

ЭНЕРГЕТИКА

Н. А. ОКСУЗЯН

К 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 АрмНИЭ, 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

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

виду $x = f(x)$,

где i — индекс номера шага итерации;

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

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-ью 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.

С л у ч а й 1. Заданы:

- а) параметры g_{kk} и b_{mm} (активные и реактивные проводимости) многополюсника; $m, k = 1, 2, \dots, 8$;
- б) активные мощности узлов P_{2-5} , (кроме балансирующего P_1);
- в) фаза напряжения балансирующего узла ψ_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_3 ;

б) реактивные мощности узлов $Q_{\alpha, \beta}$ и остальные величины, заданные для случая 1, кроме пунктов „г“ и „д“.

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

Таблица 1

Номер узла	С л у ч а й 1				С л у ч а й 2			
	P , кат	x	U , кв	Q , квар	P , кат	x	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
x	0,352	— 0,431	— 0,139	0,424	— 0,277	0,352	0,100	0,196
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_2, U_3, U_4 и U_1, U_5 ; 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 $b_{\text{пр}}^{\text{max}}$ до $b_{\text{пр}}^{\text{min}}$ (по величине собственной реактивной проводимости узла) — 1, 8, 7, 5, 4, 6, 3, 2;
- 3) от $b_{\text{пр}}^{\text{max}}$ до $b_{\text{пр}}^{\text{min}}$ — 1, 2, 3, 6, 4, 5, 7, 8;

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

5) от Cb^{\min} до Cb^{\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 (и. 2, 3, 5) или сходится к физически нереализуемому решению (и. 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:

$$\begin{cases} |U_j^{(k)} b_{\alpha c}| > \sum_{c=1}^8 |U_c^{(k)} b_{\alpha c}| & \text{если } Q_c > 0; \\ \left| U_j^{(k)} b_{\alpha c} - \frac{Q_c^{(k)}}{U_c^{(k)}} \right| < \sum_{c=1}^8 |U_c^{(k)} b_{\alpha c}| & \text{если } Q_c < 0, \end{cases}$$

где c —индекс строки, пробегаящий значения $c=1-8$;

α —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	151.4	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. ԻՐԱՆՅԱՆ

ԷՆԵՐԳՈՂԱՅՈՒԿԱՄԵՐԻ ԿՈՆՅՈՒԱՅՎԱԾ ԷԼԵԿՏՐՈՒԱՆ ՈՒՅԺՈՐՆԵՐԻ
 ՀԱՇՎԱՐԿՈՒՄՆԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՏԻՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ԶՈՒԿԱՄԵՏՈՒԹՅԱՆ
 ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՇՈՒՐՋՐ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ուժ հանդույցով բազմարեևտակի բերված միավորված էներգամատակարարի մեկ օրինակի վրա դիտարկվում են սրտչ գործոններ, որոնք կախումացված սկիմի հաշվման ժամանակ ազդում են ինտերացիայի գույամիտառիչան վրա:

Տրվում է սչ-դժային հավասարումների սխալմեների ինտերացիայի գույամիտառիչան չափանիշը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоиц 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.