

RECONDICIONAMENTO DE UM TRANSFORMADOR DE UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA DE POTÊNCIA COMO RECURSO EDUCACIONAL EM SALA DE AULA

LEMES, C.¹, DE FREITAS GUTIERRES, L. F.²

¹ Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé (UNIPAMPA-CB) — Grupo de Estudos Avançados em Engenharia de Energia (GrEEn) — Bagé, RS, Brasil — cintialemes.aluno@unipampa.edu.br

² UNIPAMPA-CB — GrEEn — Bagé, RS, Brasil — luizgutierres@unipampa.edu.br

RESUMO

Um transformador é um dispositivo composto por dois ou mais enrolamentos, concatenados por fluxo magnético mútuo, cujo funcionamento baseia-se na indução eletromagnética. É uma máquina eletromagnética empregada em diversas aplicações da Engenharia que requerem transformações nos níveis de tensão, por exemplo. Na componente curricular de “Projeto e Modelagem de Máquinas Elétricas” do Curso de Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa–Campus Bagé, um transformador inoperante e originário de um sistema de alimentação ininterrupta de potência (do Inglês “uninterruptible power supply” e comumente chamado de “no break”) foi recondicionado. O procedimento apresentou fins didáticos, abarcando a temática sobre projeto de transformadores. Este trabalho descreve as etapas executadas em sala de aula, objetivando como resultado um transformador monofásico de 500-VA e relação de 220/380-V, com derivação para 110-V em seu primário. O recondicionamento respeitou as propostas de projeto de MARTIGNONI, A. em que os cálculos se baseiam nas dimensões do núcleo ferromagnético. Após o recondicionamento, o transformador foi ensaiado e as suas condições operacionais foram verificadas. Por fim, o recondicionamento do transformador como recurso educacional em sala de aula possibilitou aos estudantes experiências práticas e estudos complementares sobre as etapas de projeto, modelagem e ensaio.

Palavras-chave: Transformador, Projeto, Recondicionamento.

1 INTRODUÇÃO

Transformadores são máquinas eletromagnéticas que apresentam diversas aplicações em Engenharia, empregados geralmente para transformar os níveis de tensão em um sistema elétrico. Essas máquinas são caracterizadas pelo acoplamento magnético entre dois (ou mais) enrolamentos eletricamente isolados (MARTIGNONI, 1971; FITZGERALD, 2006). O acoplamento é estabelecido em geral via núcleo ferromagnético, almejando minimizar fluxos magnéticos dispersos e a relutância equivalente envolvida no processo de transformação. O princípio de funcionamento de um transformador é regido pela lei da indução eletromagnética de Faraday-Neumann-Lenz (DE FREITAS GUTIERRES, 2018).

Este trabalho descreve o recondicionamento de um transformador originário de um sistema de alimentação ininterrupta de potência (do Inglês “uninterruptible power supply” e comumente chamado de “no break”). O procedimento apresentou fins didáticos, executado junto à componente curricular de “Projeto e Modelagem de

Máquinas Elétricas” do Curso de Graduação em Engenharia de Energia (BAEE) da Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé (UNIPAMPA-CB). Além disso, objetivou como resultado um transformador monofásico de 500-VA e relação de 220/380-V, com derivação para 110-V em seu primário. O acondicionamento respeitou as propostas de projeto de MARTIGNONI A. (1971) em que os cálculos se baseiam nas dimensões do núcleo ferromagnético. Por fim, o transformador foi ensaiado de modo a verificar as suas condições operacionais.

2 METODOLOGIA (MATERIAL E MÉTODOS)

As dimensões do núcleo ferromagnético do transformador estão indicadas na Figura 1. A largura do núcleo ferromagnético é igual a 90 mm.

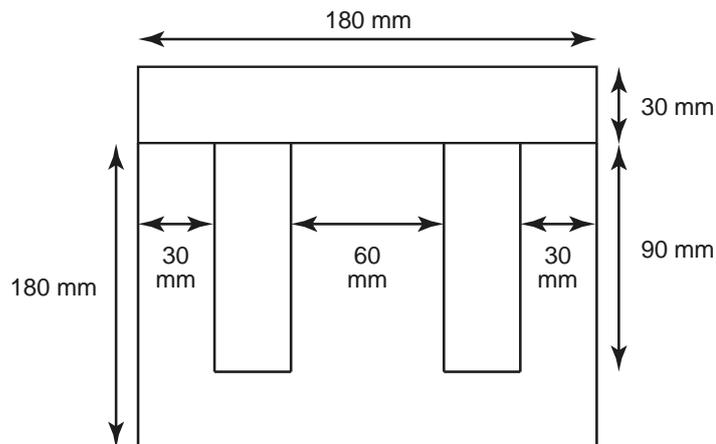


Figura 1. Dimensões das lâminas EI padronizadas do núcleo.

