

В.С. САФАРЯН

**РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ
НЕТРАДИЦИОННОЙ ФОРМЕ ЗАДАНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Рассматривается задача расчета установившихся режимов электрических систем при нарушении традиционной формы задания исходной узловой информации. Выведены условия, при соблюдении которых можно осуществить расчет установившихся режимов при нетрадиционной форме задания узловой информации.

Ключевые слова: аннулирующая переменная, обращенная форма, доминирующая переменная, полная и независимая информация.

Известно, что при определении установившихся режимов (УР) электрических систем (ЭС) на основе решения уравнений состояний сети часть узловых режимных параметров (УРП) считается заданной. Узловая исходная информация задается в следующей форме:

- а) в узлах типа P, Q заданными являются активная и реактивная мощности, искомыми - модуль и фаза напряжения;
- б) в узлах типа P, U заданными являются активная мощность и модуль напряжения, искомыми - реактивная мощность и фаза напряжения;
- в) в узлах типа U, ψ заданными являются модуль и фаза напряжения, искомыми - активная и реактивная мощности.

Вышеприведенную структуру задания узловой исходной информации назовем стандартной или традиционной, согласно которой из четырех УРП (P, Q, U, ψ) для каждого узла два считаются искомыми, а остальные два - заданными.

Все известные алгоритмы и программы расчета УР ЭС ориентированы на традиционную форму задания исходной информации [1, 2], которая предъявляет жесткие требования к составу независимой исходной информации. Следует отметить, что при воспроизведении состояния ЭС на основании информации, получаемой по каналам связи, порой невозможно всю полученную информацию включить в состав узловой информации, так как при этом может нарушиться традиционная форма задания исходной информации. Так, например, если в сетевом узле ($P=0, Q=0$) измеряется модуль напряжения, то из P, Q, U можно использовать либо P, U , либо P, Q , т.е. один из известных параметров невозможно включить в состав исходной информации. В этой связи весьма актуальной является разработка алгоритмов и программ расчета УР ЭС, использующих любую форму задания исходной информации.

Поскольку число действительных уравнений УР ЭС, составленных методом узловых потенциалов, равно $2n$ (n - число узлов ЭС), то из $4n$ УРП $2n$ являются искомыми, а остальные $2n$ - заданными.

Отметим, что не всякий вектор из $2n$ УРП может служить вектором узловой исходной информации.

Обозначим через $G(i)$ - множество узлов, инцидентных i - му узлу; $M(i)$ - окрестность узла i ; $M(i) = G(i) \cup i$; h_i - число заданных УРП в узле i ; $d_i = 4 - h_i$ - число искомых УРП в узле i .

Комплексное уравнение для узла i

$$f_i = \hat{S}_i - \hat{U}_i \sum_{j \in M(i)} Y_{ij} \dot{U}_j = 0 \quad (1)$$

расщеляется на два действительных уравнения:

$$\begin{cases} f'_i = P_i - \text{Re}(\hat{U}_i \sum_{j \in M(i)} Y_{ij} \dot{U}_j) = 0, & i = \overline{1, n}, \\ f''_i = -Q_i - \text{Im}(\hat{U}_i \sum_{j \in M(i)} Y_{ij} \dot{U}_j) = 0, & i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

УРП узла i назовем доминирующими для функции $f_i(f'_i, f''_i)$.

Обозначим через X'_i и X''_i - множества искомых УРП, содержащихся соответственно в функциях f'_i и f''_i . Каждой функции f'_i и f''_i припишем по одной переменной $x'_i \in X'_i$, $x''_i \in X''_i$ и примем, что уравнение $f'_i = 0$ ($f''_i = 0$) дает информацию относительно переменной x'_i (x''_i), которая является аннулирующей для функций f'_i (f''_i). Система (2) имеет решение при условиях, если каждое уравнение системы (1) дает информацию и каждая переменная является аннулирующей только для одной функции. Вектор узловой исходной информации, который удовлетворяет последнему условию, назовем корректным.

Любой корректный вектор узловой исходной информации является полным и независимым. Свойство полноты вектора узловой исходной информации означает, что он содержит n комплексных или $2n$ действительных компонентов. Свойство независимости вектора узловой исходной информации означает, что его любой компонент не может быть выражен через остальные, используя уравнения УР.

