

# ESP1048

## Exame . Duração: 3h

Prof. Dr. Luiz Fernando Freitas-Gutierres

luiz.gutierres@ufsm.br



Licença internacional *Creative Commons* 4.0 – Atribuição-Compartilhalqual

Esta é uma licença de cultura livre!

[https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pt\\_BR](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pt_BR)

Nome & Matrícula: Prof. Dr. Luiz F. Freitas-Gutierres, 1011424

**Nota: Gabarito (21-12-23)**

### Instruções:

- ⇒ Preencha seu nome completo e matrícula na capa desta avaliação e rubrique as demais folhas.
- ⇒ Use caneta azul ou preta para responder.
- ⇒ Nas folhas de rascunho, é permitido o uso de lápis ou lapiseira.
- ⇒ Se precisar de espaço adicional para responder questões discursivas ou justificar, solicite uma folha adicional ao professor. Não utilize as folhas de rascunho para isso.
- ⇒ Escreva respostas de forma clara e legível. Respostas ilegíveis não serão avaliadas.
- ⇒ Em questões de certo ou errado, ao identificar itens incorretos, corrija-os e forneça justificativas.
- ⇒ Em questões que envolvam cálculos, apresente-os de maneira completa.



# UFSM

Questões	01	02	03	Total
Pontos	30	30	40	100
Notas				

- ① No circuito magnético ilustrado na Figura 1, as dimensões geométricas são fornecidas em centímetros. Uma corrente de excitação em Corrente Contínua (C.C.) de 0,28 A ( $i$ ), fluindo através de uma bobina de 200 espiras, gera a circulação de um fluxo magnético  $\phi$  no núcleo. Esse núcleo é composto por chapas de aço silício de grão orientado do tipo M-5, cuja curva de magnetização é exibida na Figura 2. Considera-se desprezível o fluxo de dispersão. Com base nessas informações, proceda com as seguintes solicitações:

