Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVI, № 2—3, 1993, с. 77—82.

ЭНЕРГЕТИКА

УДК.621.371.1.001.24

Н. М. ЭЛЬ САИД, Я. С. АБДУЛРАХИМ, М. Г. ТАМРАЗЯН

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ПРИРОСТЫ ПОТЕРЬ МОЩНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Предлагается метод определения частных производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным и реактивным мощностям электрических станций. Рассматривается случай, когда относительно станционных узлов заданы активные и реактивные мощности: Метод иллюстрирован численным примером.

Табл. 4. Библиогр.: 9.

Առաջարկվում է մեթոդ ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների կորուստների՝ ըստ կայանների ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների ածանցման համար։ Դիտարկվում է այն դեպքը, երբ կայանային հանգույցների նկատմամբ տրված են ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունները։ Մեթոդը ներկայացված է թվային խնդրի լուծմամբ։

Одним из важных вопросов при оптимизации режимов электроэнергетической системы (ЭЭС) является вопрос учета состояния ее сети. Первой принципиальной работой, посвященной вопросу определения потерь мощностей и их относительных приростов, является [1], в которой для решения задачи используется возможность собственных значений и собственных чисел матриц. После этой работы появились и другие [2, 3], которые в теоретическом плане не отличаются от [1]. Вторая принципиальная работа была [4], в которой вопрос определения относительных приростов рассматривается как следствие расчета установившегося режима с применением метода Ньютона-Рафсона. После этой работы появились также [5, 6], аналогичные в теоретическом плане работ [4]. Третьей принципиальной работой является [7], в которой, учитывая исходную информацию, заданную относительно независимых станционных узлов, предлагаются точные методы определения относительных приростов потерь мощностей.

Настоящая работа основывается на идее [7], однако используются функции потерь активной (Па) и реактивной (Пр) мощностей, приведенных в [8]:

$$\Pi_a = \sum_{m=0}^{r} \sum_{n=0}^{r} \left[(I'_m I'_n + I''_m I''_n) R_{m,n} - (I'_m I''_n - I''_m I'_n) x_{m,n} \right], \tag{1}$$

$$\Pi_p = \sum_{m=0}^{r} \sum_{n=0}^{r} \left[(I'_m I'_n + I''_m I''_n) X_{m,n} + (I'_m I''_n - I''_m I'_n) R_{m\cdot n} \right]. \tag{2}$$

Используя известные выражения

$$I'_m = \frac{1}{U_m} (P_m \cos\psi_{um} + Q_m \sin\psi_{um}), \tag{3}$$

$$I_m = \frac{1}{U_m}(P_m \sin\psi_{um} - Q_m \cos\psi_{um}), \tag{4}$$

формулы потерь мощностей можно представить в виде

$$П_а = \sum_{m=0}^{г}\sum_{n=0}^{г}[(P_m P_n + Q_m Q_n)\alpha_{mn} - (P_m Q_n - Q_m P_n)\beta_{mn}], \tag{5}$$

$$П_р = \sum_{m=0}^{г}\sum_{n=0}^{г}[(P_m P_n + Q_m Q_n)\gamma_{mn} - (P_m Q_n - Q_m P_n)\delta_{mn}], \tag{6}$$

где

$$\alpha_{mn} = \frac{R_{m,n}}{U_m U_n}\cos(\psi_{um} - \psi_{un}) + \frac{X_{m,n}}{U_m U_n}\sin(\psi_{um} - \psi_{un}), \tag{7}$$

$$\beta_{mn} = -\frac{R_{m,n}}{U_m U_n}\sin(\psi_{um} - \psi_{un}) - \frac{X_{m,n}}{U_m U_n}\cos(\psi_{um} - \psi_{un}), \tag{8}$$

$$\gamma_{mn} = \frac{X_{m,n}}{U_m U_n}\cos(\psi_{um} - \psi_{un}) - \frac{R_{m,n}}{U_m U_n}\sin(\psi_{um} - \psi_{un}), \tag{9}$$

$$\delta_{mn} = -\frac{X_{m,n}}{U_m U_n}\sin(\psi_{um} - \psi_{un}) - \frac{R_{m,n}}{U_m U_n}\cos(\psi_{um} - \psi_{un}). \tag{10}$$

