

При этом выражения (24) - (27) и (32) - (35) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned}\partial F_{pm} / \partial I'_m &= - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n - x_{mn} I''_n) \right], \quad \partial F_{pm} / \partial I''_m = - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n + x_{mn} I''_n) \right], \\ \partial F_{qm} / \partial I'_m &= - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n + x_{mn} I''_n) \right], \quad \partial F_{qm} / \partial I''_m = - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n - x_{mn} I''_n) \right], \\ \partial F_{pk} / \partial U'_k &= - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l - b_{kl} U''_l) \right], \quad \partial F_{pk} / \partial U''_k = - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l - b_{kl} U''_l) \right], \\ \partial F_{qk} / \partial U'_k &= - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l + b_{kl} U''_l) \right], \quad \partial F_{qk} / \partial U''_k = - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l + b_{kl} U''_l) \right].\end{aligned}$$

Данное обстоятельство обеспечивает уменьшение большого объема вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима // Электричество. - 1991. - № 1. - С. 6-13.
2. Хачатрян В.С. Об одном методе решения системы нелинейных алгебраических уравнений специальной структуры большой размерности // ЖВММФ АН СССР. - 1979. - № 1. - С. 7-18.

ГИУА

10 - 1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 1, 1996, с. 11-16

УДК 621.311.1.601.24

ЭНЕРГЕТИКА

Г.А. БАДАЛЯН

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Z-МАТРИЦЫ ОБОБЩЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Առաջարկվում է նոր քայլային մեթոդ Z ընդհանրացված պարամետրերի մատրիցի կառուցման համար, որը Y-ընդհանրացված պարամետրերի մատրիցի շրջման անուղղակի մեթոդ է հիմնված էլեկտրական համակարգերի առանձնահատկությունների վրա:

Предлагается новый поэтапный метод построения обобщенных параметров электрических систем, который является косвенным методом обращения Y-матрицы обобщенных параметров электрических систем и основывается на их индивидуальных свойствах.

Табл. 4. Библиогр.: 3 назв.

A new stage-by-stage method of Z-generated electrical systems parameter construction is proposed which is an indirect method of Y-generated electrical systems parameter conversion and is based on their individual properties.

Tables 4. Ref. 3.

С математической точки зрения, определение Z-матрицы обобщенных параметров электрических систем сводится к обращению неособенной квадратной γ -матрицы обобщенных параметров, которая составляется непосредственно по заданной конфигурации схемы. Определение Z-обобщенных параметров классическим методом обращения γ -матрицы связано с весьма большими затруднениями. Поэтому работы велись по направлению определения Z-обобщенных параметров не классическими методами, а методами, вытекающими из индивидуальных и характерных особенностей электрических систем [1-3].

Настоящая работа посвящена определению Z-обобщенных параметров путем использования свойств электрических систем. Предположим, что задана электрическая система, состоящая из $(M+1)$ узловых точек, и после выбора одного из станционных узлов в качестве базисного она будет состоять из M независимых узлов. При этом для определения Z-матрицы обобщенных параметров необходимо обратить Y-матрицу порядка M. Предложенный подход определения Z-матрицы осуществляется методом окаймления матрицы, т.е. методом постепенного восстановления конфигурации исходной системы. Предложенный метод продемонстрируем на конкретной электрической системе, конфигурация которой задается в виде табл. 1. Рассмотрим одно из возможных неполных деревьев, конфигурация которого представлена с помощью табл. 2.

Таблица 1

ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	2-1	22,8	90,0
0-7	12,2	73,4	1-6	2,0	12,6
3-2	2,7	16,2	6-5	4,2	27,0
3-4	2,2	12,0	5-7	2,6	17,0
4-5	6,6	40,0			

Таблица 2

ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	4-5	6,6	40,0
3-4	2,2	12,0	5-7	2,6	17,0

Для данной конфигурации (табл. 2) Z-матрица имеет следующие численные элементы:

	3	4	5	7	
3	9,5+j 62,4	9,5+j 62,4	9,5+j 62,4	9,5+j 62,4	(1)
4	9,5+j 62,4	11,7+j 74,4	11,7+j 74,4	11,7+j 74,4	
5	9,5+j 62,4	11,7+j 74,4	18,3+j 114,4	18,3+j 114,4	
7	9,5+j 62,4	11,7+j 74,4	18,3+j 114,4	20,9+j 131,4	

Если соединить ветвь 0-7, то получим первый замкнутый контур. Для выполнения данной операции воспользуемся следующей формулой, полученной в [1]:

$$Z_{ij}^{\Pi} = \frac{(Z_{iA} - Z_{iB})(-Z_{A\Gamma} + Z_{B\Gamma})}{Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{AA} + Z_{\Pi\Pi} - 2Z_{AB}} \quad (2)$$

Здесь $Z_{\Gamma\Pi}^{\Pi}$ — комплексное сопротивление подключенной линии электропередач между узлами А и В; Z_{AA} , $Z_{\Pi\Pi}$, $Z_{A\Pi}$ — собственное и взаимное комплексные сопротивления узлов А и В; Z_{iA} , Z_{iB} , $Z_{A\Gamma}$, $Z_{B\Gamma}$ — взаимные комплексные сопротивления между узлами i, j и узлами А и В, между которыми подключается удаленная линия.

