https://eventos.utfpr.edu.br//sei/sei2020

Transformador monofásico: cálculo, simulações e testes

Single-phase transformer: calculation, simulations and tests

Kamila Nava
kaminava@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Filomena Barbosa Rodrigues Mendes
filomena@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

RESUMO

A invenção do transformador juntamente com o desenvolvimento das estações geradoras de energia em corrente alternada, foram extremamente importantes contribuindo na eliminação das restrições de alcance e capacidade dos sistemas de energia elétrica, possuindo enorme importância em diversas áreas da engenharia elétrica. A partir de estudos referentes aos transformadores monofásicos, foi possível escrever um algoritmo que possibilita a realização do projeto de um transformador monofásico, que atenda aos parâmetros simulados. Posteriormente, realizou-se a confecção do protótipo com os materiais necessários para sua montagem e por fim, testes e simulações foram realizados para comparar os valores adquiridos com o transformador implementado e as especificações do projeto, que serão apresentadas neste artigo.

PALAVRAS-CHAVE: Transformador Monofásico. Algoritmo. Protótipo.

ABSTRACT

The invention of the transformer together with the development of AC power stations have been extremely important in contributing to the elimination of the scope and capacity constraints of electrical power systems, having enormous importance in several areas of electrical engineering. Based on studies related to single-phase transformers, it was possible to write an algorithm that enables the design of a single-phase transformer that meets the simulated parameters. Subsequently, the prototype was made with the materials necessary for its assembly and finally, tests and simulations were carried out to compare the values acquired with the transformer implemented and the project specifications, which will be presented in this article.

KEYWORDS: Single-Phase Transformer. Algorithm. Prototype.

Recebido: 19 ago. 2020.
Aprovado: 01 out. 2020.
Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

INTRODUÇÃO

As primeiras estações geradoras de energia elétrica geravam e transmitiam a energia a partir de tensões muito baixas, sendo necessário fazer o uso de correntes muito altas para que houvesse o fornecimento de quantidades significativas de energia elétrica onde era desejado. Devido a utilização de correntes muito altas, ocorriam quedas de tensão e perdas energéticas altíssimas nas linhas de transmissão, o que ocasionava uma limitação da área de atendimento das estações

geradoras. A invenção do transformador e o desenvolvimento simultâneo de estações geradoras de energia CA eliminaram para sempre essas restrições de alcance e de capacidade dos sistemas de energia elétrica (CHAPMAN, 2013).

Os transformadores operam baseando-se nos princípios eletromagnéticos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz. São largamente utilizados em circuitos de baixa potência, circuitos eletrônicos e circuitos de controle. Também podem ser utilizados em sistemas de comunicações, encontrados em circuitos de rádio e televisão (TORO, 1994).

TRANSFORMADOR

O transformador é uma máquina elétrica que funciona em corrente alternada e é responsável por realizar a transformação da energia elétrica possibilitando a redução ou elevação da tensão elétrica alternada. Ele é essencialmente constituído por dois ou mais enrolamentos acoplados magneticamente por um núcleo de material ferromagnético.

O núcleo do transformador é definido pelo sistema que forma seu circuito magnético, comumente constituído por chapas de aço silício. Os tipos mais comuns de arranjos de construção de núcleo são chamados de núcleo envolvido e núcleo envolvente. Os enrolamentos constituem o circuito elétrico do transformador e são formados por condutores de cobre ou de alumínio. Os enrolamentos são classificados em enrolamentos concêntricos e enrolamentos alternados.

Todo transformador deve possuir uma placa disposta na parte externa, a qual trata-se de uma chapa metálica que inclui os dados do produto, sendo estes: tensão, frequência, potência aparente, impedância percentual e fator de potência. Também estão inclusas na placa do transformador, os esquemas e formas de ligação do mesmo.

