

При содержании в стали 0,1...1,0% Si с температурой 1873 К, исходя из константы равновесия $K_{Si} = [\%Si] \cdot [\%O]^2 = 3,0 \cdot 10^{-5}$, растворяется $\sqrt{3 \cdot 10^{-5}} = 0,0055\% O_2$, т.е. за время раскисления удаляется $0,05 - 0,0055 = 0,0445\% O_2$. При 1600°C удельная теплоемкость стали равна $C = 43,1$ Дж/(моль·К) или $43,1/55,85 = 0,772$ Дж/(г·К). Тогда $\Delta U = -10,2^\circ C$, т.е. наблюдается повышение температуры жидкой стали.

При легировании ферромolibденом изменение жидкой стали при введении в нее 1 % ферромolibдена составляет 291 К [8], т.е. наблюдается понижение температуры жидкой стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строганов А.И., Рысс М.А. Производство стали и ферросплавов. - М.: Металлургия, 1979. - 504 с.
2. Курдюков А.А., Оффенгенден А.М. Раскисление и легирование стали в ковше. - Донецк: Донбасс, 1969. - 67 с.
3. Овсеян А.О., Кулиш В.П., Клиот С.А. Использование молибденсодержащих отходов электронагревателей при выплавке стали // Сталь. - 1985. - № 2. - С. 30-32.
4. Казачков И.П. Исследование физико-химических процессов взаимодействия ферросплавов со сталью в ковше и разработка новых марок сплавов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук / Днепропетровский металлургический ин-т. - Днепропетровск, 1972. - 43 с.
5. Линчевский Б.В. Техника металлургического эксперимента. - М.: Металлургия, 1979. - 255 с.
6. Кислый П.С., Бадян А.Х. и др. Высокотемпературные неметаллические нагреватели. - Киев: Наук. думка, 1981. - 160 с.
7. Эллиот Д.Ф., Глейзер М., Рамакришна В. Термохимия сталеплавильных процессов: Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1969. - 252 с.
8. Кнопфель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали: Пер. с нем.: Ч. 2. - М.: Металлургия. - 413 с.

ИОНХ НАН РА

09.07.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 1, 1998, с. 44 - 50.

УДК 621.311.1.001.24

ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, М.Г. ТАМРАЗЯН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭКВИВАЛЕНТИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ

Առաջարկվում է համարժեքացված էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված մեծիկի ոչ գծային համարժեքային հաշվարկմանի համակարգի լուծման Նյուտոն-Ռաֆսոնի մեթոդը: Ի ստորերոշարժում գոյություն ունեցող մեթոդների, Յակոբիի

մատրիցի կարգը բնութագրվում է անկախ կայանային հանգույցների կրկնապատկումով, որի դեպքում, ուսումնասիրվող համակարգի կառուցվածքից կախված հաշվողական աշխատանքի ծավալը կրճատվում է 25...35%:

Предлагается метод решения системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима эквивалентированной электроэнергетической системы методом Ньютона-Рафсона. В отличие от существующих методов в данной работе порядок матрицы Якоби характеризуется удвоенным числом независимых станционных узлов, при котором в зависимости от структуры исследуемой системы объем вычислительных работ сокращается на 25...30%.

Библиогр.: 5 назв.

A method of nonlinear simultaneous algebraic equations solution for equivalent electric power system by Newton-Rafson method is proposed. Unlike the existing methods, Jacobi matrix order is characterized by double number of independent stationary units. Depending on the system structure to be studied, the volume of computation is reduced for 25...30%.

Ref. 5.

В настоящее время для решения системы нелинейных алгебраических уравнений установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) широко применяются методы первого и второго порядка, вытекающие из теории разложения соответствующих функций в ряд Тейлора [1-5].

Как в первом, так и во втором случае определенные затруднения возникают при обращении матриц Якоби и Гессе, порядок которых, при классической постановке задачи, характеризуется удвоенным числом независимых узлов исследуемой ЭЭС.

Целью настоящей работы является уменьшение порядка матриц Якоби и Гессе.

