

# ESP1066

## Exame . Duração: 3h

Prof. Dr. Luiz Fernando Freitas-Gutierrez  
luiz.gutierrez@ufsm.br



Licença internacional *Creative Commons* 4.0 – Atribuição-SemDerivações  
[https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.pt\\_BR](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.pt_BR)

Nome & Matrícula: \_\_\_\_\_

GABARITO

Nota:

*[Handwritten signature]*  
01-08-23

### 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, solicite uma folha adicional ao professor.
- ⇒ 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	45	35	20	100
Notas				

- 1 Um transformador monofásico de 50,00 kVA, com relação de transformação de 13,80/0,44 kV e frequência de 60 Hz foi ensaiado em fábrica, obtendo os seguintes resultados:

i) Teste de circuito aberto: 15,00 A – 900,00 W – Baixa Tensão (BT).

ii) Teste de curto-circuito: 870,00 V – 1.800,00 W – Alta Tensão (AT).

Com base nesses dados de laboratório, responda o que se pede abaixo.

- a) 20 pontos Determine os parâmetros do circuito equivalente do transformador solicitados abaixo.

$$R_c^{AT} = 2,12 \text{ e} + 5 \Omega$$

$$X_m^{AT} = 2,91 \text{ e} + 4 \Omega$$

$$R_{CC}^{AT} = 137,12 \Omega$$

$$X_{CC}^{AT} = 197,12 \Omega$$

$$R_{cc}^{AT} = P_{cc} / I_{cc}^2$$

$$= 137,12 \Omega$$

$$Z_{cc} = V_{cc} / I_{cc} = 240,12 \Omega$$

$$X_{cc}^{AT} = (Z_{cc}^2 - R_{cc}^2)^{1/2} = 197,12 \Omega$$

$$R_c^{BT} = \frac{V_{ca}^2}{P_{ca}} = 215,11 \Omega$$

$$S_{ca} = V_{ca} \cdot I_{ca} = 6600 \text{ VA}$$

$$Q_{ca} = (S_{ca}^2 - P_{ca}^2)^{1/2} = 6538,2 \text{ VAR}$$

$$X_m^{BT} = V_{ca}^2 / Q_{ca} = 2961 \Omega$$

$$R_c^{AT} = R_c^{BT} / a^2 = 2,12 \text{ e} + 5 \Omega$$

$$X_m^{AT} = X_m^{BT} / a^2 = 2,91 \text{ e} + 4 \Omega$$

- b) 5 pontos Determine as correntes de magnetização e de perdas no ferro ( $I_m$  e  $I_c$ ).

$$I_m = 14,86 \text{ A}$$

$$I_m = I_{ca} \cdot \sin(\alpha_{ca} \theta_{ca}) = 14,86 \text{ A} \quad * \cos \theta_{ca} = \frac{P_{ca}}{S_{ca}}$$

$$I_c = 2,04 \text{ A}$$

$$I_c = I_{ca} \cdot \cos \theta_{ca} = 2,04 \text{ A}$$

$$= 0,14$$

- c) 15 pontos Para uma demanda de 80% da exigência nominal e com fator de potência de 0,80 adiantado, calcule a regulação de tensão e o rendimento do transformador ( $R\%$  e  $\eta$ ).

$$R\% = (\Delta V \cdot 100) / (V \text{ a vazio}) = -0,18\%$$

$$\Delta V = F_c \cdot I_{AT} (R_{cc}^{AT} \cos \theta - X_{cc}^{AT} \sin \theta)$$

$$= -24,87 \text{ V}$$

$$\eta = 93,97\%$$

$$R\% = \frac{-24,87 \cdot 100}{13800} = -0,18\%$$

- d) 5 pontos Quantifique as perdas no cobre ( $P'_{\text{cobre}}$ ) e no ferro ( $P'_{\text{ferro}}$ ) para a exigência de metade da capacidade padrão da máquina.

$$P'_{\text{cobre}} = P_{cc} \cdot F_c^2 = 450 \text{ W}$$

$$P'_{\text{ferro}} = P_{ca} = 900 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{F_c \cdot S \cdot \cos \theta}{F_c \cdot S \cdot \cos \theta + \text{Perdas}}$$

$$= 93,97\% \quad (P_{ca} + P_{cc} \cdot F_c^2)$$

- 2 No circuito magnético ilustrado na Figura 1, a queda na força magnetizante no núcleo ferromagnético é considerada desprezível. O dispositivo possui uma bobina com 800 espiras, percorrida por uma corrente de excitação em Corrente Contínua (CC) de 0,20 A ( $i$ ). Além disso, o circuito inclui três entreferros cujos comprimentos médios são tais que  $x_1 = 4 \text{ cm}$  e  $x_1 = x_2/2 = x_3$ . A área da seção transversal considerada para este problema é de  $10 \text{ cm}^2$ , exceto nas sapatas polares do equipamento (entreferro 1), onde a área deve ser assumida como  $30 \text{ cm}^2$  ( $S_p$ ). Por fim, fluxos dispersos, espraçamento (*fringing*) e a saturação magnética são desconsiderados.

Com base nessas informações, proceda com as seguintes solicitações.