Согласно выражениям (5) и (6), потери активной и реактивной мощностей непосредственно зависят от активных и реактивных мощностей станционных узлов. Однако, учитывая выражения (7)—(10), потери активной и реактивной мощностей в виде неявновыраженной функции можно представить в виде

$$П_а = П_а(P_m, Q_m, U_m, \Psi_{um}), \tag{11}$$

$$П_р = П_р(P_m, Q_m, U_m, \Psi_{um}). \tag{12}$$

Необходимо отметить, что режимные параметры P_m, Q_m, U_m и Ψ_{um} связаны между собой с помощью уравнения установившегося режима ЭЭС. В связи с этим указанное уравнение также необходимо представить в виде неявной функции, как (11) и (12).

Для установления аналитических выражений указанных уравнений необходимо пользоваться математической моделью установившегося режима, полученной в [8]

$$\dot{U}_m = \dot{U}_{\Sigma Н,Б} + \sum_{n=1}^{г} Z_{m,n}\dot{I}_n. \tag{13}$$

Умножая уравнение (13) на $\hat{I}_m$, разлагая на действительные, мнимые составляющие и пользуясь (3) и (4), установим следующие уравнения связи:

$$\Phi_p = P_m - [P_{mБ} + \varphi_{pm}(P_m, Q_m, U_m, \Psi_{um})] = 0, \tag{14}$$

$$\Phi_q = Q_m - [Q_{mБ} + \varphi_{qm}(P_m, Q_m, U_m, \Psi_{um})] = 0, \tag{15}$$

где

$$P_{mБ} = \frac{U'_{\Sigma н, Б}}{U_m}(P_m \cos \Psi_{um} + Q_m \sin \Psi_{um}) -$$

$$- \frac{U''_{\Sigma н, Б}}{U_m}(P_m \sin \Psi_{um} - Q_m \cos \Psi_{um}), \tag{16}$$

$$Q_{m, Б} = - \frac{U'_{\Sigma н, Б}}{U_m}(P_m \cos \Psi_{um} + Q_m \sin \Psi_{um}) +$$

$$+ \frac{U'_{\Sigma н, Б}}{U_m}(P_m \cos \Psi_{um} + Q_m \sin \Psi_{um}). \tag{17}$$

$$\varphi_{pm} = \sum_{n=1}^{r} [(P_m P_n + Q_m Q_n)\alpha_{mn} + (P_m Q_n - Q_m P_n)\beta_{mn}], \tag{18}$$

$$\varphi_{mq} = \sum_{n=1}^{r} [(P_m P_n + Q_m Q_n)\gamma_{mn} + (P_m Q_n - Q_m P_n)\delta_{mn}], \tag{19}$$

$$U'_{\Sigma н, Б} = Re(\dot{U}_{\Sigma н, Б}), \qquad U''_{\Sigma н, Б} = Jm(\dot{U}_{\Sigma н, Б}). \tag{20}$$

Выражение $\dot{U}_{\Sigma н, Б}$ приведено в [8].

Далее (14) и (15) приводятся в следующем виде:

$$\Phi_p(P_m, Q_m, U_m, \Psi_{um}) = 0, \tag{21}$$

$$\Phi_q(P_m, Q_m, U_m, \Psi_{um}) = 0. \tag{22}$$

Рассматривается случай, когда относительно независимых станционных узлов в качестве исходной информации считаются заданными активные и реактивные мощности. При этом выражения исходных относительных приростов определяются в виде

$$\frac{\partial П_а}{\partial P_0} = \left(\frac{\partial П_а}{\partial P_0}\right), \qquad \frac{\partial П_а}{\partial Q_0} = \left(\frac{\partial П_а}{\partial Q_0}\right), \tag{23}$$

$$\frac{\partial П_р}{\partial P_0} = \left(\frac{\partial П_р}{\partial P_0}\right), \qquad \frac{\partial П_р}{\partial Q_0} = \left(\frac{\partial П_а}{\partial Q_0}\right), \tag{24}$$

