Г. Т. АДОՆՇ

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА МНОГОПОЛЮСНИКА, ПРЕДСТАВЛЯЕМОГО Z-ПАРАМЕТРАМИ

Для расчета установившихся режимов (у. р.) электрической системы в качестве исходных используются уравнения узловых напряжений или т. н. уравнения с Y -параметрами, где $Y = g - jb$ — комплексная проводимость. К этому же классу относятся уравнения многополюсника в форме Y , которые получаются из уравнений узловых напряжений после их эквивалентирования. Основное преимущество уравнений в форме Y заключается в том, что матрица $[Y]$ оказывается содержащей минимальное число ненулевых элементов, что приводит к возможности использования малого объема оперативной памяти ЦВМ.

Однако, уравнения в форме Y обладают и определенным недостатком, заключающимся в том, что итерации в расчетах у. р. электрической системы в ряде случаев оказываются трудно сходящимися или просто расходящимися.

В противоположность этому расчеты у. р. электрической системы, основанные на уравнениях контурных токов или т. н. уравнениях с Z -параметрами (где $Z = r + jx$ — комплексное сопротивление), оказываются лучше сходящимися. Однако, уравнения в форме Z обладают тем недостатком, что они требуют большого объема оперативной памяти ЦВМ. К этому же классу относятся уравнения многополюсника в форме Z , получаемые путем эквивалентного преобразования уравнений контурных токов.

В связи с изложенным очевидно, что в ряде случаев, например, при пользовании ЦВМ с большим объемом оперативной памяти, для расчетов у. р. электрической системы могут быть более эффективными уравнения с Z -параметрами.

Целью настоящей статьи является разработка метода расчета у. р. многополюсника, представляемого Z -параметрами. Последние могут быть получены путем эквивалентного преобразования [1] уравнений контурных токов схемы замещения системы. Z -параметры многополюсника известны в литературе также под названием узловых сопротивлений.

В предлагаемом методе используются: а) способы ускорения ите-

рации по производным от активной и реактивной мощностей по модулям и фазам комплексных токов; б) условия теоремы сходимости итерации при решении системы нелинейных алгебраических уравнений; в) способ выбора независимых переменных, обеспечивающий преобразование исходных нелинейных и трансцендентных уравнений в расчетные нелинейные и иррациональные.

Благодаря этим приемам, предлагаемый метод обеспечивает ускоренную сходимость итерации к единственному искомому решению уравнений, описывающих у. р. системы.

Постановка задачи. Принимаются в качестве заданных: параметры r_{mk} и x_{mk} (активные и реактивные сопротивления) многополюсника с n независимыми узлами, т. е. $m, k = 1, 2, \dots, n$; независимые переменные: активные мощности P_z , реактивные мощности Q_z , модули токов I_m и фазы токов γ_z соответственно для z, f, m, β узлов многополюсника, т. е. $z, f, m, \beta = 1 - n$ при следующих условиях: $z \neq \beta, m \neq f, m \neq 1$ (где 1 — индекс узла баланса мощностей). Для этого узла принимаются в качестве заданных: величина U_1 — модуль напряжения, а также верхние и нижние границы мощностей P_1 и Q_1 . Величина γ_1 определяется в процессе расчета у. р.

Принимаются в качестве искомого: активные мощности P_m , реактивные мощности Q_m , модули токов I_f , фазы комплексных токов γ_z соответственно для β, m, f, z узлов многополюсника при условиях $z \neq \beta, m \neq f$. Модули U и фазы ψ комплексных напряжений узлов многополюсника определяются без итерации по полученным в ее результате величинам P, Q, I, γ . Для решения поставленной задачи будем пользоваться следующими уравнениями, выражениями и ограничениями.

