

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНЦ

ЗАДАЧА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ  
О СХЕМЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В процессе разработки нового метода расчета установившихся режимов сложных электроэнергетических систем, представляемых схемами в нескольких сот узлов, возникла задача преобразования информации по параметрам схемы. Изложению этой задачи посвящается настоящая статья.

Задача эта может быть решена и случае малого числа узлов по схеме замещения самой системы. В случаях большого числа узлов задачу целесообразно решать с помощью ЦВМ, пользуясь при этом теорией графов.

**Постановка задачи.** Задана схема замещения электрической системы, содержащая  $v$  ветвей,  $y$  узлов и  $c$  независимых контуров. Один из числа  $y$  узлов выделяется в качестве узла баланса мощностей системы. Каждая ветвь задается активной  $k_{mk}$  и реактивной  $b_{mk}$  проводимостями, где  $m, k$  — индексы узлов ветви. Существующие способы формирования матрицы проводимостей схемы с помощью ЦВМ позволяют получить таблицы диагональных элементов и элементов верхней треугольной матрицы. В данной постановке задачи в качестве исходной принимается информация об элементах верхней треугольной матрицы. Диагональные элементы матрицы не используются. Треугольная матрица, как правило, содержит одну или несколько строк, в которых только нулевые элементы. Требуется получить новую квадратную матрицу, элементами которой служат только элементы указанной исходной треугольной матрицы, такую, в которой не должно быть ни одного нулевого диагонального элемента. Число строк новой матрицы равно  $y-1$ , т. е. равно числу независимых узлов без угла баланса. Так как новая матрица формируется только из элементов исходной верхней треугольной матрицы, то диагональные ее элементы будут обозначены индексами  $m, k$ , где  $m+k$ ,  $m$  — индекс начального узла ветви,  $k$  — индекс конечного узла ветви.

О числе элементов исходной треугольной матрицы и искомой квадратной матрицы. Прежде, чем перейти к алгоритму решения сформулированной задачи, рассмотрим вопрос о числе элементов исходной матрицы и искомой квадратной матрицы.

Согласно теории электрических цепей между числом ветвей  $v$ ,

числом узлов  $y$  и числом независимых контуров  $c$  существует следующая связь:

$$v = y - 1 + c, \quad (1)$$

где 1 соответствует узлу баланса мощностей.

Исходная треугольная матрица, согласно (1), содержит  $v$  ненулевых элементов. Искомая квадратная матрица должна содержать  $y-1$  диагональных элементов, которые принимаются в качестве независимых ветвей (переменных).

Остальные ветви (числом  $c$ ) исходной треугольной матрицы принимаются в качестве зависимых ветвей. Это означает, что для обеспечения эквивалентности преобразований исходной треугольной матрицы в искомую квадратную необходимо выразить  $c$  зависимых ветвей через  $y-1$  независимых ветви. Этими выражениями будут служить  $c$  уравнения контуров, каждое из которых будет содержать только одну зависимую ветвь.

**Пример,** иллюстрирующий постановку задачи.

*Заданная схема* замещения системы (рис. 1) содержит: ветвей  $v=51$ , узлов  $y=46$  и независимых контуров  $c=6$ . Узел 46 условно прини-

