ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXII, 6, 1969 Серия технических наук

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНЦ

ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

1. Задача разработки алгоритма точного (эталонного метода) расчета частных производных от потерь активной π и реактивной q мощностей по параметрам P и Q режима энергосистемы является важным звеном в общей проблеме оптимизации современных энергосистем и их объединений. Частные производные:

$$\frac{\partial\pi}{\partial P_m};\quad \frac{\partial\pi}{\partial Q_m};\quad \frac{\partial q}{\partial P_m};\quad \frac{\partial q}{\partial Q_m},$$

где m—индекс независимых узлов многополюсника, эквивалентного схеме замещения энергосистемы, необходимы также для решения локальных задач минимизации потерь активной и реактивной мощностей в электрических сетях отдельных энергосистем и их узлов нагрузок. Кроме того, точный метод расчета необходим для оценки эффективности различных приближенных методов расчета таких производных, получивших распространение из-за отсутствия соответствующих средств вычислительной техники. В связи с появлением возможности использования в вычислительных центрах по энергетике более мощных и быстродействующих электронных цифровых машин (ЦМ) вопрос практического использования алгоритмов точного расчета частных призводных от π и q становится более актуальным. Настоящая статья посвящается двум алгоритмам точного расчета указанных частных производных и результатам сопоставления вычислительных возможностей программ, реализующих эти алгоритмы на ЦМ.

2. В качестве заданных принимаются: а) параметры: g_{mk} и b_{mk} — активная и реактивная проводимости многополюсника, эквивалентного схеме замещения исследуемой системы, где m, k — индексы внешних зажимов многополюсника, к которым подключены генераторные и нагрузочные элементы системы;

б) параметры: P_m, Q_m, U_m, ψ_m стационарного режима многополюсника, соответственно, активная и реактивная мощности, модули и фазы комплексных напряжений, действующих на $m = 1 \div n$ зажимах многополюсника.

Подлежат определению частные производные от потерь активной и реактивной мощностей в многополюснике по активным и реактивным мощностям генераторов и нагрузок, включенных к зажимам многополюсника, т. е.

$$\frac{\partial \pi}{\partial P_m};\ \frac{\partial \pi}{\partial Q_m};\ \frac{\partial q}{\partial P_m};\ \frac{\partial q}{\partial Q_m}.$$

Кроме этих частных производных, в процессе их расчета определяются частные производные от π и q по параметрам $U_k \psi_k$ режима многополюсника, т. е. $\frac{\partial \pi}{\partial U_k};\ \frac{\partial \pi}{\partial \psi_k};\ \frac{\partial q}{\partial U_k};\ \frac{\partial q}{\partial \psi_k}$, а также частные производные от параметров $P_m\, Q_m$ по параметрам $U_k \psi_k$ режима, т. е. $\frac{\partial P_m}{\partial U_k}\ \frac{\partial P_m}{\partial \psi_k}\ \frac{\partial Q_m}{\partial U_k}\ \frac{\partial Q_m}{\partial \psi_k}$.

3. Исходные уравнения, используемые для расчета частных производных: от P и Q по U и ψ, а также от π и q по U и ψ, имеют следующий вид [1]:

$$P_m = U_m \sum_{k=1}^{n} U_k\left[g_{mk}\cos(\psi_m - \psi_k) - b_{mk}\sin(\psi_m - \psi_k)\right];$$

$$Q_m = U_m \sum_{k=1}^{n} U_k\left[g_{mk}\sin(\psi_m - \psi_k) + b_{mk}\cos(\psi_m - \psi_k)\right];$$

$$\pi = \sum_{m=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} U_m U_k g_{mk}\cos(\psi_m - \psi_k);$$

$$q = \sum_{m=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} U_m U_k b_{mk}\cos(\psi_m - \psi_k),$$

где $m,\ k = 1 \div n$ — индексы зажимов многополюсника;

$g_{mk}\, b_{mk}$ — параметры многополюсника.