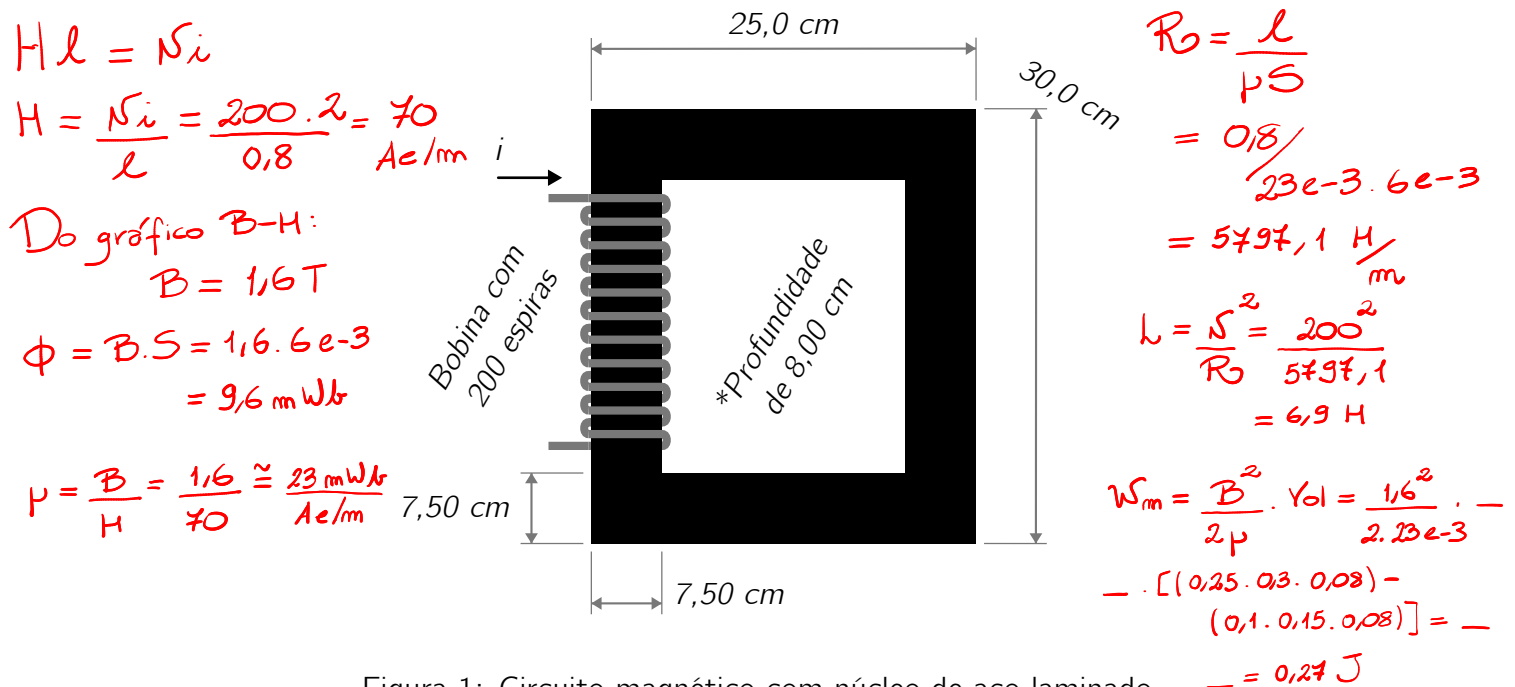


Figura 1: Circuito magnético com núcleo de aço laminado.

- a) 8 pontos Calcule o fluxo magnético  $\phi$  no núcleo.  
 $\phi = 9,6 \text{ mWb}$
- b) 6 pontos Determine a permeabilidade magnética  $\mu$  do material ferromagnético.  
 $\mu = 23 \text{ mWb/A/m}$
- c) 8 pontos Quantifique a indutância própria  $L$  do dispositivo.  
 $L = 6,9 \text{ H}$
- d) 8 pontos Verifique a energia magnética  $W_m$  armazenada na estrutura do circuito.  
 $W_m = 0,27 \text{ J}$

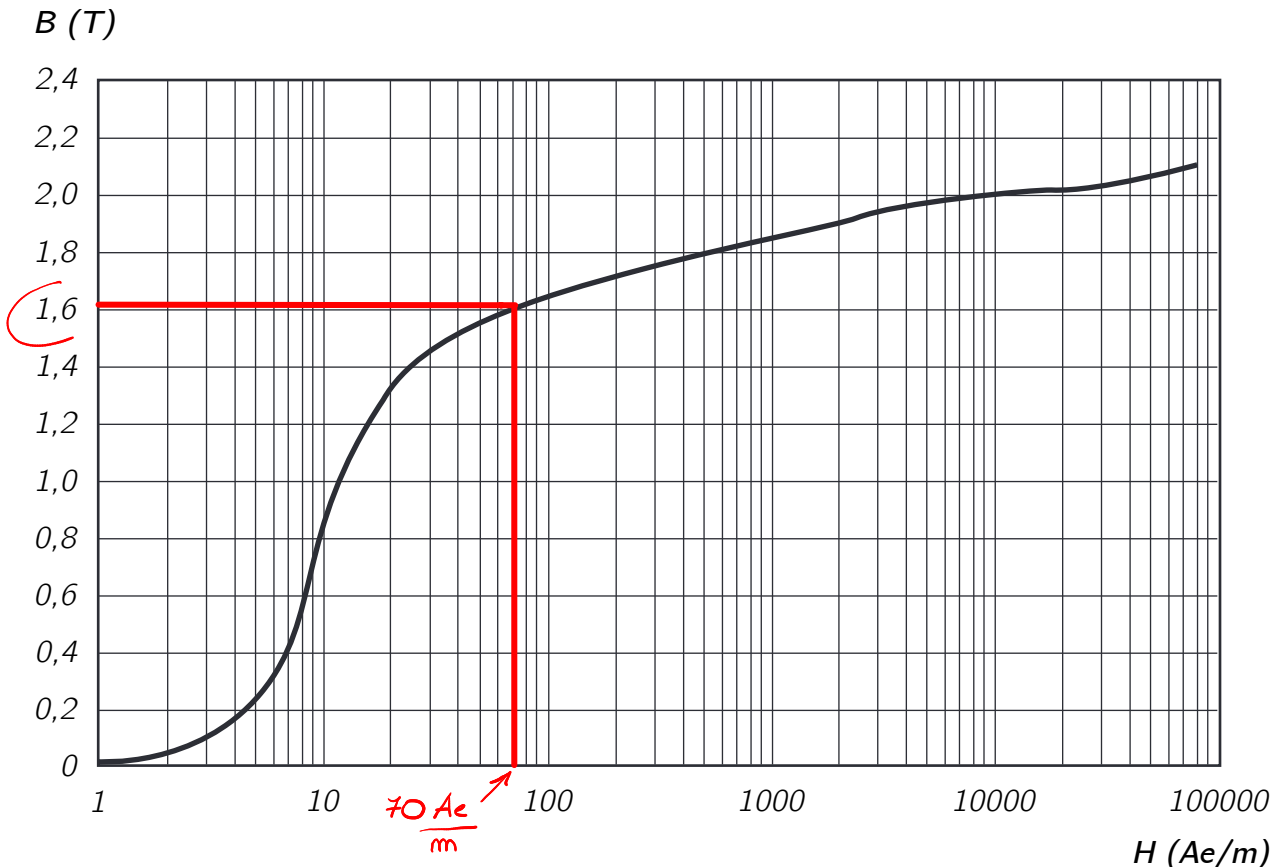


Figura 2: Curva de magnetização C.C. para o aço silício de grão orientado do tipo M-5.

