ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2000. Т. LIII, № 2.

УДК 621.311.001.24 ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, С.Г. АКОПЯН, М.Г. ТАМРАЗЯН, А.А. НАШАТ

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ЭЭС МЕТОДОМ КЛАССИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Вводится понятие расчета дооптимального допустимого установившегося режима, при котором учитываются ограничения типа неравенств, налагаемые на режимные переменные станционных узлов, благодаря чему модель нелинейного программирования оптимизации режима ЭЭС реализуется классическим методом Лагранжа.

Ключевые слова: модель, математическое программирование, электроэнергетическая система, активные и реактивные мощности, режим.

В последние годы при реализации математических моделей нелинейного программирования успешно применяется метод классического программирования [1,2]. Это связано с расчетом дооптимального допустимого установившегося режима, при котором учитываются ограничения типа неравенств, налагаемые на управляемые переменные станционных узлов.

В отличие от вышеотмеченных работ, в которых в качестве управляемых переменных выбираются активные мощности и модули напряжений (P-U), в настоящей работе выбираются активные и реактивные мощности (P-Q) электрических станций. Рассматривается следующая математическая модель оптимизации режима электроэнергетической системы (ЭЭС):

$$\min F(P) = \min \sum_{m=0}^{\Gamma} F_m(P_m), \tag{1}$$

$$\Phi_{pm} = P_m - \varphi_{pm}(U,\Psi) = 0, \;\; \Phi_{qm} = Q_m - \varphi_{qm}(U,\Psi) = 0, \tag{2}$$

$$P_m^{min} \le P_m \le P_m^{max}, \quad Q_m^{min} \le Q_m \le Q_m^{max}, \quad U_m^{min} \le U_m \le U_m^{max}, \tag{3}$$

где m принимает значения от нуля до Г.

Ограничения типа неравенств (3) учитываются при расчете дооптимального допустимого установившегося режима [3]. При этом из математической модели (1)-(3) исключаются условия (3), а модель (1), (2) реализуется методом классического программирования.

Из необходимого условия минимума вытекают следующие системы нелинейных алгебраических уравнений:

$$\partial F_0 / \partial P_0 - \lambda_{p0} = 0, \tag{4}$$

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_m} & | & \dfrac{\partial \Phi_{qm}}{\partial P_m} \\ --- & | & --- \\ \dfrac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_m} & | & \dfrac{\partial \Phi_{qm}}{\partial Q_m} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_{pm} \\ --- \\ \lambda_{qm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial F_m}{\partial P_m} \\ --- \\ 0 \end{bmatrix}, \tag{5}$$

$$
\begin{bmatrix}
\dfrac{\partial\Phi_{pm}}{\partial U_m} & | & \dfrac{\partial\Phi_{qm}}{\partial U_m} \\
--- & | & --- \\
\dfrac{\partial\Phi_{pm}}{\partial \Psi_m} & | & \dfrac{\partial\Phi_{qm}}{\partial \Psi_m}
\end{bmatrix}
\times
\begin{bmatrix}
\lambda_{pm} \\ --- \\ \lambda_{qm}
\end{bmatrix}
= -
\begin{bmatrix}
\dfrac{\partial\Phi_{p0}}{\partial U_m} \\ --- \\ \dfrac{\partial\Phi_{p0}}{\partial \Psi_{um}}
\end{bmatrix}
\lambda_{p0}, \qquad (6)
$$

где $\lambda_{p0}, \lambda_{pm}, \lambda_{qm}$ – множители Лагранжа.

Частные производные, входящие в квадратные матрицы (5) и (6), определяются в виде:

- при одинаковых индексах:

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial\varphi_{pm}}{\partial P_m} &= A_m + C_m P_m + \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \alpha_{mn} P_n + \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \beta_{mn} Q_n, \\
\frac{\partial\varphi_{qm}}{\partial P_m} &= -B_m + D_m P_m + \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \gamma_{mn} P_n + \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \delta_{mn} Q_n, \\
\frac{\partial\varphi_{pm}}{\partial Q_m} &= B_m + C_m Q_m + \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \alpha_{mn} Q_n - \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \beta_{mn} P_n, \\
\frac{\partial\varphi_{qm}}{\partial Q_m} &= A_m + D_m Q_m + \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \gamma_{mn} Q_n - \sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^{\Gamma} \delta_{mn} P_n;
\end{aligned} \qquad (7)
$$

с другой стороны,

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial\Psi_{um}} &= -\left[Q_m - (P_m^2 + Q_m^2)\gamma_{mm}\right], \quad & \frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial U_m} &= \frac{1}{U_m}\left[P_m - (P_m^2 + Q_m^2)\alpha_{mm}\right], \\
\frac{\partial\Phi_{qm}}{\partial\Psi_{um}} &= \left[P_m - (P_m^2 + Q_m^2)\alpha_{mm}\right], \quad & \frac{\partial\Phi_{qm}}{\partial U_m} &= \frac{1}{U_m}\left[Q_m - (P_m^2 + Q_m^2)\gamma_{mm}\right],
\end{aligned} \qquad (8)
$$

- при разных индексах:

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial\varphi_{pn}}{\partial P_m} &= \alpha_{nm} P_n - \beta_{nm} Q_n, \quad & \frac{\partial\varphi_{qn}}{\partial P_m} &= \gamma_{nm} P_n - \delta_{nm} Q_n, \\
\frac{\partial\varphi_{qn}}{\partial Q_m} &= \alpha_{nm} Q_n + \beta_{nm} P_n, \quad & \frac{\partial\varphi_{qn}}{\partial Q_m} &= \gamma_{nm} Q_n + \delta_{nm} P_n,
\end{aligned} \qquad (9)
$$