Para um A igual a 60 mm (chapas EI padronizadas), a área da janela S_j do núcleo ferromagnético é determinada via $0,5A \times 1,5A = 0,75A^2 = 2700 \text{ mm}^2$. A seção geométrica S_g da coluna central do núcleo ferromagnético é obtida através de $a \times b = 60 \times 90 = 5400 \text{ mm}^2$, onde a e b são respectivamente o comprimento e a largura da coluna central. Para desprezar materiais isolantes presentes na coluna central, diminui-se 10% de S_g e obtém-se uma seção magnética S_m igual a 4909 mm^2 .

Considerando a potência de 500-VA, uma eficiência de 95% e as tensões nominais de 110/220/380-V desejadas, as correntes nominais são iguais a 4,78/2,39/1,38 A. Já o número de espiras N pode ser obtido por meio da seguinte formulação matemática (MARTIGNONI, 1971)

$$N = \frac{V \times 10^8}{4,44 \times B_m \times S_m \times f}$$

onde V é a tensão, B_m é a indução magnética máxima (assumiu-se 11300 G para chapas de aço silício), f é a frequência operacional (60 Hz) e S_m deve ser convertido para cm^2 . A partir disso, verificou-se 81,94/150,22/257,14 \approx 82/151/257 espiras para as bobinas de 110/220/380-V respectivamente.

O cálculo da seção dos condutores é realizado através de $s_e = i/d$. Nessa equação, s_e é a seção dos condutores (em mm^2), i é a corrente elétrica e d é a densidade de corrente elétrica (em A/mm^2). Para esse projeto, optou-se por um $d = 4 \text{ A/mm}^2$ e, dessa forma, constatou-se 1,19/0,60/0,34 mm^2 para os enrolamentos de 110/220/380-V. Ao consultar catálogos de fabricantes e levando em conta decisões práticas, optou-se pelas seções dos condutores equivalentes a 16/16/18 AWG para

os enrolamentos de 110/220/380-V. A fim de analisar a possibilidade de execução do projeto de recondicionamento, verificou-se a validade da seguinte relação $S/S_{Cu} \geq 3$ (MARTIGNONI, 1971), onde S_{Cu} é a seção equivalente de cobre do transformador. Para o caso em detalhamento, $S/S_{Cu} \approx 10,11$. Por fim, indica-se que o projeto respeitou ainda limitações na disponibilidade de materiais, afetando a escolha das seções dos condutores e da potência nominal do transformador, por exemplo.

Para o recondicionamento do transformador, os seguintes materiais e equipamentos foram utilizados: fio de cobre esmaltado (16 e 18 AWG), chapas de aço silício, fita crepe, papel para isolamento elétrico (timbó), carretel para bobinagem de transformadores, isoladores por espaguete termocontrátil, bobinadeira manual e ferramentas de uso geral.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2a apresenta o transformador inoperante e oriundo de um “no break” em seu estado inicial. Inicialmente, os enrolamentos originais foram retirados como ilustra a Figura 2b. Após essa etapa, a bobinagem foi desempenhada respeitando os valores discutidos acima, resultando no transformador recondicionado apresentado na Figura 3.

Posteriormente ao processo de bobinagem, procedeu-se com a verificação de continuidade elétrica entre terminais; e entre terminais e o núcleo ferromagnético. A partir da garantia da inexistência de falhas e de eventuais rompimentos da isolação, realizou-se um teste para verificar tensões e correntes induzidas em circuito aberto. Ao fornecer 214-V na bobina de 220-V, constatou-se tensões induzidas de 94-V (relação de 1:0,44 na prática) e 356-V (relação de 1:1,66 na prática) nos enrolamentos de 110-V (1:0,5 desejado) e 380-V (1:1,73 desejado) respectivamente. Além disso, verificou-se uma corrente a vazio de 0,32 A, com máximo de 0,45 A durante a energização para essa situação. Ao fornecer 214-V no enrolamento de 380-V, constatou-se tensões induzidas de 56-V (relação de 1:0,26 na prática) e 126-V (relação de 1:0,59 na prática) nas bobinas de 110-V (1:0,29 desejado) e 220-V (1:0,58 desejado) respectivamente. Ademais, observou-se uma corrente a vazio de 0,06 A, com máximo de 0,13 A durante a energização para esse segundo caso.