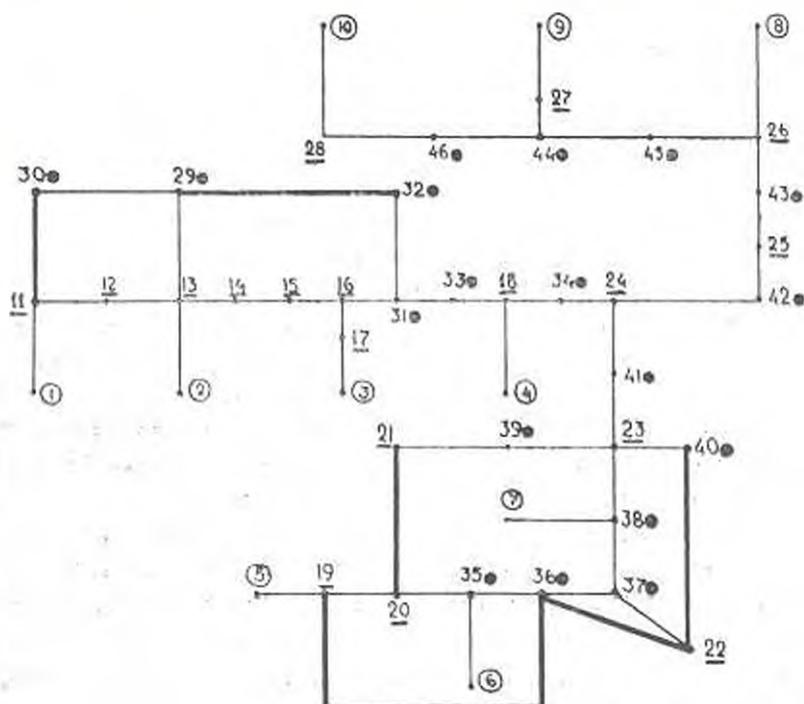


Рис. 1. Схема замещения системы. Обозначения узлов: □ — генераторные; — нагрузка; ● — сетевые. Независимые ветви: 11—30; 29—32; 19—6; 20—21; 22—36; 22—40

мается в качестве балансирующего. Фактически балансирующим служит узел 10. Верхняя треугольная матрица проводимостей этой схемы, составленная согласно методу узловых напряжений, содержит 51 нену-

левых элементов со следующими индексами  $m, k$ :  $m=1$  ( $k=11$ ), 2(13), 3(17), 4(18), 5(19), 6(35), 7(38), 8(26), 9(27), 10(28), 11(12,30), 12(13), 13(14; 29), 14(15), 15(16), 16(17; 31), 18(33; 34), 19(20; 36), 20(21; 35), 21(39), 22(36; 37; 40), 23(38; 39; 40; 41), 24(34; 41; 42), 25(42; 43), 26(43; 45), 27(44), 28(46), 29(30; 32), 31(32; 33), 35(36), 36(37), 37(38), 44(45; 46). Из этих данных видно, что строки 17; 30; 32; 33; 34; 38—43; 45 и 46 не содержат ненулевых элементов.

Требуется получить квадратную матрицу с элементами, взятыми из перечня ветвей исходной схемы, в которой число строк равно 45. Все диагональные элементы этой матрицы должны быть ненулевыми. Аналитическая форма сформулированной задачи представляется так. Из числа 51 ветви должны быть выбраны в качестве независимых 45. Остальные 6 ветвей принимаются в качестве зависимых, т. е. выражаются через независимые ветви. Каждая независимая ветвь представляется одной из строк искомой матрицы проводимостей ветвей. Число ненулевых элементов искомой матрицы равно числу независимых ветвей, равному  $y-1$ , плюс число ветвей, входящих в  $s$  уравнения контуров.

Алгоритм решения может быть сформулирован на основе схемы замещения (по рис. 1) или аналитически на основе данных верхней треугольной матрицы проводимостей, получаемой по методу узловых напряжений. Ниже излагается алгоритм решения на основе схемы замещения. Выбираются шесть зависимых ветвей (по одной из каждого контура). Зависимые ветви, согласно теории контурных уравнений, не должны быть смежными для двух и более контуров.

По схеме замещения (рис. 1) выбираются в качестве зависимых шесть ветвей, которые выражаются через независимые ветви. Эти зависимости удобно выражать через следующие условные записи:

$$11.30 = 11.12 + 12.13 + 13.29 + 29.30 \quad (2)$$

$$10.36 = 10.20 + 20.35 + 35.36 \quad (3)$$

$$20.21 = 20.35 + 35.36 + 36.37 + 37.38 + 38.23 + 23.39 + 39.21 \quad (4)$$

$$22.40 = 22.37 + 37.38 + 38.23 + 23.40 \quad (5)$$

$$22.36 = 22.37 + 37.36 \quad (6)$$

$$29.32 = 29.13 + 13.14 + 14.15 + 15.16 + 16.31 + 31.32 \quad (7)$$

Первые индексы ( $m$ ) соответствуют началу ветви, вторые ( $k$ ) — концу. Заметим, что для разрабатываемого метода расчета установившихся режимов принимается условие

