

ЭНЕРГЕТИКА

Ե. Ե. ԱԾՈՆԸ, Բ. Ա. ԱՄԻՐԻԿՅԱՆ

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАПИСИ УРАВНЕНИЙ
УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Задаче автоматизации записи матриц уравнений контурных токов и узловых напряжений посвящен ряд советских и зарубежных работ. В частности, в статье авторов [1] была рассмотрена задача автоматизации записи с помощью ЦВМ уравнений контурных токов сложных электрических систем. В данной статье предлагается методика автоматической записи узловых напряжений электрических систем любой сложности по заданной таблице перечня: генераторов, трансформаторов, линий электропередач, нагрузок и остальных элементов исследуемой системы с указанием соответствующих их параметров. Для этой цели не требуется ни схема замещения, ни граф этой системы. Сущность предлагаемого метода автоматизации записи уравнений узловых напряжений иллюстрируется на примере системы, рассмотренной в [1].

1. Таблицы исходных информации. Для автоматизации записи матриц Y и J уравнений узловых напряжений предлагается вводить в машину исходные данные в виде таблиц, которые содержат в себе сведения как о параметрах элементов исследуемой системы, так и о способах их соединений между собой. Предлагаемые таблицы 1 и 2 исходных информации как по форме, так и по назначению, отличаются от табл. 1, приведенной в [1].

В данном случае эти таблицы приспособлены к тому, чтобы ЦВМ сама учитывала конфигурацию и электрические соединения элементов системы и сама производила их кодирование, тогда как в [1] предполагалось, что эта работа должна выполняться от руки. Это достигается благодаря тому, что схема системы заменяется таблицей, в соответствующих клетках которой записывается условно принятая цифра (например, 77), которая больше, чем наибольший ожидаемый номер узлов рассматриваемой системы. Например, табл. 1 составлена для системы, схема которой показана на рис. 1.

Указанная таблица позволяет автоматизировать как процесс кодирования элементов, так и процесс выбора информации о кодах и параметрах отдельных элементов системы, которые необходимы для автоматической записи соответствующих матриц инцидентий, с

Таблица 1

№	Элементы системы	к	Объекты	1	2	3	7	8	9	10	11	22	23	26	35	36
				0	6	10	10	330	35	110	0 _T	110	330	Л _{2ср}	Г ₉	Г ₁₀
1	Нагрузки H_k	1	1	77	77											
2		2	1	77	77			77								
3		3	2	77	77	77										
7	Линии с поперечной $C \cdot L_k$	1	3-5	77	77											
8		2	3-4	77	77			77				77		77		
9	Трансформаторы многообмоточн. T_k	1	1	77	77				77	77	77					
10		2	1	77	77				77	77						
14	Трансформаторы двухобмоточные T_k	6	1	77	77					77						
15		7	1	77	77					77						
16		8	2	77	77											
17		9	2	77	77							77				
25	Линии без поперечной $C \cdot L_k$	6	1-2							77		77				
29	Генераторы G_k	1	1	77	77											
30		2	1	77	77											
31		3	2	77	77											
32		4	2	77	77											
33		5	2	77	77											
37		9	1	77	77			77								77
38		10	4	77	77			77								77

последующим расчетом и записью как матриц Z и U , так и матриц Y и J уравнений контурных токов и узловых напряжений. Кроме того, предлагаемые формы таблиц удобно воспроизводятся на перфокартах, что дает возможность учитывать изменения в схемах исследуемой системы, путем замены одних перфокарт другими, изъятием отдельных перфокарт из общей колоды или добавлением новых перфокарт.

Табл. 1, воспроизводящая схему соединений элементов системы, составляется следующим образом. Сначала заполняется столбец "элементы системы". Каждой строке таблицы соответствует один элемент системы (генератор, трансформатор, электропередача, нагрузка и т. п.). Первая группа строк относится нагрузкам. Затем следуют линии, для которых учитывается поперечная емкость, далее многообмоточные трансформаторы, двухобмоточные трансформаторы, линии без учета поперечной емкости, нагрузки, учитываемые как эквивалентные генераторы, и в конце таблицы — генераторы и синхронные компенсаторы. В столбец "Объекты" записываются наименования объектов (станции, подстанции, переключательные пункты и т. п. или условные их

