

ЭНЕРГЕТИКА

С. Г. АДОНИС Р. М. ГАБРИЕЛЯН

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРЕНУМЕРАЦИИ  
УЗЛОВ СХЕМЫ ПРИ ЕЕ ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИИ

В целом ряде задач, связанных с расчетами статической и динамической устойчивости, разбиением сложной схемы на подсхемы, оптимизацией режимов с учетом потерь в схеме и др., требуется предварительно преобразовать открытую схему в эквивалентированный многополюсник. Особенно актуальной является задача эквивалентирования при расчете потерь мощности и энергии в электрических сетях, содержащих несколько сот узлов. Существующие алгоритмы эквивалентирования не удовлетворяют условиям оптимальности, а именно: решение задачи эквивалентирования с использованием минимальной оперативной памяти ЦВМ.

Машинные эксперименты, выполненные при замене схемы из 46 узлов эквивалентным многополюсником с 28 независимыми узлами, показали, что продолжительность расчета и число ячеек оперативной памяти ЦВМ, занимаемых в процессе эквивалентирования, зависят от очередности выбора эквивалентлируемых узлов. Так, например, при трех различных способах выбора очередности узлов потребовалось соответственно 128; 162; 264 ячеек оперативной памяти, не считая ячеек, занимаемых параметрами полученного эквивалентного многополюсника. Указанные три способа отличались друг от друга порядком нумерации открытой схемы. Таким образом, возникла задача отыскания такого способа перенумерации узлов, при котором обеспечивается минимальное число ячеек оперативной памяти ЦВМ для хранения промежуточной информации при эквивалентировании. Необходимость перенумерации узлов схемы ранее была указана в [1].

О значении перенумерации узлов указано также в [2] в связи с задачей оптимального метода решения уравнений со слабозаполненными матрицами.

*Постановка задачи.* Принимается в качестве заданных:

- а) открытая схема  $n + p$  узлов;
- б) параметры  $K_{m,k}$  и  $b_{m,k}$  ветвей схемы, где  $m, k$  — индексы узлов схемы.

*Требуется определить* последовательность номеров узлов, согласно которой при эквивалентировании обеспечивается выделение минимума ячеек оперативной памяти для хранения промежуточной информации.

Сформулированную задачу целесообразно назвать оптимальной перенумерацией узлов, как связанную с эквивалентированием открытых схем электрических систем.

*Цель статьи*—разработка алгоритма и программы оптимальной перенумерации узлов схемы при ее эквивалентировании.

*Алгоритм* содержит следующие процедуры:

а) нумерация узлов схемы. Нумеруются сначала генерирующие и нагрузочные узлы с суммарным числом  $n$ , а затем сетевые ( $p$ ) узлы, которые подлежат перенумерации:

б) сетевые ( $p$ ) узлы нумеруются по порядку возрастания числа связей (при равном числе связей нескольких узлов произвольно выбирается один из них);

в) вершины трехлучевых звезд с конечным числом  $l$ , представляющие поперечную емкость относительно земли, в перенумерации не участвуют, принимая порядковые номера исходной схемы  $n + p$ ,  $n + p - 1$ ,  $n + p - 2$ , ...,  $n + p - l$ .

Этим уменьшаются затраты машинного времени при перенумерации в целом;

г) на каждом  $i$ -ом шагу эквивалентирования [3, 4] отбрасывается из схемы замещения тот узел, у которого есть наименьшие связи с остальными узлами, присваивая ему  $(n + p - i + 1)$ -ый номер, с тем, чтобы число вновь образующихся ветвей на  $i$ -ом шаге получилось наименьшим;

д) при равном числе связей нескольких узлов на  $i$ -ом шаге произвольно выбирается один из них.

Схема приведена на рис. 1, где  $n=28$ ,  $p=18$ . Узлы за №№ 29÷46 занумерованы тремя способами: I—случайная нумерация, II—оптимальная перенумерация, III—неоптимальная перенумерация.

В табл. 1 приведены варианты случайной, оптимальной и неоптимальной нумераций узлов схемы рис. 1, где перенумерованы узлы за №№ 29÷46.