Уравнения у. р. многополюсника в координатах I и y (где $y = \sin \gamma$):

активных мощностей узлов P_z

$$P_z^i = I_z^{i-1} \sum_{k=1}^n I_k^{i-1} (r_{zk} c_{zk}^{i-1} - x_{zk} s_{zk}^{i-1}); \quad (1)$$

реактивных мощностей узлов m

$$Q_m^i = I_m^i \sum_{k=1}^n I_k^{i-1} (r_{mk} s_{mk}^{i-1} + x_{mk} c_{mk}^{i-1}); \quad (2)$$

величин y для узлов z

$$y_z^i = \begin{cases} \frac{1}{I_z^{i-1} x_{z1}} \left[\frac{Q_z^i}{I_z^{i-1}} y_z^{i-1} - f_z^{i-1}(y) \right] & \text{если } Q_z^i > 0 \\ \frac{1}{I_z^{i-1} x_{z1} - \frac{Q_z^i}{I_z^{i-1}}} [f_z^{i-1}(y)] & \text{если } Q_z^i < 0; \end{cases} \quad (3)$$

модулей комплексных токов I_i для узлов f

$$I_i = \frac{1}{x_{ff}} \left[\frac{Q_i}{I_i^{-1}} - \sum_{k \neq f} (r_{fk} S_{fk}^i + x_{fk} C_{fk}^i) \right]. \quad (4)$$

В уравнениях (1) - (4) приняты следующие обозначения:

$$c_{aa}^{i-1} = (1 - \overline{(1 - y_a^i)(1 - y_a^i)} + y_a y_a)^{i-1}; \quad (a = \beta, m, f)$$

$$x_{aa}^{i-1} = - (y_a | \overline{1 - y_a^i} - y_a | \overline{1 - y_a^i})^{i-1}; \quad (a = \beta, m, f)$$

$$f_i^{-1}(y) = \left(-\frac{P_i}{I_i} | \overline{1 - y} + \sum_{k=1}^n I_k r_{ik} | \overline{1 - y_k} - \sum_{k=1}^n I_k x_{ik} y_k \right)^{i-1}.$$

Здесь и далее первый индекс i используется в качестве номера шага итерации.

На уравнения (1) - (4) налагаются следующие ограничения:

$$-1 < y < 1; \quad \alpha \neq \beta; \quad m = f. \quad (a)$$

Согласно первому из этих ограничений искомые фазы γ комплексных токов $I = I e^{j\gamma}$ не должны выходить за пределы ± 2 , т. е. векторы I должны располагаться в правой полуплоскости комплексного переменного. Второе и третье неравенства представляют условие выбора независимых переменных из числа P, Q, I, γ для различных узлов многополюсника.

Для узла баланса мощностей обычно в качестве заданной величины берется модуль напряжения, а не модуль тока. В данной постановке задачи также принимается в качестве заданной величины модуль напряжения узла баланса мощностей. Однако, в расчетных уравнениях принимается заданной величина модуля тока того же узла баланса. Для обеспечения связи между заданной величиной U_i и расчетной величиной I_i вводится в состав совместно решаемых уравнений следующая зависимость между ними:

$$I_i = \frac{1}{U_i} (1 - \overline{P_i + Q_i})^{i-1}, \quad (5)$$

где i — индекс узла баланса мощностей системы;

P_i, Q_i — активная и реактивная мощности узла баланса.

Учитывая связь (5), нелинейные уравнения (1) - (4) могут быть записаны в следующей форме неявных функций:

$$P_i = P(\dots y_i^{i-1}, \dots I_i^{i-1}, \dots); \quad (1')$$

$$Q_i = Q(\dots y_i^{i-1}, \dots I_i^{i-1}, \dots); \quad (2')$$

$$y_i^i = y(\dots y_{\alpha}^{i-1}, \dots Q_m^i, \dots I_i^{i-1}, \dots); \quad (3^i)$$

$$I_j^i = I(\dots y_{\alpha}^{i-1}, \dots I_j^{i-1}, \dots), \quad (4^i)$$

где

$$\alpha, j, \beta, m = 1 \dots n, \quad \alpha \neq \beta; \quad f = m.$$

Формулы приростов искомых переменных y_{α} , I_i . Рассматривая каждую из величин P_{α} и Q_f как функцию переменных y_k , I_k ($k = 1 \dots n$), можно записать следующие уравнения приростов:

$$\Delta P_{\alpha}^i = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq \alpha}}^n \left(\frac{\partial P_{\alpha}}{\partial y_k} \right)^i \Delta y_k^i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^n \left(\frac{\partial P_{\alpha}}{\partial I_k} \right)^i \Delta I_k^i;$$

$$\Delta Q_f^i = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq f}}^n \left(\frac{\partial Q_f}{\partial y_k} \right)^i \Delta y_k^i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^n \left(\frac{\partial Q_f}{\partial I_k} \right)^i \Delta I_k^i;$$