Таблица 2

№ эл. пп	1	2
	сопротивление элементов Z (в ом.кв)	Токи источников I (в ка)
1	430 / 900	0
2	400 / 820	0
3	470 / 1000	0
7	$-j1900$ (0,4+ $j2,4$) 0,1 / 2,1	0
8	$-j180$ 0,36 / 2,7) 0,36 / 2,7	0
9	$j2,6$ / 61,2 / 105	0
10	$j2,6$ / 61,2 / 105	0
14	$j100$	0
15	$j100$	0
16	$j40,8$	0
17	$j40,8$	0
25	2,0 / 5,0	0
29	$j120$	1,43 $\angle -66$
30	$j96,2$	1,87 $\angle -66$
31	$j168$	1,02 $\angle -66$
32	$j168$	1,02 $\angle -66$
33	$j168$	1,02 $\angle -66$
37	$j192,4$	0,70 $\angle -64$
38	1,4 / 10,5	12,7 $\angle -43,4$

номера), которым принадлежит данный элемент. В случае электросетей записываются номера объектов, к которым они примыкают. В рассматриваемом примере, как это видно из табл. 1 и из представленной схемы сети, к первому объекту относятся нагрузки H_1 и H_2 , трансформаторы T_1, T_2, T_3 и T_4 , генераторы G_1 и G_2 . Линия L_1 соединяет 1-й объект со 2-м.

Таким образом, число строк таблицы равно числу элементов системы. Число же столбцов таблицы выясняется по мере ее составления. Если строки таблицы представляют отдельные элементы системы, то столбцы представляют узлы этих элементов и обозначаются соответствующими индексами.

Например, столбцы (в рассматриваемом примере 11 и др.), представляющие общие точки многолучевой схемы трансформаторов, обозначаются индексом O_{1i} , где i — номер трансформатора. Столбцы (в рассматриваемом примере — 25—26), представляющие средние точки T -образной схемы размещения линий, обозначаются индексом L_{1i} , где i — номер данной линии.

Остальные столбцы (в рассматриваемом примере 1, 2, 3 и др.), представляющие начало и конец отдельных элементов системы (генераторов, трансформаторов, линий, нагрузок и т. д.), обозначаются уровнем напряжения представляемых узлов. Например, столбец 2, представляющий шины 6 кв генераторов G_1 и G_2 , трансформаторов T_1, T_2, T_3, T_4 и нагрузки H_1 , имеет индекс — 6. Или же столбец 1,

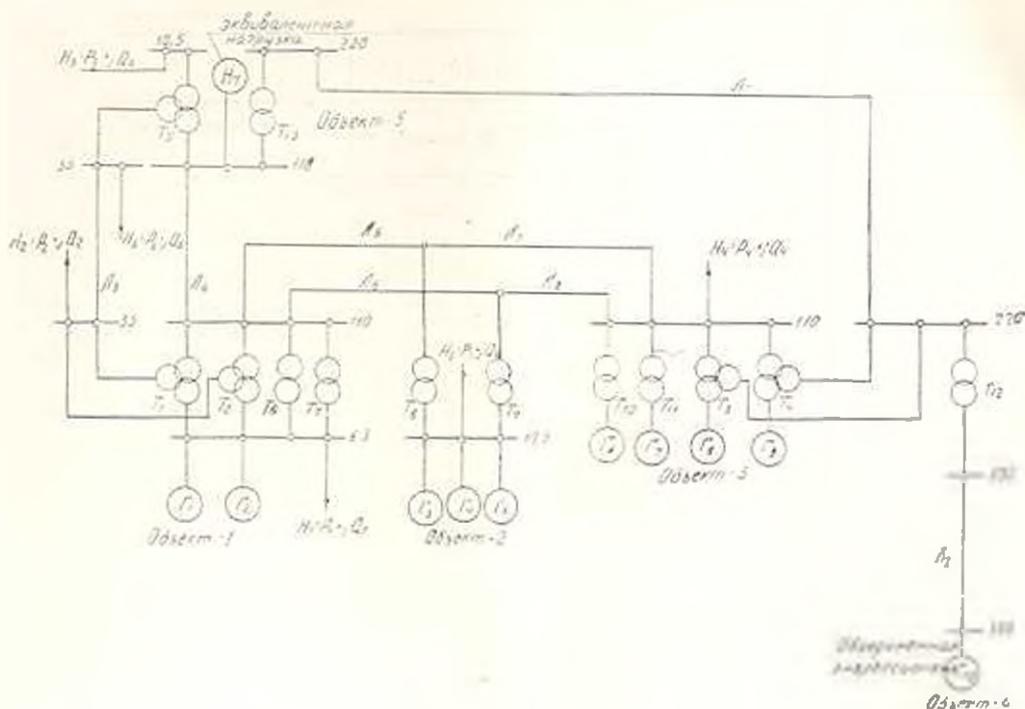


Рис. 1. Схема сети.

