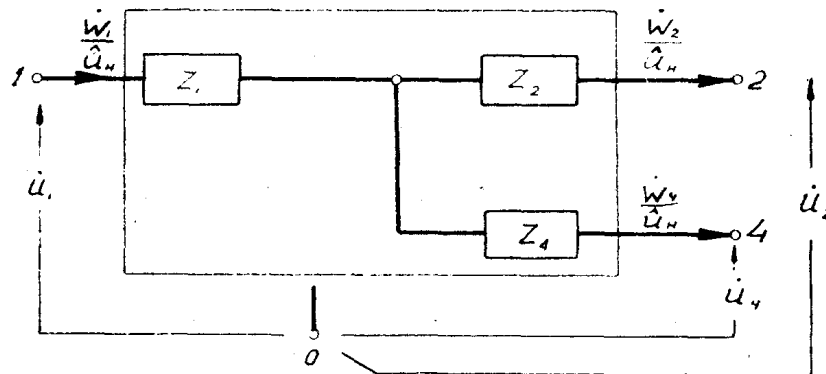
При наличии нескольких радиальных линий, режимы которых взаимозависимы, участок сети (фиг. 1) удобно представить в виде многополюсника, при этом обратные провода сети объединяются в один общий зажим-полюс.



Фиг. 1

Полагаем, что напряжение на шинах подстанции 1 при всех режимах поддерживается постоянным. Определяем для этого случая напряжения на шинах подстанций 2 и 4 в зависимости от нагрузок $\dot{W}_2$, $\dot{W}_4$ и $\dot{W}_n$.

Схема замещения участка сети (фиг. 1а) представлена в виде четырехполюсника (фиг. 2), где Z_1 , Z_2 и Z_4 — полные сопротивления линий.



Фиг. 2

Если разбить токи и напряжения четырехполюсника на входные, выходные, суммирующиеся и общие, то связь между ними устанавливается матрицей b согласно уравнению (1).

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \frac{\dot{W}_1}{\hat{U}_n} \\ \frac{\dot{W}_4}{\hat{U}_n} \end{bmatrix} = [b] \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \frac{\dot{W}_2}{\hat{U}_n} \\ \dot{U}_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где $\hat{U}_n$ — номинальное напряжение;

$\dot{U}_1$, U_2 и U_4 — напряжения между зажимами 1, 2, 4 и нулевым, умноженные на $\sqrt{3}$; $\frac{\dot{W}_1}{U_n}$, $\frac{\dot{W}_2}{U_n}$, $\frac{\dot{W}_4}{U_n}$ — токи зажимов.

В связи с тем, что неизвестными являются напряжения U_2 и U_4 , преобразовываем обобщенное уравнение относительно неизвестных, пользуясь правилами преобразования матричных уравнений, и получаем интересующую нас зависимость (2)

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{U}_4 \\ \frac{\dot{W}_1}{\hat{U}_n} \end{bmatrix} = [b'] \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \frac{\dot{W}_2}{\hat{U}_n} \\ \frac{\dot{W}_4}{\hat{U}_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

при этом для четырехполюсника фиг. 2 получаем матрицу $[b']$

$$[b'] = \begin{bmatrix} 1 & -(Z_2 + Z_1) & -Z_1 \\ 1 & -Z_1 & -(Z_1 + Z_4) \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где Z_1 , Z_2 и Z_4 являются полными сопротивлениями соответствующих линий.

Элементы матрицы $[b']$ являются постоянными для данного участка сети комплексными числами.

