FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA

ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**MODELAGEM COMPUTACIONAL DE UM TRANFORMADOR MONOFÁSICO DE BAIXA FREQUÊNCIA**

Adriana Kaori Kakazu RA: 082220004

Beatriz dos Santos Buglio RA: 082220028

Lucas Oliveira Silva RA: 082220019

Vitória Kaori Kuriyama RA: 082220005

SÃO BERNARDO DO CAMPO  
2024

**SUMÁRIO**

**RESUMO............................................................................................................ 3**

**1 INTRODUÇÃO............................................................................................... 4**

1.1 LEIS DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA..................................5

1.2 POTENCIAL ELÉTRICO..................................................................5

1.3 LEI DE AMPERE...............................................................................6

**2 METODOLOGIA**

2.1 CÁLCULOS UTILIZADOS.............................................................. 8

2.1.1 POTÊNCIA SECUNDÁRIA........................................................... 8

2.1.2 POTÊNCIA PRIMÁRIA..................................................................8

2.1.3 SEÇÃO TRANSVERSAL DO NÚCLEO....................................... 9

2.1.4 NÚMERO DE CHAPAS ................................................................10

2.1.5 NÚMERO DE ESPIRAS NO PRIMÁRIO E NO

SECUNDÁRIO.............................................................................11

2.1.6 SEÇÃO TRANSVERSAL DO FIO ESMALTADA DOS

ENROLAMENTOS .....................................................................12

2.2 DESCRIÇÃO DA MODELAGEM COMPUTACIONAL................ 13

2.3 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EM C#.......................................... 14

**3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO............................................................... 15**

**4 CONCLUSÕES............................................................................................... 16**

**RESUMO**

O eletromagnetismo é o campo da física que estuda os campos da eletricidade com o do magnetismo, sendo assim, muito importante para diversas áreas como eletrônica, telecomunicação, medicina, entre outros. Já o desenho digital é o processo de criar utilizando diversas ferramentas digitais, possui diversos benefícios como trabalhar em camadas, permitindo ajustes rápidos e eficazes, interação com outras mídias, economia de matérias, entre outros. Ela é utilizada em diversas indústrias, como entretenimento, educação, design devido sua eficiência e capacidade de produção de alta qualidade.

Esse trabalho visa desenvolver um modelo computacional para um transformador monofásico de baixa frequência a partir de parâmetros de tensão e corrente. Ele une as teorias do eletromagnetismo com as de modelagem digital.

Transformadores são máquinas elétricas que operam com base nos princípios da indução eletromagnética para transferir energia através de campo magnético mútuo entre suas bobinas. Os valores de tensão inicial, final e corrente final do transformador foram selecionados pelos discentes e através de cálculos foi possível determinar o número de espiras nas bobinas, as dimensões das chapas e o tipo de núcleo do transformador. Tais dados são essenciais para a modelagem digital do transformador utilizando o software Inventor.

Também foi desenvolvido um programa no Visual Studio 2022 em C# para avaliar a veracidade dos cálculos realizados.

PALAVRAS-CHAVE: Eletromagnetismo. Modelagem digital. Transformadores.

**1 INTRODUÇÃO**

O eletromagnetismo é o campo da física que estuda as propriedade e comportamentos associados aos campos magnéticos na natureza e nas diversas aplicações tecnológicas, por exemplo, em transformadores. Os campos magnéticos são gerados por cargas elétricas em movimento, seja através de correntes elétricas em condutores ou do movimento de partículas carregadas.

Um dos elementos mais básicos da caracterização do campo magnético é a compreensão das linhas de campo magnético, que descrevem a direção e intensidade do campo em qualquer ponto do espaço ao redor de uma fonte magnética. Essas linhas de campo, que geralmente se estendem do polo norte para o polo sul de um imã, permitem visualizar e entender como os objetos interagem magneticamente.

A força magnética é outra característica essencial dos campos magnéticos. Quando uma partícula carregada se move em um campo magnético, ela experimenta uma força magnética que pode ser descrita pela Lei de Lorentz. Esta lei descreve como a força magnética atua perpendicularmente à velocidade da partícula e ao campo magnético, resultando em trajetórias curvas ou movimentos circulares.

