

ESTUDO DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO DE UM TRANSFORMADOR

Miguel Frezzato¹, Aldo Artur Belardi²

²Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana “Padre Sabóia de Medeiros” (FEI)

Departamento de Engenharia Elétrica

frezzato97@gmail.com; belardi@fei.edu.br

Resumo: Os transformadores são máquinas elétricas que vêm sendo utilizadas cada vez mais no nosso dia a dia. Podemos encontrá-los em diversas aplicações, desde circuitos eletrônicos, até linhas de transmissão de alta potência. Sendo assim, é de suma importância conhecer o funcionamento aplicado deste equipamento. Para tal, este trabalho visa fazer o estudo das linhas de campo eletromagnético de um transformador através de um método numérico de aproximação chamado “Método dos Elementos Finitos”.

1. Introdução

O Método dos Elementos Finitos (MEF) surgiu oficialmente na década de 1940, sendo utilizado principalmente para análise de estruturas. Este método começou a ser efetivamente utilizado para estudos eletromagnéticos na década de 1960, e desde então tem sido cada vez mais aplicado a esta área para fazer análises em diversos tipos de situações [1].

O transformador é um dispositivo elétrico criado por Michael Faraday no século XIX e por muitos já estudado, ou seja, há um conhecimento vasto sobre seu funcionamento, seu rendimento, suas perdas e como otimizar seu tamanho físico, dado que a potência de um transformador está ligado diretamente ao seu tamanho [3]. Porém não é possível analisar visualmente o funcionamento do transformador, já que as linhas eletromagnéticas, que são o principal fator para tal, são invisíveis ao olho humano.

Sendo assim, com a aplicação do Método dos Elementos Finitos, é possível visualizar as linhas de campo eletromagnético em um transformador de forma bem aproximada, por conta da efetividade do método, possibilitando observar e compreender a dispersão nos trafos. Além disso, podemos obter facilmente o valor do campo e densidade de fluxo em determinado ponto do espaço.

2. Metodologia

Para encontrar um modelo matemático para representar as linhas eletromagnéticas do transformador, usamos o método dos elementos finitos.

O objetivo do método é encontrar a solução numérica para equações diferenciais parciais. Ele consiste em substituir o domínio contínuo das equações diferenciais para um domínio discretizado, divididos em malhas, elementos, nós e arestas [1].

Os elementos são subdivisões do domínio a ser estudado. Podemos ter elementos de 1, 2 ou 3

dimensões. Para determinar um elementos utilizamos arestas interligadas por nós. Estes que são representados mais comumente com geometrias conhecidas como linhas (em forma 1D), triângulos e retângulos (em formas 2D) e pirâmides, cubos e prismas (para formas 3D).

Para resolução do método como um todo, por se tratar de uma análise magnetostática, estão sendo utilizadas apenas duas das quatro equações de Maxwell [2], que são as principais equações que regem o eletromagnetismo como conhecemos atualmente.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (2)$$

Para obter a resolução das matrizes geradas pelo método, foi utilizado o software “Matlab” por ter uma linguagem de programação relativamente simples.

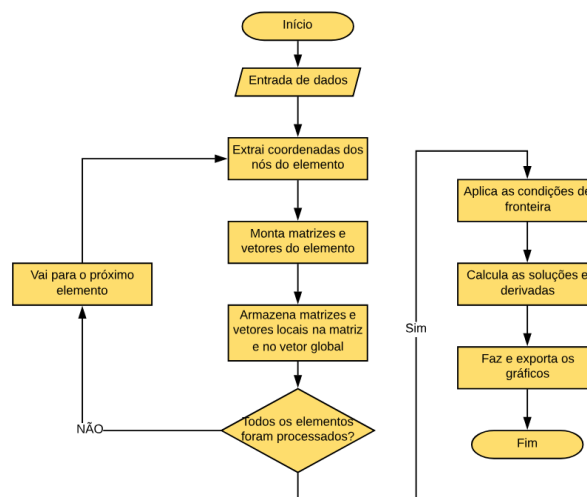


Figura 1 – Fluxograma do algoritmo do Matlab

3. Resultados

Através do software Gmsh foi possível discretizar o domínio em questão para gerar uma matriz de nós e uma matriz de elementos. Com essas matrizes é possível compilar o algoritmo para obtenção dos resultados.

