

ESP1066

Prova 1 . Peso: 3,50 . 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

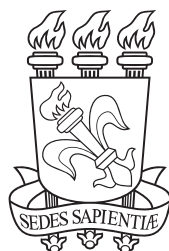
Nome & Matrícula: LF Freitas-Gutierrez

Nota: Gabarito

17-11-2024

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 | Total |
|----------|----|----|-------|
| Pontos | 55 | 45 | 100 |
| Notas | | | |

① A Figura 1 apresenta o esboço de um dispositivo com as seguintes características:

- O entreferro #E1 possui comprimento médio de $x_1 = 10$ cm.
- O entreferro #E2 possui comprimento médio de $x_2 = 6$ cm.
- O enrolamento #B1 contém $N_1 = 500$ espiras.
- O enrolamento #B2 contém $N_2 = 200$ espiras e é percorrido por uma corrente $I_2 = 2$ A.
- O dispositivo inclui um bloco de material não linear com comprimento médio $h = 8$ cm.
- A curva B - H do material não linear também é apresentada na Figura 1.
- Para todo o sistema, considere uma área da seção transversal $S = 10$ cm².
- Requer-se que o fluxo magnético na coluna central seja nulo.
- Devem ser desconsiderados o espalhamento magnético e os fluxos dispersos. O material linear é ideal.

Com base nessas especificações, responda os itens subsequentes.

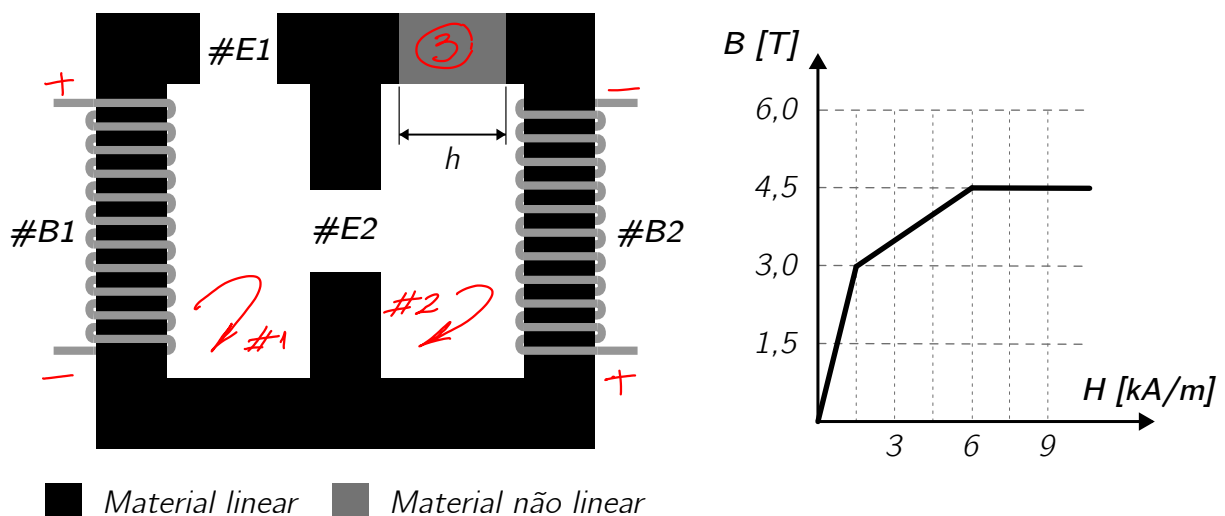


Figura 1: Ilustração para a Questão 1.

- a) 20 pontos Determine a corrente elétrica I_1 na bobina #B1.
 $I_1 = 663,68$ A
- b) 5 pontos Calcule a energia magnética \mathcal{W}_g acumulada no entreferro #E1.
 $\mathcal{W}_g = 691,88$ J
- c) 15 pontos Quantifique as indutâncias próprias (L_1 e L_2) dos enrolamentos.
 $L_1 = 3,13$ mH
 $L_2 = 1,34$ mH

- d) ☐ 15 pontos Estabeleça a indutância mútua M entre as bobinas.

