



Nome Legível:

Ass.:

No. USP:

Professor:

Turma:

<b>Q1</b>	(1,5)	<b>Q2</b>	(4,0)	<b>Q3</b>	(2,5)	<b>Q4</b>	(2,0)	<b>Total</b>
-----------	-------	-----------	-------	-----------	-------	-----------	-------	--------------

**QUESTÃO 1** [1,5] A estrutura ferromagnética da Figura 1 é simétrica e apresenta as seguintes relutâncias: Relutância dos braços laterais (Fe) =  $25 \cdot 10^5$  Aesp/Wb, Relutância do braço central (Fe) =  $5 \cdot 10^5$  Aesp/Wb e Relutância do entreferro =  $20 \cdot 10^5$  Aesp/Wb. A bobina 1 possui 250 espiras e a bobina 2, 400 espiras. Pede-se determinar os itens a seguir.

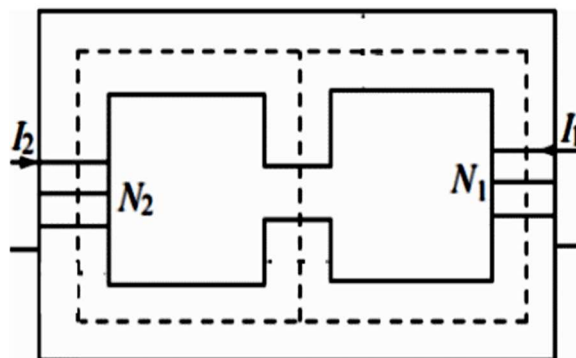


Figura 1 – Questão 1

(a) [0,3] Desenhe o circuito elétrico análogo ao circuito magnético, indicando todos os parâmetros.

(b) [0,3] Supondo que  $i_2 = 0$ , determine o fluxo magnético através a bobina 1,  $\phi_{11}$ , e da bobina 2,  $\phi_{21}$ .

Resp.: \_\_\_\_\_

(c) [0,3] Na condição do item (b), determine a indutância própria da bobina 1, e a indutância mútua entre as duas bobinas.

Resp.: \_\_\_\_\_



(d) [0,3] Supondo agora que  $i_1=0$  e  $i_2 \neq 0$ , determine o fluxo magnético através da bobina 2 e a indutância própria dessa bobina.

Resp.: \_\_\_\_\_

(e) [0,3] Qual o fator de acoplamento entre as duas bobinas?

Resp.: \_\_\_\_\_

**QUESTÃO 2** [4,0] Um transformador monofásico de dois enrolamentos tem os seguintes dados de placa: 200 kVA, 2300:230 V, 60 Hz. A impedância vista pela alta tensão quando a baixa tensão está curto-circuitada vale  $(0,24 + j1,6) \Omega$ . O enrolamento de baixa tensão, quando a alta tensão está em aberto, possui como parâmetros uma resistência de perdas  $33,3 \Omega$  e uma reatância de magnetização de  $13,3 \Omega$ . Pede-se:

(a) [0,5] as correntes nominais da alta e baixa tensão desse transformador;

$$I_1 = 200/2,3 \rightarrow I_1 = 86,96 \text{ A}$$

$$I_2 = 200/0,23 = 869,6 \text{ A}$$

Resp.: \_\_\_\_\_  $I_1 = 86,96 \text{ A}$  \_\_\_\_\_  $I_2 = 869,6 \text{ A}$  \_\_\_\_\_

(b) [0,6] a corrente de magnetização e a corrente de perdas quando o transformador está em aberto e alimentado com tensão nominal pela alta tensão;

$$a = 2300/230 = 10$$

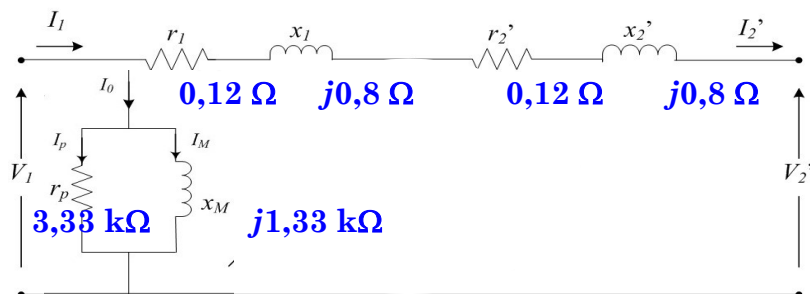
$$I_{pAT} = V_2/R_p/a \rightarrow 230/33,3/10 \rightarrow I_p = 0,69 \text{ A}$$

$$I_{magAT} = V_2/X_m/a \rightarrow 230/13,3/10 \rightarrow I_{mag} = 1,725 \text{ A}$$