представляющий общий узел заземления генераторов, нагрузок, линий с учетом поперечной емкости и т. п., имеет индекс — 0. Кроме того, для генераторных элементов предусматриваются дополнительные столбцы с индексами соответствующих генераторов. В силу этого таблица становится пригодной также для решения задачи автоматизации записи уравнений узловых напряжений в форме, удобной для получения уравнений эквивалентного многополюсника [2]. Для рассматриваемого примера такими столбцами служат 27—36 под индексами $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_{10}$, что означает возможность преобразования получаемых уравнений узловых напряжений системы в уравнения формы Y эквивалентного многополюсника с подключенными к нему источниками токов генераторов $\Gamma_1 - \Gamma_{10}$.

Заполнение столбцов таблицы начинается с группы строк, выделенных для генераторов. Первый столбец с индексом 0, как уже было отмечено, представляет узлы заземления схемы замещения генераторов. Эти узлы можно рассматривать как общие для всех генераторов и потому в пересечениях строк, соответствующих генераторам, с 1-ым столбцом записывается условно принятая цифра 77. Второй столбец идет под индексом, соответствующим напряжению 1-го генератора, и в пересечении этого столбца со строкой 1-го генератора записывается 77. Если следующий генератор работает параллельно с предыдущим, то 77 записывается в пересечении того же столбца и соответствующей строки. Если же они работают раздельно, то пре-

дусматривается новый столбец и 77 записывается в его пересечении соответствующей строкой. Таким образом, каждый столбец, обусловленный генераторами, представляет или шины параллельно работающих генераторов или зажимы раздельно работающего генератора. Так, в приведенном примере, параллельной работе генераторов G_1 и G_2 первого объекта, соответствует образование только 2-го столбца. Аналогично для параллельно работающих генераторов G_3 , G_4 и G_5 образуется третий столбец. Все остальные генераторы рассматриваемой схемы ($G_6 - G_{10}$) работают раздельно и, следовательно, в табл. 1 для них выделяются отдельные столбцы (4—8) с индексами, соответственно 10 и 330. (В рассматриваемой схеме генератор G_{10} — эквивалент системы). Далее рассматриваются по порядку строки, соответствующие трансформаторам. Узлы присоединения трансформаторов к зажимам или шинам генераторов, которые в табл. 1 представлены соответствующими столбцами, фиксируются индексом 77 в месте пересечения этих столбцов со строками, представляющими соответствующие трансформаторы.

Высокая и средняя стороны группы параллельно работающих трансформаторов или одного отдельно работающего трансформатора представляются новыми столбцами, идущими под индексом соответствующего напряжения. То есть, как и в случае с генераторами, столбцами представляются или шины группы параллельно работающих трансформаторов или зажимы раздельно работающего трансформатора. Многообмоточные (трех и более) трансформаторы, как уже было отмечено, представляются также столбцами под индексом O_T , в которых фиксируется точка многолучевой схемы трансформаторов. Например, трехобмоточные трансформаторы T_1 и T_2 первого объекта работают параллельно, что отмечено индексом 77 в столбцах 2, 9 и 10 соответствующих строк 9 и 10. Кроме того, каждый из указанных трансформаторов представляется соответственно столбцами 11 и 12 с индексами O_T и O_T . В пересечениях соответствующих строк 9 и 10 и столбцов 11 и 12, в табл. 1 зафиксированы цифровые индексы 77.

Двухобмоточные трансформаторы T_3 и T_4 со стороны низкого напряжения работают на общие шины с генераторами G_3 , G_4 и G_5 , что отмечено цифрами 77 в соответствующих строках столбца 3. Высокие стороны этих трансформаторов представляются соответственно столбцами 21 и 22.

