

ЭНЕРГЕТИКА

В. С. ХАЧАТРЯН, М. А. БАЛАБЕКЯН

МЕТОД ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БОЛЬШИХ СИСТЕМ КАК
СОВОКУПНОСТИ РАДИАЛЬНО СВЯЗАННЫХ
ОПТИМАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ

В связи с появлением современных больших энергосистем проблема построения АСУ в энергетике принимает качественно новый характер. Успешное построение АСУ органически связано с возможностями современных автоматических цифровых вычислительных машин (АЦВМ). Учитывая ограниченную возможность АЦВМ, как по оперативной памяти, так и по скорости действия, одним из решающих факторов становится проблема построения новых вычислительных алгоритмов для решения режимных вопросов современных больших энергосистем. Исходя из вышесказанного, становится ясно, что новые алгоритмы должны удовлетворять двум основным критериям:

- 1) минимизации объема вычислительных работ;
- 2) минимизации исходной информации, вводимой в память АЦВМ.

Как известно, в настоящее время для обеспечения этого требования принимается идея подсистемы, согласно которой, рассматриваемая большая энергосистема представляется как совокупность радиально связанных подсистем путем удаления определенного количества связывающих линий [1, 2]. Исследование показало, что в зависимости от числа удаленных линий сильно изменяются как объем занимаемой памяти машины, так и вычислительные работы.

Цель настоящей статьи — установление оптимального числа узлов отдельных подсистем при построении расчетной Z матрицы, необходимой в уравнениях установившегося режима. При решении вопроса минимизации исходной информации, вводимой в память машины, решается также вопрос минимизации числа вычислительных операций. Поэтому в настоящей работе в качестве критерия оптимальности выбирается минимум информации, вводимой в память цифровых вычислительных машин. Исходную информацию, необходимую для расчета узловых режимных параметров, можно представить в виде (1).

$Z_{i_1 j_1}$					
	$Z_{i_2 j_2}$				
		\dots			Z_{i_7}
			$Z_{i_n j_n}$		
Z'_{i_7}					Z_{b_7}

(1)

Подматрица Z_{i_7} определяется непосредственно из квазидиагональной матрицы, подматрица Z'_{i_7} — путем транспонирования Z_{i_7} . С другой стороны, подматрица Z_{b_7} получается из подматрицы Z'_{i_7} и диагональной матрицы, составленной из элементов разрезанных линий.

На основании вышесказанного нетрудно убедиться в том, что исходную матрицу, которую первоначально необходимо вводить в память АЦВМ, можно представить в следующем виде:

$Z_{i_1 j_1}$					
	$Z_{i_2 j_2}$				
		\dots			
			$Z_{i_n j_n}$		
					Z_{b_1}
					Z_{b_2}
					\dots
					Z_{b_x}

(2)

Верхняя квазидиагональная матрица устанавливает предварительные порядки отдельных подсистем, входящих в большую систему. Нижняя квазидиагональная матрица устанавливает число разрезанных линий. С изменением числа разрезанных линий определенно изменяется число вычислительных операций. С увеличением числа разрезанных линий увеличивается расход памяти машины, с одной стороны, и число вычислительных операций, с другой, и наоборот. Поэтому можно поставить следующую реальную, имеющую практическую ценность, задачу — определение порядков отдельных подсистем, с целью минимизации исходной информации, при условии разделения большой энергосистемы по минимальным разрезам. Поскольку отдельные подматрицы квазидиагональной матрицы (2) квадратичные, то минимизируемая функция примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \Pi &= M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_n^2 + M^2; \\
 M_1 + M_2 + \dots + M_n &= M,
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где M_1, M_2, \dots, M_n — порядок отдельных подматриц или число узлов соответствующих подсистем; n — число радиально связанных подсистем; M_n — общее число разрезанных ветвей; M — число узлов энергосистемы. Задача сводится к минимизации функции (3). Нетрудно заметить, что порядок отдельных подматриц характеризуется числом узлов соответствующей подматрицы.

При решении поставленной задачи можно наложить ограничение на число узлов отдельных подсистем. Абсолютной минимизации занимаемой памяти можно достичь, не накладывая ограничения на число узлов отдельных подсистем.

До последнего времени при использовании метода разбиения для расчета сложных сетей разбивка этих сетей производилась вручную. Ручное разбиение на подсистемы может привести к погрешностям. Кроме того, ручное разбиение требует много времени и споровки, а иногда и трудно достигаемо.

Существует несколько алгоритмов автоматического разбиения. Один из них [5] предназначен, в первую очередь, для «методов граничной итерации». Он разлагает подсистемы электрической сети путем отбора для разрезания линий с высоким сопротивлением. Если находят, что какая-либо из полученных подсистем имеет больше узлов, чем нужно, то она разлагается дальше при дополнительном требовании. Из-за этих дополнительных ограничений число разрезанных линий получается слишком большим. Другой алгоритм разложения [3] для минимизации памяти использует динамическое программирование. Метод налагает ограничение на число подсистем.