Resp.: \_\_\_\_\_  $I_{mag} = 1,725 \text{ A}$  \_\_\_\_\_  $I_p = 0,69 \text{ A}$  \_\_\_\_\_



(c) [0,8] o circuito elétrico equivalente a fluxo constante (simplificado, no qual o ramo magnetizante está em paralelo com a fonte), referido ao lado da alta tensão, indicando os valores numéricos dos parâmetros;  $a^2 = 100 \rightarrow R'_p = 100 \cdot 33,3 = 3,33 \text{ k}\Omega$ ,  $X'_m = 1,33 \text{ k}\Omega$



(d) [0,7] a tensão primária (módulo e fase) para que o transformador alimente carga resistiva a 220 V, consumindo 180 kW, no lado da baixa tensão.

$$V_2 = 2200 \angle 0^\circ \text{ V}, \quad I_2 = 180/2,2 \angle 0^\circ = 81,82 \angle 0^\circ \text{ A},$$

$$V_1 = E_1 = V_2 + \Delta V_{cc} = 2200 + 81,82 (0,24 + j1,6) \rightarrow V_1 = 2223,5 \angle 3,38^\circ [\text{V}],$$

Resp.: \_\_\_\_\_  $V_1 = 2223,5 \angle 3,38^\circ [\text{V}]$  \_\_\_\_\_

(e) [0,8] as perdas totais do transformador e seu rendimento, quando este opera nas condições anteriores.

$$P_{Fe} = V_1^2/R_p \rightarrow 222,35^2/33,3 \rightarrow P_{Fe} = 1483,2 \text{ W}$$

$$P_J = R_{cc} \cdot I_2^2 \rightarrow P_J = 0,24 \times 81,82^2 \rightarrow P_J = 1606,7 \text{ W}$$

$$\text{Perdas} = 1483,2 + 1606,7 = 3089,9 \text{ W}$$

$$\text{Rend} = P_2/(P_{\text{Perdas}} + P_2) = 180/(180 + 3,0899) = 98,3 \%$$

Resp.: \_\_\_\_\_  $\text{Perdas} = 3090 \text{ W}$  \_\_\_\_\_  $\text{Rend} = 98,3 \%$  \_\_\_\_\_

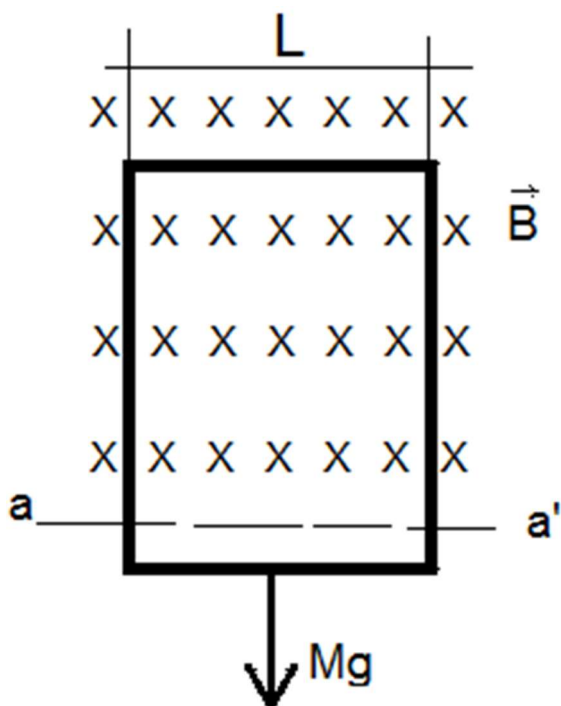
(f) [0,6] Qual a regulação do transformador na situação anterior?