Далее рассматриваются линии с учетом поперечной емкости. Эти линии могут быть представлены Π или T -образной схемой. Если линия представляется Π -образной схемой, то при составлении табл. 1 затруднения не встречаются, так как не появляются дополнительные узлы, поскольку поперечные элементы подключаются к узлам, представляющим начало и конец данной линии. Если же линия представляется T -образной схемой, то возникает дополнительный узел, в котором соединяются продольные и поперечный элементы. В этом случае табл. 1 заполняется следующим образом. В пересечении строки,

представляющей линию с учетом поперечной емкости, со столбцом 1, представляющим узел заземления, и со столбцами, представляющими узлы элементов, которые соединяются этими линиями. фиксируется цифра 77. Возникший дополнительный узел T -образной схемы замещения линии, т. е. ее общий узел продольных и поперечного элементов, представляется новым столбцом с индексом $L_{1, \text{ср}}$. Например, линия L_2 соединяет шины 330 кв 3-го и 4-го объектов. Это учитывается записью цифры 77 в пересечении строки 8 со столбцами 8 и 23. Цифра 77 в 1-м столбце отмечает нулевой узел T -образной схемы линии. Общий узел элементов T -образной схемы линии L_2 представлен 26-м столбцом под индексом $L_{2, \text{ср}}$. В его пересечении со строкой 8 также записывается цифра 77.

Для линий без учета поперечной емкости цифровым индексом 77 отмечается пересечение строки, представляющей эту линию с соответствующими столбцами, представляющими узлы элементов, к которым присоединяется данная линия. Например, линия L_3 соединяет шины 110 кв, 1-го и 2-го объектов. Для этого случая цифровые индексы 77 записываются в пересечении строки 25, соответствующей линии L_3 со столбцами 10 и 22, представляющими упомянутые шины.

Для нагрузочных элементов цифровыми индексами 77 отмечаются пересечения строк, представляющих нагрузки, со столбцом 1 и столбцами, представляющими узлы, к которым подключены эти нагрузки. Например, нагрузка H_1 присоединена к шинам 6 кв 1-го объекта. Это учитывается цифровыми индексами 77, записанными в пересечениях столбцов 1 и 2 соответствующей строкой 1. Далее, как было отмечено выше, добавляются дополнительные столбцы 27—36, соответствующие числу генераторных элементов системы, обозначенных индексами G_1, G_2, \dots, G_n . В пересечении этих столбцов (27—36) со строками 29—38, представляющими эти же генераторы, фиксируются цифровые знаки 77. Заметим, что появление таких столбцов связано только с задачей записи матрицы Y , ибо при записи матрицы Z контурных уравнений необходимости в них нет. В результате получается таблица, которая содержит все сведения о взаимных соединениях элементов системы.

Таблицы информации о параметрах элементов системы составляются следующим образом. Номера строк таблицы (ради сокращения текста таблицы не приводятся) соответствуют номерам строк табл. 1 и представляют те же элементы рассматриваемой системы. Столбец 1 выделяется для указания типа оборудования (генераторы, трансформаторы) и марки провода линии. Вторым и четвертым столбцами выделяются для указания полной мощности и $\cos \varphi$ генераторов, трансформаторов и нагрузок. 3-й столбец — для указания номинального напряжения всех элементов, 5-й и 6-й столбцы — для указания схем и группы соединения трансформаторов и величин $e^{\varphi_{\text{н}}}$. Схема и группа соединений показывается графически с указанием выведенной или заземленной нейтрали. Предлагаемые формы таблиц были ис-

пользованы представителями ряда энергосистем и проектных организаций, по заданию которых в АрИИИЭ выполнялись работы, связанные с автоматизацией записей матриц Z и Y и эквивалентированию энергосистем по заданной табличной информации.

По данным этой табл. составляется табл. 2, номера строк которой соответствуют номерам строк табл. 1 и представляют те же элементы. В табл. 2 записываются величины Z -параметров элементов исследуемой системы. Алгоритм и программа предусматривают получение Y -параметров уравнений узловых напряжений системы по заданным Z -параметрам отдельных элементов. Что касается матрицы J системы уравнений узловых напряжений, имеется в виду, что величины элементов этой матрицы или известны или могут быть вычислены по хорошо известным методам. В частности, в рассмотренном примере (табл. 1 и 2) принято, что генераторы (а также нагрузки, учитываемые как эквивалентные генераторы — H) заданы комплексными значениями токов соответствующих источников энергии, а постоянные нагрузки, учитываемые как пассивные элементы — комплексными сопротивлениями. Информация, содержащаяся в табл. 1 и 2, заменяет собой схему рассматриваемой системы и ее параметры. Они достаточны для автоматической записи с помощью ЦВМ матриц Z , J и E уравнений контурных токов (с соответствующей заменой столбца J столбцом E табл. 2) и матриц Y , U и J уравнений узловых напряжений. Предлагаемый алгоритм, обеспечивающий автоматическую запись Y -параметров уравнений узловых напряжений, позволяет ускорить процессы решения с помощью ЦВМ ряда важных задач по расчетам потокораспределений, оптимизации, устойчивости режимов энергосистем, так как имеется в виду, что для решения перечисленных и других аналогичных задач, необходимо иметь в качестве исходных данных матрицы Z -контурных уравнений или матрицы Y -узловых напряжений.