$M = 1,25 \text{ mH}$

- ② ☐ 45 pontos Analise os itens abaixo, indicando se são certos ou errados.

- a) ☐ ☒ Para estimar a curva de magnetização de um transformador monofásico em laboratório, a corrente (I) e a tensão (V) apresentam comportamento análogo aos dos campos magnéticos H e B , respectivamente. Dessa forma, a permeabilidade magnética (μ) relaciona-se diretamente com a impedância (Z). *por histerese magnética*
- b) ☐ ☒ Para estimar as perdas no ferro por meio da análise do ciclo de histerese em um transformador monofásico utilizando um osciloscópio em laboratório, além de calcular a área interna do ciclo, é essencial considerar o volume do núcleo ferromagnético e a frequência de operação. $\phi = \int B \cdot S \uparrow$
- c) ☐ ☒ Considerar o espalhamento tende a ~~superestimar o fluxo magnético~~. ϕ permanece igual
- d) ☒ ☐ E No ensaio de polaridade de um transformador monofásico, a observação de uma tensão equivalente à diferença entre as tensões no primário e no secundário indica que os terminais estão em fase.
- e) ☐ ☒ O ensaio de rigidez dielétrica permite avaliar a presença de falhas entre as espiras de um enrolamento de uma máquina elétrica. *qualidade da isolamento sustentada pelo óleo*
- f) ☐ ☒ Considerando apenas as autoinduições na Figura 2, $\Delta V = (L_1 + L_2 + L_3) di/dt$.
- g) ☐ ☒ Considerando apenas as induções mútuas na Figura 2, $\Delta V' = 2M di/dt$.
- h) ☒ ☐ E A força eletromotriz (\mathcal{E}_{23}) induzida em #2 devido ao efeito de #3 desloca cargas de c para d na Figura 2.
- i) ☒ ☐ E A força eletromotriz (\mathcal{E}_{33}) autoinduzida em #3 orienta-se no sentido de f para e na Figura 2.
- j) ☐ ☒ Em um transformador, as perdas no ferro são de 50 W a 40 Hz e 220 V. Quando a frequência é elevada para 60 Hz e a tensão para 380 V, as perdas aumentam para 90 W. De acordo com os procedimentos de cálculo abordados em ESP1066, pode-se inferir que as perdas por correntes parasitas são superiores a 35 W quando operando a 50 Hz e 220 V. *Varizando a tensão, não se garante $P_o = A f + B f^2$*

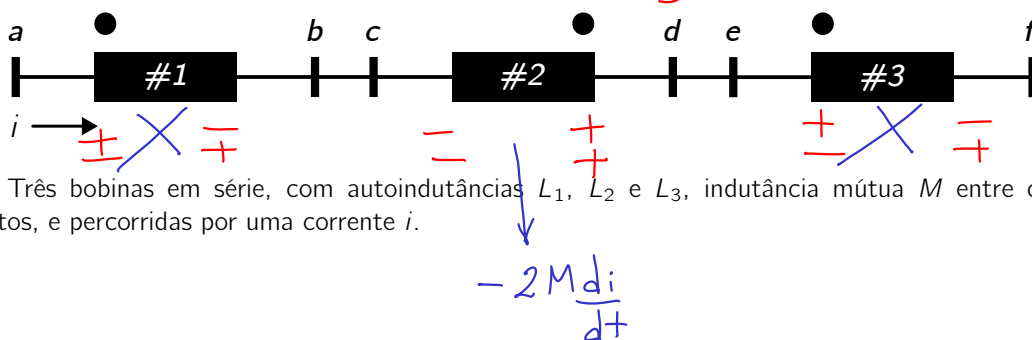


Figura 2: Três bobinas em série, com autoindutâncias L_1 , L_2 e L_3 , indutância mútua M entre cada par de enrolamentos, e percorridas por uma corrente i .

$$\#1: -\mathcal{F}_1 + \mathcal{R}_1 \phi_1 + \mathcal{R}_2 \cdot (\phi_1 - \phi_2) = 0$$

$$\#2: -\mathcal{F}_2 + \mathcal{R}_2 (\phi_2 - \phi_1) + \mathcal{R}_3 \phi_2 = 0$$