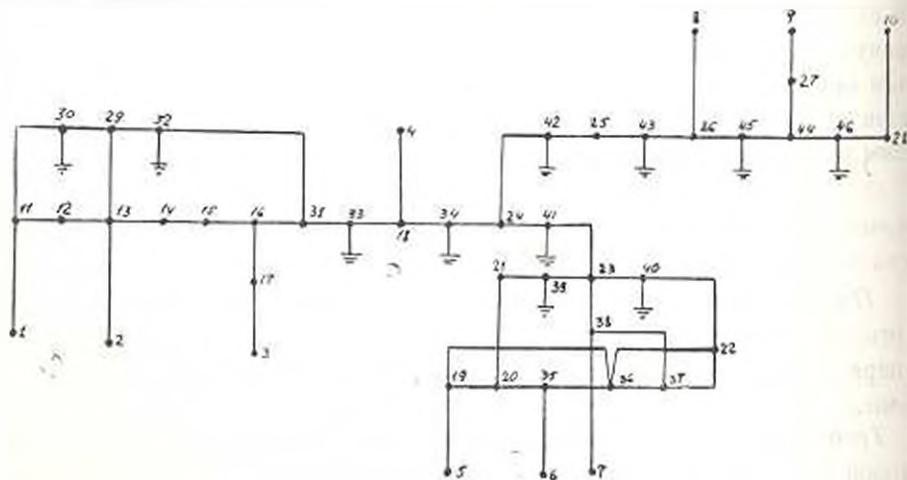


Рис. 1

Таблица 1

Варианты	Узлы																	
I—случайная нумерация	29	30	31	32	33	34	35	35	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
II—оптимальная нумерация	30	35	34	33	32	31	29	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36
III—неоптимальная нумерация	46	4	3	36	42	43	45	30	31	32	29	33	34	41	40	35	37	38

**Доказательство оптимальности перенумерации.** Для доказательства того, что указанный алгоритм обеспечивает оптимальное решение поставленной задачи, были выполнены эквивалентирования по второму и третьему способам.

Примером оптимальной перенумерации является II вариант (табл. 1), при котором полученная промежуточная информация при эквивалентировании приведена в табл. 2.

Таблица 2

Узлы	В е т в и																						
<i>m</i>	28	26	18	11	33	7	23	11	13	11	6	20	19	6	20	19	6	22	6	6	6	22	19
<i>k</i>	32	32	33	34	34	29	29	33	33	13	30	30	20	20	29	29	29	29	19	22	20	23	22

III вариант является неоптимальным (максимальная промежуточная информация). Данные этого варианта приведены в таблице 3.

Таблица 3

Узлы	В е т в и																													
1	2																													
<i>m</i>	19	19	22	22	43	22	19	43	19	22	19	7	19	19	22	23	22	7	19	19	7	27	27	40	28	27	27	13	13	37
<i>k</i>	43	45	43	45	45	43	43	44	22	44	44	43	22	43	43	43	23	23	23	20	22	40	11	41	40	40	28	37	38	38

Продолжение таблицы 3

1	2															
<i>m</i>	36	13	13	11	19	7	13	13	11	16	11	11	11	13	22	
<i>k</i>	37	37	36	36	22	19	36	35	13	35	35	16	13	16	23	

I вариант представляет эквивалентирование при случайной нумерации узлов (промежуточная информация приведена в табл. 4).

Таблица 4

Узлы	В е т в и																											
<i>m</i>	28	26	22	7	7	23	23	7	7	7	22	22	22	7	7	7	19	19	19	22	22	23	19	18	29	16	18	11
<i>k</i>	44	44	23	23	37	37	36	22	23	36	23	19	22	23	35	22	23	35	23	35	35	20	31	31	29	29	29	29

Программа оптимальной перенумерации, составленная в соответствии [5] на языке «Фортран-4», приводится в приложении.

### Выводы

1. Предлагаемый алгоритм перенумерации узлов открытой схемы для ее замены схемой эквивалентного многополюсника основан на принципе использования минимума ячеек оперативной памяти ЭВМ.

2. Для доказательства оптимальности перенумерации выполнены примеры расчета для одной и той же схемы при оптимальной, неоптимальной и случайной нумерации узлов.

### ПРИЛОЖЕНИЕ

Подпрограмма NODE

Назначение. Перенумерация сетевых узлов электрической системы, обеспечивающая оптимальную промежуточную информацию при эквивалентировании.

Обращение

CALL NODE (JT, NB, NYC, NMN, J, LL, L, LK, L4, LT, LJ)

Описание параметров

В массивах M, K и M1, K1 хранятся номера узлов попарно образующихся ветвей схемы.

В массиве M2 производится выбор вновь образующихся ветвей на каждом шагу эквивалентирования.

JT—длина массивов M, K, M1, K1, M2;

NB—число элементов в массивах M, K

NYC—число узлов исходной схемы;

NMN—число пар полюсов эквивалентного многополюсника.

L, LL, LK—переменные, начальные значения которых равны нулю;

L4—положительное большое число;

LT=19 (для задачи рис. 1);

LJ=18 (для задачи рис. 1).

SUBROUTINE NODE (JT, NB, NYC, NMN, J, LL, L, LK, L4, LT, LJ)

DIMENSION M(JT), K(JT), M1(JT), K1(JT), M2(JT)

	2	FORMAT (2I5)	24	DO 281 -1, L
c		1		IF(M(1)-L2) 26, 25, 26
		DO 191 -1, NB	25	L1 = L1+1
19	READ	2, M1(I), K1(I)		GO TO 28
c		2	26	IF(K(1)-L2) 28, 27, 28
		DO 221 -1, NB	27	L1 = L1+1
		IF(M1(I)-NMN) 20, 20, 21	28	CONTINUE
20	IF	(K1(I) - NMN) 22, 22, 21		IF(L1) 23, 23, 723
21	L	L+1	723	IF(L1-L4) 29, 29, 23
		M(L) = M1(I)	29	L4 = L1
		K(L) = K1(I)		L3 = L2
22	CONTINUE			GO TO 23
c		3	30	J = J+1
		NB1 = L		I1 = NYC - J+1
123	LL	LL+1		IF(I = EQ * I1) L3 = 30
	L2	NYC+1		WRITE 2, J1, L3
	L	NB1		
	IF	(LL-LT) 23, 52, 52	c	4
23	L1	0		L4 = L4+1
	L2	L2+1		J2 = 0
	IF	(L2 - NMN) 24, 30, 24		DO 341 -1, NB1

