К ВОПРОСУ РАСЧЕТА МЕСТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

E. A. AHTOHOB

Введение

Местные электрические сети составляют одно из наиболее важных звеньев в системе энергоснабжения горо́дов и промышленных районов. Режим сетей и их экономические показатели определяются компановкой и совершенством расчета. В настоящее время работы советских ученых [1; 2; 3] по теории расчета сложных цепей показали, что удобнее всего электрическую сеть заменять комбинациями соединений многополюсников, а параметры и электрические величины связывать с помощью матричной алгебры. В этом случае удается в процессе расчета, на любой его стадии, легко устанавливать взаимосвязь между величинами и получать уравнения большой общности.

Из известной нам литературы по вопросу расчета сложных электрических цепей наиболее общие положения заложены в методике расчета составных электрических цепей, разработанной в ряде работ Г. Е. Пуховым. Преимущества этого метода, очевидные даже при расчете симметричных режимов незамкнутых сетей, особенно выявляются в сетях сложной конфигурации.

В практике расчета симметричных сетей в достаточной мере разработан и используется метод активного трехполюсника [3; 4; 5]. Однако этот метод нельзя применять во всех случаях, например, при наличии сложных участков и непроходных цепей.

В связи с этим нами поставлена задача на конкретном примере расчета диспетчерского пункта показать возможность и целесообразность применения более общего метода расчета составных электрических цепей, основанного на базе активного непроходного многополюсника.

В решении поставленной задачи ограничиваемся рассмотрением местных сетей, что однако не накладывает ограничений в применении метода к расчету сетей электрических систем.

Основные положения метода

Схема замещения электрической сети делится на отдельные подсхемы, представляющие в общем случае активные многополюсники с неодинаковым числом зажимов. Физическое состояние каждой подсхемы описывается при этом системой линейных уравнений, которая далее выражается одним обобщенным уравнением в матричной форме.

Для всех практически важных случаев подсхем заранее составлены сводные таблицы матриц. После уравнивания числа зажимов, исходная цепь по соответствующим формулам соединения заменяется одним расчетным многополюсником.

7*. Изв. ТПИ, т. 73

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.



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}_8 .

Схема замещения участка сети (фиг. 1а) представлена в виде четырехполюсника (фиг. 2), где Z₁, Z₂ и Z₄-полные сопротивления линии.





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

(1)



где U_{κ} – номинальное напряжение;

98

 U_1 , U_2 н U_4 — напряжения между зажимами 1, 2, 4 и нулевым, умножен-

ные на
$$\sqrt{3}; \quad \frac{\dot{W}_1}{U_{\mu}}, \quad -\frac{\dot{W}_2}{U_{\mu}}, \quad \frac{\dot{W}_4}{U_{\mu}}$$
 – 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)



(2)

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

	1	$-(Z_2+Z_1)$	$-Z_1$	
[b'] =	1	$-Z_1$	$-(Z_1+Z_4)$, (3)
	0	1	1	

где Z₁, Z₂ и Z₄ 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 активното четырехполюсника (фиг. 3).

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

\dot{U}_2	$1, -(Z_2+Z_1), -Z_1$		$\frac{\dot{W}_{\scriptscriptstyle H}}{\dot{U}_{\scriptscriptstyle H}} Z_1$
$\dot{U}_4 =$	$ 1, -Z_1, -Z_1 - (Z_1 + Z_4)$	$\left \begin{array}{c} rac{\dot{W}_2}{\hat{U}_{H}} \end{array} ight +$	$-\frac{\dot{W}_{\mu}}{\hat{U}_{\mu}}Z_{1} . (4)$
$\frac{\dot{W}_1}{\dot{U}_{\scriptscriptstyle H}}$	0, 1, 1	$\frac{\dot{W}_{i}}{\hat{U}_{\kappa}}$	

Уравнение (4) отличается от уравнения (2) дополнительным членомвекторным 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).



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



(5)≱

где Z_3' и Z_4' — полные сопротивления трансформаторов, \dot{K}_2 и \dot{K}_4 — комплексные коэффициенты трансформации.





Для получения матрицы *b* схемы замещения всей системы передачи электрической энергии (фиг. 1в) необходимо соединить четырехполюсник (фиг. 3) с пятиполюсником (фиг. 4). Уравнивая число зажимов многополюсников (фиг. 3—4) до 5, получаем схему соединения (фиг. 5).

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

Зажим "4" эквивалентного пятиполюсника не соединяется с внешней сепью, следовательно, ток 1₄ равен 0.



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

$$\zeta = \left| \begin{array}{c|c} \zeta'_{11} \zeta''_{11} & \zeta'_{12} + \zeta'_{11} \zeta''_{12} \\ \hline \zeta'_{21} \zeta''_{11} + \zeta''_{21} & \zeta'_{22} + \zeta''_{22} + \zeta'_{21} \zeta''_{12} \\ \hline \hline \zeta_{0} = \left| \begin{array}{c} \zeta'_{10} + \zeta'_{11} \zeta''_{10} \\ \hline \end{array} \right|_{\zeta_{0}} \right|_{\zeta_{0}}$$
(6)

 $\zeta'_{20} + \zeta''_{20} + \zeta'_{21}\zeta'_{10}$ «Тде $\zeta'_{11}, \zeta'_{12}, \zeta'_{21}, \zeta'_{22}$ составляющие матричного параметра первой подсхемы, $\zeta'_{11}, \zeta''_{12}, \zeta''_{21}, \zeta''_{22}$ " " второй " ζ'_{10}, ζ'_{20} векторные параметры первой подсхемы $\zeta'_{20} + \zeta'_{21}\zeta'_{10}$ " " второй "

 $\frac{\dot{w}_{20}}{10}, \frac{\dot{w}_{20}}{20}, \frac{\dot{w}_{2}}{2}, \frac{\dot{w}_{$



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

Ток I_4 , как указано выше, равен нулю, следовательно, нет необходимости в вычислении элементов третьей строки матрицы и векторного параметра.