Алгоритм записи матриц Z и Y реализуется при помощи:

а. Подпрограммы (необходимой для записи как Z , так и Y матриц) кодирования элементов системы и составления таблицы кодов элементов с соответствующими параметрами.

б. Подпрограмм *a* и *б*, приведенных в [2], необходимых только для записи матрицы Z .

в. Подпрограммы (необходимой для записи матрицы Y) автоматизации записи матрицы K соединений элементов системы в узлах.

г. Подпрограммы автоматизации записи матриц Z и Y соответственно уравнениям контурных токов и узловых напряжений.

2. Алгоритм подпрограммы кодирования элементов системы и составления таблицы кодов элементов с соответствующими параметрами для записи матрицы Y . Операция кодирования сводится к замене цифровых индексов 77 табл. 1 цифрами, соответствующими номерам столбцов, как это показано в табл. 3. По ходу кодирова-

Таблица 3

№№ строк табл. 1	1	2	3	7	8	9	10	11	22	23	26	35	36
1	1	2											
2	1					9							
3	1		3										
7	1												
8	1				8					23	26		
9		2				9	10	11					
10		2				9	10						
14		2					10						
15		2					10						
16			3										
17			3						22				
25							10		22				
29	1	2											
30	1	2											
31	1		3										
32	1		3										
33	1		3										
37	1				7							35	
38	1					8							36

ния составляется табл. 4, в столбце 1 которой записываются коды элементов, взятые из табл. 3, а в столбце 2 — соответствующие им проводимости, взятые по данным табл. 2. Коды элементов (нагрузок, линий, трансформаторов, генераторов и т. п.) из табл. 3 выписываются в табл. 4 по следующему алгоритму. Для каждой строки табл. 3 последняя цифра считается базисной и все предыдущие цифры в сочетании с этой базисной представляют коды данного элемента системы. Заметим, что из предлагаемого алгоритма следует правило соответствия следования записей в строках табл. 2 порядку следования цифр строк табл. 3. Например, для 8-й строки табл. 3, представляющей линию 2 рассматриваемого примера, за базисный принимается код 26. Информации о кодах этой линии, взятые по данным 8-й строки табл. 4, ищутся в следующем порядке: 1—26, 8—26 и 23—26. Этим кодам соответствуют проводимости: $j26,32 \cdot 10^{-4}$; $(485,2 - j3639,01) \cdot 10^{-1}$ и $(485,2 - j3639,01) \cdot 10^{-1}$, взятые по данным соответствующей 8-й строки табл. 2.

3. Алгоритм подпрограммы автоматической записи матрицы инцидентий K соединений элементов системы в узлах. По табл. 4 определяются следующие данные исследуемой системы: число ветвей, равное числу строк таблицы; число независимых узлов, равное наибольшему номеру кода, уменьшенному на единицу; число независимых контуров, равное разности чисел ветвей и независимых узлов. Для рассматриваемого примера этими величинами являются соответственно: при составлении Z -параметров уравнений контурных токов — 52, 25 и 27; при составлении Y -параметров уравнений узловых напря-

