



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PEA 3306 - P1 - 22 de Abril de 2019 - 7:30 às 9h10

Nome Legível: Pedro Rabelo Vasconcelos Dias Ass.: Pedro Rabelo

No. USP: 10273909 Professor: Lele Turma: 2

Q1	2,5	(2,5)	Q2	11	(2,5)	Q3	12	(2,0)	Q4	28	(3,0)	Total	87
----	-----	-------	----	----	-------	----	----	-------	----	----	-------	-------	----

QUESTÃO 1 [2,5] Um transformador monofásico de distribuição, de potência nominal 100 kVA, foi submetido a um ensaio em curto-círcuito (ver Tabela I) e a um ensaio em carga, cujo fator de potência é indutivo (ver Tabela II). Todos os ensaios foram realizados em 60Hz. A tensão nominal do primário é de 13200 V e a do secundário, 220 V. Responda às questões abaixo. Nos itens (c) e (d), utilize o circuito equivalente a fluxo constante do transformador.

Tabela I - Ensaio em Curto-círcuito (alimentação pela alta tensão)

Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)
1200 W	960	7,56

Tabela II - Ensaio em Carga (alimentação pela alta tensão, carga na baixa tensão)

Primário			Secundário		
Tensão (V)	Corrente (A)	Fator de Pot.	Tensão (V)	Corrente (A)	Fator de Pot.
13 636	7,15	0,92 (indutivo)	220	420	0,95 (indutivo)

(a) [0,7] Calcule a regulação do transformador durante o Ensaio em Carga.

$$\alpha = \frac{13200}{220} = 60 \quad \text{Reg} = \frac{V_{2\text{vazio}} - V_{2\text{carga}}}{V_{2\text{carga}}} \cdot 100\% = \frac{13200 - 220}{220} \cdot 100\% = 6000\%$$

$$V_{2\text{vazio}} = 13636 \quad V_{2\text{carga}} = \alpha \cdot 220 = 13200$$

$$\text{Reg} = \frac{13636 - 13200}{13200} \cdot 100\% \approx 3,3\%$$

$$R = 3,3\%$$

(b) [0,7] Qual o rendimento deste transformador na condição do Ensaio em Carga?

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1} = \frac{220 \cdot 420 \cdot 0,95}{13636 \cdot 7,15 \cdot 0,92} \approx 97,86\%$$

C

$$\eta = 97,86\%$$

(c) [0,5] Qual o valor das perdas Joule durante o ensaio em carga? (Dica: utilize os dados do ensaio em curto.)

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = \frac{1200}{7,56^2} \approx 21\Omega \quad R_{cc} = R_1 + R_2'$$

$$I_2' = \frac{I_2}{a} = \frac{40}{60} = 7\text{ A}$$

$$P_j = R_{cc} \cdot I_2'^2 = 21 \cdot 7^2 = 1029\text{ W}$$

Resp.: $P_j \approx 1029\text{ W}$

(d) [0,6] Nas condições do ensaio em carga, qual o valor das perdas no ferro e o valor da resistência de perdas no ferro?

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 \text{ corf} = P_2 + P_j + P_{Fe} \Rightarrow 87780 + 1029 + P_{Fe} = 89697,608$$

$$P_{Fe} = 888,608\text{ W} \quad P_{Fe} = \frac{V_1^2}{R_p} \Rightarrow R_p = \frac{V_1^2}{P_{Fe}} = \frac{13636^2}{888,608}$$

$$R_p \approx 209249\Omega$$

Resp.: $P_{Fe} \approx 888,608\text{ W}$ $R_p \approx 209249\Omega$

QUESTÃO 2 [2,5] O eletroímã da figura ao lado possui núcleo ferromagnético, que pode ser considerado ideal, e uma bobina de N espiras na parte fixa. Sua armadura pode movimentar-se apenas na direção horizontal. Desprezando a resistência da bobina, a dispersão e o espraiamento, pede-se:

(a) [1,0] o circuito elétrico análogo ao circuito magnético, indicando e explicitando todos os seus parâmetros;

$$R = \frac{l}{N \cdot S}$$

$$R_1 = \frac{1}{N} \cdot \frac{x}{w \cdot (b-x)} \quad R_2 = \frac{1}{N} \cdot \frac{x}{w \cdot w}$$

$$F = NI$$

Profundidade: w R_2

✓ 10

Resp.: _____

$$\frac{x^2 - x^2 + yw - 2xb + 2x^2 + b^2 - b}{x^2 - 2xb + b^2 - yw} \Rightarrow (x-b)^2 + yw$$