4. Выражения частных производных от P_m, Q_m, π, q по параметрам $U_k \psi_k$ режима многополюсника, получаемые путем дифференцирования соответствующих уравнений (1), имеют следующий вид:

$$\frac{\partial P_m}{\partial U_k} = \begin{cases} U_m\left[g_{mk}\cos(\psi_m - \psi_k) - b_{mk}\sin(\psi_m - \psi_k)\right], & \text{при } m \neq k; \\ \dfrac{P_m}{U_m} + U_m g_{mm} & \text{при } m = k \end{cases}$$

$$\frac{\partial P_m}{\partial \psi_k} = \begin{cases} U_m U_k\left[g_{mk}\sin(\psi_m - \psi_k) + b_{mk}\cos(\psi_m - \psi_k)\right], & \text{при } m \neq k; \\ U_m^2 b_{mm} - Q_m & \text{при } m = k \end{cases}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial U_k} = \begin{cases} U_m\left[g_{mk}\sin(\psi_m - \psi_k) + b_{mk}\cos(\psi_m - \psi_k)\right], & \text{при } m \neq k; \\ \dfrac{Q_m}{U_m} + U_m b_{mm}, & \text{при } m = k \end{cases}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial \psi_k} = \begin{cases} -U_m U_k [g_{mk} \cos(\psi_m - \psi_k) - b_{mk} \sin(\psi_m - \psi_k)] & \text{при } m \neq k, \\ P_m - U_m^2 g_{mm} & \text{при } m = k; \end{cases}$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial U_j} = 2 \sum_{k=1}^{n} U_k g_{jk} \cos(\psi_j - \psi_k);$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \psi_j} = -2 U_j \sum_{k=1}^{n} U_k g_{jk} \sin(\psi_j - \psi_k);$$

$$\frac{\partial q}{\partial U_j} = 2 \sum_{k=1}^{n} U_k b_{jk} \cos(\psi_j - \psi_k);$$

$$\frac{\partial q}{\partial \psi_j} = -2 U_j \sum_{k=1}^{n} U_k b_{jk} \sin(\psi_j - \psi_k),$$

где $j = 1 \div n$ — текущий индекс зажима многополюсника.

Выражения (2) используются для получения параметров расчетных уравнений, излагаемых ниже, двух алгоритмов.

5. Алгоритм 1 расчета частных производных от π и q по параметрам $P_m Q_m$ основывается на следующем функциональном представлении потерь π и q от $4n$-параметров стационарного режима многополюсника:

$$\begin{aligned} \pi &= \pi(P_1 \cdots P_m \cdots P_n;\ Q_1 \cdots Q_m \cdots Q_n); \\ q &= q(P_1 \cdots P_m \cdots P_n;\ Q_1 \cdots Q_m \cdots Q_n); \\ P_m &= P(U_1 \cdots U_k \cdots U_n;\ \psi_1 \cdots \psi_k \cdots \psi_n); \\ Q_m &= Q(U_1 \cdots U_k \cdots U_n;\ \psi_1 \cdots \psi_k \cdots \psi_n). \end{aligned} \tag{3}$$

В этой постановке задачи потери π и q принимаются зависящими от переменных U_k, ψ_k через посредство P_m, Q_m, где $k, m = 1 \div n$, $k, m \neq \delta$; δ -индекс балансирующего узла многополюсника, для которого принимаются U_δ, и ψ_δ неизменными, заданными постоянными величинами. Если исключить балансирующий узел, то задача расчета частных производных от π и q по параметрам $P_m Q_m$ сведется к определению по $n - 1$ частных производных видов: $\frac{\partial \pi}{\partial P_m}$, $\frac{\partial \pi}{\partial Q_m}$, $\frac{\partial q}{\partial P_m}$, $\frac{\partial q}{\partial Q_m}$, т. е. всего $4(n-1)$ неизвестных.

Для практических целей задача может быть ограничена расчетами частных производных от π и q по P_m и Q_m только для генераторных зажимов многополюсника, т. е. принимая $m = 1 \div r$, где m — индекс правых зажимов, соответствующих генераторам. Рассматривая задачу в общем виде, можем записать следующие системы расчетных уравнений для определения искомых частных производных. Здесь и далее все записи ведутся в матричной форме:

$$\left|\frac{\partial\pi}{\partial P_m}\right| = \left|\frac{\partial\pi}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial P_m}\right| + \left|\frac{\partial\pi}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial P_m}\right|; \tag{4}$$

$$\left|\frac{\partial\pi}{\partial Q_m}\right| = \left|\frac{\partial\pi}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial Q_m}\right| + \left|\frac{\partial\pi}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial Q_m}\right|; \tag{5}$$

$$\left|\frac{\partial q}{\partial P_m}\right| = \left|\frac{\partial q}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial P_m}\right| + \left|\frac{\partial q}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial P_m}\right|; \tag{6}$$

$$\left|\frac{\partial q}{\partial Q_m}\right| = \left|\frac{\partial q}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial Q_m}\right| + \left|\frac{\partial q}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial Q_m}\right|, \tag{7}$$