Таблица 4

№ узла	Элементы		№ ветви	Элементы	
	коды	проводимости $\times 10^{-4}$ (в см.)		коды	проводимости $\times 10^{-1}$ (в см.)
1	1-2	4,32 - j 9,05	33	5-13	- j 100
2	1-9	4,81 - j 9,85	34	14-23	- j 3846,15
3	1-3	3,85 - j 8,19	35	19-24	- j 1086,96
4	1-13	14,75 - j 33,91	36	9-18	252,68 - j 323,43
5	1-17	2,06 - j 4,64	37	10-19	462,9 - j 915,31
6	1-18	2,30 - j 5,75	38	10-21	818,64 - j 1574,31
7	1-25	j 5,26	39	10-22	818,64 - j 1574,31
8	14-25	675,68 - j 4054,05	40	13-21	891,53 - j 1708,77
9	24-25	675,68 - j 4054,05	41	13-22	891,53 - j 1708,77
10	1-26	j 26,32	42	1-19	0
11	8-26	485,20 - j 3639,01	43	1-27	0
12	23-26	485,20 - j 3639,01	44	2-27	- j 79,37
13	2-11	- j 3846,15	45	1-28	0
14	9-11	- j 163,4	46	2-28	- j 103,95
15	10-11	- j 95,23	47	1-29	0
16	2-12	- j 3846,15	48	3-29	- j 59,52
17	9-12	- j 163,4	49	1-30	0
18	10-12	- j 95,23	50	3-30	- j 59,52
19	6-15	- j 1562,5	51	1-31	0
20	13-15	- j 1020,41	52	3-31	- j 59,52
21	14-15	- j 602,41	53	1-32	0
22	7-16	- j 1562,5	54	4-32	- j 39,68
23	13-16	- j 1020,41	55	1-33	0
24	14-16	- j 602,41	56	5-33	- j 39,68
25	17-20	- j 163,4	57	1-34	0
26	18-20	- j 3846,15	58	6-34	- j 51,98
27	19-20	- j 95,24	59	1-35	0
28	2-10	- j 100	60	7-35	- j 51,98
29	2-16	- j 100	61	1-36	0
30	3-21	- j 245,1	62	8-36	124,76 - j 935,74
31	3-22	- j 245,1			
32	4-13	- j 100			

жений — 62. 35 и 27. Искомая матрица инциденций K , показывающая соединения элементов системы в узлах, составляется по данным табл. 4.

Для обозначения взаимных связей между элементами рассматриваемой системы, как и в [1], используются числовые индексы 00 (или 01), 01 и 11*. В табл. 5 приведена матрица K рассматриваемого примера сети.

Номера и число строк матрицы соответствуют номерам (в рассматриваемом примере 2—36) и числу (в рассматриваемом примере 35) независимых узлов. Узел 1 принимается за базисный и является зависимым. Поэтому в матрице K отсутствует строка с номером 1. Номера и число столбцов матрицы K соответствуют номерам и числу строк табл. 4, равному числу ветвей исследуемой системы (в рассматриваемом примере 62). Каждая i -я строка матрицы K представляет соответствующий узел рассматриваемой системы. Каждый j -й столбец

* Взамен этих индексов можно пользоваться индексами, соответственно 0,1 и -1, но в таком случае для регистрации в ЦВМ матрицы K потребуется по много раз больше ячеек ее оперативной памяти.

Таблица 5

№№	1	2	3	10	11	12	13	14	15	28	29	30	31	59	60	61	62
2	11						01			01	01						
3			11									01	01				
7															01		
8					01												01
9		11						01									
10									01								
11							11	11	01	11	11						
12																	
13																	
14																	
22													11				
23						01											
24																	
25																	
26				11	11	11											
35														11	11		
36																11	11

этой матрицы представляет соответствующую ветвь (элемент) системы коды и параметры которой записаны в j -й строке табл. 4.

Матрица K составляется по данным о кодах элементов, записанных в столбце 1, табл. 5. В каждой j -й строке этой таблицы записаны коды i_1 и i_2 j -й ветви системы. Коды i_1 и i_2 указывают номера узлов системы, к которым соединяется данная j -я ветвь. Выбирая очередную j -ю ветвь табл. 5 с кодами i_1 и i_2 в строки i_1 и i_2 j -го столбца матрицы K вписываются соответственно цифровые индексы 01 и 11. При этом 01 пишется в строке, соответствующей меньшему номеру кода j -го элемента, а 11 — в строке, соответствующей большему номеру (согласно предлагаемому алгоритму составления табл. 4, всегда i_1 ожидается с меньшим номером кода, а i_2 — с большим).

