

Segunda Prova de Conversão Eletromecânica de Energia

PEA2306 11/05/2009

Professor _____

Nome _____

1ª. Questão – A Divisão de Projetos Avançados da Poli-Júnior (**DPAPJ**) foi contratada pelo Sport Club Corinthians Paulista para o desenvolvimento de um dispositivo de alta tecnologia que possibilite o levantamento de cargas cuja massa é **elevada**, tal qual aquela mostrada na figura ao lado. A solução encontrada pela **DPAPJ** para o problema é o eletroímã cuja seção transversal é mostrada na figura ao lado. A profundidade do eletroímã vale **b**, o espraiamento de fluxo pode ser desprezado e a permeabilidade do material ferromagnético pode ser admitida infinita. Suponha que o valor de **c** seja bem maior que **a**. A **DPAPJ** solicitou os seguintes cálculos:

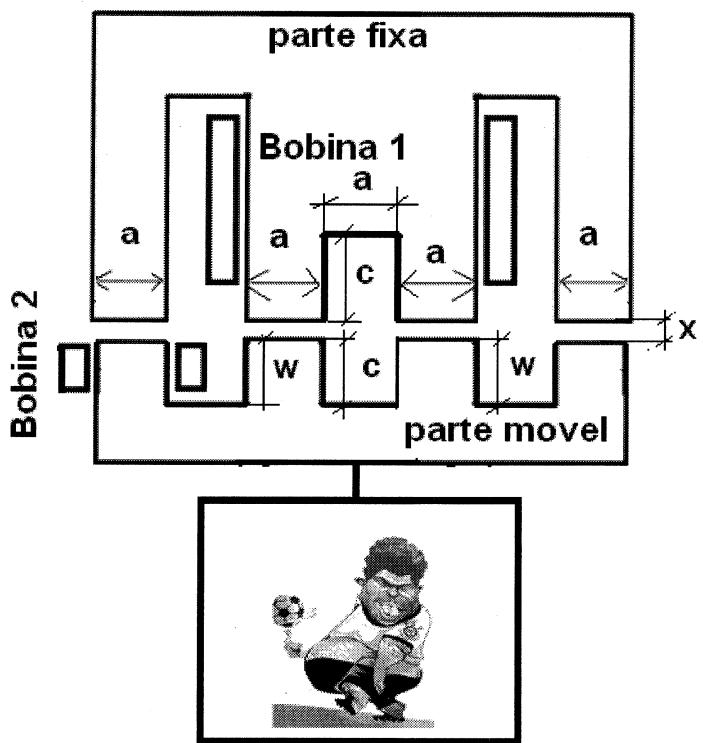
[1 ponto] a) O valor da indutância própria da bobina 1, que possui N_1 espiras.

[1 ponto] b) O valor da indutância própria da bobina 2, que possui N_2 espiras.

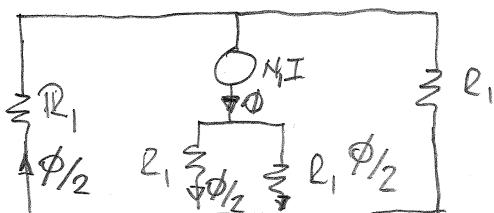
[1 ponto] c) O valor da mútua indutância entre as bobinas.

[1 ponto] d) O valor da força desenvolvida sobre a parte móvel, quando as bobinas são ligadas em série e percorridas por corrente I (admita polaridades concordantes).

[1 ponto] e) Admita neste item que a dimensão **c** passe a valer zero e que as dimensões **a**, **w** e **b** se mantenham. Calcule o novo valor da força desenvolvida sobre a parte móvel, quando **somente a bobina 1 é percorrida por corrente I** .



a)



$$R_1 = \frac{\chi}{\mu_0 S} = \frac{\chi}{\mu_0 ab}$$

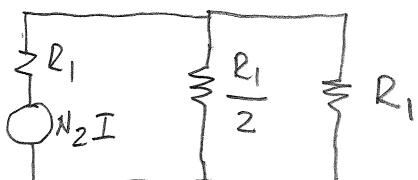
$$R_{eq} = R_1 // R_1 + R_1 // R_1 = R_1$$

$$L_1 = N_1^2 / R_{eq} = N_1^2 \mu_0 ab / \chi$$

$$R_{eq} = R_1 // \frac{R_1}{2} + R_1 = \frac{4}{3} R_1$$

$$L_2 = N_2^2 / R_{eq} = \frac{3}{4} N_2^2 \mu_0 ab / \chi$$

b)