где $m,\ k = 1 \div n;\ m,\ k \neq b$.

В этих уравнениях появились новые неизвестные

$$\frac{\partial U_k}{\partial P_m};\ \frac{\partial\psi_k}{\partial P_m};\ \frac{\partial U_k}{\partial Q_m};\ \frac{\partial\psi_k}{\partial Q_m}.$$

Что касается элементов: $\frac{\partial\pi}{\partial U_k}$; $\frac{\partial\pi}{\partial\psi_k}$; $\frac{\partial q}{\partial U_k}$; $\frac{\partial q}{\partial\psi_k}$, то они определяются согласно уравнениям (2) по параметрам заданного стационарного режима многополюсника. Для определения указанных частных производных могут быть записаны следующие вспомогательные уравнения:

$$\left|\frac{\partial P_m}{\partial P_k}\right| = \left|\frac{\partial P_m}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial P_m}\right| + \left|\frac{\partial P_m}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial P_m}\right| = \begin{cases}1 \text{ при } m = k\\ 0 \text{ при } m \neq k;\end{cases}$$

$$\left|\frac{\partial Q_m}{\partial Q_k}\right| = \left|\frac{\partial Q_m}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial Q_m}\right| + \left|\frac{\partial Q_m}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial Q_m}\right| = \begin{cases}1 \text{ при } m = k\\ 0 \text{ при } m \neq k;\end{cases} \tag{8}$$

$$\left|\frac{\partial P_m}{\partial Q_m}\right| = \left|\frac{\partial P_m}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial Q_m}\right| + \left|\frac{\partial P_m}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial Q_m}\right| = [0];$$

$$\left|\frac{\partial Q_m}{\partial P_m}\right| = \left|\frac{\partial Q_m}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial P_m}\right| + \left|\frac{\partial Q_m}{\partial\psi_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial P_m}\right| = [0],$$

где $m,\ k = 1 \div n$, но $m,\ k \neq b$.

Решения уравнений (8) относительно искомых частных производных: $\frac{\partial\psi_k}{\partial P_m}$; $\frac{\partial\psi_k}{\partial Q_m}$; $\frac{\partial U_k}{\partial P_m}$ и $\frac{\partial U_k}{\partial Q_m}$ могут быть представлены в следующей матричной форме записи:

$$\left|\frac{\partial\psi_k}{\partial P_m}\right| = -\left|\frac{\partial Q_m}{\partial\psi_k}\right|^{-1}\left|\frac{\partial Q_m}{\partial U_k}\right|\cdot\left|\frac{\partial U_k}{\partial P_m}\right|;$$

$$\left\| \frac{\partial \psi_k}{\partial Q_m} \right\| = -\left\| \frac{\partial P_m}{\partial \psi_k} \right\|^{-1} \cdot \left\| \frac{\partial P_m}{\partial U_k} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial U_k}{\partial Q_m} \right\|; \tag{9}$$

$$\left\| \frac{\partial U_k}{\partial P_m} \right\| = \left\{ \left\| \frac{\partial P_m}{\partial U_k} \right\| - \left\| \frac{\partial P_m}{\partial \psi_k} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial \psi_m} \right\|^{-1} \cdot \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial U_k} \right\| \right\}^{-1} \text{ согласно [1];}$$

$$\left\| \frac{\partial U_k}{\partial Q_m} \right\| = \left\{ \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial U_k} \right\| - \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial \psi_k} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial P_m}{\partial \psi_k} \right\|^{-1} \cdot \left\| \frac{\partial P_m}{\partial U_k} \right\| \right\}^{-1} \text{ согласно [1],}$$

где индексы m, k приобретают все значения $1 \div n$, кроме индекса балансирующего узла. Верхний индекс -1 используется для обозначения операции обращения данной матрицы.