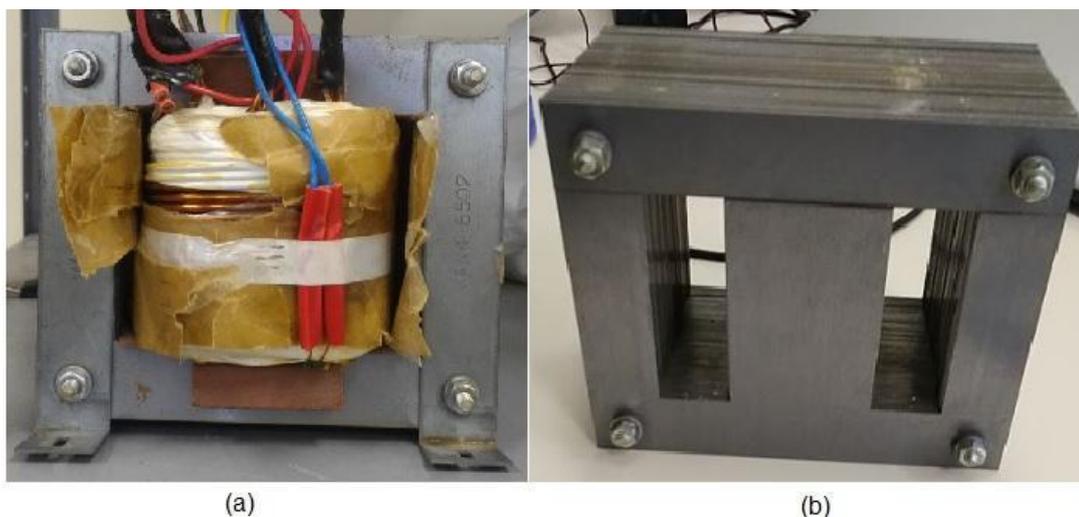


Figura 2. (a) Transformador original. (b) Núcleo do transformador sem enrolamentos.

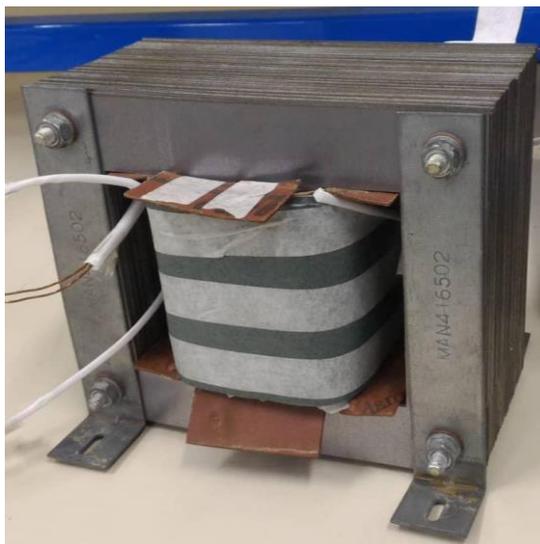


Figura 3. Transformador recondicionado.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros observados durante os ensaios de circuito aberto e de curto-circuito (FITZGERALD, 2006; DE FREITAS GUTIERRES, 2018).

Ensaio	Referência	Tensão	Corrente	Potência
A vazio	110-V	110-V	1,42 A	5,3-W
Curto-circuito	380-V	12,31-V	1,35 A	3,1-W

Tabela 1 – Resultados observados nos ensaios de circuito aberto e de curto-circuito.

Com os dados da Tabela 1, é possível determinar os elementos do circuito equivalente do transformador recondicionado. Para o ramo de magnetização referido ao lado de 110-V, a resistência de perdas a vazio e a reatância de magnetização são iguais a 2283,02 Ω e 77,51 Ω respectivamente. Já a resistência e a reatância indutiva equivalentes ao ramo série por perdas no cobre e por fluxo disperso referidas ao lado de 380-V são equivalentes a 1,70 Ω e 8,96 Ω respectivamente.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os ensaios realizados constatou-se um erro com ordem máxima de 12% nas relações de transformação. Além disso, observou-se um nível significativo de perdas por fluxo disperso e no ferro (influência de vários fatores como o fato do transformador não ter sido banhado em verniz isolante, por exemplo). Mesmo assim, o processo de recondicionamento possibilitou aos discentes do Curso de Graduação em Engenharia de Energia da UNIPAMPA-CB experiências práticas e um aprofundamento dos estudos sobre projeto, modelagem e ensaio de transformadores. Em outras palavras, o recondicionamento do transformador foi um recurso educacional válido em sala de aula, incrementando também o interesse dos discentes sobre a temática de máquinas elétricas.

REFERÊNCIAS

- Martignoni, A. **Transformadores**. Porto Alegre: Editora Globo, 1971.
- Fitzgerald, A. E.; Kingsley Jr., C.; Umans, S. D. **Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência** (7ª edição). Porto Alegre: Bookman/Grupo A, 2006.



5° Encontro de Ciência e Tecnologia do
IFSul – Campus Bagé

de Freitas Gutierrez, L. F. **Notas de aula de “Projeto e Modelagem de Máquinas Elétricas”**. Bagé: Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, BAEE, 2018.