поскольку

$$\frac{\partial U_0}{\partial P_m} = \frac{\partial U_0}{\partial Q_m} = 0, \qquad \frac{\partial \Psi_{u0}}{\partial P_m} = \frac{\partial \Psi_{u0}}{\partial Q_m} = 0. \tag{25}$$

С другой стороны,

$$\frac{\partial П_а}{\partial P_m} = \left(\frac{\partial П_а}{\partial P_m}\right) + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial П_а}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial P_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial П_а}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_m}, \tag{26}$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m} = \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m}\right) + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial Q_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial Q_m}, \tag{27}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m} = \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m}\right) + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial P_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial Q_m}, \tag{28}$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m} = \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m}\right) + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial Q_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial Q_m}. \tag{29}$$

Частные производные $(\partial \Pi_a/\partial P_m)$, $(\partial \Pi_a/\partial Q_m)$, $(\partial \Pi_p/\partial P_m)$, $(\partial \Pi_p/\partial Q_m)$, а также $(\partial \Pi_a/\partial U_n)$, $\partial \Pi_a/\partial \Psi_{un}$, $\partial \Pi_p/\partial U_n$ и $\partial \Pi_p/\partial \Psi_{un}$ определяются непосредственно из аналитического выражения функций потерь активной и реактивной мощностей (5) и (6).

Частные производные $\partial U_n/\partial P_m$, $\partial \Psi_{un}/\partial P_m$ и $\partial U_n/\partial Q_m$, $\partial \Psi_{un}/\partial Q_m$ определяются на основании функций (14) и (15), при которых можем записать

$$\left\{\begin{aligned} &\frac{\partial \Phi_p}{\partial P_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_p}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial P_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_p}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_m} = 0, \\ &\frac{\partial \Phi_q}{\partial P_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_q}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial P_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_q}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_m} = 0, \end{aligned}\right. \tag{30}$$

$$\left\{\begin{aligned} &\frac{\partial \Phi_p}{\partial Q_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_p}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial Q_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_p}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial Q_m} = 0, \\ &\frac{\partial \Phi_q}{\partial Q_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_q}{\partial U_u} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial Q_m} + \sum_{n=1}^{r} \frac{\partial \Phi_q}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial Q_m} = 0. \end{aligned}\right. \tag{31}$$

Из системы уравнений (30) определяются неизвестные частные производные типа $\partial U_n/\partial P_m$ и $\partial \Psi_{un}/\partial P_m$, а из (31) — частные производные $\partial U_n/\partial Q_m$ и $\partial \Psi_{un}/\partial Q_m$. Частные производные $\partial \Phi_p/\partial P_m$, $\partial \Phi_q/\partial P_m$, $\partial \Phi_p/\partial Q_m$, $\partial \Phi_q/\partial \Psi_{un}$, а также $\partial \Phi_p/\partial U_n$, $\partial \Phi_q/\partial U_n$, $\partial \Phi_p/\partial U_n$, $\partial \Phi_q/\partial \Psi_{un}$ определяются на основании функций (14) и (15).

Для иллюстрации предложенного метода исследуются схема одной ЭЭС и режим № 3, рассмотренные в [9]. Станционными являются узлы 0, 2, 5, 7, и 9, а нагрузочными — 1, 3, 4, 6 и 8.

В табл. 1—4 приводятся численные значения соответствующих частных производных.

Таблица 1

m	$\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_m}$	$\left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_m}\right)$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial P_m}$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_m}$
0	0,045975	0,045975	0,000000	0,000000
2	0,043196	0,025978	0,013725	0,003493
5	0,060159	0,031601	0,028435	0,000122
7	0,018798	0,004126	0,013661	0,001009
9	0,025314	0,008637	0,015936	0,001640

Таблица 2

m	$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m}$	$\left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m}\right)$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial Q_m}$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial Q_m}$
0	−0,010183	−0,010183	0,000000	0,000000
2	0,014244	0,006924	0,000073	0,007246
5	0,012662	0,006977	0,006041	−0,000356
7	0,049770	0,027515	0,022840	−0,000616
9	0,009953	0,011514	0,003763	−0,005324