Искомые элементы матриц, представленных в левых частях уравнений (4) $\div$ (7), получаются путем подстановки в их правые части выражений элементов матриц, взятых согласно (2), и матриц (9), являющихся результатом решения вспомогательных уравнений (8). Таким образом, в процессе расчета, согласно алгоритму I, приходится прибегнуть к операциям обращения четырех матриц.

6. Алгоритм II расчета частных производных от π и q по параметрам $P_m Q_m$ основывается на следующем представлении функций π и q от параметров U, P, Q, ψ режима многополюсника:

$$\begin{aligned} \pi &= \pi_1 (U_1 \cdots U_k \cdots U_n;\ \psi_1 \cdots \psi_k \cdots \psi_n); \\ q &= q_1 (U_1 \cdots U_k \cdots U_n;\ \psi_1 \cdots \psi_k \cdots \psi_n); \\ U_k &= U (P_1 \cdots P_m \cdots P_n;\ Q_1 \cdots Q_m \cdots Q_n); \\ \psi_k &= \psi (P_1 \cdots P_m \cdots P_n;\ Q_1 \cdots Q_m \cdots Q_n). \end{aligned} \tag{10}$$

В этом алгоритме расчета потери π и q принимаются зависящими от переменных $P_m Q_m$ через посредство U_k, ψ_k, где $k, m = 1 \div n$ $k, m \neq \delta$ δ — индекс балансирующего узла многополюсника, для которых U_δ и ψ_δ — заданные постоянные величины. Рассмотрим, как и в предыдущем случае, задачу расчета $\frac{\partial \pi}{\partial P_m}$; $\frac{\partial \pi}{\partial Q_m}$; $\frac{\partial q}{\partial P_m}$ и $\frac{\partial q}{\partial Q_m}$ в общем виде. Исходя из принятых в (10) зависимостей, можно получить следующие системы уравнений, аналогичные по форме системам (4) $\div$ (7):

$$\left\| \frac{\partial \pi}{\partial U_k} \right\| = \left\| \frac{\partial \pi}{\partial P_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial P_m}{\partial U_k} \right\| + \left\| \frac{\partial \pi}{\partial Q_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial U_k} \right\|; \tag{11}$$

$$\left\| \frac{\partial \pi}{\partial \psi_k} \right\| = \left\| \frac{\partial \pi}{\partial P_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial P_m}{\partial \psi_k} \right\| + \left\| \frac{\partial \pi}{\partial Q_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial \psi_k} \right\|; \tag{12}$$

$$\left\| \frac{\partial q}{\partial U_k} \right\| = \left\| \frac{\partial q}{\partial P_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial P_m}{\partial U_k} \right\| + \left\| \frac{\partial q}{\partial Q_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial U_k} \right\|; \tag{13}$$

$$\left\| \frac{\partial q}{\partial \psi_k} \right\| = \left\| \frac{\partial q}{\partial P_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial P_m}{\partial \psi_k} \right\| + \left\| \frac{\partial q}{\partial Q_m} \right\| \cdot \left\| \frac{\partial Q_m}{\partial \psi_k} \right\|, \tag{14}$$

где m, $k = 1 \div n$, но $\neq \delta$, δ—индекс балансирующего узла многополюсника.

В этих уравнениях элементы:

$$\frac{\partial P_m}{\partial U_k};\ \frac{\partial P_m}{\partial \psi_k};\ \frac{\partial Q_m}{\partial U_k};\ \frac{\partial Q_m}{\partial \psi_k};\ \frac{\partial \pi}{\partial U_k};\ \frac{\partial \pi}{\partial \psi_k};\ \frac{\partial q}{\partial U};\ \frac{\partial q}{\partial \psi_k}$$