Количественные и качественные исследования показывают, что одним из возможных направлений уменьшения порядка указанных матриц является построение эквивалентированной математической модели установившегося режима ЭЭС. В основе данного построения модели лежит идея, которая была использована в [5].

Как известно, уравнение состояния ЭЭС в Z-форме в матричной записи представляется в следующем виде:

$$\dot{U} = \dot{U}_b + Z\dot{I}, \quad (1)$$

где \dot{U} , \dot{I} - комплексные напряжения и токи независимых узлов;

\dot{U}_b - напряжение базисного балансирующего узла; Z - квадратная матрица собственных и взаимных сопротивлений узлов.

Принимается следующая система индексов:

- для станционных узлов

$$m(n)=0,1,2,\dots, \Gamma,$$

где Γ - число независимых станционных узлов;

- для нагрузочных узлов, не изменяющихся в течение времени,

$$i(j)=\Gamma+1, \Gamma+2,\dots, \Gamma+N',$$

где N' - число данных узлов;

- для нагрузочных узлов, изменяющихся в течение времени.

$$K(\ell) = \Gamma + N' + 1, \Gamma + N' + 2, \dots, \Gamma + N' + N'',$$

где N'' - число данных узлов.

Как видно, общее число нагрузочных узлов составляет $N' + N'' = N$.

Предположим, что совокупности нагрузочных узлов N' и N'' представлены в виде единого суммирующего нагрузочного узла [2], при котором матричное уравнение (1) в развернутой форме необходимо представить в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m,B} \\ \dots \\ \dot{U}_{\Sigma H,B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{m,m} & | & Z_{m,\Sigma H} \\ - & - & - \\ Z_{\Sigma H,m} & | & Z_{\Sigma H,\Sigma H} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_m \\ \dots \\ \dot{I}_{\Sigma H'} + \dot{I}_{\Sigma H''} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\dot{U}_{m,B}$ - столбцевая подматрица комплексных напряжений независимых стационарных узлов относительно напряжения базисного стационарного узла; $\dot{U}_{\Sigma H,B}$ - комплексное напряжение эквивалентного нагрузочного узла ΣH относительно напряжения базисного стационарного узла; \dot{I}_m - столбцевая подматрица комплексных токов независимых стационарных узлов; $\dot{I}_{\Sigma H'}$ - суммарный комплексный ток эквивалентного нагрузочного узла, мощности которых не изменяются в течение времени; $\dot{I}_{\Sigma H''}$ - суммарный комплексный ток эквивалентного нагрузочного узла, мощности которых изменяются в течение времени; $Z_{m,m}$ - неособенная квадратная матрица собственных и взаимных комплексных сопротивлений между независимыми стационарными узлами; $Z_{m,\Sigma H}$ - взаимные комплексные сопротивления между независимыми стационарными и суммарным нагрузочным узлами; $Z_{\Sigma H,m}$ - взаимные комплексные сопротивления между суммарным нагрузочным и независимыми стационарными узлами; $Z_{\Sigma H,\Sigma H}$ - собственное комплексное сопротивление единого эквивалентированного нагрузочного узла.

Полученное уравнение (2) является матричным уравнением эквивалентированной ЭЭС. Теперь необходимо установить аналитические выражения вновь возникших комплексных сопротивлений $Z_{m,\Sigma H}$, $Z_{\Sigma H,m}$ и $Z_{\Sigma H,\Sigma H}$.

Комплексное сопротивление $Z_{m,\Sigma H}$ определяется из условия инвариантности комплексных мощностей независимых стационарных узлов до и после преобразования:

$$Z_{m,\Sigma H} = \frac{\sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+N'} Z_{mj} \dot{I}_j + \sum_{r=\Gamma+N'+1}^{\Gamma+N'+N''} Z_{mr} \dot{I}_r}{\sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+N'} \dot{I}_j + \sum_{r=\Gamma+N'+1}^{\Gamma+N'+N''} \dot{I}_r}. \quad (3)$$

