

Техногенна безпека електроустановок і електрообладнання та засоби захисту від електромагітних проявів. Методи оцінки ефективності засобів захисту. Автоматичні засоби запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій

УДК 621.3.027.3

*В.І. ГУДИМ^{1,2}, А.Я. ПОСТОЛЮК¹
м. Львів¹, Україна; м. Краків², Польща*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДСП ДЛЯ ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Часто, незважаючи на наявність засобів захисту, мають місце струмові перевантаження електрообладнання, що призводить до його надмірного нагрівання. Керівними вказівками обмежується час і величина перевантаження, які вибрані як усереднені величини для різних умов навколишнього середовища. Для більшості споживачів ці умови виконуються, однак для електрообладнання дугових сталеварних печей такі умови не завжди можна забезпечити.

Останні десятиліття на сталеварних заводах широко застосовується електродугові печі постійного струму замість електродугових печей трифазного змінного струму [1,2]. Однак така заміна вимагає реконструкції, а подекуди і повної заміни їх системи електропостачання. Процес переробки металу відбувається в інтенсивних режимах (скорочення технологічного циклу, як правило за рахунок перевантаження пічних трансформаторів). Це призводить до експлуатації таких комплексів з граничними значеннями струмів. Крім того, глибока нелінійність дуг призводить до генерації вищих гармонік і несиметрії, що лише погіршує умови експлуатації в сенсі струмового перевантаження і нагрівання електрообладнання. Відомо, що під час проектування ці фактори враховуються, в зв'язку з чим основне електрообладнання вибирається зі значними запасами, що є економічно не обгрунтовано. Тому проектування таких систем вимагає всебічної оцінки координат імовірних режимів роботи печей для правильного вибору електрообладнання та розробки заходів для забезпечення допустимих умов експлуатації.

Оскільки проведення натурних експериментів є досить енергоємним та й подекуди небезпечним для електрообладнання системи електропостачання, тому оцінку координат режимів роботи пропонуємо виконувати шля-

хом математичного моделювання. З цією метою розроблено математичну модель в методі контурних струмів і контурних магнітних потоків з врахуванням математичної моделі дуги постійного струму, математичної моделі трансформатора та вентиляльних елементів [3,4].

Остаточна математична модель, яка створена на підставі основних законів електромагнітних кіл та електромагнітних явищ в контурних координатах, запишеться у вигляді:

$$\Gamma_r \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{R}_{k+1}^{(l)} + \alpha_0 \cdot h^{-1} \mathbf{M}_{k+1}^{(l)} + \alpha_0^{-1} h \mathbf{C}_{k+1}^{-1} & a_0 h^{-1} \mathbf{K}_{12} \\ a_0 h^{-1} \mathbf{K}_{21} & -a_0 h^{-1} \mathbf{R}_{\mu k+1}^{(l)} \end{pmatrix} \times \Gamma_r \cdot \begin{pmatrix} \bar{i}_{K,k+1}^{(l)} \\ \Delta \bar{\psi}_{K,k+1}^{(l)} \end{pmatrix} =$$

$$\Gamma_r \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{R}_{k+1}^{(l)} + a_0 h^{-1} \mathbf{M}_{k+1}^{(l)} + \alpha_0^{-1} h \mathbf{C}_{k+1}^{-1} & a_0 h^{-1} \mathbf{K}_{12} \\ a_0 h^{-1} \mathbf{K}_{21} & -a_0 h^{-1} \mathbf{R}_{\mu k+1}^{(l)} \end{pmatrix} \times \Gamma_r \cdot \begin{pmatrix} i_{K,k+1}^{(l)} \\ \bar{\psi}_{K,k+1}^{(l)} \end{pmatrix} +$$

$$+ \Gamma_r (h^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{M}_{k+1}^{(l)} & \mathbf{K}_{12} \\ \mathbf{K}_{21} & -\mathbf{R}_{\mu k+1}^{(l)} \end{pmatrix} \cdot \Gamma_r \cdot \sum_{s=1}^p a_s \cdot \begin{pmatrix} \bar{i}_{k+1-s}^{(l)} \\ \bar{\psi}_{k+1-s}^{(l)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \bar{i}_{HEk+1-s}^{(l)} + a_0^{-1} \sum_{s=1}^p a_s \cdot \bar{u}_{Ck+1-s}^{(l)} - \bar{e}_{k+1}^{(l)} \\ 0 \end{pmatrix}) = 0;$$

$$\begin{pmatrix} \bar{i}_{K,k+1}^{(l+1)} \\ \bar{\psi}_{K,k+1}^{(l+1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{K,k+1}^{(l)} \\ \bar{\psi}_{K,k+1}^{(l)} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta i_{K,k+1}^{(l)} \\ \Delta \bar{\psi}_{K,k+1}^{(l)} \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \bar{i}_{k+1}^{(l+1)} \\ \bar{\psi}_{k+1}^{(l+1)} \end{pmatrix} = \Gamma_r \cdot \begin{pmatrix} \bar{i}_{K,k+1}^{(l+1)} \\ \bar{\psi}_{K,k+1}^{(l+1)} \end{pmatrix};$$

$$\begin{aligned} (a_0 \cdot h^{-1} + 2 \cdot \alpha \cdot \gamma^{-1} \cdot C_r^{-1}) \cdot \Delta \bar{\theta}_{k+1}^{(l)} &= (a_0 \cdot h^{-1} \cdot \bar{\theta}_{k+1}^{(l)} + 2 \cdot \alpha \cdot \gamma^{-1} \cdot C_r^{-1}) \cdot \bar{\theta}_{k+1}^{(l)} + \\ &+ h^{-1} \cdot \sum_{s=1}^p a_s \cdot \bar{\theta}_{k+1-s}^{(l)} - \rho_{k+1}^{(l)} \cdot (\bar{j}_{k+1}^{(l)})^2 \cdot \gamma^{-1} \cdot C_r^{-1} \end{aligned}$$

$$\bar{\theta}_{k+1}^{(l+1)} = \bar{\theta}_{k+1}^{(l)} - \Delta \bar{\theta}_{k+1}^{(l)}$$