соответствующих матриц определяются согласно приведенным выше выражениям (2). В таком случае искомые элементы: $\frac{\partial \pi}{\partial P_m}$; $\frac{\partial \pi}{\partial Q_m}$ могут быть найдены в результате обращения матрицы, получаемой на основе уравнений (11) и (12). Соответственно элементы: $\frac{\partial q}{\partial P_m}$ и $\frac{\partial q}{\partial Q_m}$ могут быть найдены путем совместного решения уравнений (13) и (14). Для целей практических расчётов оптимизации режимов энергосистем можно органичиться вычислительным алгоритмом, соответствующим случаю расчета частных производных от π и q только по параметрам P_m и Q_m генераторных узлов системы. В этой связи расчетные уравнения, получаемые на основе (11) и (12), а также (13) и (14), целесообразно представить в следующей форме:

$$\left[\begin{array}{c|c} M_{11} & M_{12} \\ \hline M_{21} & M_{22} \end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c} X_1 \\ \hline X_2 \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \Pi_1 \\ \hline \Pi_2 \end{array}\right], \qquad (15)$$

где M—подматрицы имеют следующую структуру:

$$[M] = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P_m}{\partial U_k}\right] & \left[\frac{\partial Q_m}{\partial U_k}\right] \\ \left[\frac{\partial P_m}{\partial \psi_k}\right] & \left[\frac{\partial Q_m}{\partial \psi_k}\right] \end{bmatrix}.$$

В подматрице M_{11} строчные (m) и столбцовые (k) индексы пробегают значения, соответствующие генераторным зажимам многополюсника, кроме балансирующего генераторного узла. В подматрице M_{12}—индексы строк (m) относятся к генераторным, а индексы столбцов (k)—к нагрузочным зажимам многополюсника. В подматрице M_{21}—строчные индексы соответствуют нагрузочным, а столбцовые—генераторным зажимам. И, наконец, в подматрице M_{22}—индексы строк и столбцов, т. е. m и k относятся только к нагрузочным зажимам многополюсника. Индексы векторов: X_1 и Π_1 пробегают значения генераторных узлов, а индексы векторов: X_2 и Π_2 нагрузочных узлов многополюсника.

Уравнения (15) могут быть приведены к следующей эквивалентной форме, удобной для расчета искомых частных производных от π и q по параметрам P_m и Q_m только генераторных зажимов многополюсника:

$$[M_{mk}]\cdot[X_1] = [\Pi_m]. \qquad (16)$$

где

$$[M_{mk}] = [M_{11}] - [M_{12}]\cdot[M_{22}]^{-1}[M_{21}];$$

$$[\Pi_m] = [\Pi_1] - [M_{12}]\cdot[M_{22}]^{-1}[\Pi_2].$$

Решение уравнений (16) относительно искомых $\frac{\partial\pi}{\partial P_m}$ и $\frac{\partial\pi}{\partial Q_m}$ можно записать в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \left[\frac{\partial\pi}{\partial P_m}\right] \\ \left[\frac{\partial\pi}{\partial Q_m}\right] \end{bmatrix} = [M_{mk}]^{-1}\,[\Pi_\pi]\,,$$

где (17)

$$[\Pi_\pi] = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial\pi}{\partial U_k}\right] \\ \left[\frac{\partial\pi}{\partial \psi_k}\right] \end{bmatrix} - [M_{12}]\cdot[M_{22}]^{-1}\cdot \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial\pi}{\partial U_c}\right] \\ \left[\frac{\partial\pi}{\partial \psi_c}\right] \end{bmatrix},$$

k — индекс генераторных зажимов;
c — индекс нагрузочных зажимов многополюсника.

Решение уравнений вида (16) относительно искомых: $\frac{\partial q}{\partial P_m}$ и $\frac{\partial q}{\partial Q_m}$ представляется в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \left[\frac{\partial q}{\partial P_m}\right] \\ \left[\frac{\partial q}{\partial Q_m}\right] \end{bmatrix} = [M_{mk}]^{-1}\cdot[\Pi_q]\,,$$

где (18)

$$[\Pi_q] = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial q}{\partial U_k}\right] \\ \left[\frac{\partial q}{\partial \psi_k}\right] \end{bmatrix} - [M_{12}]\cdot[M_{22}]^{-1}\cdot \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial q}{\partial U_c}\right] \\ \left[\frac{\partial q}{\partial \psi_c}\right] \end{bmatrix}.$$

Здесь, как и выше, индекс k относится только к генераторным, а c — только к нагрузочным зажимам многополюсника. Индекс—1 обозначает операцию обращения данной матрицы.