\dot{U}_1		$\frac{Z_1+Z_4}{Z_4}\cdot\dot{K_2}$	$\frac{Z_1+Z_4}{Z_4}Z'_2+\frac{Z_1Z_2+Z_1Z_4+Z_2Z_4}{Z_4K_2}$	$\left -\frac{Z_1}{Z_1} \right $	0	
$\frac{W_1}{\hat{U}_{\scriptscriptstyle H}}$	=	$-\frac{\dot{K}_2}{Z_4}$	$\frac{Z'_{2}}{Z_{4}K_{2}} + \frac{Z_{4} + Z_{2}}{Z_{4}K_{2}}$	$-\frac{1}{Z_4}$	0	\times
0		b ₃₁	b_{32}	<i>b</i> ₃₃	<i>b</i> ₃₁	
$\frac{\dot{W}_4}{\dot{U}_H}$		0	0.	$\begin{bmatrix} \hat{K}_4 \\ -Z'_4 \end{bmatrix}$	$-\frac{\dot{K}_{4}\ddot{K}_{4}}{Z'}$	-



(7)>

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

<i>Ù</i> ′ ₂		$\frac{Z_4}{(Z_1+Z_1)\dot{K}_2}$	$-\frac{1}{\overset{\wedge}{K_{2}K_{2}}}\left(Z'_{2}+\frac{Z_{1}Z_{2}+Z_{2}Z_{4}+Z_{2}Z_{4}}{Z_{1}+Z_{4}}\right)$	$\frac{Z_1}{(Z_1+Z_1)\dot{K}_2}$	0	
$\frac{W_1}{U_{H}}$	_	$\frac{1}{Z_1 + Z_4}$	$\frac{Z_4}{(Z_1+Z_4)\tilde{K}_2}$	$\frac{1}{Z_1+Z_1}$	0	×
0		<i>b</i> ′ ₃₁	b ₃₂	b ₃₃	<i>b</i> ₃₄	
<i>Ú</i> ′4		0	0	$\frac{1}{\dot{K_1}}$	$\frac{Z_{4}^{1}}{\dot{K}_{4}K_{11}}$	

102



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 иятиполюсник будет четырехполюсником.

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





(9)

(8)

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

103

Постоянные линий



Постоянные трансформаторов

 $T_1:5600 \ \kappa Ba, \ K_2 = 5,45, \ Z'_2 = 16,5 \ | \ 82^{\circ}18' \ om.$ $T_1:7500 \ \kappa \ a, \ K_4 = 5,45, \ Z'_4 = 12,3 \ | \ 82^{\circ}24' \ om.$

Нагрузки

$$\dot{I}_2 = 469 | \underline{31^\circ 50'} a,$$

 $\dot{I}_4 = 545 | \underline{29^\circ 30'} a,$
 $\dot{I}_n = 40 | \underline{31^\circ 50'} a.$

Матрично-векторные параметры схемы (1б) равны:



$$[b_{0}] = \frac{-(2,72 + j4,25) \frac{W_{R}}{\hat{U}_{R}}}{-(2,72 - j4,25) \frac{W_{R}}{\hat{U}_{R}}}.$$
(1)

В результате вычислений имеем:

$$U_2 = 36,7$$
 кв.
 $U_4 = 35,3$ кв.

Матрично-векторные параметры схемы (1в) равны:

	0,183	-(0,245+j0,785)	-(0,092+j0,143)	
[b] =	0,183	- (0,092+ <i>j</i> 0,143)	- (C,303 + <i>j</i> 0,725)	,,
	<i>b</i> ₃₁	<i>b</i> ₃₂	b_;3	

$$[b_{0}] = \frac{-(0,504 + j0,780) \frac{\dot{W}_{H}}{\dot{U}_{H}}}{-(0,504 + j0,780) - \frac{\dot{W}_{H}}{U_{H}}}$$

$$b_{30}$$

Элементы третьей строки можно не вычислять, так как ток *I* нами не определяется.

В результате вычисления имеем:

$$U_2 = 6,5$$
 KB.
 $U_4 = 6,5$ KB.

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.

1).

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 эксплоатационных расчетах, широкому кругу лиц без специальной подготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. В оронов Р. А. Общая теория четырехполюсников и многополюсников. Госэнергоиздат, 1951.

2. ПуховГ. Е. Теория метода подсхем. Электричество, № 8, 1952.

3. Зелях Э. В. Основы общей теории линейных электрических схем. Изд. АН СССР, 1951. 4. Мельников Н. А. Расчеты режимов работы сетей электрических систем.

4. Мельников Н. А. Расчеты режимов работы сетей электрических систем. Госэнергоиздат 1950.

5. Мельников Н. А., Князевский Б. А. Аналогия в преобразованиях электрических систем с э.д.с. и с трансформациями. ВЗЗИ, Сборник трудов, 1951.