Observe que $\phi_1 - \phi_2 = 0$
Com isso, temos que:

$$\mathcal{F}_1 = \mathcal{R}_1 \phi_1 = \mathcal{N}_1 I_1$$

$$\mathcal{F}_2 = \mathcal{R}_3 \phi_2 = \mathcal{N}_2 I_2 = H_2 h \quad \therefore \quad H_2 = \frac{\mathcal{N}_2 I_2}{h} = 5000 \text{ A/m}$$

Da curva B-H (trecho entre 3 e 6 kA/m)

$$\frac{4,5 - 3}{6 - 1,5} = a = 0,33 \rightarrow y - 4,5 = 0,33(x - 6)$$

$$y = 0,33x + 2,52$$

$$\text{Para } x = 5 \text{ kA/m} : y = 3,63 \text{ T}$$

$$\mathcal{B}_2 = 4,17 \text{ T}$$

Tendo conhecimento de \mathcal{B}_2 , segue que: $\phi_2 = \phi_1 = \mathcal{B}_2 \cdot S = 4,17 \text{ e-}3 \text{ Wb}$

$$\text{Finalmente: } \mathcal{F}_1 = \mathcal{R}_1 \phi_1 = \mathcal{N}_1 I_1$$

$$\frac{\mathcal{L}_1}{\mu_0 S} \cdot \frac{\phi_1}{\mathcal{N}_1} = I_1 = 663,68 \text{ A}$$

Procedimentos corretos, mas o resultado é impraticável!

$$\#E1 \quad W_g = \frac{\mathcal{B}_1^2}{2\mu_0} \cdot \mathcal{L}_1 \cdot S = 691,88 \text{ J}$$

Método da superposição para 1: $\mathcal{F}_1 = (\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2 \parallel \mathcal{R}_3) \phi_1^e$ ← esquerda

Método da superposição para 2:

$$\mathcal{F}_2 = (\mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_1 \parallel \mathcal{R}_2) \phi_2^d$$
 ← direita

$$\rightarrow \phi_2^d = 1,34 \text{ e-}5 \text{ Wb}$$

$$\rightarrow \phi_2^c = \left(\frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \right) \phi_2^d = 5,01 \text{ e-}6 \text{ Wb}$$

$$L_2 = \frac{\mathcal{L}_2}{I_2} = \frac{\mathcal{N}_2 \phi_2^d}{I_2} = 1,34 \text{ e-}3 \text{ H}$$

$$M = \frac{\mathcal{N}_1 \phi_2^c}{I_2} = 1,25 \text{ e-}3 \text{ H} \quad (\text{confirmado!})$$

$$\mathcal{R}_1 = 4,96 \text{ e+}7 \text{ H}^{-1}$$

$$\mathcal{R}_2 = 4,77 \text{ e+}7 \text{ H}^{-1}$$

$$H_2 h = \mathcal{R}_3 \phi_2 \therefore \mathcal{R}_3 = 9,59 \text{ e+}4 \text{ H}^{-1}$$

$$\rightarrow \phi_1^c = 4,16 \text{ mWb} \quad (4,1650 \text{ e-}4 \text{ Wb})$$

$$\rightarrow \phi_1^d = \left(\frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3} \right) \phi_1^c \approx 4,16 \text{ mWb} \quad (4,1567 \text{ e-}3 \text{ Wb})$$

$$L_1 = \frac{\mathcal{L}_1}{I_1} = \frac{\mathcal{N}_1 \phi_1^c}{I_1} = 3,13 \text{ e-}3 \text{ H}$$

$$M = \frac{\mathcal{N}_2 \phi_1^d}{I_1} = 1,25 \text{ e-}3 \text{ H}$$

$$\phi_2^c = \phi_2^d - \phi_2^c = 8,39 \text{ e-}6 \approx \phi_1^c - \phi_1^d = \phi_1^c \quad (\text{confirmado!})$$

← centro