A caracterização do campo magnético também inclui o estudo de fenômenos como magnetização de materiais e a ferromagnetismo. A magnetização ocorre quando um material é exposto a um campo magnético externo e desenvolve suas próprias propriedades magnéticas. Já o ferromagnetismo é um tipo de magnetismo encontrado em matérias como o ferro, no qual os momentos magnéticos individuais se alinham em uma mesma direção, produzindo um campo magnético significativo.

Além disso, a caracterização do campo magnético é crucial para inúmeras aplicações tecnológicas. Desde a criação de motores elétricos e geradores até a fabricação de dispositivos de armazenamento de dados, como discos rígidos e fitas magnéticas, o entendimento e controle dos campos magnéticos são essenciais para o funcionamento eficiente de muitos dispositivos e sistemas modernos.

Em suma, a caracterização do campo magnético é uma área fascinante da física que desempenha um papel fundamental em nossa compreensão do mundo natural e tecnológico da sociedade moderna.

1.1 LEIS DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

As Leis de Indução Eletromagnética, formuladas por Michael Faraday e formalizadas por Joseph Henry e Lenz, representam um dos pilares do eletromagnetismo. Essas leis descrevem como a variação de um campo magnético pode induzir uma corrente elétrica em um circuito elétrico e vice-versa.

A primeira Lei de Faraday da indução estabelece que uma variação no fluxo magnético através de uma superfície delimitada por um circuito elétrico induzirá uma força eletromotriz(fem) neste circuito. Essa fem resulta na geração de uma corrente elétrica se o circuito for fechado, conforme descrito pela Lei de Ohm. Esse fenômeno é a base de funcionamento dos geradores elétricos, nos quais um campo magnético é movido em relação a um conjunto de fios condutores para induzir uma corrente elétrica.

A Lei de Lenz determina a direção da corrente induzida pelo campo magnético variável. Ela afirma que a corrente induzida sempre será tal que seu campo magnético se oporá a mudança no campo magnético que a gerou. Essa lei expressa o princípio da conservação da energia e é crucial para entendermos fenômenos como o amortecimento de oscilações em circuitos elétricos e o funcionamento de dispositivos como os freios magnéticos.

Além disso, ela é fundamental parra entender os funcionamentos de transformadores, nos quais a variação do campo magnético em uma bobina primaria induz uma corrente elétrica e uma bobina secundária, resultando em uma transferência eficiente de energia elétrica.

As Leis de Indução Eletromagnética têm aplicações em uma ampla gama de tecnologias, desde a geração de energia elétrica até a transmissão de dados em dispositivos como leitores de cartões de crédito e discos rígidos. Elas desempenham um papel crucial no funcionamento de muitos dispositivos e sistemas modernos, permitindo a conversão eficiente entre energia elétrica e energia magnética.

1.2 POTENCIAL ELÉTRICO

Em um campo elétrico, uma carga elétrica experimenta uma força elétrica que depende da intensidade do campo e da carga em questão. O potencial elétrico, por sua vez, é uma medida de energia que a carga possui devido à sua posição no campo elétrico. Assim, enquanto a força elétrica age diretamente sobre a carga, o potencial elétrico fornece uma descrição mais abstrata da energia associada a essa carga.

Matematicamente, o potencial elétrico em um ponto é definido como o trabalho realizado para mover uma carga unitária do infinito até aquele ponto no campo elétrico, dividido pela carga unitária. Ou seja, é a energia potencial por unidade de carga em um ponto específico do campo elétrico.

Uma das características mais importantes do potencial elétrico é que ele é uma quantidade escalar. Isso significa que ele não tem direção, apenas magnitude. Portanto, o potencial elétrico em um ponto do espaço é uma propriedade intrínseca deste ponto, independentemente da presença de outras cargas ou campos elétricos próximos.

O potencial elétrico é utilizado, por exemplo, na análise de circuitos elétricos, onde permite calcular correntes e tensões em diferentes partes de um circuito. Além disso, é essencial na descrição de fenômenos eletrostáticos, como a interação entre cargas elétricas e a formação de campos elétricos em torno delas.

Em suma, o potencial elétrico é uma ferramenta fundamental na descrição e análise de sistemas e fenômenos elétricos. Sua compreensão é essencial para uma ampla gama de aplicações cientificas e tecnológicas, fornecendo insights valiosos sobre o comportamento das cargas elétricas e dos campos elétricos em nosso universo.