PEA3306 - P1 - 22/04/2019

$$\frac{xb - x^2}{-2x + b}$$

(b) [0,5] a indutância da bobina:

$$R_{eq} = \frac{1}{\mu} \cdot \left(\frac{x}{w^2} + \frac{y}{w \cdot (b-x)} \right)$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\mu} \cdot \left(\frac{x(b-x) + yw}{w^2(b-x)} \right)$$

R_{eq}

$$L = \frac{N^2}{R_{eq}}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

PEA3306 - P1 - 22/04/2019

$$\frac{xb - x^2}{-2x + b}$$

05

Resp.: _____

(c) [0,5] o valor da força desenvolvida pela parte móvel em função de I e dos parâmetros geométricos.

$$\text{Parâmetro móvel: } x \Rightarrow F = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{\partial L}{\partial x}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = -N^2 \mu w^2 \cdot [x(b-x) + yw] - [b-x - x] \cdot N^2 \mu w^2 \cdot (b-x)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = -N^2 \mu w^2 \cdot \frac{(-x^2 + xb + yw + b^2 - 2xb + 2x^2 - bx)}{[x(b-x) + yw]^2}$$

$$\text{Resp.: } F = -\frac{i^2 N^2 \mu w^2 \cdot [(b-x)^2 + yw]}{2 \cdot [x(b-x) + yw]^2}$$

05

✓

(d) [0,5] No fechamento completo do entreferro, estime o valor da densidade de fluxo magnético nessa região.

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu} \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu} \cdot b \cdot w \quad \text{se } x=0, F = \frac{i^2 N^2 \mu w^2 \cdot (yw + b^2)}{2 \cdot (yw)^2}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu} \cdot b \cdot w = \frac{i^2 N^2 \mu w^2 \cdot (yw + b^2)}{2 \cdot y^2 w^2}$$

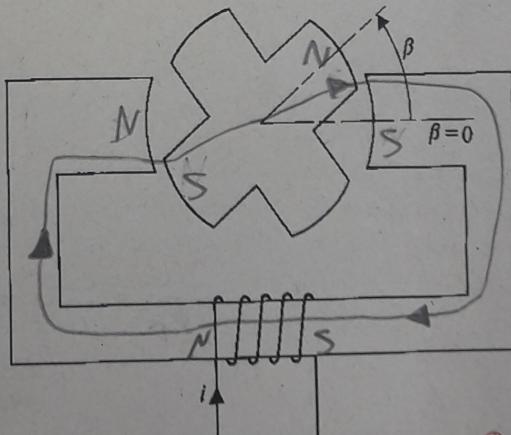
$$\text{Resp.: } B = \sqrt{\frac{i^2 N^2 \mu^2 (yw + b^2)}{2 \cdot y^2 \cdot b \cdot w}}$$

02

QUESTÃO 3 [2,0] A figura ao lado ilustra um dispositivo rotativo, com parte fixa (estator) e parte móvel (rotor) constituídas de material ferromagnético, suposto ideal. O estator possui bobina de 150 espiras, excitada por corrente contínua i . A indutância própria da bobina varia com a posição angular, β , entre os valores 45 e 225 mH. Desprezando dispersão e espraiamento de fluxo, pede-se:

(a) [0,5]

- O número de polos magnéticos do dispositivo: $2p = 4$ X
- Indique nessa figura os polos norte (N) e sul (S) no estator e no rotor.
- Traçar, na própria figura, 1 (uma) linha de campo magnético (com sentido).



04

Max 225 min 95

N = 150

PEA3306 - P1 - 22/04/2019

04

- (b) [0,5] Determine uma expressão (baseada em funções cossenoidais) para a variação da indutância própria da bobina em termos da posição angular, β , do rotor.

$$L(\theta) = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(4\theta) \Rightarrow L = \frac{225+95}{2} + \frac{225-95}{2} \cdot \cos(4\beta)$$

$\frac{225-95}{2}$

Resp.: $L(\beta) = 135 + 90 \cdot \cos(4\beta)$ [?]

- (c) [0,5] Para uma volta completa do rotor, forneça todas as posições de equilíbrio estável do sistema e deduza a expressão do torque desenvolvido pelo dispositivo para alimentação em corrente contínua, com $i = 1$ A. Justifique todas as afirmações.

Posições: 4 posições: $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ ✓

Justificativa: Posição de máxima indutância \Rightarrow mínimo relutância \Rightarrow máximo fluxo magnético (pelo alinhamento do fluxo)

$$C(\theta) = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad \frac{dL}{d\theta} = -4 \cdot 90 \cdot \sin(4\theta)$$

Resp.: $C(\beta) = -180 \cdot \sin(4\beta)$ [?]