где

$$\Delta P_{\alpha}^i = P_{\alpha}^i - P_{\alpha}^{i-1}; \quad \Delta y_{\alpha}^i = y_{\alpha}^i - y_{\alpha}^{i-1}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_f^i = Q_f^i - Q_f^{i-1}; \quad \Delta I_k^i = I_k^i - I_k^{i-1}; \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial P_{\alpha}}{\partial y_{\alpha}} \right)^i = \begin{cases} \left| \frac{1}{1 - y_{\alpha}} (I_{\alpha}^2 x_{\alpha\alpha} - Q_{\alpha}) \right|^i & \text{при } \alpha = k \\ \left| \frac{1}{1 - y_{\alpha}^2} I_{\alpha} I_k (r_{\alpha k} s_{\alpha k} + x_{\alpha k} c_{\alpha k}) \right|^i & \text{при } \alpha \neq k; \end{cases} \quad (10)$$

$$\left(\frac{\partial P_{\alpha}}{\partial I_k} \right)^i = \begin{cases} \left(\frac{1}{I_{\alpha}} P_{\alpha} + I_{\alpha} r_{\alpha\alpha} \right)^i & \text{при } \alpha = k \\ |I_{\alpha} (r_{\alpha k} c_{\alpha k} - x_{\alpha k} s_{\alpha k})| & \text{при } \alpha \neq k; \end{cases} \quad (11)$$

$$\left(\frac{\partial Q_f}{\partial y_k} \right)^i = \begin{cases} \left| \frac{1}{1 - y_f^2} (-P_f + I_f^2 r_{ff}) \right|^i & \text{при } f = k \\ \left| \frac{I_f I_k}{1 - y_k^2} (r_{fk} c_{fk} - x_{fk} s_{fk}) \right|^i & \text{при } f \neq k; \end{cases} \quad (12)$$

$$\left(\frac{\partial Q_f}{\partial I_k} \right)^i = \begin{cases} \left(I_f x_{ff} + \frac{Q_f}{I_f} \right)^i & \text{при } f = k \\ I_f (r_{fk} s_{fk} + x_{fk} c_{fk})^i & \text{при } f \neq k; \end{cases} \quad (13)$$

P_{α} , Q_f — заданные активные и реактивные мощности узлов α и f ;
 P_{α}^i , Q_f^i — те же мощности, вычисленные по формулам (1) и (2) и функции y_{α}^{i-1} и I_{α}^{i-1} , получаемых на $(i-1)$ -ом шаге итерации.

Из (6) и (7) получаются следующие формулы приростов искоемых переменных δy_c и δI_c :

$$\delta y_c^{i+1} = \frac{1}{\left(\frac{\partial P_c}{\partial y_c}\right)^i} \left[\Delta P_c^i - \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial P_c}{\partial y_k}\right)^i \Delta y_k^i - \sum_{k=1}^m \left(\frac{\partial P_c}{\partial I_k}\right)^i \Delta I_k^i \right]; \quad (14)$$

$$(c = 1 + n, \quad c \neq \beta)$$

$$\delta I_c^{i+1} = \frac{1}{\left(\frac{\partial Q_c}{\partial I_c}\right)^i} \left[\Delta Q_c^i - \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial Q_c}{\partial y_k}\right)^i \Delta y_k^i - \sum_{k=1}^m \left(\frac{\partial Q_c}{\partial I_k}\right)^i \Delta I_k^i \right], \quad (15)$$

$$(\tau = 1 + n, \quad \tau \neq m)$$

где c, φ — строчные индексы, приобретающие значения соответственно α и f .

