

ЭНЕРГЕТИКА

В. Г. ПОГОСОВ

К МЕТОДУ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ
НА ПОДСИСТЕМЫ

Продолжается процесс роста энергосистем, их объединение, углубление взаимосвязей, переход от частных задач к задачам комплексного анализа режима системы. В этой связи вопросы разработки эффективных алгоритмов расчета установившихся режимов сложных электрических систем, ускорения сходимости, исследования полученных решений продолжают быть актуальными.

Среди различных методов расчета установившихся режимов представляет интерес последование метода разделения схем электрических систем на подсистемы.

Данная статья посвящена исследованию метода расчета установившихся режимов системы, разделенной на подсистемы, являясь продолжением исследований [1], [2] применительно к новому методу расчета модулей и синусов разности фаз напряжений, который обеспечивает улучшение сходимости итерации к физически реализуемому решению, отсутствие ограничений по фазам напряжений узлов и т. д. [3].

Постановка задачи. Рассматривается схема замещения системы как совокупность подсистем, состоящей из N узлов. Каждая подсистема состоит из $N_1, N_2, \dots, N_N$ узлов.

Отдельные подсистемы представляются открытыми схемами, т. е. схемами, содержащими генераторные, нагрузочные, сетевые и межсистемные узлы.

Разделение системы на подсистемы осуществляется по серединам ветвей.

Исходная информация для узлов задается в следующем виде:

- а) балансирующий узел каждой подсистемы представляется модулем напряжения;
- б) генераторные узлы представляются активной мощностью и модулем комплексного напряжения;
- в) нагрузочные узлы представляются активной и реактивной мощностями;
- г) межсистемные узлы представляются активной и реактивной мощностями, либо активной мощностью и модулем комплексного напряжения.

Пассивные параметры подсистемы задаются комплексными проводимостями $Y_{mk} = g_{mk} - jb_{mk}$, где g_{mk} , b_{mk} — активные и реактивные проводимости ветвей между ее узлами m и k . Использование матрицы комплексных проводимостей Y , отличающейся простотой формирования информации о схеме замещения, и учет в расчетах ненулевых элементов матрицы коэффициентов уравнений режима обеспечивает наилучшие условия использования оперативной памяти ЭЦВМ.

Требуется определить — недостающие параметры режима узлов и ветвей всех подсистем.

Расчетные уравнения [3]:

$$P_m = U_m^2 g_{mm} + U_m \sum_{\omega} U_{\omega} (g_{m\omega} \sqrt{1 - s_{m\omega}^2} - b_{m\omega} s_{m\omega}); \quad (1)$$

$$Q_m = U_m^2 b_{mm} + U_m \sum_{\omega} U_{\omega} (g_{m\omega} s_{m\omega} + b_{m\omega} \sqrt{1 - s_{m\omega}^2}). \quad (2)$$

Решение уравнений (1) и (2) относительно приращений искомых величин по методу Ньютона имеет вид:

$$\left| \frac{1}{U_m} \frac{\partial P_m}{\partial s_{m\omega}} \right|^i |\Delta s_{m\omega}|^{i+1} = \left| \frac{\Delta P_m}{U_m} \right|^i; \quad (3)$$

$$\left| \frac{1}{U_m} \frac{\partial Q_m}{\partial U_{\omega}} \right|^i |\Delta U_{\omega}|^{i+1} = \left| \frac{\Delta Q_m}{U_m} \right|^i \quad (4)$$

и далее:

$$s_{m\omega}^{i+1} = s_{m\omega}^i + \Delta s_{m\omega}^{i+1}; \quad (5)$$

$$U_{\omega}^{i+1} = U_{\omega}^i + \Delta U_{\omega}^{i+1}, \quad (6)$$

где P , Q — активная и реактивная мощности;

m — индекс узлов схемы;

ω — индекс множества узлов, связанных с узлом m ветвями с параметрами;

U — модуль напряжения узлов;

$s_{m\omega} = \sin(\phi_m - \phi_{\omega})$;

i — верхний индекс шага итераций.

$$\frac{\partial P_m}{\partial s_{m\omega}} = U_m U_{\omega} \left(b_{m\omega} + g_{m\omega} \frac{s_{m\omega}}{\sqrt{1 - s_{m\omega}^2}} \right); \quad (7)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial U_{\omega}} = U_m \left(b_{m\omega} + \frac{Q_m}{U_m^2} \right); \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial U_m} = U_m (g_{mm} s_{mm} + b_{mm} \sqrt{1 - s_{mm}^2}); \quad (9)$$

$$\Delta P_m = P_m^* - P_m^i; \quad \Delta Q_m = Q_m^* - Q_m^i. \quad (10)$$

где P_m^* , Q_m^* — заданные величины мощностей;

P_m^i , Q_m^i — величины, вычисленные по формулам (1) и (2).