FUNCIONAMENTO

Ao alimentar o enrolamento primário do transformador com uma tensão de corrente alternada, surge uma corrente primária. Esta corrente gera um campo magnético que é amplificado pelo material ferromagnético do núcleo. O resultado é uma indução magnética. As linhas de campo magnético atravessam a sessão do núcleo gerando um fluxo magnético alternado e gerador da tensão secundária. O transformador opera baseado nas leis de Faraday e de Lenz, que é dada por:

$$e_{ind} = \frac{d\lambda}{dt} \quad (1)$$

consideramos que o fluxo concatenado (λ) é a soma do fluxo que passa através de cada espira. Desse modo, é possível definir um fluxo médio por espira em uma bobina, escrevendo a lei de Faraday da seguinte forma:

$$e_{ind} = N\frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

PERDAS

Em um transformador, ocorrem perdas no cobre e perdas em seu núcleo. As perdas no cobre, são oriundas do aquecimento das bobinas, onde parte da energia é dissipada em forma de calor. Através das perdas no cobre e as perdas totais de saída do protótipo, é possível encontrar sua regulação de tensão, dada por:

$$\alpha = \frac{P_{Cu}}{P_{out}} \quad (3)$$

As perdas no núcleo, também conhecidas como perdas no ferro, são divididas em perdas por correntes de Foucault, perdas por histerese magnética e perdas excedentes. Com estas perdas é possível encontrar os valores de rendimento e aumento de temperatura do protótipo.

DIMENSIONAMENTO

Através dos valores de corrente e tensão de saída, é possível encontrar a potência de saída do transformador, e com isto, encontrar o valor da potência total.

Uma vez tendo o valor de potência total, encontra-se as constantes de geometria do núcleo Kg e a constante de condições elétricas Ke. Com os valores das constantes, é possível encontrar as dimensões das lâminas a serem utilizadas na confecção do protótipo.

Para que seja possível dimensionar os condutores a serem utilizados, é necessário encontrar o valor da densidade de corrente, e com este valor é possível encontrar a área do fio primário e do fio secundário. Uma vez escolhido os fios que serão utilizados, calculam-se o número de espiras a serem utilizadas em cada enrolamento.

Por fim, calcula-se a janela do núcleo e com os valores encontrados é possível encontrar a quantidade de material a ser utilizado no projeto.

DESENVOLVIMENTO

Para o projeto do transformador, foram utilizados os seguintes parâmetros:

Tabela 1 – Parâmetros do projeto do transformador monofásico.

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Tensão de entrada	V_{in}	220	V
Tensão de saída	V_o	110	V
Corrente secundária	I_o	1	A
Potência de saída	P_o	110	W
Frequência	f	60	Hz
Rendimento	n	95%	-
Regulação de tensão	a	5%	-
Indução máxima	B_m	1,2	T
Temperatura máxima	T_r	55	ºC

Fonte: Autoria Própria (2020)

Com os dados apresentados na tabela 1 e as equações estudadas através das teorias existentes sobre transformadores monofásicos, foi possível escrever um algoritmo em linguagem C para realizar os cálculos do projeto. Os resultados obtidos a partir do algoritmo são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do projeto do transformador monofásico.

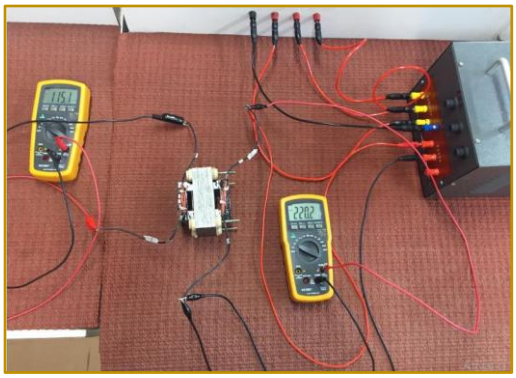
Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Potência total	P_t	225,789	W
Constante das condições elétricas	K_e	1,481	-
Constante da geometria do núcleo	K_g	15,237	-
Dimensão E da lâmina	E	3,175	cm
Dimensão F da lâmina	F	1,588	cm
Dimensão G da lâmina	G	4,763	cm
Número de espiras do enrolamento primário	N_p	718,5843	-
Número de espiras do enrolamento secundário	N_s	377,256	-
Densidade de corrente	J	243,874	A/cm²
Fio do enrolamento primário	AWG	24	AWG
Fio do enrolamento secundário	AWG	22	AWG
Diâmetro do fio primário	$diam_p$	0,0566	cm
Diâmetro do fio secundário	$diam_s$	0,0785	cm
Constante total de utilização da janela do núcleo	Ku_{novo}	0,35	-
Quantidade de lâminas	$Quant_{lam}$	59,144	-
Quantidade de fio primário	$Metragem_1$	120,468	m
Quantidade de fio secundário	$Metragem_2$	63,245	m

