

ESTUDO E PROJETO DE UM TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELEVADA EFICIÊNCIA PROJETADO COM O USO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Odirlan Iaronka

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Maria
odirlan@gedre.ufsm.br

Carlos Renato Faleiro

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Maria
carlosrenato@gedre.ufsm.br

Tiago Bandeira Marchesan

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Maria

Resumo. *Este trabalho utiliza o Método de Elementos Finitos (MEF) para determinar o ponto ótimo de operação térmico de um transformador de distribuição com núcleo amorfo e óleo vegetal isolante. Um transformador de distribuição com essas características se apresenta altamente eficiente, de reduzida relação peso/potência e ambientalmente correto. Novas concepções de sistema de resfriamento podem ser apresentadas com base nesse estudo. Também é possível projetar sistemas que tenham um rendimento máximo sem comprometer as características de durabilidade e confiabilidade do dispositivo.*

Palavras-chave: *Transformador de Distribuição, Gerenciamento Térmico, Método de Elementos Finitos.*

1. INTRODUÇÃO

Os transformadores de distribuição são componentes fundamentais para os sistemas elétricos de potência. Eles têm uma significativa parcela de responsabilidade nas perdas de energia elétrica do sistema energético brasileiro. Estimativas divulgadas pelo Programa de Conservação de Energia da Petrobrás (PROCEL) mostram que 14% de toda energia gerada no Brasil é desperdiçada em perdas globais durante a transmissão e distribuição. Dessa parcela de perda, aproximadamente 30% está

concentrada nos núcleos dos transformadores.

O emprego da tecnologia de núcleo amorfo minimiza as perdas do transformador a vazio, devido à diminuição das perdas por correntes parasitas no núcleo (correntes de Foucault). A liga amorfa é baseada em ferro-silício, ferro-níquel e ferro-cobalto, nas mais variadas composições. Dentre estas, as composições básicas em torno de aproximadamente 80% de ferro e 20% de metaloides são as que reúnem características mais adequadas às aplicações em núcleos de transformadores que operam na frequência industrial (CRISTOFARO at el., 1998). O metal amorfo utilizado em núcleos de transformadores é produzido a partir do resfriamento súbito aplicado a ligas de metais magnéticos no estado líquido como ferro, níquel e ou cobalto agregado a elementos como fósforo, silício, boro e algumas vezes carbono, estes não se cristalizam como os outros metais (SILVA at el., 2001).

Um sistema de transmissão ainda mais eficiente e sustentável é obtido com o uso do Óleo Vegetal Isolante (OVI) como líquido de arrefecimento e de isolamento do transformador. O OVI surge como substituto do tradicionalmente usado óleo mineral isolante (OMI). Os equipamentos isolados com OVI possibilitam maior elevação de temperatura dos enrolamentos e, portanto,

requerem a adoção de critérios de projeto específicos para sua refrigeração (UHREN at el., 2007). O OVI não tem propriedades tóxicas em sua composição, sendo altamente biodegradável quando em contato com o meio ambiente. O papel isolante utilizado nas bobinas do transformador é suscetível à ação dos gases oriundas da ação da temperatura sobre o óleo isolante. O OVI aumenta o tempo de vida útil desse papel isolante em aproximadamente 42%, uma vez que é menos sujeito à ação da temperatura do óleo (HOPKINSON at el., 2006). A temperatura de flashpoint (ponto de máxima temperatura de operação do equipamento) pode chegar a valores maiores que 300°C com o uso do OVI, valores consideravelmente maiores que os apresentados com o uso de Óleo Mineral Isolante (OMI), cerca de 145°C (MARULANDA at el., 2008).

2. METODOLOGIA

Para garantir a eficiência de um transformador é necessário projetar um sistema de arrefecimento eficiente, levando em consideração as perdas no núcleo do transformador com núcleo amorfo e temperatura de operação de transformadores com OVI. Uma ferramenta útil no projeto de sistemas térmicos de transformadores é o Método de Elementos Finitos (MEF). Esse método matemático MEF consiste na subdivisão de um corpo contínuo em finitos elementos, transformando-o em um corpo discreto com as mesmas propriedades físicas do corpo original. Então, com o modelamento matemático em equações diferenciais, descrevem-se todas as características do comportamento térmico de um sistema qualquer (AZEVEDO at el., 2003). Com o auxílio do software de MEF é possível determinar o ponto de operação térmica de um transformador e assim desenvolver projetos térmicos que garantam o funcionamento do sistema dentro da temperatura ideal. A modelagem térmica de um sistema utilizando MEF simplifica a

metodologia de análise, determinando a temperatura final de operação e o desempenho da dissipação de calor do transformador ao ambiente [8].