Записанные выше уравнения для каждой подсистемы дополняются уравнениями связи следующих видов:

$$\begin{aligned} P_{N1, s} &= -P_{N2, s'}; \\ Q_{N1, s} &= -Q_{N2, s'}; \\ U_{N1, s} &= -U_{N2, s'}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$S_{m \rightarrow N1, s} = -S_{m \rightarrow N2, s'}$$

где s, s' — узлы связи между подсистемами $N1, N2$, $N1 \neq N2$; $N1, N2 = 1, II, \dots, NN$.

Алгоритм расчета установившегося режима методом расчета модулей и синусов разности фаз напряжений узлов схемы приведен на рис. 1.

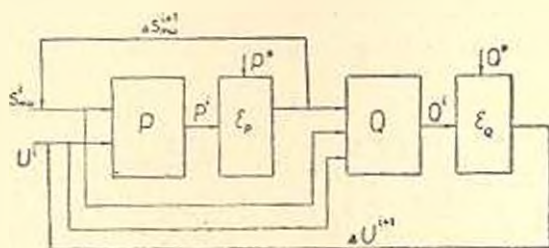


Рис. 1.

По рассмотренной выше методике решается каждая из $N1, N2, \dots, NN$ подсистем независимо друг от друга.

Критерием окончания расчета каждой подсистемы является достижение заданных величин:

$$\epsilon = \frac{P_m^* - P_m^i}{U_m} \leq 10^{-3}; \quad \mu = \frac{Q_m^* - Q_m^i}{U_m} \leq 10^{-3}. \quad (12)$$

Расчетом установившихся режимов каждой подсистемы заканчивается процесс, так называемой, внутренней итерации. В результате чего для каждой подсистемы были получены и межсистемных узлах смежных систем параметры режима $P, Q, U, S_{m \rightarrow}$.

Отличительной особенностью данного метода расчета установившегося режима является то, что оперируем не четырьмя параметрами режима, как это делалось ранее, а тремя, что способствует ускорению и упрощению процесса внешней итерации.

Результаты расчета на i -м шаге внешней итерации по межсистемным узлам усредняются:

$$P_{\text{ср}} = \frac{|P_{N1}| + |P_{N2}|}{2}; \quad Q_{\text{ср}} = \frac{|Q_{N1}| + |Q_{N2}|}{2};$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{N1} + U_{N2}}{2}.$$
(13)

Активные P и реактивные Q мощности берутся по абсолютной величине, т. к. для одной подсистемы мощность берется со знаком минус, а для другой—плюс. $(i+1)$ -й шаг в каждой подсистеме выполняется по результатам i -го шага каждой подсистемы и усредненных значений межсистемных узлов смежных подсистем. Эта процедура будет продолжаться до получения одинаковых результатов расчетов по межсистемным узлам смежных подсистем, т. е. при достижении заданных величин:

$$\varepsilon_P = \{ |P_{N1}| - |P_{N2}| \} \leq 10^{-1}; \quad \varepsilon_Q = \{ |Q_{N1}| - |Q_{N2}| \} \leq 10^{-1};$$

$$\varepsilon_U = |U_{N1} - U_{N2}| \leq 10^{-1}.$$
(14)

Процесс полного цикла внешней итерации для простейшего случая двух смежных подсистем схематически представлен на рис. 2.

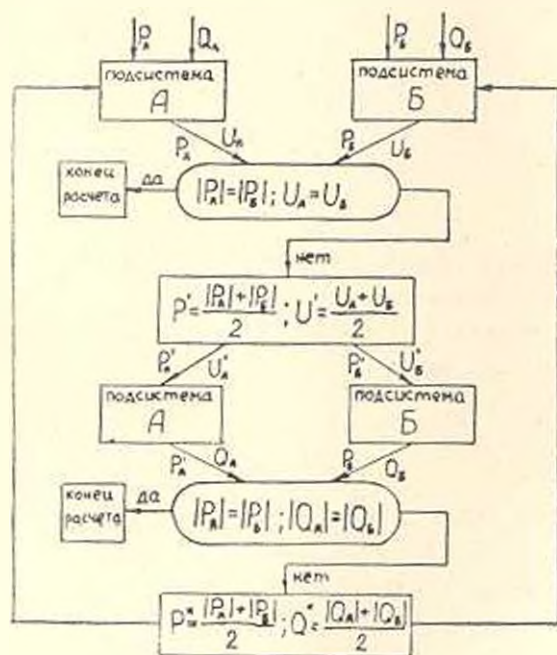


Рис. 2.

Иллюстрацию рассмотренного выше алгоритма расчета установившегося режима системы, расчлененной на подсистемы, и стыковки указанных смежных подсистем рассмотрим на примере электрической

системы [4]. Разрезание указанной системы проведем так, как это показано на рис. 3.