- a) 15 pontos Calcule o fluxo magnético nas sapatas polares ( $\phi_p$ ).

$$\phi_p = 1,67 \text{ mWb}$$

$$R_1 = \frac{x_1}{\mu_0 S_p} = 1,06 e+7 \text{ H}^{-1}$$

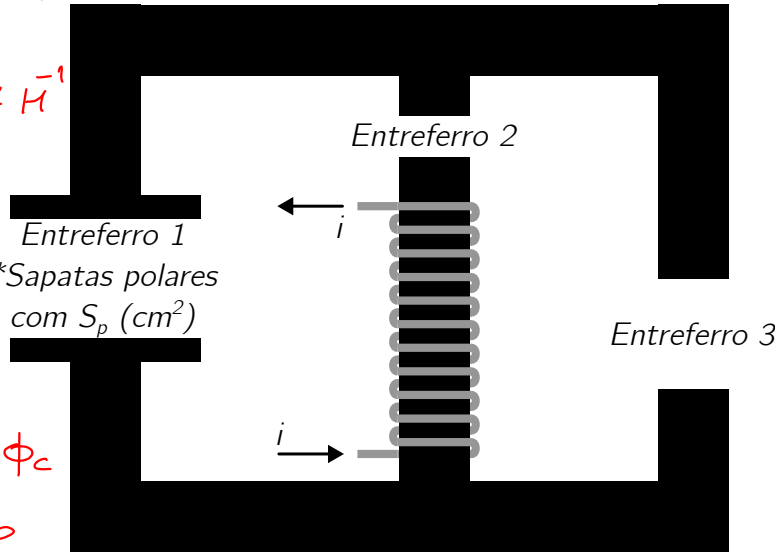
$$R_2 = \frac{x_2}{\mu_0 S} = 6,34 e+7 \text{ H}^{-1}$$

$$R_3 = \frac{x_3}{\mu_0 S} = 3,18 e+7 \text{ H}^{-1}$$

$$\mathcal{F} = Ni = 160 \text{ A-e}$$

$$\mathcal{F} = (R_2 + R_1 || R_3) \phi_c$$

$$\therefore \phi_c = 2,23 e-6 \text{ Wb}$$



Sapatas

$$\phi_p = \frac{\mathcal{F} - \phi_c}{R_1}$$

$$R_2 \cdot \phi_c$$

$$\phi_p = 1,67 e-6 \text{ Wb}$$

$$L = \frac{N^2}{(R_2 + R_1 || R_3)}$$

$$L = \frac{\phi_c \cdot N}{I}$$

$$L = 8,94 e-3 \text{ H}$$

$$W_m = \frac{(\phi_c / S)^2 \cdot x_2 S}{2 \mu_0}$$

$$= 1,59 e-4 \text{ J}$$

$$\Lambda = \phi_c \cdot N$$

$$= 1,79 e-3 \text{ Wb-e}$$

$$H \ell = Ni$$

$$\text{se } i=0, H=0!$$

Figura 1: Circuito magnético da segunda questão.

- b) 10 pontos Quantifique a indutância própria (L) do dispositivo.

$$L = 8,94 \text{ mH}$$

- c) 5 pontos Verifique a energia magnética ( $W_m$ ) no entreferro da coluna central (entreferro 2).

$$W_m = 1,59 e-4 \text{ J}$$

- d) 5 pontos Determine o fluxo magnético concatenado ( $\Lambda$ ) na bobina.

$$\Lambda = 1,79 \text{ mWb-e}$$

- 3) 20 pontos Analise os itens abaixo, indicando se são certos ou errados.

a) ☒ C ☒ E Em um dispositivo com núcleo ferromagnético, após ser energizado, a corrente elétrica na bobina ~~deve voltar~~ <sup>desenergizado</sup> a ser nula, mas isso não implica que o campo H seja também nulo.

b) ☒ E Dois terminais de bobinas distintas, magneticamente acopladas, apresentam a mesma polaridade quando correntes elétricas que entram simultaneamente por esses terminais produzem fluxos magnéticos concordantes.

c) ☒ C ☒ E Em um transformador ideal, assume-se que o material condutor dos enrolamentos é perfeito, ou seja, possui condutividade infinita. Consequentemente, as perdas resistivas e as ~~perdas no ferro~~ são consideradas nulas. <sup>não é justificativa</sup>

d) ☒ E Os núcleos são montados com lâminas dispostas de maneira a minimizar, tanto quanto possível, os efeitos prejudiciais dos entreferros nas junções. Os entreferros aumentam a corrente de magnetização.

e) ☒ C ☒ E Em um transformador do tipo de núcleo ~~envolvido~~ <sup>envolvente</sup>, os enrolamentos são dispostos ao redor da coluna central de um núcleo de três colunas.

f) ☒ C ☒ E O ensaio de desempenho de Sumpner, também conhecido como teste *back-to-back*, tem como objetivo principal verificar as condições operacionais da máquina, simulando um regime de plena carga. Contudo, não elimina a necessidade do ensaio a vazio, que é utilizado para estimar as perdas no ferro.

*As perdas a vazio são verificadas também*