Поскольку в данном случае $Z_{\Gamma\Pi}^{\Pi}$ подключается между базисным (нулевым) и 7-ым узлами, то можем написать, что $A = A$, $B = 0$, и формула (2) примет вид

$$Z_{ij}^{\Pi} = \frac{(Z_{iA} - Z_{i0})(-Z_{A\Gamma} + Z_{0\Gamma})}{Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{AA} + Z_{00} - 2Z_{A0}} \quad (3)$$

Поскольку $Z_{i0} = Z_{0i} = 0$, $Z_{00} = 0$, $Z_{A0} = 0$, то (3) упрощается:

$$Z_{ij}^{\Pi} = -Z_{iA}Z_{A\Gamma} / (Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{AA}). \quad (4)$$

Матрица, вытекающая из (4) применительно к схеме, приведенной в виде табл. 2, принимает следующий вид:

	3	4	5	7	
3	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{77})$	(5)
4	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{77})$	
5	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{77})$	
7	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{77})$	

где $\Delta = Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{77} = 12,2 + j73,4 + 20,9 + j131,4 = 33,1 + j204,8$. Матрица (5) с численными элементами будет:

	3	4	5	7	
3	$-2,7 - j 19,0$	$-3,4 - j 22,6$	$-5,2 - j 34,8$	$-5,9 - j 40,0$	(6)
4	$-3,4 - j 22,6$	$-4,0 - j 27,0$	$-6,5 - j 41,5$	$-7,4 - j 47,7$	
5	$-5,2 - j 34,8$	$-6,5 - j 41,5$	$-10,1 - j 63,9$	$-11,6 - j 73,4$	
7	$-5,9 - j 40,0$	$-7,4 - j 47,7$	$-11,6 - j 73,4$	$-13,2 - j 84,3$	

Алгебраическая сумма элементов матриц (1) и (6) дает Z-матрицу замкнутого контура:

	3	4	5	7	
3	$6,8 + j 43,4$	$6,2 + j 39,8$	$4,3 + j 27,6$	$3,6 + j 22,4$	(7)
4	$6,2 + j 39,8$	$7,6 + j 47,4$	$5,2 + j 32,9$	$4,3 + j 26,7$	
5	$4,3 + j 27,6$	$5,2 + j 32,9$	$8,2 + j 50,5$	$6,8 + j 41,0$	
7	$3,6 + j 22,4$	$4,3 + j 26,7$	$6,8 + j 41,0$	$7,7 + j 47,1$	

приведенную в виде табл. 3:

Таблица 3					
ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	4-5	6,6	40,0
0-7	12,2	73,4	5-7	2,6	17,0
3-4	2,2	12,0			

Матрица (7) симметрична, а ее элементы только положительны. Осуществляем дальнейшее восстановление исходной системы. Полученная структура при этом представлена в виде табл. 4:

Таблица 4					
ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	5-7	2,6	17,0
0-7	12,2	73,4	5-6	4,2	27,0
3-4	2,2	12,0	6-1	2,0	12,6
4-5	6,6	40,0	3-2	2,7	16,2

Соответствующая Z-матрица полученной конфигурации по табл. 4 будет (8).

Для полного восстановления исходной электрической системы необходимо еще подключить линию $Z_{\text{ЛЭП}}^{-1} = Z_{\text{ЛЭП}}^{-1} = 22,8 + j90,0$. В результате получается второй замкнутый контур, и для установления численных значений новой дополнительной матрицы необходимо воспользоваться выражением (2). Устанавливая численные значения новой дополнительной матрицы и алгебраически просуммировав с соответствующими элементами матрицы (8), получим элементы искомой матрицы, которые представлены в виде матрицы (9).

	3	4	5	7	6	2	1
3	6,8+ +j 43,4	6,2+ +j 39,8	4,3+ +j 27,6	3,6+ +j 22,4	4,3+ +j 27,6	6,8+ +j 43,4	4,3+ +j 27,6
4	6,2+ +j 39,8	7,6+ +j 47,4	5,2+ +j 32,9	4,3+ +j 26,7	5,2+ +j 32,9	6,2+ +j 39,8	5,2+ +j 32,9
5	4,3+ +j 27,6	5,2+ +j 32,9	8,2+ +j 50,5	6,8+ +j 41,0	8,2+ +j 50,5	4,3+ +j 27,6	8,2+ +j 50,5
7	3,6+ +j 22,4	4,3+ +j 26,7	6,8+ +j 41,0	7,7+ +j 47,1	6,8+ +j 41,0	3,6+ +j 22,4	6,8+ +j 41,0
6	4,3+ +j 27,6	5,2+ +j 32,9	8,2+ +j 50,5	6,8+ +j 41,0	12,4+ +j 77,5	4,3+ +j 27,6	12,4+ +j 77,5
2	6,8+ +j 43,4	6,2+ +j 39,8	4,3+ +j 27,6	3,6+ +j 22,4	4,3+ +j 27,6	9,5+ +j 59,6	4,3+ +j 27,6
1	4,3+ +j 27,6	5,2+ +j 32,9	8,2+ +j 50,5	6,8+ +j 41,0	12,4+ +j 77,5	4,3+ +j 27,6	14,4+ +j 89,1