а также :

$$
\frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial\Psi_{un}} = \left[\left(P_m P_n + Q_m Q_n\right)\beta_{nm} + \left(P_m Q_n - Q_m P_n\right)\delta_{nm}\right],
$$

$$
\frac{\partial\Phi_{pm}}{\partial U_n} = \frac{1}{U_n}\left[\left(P_m P_n + Q_m Q_n\right)\alpha_{nm} + \left(P_m Q_n - Q_m P_n\right)\beta_{nm}\right],
$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} = \left[(P_m P_n + Q_m Q_n)\delta_{nm} - (P_m Q_n - Q_m P_n)\gamma_{nm}\right],$$
$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} = \frac{1}{U_n}\left[(P_m P_n + Q_m Q_n)\gamma_{nm} + (P_m Q_n - Q_m P_n)\delta_{nm}\right]. \qquad (10)$$

Частные производные $\partial\Phi_{p0}/\partial U_m$ и $\partial\Phi_{p0}/\partial\Psi_{um}$ определяются в виде

$$\frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial U_m} = -U_0[g_{0m}\cos(\Psi_{u0}-\Psi_{um}) + b_{0m}\sin(\Psi_{u0}-\Psi_{um})],$$
$$\frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial \Psi_{um}} = -U_0[g_{0m}\sin(\Psi_{u0}-\Psi_{um}) - b_{0m}\cos(\Psi_{u0}-\Psi_{um})]U_m. \qquad (11)$$

Если матричное уравнение (6) позволяет определить численные значения неопределенных множителей λ_{pm} и λ_{qm}:

$$\begin{bmatrix} \lambda_{pm} \\ --- \\ \lambda_{qm} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} & | & \dfrac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} \\ --- & | & --- \\ \dfrac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} & | & \dfrac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{p0}}{\partial U_n} \\ --- \\ \dfrac{\partial \Phi_{p0}}{\partial \Psi_{un}} \end{bmatrix} \times \lambda_{p0}, \qquad (12)$$

то матричное уравнение (5) устанавливает численные значения управляемых переменных P_m, Q_m:

$$\begin{bmatrix} P_m \\ --- \\ Q_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M^1_{mn} & | & M^2_{mn} \\ --- & | & --- \\ M^3_{mn} & | & M^4_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} T^{I}_m \\ --- \\ T^{II}_m \end{bmatrix}. \qquad (13)$$

Элементы блоков квадратной неособенной матрицы (13) являются функциями режимных параметров станционных узлов и неопределенных множителей λ_{pm}, λ_{qm}.

На основании вышеприведенных выражений предлагается соответствующий вычислительный алгоритм, сущность которого заключается в следующем. В качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности нагрузочных узлов. Выбором активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов из заданной области их существования осуществляется расчет допустимого установившегося режима. Соответствующая система уравнений решается методом Ньютона-Рафсона, при этом устанавливается численное значение элементов допустимой матрицы Якоби. Транспонированную матрицу используют в выражении (12). Из (4), определяя численное значение λ_{p0} и используя его в (12), устанавливают значения множителей λ_{pm} и λ_{qm}.

На основании имеющихся допустимых режимных параметров и множителей λ_{pm}, λ_{qm} определяются численные значения подматриц, входящих в (13). Затем определяются новые значения управляющих параметров P_m и Q_m активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов. Этим завершается первый этап итерации по расчету оптимального режима исследуемой ЭЭС.

На основании полученных новых значений P_m и Q_m осуществляется расчет нового допустимого установившегося режима и устанавливаются численные значения элементов матрицы Якоби. Дальнейшие действия осуществляются вышеописанным способом. В качестве критерия сходимости принимаются допустимые небалансы активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Ибрахим А.И.** Оптимизация режима ЭЭС по реактивным мощностям прямым методом математического программирования при Z- форме задания состояния сети // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 1997. -Т. 50, ¹ 2. - С. 89-95.
2. **Хачатрян В.С., Тамразян М.Г., Каримян А.С.** Оптимизация режима ЭЭС по P-U параметрам электрических станций // Сб. докл. 1-й межд.энерг.конф. в Армении. – Ереван, 1998. - С. 255-257.
3. **Хачатрян К.В., Нашат А.А., Мкртчян Г.С.** Расчет допустимого установившегося режима Z-эквивалентированной ЭЭС // Моделирование, оптимизация и управление: Сб. науч.тр.-2000. - Вып. 3. - С.104-109.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.02.1999.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Մ.Գ. ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ,
Ա.Ա. ՆԱՇԱՏ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ ԴԱՍԱԿԱՆ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Թույլատրելի մինչլավարկման կայունացված ռեժիմի հաշվառմամբ, երբ նկատի են առնվում կայանային հանգույցների փոփոխականների վրա դրված անհավասարության տեսքի սահմանափակումները, ԷԷՀ-ի ոչ գծային ծրագրավորման մաթեմատիկական մոդելն իրացվում է Լագրանժի դասական մեթոդով:

V.S. KHACHATRIAN, S.H. HAKOPYAN, M.G. TAMRAZYAN,
NASHAT ABO AMASH

COMPLEX MODE OPTIMIZATION OF THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING SYSTEM BY THE CLASSICAL PROGRAMMING METHOD

Preoptimal admissible steady-state condition calculation is presented, taking into consideration constraints of equality type imposed on mode variables of stationary nodes. The nonlinear mode optimization programming of the electrical power system is realized by the Lagrange classical method.