

## **DESENVOLVIMENTO DE MODELOS NUMÉRICOS PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS EM PEQUENOS TRANSFORMADORES**

Antônio Flavio Licario Nogueira<sup>1</sup>, Douglas Moraes de Melo<sup>2</sup>, Leonardo José Amador Salas Maldonado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica-CCT antonioflavio@ieee.org.

<sup>2</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica CCT - bolsista PIBIC/CNPq UDESC.

<sup>3</sup> Professor Participante do Departamento de Engenharia Elétrica CCT

Palavras-chave: Indutância. Método dos elementos finitos. Perdas em núcleos de transformadores.

O objetivo do trabalho é a investigação, caracterização e análise dos fenômenos eletromagnéticos que acarretam perdas nos enrolamentos e núcleos laminados de transformadores. O modelo numérico do núcleo ferromagnético de um transformador deve incluir o efeito das não linearidades magnéticas como saturação e histerese, bem como a influência da frequência de operação nas perdas.

A teoria de separação de perdas formam a base do trabalho de investigação que inclui: (i) a identificação de métodos analíticos que permitem o cálculo aproximado das perdas a partir de fórmulas empíricas; (ii) os ensaios no laboratório convencional para aquisição de características histeréticas no plano B-H para diferentes frequências de operação; (iii) a criação de modelos numéricos que permitem cálculos de perdas com auxílio de programas de simulação baseados no método dos elementos finitos.

A partir das estruturas teóricas que descrevem o comportamento dos materiais magnéticos, foi possível distinguir três tipos principais de perdas nesses materiais: perdas por histerese, perdas por correntes parasitas e perdas excedentes em que somadas tem-se as perdas totais.

$$P_t = P_h + P_f + P_{exc} \quad (1)$$

No qual  $P_h$  representam as perdas por histerese,  $P_f$  as perdas por correntes de Foucault clássicas e  $P_{exc}$  as perdas por correntes de Foucault excedentes ou, anômalas.

Para calcular  $P_h$  usa-se a equação empírica formulada por Steinmetz no qual permite calcular perda por histerese em função da indução máxima no material  $B_{máx}$ .

$$P_h = K_h B_m^{\alpha h} f \quad (2)$$

Para calcular  $P_f$  nos baseamos nas equações de correntes induzidas de Faraday em que a partir delas obtém-se:

$$P_f = K_f B_{FE}^2 f^2 e^2 v \quad (3)$$

Para obter  $P_{exc}$  usa-se o modelo estatístico proposto por Bertotti, 1988.

$$P_{exc} = K_{excB} \sqrt{\frac{1}{\rho}} B_m^{\frac{3}{2}} f^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

Para obter as perdas no ferro realizou-se ensaios com diferentes frequências no qual a indução  $\mathbf{B}$  se manteve constante. Com as perdas associadas as frequências, os coeficientes  $K$  dos

modelos de cada parcela pode ser determinados, resolvendo um sistema linear de 3x3 equações, do modelo proposto.