IF(K(1)-L3) 32, 31, 32	c	5
31 J2=J2+1		NC=((1-NC) * NC) 2
M2(J2)=M(1)		IK=0
GO TO 34		NTT=0
32 IF(M(1)-L3) 34, 33, 34	35	IK=IK+1
33 J2=J2+1		II=IK+1
M2(J2)=K(1)		DO 37JK II, J2
34 CONTINUE		IF(NTT * EQ * NC)GO TO 123
DO 11IT=1, L		NTT=NTT+1
38 IF(M(IT)) 39, 42, 39		NB1=NB1+1
39 IF (M(IT)-L3) 41, 40, 41		M(NB1)=M(IK)
40 M(IT)=M(NB1)		K(NB1)=M(JK)
K(IT)=K(NB1)		DO 342 II=1, L
M(NB1)=0		IF(M(II)-M(NB1)) 342, 340, 342
NB1=NB1-1	340	IF (K(II)-K(NB1)) 342, 341, 342
GO TO 38	341	NB1=NB1-1
41 CONTINUE		GO TO 37
42 L=NB1	342	CONTINUE
DO 241IT=1, L		DO 442 II=1, L
238 IF(M(IT)) 239, 242, 239		IF(K(II)-M(NB1)) 442, 440, 442
239 IF(K(IT)-L3) 241, 240, 241	440	IF(M(II)-K(NB1)) 442, 441, 442
240 M(IT)=M(NB1)	441	NB1=NB1-1
K(IT)=K(NB1)		GO TO 37
M(NB1)=0	442	CONTINUE
NB1=NB1-1	37	CONTINUE
GO TO 238		GO TO 35
241 CONTINUE	52	RETURN
NC=J2-1		END
L=NB1		

Требуемые функции и подпрограммы

Подпрограммы не требуется

Метод:

Перенумерация узлов производится неиндексно.

Перевод комментариев в тексте

1. Ввод данных.
2. Выбор элементов из массивов M1, K1, участвующих в эквивалентировании и их запись в массивы M2, K2.
3. Расчет и печать номера эквивалентированного узла (J1) и номера, которым он должен стать (L3), чтобы обеспечить минимум информации на l-ом шагу эквивалентирования.
4. Организация эквивалентирования.
5. NC—число янгов, образующихся ветвей на каждом шагу эквивалентирования.

АрмИИИЭ

Поступило 31.V 1976.

Հ. Տ. ԱԳՈՆՅ, Թ. Մ. ԳԱՐՆԻՆՅԱՆ

ՍՆՆՍԱՅԻ ՀԱՄԱՐԺԵԿԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԵՐԱ ՀԱՆԳՈՒՅՑՑՆՆԻՐԻ  
ՕԳՏԻՐԱԿՎԵՐԱՀԱՄԱՐԱԿԱՎՄԱՆ ԱՎԳՈՐԻԹՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Ծարադրված է բաց սխեման համարժեք բազմարևների սխեմայով փոխարինելու նպատակով բաց սխեմայի հանդույցների վերահամարակալման

ալգորիթմ, որը հիմնված է Բվաշին հաշվիչ մեքենայի օպերատիվ հիշողության բջիջների մինիմալ օպտադրոթման վրա: Վերահամարակալման օպտիմալութունն ապացուցելու նպատակով միևնույն սխեմայի համար կատարված են հաշվարկներ հանդուլցների օպտիմալ, ոչ օպտիմալ և պատահական համարակալումների ժամանակ:

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гамя А. З. О нумерации узлов при расчетах установившихся режимов электрических систем методом Ньютона-Рафсона. «Электричество», № 2, 1970.
2. Макаров В. М. Эффективность применения точных методов линейной алгебры в расчетах потокораспределения многомерных электрических сетей. Сб. Тезисы докладов «Исследование решения на ЦВМ уравнений установившегося режима электрических систем». 1976.
3. Аджоян Г. Т., Юзбашян А. М., Габликян А. С. К исследованию трех способов обращения матрицы комплексной проводимости электрических схем. «Известия АН АрмССР (серия техн. наук)», т. XXVI, № 6, 1973.
4. Коробчук К. В., Коваль А. Ю. Расчет установившихся электрических режимов при анализе статической устойчивости сложной энергосистемы. Сб. «Проблемы технической электродинамики», № 30, 1971.
5. Сборник научных программ на Фортране. Вып. 1 (перевод с англ.). Изд. «Статистика», 1974.