Формулы (14) и (15) могут быть записаны в неявной форме:

$$\delta y_c^{i+1} = \delta y \left[P_c^i, \Delta y_{\varphi}, \Delta I_f^i, \left(\frac{\partial P_c}{\partial y_c}\right)^i, \left(\frac{\partial P_c}{\partial I_f}\right)^i \right]; \quad (c = 1 + n, \quad c \neq \beta) \quad (14')$$

$$\delta I_c^{i+1} = \delta I \left[Q_c^i, \Delta y_{\varphi}, \Delta I_f^i, \left(\frac{\partial Q_c}{\partial y_c}\right)^i, \left(\frac{\partial Q_c}{\partial I_f}\right)^i \right]; \quad (\tau = 1 + n, \quad \tau \neq m) \quad (15')$$

Условия, обеспечивающие сходимость итерации к единственному решению. Для получения таких условий воспользуемся понятием о сжимающем отображении и теоремой [2] сходимости итерационного процесса при решении нелинейных уравнений вида

$$y_k = y(y_1, y_2, \dots, y_c, \dots, y_n), \quad (k = 1 + n) \quad (16)$$

к классу которых относятся также рассматриваемые уравнения (3) и (4). Согласно этой теореме, все последовательные приближения y_c^i, I_f^i должны находиться в определенной фиксированной области. В данной задаче такой областью служит правая полуплоскость комплексного переменного I , что выражено условиями (а). Теорема требует также, чтобы m -норма [2] приращений в последовательных шагах итерации убывала по закону геометрической прогрессии; это можно выразить следующими неравенствами:

$$\begin{aligned} |y_c^{i+1} - y_c^{i-1}| &< q_c |y_c^i - y_c^{i-1}| \\ |y_c^{i+3} - y_c^{i-1}| &\leq q_c^2 |y_c^i - y_c^{i-1}| \\ &\dots \dots \dots \\ |y_c^{i+1} - y_c^i| &< q_c^i |y_c^i - y_c^{i-1}| \quad \text{где } c = i \\ |I_f^{i+1} - I_f^i| &< q_f^i |I_f^i - I_f^{i-1}| \quad \text{где } c = i. \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь $0 \leq q_y < 1$; $0 \leq q_I < 1$; y_i^{l-1} , I_i^{l-1} — начальные приближения переменных y_i и I_i , в качестве которых берутся $y_i^{l-1} = 0$ и $I_i^{l-1} = I_{i \text{ ном}}$; $I_{i \text{ ном}}$ — номинальные токи узлов f системы; $\|y_i^{l-1} - y_i^{l-2}\| = \max |y_m^{l-1} - 0|$ — m -норма вектора y_i , значение которой определяется абсолютной величиной наибольшего компонента вектора после первого шага итерации; $\|I_i^{l-1} - I_i^{l-2}\| = \max |I_j^{l-1} - I_{j \text{ ном}}|$ — m -норма вектора I_i , значение которой определяется по результатам первого шага в итерационном расчете I_i .

При соблюдении указанных условий теоремы предельные векторы

$$y_i^* = \lim_{l \rightarrow \infty} y_i^l \text{ и } I_i^* = \lim_{l \rightarrow \infty} I_i^l$$

оказываются единственным решением нелинейных уравнений (3) и (4). Остальные искомые P_i и Q_i определяются как функции найденных компонент векторов y_i^* и I_i^* .

С учетом изложенного, условия сходимости итерации можно записать так:

$$y_i^{l+1} - y_i^l = \begin{cases} \Delta y_i^{l+1}, & \text{если } \Delta y_i^{l+1} \leq q_y^l M_y \\ q_y^l M_y, & \text{если } \Delta y_i^{l+1} > q_y^l M_y; \end{cases} \quad (18_y)$$

$$I_i^{l+1} - I_i^l = \begin{cases} \Delta I_i^{l+1}, & \text{если } \Delta I_i^{l+1} \leq q_I^l M_I \\ q_I^l M_I, & \text{если } \Delta I_i^{l+1} > q_I^l M_I, \end{cases} \quad (18_I)$$

где

$$\Delta y_i^{l+1} = y_i^{l+1} - y_i^l; \quad M_y = \max |y_i^{l+1} - y_i^{l+1}|;$$

$$\Delta I_i^{l+1} = I_i^{l+1} - I_i^l; \quad M_I = \max |I_i^{l+1} - I_i^{l+1}|;$$

s — показатель степени, приобретающий значения $\bar{i}$;

$\bar{i}$ — индекс шага итерации.