Fonte: Autoria Própria (2020)

Em seguida foi realizada a montagem do carretel sendo que os enrolamentos foram feitos com uma bobinadeira profissional e finalizados com papel isolante, por fim foram adicionados tubos termo retráteis no final das entradas e saídas para evitar curto circuitos. O núcleo foi composto por chapas de aço silício EI. Para finalizar, o protótipo recebeu um banho de óleo verniz.

Com o transformador finalizado, foram realizados testes e medições para conferir seus resultados, que serão apresentados nas tabelas a seguir e na figura 1.

Figura 1 – Protótipo do Transformador



Fonte: Autoria Própria (2020)

RESULTADOS

Foram realizados os seguintes testes: teste de continuidade, teste da tensão à vazio, teste das tensões e correntes com carga resistiva e teste com lâmpada incandescente. Os resultados de ambos são apresentados nas tabelas 3, 4, 5 e 6.

O teste de continuidade tem a função de verificar a presença de possíveis curtos-circuitos entre as partes do protótipo e interrupções no enrolamento.

Tabela 3 – Resultados Teste de Continuidade

	Saída 1º	Saída 2º	Núcleo
Entrada 1º	Continuidade	Sem Continuidade	Sem Continuidade
Entrada 2º	Sem Continuidade	Continuidade	Sem Continuidade

Fonte: Autoria Própria (2020)

O teste da tensão à vazio tem o objetivo de analisar se o valor da tensão medida está de acordo com as especificações do projeto do transformador. Os valores esperados são uma potência de 110 W, tensão primária de 220 V e secundária de 110 V, corrente secundária de 1 A, rendimento de 95% , regulação de tensão de 5%, indução máxima de 1,2 T, elevação de temperatura de 55ºC e fator de utilização de janela de 0,4%.

Tabela 4 – Resultados teste de tensão à vazio

Parâmetro	Valor	Unidade
Tensão Primária	220,0	V
Corrente Primária	0,088	A
Tensão Secundária	115,1	V
Corrente Secundária	0	A

Fonte: Autoria Própria (2020)

O teste das tensões e correntes utilizou uma carga resistiva de 187 ohms para que fosse possível adquirir seus resultados.

Tabela 5 – Resultados teste das tensões e correntes com carga resistiva

Parâmetro	Valor	Unidade
Tensão Primária	219,8	V
Corrente Primária	0,349	A
Tensão Secundária	110,6	V
Corrente Secundária	0,587	A

Fonte: Autoria Própria

O teste com lâmpada incandescente tem a finalidade de analisar os valores obtidos de tensão e corrente quando se conecta ao secundário uma lâmpada. Neste caso, foi utilizado uma lâmpada de 110 W.

Tabela 6 – Teste com lâmpada incandescente

Parâmetro	Valor	Unidade
Tensão Primária	219,5	V
Corrente Primária	0,418	A
Tensão Secundária	109,4	V
Corrente Secundária	0,729	A

Fonte: Autoria Própria (2020)

O algoritmo escrito foi capaz de calcular corretamente a dimensão e a quantidade de lâminas, a bitola e o número de espiras dos enrolamentos para as dadas especificações do projeto que consideram o rendimento, a elevação de temperatura e a regulação de tensão. Com os testes realizados, foi possível concluir que o funcionamento do transformador foi satisfatório, uma vez que os valores encontrados a partir dos testes e em comparação com a simulação ficaram de acordo com o previsto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UTFPR por possibilitar a realização deste trabalho e IC-PIVICT. E a câmera eletromotores por disponibilizar a bobinadeira para confecção do protótipo de transformador.

REFERÊNCIAS

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. [S.l.]: AMGH Editora, 2013.

TORO, V. D. **Fundamentos de máquinas elétricas**. [S.l.]: Prentice-Hall do Brasil, 1994.