$$m \cdot k = -k \cdot m, \quad (8)$$

Остальные 45 ветвей из числа 51, параметры которых являются элементами исходной треугольной матрицы, принимаются в качестве независимых ветвей переменных для данной задачи. Эти переменные служат диагональными элементами искомой квадратной матрицы. Первый индекс независимых ветвей соответствует номеру строки искомой матри-

цы. Ниже дается перечень независимых ветвей, т. е. элементов главной диагонали искомой матрицы.

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$k = 11$	13	17	18	19	35	38	26	27	28	12	13	14	15	16
$m = 16$	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$k = 31$	16	34	20	35	39	37	41	42	43	45	44	46	13	29
$m = 31$	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
$k = 33$	31	18	24	36	37	38	23	23	23	24	25	26	46	44

Элементы (а) главной диагонали искомой матрицы, используемой в разрабатываемом методе расчета установившихся режимов, определяются согласно данным выше приведенной таблицы по формуле:

$$\mathcal{E}_{mk} = -U_m U_k b_{mk} \sin(\varphi_m - \varphi_k), \quad (9)$$

где  $m$ —индекс строки матрицы;  $m, k$ —индексы узлов схемы;  $U, \varphi$ —модули и аргументы комплексных напряжений узлов.

Остальные элементы (кроме указанных диагональных) искомой матрицы определяются путем замены ветвей с индексами: 11; 30; 19; 36; 20; 21; 22; 40; 22; 36; 29; 32 выражениями ветвей с индексами, определяемыми выражениями (2) — (7).

В результате получаются дополнительные элементы (кроме указанных выше элементов главной диагонали) следующей структуры:

$$\mathcal{E}_{ms} = -U_m \sum_s U_s b_{ms} \sin(\varphi_m - \varphi_s), \quad (10)$$

где  $m$ —индекс строки матрицы;  $s$ —индекс ее столбца;  $U, \varphi$ —модули и аргументы комплексных напряжений.

Значения индексов  $s$ , для строк  $m = 11 + 16$ , показаны ниже в табличной форме.

$m = 11$	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$s = 1, 30$	11	12, 29, 2	13	14	15; 17	3	4, 33	36, 5	19, 21	20	40, 36
$m = 23$	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$s = 38, 40, 39$	34, 41	42	6; 43	9	10	30, 32	11	16; 32	29	31	18
$m = 35$	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	—
$s = 20; 6$	35; 19	36; 22	37; 7	21	22	23	24	25	45; 27	26	—

В выражении (10):

$$\dot{U}_{11} - \dot{U}_{30} = (\dot{U}_{11} - \dot{U}_{12}) + (\dot{U}_{12} - \dot{U}_{13}) + (\dot{U}_{13} - \dot{U}_{14}) + (\dot{U}_{14} - \dot{U}_{15}) + (\dot{U}_{15} - \dot{U}_{16}) + (\dot{U}_{16} - \dot{U}_{17}) + (\dot{U}_{17} - \dot{U}_{18}) + (\dot{U}_{18} - \dot{U}_{19}) + (\dot{U}_{19} - \dot{U}_{20}) + (\dot{U}_{20} - \dot{U}_{21}) + (\dot{U}_{21} - \dot{U}_{22});$$

$$\dot{U}_{12} - \dot{U}_{31} = (\dot{U}_{12} - \dot{U}_{20}) + (\dot{U}_{20} - \dot{U}_{35}) + (\dot{U}_{35} - \dot{U}_{26});$$