Ускорение сходимости итерации, необходимое для расчета у. р. в малый промежуток времени, в данном методе обеспечивается рядом условий. К их числу относятся следующие:

1) Приросты искомых переменных Δy_i^{l+1} и ΔI_i^{l+1} , найденные по формулам (14) и (15), используются в качестве приращений к величинам y_i^l и I_i^l , а именно:

$$y_i^{l+1} = y_i^l + \Delta y_i^{l+1}; \quad (19)$$

$$I_i^{l+1} = I_i^l + \Delta I_i^{l+1}. \quad (20)$$

2) Полученные по (19) и (20) величины y_i^{l+1} и I_i^{l+1} используются для повторного вычисления Δy_i^{l+2} и ΔI_i^{l+2} , используемые в качестве

приращений, чем и обеспечивается новое ускорение итерации в данном цикле расчета у. р.

$$y_i^{t+2} = y_i^{t+1} + \delta y_i^{t+2}; \quad (21)$$

$$I_j^{t+2} = I_j^{t+1} + \delta I_j^{t+2}, \quad (22)$$

где δy_i^{t+2} и δI_j^{t+2} — результаты расчета по формулам (14) и (15), в которых в качестве исходных используются y_i^{t+1} и I_j^{t+1} .

3) Расчетные формулы (14) и (15), при помощи которых вычисляются δy и δI , используемые для ускорения итерации по (19) — (22), несколько упрощаются и приобретают следующий вид:

$$\delta y_c^{t+1} = \frac{1}{\left(\frac{\partial P_c}{\partial y_c}\right)^t} \left[\Delta P_c^t - \sum_{k=1, k \neq c}^n \left(\frac{\partial P_c}{\partial y_k}\right)^t \Delta y_k^t \right]; \quad (c = a, a \neq \beta) \quad (23)$$

$$\delta I_\varphi^{t+1} = \frac{1}{\left(\frac{\partial Q_\varphi}{\partial I_\varphi}\right)^t} \left[\Delta Q_\varphi^t - \sum_{k=1, k \neq \varphi}^n \left(\frac{\partial Q_\varphi}{\partial I_k}\right)^t \Delta I_k^t \right]; \quad (\varphi = f, \varphi \neq m) \quad (24)$$

если выполняются следующие условия: а) вычислениям δy , предшествуют два последовательных шага расчета P_c и y , по уравнениям (1) и (3) с использованием неизменных величин I_k , б) вычислениям δI_c предшествуют два последовательных шага расчета Q_m и I_f по уравнениям (2) и (4) с использованием неизменных величин y_k .

4) В каждом цикле итерации величины y_i^{t+2} , получаемые по (21) после повторного их ускорения, изменяются таким образом, чтобы крайние векторы I , располагающиеся в I и IV квадратах комплексной плоскости, оказались равноудаленными от оси отсчета их аргументов. Для обеспечения этого условия выбирается соответствующее ненулевое значение фазы тока узла баланса. С этой целью сначала определяется среднее значение величины $y_{\max}^{t+2}$ и $y_{\min}^{t+2}$, полученных после расчета по формуле (21), а именно:

$$y^{t+2} = \frac{1}{2} (y_{\max}^{t+2} + y_{\min}^{t+2}), \quad (25)$$

где $y_{\max} = \sin \gamma_{\max}$, $y_{\min} = \sin \gamma_{\min}$, $\gamma_{\max}$, $\gamma_{\min}$ — фазы векторов тока, наиболее удаленных от оси отсчета влево и вправо. Затем вычисляются новые (скорректированные) значения y_i^{t+2} для всех y_i , включая значение y вектора тока узла баланса мощностей системы.

$$y_i^{t+2} = y_i^{t+2} \sqrt{1 - (m^2 - 1) \sin^2 \gamma_{\max}^{t+2}} \sqrt{1 - (m^2 - 1) \sin^2 \gamma_{\min}^{t+2}}. \quad (26)$$