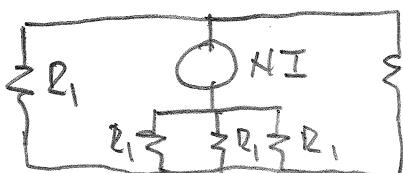


c)

$$M = \frac{N_2 \Phi}{2 I_1} = \frac{N_2 H_1 \Phi}{2 (N_1 I_1)} \rightarrow \frac{1}{2} \text{ de a)} \\ I_2 = 0 \quad R_{eq} = \frac{R_1}{3} + \frac{R_1}{2} = \frac{5}{6} R_1 \quad = \frac{N_1 N_2}{2} \frac{\mu_0 ab}{\chi}$$

$$d) f = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL_1}{dx} + \frac{1}{2} I^2 \frac{dL_2}{dx} + II \frac{dM}{dx} = \frac{1}{2} I^2 \frac{\mu_0 ab}{\chi^2} \left(-N_1^2 - \frac{3}{4} N_2^2 - N_1 N_2 \right)$$

e) $C = 0$



$$R_{eq} = \frac{R_1}{3} + \frac{R_1}{2} = \frac{5}{6} R_1 \rightarrow L_1 = \frac{6 N_1^2}{5} \mu_0 ab / \chi$$

$$f = -\frac{1}{2} I^2 \frac{6 N_1^2 \mu_0 ab}{5 \chi^2} = -\frac{3}{5} I^2 \frac{N_1^2 \mu_0 ab}{\chi^2}$$

2) Um gerador síncrono trifásico, ligação estrela, rotor cilíndrico, 10 kVA, 220 V, 60Hz, tem reatância síncrona igual a 5Ω por fase e oito pólos. Com a rotação igual a 900 rpm e corrente de excitação 3 A, a tensão de linha é igual a 300 V. O circuito magnético desta máquina seja linear.

- [1 ponto] Admita que a máquina, após ser interligada a um sistema de potência, cuja tensão nominal é 220 V e freqüência 60 Hz, teve sua corrente de excitação ajustada em 2.3 A. Se a máquina funciona como um gerador síncrono, com conjugado imposto ao eixo igual a 84 N.m, qual o valor da potência ativa e reativa fornecida à rede nestas condições?
- [1 ponto] Determine a menor corrente de armadura para que a máquina forneça potência ativa igual a 8kW, quando interligada a um sistema de potência, cuja tensão nominal é 220 V e freqüência 60 Hz. Qual o fator de potência e o ângulo de potência nesta condição?
- [1 ponto] Ainda interligada ao sistema de potência cuja tensão nominal é 220 V e freqüência 60 Hz, determine a menor corrente de excitação para que a máquina forneça uma potência ativa igual a 8kW, sem que ela perca estabilidade. Qual o fator de potência e o ângulo de potência nesta condição?

a) $C = 84 \text{ Nm} \Rightarrow P_{\text{ativa}} = 7912 \text{ W}$

$$\Omega = 2\pi \frac{900}{60}$$

$$V = 220/\sqrt{3}$$

$$P_{\text{ativa}} = 3 \frac{VE}{X_s} \sin \delta$$

$$E = \frac{2.3}{3} \times \frac{300}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

$$7912 = \frac{220 \times 230}{S} \sin \delta \Rightarrow \delta = 51,42^\circ$$

$$E \angle \delta = \sqrt{10^2 + j X_s I} \quad \hat{I} = 22.6 \angle 23.1^\circ$$

$$Q = 3 V_f I_f \sin \varphi = 3378 \text{ VAR}$$

b) $P_{\text{ativa}} = 8 \text{ kW}$ Corrente Mínima $\Rightarrow (\cos \varphi)_{\text{max}} = 1$

$$8000 = 3 V_f I_f \Rightarrow I_f = 20.99 \text{ A}$$

$$\hat{E} = \sqrt{10^2 + j X_s I} = 127 + j 5 \times 20.99 = 164 \angle 39.6^\circ$$

$$\delta = 39.6^\circ$$

c) Na condição $\delta = 90^\circ$.