$$\text{Reg} = (V'_{20} - V_2)/V_2 \rightarrow (2223,5 - 2200)/2200 = 1 \%$$

Resp.: \_\_\_\_\_  $\text{Reg} = 1 \%$  \_\_\_\_\_



**QUESTÃO 3** [2,5] Na Figura 2 abaixo, uma espira retangular longa e condutora de largura  $L$ , resistência  $R$  e massa  $M$  está em repouso numa região onde existe um campo magnético



horizontal uniforme  $B$ , orientado para dentro da página, e que existe somente acima da linha  $aa'$ . A espira é então solta, a partir do repouso e, durante a sua queda, é acelerada sob a ação da gravidade. Ignore a resistência do ar e admita que não haja possibilidade de movimento horizontal. Pede-se:

(a) [0,8] para cada um dos 4 lados da espira, indique na Figura 2 a polaridade da tensão induzida, o sentido da corrente e a direção e sentido da força magnética.

(b) [0,8] Escreva (sem resolver) as equações elétricas, mecânicas e de conversão eletromecânica de energia que regem o movimento da espira.

Figura 2 – Questão 3

Resp.:

---

---

(c) [0,5] A espira alcançará uma velocidade de **regime**  $U_{\infty}$ . Determine o valor .

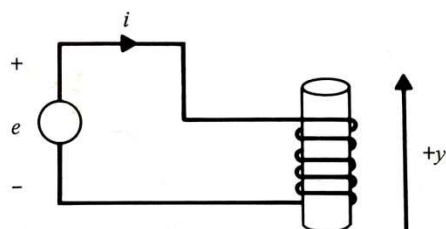
Resp.: \_\_\_\_\_

(d) [0,4] o dispositivo funciona como freio, motor ou gerador? Justifique.

Resp.: \_\_\_\_\_



**QUESTÃO 4** [2,0] Uma bobina de  $N$  espiras, orientada como ilustrado na Figura 3 abaixo, possui uma parte móvel de ferro que pode deslocar-se na direção vertical, para cima ou para baixo. A



indutância própria dessa bobina foi obtida experimentalmente e é dada por:

$$L(y) = \frac{L_0}{1+ky^2}, \text{ sendo que } y=0 \text{ corresponde à situação}$$

na qual o êmbolo está centrado na bobina.

Figura 3 – Questão 4

(a) [1,0] Para uma fonte de alimentação em corrente contínua, forneça uma expressão para a força desenvolvida pelo êmbolo em função da corrente  $i$  e do deslocamento  $y$ . Em que sentido atuará essa força, se o deslocamento for no sentido de  $y$  crescente? E no decrescente?

$$dL/dy = -2.k.y.L_0/(1+ky^2)^2 \rightarrow F(y) = \frac{1}{2} i^2 dL/dy \rightarrow$$

$$F(y) = -L_0 i^2 . ky/(1+ky^2)^2$$

Resp.: Sempre no sentido contrário ao deslocamento, ou seja, no sentido de maximizar  $L$  ( $L_{max}=L_0 \rightarrow$  êmbolo centrado na bobina:  $F=0$ )  $\rightarrow y \downarrow F \uparrow$ ,  $y \uparrow F \downarrow$

(b) [1,0] Suponha agora que se trocou a fonte de tensão contínua por outra senoidal, ou seja,  $e = e(t) = \sqrt{2} E \cos \omega t$ . Forneça a expressão de  $F(y,t)$  e seu valor médio, desprezando a resistência da bobina.

$$I_{ef} = I = E/\omega L \rightarrow I = E.(1+ky^2)/\omega L_0$$

$$F(y,t) = \frac{1}{2} i^2(t) dL(y)/dy \rightarrow F(y,t) = \frac{1}{2} I^2(1-\cos 2\omega t) dL(y)/dy$$

$$F(y,t) = -\frac{1}{2} I^2(1-\cos 2\omega t) 2.k.y.L_0/(1+ky^2)^2$$

$$\rightarrow F(y,t) = -(1-\cos 2\omega t) .L_0 k.y.[ I/(1+ky^2)]^2$$

$$F(y,t) = -(1-\cos 2\omega t). k.y. E^2/\omega^2 L_0$$

Resp.:  $F(y,t) = -(E^2 k.y/\omega^2 L_0). (1-\cos 2\omega t)$   $F_{med} = E^2 k.y/\omega^2 L_0$