

УДК 621.313

Дівчук Т.Є.¹, Савельєв В.Г.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

ОБ'ЄКТНО – ОРІЄНТОВНИЙ ПІДХІД ПРИ ЗАВДАННІ АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХОЛОДНОКАТАНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СТАЛІ МАГНІТНИХ СИСТЕМ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

При моделюванні електромагнітних процесів в активній частині силового трансформатора є необхідним завдання властивостей всіх структурних компонентів. Важливим етапом є завдання анізотропних властивостей холоднокатаних електротехнічних сталей магнітної системи, яка складається з ділянок в яких присутній переважний напрямок магнітного потоку. При об'єктно – орієнтовному підході цими ділянками є: 1) ярма та стрижні в яких напрямок магнітного потоку співпадає з напрямком прокатки електротехнічної сталі; 2) прямі стики при шихтуванні пластин магнітної системи в яких кут складає 90^0 ;

3) скошені стики – з кутами 30^0 ; 45^0 та 60^0 до напрямку прокатки. Такий розподіл дозволяє представити ділянки анізотропних феромагнітних матеріалів магнітної системи силового трансформатора як ізотропні середовища із нелінійними властивостями та визначити вектор функцій магнітних проникностей

$$\mu = \left\{ \mu_{0^0}(\text{В}), \mu_{15^0}(\text{В}), \mu_{30^0}(\text{В}), \mu_{45^0}(\text{В}), \mu_{60^0}(\text{В}), \mu_{90^0}(\text{В}) \right\}, \quad (1)$$

компоненти якого відповідають компонентам вектора кутів між напрямками індукції і напрямком прокатування електротехнічної сталі $\alpha = (0^0, 15^0, 30^0, 45^0, 60^0, 90^0)$. Такий поділ магнітної системи трансформатора на ділянки дозволяє достовірно відобразити вплив анізотропії властивостей холоднокатаних електротехнічних сталей на параметри неробочого ходу силового трансформатору.

Вкрай важливим є врахування в співвідношенні (1) ефекту гістерезису, який здійснено на основі моделі Джилса-Аттертона (2) основою яких є безгістерезисні криві намагнічування (3)

$$\begin{cases} dM/dt = [\chi \cdot dH_e/dt]^+ \chi/|\chi| + c dM_{an}/dt, \\ H_e = H + \alpha M; \\ M_{an} = M_s \left(\coth(|H_e/a|) - |a/H_e| \right) H_e/|H_e|; \\ \chi = (M_{an} - M)/k, \end{cases} \quad (2)$$

де M – намагніченість; H_e – напруженість еквівалентного внутрішнього поля; M_{an} – безгістерезисна намагніченість; a – параметр форми; c – параметр зворотності; k – параметр закріплення; α – параметр внутрішньо-доменного зв'язку; M_s – параметр максимальної намагніченості.

$$\{B\} = \{\mu_o \cdot \mu(\text{В}) \cdot H\}. \quad (3)$$

Апроксимації безгістерезисних співвідношень у системах (2), (3) здійснюється за рахунок спеціального базису із функціями Гауса та додатковими функціями похибок:

$$\begin{cases} \mu_j^{\text{apr}}(B) = \sum_{m=1}^3 G_{m,1}^j \cdot \exp \left[-G_{m,2}^j \cdot \left(B^2 - G_{m,3}^j \right)^2 \right] + A_{j,0} + \\ + A_{j,1} \cdot \text{erfc} \left(A_{j,2} \cdot B^2 - A_{j,3} \right) + A_{j,4} \cdot \text{erfc} \left(A_{j,5} \cdot B - A_{j,6} \right), \end{cases} \quad (4)$$

де коефіцієнти регресії $\left\{ G_{m,l}^j \right\} \left\{ A_{j,k} \right\} (n=1, \dots, 3; k=1, \dots, 6)$ визначаються методом найменших квадратів.

Відносна похибка даних апроксимації при такому підході знаходиться в інтервалі 0,612 – 1,62%, що забезпечує високий рівень збіжності розрахункових даних для співвідношень (4) з даними експериментів.