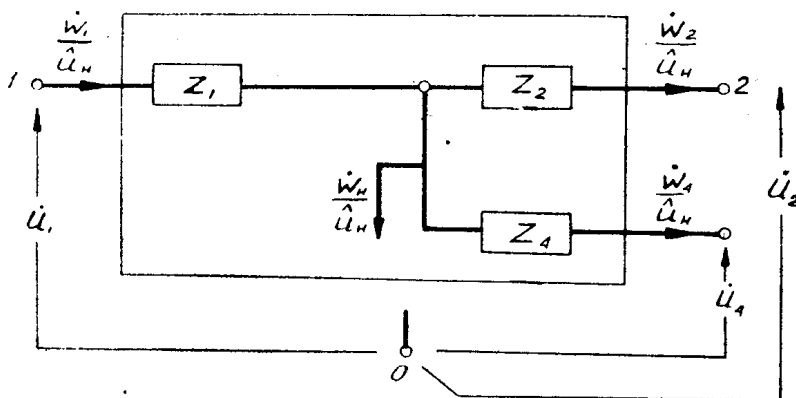
При наличии отбора мощности на шинах промежуточной подстанции (фиг. 1б), схема замещения представляется в виде активного четырехполюсника (фиг. 3).

Преобразованное обобщенное уравнение (2) для четырехполюсника (фиг. 3) имеет вид (4):

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{U}_4 \\ \frac{\dot{W}_1}{\hat{U}_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -(Z_2 + Z_1) & -Z_1 \\ 1 & -Z_1 & -(Z_1 + Z_4) \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \frac{\dot{W}_2}{\hat{U}_n} \\ \frac{\dot{W}_4}{\hat{U}_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\dot{W}_n}{\hat{U}_n} Z_1 \\ -\frac{\dot{W}_n}{\hat{U}_n} Z_1 \\ \frac{\dot{W}_n}{\hat{U}_n} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Уравнение (4) отличается от уравнения (2) дополнительным членом — векторным параметром, учитывающим активные свойства схемы.

При наличии в схеме элементов трансформации (фиг. 1в) возникает необходимость в определении напряжений на низковольтных шинах конечных подстанций 2', 4'. Трансформаторы учитываются схемой замещения в виде пятиполюсника (фиг. 4).

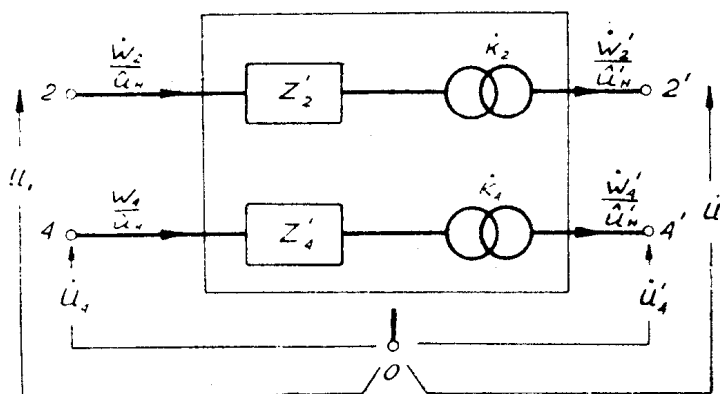


Фиг. 3

Матрица b пятиполюсника (фиг. 4) имеет вид (5):

$$[b] = \begin{bmatrix} K_2, & \frac{Z'_2}{\hat{K}_2}, & 0, & 0 \\ 0, & \frac{1}{\hat{K}_2}, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & \frac{1}{Z'_4}, & -\frac{\hat{K}_4}{Z'_4} \\ 0, & 0, & -\frac{\hat{K}_4}{Z'_4}, & -\frac{\hat{K}_4 \hat{K}_4}{Z'_4} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где Z'_2 и Z'_4 — полные сопротивления трансформаторов, $\hat{K}_2$ и $\hat{K}_4$ — комплексные коэффициенты трансформации.



Фиг. 4

Для получения матрицы b схемы замещения всей системы передачи электрической энергии (фиг. 1в) необходимо соединить четырехполюсник (фиг. 3) с пятиполюсником (фиг. 4).

Эквивалентный пятиполюсник для схем соединений (фиг. 5) представлен на фиг. 6.