$$\dot{U}_{30} - \dot{U}_{21} = (\dot{U}_{30} - \dot{U}_{35}) + (\dot{U}_{35} - \dot{U}_{36}) + (\dot{U}_{36} - \dot{U}_{37}) + (\dot{U}_{37} - \dot{U}_{38}) + (\dot{U}_{38} - \dot{U}_{39}) + (\dot{U}_{39} - \dot{U}_{40}) + (\dot{U}_{40} - \dot{U}_{41}) + (\dot{U}_{41} - \dot{U}_{42}) + (\dot{U}_{42} - \dot{U}_{43}) + (\dot{U}_{43} - \dot{U}_{44}) + (\dot{U}_{44} - \dot{U}_{45});$$

$$\dot{U}_{22} - \dot{U}_{40} = (\dot{U}_{22} - \dot{U}_{31}) + (\dot{U}_{31} - \dot{U}_{38}) + (\dot{U}_{38} - \dot{U}_{23}) + (\dot{U}_{23} - \dot{U}_{16});$$

$$\dot{U}_{22} - \dot{U}_{36} = (\dot{U}_{22} - \dot{U}_{21}) + (\dot{U}_{21} - \dot{U}_{36});$$

$$\dot{U}_{40} - \dot{U}_{32} = (\dot{U}_{20} - \dot{U}_{13}) + (\dot{U}_{13} - \dot{U}_{14}) + (\dot{U}_{14} - \dot{U}_{15}) + (\dot{U}_{15} - \dot{U}_{10}) + \\ + (\dot{U}_{10} - \dot{U}_{31}) + (\dot{U}_{31} - \dot{U}_{32}).$$

Здесь в скобках указаны разности напряжений на концах ветви, принимаемые в качестве независимых величин.

Аналитическое решение сформулированной задачи при условии использования только данных исходной треугольной матрицы коэффициентов уравнений узловых напряжений может быть реализовано на ЦВМ путем соответствующего программирования.

### Выводы

1. Сформулированная задача—преобразование информации, содержащейся в верхней треугольной матрице коэффициентов уравнений узловых напряжений электрической системы, в информацию, представляемую квадратной матрицей параметров уравнений независимых ветвей,—необходима для разработки нового метода расчета установившихся режимов электроэнергетической системы.

2. Предлагаемый алгоритм решения этой задачи основан на принципе использования схемы замещения и контурных уравнений электрической цепи.

3. Алгоритм решения иллюстрируется примером для схемы замещения, представляемой 51 ветвью, 46 узлами и 6 контурами.

АрмИИИЭ

Получено 26 XI 1975

Հ. Տ. ԱՊՈՆՅ

## ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՓՈՒՆԱՐԻՆՄԱՆ ՈՒՆԻՐԱՅԻ ՎԵՐԱԿՈՆՎԱԿ

ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆՆԻ ՎԵՐԱՓՈՆՄԱՆ ԿԱԳԻՐԸ

### Ա մ փ ո փ ո ս մ

Մի րանի հարչուր հանգուցանոց սխեմաներով ներկայացված բարդ էլեկտրաէներգահամակարգերի կայուն ուժիմների հաշվարկի նոր մեթոդ մշակելիս առաջացավ սխեմայի պարամետրների վերարեբայի ինֆորմացիայի վերափոխման խնդիրը:

Ձեակերպված խնդիրը՝ էլեկտրական համակարգի հանգուցային լարումների հավասարումների գործադիրքների վերին եռանկյուն մատրիցայում պարունակված ինֆորմացիայի վերափոխումը ինֆորմացիայի, որը ներկայացվում է հավասարումների պարամետրների քառակուսային մատրիցայի տեսքով, անհրաժեշտ է էլեկտրաէներգետիկ համակարգի կայուն ուժիմների լուծման նոր մեթոդի մշակման համար: Այս խնդրի լուծման համար առաջարկվող ալգորիթմը հիմնված է էլեկտրական շղթայի կոնտուրային հավասարումների և փոխարինման սխեմայի օդատործման սկզբունքի վրա:

Լուծման ալգորիթմը ցուցադրվում է 51 ճյուղերով, 16 հանգուցաներով և 6 կոնտուրներով ներկայացված փոխարինման սխեմայի օրինակի վրա: