

ЭНЕРГЕТИКА

В. С. ХАЧАТРЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ Z ОБОБЩЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ
 ЭНЕРГОСИСТЕМ

Предполагается, что рассматриваемую электрическую схему можно представить в виде линейного графа с $M+1$ вершинами. После выбора базисного узла и приписания ему нулевого индекса, заданный граф будет состоять из M независимых ветвей. Процесс определения обобщенных параметров полученного графа можно представить с помощью следующих матричных соотношений [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} Z &= Z_{k-1} + Z_k^d, \\ Z_{k-1} &= Z_{k-2} + Z_{k-1}^d, \\ &\dots \\ Z_2 &= Z_1 + Z_2^d, \\ Z_1 &= Z_0 + Z_1^d. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

По выражению (1) процесс построения искомой матрицы обобщенных параметров начинается из построения матрицы Z_0 , поскольку элементы матрицы Z_1^d являются функциями от элементов Z_0 , т. е. $Z_1^d = Z_1^d(Z_0)$.

Исходя из этого, было бы удобнее представить матричное соотношение (1) в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} Z &= Z_{k-1} + Z_k^d(Z_{k-1}), \\ Z_{k-1} &= Z_{k-2} + Z_{k-1}^d(Z_{k-2}), \\ &\dots \\ Z_2 &= Z_1 + Z_2^d(Z_1), \\ Z_1 &= Z_0 + Z_1^d(Z_0). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь:

$Z = Z_k$ — искомая матрица обобщенных параметров графа;

Z_0 — матрица обобщенных параметров дерева;

$Z_1^d, Z_2^d, \dots, Z_k^d$ — дополнительные матрицы, учитывающие подключение удаленных главных ветвей, с целью построения исходного графа.

Исходным при определении Z параметров является построение матрицы Z_0 дерева непосредственно из заданной матрицы узловых проводимостей графа. Для построения матрицы Z_0 ставится вопрос об определенной нумерации узлов графа.

Исследование показало, что при этом возможны четыре типа нумерации узлов [3]. Наиболее общим случаем является IV случай, поскольку

ку другие являются частными случаями последнего. Для ясности проиллюстрируем последний случай на конкретном примере. Рассмотрим граф, состоящий из 10 узлов (вершин). После выбора базисного узла введем нумерации соответствующих узлов. Основная суть нумерации узлов раскрыта в работе [3]. Поэтому в настоящей статье, без дополнительных пояснений, на рис. 1 показывается одна из возможных нумераций узлов. Для рассматриваемого графа матрица узловых проводимостей принимает следующий вид:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|}
 \hline
 1 & Y_{11} & -Y_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 2 & Y_{22} & -Y_{23} & -Y_{24} & 0 & 0 & -Y_{27} & 0 & -Y_{29} \\
 \hline
 3 & Y_{33} & -Y_{34} & 0 & -Y_{36} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 4 & Y_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 5 & Y_{55} & -Y_{56} & 0 & -Y_{58} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 6 & Y_{66} & -Y_{67} & -Y_{68} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 7 & Y_{77} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 8 & Y_{88} & -Y_{89} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 9 & Y_{99} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array} \quad (3)$$

В матрице узловых проводимостей (3) вместо диагональных элементов напишем сумму соответствующих строк:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|}
 \hline
 1 & Y_{01} & -Y_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 2 & 0 & -Y_{23} & -Y_{24} & 0 & 0 & -Y_{27} & 0 & -Y_{29} \\
 \hline
 3 & 0 & -Y_{34} & 0 & -Y_{36} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 5 & Y_{05} & -Y_{56} & 0 & -Y_{58} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 6 & 0 & -Y_{67} & -Y_{68} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 8 & 0 & 0 & -Y_{89} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array} \quad (4)$$

Теперь необходимо проиллюстрировать логику построения матрицы узловых сопротивлений дерева непосредственно из матрицы узловых

проводимостей графа. Следует отметить, что на основании этой же логики составлена программа на АЦВМ. Процесс построения искомой матрицы начинается с элемента Y_{01} . Z_{11}^0 непосредственно определяется путем нахождения Y_{01}^{-1} , т. е. $Z_{11}^0 = Y_{01}^{-1}$. Затем проверяется второй диагональный элемент. Если этот элемент равняется нулю, то обращается элемент Y_{12} , находящийся над ним, и суммируется с Y_{01}^{-1} , в результате получается $Z_{22}^0 = Z_{11}^0 + Y_{12}^{-1}$. Аналогичным образом определяются:

$$\begin{aligned} Z_{22}^0 &= Z_{22}^0 + Y_{23}^{-1} \\ Z_{33}^0 &= Z_{33}^0 + Y_{34}^{-1} \end{aligned}$$

Если при проверке диагональный элемент оказывается не нулем, то обращая его, непосредственно определяется соответствующее узловое сопротивление $Z_{11}^0 = Y_{01}^{-1}$, затем $Z_{22}^0 = Z_{11}^0 + Y_{12}^{-1}$; $Z_{33}^0 = Z_{22}^0 + Y_{23}^{-1}$. Если чередуются друг за другом несколько диагональных элементов, то их непосредственно необходимо обращать и установить соответствующие значения узловых сопротивлений. Когда после диагонального элемента снова чередуется нуль, то процесс выбора элементов производится вышеотмеченным принципом.