Итак, в процессе расчета, согласно алгоритму II, необходимо обращать две матрицы. Как было отмечено выше, в расчетах по алгоритму I приходится обращать четыре матрицы. Различие между этими случаями заключается в том, что порядки обращаемых матриц, в расчетах по алгоритмам I и II, оказываются неодинаковыми и различны, следовательно, числа вычислительных операций, потребных для решения задачи в целом. Порядок матриц, обращаемых при алгоритме I, не выше $n-1$, где n общее число генераторных и нагрузочных зажимов, а при алгоритме II этот порядок достигает 2Н (например, матрицы M), где Н число нагрузочных узлов. В большинстве случаев число 2Н больше числа $n-1$.

7. В Армянском НИИ энергетики были составлены две программы: одна- реализующая алгоритм I на ЦМ типа „Раздан-2“ (составитель Б. А. Аракелян), вторая реализующая алгоритм II на ЦМ типа „Урал-3“ (составитель Д. А. Аллахвердян). Заметим, что результаты расчетов для одного и того же примера, выполненные по этим программам, оказались строго одинаковыми. Для оценки эффективности каждого из этих алгоритмов можно обратиться к следующим показателям объемов вычислительных операций соответствующих программ. Так, например, число вычислительных операций, необходимых для решения уравнений (2) на машине „Раздан-2“, определяется формулой

$$N_{(2)} = 67 + 128\,n + 109\,n^2, \tag{19}$$

где n — число независимых узлов многополюсника.

Число операций для решения уравнений (4) ÷ (9) на машине „Раздан-2“ определяется формулой

$$N_{(4)\div(9)} = 72 + 75\,(n-1) + 61\,(n-1)^2 + 21\,(n-1)^3. \tag{20}$$

Числа вычислительных операций, потребных для реализации на „Урал-3“ алгоритма II, выражаются соответственно следующими формулами:

$$N_{2} = 70\,n_1 + 330\,n + 92\,n^2, \tag{21}$$

где n_1 — число ненулевых элементов матрицы b_{mk} уравнений многополюсника:

$$N_{(11)\div(16)} = 400 + 400\text{Г} + 330\text{Г}^2 + 320\,\text{Н} +$$
$$+ 120\,\text{НГ}\,400\,\text{Н}^2 + 128\,\text{Н}^2\text{Г} + 128\text{Н}^3 + 136\,\text{НГ}^2, \tag{22}$$

где Н — число нагрузочных узлов:

Г — число генераторных узлов (без балансирующего) многополюсника.

Кроме того, при пользовании машиной „Урал-3“ оказывается необходимым, в общем случае, обращаться к магнитному барабану. Потребное время обращения выражается следующей формулой

$$T_{\text{МБ}} = (1 + 6\text{Г})\ 260\ \textit{мл/сек}. \tag{23}$$

8. Для одной схемы эквивалента объединенной энергосистемы, приведенной к многополюснику с $n = 8$ независимы узлами, были получены параметры $U_m\,\psi_m\,P_m\,Q_m$, $m = 1 \div 8$ стационарного режима. По этим параметрам режима, а также параметрам $g_{mk}\ b_{mk}$ многополюсника, были вычислены значения частных производных $\frac{\partial P_m}{\partial U_k}$; $\frac{\partial P_m}{\partial \psi_k}$ и т. д., согласно формулам (2). Далее были использованы программы, реализующие алгоритмы I и II, описанные выше. Полностью совпадающие результаты расчетов по обоим алгоритмам представлены в табл. 1. Из таблицы видно, что балансирующим выбран узел 3. Узлы 1 ÷ 4 являются генераторными, а узлы 5 ÷ 8 — нагрузочными. Количество вычислительных операций, потребных для реализации алгоритма I на маши-