1.3 LEI DE AMPERE

A Lei de Amperè, elaborada por André-Marie Ampère, estabelece a relação precisa entre corrente elétrica que atravessa uma superfície fechada e o campo magnético ao redor dessa corrente.

Matematicamente, ela é expressa como a integral circulatória do campo magnético ao longo de uma curva fechada, igual à permeabilidade magnética multiplicada pela corrente total que atravessa a superfície delimitada pela curva. Essa lei fornece uma maneira elegante de calcular o campo magnético em torno de uma corrente elétrica, tornando-se uma ferramenta poderosa na análise de sistemas e dispositivos eletromagnéticos.

As aplicações da Lei de Ampere são vastas e abrangem uma variedade de configurações e dispositivos. Em fios condutores retos, por exemplo, ela pode ser usada para determinar o campo magnético gerado pela corrente elétrica que flui através do fio em diferentes distancias.

Em espiras ou loops de fio condutos, a Lei de Ampère pode ser aplicada para calcular o campo magnético no centro da espera, o que é essencial para entender o funcionamento de solenoides e motores elétricos. Solenoides são dispositivos que consistem em espiras de fio enroladas em torno de um núcleo, nos quais a aplicação da Lei de Ampere permite calcular o campo magnético em seu interior, sendo útil em aplicações como válvulas solenoides e eltroímas.

Um toroide é um dispositivo que consiste em um fio enrolado em torno de uma forma toroidal, frequentemente usado em transformadores e indutores. A Lei de Ampere permite determinar o campo magnético dentro e fora do toroide, facilitando o projeto e a otimização desses dispositivos.

Um outro dispositivo que se baseia nessa lei são os transformadores. Transformadores são dispositivos essenciais no eletromagnetismo que transferem energia elétrica entre circuitos por meio de indução eletromagnética. Eles consistem em duas ou mais bobinas de fio enroladas em um núcleo ferromagnético comum. Quando uma corrente elétrica variável passa pelo enrolamento primário, ela cria um campo magnético variável no núcleo, que induz uma tensão elétrica nos enrolamentos secundários.

A principal função dos transformadores é modificar os níveis de tensão e corrente em sistemas elétricos. Uma aplicação importante seria a a função de aumentar a tensão para transmissão eficiente de energia a longas distâncias e a de reduzir a tensão para distribuição segura em residências e indústrias.

Resumidamente, ela possui um papel crucial na análise e no projeto de diversos dispositivos eletromagnéticos. Sua compreensão permite modelar com precisão o comportamento do campo magnético em torno de correntes elétricas, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias.

**2** **METODOLOGIA**

2.1 CÁLCULOS UTILIZADOS

Para projetar um transformador abaixador de 220V para 20V que suporte uma corrente de 2A no secundário, precisamos calcular a potência na secundária.

2.1.1 POTÊNCIA SECUNDÁRIA

2.1.2 POTÊNCIA PRIMÁRIA

Para isto utilizamos a equação de eficiência:

Interface gráfica do usuário, Texto, Aplicativo, Email

Descrição gerada automaticamente

Os valores padronizados de eficiência podem ser obtidos na tabela abaixo:

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Como a potência no secundário foi de 40W podemos utilizar um rendimento de 85%, pois ele se aproxima mais do valor de 55W.

2.1.3 SEÇÃO TRANSVERSAL DO NÚCLEO

É chamada transversal do núcleo a área central da chapa que atravessa o centro do carretel do transformador.



A seção transversal doo núcleo pode ser obtida pela seguinte formula:



S é a seção em cm² e Pp é a potência no primário em W.

O valor que mais se aproxima é de 50W, sendo assim, utilizaremos as dimensões da chapa número 2.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Número | a | b | c | d | e | P (W) |
| 2 | 2,3 | 1,3 | 1,3 | 3,8 | 7,5 | 50 |
| 3 | 3,0 | 1,5 | 1,3 | 4,5 | 9,0 | 100 |
| 4 | 3,5 | 1,8 | 1,8 | 5,3 | 10,7 | 150 |
| 5 | 4,0 | 2,0 | 2,0 | 6,0 | 12,0 | 250 |
| 6 | 4,8 | 2,5 | 2,5 | 7,5 | 14,8 | 500 |
| 7 | 6,0 | 3,0 | 3,0 | 9,0 | 18,0 | 1000 |

As medidas da tabela se referem às cotas da figura abaixo:

Uma imagem contendo Gráfico

Descrição gerada automaticamente

A dimensão padronizada é de 0,03556cm.