В настоящей статье описывается процесс автоматического разложения электрической системы на подсистемы. Критерием разложения является минимизация всей требуемой (оперативной) памяти вычислительной машины. Для достижения данной цели используется принцип оптимальности Беллмана вместе с логическими заключениями. Принцип оптимальности формулируется следующим образом: «Оптимальная стратегия обладает таким свойством, что каково бы не было начальное состояние и начальное решение, последующие решения должны приниматься, неходя из оптимальной стратегии с учетом состояния, вытекающего из первого решения». Использование принципа оптимальности является гарантией того, что решение, принимаемое на каждой стадии, является наилучшим с точки зрения всего процесса в целом. Процесс оптимальной разбивки заданной большой системы на радиально связанные отдельные подсистемы производится в четырех этапах:

1. Нумеруются узлы рассматриваемой энергосистемы, приписывая первый номер узлу, имеющему минимальные связывающие линии с другими узлами.

2. Группируются узлы по принципу их электрической связанности.

3. Создаются элементарные подсистемы. В общем случае элемен-

тарные подсистемы могут состоять как из отдельных узлов, так и из группы узлов. В случае, когда элементарная подсистема состоит из группы узлов, требуется, чтобы все узлы были электрически связаны. С другой стороны, требуется, чтобы при создании отдельных элементарных подсистем, число удаленных или разрезанных линий было минимальным. В частном случае, в качестве элементарных подсистем можно выбрать отдельные узлы рассматриваемой большой энергосистемы.

В случае, когда создаем элементарную подсистему из группы электрически связанных узлов, необходимо учитывать ограничение, налагаемое на число узлов отдельных подсистем.

4. Формирование отдельных оптимальных подсистем, что и является конечным этапом рассматриваемой задачи. Построение окончательных подсистем производится на основании объединения отдельных подсистем, с учетом налагаемых соответствующих ограничений на число их узлов.

Поставленную задачу можно решить и без наложения ограничений на число узлов отдельных подсистем. Отсюда становится ясным, что построение окончательных подсистем может требовать объединения множества элементарных подсистем. Объединение рассмотренных двух элементарных подсистем в одну производится в том случае, когда оно приводит к минимизации занимаемой памяти АЦВМ.

Для получения критерия объединения двух элементарных подсистем рассмотрим следующий случай. Предположим, что должны объединить в одну две элементарные подсистемы a и b , имеющие соответственно число узлов M_a и M_b . Число разрезанных линий между подсистемами a и b обозначим через M_{ab} . До объединения этих двух элементарных подсистем требуемую память АЦВМ, согласно (3), можно представить в следующем виде:

$$P_{ab} = M_a^2 + M_b^2 + M_p^2. \quad (4)$$

После объединения указанных подсистем требуемая память АЦВМ представляется как:

$$P_{ab} = (M_a + M_b)^2 + (M_p - M_{ab})^2. \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5) величина M_p изображает общее число разрезанных линий до объединения двух элементарных подсистем. Величина $(M_p - M_{ab})$ показывает уменьшение общего числа разрезанных линий в результате объединения двух элементарных подсистем. Две элементарные подсистемы объединяются в одну в случае, когда обеспечивается следующее условие:

$$P_{ab} = P_{ab} - P_{ab} > 0; \quad P_{ab} \rightarrow \max \quad (6)$$

или
$$P_{ab} = 2M_p M_{ab} - 2M_a M_b - 2M_{ab}^2 \rightarrow \max. \quad (7)$$

Таким образом попарно рассматриваем все элементарные под-

системы; окончательно объединяются те две, относительно которых обеспечиваются условия (7). Если ограничение числа узлов отдельных подсистем характеризуется величиной $M_{\text{огр}}$, тогда при объединении двух элементарных подсистем должны обеспечить и следующее условие:

$$M_a + M_b \leq M_{\text{огр}}. \quad (8)$$

Для иллюстрации предложенного метода представления заданной электрической схемы как совокупности радиально связанных оптимальных подсистем, рассматриваются два конкретных примера. Рассматриваемые схемы состоят из 46 узлов, 92 ветвей и из 66 узлов, 130 ветвей. Результаты проведенных исследований относительно данных схем приводятся в табл. 1.

Таблица 1
Результаты установления оптимальных подсистем

Число узлов системы	Варианты	Ограничения по числу отдельных подсистем	Число подсистем	Число разрывных линий	Порядок деления подсистем	Требуемое машинное время, сек.	Число занятых ячеек
46	1	46	1	—	46.	—	2116
	2	46	2	5	37,9	40	1475
	3	46	3	10	14,23,9	42	906
	4	46	4	16	14,10,9,13	33	802
	5	10	6	21	5, 9,10,6,7,9	48	813
	6	8	8	27	8,6,3,7,6,7,4,5.	52	1026
66	7	66	1	—	66	—	4356
	8	66	2	6	32,31	60	2216
	9	66	3	12	32,17,17	56	1746
	10	66	4	17	15,17,17,17	50	1381
	11	12	8	30	10,5,12,5,9,8,11,6	64	1496
	12	6	12	45	5,5,5,6,6,5,6,6,5,5	81	2391
					6,6		

Для ясности рассмотрим подробно четвертый вариант примера, приведенный в таблице, где налагаются ограничения по числу отдельных подсистем.