не „Раздан-2“, согласно формулам (19) и (20), при $n = 8$, выражается следующими числами:

$$N_{(2)} = 8\ \textit{тыс};\quad N_{[illegible]} = 11{,}6\ \textit{тыс}.$$

Таблица 1

Узлы	Генераторные			Нагрузочные			
k	1	2	4	5	6	7	8
$\frac{\partial \pi}{\partial U_k}$	0,13	0,007	0,319	–0,079	0,035	0,237	–0,235
$\frac{\partial \pi}{\partial \psi_k}$	30,012	–0,724	163,029	–54,223	–57,313	43,660	–125,070
$\frac{\partial q}{\partial U_k}$	1,221	1,029	1,491	–0,969	–0,876	7,267	–1,362
$\frac{\partial q}{\partial \psi_k}$	283,032	–111,080	763,6	–442,352	–241,448	344,346	–596,097
$\frac{\partial \pi}{\partial P_k}$	0,116	0,235	0,052	0,17	0,193	0,069	0,073
$\frac{\partial \pi}{\partial Q_k}$	0,253	0,206	0,246	0,268	0,289	0,215	0,245
$\frac{\partial q}{\partial P_k}$	–1,254	–2,653	1,138	–1,922	–2,323	–0,154	–0,001
$\frac{\partial q}{\partial Q_k}$	–0,626	–0,564	–1,526	–1,263	–1,220	–0,481	–1,494

При средней скорости работы „Раздан-2“ в 5 тысяч операций в *сек.* время счета получилось порядка 4 *сек.*, что и было отмечено на практике. Количество вычислительных операций, потребных для программы по алгоритму II, на машине „Урал-3“ оказалось, согласно формулам (21) ÷ (23), соответственно:

$$N_{(21)} = 9{,}2\ \text{тыс};\quad N_{(11)-(18)} = 31{,}5\ \text{тыс};\quad T_{\text{МБ}} = 6{,}5\ \textit{сек}.$$

При средней скорости работы „Урал-3“ в 5 тысяч операций в секунду время счета получилось порядка 14,5 *сек.*, что также подтвердилось на практике.

Рассмотренный пример иллюстрирует эффективность алгоритма I по сравнению с алгоритмом II.

Выводы: 1. Оба алгоритма точного расчета частных производных от потерь активной (π) и реактивной (q) мощностей в многополюснике по активным (P) и реактивным (Q) мощностям генераторов и нагрузок, действующих на его зажимах в стационарном режиме, привели к полностью совпадающим результатам.

2. Программа, реализующая алгоритм II, содержит в себе операции по обращению одной матрицы с порядком, равным удвоенному

числу генераторных (без балансирующего) узлов. Программа, реализующая алгоритм I, включает в себя операции по обращению четырех матриц с порядками, не превышающими сумму генераторных и нагрузочных узлов многополюсника.

3. Для практических расчетов, в которых время счета может иметь существенное значение, предпочтительно пользоваться программой, реализующей алгоритм I.

АрмНИИЭ Поступило 14.X.1969.

Հ. Տ. ԱԴՈՆՑ

ԱԿՏԻՎ ԵՎ ՌԵԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՄԱՍՆԱՎՈՐ ԱԾԱՆՑՅԱԼՆԵՐԻ, ԸՍՏ ԷՆԵՐԳԱՍԻՍՏԵՄԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ, ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ԵՐԿՈՒ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Շարադրված են $\frac{\partial\pi}{\partial P_m}$, $\frac{\partial\pi}{\partial Q_m}$, $\frac{\partial q}{\partial P_m}$ *և* $\frac{\partial q}{\partial Q_m}$ *մասնավոր ածանցյալների շղթա հաշվարկման երկու տարբեր ալգորիթմներ։ Այստեղ՝ π և q — համապատասխանաբար ակտիվ և ռեակտիվ կորուստներն են, իսկ P և Q — էներգասիստեմի տեղակայման սխեմային համարժեք բազմաբևեռի գեներատորային և բեռնվածքային հանգույցների ռեժիմների պարամետրերն են։*

ԹՀՄ — ի վրա այդ ալգորիթմները իրականացնող ծրագրերով կատարված հաշվարկի օրինակները տվել են ամբողջությամբ համընկնող արդյունքներ։ Ծրագրերի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ գործնական հաշվարկների համար նախընտրելի է այդ ալգորիթմներից առաջինի վրա հիմնված ծրագիրը։ Հոդվածում բերված են մեկ խնդրի լուծման արդյունքները, իրականացված «Հրազդան-2» ԹՀՄ-ի վրա։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адонц Г. Т.* Многополюсник. Изд-во АН Арм. ССР, 1965.