Таблица 3

m	$\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m}$	$\left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m}\right)$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial P_m}$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial P_m}$
0	0,090083	0,090083	0,000000	0,000000
2	0,069368	0,041334	0,021372	0,006662
8	0,091377	0,048214	0,043446	−0,000284
7	0,045593	0,014639	0,030374	0,000579
9	0,058832	0,017036	0,036258	0,005537

Таблица 4

m	$\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m}$	$\left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m}\right)$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_n} \cdot \frac{\partial U_n}{\partial Q_m}$	$\sum_n \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{un}} \cdot \frac{\partial \Psi_{un}}{\partial Q_m}$
0	−0,022647	−0,022647	0,000000	0,000000
2	0,019872	0,009771	0,018094	−0,007993
5	0,020125	0,009272	0,009421	0,001431
7	0,110579	0,060179	0,050714	−0,000315
9	0,023226	0,032295	0,008997	−0,018067

ЛИТЕРАТУРА

1. *George E. E.* A new method of making transmission loss formulas directly from digital power flow Studies//IEEE Trans. — PAS — 79. — 1960. — № 46. — P. 1567—1573.
2. *Carpendier J. J.* Contribution a letude du dispatching economiquee//Bull de la soc. Franc. des Electr. — 1962. — V. 3. — Ser. 8. — P. 4 1 — 447.
3. *Carpentier J. J., Siroux J. J.* Loptimisation de la production a lelectricite de France//Bull. de la soc. Franc. des Electr. 1963. — Vol. 39. — Ser. 2. — P. 121—129.
4. *Van Nes J. E.* A note on incremental loss computation//IEE Trans. — PAS 82. — 1963. — P. 735—739.
5. *Dopuzo J. F., Klitin O. A., Stagg G. W., Watson M. M.* An optimization technique for real and reactive power allocation//IEEE Trans. — PAS 101. — 1967. — № 11. — P. 1877—1885.
6. *Meyer W. S., Albertson V. D.* Impoved loss formulas computation by odtimaliy ordered elimination techniques//IEEE Trans. — PAS — 90. — 1971. — № 1. — P. 62—69.
7. *Хачатрян В. С.* К вопросу об определении производных от потерь активной мощности по активным мощностям отдельных станций//Электричество. — 1967. — № 2. — С. 22—25.
8. *Аракелян В. П., Эль Саид И. М.* Формулы потерь мощностей электроэнергетических систем // Изв. АН Армении. Сер. Т. Н.—1992.—Т. 44, № 2.—С. 19—24.
9. *Хачатрян В. С., Этмекчян Э. А., Аракелян В. П.* Об одном упрощенном методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Электричество. — 1992.—№ 2.—С. 15—22.

ЕрПИ 5. IX. 1991

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVI, № 2—3, 1993, с. 82—86.

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 533.6.001.622

С. И. ЦАТУРЯН, С. С. МАРКЕЛОВ

К ЗАДАЧЕ О ПРОЦЕССЕ ПОЛНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ГАЗОВОГО ПОТОКА В МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ ПРИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Дифференциальные уравнения неизотермического неустановившегося движения газа в магистральном газопроводе при квадратичном законе сопротивления решены методом разделения переменных. Получены законы изменения расхода и давления газа в любом сечении газопровода для любого момента времени, из которых легко находится время полной стабилизации газового потока.

Библиогр.: 5 назв.

Գլխավոր գազամուղում գազի չհաստատված ոչ իզոթերմիկ շարժումը բնութագրող դիֆֆերենցիալ հավասարումները դիմադրության քառակուսային օրենքի առկայության դեպքում լուծված են փոփոխականների անջատման մեթոդով։ ժամանակի ցանկացած ակնթարթի և գազամուղի ցանկացած հատույթի համար ստացված են գազի ծախսման և ճնշման փոփոխման օրենքները, որոնցից դժվար չէ որոշել գազի հոսանքի լրիվ կայունության ժամանակը։