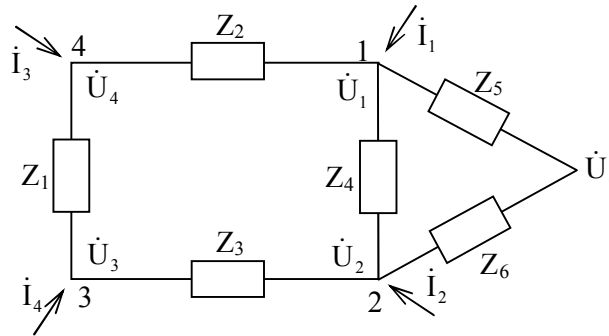


Рис. 1

Покажем, что свойство корректности вектора исходной узловой информации является инвариантным по отношению к выбору формы записи уравнений УР. Поскольку при записи уравнений УР в обращенной форме каждая переменная может быть выбрана аннулирующей для любого уравнения, то может сложиться неверное впечатление, что любой вектор из $2n$ УРП может служить вектором узловой исходной информации. Покажем, что если вектор узловой исходной информации является некорректным при записи уравнений УР в необращенной форме, то он является некорректным и при записи уравнений УР в любой форме. Обсудим этот вопрос на примере рис. 1.

Без ущерба для общности рассмотрим линейную (линеаризованную) систему уравнений УР в обращенной и необращенной формах. Сначала рассмотрим структуру вектора узловой исходной информации. В базисном узле (0) задано напряжение $\dot{U}_0$, в узле номер 1- комплексные напряжение $(\dot{U}_1)$ и узловой ток $(\dot{I}_1)$, в узлах с номерами 2, 3 - комплексные напряжения $(\dot{U}_2$ и $\dot{U}_3)$. Число заданных узловых режимных комплексных параметров равно пяти, т.е. обеспечено свойство полноты вектора узловой исходной информации. Нетрудно заметить, что нарушено свойство независимости вектора узловой исходной информации, поскольку уравнение

$$Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2 + Y_{13}\dot{U}_3 + Y_{10}\dot{U}_0 = \dot{I}_1 \quad (3)$$

содержит только переменные из вектора узловой исходной информации. Таким образом, вектор узловой исходной информации является некорректным. Покажем, что задача расчета УР в обращенной форме с некорректным вектором исходной информации также является некорректной.

Рассмотрим уравнение УР для схемы рис. 1 в обращенной форме:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{U}_0 + Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 + Z_{13}\dot{I}_3 + Z_{14}\dot{I}_4, \\ \dot{U}_2 = \dot{U}_0 + Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 + Z_{23}\dot{I}_3 + Z_{24}\dot{I}_4, \\ \dot{U}_3 = \dot{U}_0 + Z_{31}\dot{I}_1 + Z_{32}\dot{I}_2 + Z_{33}\dot{I}_3 + Z_{34}\dot{I}_4, \\ \dot{U}_4 = \dot{U}_0 + Z_{41}\dot{I}_1 + Z_{42}\dot{I}_2 + Z_{43}\dot{I}_3 + Z_{44}\dot{I}_4. \end{cases} \quad (4)$$

Поскольку $\dot{U}_0$, $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$, $\dot{U}_3$ и $\dot{I}_1$ заданы, то искомые $\dot{I}_2$, $\dot{I}_3$ и $\dot{I}_4$ можно определить, решая совместно первые три уравнения системы уравнений (4):

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} \\ Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_1 - \dot{U}_0 - Z_{11}\dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 - \dot{U}_0 - Z_{21}\dot{I}_1 \\ \dot{U}_3 - \dot{U}_0 - Z_{31}\dot{I}_1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Система (5) не имеет решение, поскольку

$$\Delta_{41} = \begin{vmatrix} Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} \\ Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} \end{vmatrix} = 0, \quad (6)$$

где Δ_{41} - минор элемента Z_{41} матрицы узловых сопротивлений.

Равенство (6) следует из очевидного соотношения

$$Y_{41} = -\frac{\Delta_{41}}{\det(Z)} = 0. \quad (7)$$

Отметим, что в общем случае разложение искомых по функциям неоднозначно, и от структуры искомых и способа их разложения существенным образом зависит сходимость итерационного процесса решения системы нелинейных уравнений (1).

Перечислим некоторые особенности задания аннулирующих переменных. При записи уравнений УР в виде небаланса комплексной мощности в необращенной форме (1) величины P_i и Q_i могут быть аннулирующими только для функций f_i , а переменные U_i' и U_i'' - для функций узлов множества $M(i)$. При записи уравнений в обращенной форме нет никаких ограничений в выборе аннулирующих переменных, если вектор узловой исходной информации является корректным. Желательно, чтобы аннулирующая переменная являлась также и доминирующей.