После перераспределения узлов по минимальным связывающим линиям и их группировки по принципу их электрической связанности, обрываются 47 линий и получаются 14 подсистем. Соединение производим по следующей последовательности.

8-я подсистема, которая состоит из одного узла, электрически связана с 7 и 9-й подсистемами. 7-я подсистема имеет 7 узлов и связана с 8-й одной линией, а 9-я состоит из 5 узлов и связана с 8-й двумя линиями. Если соединить 8 и 7-ю подсистемы, то по (7) выигрыш ячеек памяти машины получается 79, а если соединить 8 и 9-ю подсистемы, то выигрыш памяти будет равен 174. Поэтому 8 и 9-я под-

системы объединяются в одну. После соединения этих подсистем в одну, переENUMеровываются подсистемы и начинают аналогично соединяться в другие подсистемы. Процесс кончается тогда, когда для любого варианта соединения подсистем выигрыш памяти получается отрицательным.

Таким образом, сделав все возможные соединения подсистем, получаются четыре радиально связанные подсистемы и 16 разрезанных линий, для которых оперативная память машины получается минимальной.

Приведенные в табл. 1 результаты показывают, что порядок отдельных подсистем и число удаленных связывающих ветвей действительно сильно влияет на память АЦВМ. Из таблицы нетрудно заметить, что по мере увеличения числа подсистем, при обеспечении минимальности удаленных ветвей, требуемая память АЦВМ уменьшается. Дальнейшее увеличение числа подсистем, при котором увеличивается число удаленных ветвей, приводит к росту памяти машины. Если представить зависимость между требуемой памятью АЦВМ и числом подсистем, то графически она будет иметь вид U -образной кривой с точкой абсолютного минимума.

В ы в о д ы

1. Автоматическое разложение больших систем на отдельные подсистемы дает экономию в оперативной памяти АЦВМ и минимизирует объем вычислительных работ при построении расчетной Z -матрицы, необходимой в уравнении установившегося режима.

2. Время вычислений разложения электрических систем на оптимальные подсистемы составляет очень малую часть общего времени, требуемого при построении расчетной Z -матрицы.

АрмНИИЭ

Поступило 22.V.1974

Վ. Ս. ԿՈՉԱՏՐԻԱՆ, Մ. Ա. ԲԱԼԱԵԿՅԱՆ

ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ ԵՐԿՐԱՆՆԵՐԻ ՈՐԳԱՆ ՇԱՌԱՎՈՐՈՒՄ ԿԱՊՎԱՅ ՕՊՏԻՄԱԼ
ԱՆՔԱՍԻՍՏԻՎՆԵՐԻ ԱՐԲՈՂՋՈՒԹՅՈՒՆ ՆԵՐԿԱՅԱՆՆԵԼՈՒ ՄԵՐՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Ըստ հոդվածում առաջարկվող մեթոդի, մեծ էլեկտրական սխեմաները բաժանվում են շատավորեն կապված օպտիմալ ենթասխեմաների բաղադրյալների: Մշակված է ալգորիթմը և կազմված է ծրագիրը այդ բաժանումը ավտոմատ կերպով կատարելու համար: Ծրագիրը կազմված է այնպես, որ հնարավորություն է ընձևնում խնդիրը լուծել, երբ սահմանափակում է դրված կամ չի դրված ենթասխեմաների հանգույցների թվի վրա: Լուծված է 2 թվային օրինակ, որից հետևում է, որ հաշվիչ մեքենայի հիշողության կապը ենթասխեմաների թվից գրաֆիկորեն կարելի է ներկայացնել U -ձևի կորով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хачатрян В. С., Суханов О. А. Диагностика и задача определения обобщенных параметров больших энергосистем. «Электричество», 1973, № 4.
2. Хачатрян В. С. Метод и алгоритм расчета установившихся режимов больших электроэнергетических систем. «Известия АН СССР. Энергетика и транспорт», 1973, № 4.
3. Undrill J. M., Hopp H. H. Automatic Sectionalization of Power System Networks for Network Solution. IEEE Trans. Power. Appar. and Systems, vol. pas-90. Jan/Feb 1971.
4. Mahendra K. J., Rao Dharma N. A power system networks decomposition algorithm for network solutions, IEEE. Trans Power. Appar. and systems, vol. pas-92, №2, 1973.
5. Bayles and Sosson A. M. A power system decomposition algorithm. PICA Proceedings, p. p. 448—452, 1971.
6. Sigmund Dietmer. „Wiss. z. Techn. Univ. Dresden“. 1972, 21. №2.
7. Орлова Г. И., Дорфман Я. Г. Оптимальное деление графа на несколько подграфов. «Известия АН СССР. Техническая кибернетика», 1972, № 1.