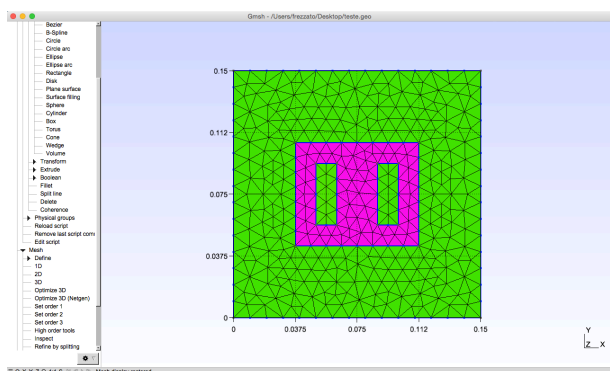


Figura 2 – Domínio dividido em elementos triangulares

Foi levado em consideração que o espaço em volta do transformador era constituído de ar. A imagem a seguir demonstra um resultado esperado para encontrar na execução do programa.

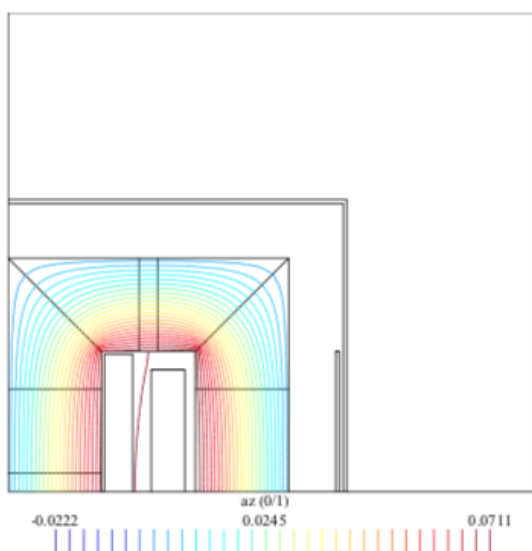


Figura 3 – Distribuição esperada das linhas de fluxo magnético do transformador monofásico

A imagem acima apresenta apenas $\frac{1}{4}$ de um transformador, tendo em vista o caráter “espelhado” do comportamento das linhas de fluxo magnético.

4. Conclusões

O MEF apesar de ser um pouco trabalhoso é muito eficaz. Porém é estritamente voltado para uso em software, já que sua utilização sem meios tecnológicos gera muito trabalho braçal e torna o método inviável. Foi possível notar também que quanto mais elementos pertencerem ao domínio em questão, maior será a complexidade para a resolução, demandando cada vez mais poder de processamento do computador.

Apesar de serem máquinas com um rendimento muito bom (acima de 90%), os transformadores também possuem perdas, sejam elas por histerese ou correntes de Foucault. Sendo assim, é interessante ter uma análise visual do funcionamento do transformador com suas perdas, concentração de fluxo entre outras coisas.

5. Referências

- [1] JIAN-MING, Jin; **The Finite Element Method In Electromagnetics**. 3rd ed. Wiley-IEEE Press, 2014. 876 p.
- [2] HAYT, William Hart; BUCK, John A. **Eletrromagnetismo**. 7. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2010, c2008. 574 p.
- [3] DEL TORO, Vincent. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, c1994. 550p.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Aldo Artur Belardi pela confiança no meu trabalho e sua insigne orientação ao projeto.

¹Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Número sequencial: 11.215.233-5. Bolsa IC165/17. Projeto com vigência de 09/17 a 09/18.

² Professor do Centro Universitário FEI.

³ Instituição de ensino.