

2. Бобровский С. А., Шербаков С. Г., Яковлев Е. Н. и др. Трубопроводный транспорт газа.—М.: Наука, 1976—495 с.
3. Акопян С. Г. Расчет потоков, распределения стационарного режима газотранспортной системы // Проблемы совершенствования и развития прогрессивных технико-экономических норм и нормативов в газовой промышленности: Сб. науч. тр.—М.: ВНИИГАЗПРОМ, 1989—С. 81—91.
4. Акопян С. Г. Модифицированная форма теоремы Гелледажена применительно к гидравлическим цепям систем транспорта газа // Изв. АН АрмССР, Сер. ТН.—1989—Т. XLII, № 2.—С. 64—67.
5. Акопян С. Г., Акопян М. С. О новой закономерности распределения основных параметров гидравлических цепей газотранспортных систем // Разработка и усовершенствование энерго- и ресурсосберегающих систем и технологий: Межауз. сб. науч. тр. / ГрПИ, Ереван, 1989—С. 59—62.

ЕрлИИ

28. X. 1989

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIV, № 1, 1991, с. 21—25

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1.001.24

Э. А. ЭТМЕКЧЯН, В. П. АРАКЕЛЯН, ФАХАТ АЛЬ ГАЛЛЕТ

ОБ ОДНОМ ГИБРИДНОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается Y—Z метод расчета установившегося режима, который позволяет решить задачу при любой форме задания исходной информации относительно стационарных узлов. Разработан вычислительный алгоритм для численного решения задачи.

Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

Հաշվարկ եղանակ է էլեկտրական համակարգի հաստատված ռեժիմը հաշվարկելու, երբ եւս պահանջ մուտք ներկայացվում է Y—Z մատրիցային տեսքով: Խնդիրը լուծարարելու համար լինելով խնդիրը, էրը հաշվարկելու հանգույցի համար արվում են ինքնուրույն մոտեցումներ, որոնցում էլ արվում ու անվտանգ էլեկտրականության Խնդիրը ներկայացվում է խնդիր լինելով լուծարար:

Предположим, что исследуемая электрическая система состоит из $M+1$ узловых точек, а после выторм одного узла в качестве базисного она будет состоять из M независимых узлов [1—3]. Принимается следующая система индексов для узлов типа: $L' = 0, \dots, \Gamma - 1$, $P = L' + m$, $m = 1, 2, \dots, \Gamma - P$, $Q = \Gamma + 1, \dots, \Gamma + 1, \dots, \Gamma + N = M$. На основании выбранной системы индексов уравнения состояния электрической системы в Y—Z форме можно представить в следующем виде [3]:

$$\bar{I}_m = \bar{I}_{0m} + \sum_{n=1}^{\Gamma} Y_{m,n} \bar{U}_n + \sum_{l=\Gamma+1}^M A_{m,l} \bar{I}_l, \quad (1)$$

$$\bar{U}_n = \bar{E}_n + \sum_{m=1}^{\Gamma} Z_{n,m} \bar{U}_m + \sum_{l=\Gamma+1}^M Z_{n,l} \bar{I}_l, \quad (2)$$

где U_n, I_m, U_k, I_l — комплексные напряжения и токи узлов типа $P=U$ и $P=Q$ соответственно. Параметры $Y_{m,n}, A_{m,l}, C_{k,n}$ и $Z_{l,l}$ определяются выражениями, приведенными в [3]. С другой стороны величины I_{lm} и U_{lk} определяются как

$$I_{lm} = - \sum_{n=1}^r Y_{m,n} U_n, \quad U_{lk} = \left(1 - \sum_{n=1}^r C_{k,n} \right) U_n. \quad (3)$$

Из уравнений тока (1) и напряжений (2) переходя к мощностям, получаем

$$\Phi_{pm} = P_m - [P_{lm} + \Phi_{pm}(U_n, U_{lm})] = 0, \quad (4)$$

$$\Phi_{qm} = Q_m - [Q_{lm} + \Phi_{qm}(U_n, U_{lm})] = 0, \quad (5)$$

а также

$$\Phi_{pk} = P_k - [P_{lk} + \Phi_{pk}(U_l, I_l)] = 0, \quad (6)$$

$$\Phi_{ql} = Q_l - [Q_{lk} + \Phi_{ql}(I_l, I_l)] = 0, \quad (7)$$

где

$$\Phi_{pm}(U_n, U_{lm}) = U_n \sum_{n=1}^r [g_{m,n} \cos(\varphi_{lm} - \varphi_{un}) + b_{m,n} \sin(\varphi_{lm} - \varphi_{un})] U_n, \quad (8a)$$

$$\Phi_{qm}(U_n, U_{lm}) = U_n \sum_{n=1}^r [g_{m,n} \sin(\varphi_{lm} - \varphi_{un}) - b_{m,n} \cos(\varphi_{lm} - \varphi_{un})] U_n. \quad (8b)$$