В результате этих операций абсолютные величины y двух наиболее удаленных вправо и влево от оси отсчета фаз векторов оказываются равными, т. е.

$$|y_{\max}^{i+2, H}| = |y_{\min}^{i+2, H}|. \quad (27)$$

Кроме того, величина y_i вектора тока узла баланса мощностей оказывается не равной нулю. После достижения некоторой точности в расчете y , например, $\varepsilon_1 = y_i^i - y_i^{i-1} = 10^{-4}$, принимается $\varepsilon = 0$. Прекращаются расчеты по формулам (25) и (26). Величина y фиксируется, т. е. в последующих шагах итерации она принимается равной значению, достигнутому при $\varepsilon_1 = 10^{-4}$. Очевидно, после завершения расчета у. р., т. е. достижения $\varepsilon_2 = 10^{-4}$, условие (27) оказывается строго необеспеченным.

5. В расчетах y_i и I_i по уравнениям (3) и (4), а также ускоренной итерацией по формулам (19) - (22), используется принцип Зейделя. Согласно этому принципу результаты вычислений, полученные по первым строкам уравнений, используются в качестве исходных в расчетах по последующим строкам уравнений. Реализация этого принципа на примерах уравнений (3), (4), (23) и (24) может быть показана записями в следующих формах:

$$y_i^i = y(\dots y_i^{i-1} \dots y_i^i \dots Q_i \dots I_i^{i-1} \dots) \quad (3'')$$

$$I_i^i = I(\dots y_i^i \dots I_i^{i-1} \dots I_i^i \dots) \quad (4'')$$

$$\varepsilon y_i^i = \varepsilon_i \left(P_i^i, \frac{\Delta y_i^i}{y_i^i}, \varepsilon y_i^i, \left(\frac{\partial P_i^i}{\partial y} \right)^i \right) \quad (\varepsilon = 1 - \alpha, \varepsilon \neq \beta) \quad (23')$$

$$\varepsilon I_i^i = \varepsilon_i \left(Q_i^i, \frac{\Delta I_i^i}{I_i^i}, \varepsilon I_i^i, \left(\frac{\partial Q_i^i}{\partial I_i} \right)^i \right). \quad (24')$$

Остался неуточненным вопрос о вовлечении в общую схему расчета у. р. формулы (5), устанавливающей связь между заданной величиной U_i и расчетными величинами I_i , P_i , Q_i . Так как две последние величины получаются на каждом шаге итерации в результате решения уравнений (1) и (2), то очевидно, что I_i , вычисленный по этим данным, будет служить в качестве заданной величины на следующем шаге итерации.

Схема алгоритма расчета у. р. Могут быть предложены различные схемы алгоритма производства расчетов, основанных на совместном решении системы (1) - (26). Рассмотрим одну из таких, которую условно назовем схемой „ y^{i-1} , y^i , εy^{i-1} , εy^i , I^{i-1} , I^i , εI^{i-1} , εI^i “. Здесь имеется в виду последовательность расчетов в одном цикле итерации, сводящаяся к вычислениям y_i^{i-1} , повторным вычислениям y_i^{i-2} , приростов εy_i^{i-2} и т. д. После завершения первого цикла начинается второй цикл расчетов по той же принятой схеме и т. д. В табл. 1 приводится описание порядка производства расчетов для первого цикла итерационного расчета у. р. электрической системы.