② 30 pontos Analise os itens abaixo, indicando se são certos ou errados.

- a) ☐ C ☒ X As perdas por excitação magnética *são constantes* variam de acordo com as mudanças na demanda de carga do transformador.
- b) ☐ C ☒ X Os núcleos são montados com lâminas dispostas de forma a minimizar os efeitos adversos dos entreferros nas junções. Com uma tensão de alimentação constante, os entreferros *se  $\Delta \varphi$  é constante,  $\phi$  também será* ~~reduzem o fluxo magnético~~ *aumentam a  $\mu$  de magnetização* na máquina.  $\uparrow R \phi = N i \uparrow$
- c) ☒ X ☐ E Em transformadores imersos em óleo do tipo ONAN (Óleo com circulação Natural e Ar com circulação Natural), é essencial que o óleo não entre em contato com o ar em hipótese alguma, razão pela qual a carcaça é selada.
- d) ☐ C ☒ X O fluxo magnético máximo em um transformador com frequência nominal de 400 Hz será  *$V \approx 444 N f \phi \rightarrow f \uparrow \phi \downarrow$*  ~~maior~~ *menor* que em um transformador com frequência nominal de 60 Hz.
- e) ☐ C ☒ X Um transformador com frequência nominal de 60 Hz terá dimensões físicas  *$V \approx 444 N f \phi \rightarrow f \uparrow N \downarrow$*  ~~menores~~ *maiores* em comparação com um transformador de frequência nominal de 400 Hz.
- f) ☐ C ☒ X A ~~força eletromotriz induzida~~ *tensão de saída* no secundário de um transformador depende da resistência do enrolamento e das características da carga.

- g) ☒ ☐ E A dopagem de silício junto ao ferro tem como objetivo aumentar a resistência elétrica do material e, assim, reduzir as perdas por correntes de Foucault.
- h) ☒ ☐ E As perdas por correntes parasitas nas lâminas do núcleo são proporcionais à densidade de fluxo magnético e ao quadrado da frequência.
- i) ☒ ☐ E Transformadores monofásicos de diferentes potências e tensões nominais podem ser conectados em paralelo.
- j) ☒ ☐ E Uma indutância de 150 mH é necessária em um projeto. Entretanto, devido à falta desse componente no laboratório, optou-se pelo uso de três indutores de 50 mH conectados em série. Essa solução é inadequada e só se aplica se o acoplamento magnético entre os indutores for desprezado. Caso contrário, o valor equivalente da indutância poderá ser maior ou menor do que o valor desejado.
- ③ Os resultados obtidos dos ensaios a vazio (C.A.) e de curto-circuito (C.C.) realizados em um transformador monofásico de 50-kVA, 4160/440-V (AT/BT) e 60 Hz foram os seguintes:
- Teste de C.A. → Ref. BT, 5,2 A & 380-W.
  - Teste de C.C. → Ref. AT, 320-V & 3805-W

Utilize esses dados para responder os itens subsequentes.

- a)  Calcule os parâmetros do circuito elétrico equivalente do transformador, considerando-os referidos ao lado de Alta Tensão (AT).
- $$R_c^{AT} = 45541,05 \, \Omega$$
- $$X_m^{AT} = 7670,16 \, \Omega$$
- $$R_{CC}^{AT} = 26,34 \, \Omega$$
- $$X_{CC}^{AT} = 3,88 \, \Omega$$
- b)  Quantifique a regulação de tensão aproximada  $\Delta R\%$ <sup>1</sup>, a tensão de entrada  $V_{entrada}^{BT}$  (em referência à Baixa Tensão, BT) e o rendimento  $\eta$  do transformador quando operando com 95% de sua capacidade nominal e um fator de potência de 0,80c. Presuma que a tensão fornecida à carga, alocada na BT, é de 440-V.
- $$\Delta R\% = 5,14\%$$
- $$V_{entrada}^{BT} = 462,63 \, V$$
- $$\eta = 90,88\%$$

<sup>1</sup>Para cálculos de regulação de tensão, adote a tensão a vazio como referência.