Комплексные сопротивления $Z_{\Sigma H, n}$ и $Z_{\Sigma H, \Sigma H}$ определяются из условий инвариантности суммарных комплексных мощностей нагрузочных узлов до и после преобразования ЭЭС:

$$Z_{\Sigma H, n} = \frac{\sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} Z_{in} \hat{I}_i + \sum_{K=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} Z_{kn} \hat{I}_k}{\sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} \hat{I}_i + \sum_{K=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} \hat{I}_k}, \quad (4)$$

$$Z_{\Sigma H', \Sigma H''} = \frac{\hat{T}_{ij} + \hat{T}_{i'j'} + \hat{T}_{kj} + \hat{T}_{k'j'}}{(\hat{t}_i + \hat{t}_k)(\hat{t}_j + \hat{t}_{j'})}, \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \hat{T}_{ij} &= \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} \hat{I}_i Z_{ij} \hat{I}_j, & \hat{T}_{i'j'} &= \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} \sum_{j'=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} \hat{I}_i Z_{i'j'} \hat{I}_{j'}, \\ \hat{T}_{kj} &= \sum_{k=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} \hat{I}_k Z_{kj} \hat{I}_j, & \hat{T}_{k'j'} &= \sum_{k=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} \sum_{j'=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} \hat{I}_k Z_{k'j'} \hat{I}_{j'}. \end{aligned} \quad (6)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} \hat{t}_i &= \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} \hat{I}_i, & \hat{t}_k &= \sum_{k=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} \hat{I}_k, \\ \hat{t}_j &= \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H'} \hat{I}_j, & \hat{t}_{j'} &= \sum_{j'=\Gamma+H'+1}^{\Gamma+H'+H''} \hat{I}_{j'}. \end{aligned} \quad (7)$$

В результате математическая модель эквивалентированной ЭЭС принимает вид

$$\dot{U}_m = \dot{U}_{\Sigma H, B} + \sum_{n=1}^{\Gamma} Z_{m, n} \dot{I}_n, \quad (8)$$

где

$$\dot{U}_{\Sigma H, B} = \dot{U}_{\Sigma H} + (Z_{\Sigma H, \Sigma H} - Z_{m, \Sigma H}) \dot{I}_0, \quad (9)$$

$$Z_{m, n} = Z_{am} - Z_{m, \Sigma H} - Z_{\Sigma H, n} + Z_{\Sigma H, \Sigma H}, \quad (10)$$

$$\dot{U}_{\Sigma H} = \dot{U}_B + \sum_{n=1}^{\Gamma} Z_{\Sigma H, n} \dot{I}_n + Z_{\Sigma H, \Sigma H} (\dot{I}_{\Sigma H'} + \dot{I}_{\Sigma H''}), \quad (11)$$

$$\dot{I}_0 = - \left(\sum_{n=1}^{\Gamma} \dot{I}_n + \dot{I}_{\Sigma H'} + \dot{I}_{\Sigma H''} \right). \quad (12)$$

Умножив уравнение состояния (8) на \hat{I}_m , получим

$$P_m + jQ_m = \dot{U}_{\Sigma H, B} \hat{I}_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} Z_{m, n} \dot{I}_n \hat{I}_m,$$

откуда можно установить аналитические выражения активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов:

$$P_m = (U'_{\Sigma_{H,B}} I'_m + U''_{\Sigma_{H,B}} I''_m) + \sum_{n=1}^{\Gamma} [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) R_{m,n} - (I'_m I''_n - I''_m I'_n) x_{m,n}], \quad (13)$$

$$Q_m = -(U'_{\Sigma_{H,B}} I''_m - U''_{\Sigma_{H,B}} I'_m) + \sum_{n=1}^{\Gamma} [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) x_{m,n} + (I'_m I''_n - I''_m I'_n) R_{m,n}].$$

Представим полученную систему нелинейных алгебраических уравнений (13) в следующем виде:

$$\Phi_{pm} = P_m - \{P_{Bm} + (I_m'^2 + I_m''^2) R_{m,n} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq l}}^{\Gamma} [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) R_{m,n} - (I'_m I''_n - I''_m I'_n) x_{m,n}]\} = 0, \quad (14)$$

$$\Phi_{qm} = Q_m - \{Q_{Bm} + (I_m'^2 + I_m''^2) x_{m,n} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq l}}^{\Gamma} [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) x_{m,n} + (I'_m I''_n - I''_m I'_n) R_{m,n}]\} = 0,$$

где $P_{Bm} = (U'_{\Sigma_{H,B}} I'_m + U''_{\Sigma_{H,B}} I''_m)$, $Q_{Bm} = -(U'_{\Sigma_{H,B}} I''_m - U''_{\Sigma_{H,B}} I'_m)$.