де $\mathbf{C}_{k+1}^{(l)}$, $\mathbf{R}_{k+1}^{(l)}$ – матриця емностей та лінійних резистансів електричних кіл на l -тій ітерації ($k+1$) кроку інтегрування; $\mathbf{K}_{1,2}$, $\mathbf{K}_{2,1}$ – матриця коефіцієнтів трансформації трансформаторів; Γ_r , Γ_r^T – пряма і транспонована матриці контурних з'єднань електричних і магнітних кіл схеми; a_0 , a_s – коефіцієнти апроксимуючого поліному методу ФДН; h – крок чисельного інтегрування; p – порядок методу; $\bar{e}_{k+1}^{(l)}$ – вектор електрорушійних сил віток схеми на l -тій ітерації ($k+1$ -го кроку інтегрування; $\bar{u}_{Ck+1}^{(l)}$, $\bar{\psi}_{K,k+1}^{(l)}$ – вектори напруг емностей та потокощеплень на l -тій ітерації ($k+1$ -шому кроці інтегрування; $\bar{u}_{\rho k+1}^{(l)}$ – вектор напруг резистивних нелінійних елементів схеми (віток дуг ДСП) на l -тій ітерації ($k+1$ -го кроку інтегрування; $\bar{i}_{K,k+1}^{(l+1)}$, $\bar{i}_{k+1}^{(l+1)}$, $\bar{\psi}_{K,k+1}^{(l+1)}$, $\bar{\psi}_{k+1}^{(l+1)}$ – вектори контурних струмів схеми і контурних потокощеплень трансформаторів на l -тій та $(l+1)$ -шій ітерації ($k+1$ -го кроку інтегрування; $\Delta \bar{i}_{K,k+1}^{(l)}$.

$\Delta \vec{\psi}_{k+1}^m$ – вектори приростів контурних струмів схеми і контурних потоко-
шеплень трансформаторів на l -тій ітерації $(k+1)$ кроку інтегрування; M_{k+1}^m –
матриця власних і взаємних індуктивностей електричних кіл схеми на l -тій
ітерації $(k+1)$ -шого кроку інтегрування; $\vec{\sigma}_{k+1}^m$ – вектор температур провідних
середовищ системи електропостачання на l -тій ітерації $(k+1)$ -шому кроці
інтегрування; α – коефіцієнт тепловіддачі; γ, C_p – питома густина та теп-
лоємність матеріалу провідника.

Отримана математична модель зреалізована в середовищі Delphi 7 у
вигляді програмного продукту, який забезпечено відповідним сервісом [5].
Зреалізована програма, завдяки інтуїтивно зрозумілому графічному інтер-
фейсу, забезпечує швидке введення вхідної інформації (таблиці з'єднань
графа схеми, пасивних параметрів віток схеми, характеристик джерел жив-
лення, таблиці взаємоіндуктивних зв'язків між вітками). На основі вхідної
інформації цифрова модель шляхом виконання математичних операцій над
матрицями формує і розв'язує систему алгебро-диференційних рівнянь та
подає результати розрахунку у табличній або графічній формі.

Програмний комплекс адаптований до середовища Windows 98 +
Windows 7, які інсталиються на сучасних персональних комп'ютерах, при
чому обсяг пам'яті на диску, необхідний для роботи програми, не переви-
щує 1,5 МБ.

Розроблена цифрова модель є універсальною та може застосовувати-
ся не лише для розрахунку та аналізу режимів роботи систем електропоста-
чання ДСП, а й для розрахунку електромагнітних кіл будь-якої складності.
Моделювання електромагнітних процесів відбувається на рівні миттєвих
значень струму та напруги.

Література:

1. Maki Toshimichi. DC furnaces make make runing in Japan// Steel Times Int. – 1992. – 16, №5. с. 11,13.
2. Закамаркин М.К., Липовецкий М.М, Малиновский В.С. Дуго-
вая сталеплавильная печь постоянного тока емкостью 25 т. на ПО «Иж-
сталь»// Сталь. – 1991. – №4. – с.21-34.
3. Шидловський А.К., Перхач В.С., Скрипник О.І. Енергетичні
системи з електропередачами та вставками постійного струму. –К.: Наукова
думка, 1992. – 288 с.
4. Гудим В.І. Постоліук А.Я. Юрків Б.М. Аналіз електромагнітних
процесів у шестиелектроградній дуговій електропечі імпульсного струму//
Технічна електродинаміка. – 2010. – №6. – с.65-70.
5. Архангельский Я.А. Программирование в Delphi 7. – М.: ООО
«Бином-Прогресс», 2004 г. – 1152 с.: ил.