As ferramentas de simulação em MEF (dinâmica computacional de fluidos) é utilizada afim de propor inovações no sistema de refrigeração convencionalmente empregado. Assim, além do estudo e projeto concomitante de núcleo amorfo e OVI, serão estudadas novas concepções para o sistema de refrigeração, levando em conta as características do óleo vegetal para projeto de sistema de refrigeração específico.

O transformador em estudo nesse trabalho tem uma potência de 75kVA. O modelo do transformador será modelado em software CAD 3D, conforme Fig. 1.



Figura 1. Modelo físico do transformador em análise

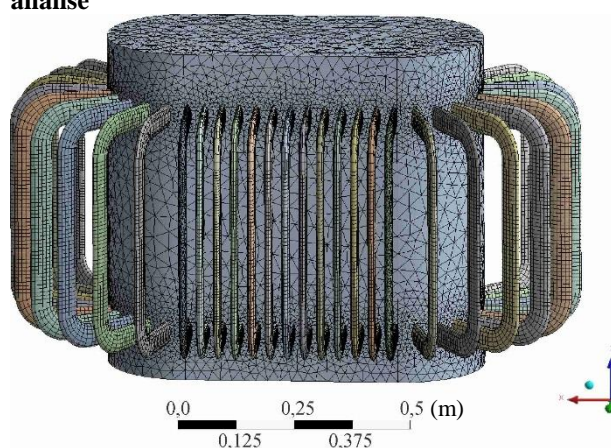


Figura 2. Modelo do transformador depois da realização da malha com o software MEF

Na Fig. 2 é mostrado o modelo objeto de estudo depois da realização da malha com o software MEF.

A malha define a quantidade de elementos em que a peça é dividida. O tamanho de cada elemento define a complexidade e a precisão da análise. No modelo do transformador a ser analisado, algumas considerações devem ser seguidas, como prossegue:

a) O desenho 3D do modelo segue as características originais do de todos os componentes do sistema, salvo algumas simplificações;

b) A emissividade de cada material é definida de acordo com suas características;

c) A injeção de calor é definida pelas perdas do transformador, mensuradas em ensaios práticos e é aplicada no núcleo e nos enrolamentos do transformador;

d) A temperatura ambiente considerada foi de 30°C;

g) A temperatura inicial do sistema assumida 25°C;

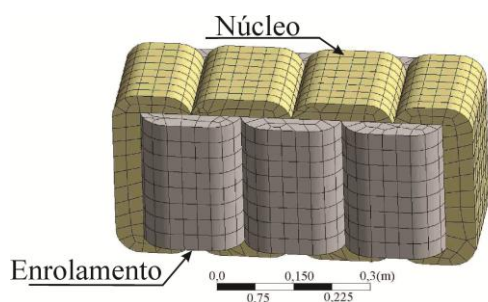


Figura 3. Modelamento do software MEF do núcleo e enrolamento

A Fig. 3 mostra o detalhe do núcleo e do enrolamento do transformador. Conforme ensaios realizados em laboratório, operando em condição nominal, as perdas do transformador de 75 kVA nos enrolamentos são de 1184 W. As perdas no núcleo são no valor de 185 W

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações com o MEF foram realizadas com parâmetros que representam as condições nominais de operação do transformador no campo. A injeção de calor no sistema foi em relação às perdas do sistema. Um primeiro estudo foi realizado para comprovar o MEF. Utilizou-se de um

transformador com núcleo de aço silício e óleo mineral, com uma potência de 75kVA.

Os resultados de simulação são mostrados com um gradiente de cores. A temperatura do óleo é exposta na Fig. 4.

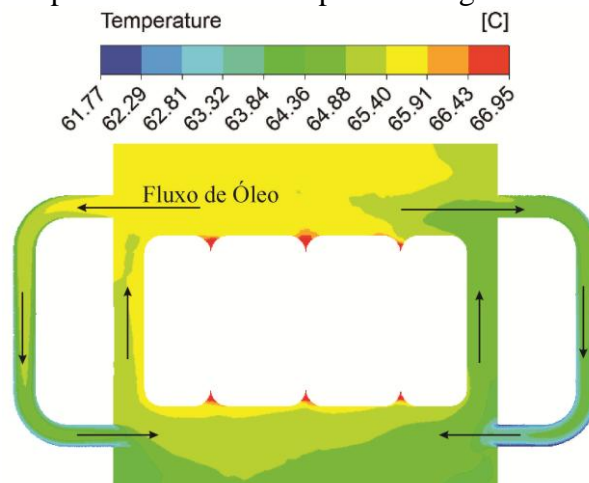


Figura 4. Comportamento térmico do óleo

Devido o aquecimento o óleo circula por entre o núcleo e a carcaça do transformador, e resfria pelas aletas, entrando em equilíbrio térmico. Esse tempo de equilíbrio depende da dinâmica de cada equipamento. A temperatura média do óleo do topo do transformador ficou no valor de 65,61°C. A convecção natural, responsável pelo resfriamento do transformador, é mostrada no Fig. 5.