Полученная система (14) является системой нелинейных алгебраических уравнений относительно составляющих комплексных токов, и ее порядок характеризуется числом независимых стационарных узлов. Систему (14) можно решить методами первого и второго порядков. При решении методом первого порядка (метод Ньютона-Рафсона) рекуррентное отношение (14) принимает вид

$$\begin{bmatrix} I'_m \\ \vdots \\ I''_m \end{bmatrix}^{H+1} = \begin{bmatrix} I'_m \\ \vdots \\ I''_m \end{bmatrix}^H - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial I'_n} & \vdots & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial I''_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I'_n} & \vdots & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I''_n} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pm} \\ \vdots \\ \Phi_{qm} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

где H - номер итерации.

Квадратная матрица в рекуррентном выражении (15) является неособенной матрицей Якоби, и ее элементы определяются нижеприведенными выражениями:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $n=m$:

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial I'_m} = -[U'_{\Sigma_{H,B}} + 2R_{m,m} I'_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} (R_{m,n} I'_n - x_{m,n} I''_n)], \quad (16)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I''_m} = -[U''_{\Sigma_{H,B}} + 2R_{m,m} I''_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} (R_{m,n} I''_n + x_{m,n} I'_n)],$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I'_m} = -[U''_{\Sigma_{H,B}} + 2x_{m,m} I'_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} (x_{m,n} I'_n + R_{m,n} I''_n)],$$

$$\frac{\partial \Phi_{\text{qm}}}{\partial I_m''} = -[-U'_{\Sigma \text{H,Б}} + 2x_{m,m} I_m'' + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^l (x_{m,n} I_n'' - R_{m,n} I_n')];$$

- при разных индексах, т.е. когда $n \neq m$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{\text{pm}}}{\partial I_n'} &= -(R_{m,n} I_m' + x_{m,n} I_m''), & \frac{\partial \Phi_{\text{pm}}}{\partial I_n''} &= -(R_{m,n} I_m'' - x_{m,n} I_m'), \\ \frac{\partial \Phi_{\text{qm}}}{\partial I_n'} &= -(x_{m,n} I_m' - R_{m,n} I_m''), & \frac{\partial \Phi_{\text{qm}}}{\partial I_n''} &= -(x_{m,n} I_m'' + R_{m,n} I_m'). \end{aligned} \quad (17)$$

Как видно, между выражениями существуют следующие соотношения:

$$\frac{\partial \Phi_{\text{pm}}}{\partial I_n'} = \frac{\partial \Phi_{\text{qm}}}{\partial I_n''}, \quad \frac{\partial \Phi_{\text{pm}}}{\partial I_n''} = -\frac{\partial \Phi_{\text{qm}}}{\partial I_n'}.$$

На основании аналитических выражений частных производных, входящих в матрицу Якоби, рекомендуется следующий вычислительный алгоритм для численного решения задач, учитывая, что независимые стационарные узлы являются узлами типа P-Q.

1. С учетом исходной информации, заданной относительно активных и реактивных мощностей нагрузочных узлов, устанавливаются составы постоянных и переменных нагрузок.

2. Принимая комплексные напряжения нагрузочных узлов равными напряжению базисного узла, вычисляются численные значения комплексных токов $\hat{I}_l(i_l)$, $\hat{I}_k(i_k)$.

3. Вычисляются численные значения эквивалентирующих комплексных сопротивлений $Z_{m,\Sigma \text{H}}$, $Z_{\Sigma \text{H},a}$, $Z_{\Sigma \text{H},\Sigma \text{H}}$. При наличии матрицы Z_{mn} строится расчетная матрица $Z_{m,a}$.

