В.П. АРАКЕЛЯН, В.М. БАЛАБЕКЯН

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАДИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Разработана методика расчета установившихся режимов радиальных электрических сетей, обладающая надежной сходимостью итерационного процесса.

Ключевые слова: установившийся режим, радиальная сеть, сходимостью, комплексный коэффициент трансформации.

Для анализа и эффективного управления электроэнергетическими системами (ЭЭС) необходимо знать полную и достоверную информацию об их режимных параметрах, т.е. чаще производить расчеты установившегося режима.

Известно, что при задании исходной информации узлов в виде P, Q или $P, |u|$ установившийся режим описывается нелинейными уравнениями, которые могут быть решены лишь итерационными методами. Сходимость и быстрота решения этих уравнений зависят от обусловленности матрицы коэффициентов, начального приближения и итерационной схемы. В радиальных электрических сетях матрица проводимостей Y плохо обусловлена. Как показали многочисленные расчеты, уравнения установившихся режимов таких сетей обладают плохой сходимостью, а иногда имеют расходящийся характер.

Целью настоящей работы является разработка нового метода расчета установившегося режима радиальных сетей, обеспечивающего сходимостью итерационного процесса.

Используется обращенная форма представления состояния сети:

$$\dot{U} = \dot{U}_0 + Z\dot{I}, \quad (1)$$

где $\dot{U}$ - искомый вектор комплексных узловых напряжений; $\dot{I}$ - вектор комплексных узловых токов, равный

$$\dot{I} = (\hat{U}_d)^{-1} \hat{S}; \quad (2)$$

$\hat{S}$ - вектор узловых комплексных мощностей; Z - матрица узловых собственных и взаимных сопротивлений; $\dot{U}_0$ - вектор комплексных узловых напряжений холостого хода, равный

$$\dot{U}_0 = -ZY_B \dot{U}_B; \quad (3)$$

Y_B - столбик комплексной матрицы узловых проводимостей, соответствующий базисному узлу; $\dot{U}_B$ - комплексное напряжение базисного узла; $\hat{U}_d$ - диагональная матрица сопряженных комплексных напряжений.

Использование обращенной формы представления состояния сети вызвано тем, что определение матрицы Z для радиальных сетей можно произвести без обращения матрицы проводимостей Y (поперечные элементы, если таковые есть, заменяются нелинейными источниками тока). Основная идея предлагаемого подхода основана тем, что если при векторе $\dot{S}$ узловых мощностей существует решение уравнений установившихся режимов, то оно существует и при векторе $\dot{S} = \mu \dot{S}'$, где $0 \leq \mu \leq 1$. Так как функция $S = f(U)$ является однозначной и непрерывной, то справедливо следующее утверждение: если для S' имеется U' так, что $S' = f_1(U')$, и для S'' имеется U'' так, что $S'' = f_2(U'')$, то в силу непрерывности функции $S = f(U)$ можно утверждать, что для любого S

$$S_i = \mu_i S'_i + (1 - \mu_i) S''_i, \quad 0 \leq \mu_i \leq 1 \quad (4)$$

найдется такое U , что $S = f(U)$ и

$$\dot{U}_i = \alpha_i \dot{U}'_i + (1 - \alpha_i) \dot{U}''_i, \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1. \quad (5)$$

Взяв в качестве точки S' холостой режим ($S' = 0$; $\dot{U} = \dot{U}_0$) и приравняв все коэффициенты μ , получим следующее утверждение: если при векторе S' существует режим, то он существует и при векторе

$$S = \mu S', \quad 0 \leq \mu \leq 1. \quad (6)$$

Для решения системы уравнений (1) и (2) используем метод Ньютона. Предварительно (1) и (2) представим в следующей форме:

$$f_i = (-\dot{U}_i + \dot{U}_{0i} + \sum_{j=1}^n Z_{ij} \hat{S}_j / \hat{U}_j) = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

где n – число независимых узлов сети;

$$f'_i = \text{Re}(-\dot{U}_i + \dot{U}_{0i} + \sum_{j=1}^n Z_{ij} \hat{S}_j / \hat{U}_j) = 0, \quad (8)$$

$$f''_i = \text{Im}(-\dot{U}_i + \dot{U}_{0i} + \sum_{j=1}^n Z_{ij} \hat{S}_j / \hat{U}_j) = 0.$$

Решение системы (8) определяется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} U' \\ U'' \end{bmatrix}^{k+1} = \begin{bmatrix} U' \\ U'' \end{bmatrix}^k - \begin{bmatrix} \partial f' / \partial U'' & \partial f' / \partial U' \\ \partial f'' / \partial U'' & \partial f'' / \partial U' \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} f' \\ f'' \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где k – номер итерации.

Решение (9) считается допустимым, если $\max(|S_i - S_i^p|) \leq \Delta S$,

где S_i^p – комплексная мощность i -го узла, определяемая расчетным путем; ΔS – допустимая погрешность.

Указанный метод позволяет учесть комплексные коэффициенты трансформации, параллельные ветви, поперечные емкости, комплексные шунты, разные способы задания информации и произвольную нумерацию узлов. Если установившийся режим имеет решение, то метод позволяет найти его.

На основании вышеизложенного разработан алгоритм и составлена программа определения установившихся режимов электрических сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафарян В.С. Метод расчета установившихся режимов электрических систем // Известия вузов СССР. Энергетика. – 1982. - № 1. - С. 12-15.
2. Будзко И.А., Степанова В.Н. Электрические линии и сети сельскохозяйственного назначения // М.: Сельхозгиз, 1962. - 164 с.
3. Хачатрян В. С., Этмекчян Э. А., Аракелян В. П. Упрощенный метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Электричество.-1992. – № 2.- С.9-14.
4. Брамлер А., Аллан Р., Хэмэн Я. Слабозаполненные матрицы // М.: Энергия, 1979. - 192 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 23.11.1999.

**Վ.Պ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Վ.Մ. ԲԱԼԱԲԵԿՅԱՆ,
ՀԱՌԱՎՂԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵՃԻՄԻ
ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԱՍԻՆ**

Մշակված է շառավղային էլեկտրական ցանցերի կայունացված ռեժիմի հաշվարկման մեթոդիկա, որն ապահովում է խտերացիոն գործընթացի հուսալի զուգամիտություն:

V.P. ARAKELYAN, V.M. BALABEKYAN,

**ON STEADY-STATE CONDITION DETERMINATION OF RADIAL
ELECTRIC NETWORKS**

Radial electric network steady-state condition calculation technique possessing dependable convergence of the iteration process is developed.