В остальных строках этого столбца вписываются индексы 00 (ряд сокращения числа записей в табл. 5 индексы 00 опущены). Если i_1 данной ветви является кодом 1, представляющим базисный узел „1“, то ввиду отсутствия в матрице K строки, представляющей этот узел „1“, в столбцах матрицы, обусловленных такими ветвями, индекс 01 не будет регистрирован. Например, в первой строке табл. 4 записаны коды 1 и 2, следовательно цифровой индекс 01 нигде не записывается, а в строке с номером 2 (первая строка) первого столбца матрицы K записывается индекс 11. В остальных 34 строках записываются индексы 00. Или, например, в 11-й строке табл. 4 записаны коды 8 и 26. Согласно алгоритму, в строках с номерами 8 и 26 одиннадцатого столбца матрицы K , записываются соответственно индексы 01 и 11, а в остальных строках — 00. Рассматриваемый способ построения матрицы K оказывается удобным и для решения задачи эквивалентной замены заданной схемы многополюсником, на зажимах кото-

рого действуют выделенные источники тока. Алгоритм такой эквивалентной замены описан в [2]. Для обеспечения реализации такого алгоритма в программе предусматривается операция по записи в первых строках матрицы K данных, соответствующих узлам с источниками тока.

4. Алгоритм программы записи матрицы Y . Этот алгоритм аналогичен алгоритму программы записи матрицы Z , приведенного в [1]. Здесь также взамен обычных методов определения матрицы Y [3-6]

$$Y = K \cdot Y_3 \cdot K_t \quad (1)$$

требующего транспонирования матрицы, где Y_3 — диагональная матрица проводимостей элементов системы, а K_t — транспонированная матрица от K , предлагается следующая формула, аналогичная формуле определения матрицы Z , приведенной в [1]

$$Y_{i,j} = \sum_{\beta=1}^k |(a_{i,\beta} \wedge 10) \vee (a_{j,\beta} \wedge 10)| \oplus (a_{i,\beta} \oplus a_{j,\beta}) | Y_{\beta},$$

$$i, j = 1, 2, \dots, k = 35$$

$$\beta = 1, 2, \dots, n = 62$$

где

k — число независимых узлов, т. е. число строк матрицы K ;

n — число ветвей, т. е. число столбцов матрицы K ;

i, j, β — текущие индексы строк и столбцов матриц Y и K ;

$a_{i,\beta}, a_{j,\beta}$ — элементы матрицы K , соответствующие строкам i и j и столбцу β ;

\wedge — знак логического умножения;

\vee — знак логического сложения;

\oplus — знак логического сложения по модулю два.

Предлагаемая формула (2) требует в 7-8 раз меньшее число вычислительных операций против случая использования для этой же цели распространенной формулы (1). В качестве иллюстрации укажем, что согласно той программе были получены величины: $Y_{1,1} = 124,76 - j 935,74$; $Y_{1,2} = 0$ и т. д.

5. Алгоритм программы записи матрицы J уравнений узловых напряжений. Матрица J (табл. 6) строится по данным таблиц 2 и 4. Порядок записи в табл. 6 значений токов источников энергии соответствует порядку записи величин $Y_{i,j}$ в матричном уравнении: $Y \cdot U = J$. Часть строк этой матрицы имеет нулевое значение токов, так как она соответствует узлам, к которым не подключены источники тока. Остальные строки этой матрицы (для рассматриваемого примера первые 11 строк) соответствуют значениям токов источников энергии и эквивалентных нагрузок, подключенных к соответствующим узлам.

Пример: предлагаемый алгоритм был реализован на примере расчетов, выполненных на ЦВМ "Раздан-2", для случая системы, показанной на рис. 1. Часть полученных с помощью ЦВМ величины $Y_{i,j}$ представлена ниже

Таблица 6

№№ п/п	Токи источников энергии (в ка)	
1	12,70	$\angle -43,4^\circ$
2	0,70	$\angle -64^\circ$
3	0,70	$\angle -64^\circ$
4	0,73	$\angle -61^\circ$
5	0,73	$\angle -61^\circ$
6	1,02	$\angle -66^\circ$
7	1,02	$\angle -66^\circ$
8	1,02	$\angle -66^\circ$
9	1,87	$\angle -66^\circ$
10	1,43	$\angle -66^\circ$
11	-21,20	$\angle -52,6^\circ$
12		0
13
14
35		0

$$\begin{array}{lll}
 Y_{1,1} = 124,76 - j935,74 & Y_{2,2} = -j51,98 & Y_{3,3} = -j51,98 \\
 Y_{1,3} = 0 & Y_{2,3} = 0 & \dots \dots \dots \\
 Y_{1,3} = 0 & \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \\
 \dots \dots \dots & \dots \dots \dots & Y_{17,17} = 254,98 - j4175,33 \\
 \dots \dots \dots & Y_{2,30} = j51,98 & Y_{28,33} = 0 \\
 \dots \dots \dots & \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \\
 Y_{1,35} = 0 & Y_{2,35} = 0 & Y_{35,35} = 4,32 - j8084,67.
 \end{array}$$

Для контроля эта же задача была решена методом, основанным на использовании схемы замещения системы. Результаты совпали.