4. Устанавливая численные значения $\hat{I}_{\Sigma \text{H}}$ и $\hat{I}_{\Sigma \text{H}}$ и вычисляя предварительные значения комплексных токов независимых стационарных узлов, определяется численное значение напряжения $\hat{U}_{\Sigma \text{H}}$.

5. Устанавливая численное значение $\hat{U}_{\Sigma \text{H,Б}}$, получаем систему нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима эквивалентированной ЭЭС.

6. Определяя численные значения частных производных, входящих в матрицу Якоби, и имея предварительные значения составляющих комплексных токов независимых стационарных узлов, осуществляется первая итерация по рекуррентному выражению (15).

7. Последующие итерации осуществляются на основании рекуррентного выражения (15). Решение задачи считается завершённым, если обеспечивается условие

$$\left| \begin{bmatrix} I_m' \end{bmatrix}^{H+1} - \begin{bmatrix} I_m' \end{bmatrix}^H \right| \leq \begin{bmatrix} \Delta I_m' \end{bmatrix}, \quad (18)$$

где $\Delta I'_{in}$, $\Delta I''_{in}$ - заданные положительные величины, характеризующие точность определения составляющих комплексных токов независимых станционных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество. - 1991. - № 1, - С. 6-13.
2. Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С. Расчет установившегося режима электрических систем с применением матрицы Гессе при Z-форме задания состояния сети // Изв. вузов. Энергетика. - 1990. - № 1.-С. 20-23.
3. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Аракелян В.П. Упрощенный метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Электричество. - 1992. - № 2.- С. 9-14.
4. Эль Саид Н.М., Абдулрахим Я.С., Тамразян М.Г. Относительные приросты потерь мощностей в электроэнергетических системах // Изв. НАН Армении. Сер. ТН. - 1993. - № 2 -3. - С. 77-82.
5. Тамразян М.Г. Об одном Y-Z-методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН Армении и ГИУА. Сер. ТН. - 1996.- Т. 49, № 3. - С. 138-142.

ГИУА

19.09.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 1, 1998, с. 50 - 54.

УДК 620.91

ЭНЕРГЕТИКА

Ж.Р. ПАНОСЯН, А.О. АРАКЕЛЯН, Е.В. ЕНГИБАРЯН, Г.Г. ТОРОСЯН

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Մեծ քանակությամբ ֆոտոէլեմենտների (ՖԷ) արդյունավետ օգտագործման և հաջորդական միացման դեպքում ֆոտոէլեկտրական վահանակների (ՖՎ) հզորության կորուստները նվազեցնելու նպատակով կատարվել է ՖԷ-ների հատուկ ընտրություն՝ ըստ նրանց ֆոտոէլեկտրական սյուրսմետրերի: Այս աշխատանքի արտադրողականությունը բարձրացնելու և ֆոտոէլեկտրական վահանակները սերիական արտադրության մեջ ներդնելու նպատակով IBM PC 586 ըմպիուտերի բազայի հիման վրա ստեղծվել է ավտոմատ դեկլարվող համակարգ: Անրոշ համակարգը դեկլարելու, ավելաները գրանցելու և մշակելու, ՖԷ-ների և ՖՎ-ի ընտրության ու խմբավորման համար ստեղծվել է Turbo-Pascal 7.0 տիրոհիթմական լեզվով գրված ծրագիր:

Для эффективного использования большого количества фотоэлементов (ФЭ) и уменьшения потерь мощности фотоэлектрических панелей (ФЭП) при последовательном соединении ФЭ произведен специальный выбор последних согласно их фотоэлектрическим параметрам. Создана автоматическая управляемая система на базе компьютера IBM PC 586 с целью повышения производительности и внедрения разработанного метода выбора ФЭ в серийное производство фотоэлектрических панелей. Для управления всей системой, регистрации и обработки данных, выбора и группировки ФЭ и ФЭП разработана соответствующая программа, написанная на алгоритмическом языке Turbo - Pascal 7.0.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.