

ЭНЕРГЕТИКА

Н. А. ОКСУЗЯН

Կ ИССЛЕДОВАНИЯМ СХОДИМОСТИ ИТЕРАЦИИ В РАСЧЕТАХ  
 УСТАНОВИВШИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ  
 ЭНЕРГОСИСТЕМ

Расчет установившихся электрических режимов сводится к решению системы нелинейных уравнений итерационными методами. Однако, сходимость итераций зависит от многих факторов. Кроме того, система уравнений, описывающих установившиеся режимы, в условиях когда заданы мощности в узлах, неопределена (т. е. имеет более одного решения). Поэтому для получения физически реализуемого решения необходимы дополнительные исследования этих уравнений.

Алгоритм [1], разработанный в АрмНИИЭ, позволяет в некоторой степени обеспечить сходимость итерации к физически реализуемому решению, используя теорию о сжимающем отображении.

Согласно этой теории [2], если отображение является сжимающим в  $G$  и все последовательные приближения  $x^{(i)} \in G$ , то независимо от выбора начального приближения процесс итерации сходится к единственному решению, и справедлива оценка

$$\|x^{(i+1)} - x^{(i)}\| \leq q^i \|x^{(1)} - x^{(0)}\| \quad \text{для системы приведенной к}$$

виду  $x = \varphi(x)$ ,

где  $i$  — индекс номера шага итерации;

$q$  — постоянная, выбираемая в пределах  $0 \leq q \leq 1$ .

В зависимости от величины  $q$  можно улучшить сходимость или несходящуюся систему привести к сходящейся.

Настоящая статья посвящена рассмотрению некоторых факторов, влияющих на процесс сходимости в расчетах установившегося режима одной системы, приведенной к многополюснику с 8-мью узлами, из которых 4 — генераторные и 4 — нагрузочные. Одним из таких факторов является учет или неучет величины  $q$ .

Без учета  $q$  произведены расчеты для следующих случаев.

Случай 1. Заданы:

а) параметры  $g_{mk}$  и  $b_{mk}$  (активные и реактивные проводимости) многополюсника;  $m, k = 1, 2, \dots, 8$ ;

б) активные мощности узлов  $P_{2-8}$  (кроме балансирующего  $P_1$ );

в) фаза напряжения балансирующего узла  $\psi_1$ ;

г) модули напряжений генераторных узлов —  $U_1, U_2, U_3, U_4$ ;

д) реактивные мощности нагрузочных узлов —  $Q_5, Q_6, Q_7, Q_8$ .

Случай 2. Заданы:

а) модуль напряжения одного узла  $U_1$ ;

б) реактивные мощности узлов  $Q_{2-5}$  и остальные величины, заданные для случая 1, кроме пунктов „Г“ и „Д“.

Результаты расчетов сведены в табл. 1, где  $\lambda = \sin \psi$ ,  $\psi$  — фаза напряжений.

Таблица 1

Номер узла	С л у ч а й 1				С л у ч а й 2			
	$P$ , квт	$\lambda$	$U$ , кв	$Q$ , квар	$P$ , квт	$\lambda$	$U$ , кв	$Q$ , квар
1	260,4	0,402	259	177,5	286,8	--	259	385,3
2	-54,7	-0,426	267	137,2	-54,7	-0,686	217	137,2
3	157,9	-0,134	251	138,1	157,9	-0,190	197	138,1
4	418,1	0,426	227	87,3	418,1	0,661	175	87,3
5	-229,9	-0,270	220	-79,5	-229,9	-0,435	160	-79,5
6	-116,9	-0,345	220	-67,7	-116,9	-0,558	160	-67,7
7	-64,7	0,109	223	-32,4	-64,7	0,203	175	-32,4
8	-322,8	0,203	221	-81,2	-322,8	0,296	160	-81,2

В первом случае сходимость получается при  $i=14$ , а во втором даже при  $i=586$  сходимости нет.

При учете величины  $q$  сходимость значительно улучшается; для первого случая то же решение получается при  $i=8$  ( $q=0,91$ ), а для второго—при  $q=0,6$  итерация на 22 шагу сходится к физически реализуемому решению (табл. 2).

Таблица 2

№ узла	1	2	3	4	5	6	7	8
$P$	256,2	-54,7	157,9	418,1	-229,9	-116,9	-64,7	-322,8
$\lambda$	0,392	-0,431	-0,139	0,424	-0,277	0,352	0,100	0,198
$U$	259,0	266,6	251,0	225,0	220,0	220,0	222,6	210,0
$Q$	178,1	137,2	138,1	87,3	-79,5	-67,7	-32,4	-81,2

Проведены расчеты и при других заданных напряжениях генераторных узлов  $U_1, U_2, U_3$  и  $U_1, U_2$ ; во всех случаях с применением  $q$  итерация сходится, а к данному решению—при определенных  $q$ .