- c) 5 pontos Calcule o fator de potência  $\cos \theta_{\Delta R\% = 0}$  no ponto operacional de carga que resulta em uma regulação de tensão nula. Indique também a característica da carga ( $i$ ,  $c$  ou  $r$ ).

$$\cos \theta_{\Delta R\% = 0} = 0,15c$$

- d) 5 pontos Identifique o rendimento máximo  $\eta_{\max}$  do transformador operando com um fator de potência de 0,80i.

$$\eta_{\max} = 94,33\%$$

③ a)  $R_c^{BT} = \frac{V_{CA}^2}{P_{CA}} = 509,47 \Omega$   $R_c^{AT} = R_c^{BT} \cdot a^2 = 45541,05 \Omega$

$S_{CA} = V_{CA} \cdot i_{CA}$   $X_m^{AT} = X_m^{BT} \cdot a^2 = 4670,16 \Omega$

$Q_{CA} = \sqrt{S_{CA}^2 - P_{CA}^2}$

$X_m^{BT} = \frac{V_{CA}^2}{Q_{CA}} = 85,81 \Omega$

$R_{cc}^{AT} = P_{cc} / i_{cc}^2 = 26,34 \Omega$

$Z_{cc} = V_{cc} / i_{cc}$

$X_{cc}^{AT} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 3,88 \Omega$

b)  $\Delta V_{\sim}^{AT} = F_c \cdot i \cdot (R_{cc}^{AT} \cdot 0,8 - X_{cc}^{AT} \sin(\arccos 0,8))$

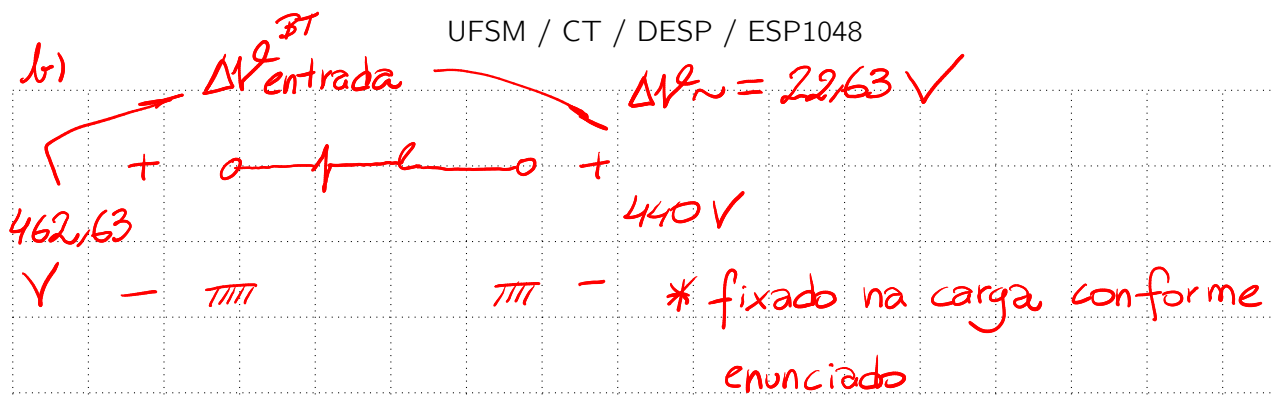
$= 0,95 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{4160} \cdot (26,34 \cdot 0,8 - 3,88 \cdot 0,6) = 213,99 V$

$\Delta V_{\sim}^{BT} = \Delta V_{\sim}^{AT} / a = 22,63 V \rightarrow \Delta R\% = \frac{22,63}{440} \cdot 100 = 5,14\%$

### Formulário:

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \quad B = \mu H \quad Hl = Ni = \mathcal{R}\phi \quad \mathcal{R} = \frac{l}{\mu S}$$

$$\Lambda = N\phi \quad \phi = BS \quad L = \frac{N^2}{\mathcal{R}} = \frac{\Lambda}{i} \quad \mathcal{W}_m/m^3 = \frac{BH}{2}$$



$$\eta = \frac{F_c \cdot S \cdot \cos \theta}{F_c \cdot S \cdot \cos \theta + P_{ca} + F_c^2 \cdot P_{cc}} \cdot 100 = 90,88 \%$$

c)  $\Delta V_n = 0 \Rightarrow R_{cc} \cos \theta = X_{cc} \sin \theta \therefore \tan \theta = \frac{R_{cc}}{X_{cc}}$

$$\cos(\arctan(R_{cc}/X_{cc})) = 0,15$$

d)  $F_{c\text{-max}} = \sqrt{P_{ca}/P_{cc}} \Rightarrow \eta_{\text{max}} = \frac{F_{c\text{-max}} \cdot S \cdot \cos \theta}{F_{c\text{-max}} \cdot S \cdot \cos \theta + P_{ca} \cdot 2} \cdot 100$

$$= 94,33 \%$$