Как нетрудно заметить из рис. 1, при данной нумерации узлов не было возможности по порядку охватить все узлы (8, 9), как это получается в предыдущих трех случаях [3]. Поэтому вышеприведенная логика выбора элементов полностью не определяет построение дерева. Для этого необходимо учитывать и те элементы, которые не были охвачены последовательностью нумерации. При этом необходимо ориентироваться элементами тех столбцов, номера которых соответствуют вышеотмеченным узлам. В данном случае этими столбцами являются 8 и 9. В столбце 8 имеются два элемента Y_{58} , Y_{68} , которые показывают их связанность с узлами 5 и 6. Достаточно учесть один из них, например, Y_{68} , т. е. учитывать связь элемента Y_{68} с узлом 6. При этом узловое сопротивление Z_{88}^0 определяется как

$$Z_{88}^0 = Z_{66}^0 + Y_{68}^{-1}$$

Поскольку узел 8 связан с узлом 6, то появляются общие сопротивления между узлом 8 и только теми узлами, которые пронумерованы по второму направлению: 0—5—6—7. Общие сопротивления между узлом 8 и остальными по порядку пронумерованными узлами, включая узел примыкания элемента Y_{68} (т. е. узел 6), являются теми же входными узловыми сопротивлениями соответствующих узлов, как, например, $Z_{22}^0 = Z_{22}^0$, $Z_{33}^0 = Z_{33}^0$. Общие сопротивления тех узлов, которые пронумерованы после узла примыкания, являются входным сопротивлением этого же узла примыкания, т. е. $Z_{88}^0 = Z_{66}^0$. После подключения ветви Y_{68} с узлом 6 переходим к столбцу 9. В столбце 9 также имеются два элемента Y_{89} и Y_{29} , которые показывают их связанность с узлами 8 и 2. В данном случае учитывается элемент Y_{89} , при котором входное сопротивление узла 9 определяется как $Z_{99}^0 = Z_{88}^0 + Y_{89}^{-1}$. Аналогично,

матрицу узловых сопротивлений полученного дерева (сплошные линии на рис. 1) можно представить в следующем виде:

1	Z_{11}^0	Z_{11}^1	Z_{11}^2	Z_{11}^3	0	0	0	0	0
2		Z_{22}^0	Z_{22}^1	Z_{22}^2	0	0	0	0	0
		3	Z_{33}^0	Z_{33}^1	0	0	0	0	0
			4	Z_{44}^0	0	0	0	0	0
				5	Z_{55}^0	Z_{55}^1	Z_{55}^2	Z_{55}^3	Z_{55}^4
					6	Z_{66}^0	Z_{66}^1	Z_{66}^2	Z_{66}^3
						7	Z_{77}^0	Z_{77}^1	Z_{77}^2
							8	Z_{88}^0	Z_{88}^1
								9	Z_{99}^0

Нетрудно заметить, что можно было подключить элемент J_{20} в узле 2, тогда рассуждение остается тем же. Поскольку при этом узлы 8 и 9 не находятся в одном и том же направлении, то общие сопротивления между ними приравниваются нулю. На основании вышесказанного алгоритма составлена программа на АЦВМ «УРАЛ-14Д», которая позволяет определить Z_0 -матрицу и подключить удаленные ветви и в результате построить Z -матрицу для заданного графа (сети). Блок-схема составленной программы показана на рис. 2. Программа составлена без учета нулевых элементов, что обеспечивает резкое снижение числа вычислительных операций. При этом вместо матрицы узловых проводимостей достаточно задавать элементы двух диагоналей (главная и рядом находящаяся):

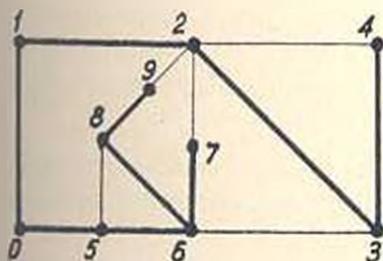


Рис. 1.