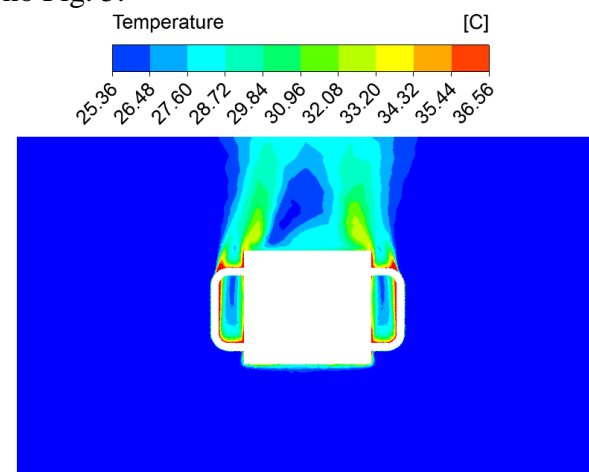


Figura 5. Convecção natural externa do equipamento

Para comprovação dos resultados de simulação, foi realizado o ensaio prático de elevação de temperatura do transformador

com óleo mineral e núcleo de aço silício. A temperatura obtida no topo do transformador foi de 65,46°C. A divergência entre os valores de simulação e os valores do ensaio prático valores insignificantes, validando o MEF.

Com os resultados de simulação e valores do ensaio foi possível verificar o desempenho térmico do sistema.

4. CONCLUSÕES

A proposta deste projeto é a pesquisa de desenvolvimento de um transformador de distribuição mais eficiente, com redução da relação custo/potência e ambientalmente correto. Para tanto, propõe-se empregar núcleo de material amorfo, visando à redução das perdas a vazio do equipamento e Óleo Vegetal Isolante (fluido não tóxico e biodegradável quando em contato com o meio ambiente) para operação a maiores temperaturas. Ainda, ferramentas de simulação em elementos finitos (MEF) foram utilizadas a fim de propor inovações no sistema de refrigeração convencionalmente empregado em transformadores de distribuição.

Os estudos das temperaturas de operação do transformador interligadas a seu impacto na vida útil serão realizadas. Dessa forma, esse trabalho apresenta e comprova o Método de Elementos Finitos na análise térmica de um transformador de distribuição de 75kVA.

Num trabalho futuro serão desenvolvidas novas concepções para transformadores de distribuição. Dando maior importância para o sistema de refrigeração, levando-se em conta as características de maior viscosidade do óleo vegetal isolante, para projeto de sistema de refrigeração específico, e o emprego de material amorfo no núcleo do transformador.

5. REFERÊNCIAS

CAMPOS, L. B. C. **Estudo de Aplicação Experimental e Viabilidade de Utilização**

de Transformadores de Distribuição com Núcleo Amorfo. São Paulo: USP, 2006.

CRISTOFARO, N. **Amorphous Metals in Electric-Power Distribution Applications.** Materials Research Society. MRS Bulletin, Volume 23, Number 5 (1998), P.50 – 56.

S. R. SILVA, F. H. Vasconcellos, J. C. Ragone, M. F. Pinto. **Caracterização de Transformadores com Núcleo Amorfo para Aplicação em Redes Monofásicas de Distribuição de Energia Elétrica.** Minas Gerais: UFMG, 2001.

UHREN, W. **Aplicação de óleo vegetal como meio isolante em equipamentos elétricos, em substituição ao óleo mineral.** Curitiba: IEP, 2007.

HOPKINSON, P.; Dix, L.; McShane, C.P.; Moore, H.R.; Moore, S.; Murphy, J.; Prevost, T.; Smith, S.D., "**Progress Report on Natural Esters for Distribution and Power Transformers,**" Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006 IEEE PES , vol., no., pp.15,17, 21-24 May 2006

MARULANDA, A.R.; Artigas, M.A.; Gavidia, A.; Labarca, F.; Paz, N., "**Study of the vegetal oil as a substitute for mineral oils in distribution transformer**" Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2008 IEEE/PES , vol., no., pp.1,6, 13-15 Aug. 2008

LEWIS, R.; Nithiarasu, P.; Seetharamu, K. **Fundamentals of Finite Element Method for Heat and Fluid Flow.** Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

AZEVEDO, Álvaro F. M. **Método dos Elementos Finitos.** 1ª Edição - Abril 2003, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Portugal