Do item anterior $\hat{E} = 164 \angle 39.6^\circ$

Mesma potência ativa $E \sin \delta = \text{cte}$

$$164 \sin(39.6^\circ) = E \sin(90^\circ) \Rightarrow E = 104.98 \text{ V}$$

$$E \angle \delta = \sqrt{10^2 + j X_s I} \Rightarrow \hat{I} = 32.95 \angle 50.41^\circ$$

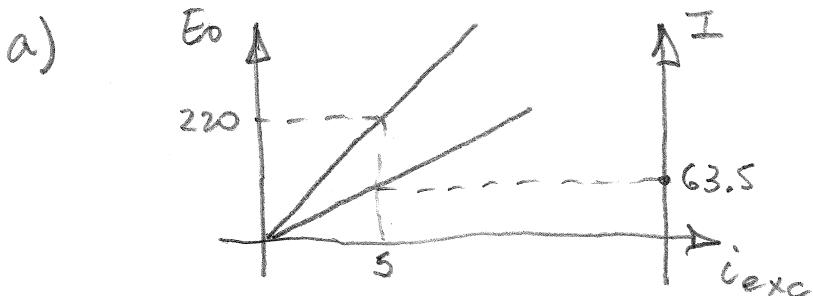
(note que $I \cos \varphi = 20.99 \text{ A}$)

$$\frac{I_{\text{exc}}}{3} = \frac{104.98}{300/\sqrt{3}}$$

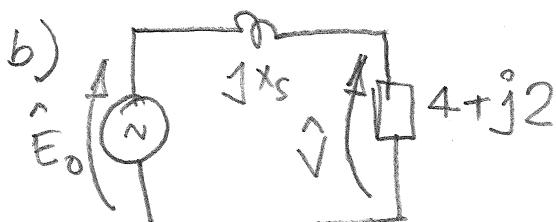
$$\underline{\underline{I_{\text{exc}} = 1.81 \text{ A}}}$$

3) Uma máquina síncrona trifásica, rotor cilíndrico, quatro pólos, estator ligado em *estrela*, possui potência aparente trifásica nominal 25 kVA, tensão nominal 220 V (linha) e freqüência nominal 60Hz. Admita circuito magnético linear e perdas desprezíveis. Girando na rotação de 1800 rpm e com a corrente de campo no rotor igual a 5A, obteve-se no estator em vazio $E = 220V$ (linha). Com o estator em curto circuito trifásico, mantidos os valores de rotação e de corrente de campo, a corrente de linha no estator é igual a 63.5 A. Operando como alternador, a máquina foi ligada a uma carga trifásica configurada em estrela, cuja impedância por fase vale $(4+j2)\Omega$

- [0.5 ponto] Qual o valor da reatância síncrona desta máquina quando ela gira a 1800 rpm?
- [0.5 ponto] Qual o valor da tensão de *linha* na carga? Considere a rotação da máquina 1800 rpm e a corrente de campo 6A.
- [1.0 ponto] A rotação da máquina é alterada para 1500 rpm e a corrente de campo para 6A. Quais os novos valores de freqüência e de tensão nos terminais do alternador? Justifique.



$$x_s = \frac{220/\sqrt{3}}{63.5} = \frac{127}{63.5} = 2\Omega$$



$$\hat{V} = \frac{4+j2}{4+j4} \hat{E}_0$$

$$\hat{E}_0 = \frac{E}{S} \times 127 \angle 0^\circ$$

$$\hat{V} = 120.48 \angle -18.43^\circ$$

$$V_{\text{linha}} = 208 \text{ V}$$

c) $f = PN = 2 \times \frac{1500}{60} = 50 \text{ Hz}$
 $P=2$

$$x_s = \frac{5}{6} \times 2 = 1.66 \Omega$$

$$Z = 4 + j2 \times \frac{5}{6} = 4 + j1.66$$

$$E_0 = \frac{6}{5} \times 127 \times \frac{5}{6} = 127$$

$$\hat{V} = \frac{4+j1.66}{4+j3.33} \hat{E}_0$$

$$V_f = 105.67 \angle -17.23^\circ$$

$$V_{\text{linha}} = 183.03 \text{ V}$$