04

- (d) [0,5] (Justifique todas as afirmações.)

- Qual a natureza desse torque e qual a tendência do sistema?
- Como seria possível, com o mesmo dispositivo, produzir torque sempre no mesmo sentido?

$$\beta = w_r \cdot t + \delta \rightarrow \text{valor inicial}$$

Se $\delta > 0$, o sistema é um gerador, se $\delta < 0$, o sistema é um motor

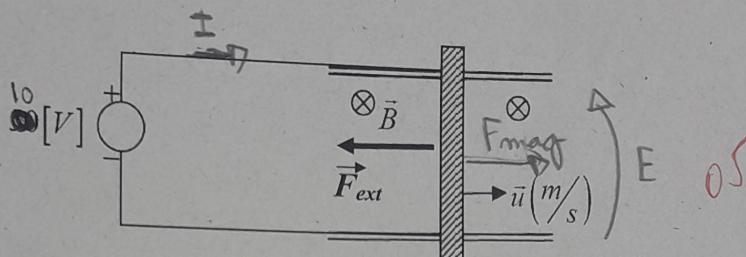
$$\hookrightarrow C_{med} > 0$$

$\hookrightarrow C_{med} < 0$
A tendência do sistema é realinhar (ficar em uma posição estável), de modo que C fique nulo. Para produzir torque sempre no mesmo sentido, $C_{med} \neq 0$. Como $C = -180 \cdot \sin(4(w_r t + \delta))$, isso só acontece se $w_r = 0$.

QUESTÃO 4 [3,0] Considere um motor elementar constituído por uma barra condutora de comprimento

$L = 2$ m e resistência $r = 0,2 \Omega$ que desliza apoiada em trilhos condutores perfeitos, como mostrado na figura a seguir. Sabe-se que o sistema está imerso em uma região magnetizada uniformemente com $B = 0,5$ T normal ao plano do conjunto trilho+barra (entrando), que a fonte impõe 10 V (tensão contínua) ao circuito, que não há atrito entre a barra e os trilhos e que existe uma força externa constante de valor igual a 5 N, da direita para a esquerda. Pede-se:

- (a) [0,5] Indique na figura a seguir o sentido da corrente que circula no circuito, a polaridade da tensão induzida na barra e o sentido da força de origem magnética produzida na condição descrita acima.



(b) [1,0] Determine o valor da corrente e da velocidade de translação da barra e, para isto, admita que a barra tenha movimento uniforme.

$$L = 2\text{m} \quad R = 0,2\Omega \quad B = 0,5\text{T} \quad V = 10\text{V} \quad F = 5\text{N}$$

$$F = F_{\text{mag}} = BlI \Rightarrow I = \frac{F}{Bl} = \frac{5}{0,5 \cdot 2} = 5\text{A} \quad 10$$

$$V - RI = E \quad E = Blu \Rightarrow V - RI = Blu \Rightarrow u = \frac{V - RI}{Bl} = \frac{10 - 0,25}{0,5 \cdot 2} = 9\text{m/s}$$

(c) [0,5] Determine a potência fornecida pela fonte, a potência dissipada por efeito Joule e o rendimento do sistema.

$$P_{\text{Fonte}} = V \cdot I = 10 \cdot 5 = 50\text{W} \quad P_{\text{Fonte}} = P_{\text{Joule}} + P_{\text{Motor}}$$

$$P_{\text{Joule}} = R \cdot I^2 = 0,2 \cdot 5^2 = 5\text{W} \quad P_{\text{Motor}} = 45\text{W}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{Motor}}}{P_{\text{Fonte}}} = \frac{45}{50} = 90\% \quad 05$$

(d) [1,0] Qual deve ser o sentido e o módulo da força aplicada externamente para que a barra deixe de se movimentar? Qual o valor da corrente nesta condição?

$$\text{Se não movimenta: } u = 0 \Rightarrow E = Blu = 0 \quad V - RI = E \Rightarrow$$

$$V - RI = 0 \Rightarrow V = RI \quad F = BlI \Rightarrow I = \frac{F}{Bl} \Rightarrow V = \frac{RF}{Bl}$$

$$F = \frac{BlV}{R} = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot 10}{0,2} = 50\text{N} \quad \text{Força externa aplicada no sentido da velocidade inicial}$$

08

\times (vira um freio)
↳ F_{mag} no sentido oposto a u