

Cálculo de perdas magnéticas em núcleos de transformadores

Antônio Flavio Licarião Nogueira¹, André Afonso Piazza², Leonardo José Amador Salas Maldonado³

¹ Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica, CCT – antonioflavio@ieee.org

² Acadêmico (a) do Curso de Engenharia Elétrica, CCT - bolsista PIBIC/CNPq

³ Professor Participante do Departamento de Engenharia Elétrica, CCT

Palavras-chave: Método dos elementos finitos. Núcleo de transformadores. Perdas magnéticas.

Em todo sistema elétrico, os transformadores são equipamentos de grande importância, tanto no setor de transmissão quanto no de distribuição. Assim, o estudo da eficiência ou rendimento dos transformadores em diferentes condições de operação é importante para que as redes elétricas sejam mantidas em funcionamento com o menor custo possível.

Este projeto de iniciação científica tem como principal objetivo a obtenção de um modelo matemático de permeabilidade complexa para um determinado transformador construído para testes e ensaios de laboratório. A partir do modelo obtido, é possível analisar como as perdas no ferro comportam-se com a variação de condições de operação, como por exemplo, a frequência.

No trabalho é feita uma investigação das perdas magnéticas no núcleo, e a base teórica é aquela proposta por Bertotti, a qual divide as perdas no núcleo em perdas por histerese, perdas por correntes de Foucault e perdas anômalas ou excedentes. Como, pela expressão tradicional das perdas no modelo de Bertotti, todas elas dependem de maneiras diferentes da frequência de operação do circuito e de parâmetros físicos do transformador, tais como condutividade e espessura da lâmina, os experimentos realizados para a aquisição dos resultados tiveram como base a variação da frequência.

Para este projeto, usou-se um transformador do tipo concha com núcleo de ferro-silício com lâminas de espessura de 0,5 mm. As dimensões do núcleo deste transformador são: altura de 71,4 mm, comprimento de 85,2 mm e largura de 29,0 mm.

O desenvolvimento do trabalho foi efetuado seguindo dois métodos complementares. Primeiro, foram obtidos resultados experimentais para o transformador de teste. Em seguida, foram realizadas simulações numéricas utilizando um programa para cálculo numérico de campos magnéticos baseado na técnica de elementos finitos.

A metodologia empregada para a aquisição dos resultados experimentais consiste no uso de um circuito elétrico simples que obtém sinais proporcionais à densidade de fluxo magnético e à intensidade de campo magnético no núcleo do transformador. A figura 1 mostra um diagrama que representa este circuito. Com esses sinais, é possível calcular as perdas no ferro do transformador para diferentes condições de operação. Assim, ao variarmos a frequência na qual o circuito opera, é possível obter um valor de perda magnética para cada valor da frequência de excitação.

Para as simulações numéricas, foi utilizado o programa *finite element method magnetics* (FEMM), versão 4.2, um programa de elementos finitos capaz de efetuar simulações envolvendo grandezas elétricas e/ou magnéticas. Esse programa é utilizado para se obter os parâmetros

necessários para o modelo desejado. Porém, para efetuarmos a simulação, faz-se necessário adquirir algumas características físicas do transformador real, como a condutividade e a espessura das laminações, as dimensões geométricas do núcleo, o ângulo máximo de histerese e o fator de empacotamento do conjunto de lâminas. Essas características foram obtidas através de outros ensaios e medições.

Ao compararmos os valores adquiridos durante os experimentos com aqueles obtidos nas simulações numéricas, percebe-se que os resultados obtidos são plenamente satisfatórios, com erros numéricos menores que 2,0% no cálculo das perdas totais na operação em 60 hertz.

Com a aquisição dos parâmetros obtidos através dos testes simulados foi possível a elaboração do modelo de indutância complexa para o transformador. Este modelo aparece na figura 2.

Fig. 1 Circuito para aquisição do laço de histerese magnética

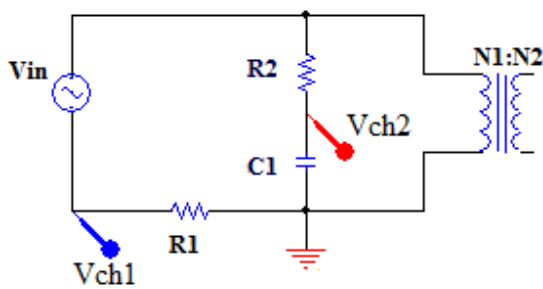


Fig. 2 Modelo do enrolamento excitado baseado em indutância complexa