Таблица 1

Операции в первом цикле итерации

	Заданы	Находятся	По условиям
1	$y_x^{l=0} = 0, I_f^{l=0} = I_{f, \text{max}}, U_f, P_f^{l=0}$	y_x^{l-1}, P_f^{l-1}	(1) и (3)
2	$y_x^{l-1} - y_x^{l-2}, \gamma = 1 - n, \gamma \neq 3$	$M_\gamma = \max y_x^{l-1} $	m-нормы
3	q_γ, M_γ	$q_\gamma M_\gamma$	(17)
4	$y_x^{l-1}, I_f^{l-1}, Q_m^{l-1}$	y_x^{l-2}, P_f^{l-2}	(1) и (3)
5	$\Delta y_x^{l-2}, y_x^{l-1}, I_f^{l=0}$	$\Delta P_f^{l-2}, \Delta y_x^{l-2}$	(8)
6	$q_\gamma, M_\gamma, \Delta y_x^{l-2}$	q_γ, M_γ или Δy_x^{l-2}	(18 _v)
7	$y_x^{l-2}, Q_m^{l-2}, I_f^{l-2}$	$\left(\frac{\partial P_f}{\partial y_x}\right)^{l-2}$	(10), (2), (4)
8	$\Delta P_f^{l-2}, \Delta y_x^{l-2}, \left(\frac{\partial P_f}{\partial y_x}\right)^{l-2}$	δy_x^{l-3}	(23)
9	$q_\gamma, M_\gamma, q_\gamma$	$q_\gamma^2 M_\gamma$	(17)
10	$q_\gamma^2 M_\gamma, \delta y_x^{l-1}$	$q_\gamma^2 M_\gamma$ или δy_x^{l-3}	(18 _v)
11	$\delta y_x^{l-3}, y_x^{l-2}$	y_x^{l-2}	(19)
12	$y_x^{l+3}, Q_m^{l+3}, I_f^{l+3}$	$\left(\frac{\partial P_f}{\partial y_x}\right)^{l+1}$	(10), (4), (2)
13	$\Delta P_f^{l+3}, \Delta y_x^{l+3}, \left(\frac{\partial P_f}{\partial y_x}\right)^{l+3}$	δq^{l-1}	(23)
14	$q_\gamma^2 M_\gamma, q_\gamma$	$q_\gamma^2 M_\gamma$	(17)
15	$q_\gamma^3 M_\gamma, \delta y_x^{l-1}$	$q_\gamma^3 M_\gamma$ или δy_x^{l-1}	(18 _v)
16	$\delta y_x^{l-1}, y_x^{l-3}$	y_x^{l-1}	(19)
17	$y_x^{l+3}, \max y_x^{l+3}, \min$	q^{l-1}	(25)
18	q^{l-1}, y_x^{l-1}	y_x^{l-1}, H	(26)
19	$y_x^{l-1}, I_f^{l=0}$	I_f^{l-1}, Q_m^{l-1}	(2) и (4)
20	$I_f^{l-1} - I_f^{l-2}, f = 1 - n, f \neq m$	$M_f = \max I_f^{l-1} - I_f^{l-2} $	m-нормы
21	q_f, M_f	$q_f M_f$	(17)
22	I_f^{l-1}, y_x^{l-1}	I_f^{l-2}, Q_m^{l-2}	(2) и (4)
23	$I_f^{l-2}, I_f^{l-1}, y_x^{l-1}$	$\Delta Q_m^{l-2}, \Delta I_f^{l-2}$	(9)
24	$q_f, M_f, \Delta I_f^{l-2}$	q_f, M_f или ΔI_f^{l-2}	(18 _f)

№ п/п	З а д а ю т с я	Н а х о д я т с я	По условиям
25	$y_a^{i-1}, Q_i^{i-2}, P_k^{i-2}$	$\left(\frac{\partial Q_c}{\partial I_k}\right)^{i-2}$	(13), (4), (2)
26	$\Delta Q_i^{i-2}, \Delta P_k^{i-2}, \left(\frac{\partial Q_c}{\partial I_k}\right)^{i-2}$	δP_i^{i-1}	(24)
27	$q_i M_i, q_i$	$q_i^2 M_i$	(17)
28	$q_i^2 M_i, \delta P_i^{i-2}$	$q_i^2 M_i$ или δP_i^{i-1}	(18)
29	$\delta P_i^{i-2}, P_i^{i-2}$	P_i^{i-1}	(20)
30	$y_a^{i-1}, Q_i^{i-2}, P_k^{i-2}$	$\left(\frac{\partial Q_c}{\partial I_k}\right)^{i-3}$	(13), (4), (2)
31	$\Delta Q_i^{i-2}, \Delta P_k^{i-2}, \left(\frac{\partial Q_c}{\partial I_k}\right)^{i-2}$	δP_i^{i-1}	(24)
32	$q_i^2 M_i, q_i$	$q_i^2 M_i$	(17)
33	$q_i^2 M_i, \delta P_i^{i-2}$	$q_i^2 M_i$ или δP_i^{i-1}	(18)
34	$\delta P_i^{i-2}, P_i^{i-2}$	P_i^{i-1}	(20)
35	$Q_i^{i-1}, P_i^{i-1}, U_i$	P_i^{i-1}	(5)