Функции Φ_{pm} и Φ_{qm} определяются согласно [3]. Величины P_{lm} и Q_{lm} рассчитываются по формулам

$$P_{lm} = P_{lm} + \sum_{l=1}^R (H_{m,l} \cos \varphi_{lm} + K_{m,l} \sin \varphi_{lm}) U_n, \quad (9a)$$

$$Q_{lm} = Q_{lm} + \sum_{l=1}^M (H_{m,l} \sin \varphi_{lm} - K_{m,l} \cos \varphi_{lm}) U_n, \quad (9b)$$

где

$$P_{lm} = - \sum_{n=1}^r (g_{m,n} \cos \varphi_{lm} + b_{m,n} \sin \varphi_{lm}) U_n U_n, \quad (10a)$$

$$Q_{lm} = - \sum_{n=1}^r (g_{m,n} \sin \varphi_{lm} - b_{m,n} \cos \varphi_{lm}) U_n U_n. \quad (10b)$$

С другой стороны

$$H_{m,l} = a_{m,l} I_l + a_{m,l}^* I_l^*, \quad K_{m,l} = a_{m,l} I_l^* + a_{m,l}^* I_l, \quad (11)$$

а величины P_{lk} и Q_{lk} определяются как

$$P_{lk} = P_{lk} + \sum_{n=1}^r (M_{k,n} \cos \varphi_{ln} + L_{k,n} \sin \varphi_{ln}) U_n, \quad (12a)$$

$$Q_{ik} = q_{ik} + \sum_{n=1}^l (M_{k,n} \sin \varphi_{un} - L_{k,n} \cos \varphi_{un}) U_n. \quad (12)$$

Здесь P_{ik} и q_{ik} рассчитываются согласно [3], а $M_{k,n}$ и $L_{k,n}$ — нижеприведенными выражениями

$$M_{k,n} = c_{k,n} I_k + c_{k,n}^* I_n, \quad L_{k,n} = c_{k,n}^* I_k - c_{k,n} I_n. \quad (13)$$

Поскольку независимые стационарные узлы являются узлами типа $P-U$, то из систем уравнений (4) — (7) уравнение реактивной мощности (5) становится лишним и в результате остаются (4) и (6), (7).

Относительно уравнения (4) можно написать следующее рекуррентное выражение, вытекающее из метода Ньютона — Рафсона:

$$[\varphi_{un}]^{n+1} = [\varphi_{un}]^n - \left[\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \varphi_{un}} \right]_n^{-1} \times [\Phi_{pn}(\varphi_{un})], \quad (14)$$

где n — номер итерации.

Настоящая статья отличается от [3] тем, что вместо рекуррентного выражения (13), приведенного в указанной работе, используется (14), в котором матрица Якоби имеет порядок на два раза меньше. Рекуррентное выражение относительно систем уравнений (6), (7) имеет вид

$$\begin{bmatrix} I_k \\ I_n \end{bmatrix}^{n+1} = \begin{bmatrix} I_k \\ I_n \end{bmatrix}^n - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I_k} & \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial I_k} \\ \frac{\partial \Phi_{nk}}{\partial I_k} & \frac{\partial \Phi_{nn}}{\partial I_k} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pk} \\ \Phi_{pn} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения (14), определяются

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \varphi_{un}} = & \left\{ P_{(m,n)} - U_m \sum_{n=1}^l [g_{m,n} \sin(\varphi_{um} - \varphi_{un}) - \right. \\ & \left. - b_{m,n} \cos(\varphi_{um} - \varphi_{un})] U_n \right\}, \end{aligned} \quad (16)$$

а когда $n = m$ —

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \varphi_{un}} = U_m [g_{m,n} \sin(\varphi_{um} - \varphi_{un}) - b_{m,n} \cos(\varphi_{um} - \varphi_{un})] U_n. \quad (17)$$

В (16) величина $P_{(m,n)}$ определяется по формуле

$$P_{(m,n)} = P_{(m,n)} + P_{(n,n)}^*, \quad (18)$$

где

$$P_{(m,n)} = \sum_{n=1}^l (g_{m,n} \sin \varphi_{un} - b_{m,n} \cos \varphi_{un}) U_n U_m, \quad (19)$$

$$P_{(n,n)}^* = - \sum_{l=1}^N (H_{n,l} \sin \varphi_{ln} - K_{n,l} \cos \varphi_{ln}) U_n. \quad (20)$$

Нетрудно заметить, что для формирования матрицы Якоби рекуррентного выражения (14) требуется установить всего лишь два типа частных производных, что не вызывает никаких затруднений.