(8)

	1	2	3	4	5	6	7
1	11,9+ +j 68,9	5,6+ +j 38,4	4,9+ +j 32,9	5,5+ +j 85,2	7,2+ +j 42,7	10,4+ +j 60,6	5,9+ +j 34,7
2	5,6+ +j 38,4	8,9+ +j 54,0	6,5+ +j 40,6	6,1+ +j 38,5	4,8+ +j 31,5	5,3+ +j 36,2	3,9+ +j 25,6
3	4,9+ +j 32,9	6,5+ +j 40,6	6,7+ +j 42,0	6,1+ +j 39,1	4,5+ +j 29,5	4,8+ +j 31,8	3,7+ +j 24,0
4	5,5+ +j 35,2	6,1+ +j 38,6	6,1+ +j 39,1	7,6+ +j 47,1	5,3+ +j 33,7	5,4+ +j 34,7	4,4+ +j 27,4
5	7,2+ +j 42,7	4,8+ +j 31,5	4,5+ +j 29,8	5,3+ +j 33,7	7,8+ +j 47,7	7,4+ +j 44,3	6,4+ +j 38,7
6	10,4+ +j 60,6	5,3+ +j 36,2	4,8+ +j 31,8	5,4+ +j 34,7	7,4+ +j 44,3	10,8+ +j 64,0	6,1+ +j 36,0
7	5,9+ +j 34,7	3,9+ +j 25,6	3,7+ +j 24,0	4,4+ +j 27,4	6,4+ +j 38,7	6,1+ +j 36,0	7,4+ +j 45,2

(9)

В данном случае для восстановления конфигурации исходной системы были подсчитаны две дополнительные матрицы, поскольку система состояла из двух замкнутых контуров. Однако для восстановления исходной конфигурации исследуемой системы можно получить одну дополнительную матрицу, если воспользоваться следующим выражением [3]

$$Z_{ij}^A = \frac{1}{\Delta} \{ (Z_{iA} - Z_{iB}) [\Delta_{CB} (-Z_{A_1} + Z_{B_1}) + \Delta_{ABCB} (-Z_{iA} + Z_{iB})] + (Z_{iB} - Z_{iA}) [\Delta_{ABCB} (-Z_{A_1} + Z_{B_1}) - \Delta_{AB} (-Z_{iA} + Z_{iB})] \} \quad (10)$$

$$\Delta_{AB} = Z_{ЛЭП}^{AB} + Z_{AA} + Z_{BB} - 2Z_{AB}, \quad (11)$$

$$\Delta_{CD} = Z_{ЛЭП}^{CD} + Z_{CC} + Z_{DD} - 2Z_{CD}, \quad (12)$$

$$\Delta_{ABCD} = Z_{BC} + Z_{AD} - Z_{BD} - Z_{AC}, \quad (13)$$

$$\Delta = \Delta_{AB}\Delta_{CD} - \Delta_{ABCD}^2, \quad (14)$$

где $Z_{ЛЭП}^{AB}$, $Z_{ЛЭП}^{CD}$ — комплексные сопротивления линии, подключаемые к системе между узлами А, В и С, D соответственно.

Для исследуемой электрической системы выражения (10)-(14) принимают следующий вид:

$$Z_{ii}^{\pi} = -\frac{1}{\Delta} \left\{ Z_{12} [\Delta_{12} Z_{21} + \Delta_{7012} (Z_{11} - Z_{21})] + \right. \quad (15)$$

$$\left. + (Z_{11} - Z_{12}) [\Delta_{7012} Z_{21} + Z_{70} (Z_{11} - Z_{12})] \right\},$$

$$\Delta_{70} = Z_{7011}^{70} + Z_{77}, \quad (16)$$

$$\Delta_{12} = Z_{12}^{12} + Z_{11} + Z_{12} - 2Z_{12}, \quad (17)$$

$$\Delta_{7012} = Z_{72} - Z_{71}, \quad (18)$$

$$\Delta = \Delta_{70}\Delta_{12} - \Delta_{7012}^2. \quad (19)$$

Таким образом, построение Z-матрицы существующим классическим методом не оправдывается, поэтому необходимо пользоваться не классическими методами, а методами, которые вытекают из их индивидуальных свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С. К вопросу об определении собственных и взаимных сопротивлений энергосистемы относительно базисного узла при изменении конфигурации сети // Электричество. - 1964. - № 4. - С. 27-30.
2. Хачатрян В.С. К методам расчета собственных и взаимных сопротивлений сложной энергосистемы // Электричество. - 1964. - № 10. - С. 47-51.
3. Хачатрян В.С. Метод перерасчета узловых сопротивлений при изменении схемной схемы замещения // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1966. - № 2. - С. 71-76.

ГИУА

12.01.1995