Зажим „4“ эквивалентного пятиполюсника не соединяется с внешней цепью, следовательно, ток i_4 равен 0.



Матричный параметр эквивалентного пятиполюсника подсчитываем по формуле (6) и векторный параметр—по формуле (6а).

(6)

(6a)

где $\xi'_{11}, \xi'_{12}, \xi'_{21}, \xi'_{22}$ составляющие матричного параметра первой подсхемы,
 $\xi''_{11}, \xi''_{12}, \xi''_{21}, \xi''_{22}$ " " " " второй " "
 ξ_{10}, ξ_{20} векторные параметры первой подсхемы
 ξ_{10}, ξ_{20} " " " " второй "



После соответствующих вычислений получаем уравнение эквивалентной цепи в матричной форме (7).

Ток $\dot{I}_4$, как указано выше, равен нулю, следовательно, нет необходимости в вычислении элементов третьей строки матрицы и векторного параметра.

$$\begin{array}{c|c|c|c|c}
 \dot{U}_1 & \frac{Z_1+Z_4}{Z_4} \dot{K}_2 & \frac{Z_1+Z_4}{Z_4} Z'_2 + \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_4 + Z_2 Z_4}{Z_1 \hat{K}_2} & -\frac{Z_1}{Z_1} & 0 \\
 \hline
 \frac{W_1}{\hat{U}_H} & -\frac{\dot{K}_2}{Z_1} & -\frac{Z'_2}{Z_1 \hat{K}_2} + \frac{Z_1+Z_2}{Z_1 \hat{K}_2} & -\frac{1}{Z_1} & 0 \\
 \hline
 0 & b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\
 \hline
 \frac{W_4}{\hat{U}_H} & 0 & 0 & \frac{\hat{K}_4}{Z'_4} & -\frac{\dot{K}_4 \hat{K}_4}{Z'_4}
 \end{array} = \begin{array}{c|c|c|c|c}
 \dot{U}'_2 & \frac{W_H}{\hat{U}_H} Z_1 & & & \\
 \hline
 \frac{W_2}{\hat{U}_H} & \frac{W_H}{\hat{U}_H} & & & \\
 \hline
 \dot{U}_H & b_{30} & & & \\
 \hline
 \dot{U}_4 & 0 & & &
 \end{array} \times \quad (7)$$

Уравнение (7) может быть преобразовано в уравнение формы (8).

$$\begin{array}{c|c|c|c|c}
 \dot{U}'_2 & \frac{Z_1}{(Z_1+Z_4) \dot{K}_2} & -\frac{1}{\dot{K}_2 \hat{K}_2} \left(Z'_2 + \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_4 + Z_2 Z_4}{Z_1 + Z_4} \right) & \frac{Z_1}{(Z_1+Z_4) \dot{K}_2} & 0 \\
 \hline
 \frac{W_1}{\hat{U}_H} & \frac{1}{Z_1+Z_4} & \frac{Z_4}{(Z_1+Z_4) \hat{K}_2} & -\frac{1}{Z_1+Z_4} & 0 \\
 \hline
 0 & b'_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\
 \hline
 \dot{U}'_4 & 0 & 0 & \frac{1}{\dot{K}_4} & \frac{Z'_4}{\dot{K}_4 \hat{K}_{11}}
 \end{array} = \begin{array}{c|c|c|c|c}
 \dot{U}'_2 & \frac{W_H}{\hat{U}_H} Z_1 & & & \\
 \hline
 \frac{W_2}{\hat{U}_H} & \frac{W_H}{\hat{U}_H} & & & \\
 \hline
 \dot{U}_H & b_{30} & & & \\
 \hline
 \dot{U}_4 & 0 & & &
 \end{array} \times$$

$$\begin{array}{c} \dot{U}_1 \\ \hline \frac{\dot{W}_2}{\hat{U}_H} \\ \hline \dot{U}_4 \\ \hline \frac{\dot{W}_1}{\hat{U}_H} \end{array} \times \begin{array}{c} \frac{\dot{W}_H Z_1 Z_4}{\hat{U}_H \hat{K}_2 (Z_1 + Z_4)} \\ \hline \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \left(1 - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_4} \right) \\ \hline 0 \\ \hline 0 \end{array} + \begin{array}{c} \frac{\dot{W}_H Z_1 Z_4}{\hat{U}_H \hat{K}_2 (Z_1 + Z_4)} \\ \hline \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \left(1 - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_4} \right) \\ \hline 0 \\ \hline 0 \end{array} \quad (8)$$

В практике расчета местных сетей не встречается необходимости в определении фазы напряжения, что дает возможность ввести некоторые дополнительные упрощения. В расчеты вводим лишь абсолютную величину напряжения и коэффициента трансформации. Произведение элемента строки матрицы на вектор тока рассматриваем как величину продольной составляющей падения напряжения.

Эквивалентный пятиполюсник (фиг. 6) участка сети (фиг. 1в) имеет холостой зажим „4“, который может быть введен во внутрь, в результате пятиполюсник будет четырехполюсником.

В последнем случае матрично-векторные параметры обобщенного уравнения четырехполюсника будут иметь вид (9)

$$\begin{array}{c} \dot{U}'_2 \\ \hline \dot{U}'_1 \\ \hline \frac{\dot{W}_1}{\hat{U}_H} \end{array} = \begin{array}{c|c|c} \frac{1}{\hat{K}_2} & \frac{Z_2 + Z'_2 + Z_1}{\hat{K}_2 \hat{K}_4} & -\frac{Z_1}{\hat{K}_2 \hat{K}_4} \\ \hline \frac{1}{\hat{K}_2} & -\frac{Z_1}{\hat{K}_1 \hat{K}_2} & -\frac{Z_1 + Z_4 + Z'_4}{\hat{K}_2 \hat{K}_4} \\ \hline 0 & \frac{1}{\hat{K}_2} & \frac{1}{\hat{K}_4} \end{array} \times \begin{array}{c} \dot{U}_1 \\ \hline \frac{\dot{W}_2}{\hat{U}_H} \\ \hline \frac{\dot{W}_4}{\hat{U}_H} \end{array} + \begin{array}{c} -\frac{1}{\hat{K}_2} \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} Z_1 \\ \hline -\frac{1}{\hat{K}_H} \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} Z_1 \\ \hline \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \end{array} \quad (9)$$

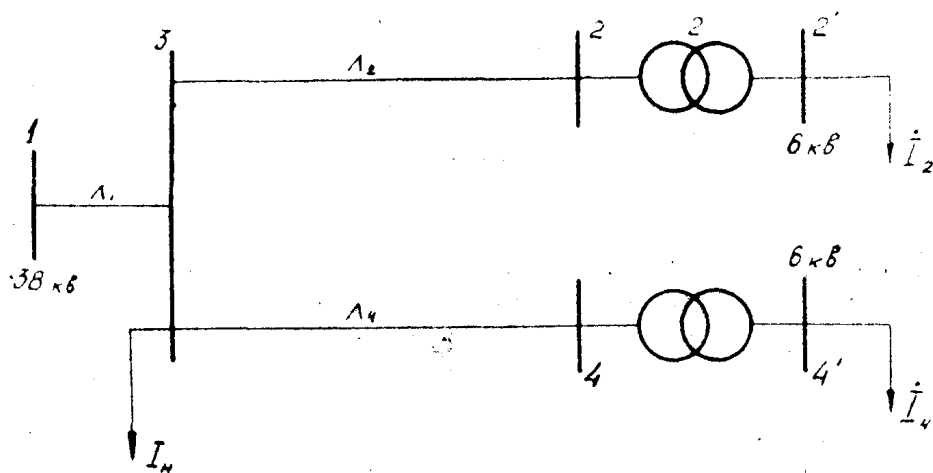
Для иллюстрации применения полученных выражений числовой пример. Дан участок электрической сети, для которого известны токовые нагрузки и постоянные линий и трансформаторов.

Постоянные линий

$$Л_1: l = 10 \text{ км}, \text{ МГ-70, } Z_1 = 5,04 \angle 57^\circ 30' \text{ ом};$$

$$Л_2: l = 6 \text{ км}, \text{ МГ-50, } Z_2 = 3,46 \angle 49^\circ 20' \text{ ом};$$

$$Л_4: l = 12 \text{ км}, \text{ МГ-50, } Z_4 = 6,93 \angle 49^\circ 20' \text{ ом}.$$



Фиг. 7

Постоянные трансформаторов

$$T_1: 5600 \text{ кВа}, K_2 = 5,45, Z'_2 = 16,5 \angle 82^\circ 18' \text{ ом}.$$

$$T_4: 7500 \text{ кВа}, K_4 = 5,45, Z'_4 = 12,3 \angle 82^\circ 24' \text{ ом}.$$

Нагрузки

$$I_2 = 469 \angle 31^\circ 50' \text{ а},$$

$$I_4 = 545 \angle 29^\circ 30' \text{ а},$$

$$I_n = 40 \angle 31^\circ 50' \text{ а}.$$

Матрично-векторные параметры схемы (16) равны:

$$[b] = \begin{bmatrix} 1 & -(4,98 + j6,87) & -(2,72 + j4,25) \\ 1 & -(2,72 + j4,25) & -(7,24 + j9,53) \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$[b_0] = \begin{bmatrix} -(2,72 + j4,25) \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \\ -(2,72 + j4,25) \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \\ \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \end{bmatrix} \quad (11)$$

В результате вычислений имеем:

$$U_2 = 36,7 \text{ кв.}$$

$$U_1 = 36,3 \text{ кв.}$$

Матрично-векторные параметры схемы (1в) равны:

$$[b] = \begin{bmatrix} 0,183 & -(0,245 + j0,785) & -(0,092 + j0,143) \\ 0,183 & -(0,092 + j0,143) & -(0,303 + j0,725) \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix},$$

$$[b_0] = \begin{bmatrix} -(0,504 + j0,780) \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \\ -(0,504 + j0,780) \frac{\dot{W}_H}{\hat{U}_H} \\ b_{30} \end{bmatrix}.$$

Элементы третьей строки можно не вычислять, так как ток $\dot{I}$ нами не определяется.

В результате вычисления имеем:

$$U_2 = 6,5 \text{ кв.}$$

$$U_1 = 6,5 \text{ кв.}$$

Выводы

Применение метода составных электрических цепей к расчету местных сетей, как видно из примера, вносит упрощения. Наличие таблиц готовых матричных и векторных параметров характерных участков сети позволит автоматизировать процесс расчета и сводит его к сложению и умножению матриц подсхем.

Обобщенное уравнение в матричной форме участка сети—подсхемы позволяет получать более короткие и общие формулы, а также более четко устанавливать взаимосвязи между электрическими величинами.

Указанные обстоятельства допускают рекомендовать изложенный метод, особенно в эксплуатационных расчетах, широкому кругу лиц без специальной подготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. В о р о н о в Р. А. Общая теория четырехполюсников и многополюсников. Госэнергоиздат, 1951.
 2. П у х о в Г. Е. Теория метода подсхем. Электричество, № 8, 1952.
 3. З е л я х Э. В. Основы общей теории линейных электрических схем. Изд. АН СССР, 1951.
 4. М е л ь н и к о в Н. А. Расчеты режимов работы сетей электрических систем. Госэнергоиздат 1950.
 5. М е л ь н и к о в Н. А., К н я з е в с к и й Б. А. Аналогия в преобразованиях электрических систем с э.д.с. и с трансформациями. ВЗЭИ, Сборник трудов, 1951.
-