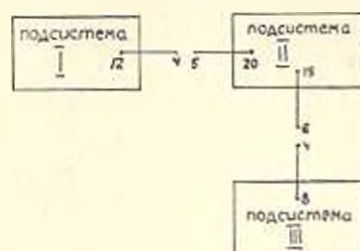


Рис. 3.

В табл. 1 приведены данные как для схемы в целом, так и для трех полученных после разрезания подсистем.

Таблица 1

№ пп	Наименование	Число узлов	Число ветвей	Число генерат.	Число нагрузок	Число контур
1	Система в целом	46	51	10	18	6
2	I подсистема	15	16	3	7	2
3	II подсистема	20	19	4	10	—
4	III подсистема	15	18	3	8	1

Результаты расчетов установившегося режима методом модулей и синусов разности фаз напряжений для системы в целом и трех подсистем в отдельности приведены для случая внутренней итерации в табл. 2.

Таблица 2

№ пп	Наименование	Число итераций	Время счета	Параметры режима в межсистемных узлах			
				P	Q	U	$S_{\text{м}}$
1	Система в целом	6	4'25"	—	—	—	—
2	I подсистема	6	1'20"	154,20	32,65	204,82	0,00658479
3	II подсистема	6	1'18"	154,23 152,14	—32,65 44,75	204,99 201,13	—0,0063400 —0,0496140
4	III подсистема	7	1'40"	152,11	—44,75	201,15	0,0184762

Исследования показали, что задание P и Q в качестве искомых параметров в межсистемных узлах дает лучшие результаты, чем задание P и U .

В процессе внешней итерации в программе расчета установившегося режима предусмотрена корректировка ΔP_m активных мощностей по формуле

$$\Delta P_m = \frac{\partial P_m}{\partial S_{m\omega}} \Delta S_{m\omega}. \quad (15)$$

Некоторые рекомендации по разрезанию системы на части:

а) число узлов подсистем должно соответствовать объему задачи, решение которой возможно с использованием только оперативной памяти данной ЭЦВМ;

б) число подсистем должно определяться практической необходимостью;

в) желательно, чтобы подсистемы были связаны наименьшим числом связей;

г) рекомендуется деление по середине ЛЭП.

В ы в о д ы

1. Предлагаемый алгоритм разбишки системы на подсистемы отличается достаточной простотой, является эффективным способом уменьшения числа вычислительных операций и объема промежуточной информации.

2. Возможность оперирования только тремя (взамен четырех) параметрами межсистемных узлов значительно облегчает стыковку (внешнюю итерацию) решений уравнений отдельных подсистем.

Арм НИИЭ

Поступило 4.V.1977.

Վ. Դ. ՊՈՂՈՍՈՎ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԴԵՐԸ ԵՆԹԱՀԱՐԱԿԱՐԴԵՐԻ ՐԱԺԱՆՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ա լ ը

Դիտարկվում է ենթահամակարգերի բաժանված համակարգի հաստատված ուժերի հաշվարկը լարումների մոդուլների և փուլերի տարբերության սինուսների հաշվարկման նոր մեթոդով: Տույց է տրված, որ միջհամակարգային հանդույցներում ուժերի ճշգրիտ պարամետրների տրման դեպքում կարելի է սահմանափակվել միայն ներքին խտրացիայով՝ ելակետային համակարգի հաստատված ուժերի ստացման համար: Միջհամակարգային հանդույցների միայն երեք (չորսի փոխարեն) պարամետրների օգտագործման հնարավորությունը հեշտացնում է առանձին ենթահամակարգերի հավասարումների լուծումների միակցումը (արտաքին խտրացիան): Հետազոտություններից ցույց են տվել, որ ակտիվ և ակտիվ ճշգրտությունների տրման դեպք-

քում միջհամակարգային հանդուցներում ստացվում է ավելի լավ զուգամի-
տում՝ քան ակտիվ հզորության ու լարման մոդուլի տրման քայքայում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоц Г. Т. Расчет установившихся режимов электрической системы, разделенной на многополюсники «Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт», 1971, № 1.
2. Адоц Г. Т., Арутюнян С. Г. Об одной схеме итерации и расчетах установившихся режимов электрической системы, разделенной на многополюсники «Изв. АН СССР Энергетика и транспорт», 1973, № 3.
3. Адоц Г. Т. Метод расчета модулей и синусов разности фаз напряжений узлов схе-
мы. Сб. Всесоюзного научно-технического совещания «Исследование решений
на ЭВМ уравнений установившегося режима электрических систем». Изд.
«АрмНИИЭ», 1976.
4. Адоц Г. Т., Гамбурян К. А., Мурадян С. Г. Об одной тестовой задаче расчета
установившегося режима энергосистем «Электрические станции», 1971, № 12.