Далее переходят к итерациям во втором цикле расчета и т. д. Процесс этот продолжается до достижения некоторой точности, например, $\epsilon_1 = y^i - y^{i-1} = 10^{-3}$. После достижения ϵ_1 фиксируется величина $y^i = \sin \gamma_i$, т. е. принимается в качестве искомой величины фазы тока узла баланса мощностей значение γ_i , соответствующее достигнутой ϵ_1 . Это решение означает также, что после достижения ϵ_1 вычисления по формулам (25) и (26) прекращаются. Для завершения расчетов рекомендуется критерий — достижение $\epsilon_2 = 10^{-3}$.

Кроме описанной схемы алгоритма, может быть использована и такая схема, в которой отсутствуют вычисления, связанные с определением δP_i^{i-1} и δP_i^{i-2} . Такая схема алгоритма может быть обозначена так: $y^{i-1}, y^{i-2}, \delta y^{i-3}, \delta y^{i-4}, P_i^{i-1}, P_i^{i-2}$.

Ныне находится в стадии разработки программа, реализующая описанный алгоритм на ЦВМ „Урал-3“.

В ы в о д ы

1. Матрица $[Z]$ уравнений многополюсника, эквивалентно представляющего электрическую систему, содержит меньшее число нулевых

элементов по сравнению с матрицей $[y]$ уравнений того же многополюсника. Эта особенность матрицы $[Z]$ обуславливает более быструю сходимость итерации при расчетах у. р. электрической системы.

2. Широко распространенные методы расчета у. р. систем, основывающиеся на уравнениях с Y -параметрами, но не обеспечивающие стабильную сходимость итерации или приводящие к расходящимся процессам, могут быть заменены более эффективными методами расчета, в которых используются Z -параметры эквивалентного многополюсника.

3. Предлагаемый метод расчета у. р. системы обеспечивает устойчивую сходимость итерации.

АрмНИИ энергетики

Поступило 22.I.1971.

Հ. Տ. ԱՓԽՅԱ

Հ-ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐՈՎ ՆԵՐՎԱՅԱՑՎՈՂ ԲԱԶՄԱՔԵՎԵՒԻ ՄՆԱՏՈՒՆ ԻՆՏԻՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

1. Բազմարևեռի $[Z]$ մատրիցայով հավասարումները, որոնք ներկայացնում են համարժեք էլեկտրական համակարգը, պարունակում են թիչ բանալիովյաճք ոչ գրոյական էլեմենտներ՝ քան նույն բազմարևեռի $[Y]$ մատրիցայով հավասարումները: էլեկտրական համակարգերի մնայուն սեծիմների հաշվարկման ժամանակ $[Z]$ պարամետրներով հավասարումների այս յուրահատկությունը պայմանավորված է իտերացիայի աճելի արագ դուզամիտումամբ:

2. Համակարգերի մնայուն սեծիմների հաշվարկման լայն տարածում գտած մեթոդները, որոնք հիմնված են Y -պարամետրներով հավասարումների վրա, սակայն չեն ապահովում իտերացիայի դուզամիտման կայուն բավարարվածությունը կամ բերում են պրոցեսի տարամիտման, կարող են փոխարինվել հաշվարկման առավել էֆեկտիվ մեթոդներով, որոնցում սպտագործվում են համարժեք բազմարևեռի Z -պարամետրներով հավասարումները:

3. Մնայուն սեծիմների հաշվարկման առաջարկվող մեթոդը աղահոգում է իտերացիայի արագացված դուզամիտումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоми А. Т. Многополюсник. Изд. АН Арм. ССР, 1965.
 2. Дрмишвили Б. П., Мирян И. А. Основы вычислительной математики. Изд. „Наука“, 1970.