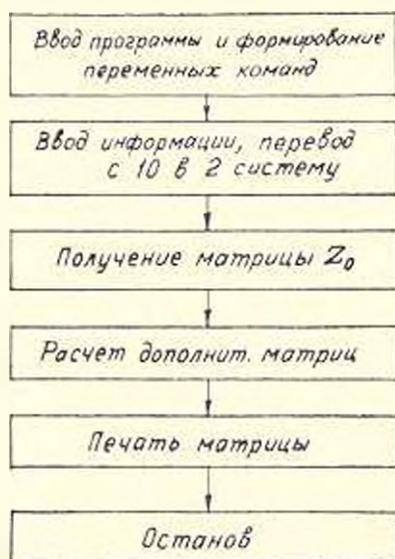


Рис. 2.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Re}(Y_{11}, Y_{22}, \dots, Y_{m,m}; Y_{12}, Y_{23}, \dots, Y_{m-1,m}) \\ \text{Im}(Y_{11}, Y_{22}, \dots, Y_{m,m}; Y_{12}, Y_{23}, \dots, Y_{m-1,m}) \end{array} \right\} \quad (6)$$

и таблицу остальных ненулевых элементов с соответствующими индексами:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Re}(Y_{11}, Y_{11}, \dots, Y_{m-1,m}) \\ \text{Im}(Y_{11}, Y_{11}, \dots, Y_{m-1,m}) \end{array} \right\} \quad (7)$$

Таким образом, задавая матрицу узловых проводимостей графа в виде (6) и (7), остальные операции производятся согласно вышеизложенному. При построении искомой Z -матрицы одновременно можно подключить две главные ветви или два элемента.

На основании составленной программы, пользуясь только оперативной памятью, можно построить Z -матрицу обобщенных параметров для схем, состоящих из 200 независимых узлов. Исследование показало, что, пользуясь полной возможностью данной АЦВМ, можно построить Z -матрицы для схем, состоящих свыше 1000 узлов. С помощью составленной программы были построены Z -матрицы для схем различных сложностей.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета на АЦВМ «УРАЛ-14Д»

Сложность	Число независимых узлов	Число ветвей	Время построения Z_0 матрицы в сек	Время построения Z матрицы в мин
1	25	31	3	5
2	45	55	4	17
3	65	87	24	70
4	90	118	26	130
5	100	134	30	160

Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что предложенный метод построения Z_0 -матрицы узловых сопротивлений дерева непосредственно из Y -матрицы узловых проводимостей графа, действительно, обеспечивает резкое снижение машинного времени.

Основное время при построении Z -матрицы расходуется на подключение удаленных главных ветвей.

Вышеприведенные результаты также показывают, что при построении Z -матрицы более высокого порядка резко возрастает требуемое машинное время. Поэтому при построении Z -матрицы для схем замещения больших порядков необходимо пользоваться новыми идеями диакоптики, предлагаемыми в работе [3].

Вывод. При построении Z -матрицы современных больших энергосистем необходимо пользоваться идеями диакоптики с применением быстродействующих АЦВМ.

Վ. Ս. ԿԱՉԱՏՅԱՆ

ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄԻ Շ ԸՆԳՀԱՆՐԱՅՎԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ
ՈՐՈՇԵՄԱՆ ՇՈՒՐՋԸ

Ս. մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում առաջադրված խնդիրը լուծվում է երկու էտապով: Առաջին էտապում առաջարկվում է մի մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս գրաֆի հաղորդականությունների մատրիցայից անմիջապես կառուցել ծառի հանգույցային դիմադրությունների մատրիցան: Երկրորդ էտապում առաջարկված մեթոդը հնարավորություն է տալիս միացնել ծառից հետացված հիմնական յուղերը և վերականգնել տրված գրաֆը: Այդ երկու էտապների իրականացման հետևանքով կառուցվում է արված գրաֆի որոնելի հանգույցային (կամ հիմնական) դիմադրությունների (կամ պարամետրի) մատրիցան: Կազմված է ծրագիր «Ուրալ—14» հաշվիչ մեքենայի վրա, որը հնարավորություն է տալիս ստանալու նշված մատրիցան մինչև 200-րդ կարգի:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хачатрян В. С. Метод расчета узловых сопротивлений сложных схем «Электричество», 1968, № 7.
2. Хачатрян В. С. Об одном методе обращения матрицы, встречающихся в электротехнике. «Известия АН СССР, Энергетика и транспорт», 1969, № 5.
3. Хачатрян В. С. Динамика и проблема расчета режимов больших энергосистем. Научно-техническая конференция «Основные направления и технические решения по созданию АСУ энергетикой и применение вычислительной техники», Киев, 1972.