Частные производные, входящие в матрицу Якоби выражения (15), определяются при одинаковых индексах (т. е. когда $k = l$) с помощью выражений (19a)–(19c), (20), а при разных индексах ($k \neq l$) — с помощью выражений, приведенных в [3]. Однако величины U_k и U_{k+1} , входящие в (19a)–(19c), определяются как

$$U_k = \left(1 - \sum_{a=1}^r G_{k,a}\right)U_k + \sum_{a=1}^r (G_{k,a} \cos \alpha_{ka} - G_{k,a} \sin \alpha_{ka})U_{k+1} \quad (21)$$

$$U_{k+1} = \sum_{a=1}^r G_{k+1,a}U_k + \sum_{a=1}^r (G_{k+1,a} \sin \alpha_{k+1,a} - G_{k+1,a} \cos \alpha_{k+1,a})U_{k+1} \quad (22)$$

Заметим, что $G_{k,a}$, $G_{k+1,a}$ и $G_{k,a} \cos \alpha_{ka}$, $G_{k,a} \sin \alpha_{ka}$, входящие в эти выражения, являются действительными и мнимыми составляющими комплексных величин $\dot{A}_{ka}$ и $\dot{A}_{k+1,a}$.

Для иллюстрации предложенного метода рассмотрим простую электрическую систему, состоящую из четырех узловых точек, исходная информация относительно несивающей части которой приводится в [1]. Применительно к исследуемой электрической системе рекуррентные выражения (14) и (15) соответственно принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \left| \frac{\Psi_{a1}}{\Psi_{a2}} \right| &= \left| \frac{0}{0} \right| = \left| -\frac{0,0040179}{0,0043907} - \frac{0,0439077}{-0,0000169} \right| \times \\ &\times \left| \frac{39,1421}{29,8450} \right|. \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \left| \frac{I_1}{I_2} \right| &= \left| \frac{1,962182}{0,981181} \right| = \left| \frac{-206,6242}{34,6495} - \frac{-3,7607}{204,9827} \right| \times \\ &\times \left| \frac{-13,9701}{27,1451} \right|. \end{aligned} \quad (24)$$

Общая матрица, входящая в (23), (24), получаем $\Psi_{a1} = -0,39$, $\Psi_{a2} = 0,39$, $(I_1)' = -2,079336$, $(I_2)' = 1,17578$. Полученные численные значения используются для организации новой итерации. Итерационный процесс считается завершенным, когда обеспечиваются условия

$$|\Phi_{a1} - P_{a1} - [P_{a1} - \Phi_{a1}(U_1, U_2)]| \leq \Delta P_{a1} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} |\Phi_{a2} - P_{a2} - [P_{a2} - \Phi_{a2}(U_1, U_2)]| &\leq \Delta P_{a2} \\ |\Phi_{i1} - Q_{i1} - [Q_{i1} - \Phi_{i1}(U_1, U_2)]| &\leq \Delta Q_{i1} \end{aligned} \quad (26)$$

Величины (25) и (26) характеризуют точность решения нелинейных transcendentalных уравнений установившегося режима электрической системы. После проведения четырех итераций при заданной точности $\Delta P_1 = \Delta P_2 = 0.1$ МВт, $\Delta Q = 0.1$ Мвар, получаем следующие значения искоемых режимных параметров, приведенных в таблице.

Узлы	$P, \text{ МВт}$	$Q, \text{ Мвар}$	$V, \text{ кВ}$	$\delta, \text{ град}$
Э 1-0	48.17	79.41	220.0	0
ЭС 1	161.26	80.64	220.0	1.13
Э 2	122.45	101.23	211.1	1.6
ЭН	431.68	212.84	104	-2.38

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В. С., Эмелякин Э. А. Метод расчета установившегося режима электрических систем // Электричество. — 1987. — № 3. — С. 6—11.
2. Эмелякин Э. А. Об одном методе расчета установившегося режима электрической системы // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. — 1988. — № 5. — С. 25—26.
3. Хачатрян В. С., Эмелякин Э. А. Метод расчета установившегося режима электрической системы // Изв. вузов. Энергетика. — 1989. — № 5. — С. 12—18.
4. Хачатрян В. С. К вопросу об определении производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям станционных узлов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1970. № 2. — С. 101—108.

ԷՐԻՈ 6 VI. 1990

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIV, № 1, 1991, с. 25—30

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.313.333

Н. Г. НИКИЯН

УРАВНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ КЛЕТКОЙ РОТОРА

Рассмотрены уравнения асинхронной машины (АМ) с учетом электрической связи между контурами симметричной короткозамкнутой клетки ротора. На их основе выведены уравнения АМ с несимметричной клеткой, которые реализуются на ЭВМ. Проводится сравнение результатов расчета и измерений.

Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

Վերաբերված էին անհրաժեշտ ճիշդությամբ (ՄԴ) հաշվարկները, որոնցում հաշվի են առնվում միմյանց փոխում հաղորդող անոթների էլեկտրական միջև կապը։ Հանդիմանում կապը նրանց միջև ընդ որում, էին բնական անհամապատասխանություն ՄԴ-ի հաշվարկները, որոնք իրականացվում են ՀՀ-ի մեծ հաստատություն և հաշվարկային սարքավորումների օգտագործմամբ։