Пример расчета. Для схемы, приведенной на рис. 2, определим искомые УРП (исходная информация задана в нестандартной форме).

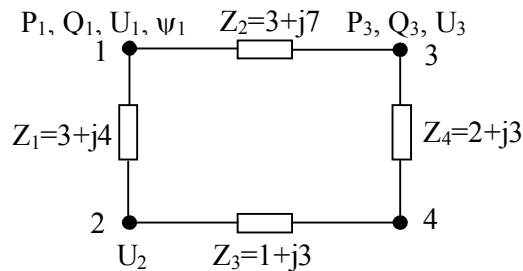


Рис. 2

Для схемы рис. 2 имеем: $h_1=4$, $h_2=1$, $h_3=3$, $h_4=0$. Ниже приведены два варианта разложения, а также результаты расчета УР:

$$\begin{aligned} f_1'(\Psi_2) &= 0, & f_1'(\Psi_3) &= 0, \\ f_1''(\Psi_3) &= 0, & f_1''(\Psi_2) &= 0, \\ f_2'(P_2) &= 0, & f_2'(P_2) &= 0, \\ f_2''(Q_2) &= 0, & f_2''(Q_2) &= 0, \\ f_3'(U_4) &= 0, & f_3'(\Psi_4) &= 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_3''(\Psi_4) &= 0, & f_3''(U_4) &= 0, \\ f_4'(P_4) &= 0, & f_4'(P_4) &= 0, \\ f_4''(Q_4) &= 0, & f_4''(Q_4) &= 0. \end{aligned}$$

Таблица

Исходные параметры							
P ₁	Q ₁	U ₁	ψ ₁	U ₂	P ₃	Q ₃	U ₃
91,7	32,6	112,5	0	110,7	-80,3	-30,5	110,2
Искомые параметры							
P ₂	Q ₂	ψ ₂	ψ ₃	P ₄	Q ₄	U ₄	ψ ₄
-60,4	-30,2	-0,73	-1,1	50,4	30,6	111,3	-0,66

Для решения задачи с одной и той же точностью при первом варианте разложения потребовалось 7 итераций, при втором варианте - 11, а при стандартной форме задания исходной информации - 6 итераций. Результаты расчета УР приведены в таблице (мощности заданы в МВт и МВАр, напряжения - в кВ, углы - в градусах, сопротивления - в Ом).

Таким образом, для повышения оперативности и точности воспроизведения УР электрических систем на основе информации, получаемой по телеканалам связи, необходимо использовать модели расчета УР, оперирующие с любой формой задания исходной информации. Задача расчета УР электрической системы является корректной, если вектор исходной узловой информации является полным и независимым. Свойство корректности вектора исходной узловой информации является инвариантным по отношению к выбору формы записи уравнений установившегося режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Идельчик В.И.** Расчеты установившихся режимов электрических систем. - М.: Энергия, 1977. - 190 с.
2. **Жуков Л.А., Стратан И.П.** Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем. - М.: Энергия, 1979. - 415 с.

ЗАО "Институт энергетики" РА. Материал поступил в редакцию 29.03.2000.

Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

**ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՍՏԱՏՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՇՎԱՐԳԸ ՆԱԽԱԿԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՈՉ ԱՎԱՆԴԱԿԱՆ ՏՐՄԱՆ
ԴԵՂՔՈՒՄ**

Դիտարկվում է էլեկտրական համակարգի հաստատված ռեժիմի հաշվարկը, երբ խախտված է հանգուցային պարամետրերի նախնական տվյալների տրման ավանդական տեսքը: Նախնական ինֆորմացիայի ոչ ավանդական տրման դեպքում ստացված են այն պայմանները, որոնց բավարարման դեպքում հնարավոր է իրագործել հաստատված ռեժիմի հաշվարկը:

V. S. SAFARYAN

***STEADY-STATE CONDITION CALCULATION OF ELECTRICAL SYSTEM
IN NON-TRADITIONAL FORM OF INITIAL INFORMATION TASK***

Steady-state condition calculation problem in violation of traditional form for initial knot information is considered. Conditions are deduced and by observing them the steady-state calculation is possible to realize by non-traditional form of knot information task.