Величина  $q$  определяется экспериментально для каждого случая.

Вторым фактором, влияющим на сходимость итерации, является последовательность пронумерованных узлов схемы.

В расчетах установившихся режимов нумерация узлов, при неизменной нумерации базисного узла, произведена в следующем порядке:

- 1) от генераторных узлов до нагрузочных—1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8;
- 2) от  $b_{cc}^{\max}$  до  $b_{cc}^{\min}$  (по величине собственной реактивной проводимости узла)—1, 8, 7, 5, 4, 6, 3, 2;
- 3) от  $b_{cc}^{\min}$  до  $b_{cc}^{\max}$ —1, 2, 3, 6, 4, 5, 7, 8;

4) от  $C\delta^{\max}$  до  $C\delta^{\min}$  (по количеству связей данного узла с другими)—1, 7, 6, 5, 8, 2, 3, 4;

5) от  $C\delta^{\min}$  до  $C\delta^{\max}$ —1, 4, 3, 2, 8, 5, 6, 7;

6) по подсистемам—1, 7, 2, 6, 3, 5, 4, 8.

Расчеты при различной нумерации показали, что к физически реализуемому решению итерация сходится при нумерации—1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. (табл. 1, 2).

При другой нумерации процесс или расходится (п. 2, 3, 5) или сходится к физически нереализуемому решению (п. 4, 6).

Согласно [1] условие сходимости итерации к единственному решению, полученное для приведенной линейной системы, можно применить и для системы нелинейных уравнений.

На основании этого для нашего примера можно записать критерий сходимости итерации:

$$|U_c^{(j)} b_{cc}| \geq \sum_{\alpha=1}^8 |U_{\alpha}^{(j)} b_{c\alpha}| \quad \text{если } Q_c > 0;$$

$$\left| U_c^{(j)} b_{cc} - \frac{Q_c^{(j)}}{U_c^{(j)}} \right| \geq \sum_{\alpha=1}^8 |U_{\alpha}^{(j)} b_{c\alpha}| \quad \text{если } Q_c < 0,$$

где  $c$ —индекс строки, пробегающий значения  $c=1 \div 8$ ;

$\alpha$ —индекс узла пассивного многополюсника;

$j$ —индекс генераторного узла, модуль напряжения которого задан.

В табл. 3 приведены результаты проверки условия сходимости, т. е. разность между модулями диагональных и суммой недиагональных коэффициентов данной строки уравнений установившихся режимов, приведенных к многополюснику с  $n=8$  при различной нумерации узлов.

Случай I—1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8—сходящаяся итерация.

Случай II—1, 8, 7, 5, 4, 6, 3, 2—расходящаяся итерация.

Таблица 3

№ строки	1	2	3	4	5	6	7	8
Случай I	56,6	50,4	56,9	54,3	433,0	261,1	351,4	722,2
Случай II	-7083,4	-4327,8	14720	-1712,3	-2479	13189	-61,47	-0,6

### Выводы

1. На сходимость итерационных процессов влияет:

а) выбор значения постоянной  $q$  в допустимых пределах;

б) изменение нумерации узлов многополюсника при выбранном базисном узле.

2. Достаточные условия сходимости итерации, выведенные для линейной системы уравнений, применимы и для нелинейной системы.

Ն. Ա. ՅԲՈՒՆՉՅԱՆ

ԷՆԵՐԳՈՂԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՈՒՅԺԱՐՆԵՐԻ  
 ՀԱՇՎԱՐԿՈՒՄՆԵՐՈՒԹՅՈՒՆ ԻՆՏԵՐԱՑԻԱՅԻ ԶՈՒԿԱՄԻՏՈՒԹՅԱՆ  
 ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ս մ փ ո փ ո ս մ

*Ութ հանգույցով բազմաբևեռակի բերված միավորված էներգահամակարգի մեկ օրինակի վրա դիտարկվում են սրտչ գործոններ, որոնք կախվածացված են միմյանից հաշվման ժամանակ ազդում են ինտերացիայի զուգամիտության վրա:*

*Տրվում է ոչ-զծային հավասարումների սխեմաների ինտերացիայի զուգամիտության չափանիշը:*

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Авоц Г. Т. Алгоритм расчета установившегося режима энергосистемы с учетом нелинейных характеристик генераторов и нагрузок. «Электричество», 1970, № 2.
2. Демидович В. П., Марон Н. А. Основы вычислительной математики. Физматгиз, 1960.