Заметим, что суммарное время работы „Раздан-2“, затраченное на решение этого примера, оказалось в пределах 2,5 минут, включая ввод программы и информации табл. 1 и 2, а также печатание матрицы Y .

В настоящее время в АрмНИИЭ составлена более усовершенствованная программа для „Урал-3“, учитывающая коэффициенты трансформаций, отличные от единицы, и без составления матрицы K соединения элементов системы в узлах. Отметим, что с помощью этой программы матрица Y для сети с 45 узлами и 83 ветвями была получена за 57 секунд.

Հ. Տ. ԱՌՈՆՑ, Ի. Հ. ԱՄԻՐԿՅԱՆ

ՉԱՆԴՈՒՑԱՅԻՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ

Ու մ փ ս փ ու ռ ի մ

էլեկտրական սխեմաների ուղիներին հաշվման ու հեռագրուման համար անհրաժեշտ է կազմել կոմպուտային հոսանքների կամ հանգուցային լարումների հավասարումները և, մասնավորապես, այդ հավասարումների Z , U , Y և J մատրիցաները: Պարզ էլեկտրական սխեմաների դեպքում այդպիսի հավասարումներ կամ համապատասխան մատրիցաներ հեշտությամբ կարելի է կազմել նախապես կառուցելով սխեմայի փոխարինման սխեման կամ գրաֆը: Բարդ սխեմաների դեպքում առաջ է դալիս նշված հավասարումների մատրիցաների գրանցման ավտոմատացման գործնական անհրաժեշտությունը:

Հոգավմում պիտիվում է բարդ էլեկտրական սխեմաների հանգուցային լարումների հավասարումների գրանցման ավտոմատացման հարցը և առաջարկվում է էլեկտրասխեմայի սխեմայի ու նրա առանձին միացումների (գեներատորների, տրանսֆորմատորների, բեռների, էլեկտրահաղորդման գծերի և այլնի) պարամետրներին վերաբերվող էլակենսային ավյալները թվային հաշվիչ մեքենայի (ՔՀՄ) մեջ մտցնել ալգորիտմների ձևով: Ըստ որում, շիպահանջվում էլեկտրասխեմայի փոխարինման սխեմայի կամ գրաֆի նախնական կառուցում:

Հանգուցային լարումների հավասարումների հաղորդունակությունների (Y) մատրիցայի ավտոմատ գրանցումը ՔՀՄ վրա իրադրվելում է հետևյալ կերպ ենթադրադրերի միջոցով. ա) էլեկտրասխեմայի առանձին էլեմենտների կողմից ստանալի ավտոմատացման ծրագիր, բ) հանգուցներում սխեմայի էլեմենտների միացման մատրիցայի կազմման և գրանցման ավտոմատացման ծրագիրը, գ) հանգուցային լարումների հավասարումների հաղորդունակությունների մատրիցայի ավտոմատ գրանցման ծրագիր:

Ըստ առաջարկվող այդպիսի մեթոդի—3 և «Հրազդան—2» մեքենաների համար կազմված ծրագրերը իրացվել են մի շարք էլեկտրասխեմաների համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоиц Г. Т., Амрикий Р. А. Алгоритм записи уравнений контурных токов сложных электрических систем. Журн. «Электричество», № 12, 1966.
2. Адоиц Г. Т. Расчет параметров многоциклолика эквивалентного схеме сложной структуры. Журн. «Электричество», № 4, 1966.
3. Мельников Н. А. Матричный метод анализа электрических цепей. Изд. «Энергия», 1966.
4. Byerly, Long, King, Logic for applying topological methods to electric networks. AIEE Trans. pt. I (Communication and Electronics), v. 77, Nov., 1958.
5. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике, ГЭИ, 1955.
6. Реди Ф., Сили С. Современный анализ электрических цепей. Изд. «Энергия», 1964.