2.1.4 NÚMERO DE CHAPAS

Calculamos o número de chapas necessárias para obter a seção transversal do núcleo. O núcleo será retangular sendo que a dimensão de “a” é 2,3 cm obtido na tabela. Sabemos que a área deve ser de 8,57cm².

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Como as chapas têm uma espessura de 0,03556 cm teremos:

2.1.5 NÚMERO DE ESPIRAS NO PRIMÁRIO E NO SECUNDÁRIO

O número de espiras no primário pode ser obtido pela seguinte equação empírica:

Onde Np é o número de espiras no primário, f é a frequência de 60Hz, é a área da seção do núcleo e B a densidade magnética do núcleo.

|  |  |
| --- | --- |
| Densidade | % de silício no ferro |
| 8000 | 2 |
| 10000 | 3 |
| 12000 | 4 |

Sendo que a densidade escolhida foi de 12000 para 4% de silício no ferro.

Para determinarmos o número de espiras no secundário:

Interface gráfica do usuário, Texto, Aplicativo, Word, Email

Descrição gerada automaticamente

2.1.6 SEÇÃO TRANSVERSAL DO FIO ESMALTADA DOS ENROLAMENTOS

Para este cálculo necessitamos saber a densidade de corrente do condutor a ser utilizado. Isso é obtido dependendo da região de trabalho do transformador e basicamente temos as seguintes condições:

Tabela

Descrição gerada automaticamente

O projeto determina condição de uso como ventilação regular e, portanto, utilizaremos a densidade de 6 A/mm².

Seção do fio no primário:

Seção no primário:

Seção do fio no primário:

Seção no primário:

Note que a seção no secundário é maior, com isso uma inversão do transformador pode o danificar.

2.2 DESCRIÇÃO DA MODELAGEM COMPUTACIONAL

Através dos valores obtidos nos cálculos foi realizado a construção das peças do transformador através do software Autodesk Inventor. Ele é um software de CAD (Computer-Aided Design) desenvolvido pela Autodesk para a criação de modelos 3D digitais. Utilizando principalmente por engenheiros e designers, ele permite a criação de peças, montagens e desenhos técnicos detalhados, oferecendo uma variedade de recursos para modelagem paramétrica o que facilita a modificação e a atualização de projetos conforme necessário.

2.3 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EM C#

Foi selecionada a linguagem C# por ser simples, poderosa e segura, com uma sintaxe clara e robusta, o que facilita sua compreensão e aplicação desde softwares até aplicativos web e móveis. É uma linguagem de forte tipagem amplamente aplicada em ambientes corporativos e de desenvolvimento.

O programa funcionada da seguinte forma: ao programa é fornecido os valores de tensão inicial, número de espiras no primário e no secundário, e a partir destes valores, ele é capaz de calcular a tensão no secundário. Desta forma verificando se os cálculos realizados estão corretos ou se é necessário alterar algo no design do transformador, visto que os valores de espiras são valores inteiros e não exatos dos cálculos.

Texto

Descrição gerada automaticamente

Texto

Descrição gerada automaticamente

Texto

Descrição gerada automaticamente

**3 RESULTADO DA SIMULAÇÃO**

A execução do software resulta na situação como nas exemplificadas na captura de tela a seguir:

Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente

**4 CONCLUSÕES**

O projeto proporcionou uma união entre as teorias de eletromagnetismo e modelagem digital. Foi possível aplicar os conhecimentos adquiridos anteriormente, demonstrando como a física pode ser utilizada para resolver problemas em tecnologias. Neste trabalho em específico, a resolução dos cálculos foi realizada utilizando-se de teorias do eletromagnetismo, o que permitiu o desenvolvimento de um transformador e sua modelagem utilizando o software Inventor.

A abordagem de Aprendizagem Baseada em Problemas (Project Based Learning / PBL) tem como principal objetivo estimular os discentes a buscar conhecimento e aprender a relacioná-los por meio de um projeto em grupo, e os colocar em prática. Durante esse processo, foram desenvolvidas competências, como divisão de tarefas, colaboração, aprimoramento na comunicação, liderança, aplicação prática do conhecimento teórico e integração de conceitos de diferentes disciplinas.