



## ET 520 - Princípios de Conversão Eletromecânica de Energia

1ª Sem. de 2010 – Prova 3 – Prof. Edson Bim

### Questão 1 (20 PONTOS):

Obter a expressão da força eletromagnética exercida na peça móvel do dispositivo magnético mostrado na Figura-Questão1, em função da resistência  $r_b$  e do número de espiras da bobina, das dimensões do núcleo, do entreferro e da tensão contínua aplicada  $v$ . Supor que a peça de ferro conectada à mola tenha um guia de material não-magnético que a mantém equidistante das peças polares de uma distância  $g/2$ , que corresponde ao comprimento de cada entreferro dessa região. Assumir  $\mu_c \rightarrow \infty$ .

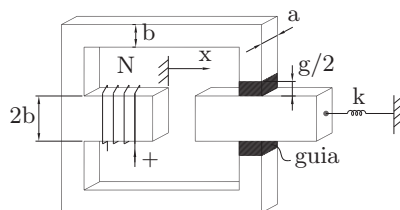


Figura-Questão 1.

### Questão 2 (20 PONTOS):

Quando as duas seções do núcleo magnético mostrado na Figura 2 tem as duas partes juntas, cada entreferro é 0,8 mm. A bobina tem 144 espiras e resistência elétrica igual a  $7,5 \Omega$ . A permeabilidade do material magnético pode ser considerada infinita e  $1/\mu_0 \approx 800 \times 10^3$ . Se uma fonte contínua de 37,5 V é ligada à bobina, determinar a força que mantém as duas partes juntas.

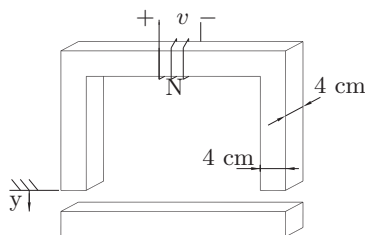


Figura da Questão 2.

### Questão 3 (20 PONTOS):

O fluxo concatenado  $\psi$  em função da corrente elétrica  $i$  e do deslocamento  $x$  da parte móvel de um dispositivo magnético pode ser aproximado por

$$\psi(i, x) = \frac{0,010 i^2}{x} \quad \text{Wb-espira}$$

para  $3 < x < 8$  cm e  $0 < i < 8$  A. Se a corrente for mantida constante em 3 A, determinar a força desenvolvida pelo dispositivo quando a parte móvel se desloca da posição  $x=6,0$  cm para  $x=5$  cm.

### Questão 4 (20 PONTOS):

A frequência das tensões elétricas do estator de uma máquina de indução trifásica e rotor gaiola de esquilo é 40 Hz. O número de polos é 6 e o escorregamento é 10%. Determine (a) a velocidade em rpm do fluxo de estator em relação ao estator e (b) a velocidade em rpm do fluxo do rotor em relação ao rotor.

### Questão 5 (20 PONTOS):

Quantos ciclos de corrente são completados para cada rotação do rotor de uma máquina de indução de 4 polos e estator alimentado por tensões de frequência igual a 60 Hz?



**ET 520 - Princípios de Conversão Eletromecânica de Energia 1º**  
Semestre de 2010 – Solução-Prova 3

**Questão 1 (20 PONTOS):**

As relutâncias do entreferro na coordenada  $x$ , nos entreferros iguais a  $g$  e no equivalente são dadas por

$$\mathfrak{R}_x = \frac{x}{\mu_0 2ab}$$

$$\mathfrak{R}_g = \frac{g/2}{\mu_0 ab}$$

$$\mathfrak{R}_{eq} = \mathfrak{R}_x + \mathfrak{R}_g // \mathfrak{R}_g = \frac{g + 2x}{4\mu_0 ab}$$

Fluxo magnético:

$$\phi = \frac{Ni}{\mathfrak{R}_{Total}} = \frac{Ni}{g + 2x} 4\mu_0 ab$$

Força total desenvolvida:

$$\Rightarrow F_{em} = -\frac{1}{2} \phi^2 \frac{d\mathfrak{R}_{Total}}{dx} = -4 \mu_0 ab \left( \frac{Nv}{r_b(g + 2x)} \right)^2$$

**Questão 2 (20 PONTOS):**

A corrente e a relutância são, respectivamente,

$$i = \frac{v}{r_b} = \frac{37,5}{7,5} = 5A$$

$$\mathfrak{R}_g = \frac{1}{\mu_0} \frac{2y}{ab} = 800 \times 10^3 \frac{1,6 \times 10^{-3}}{16 \times 10^{-4}} = 800 \times 10^3 \text{ A-espira/Wb}$$

O fluxo magnético é dado por

$$\phi = \frac{Ni}{\mathfrak{R}_g} = \frac{144 \times 5}{800 \times 10^3} = 0,09 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

A força desenvolvida é, então, dada por

$$F_{em} = -\frac{1}{\mu_0} \frac{\phi^2}{2A_g} = -800 \times 10^{-3} \frac{(0,09 \times 10^{-3})^2}{2 \times 16 \times 10^{-4}} \\ \Rightarrow F_{em} = -202,5N$$

**Questão 3 (20 PONTOS):**

Determinação da coenergia:

$$W'_\phi(i, x) = \int_0^i \frac{0,010 i'^2}{x} di' = \frac{0,010 i^3}{3} \frac{1}{x}$$

Determinação da força em função do entreferro  $x$ :

$$F_{em} = F_{em} = + \frac{\partial W'_\phi(i, x)}{\partial x} \Big|_{i=cte} = \int_0^i \frac{0,010 i'^2}{x} di' \\ \Rightarrow F_{em} = -\frac{0,010 i^3}{3} \frac{1}{x^2}$$

A substituição dos valores de entreferro para o intervalo dado resulta nos valores da seguinte tabela:

x (cm)	6	5,8	5,6	5,4	5,2	5
$F_{em}$ (N)	-25	-26,75	-28,69	-30,86	-33,28	-36

O gráfico correspondente está mostrado na Figura-Questão 3

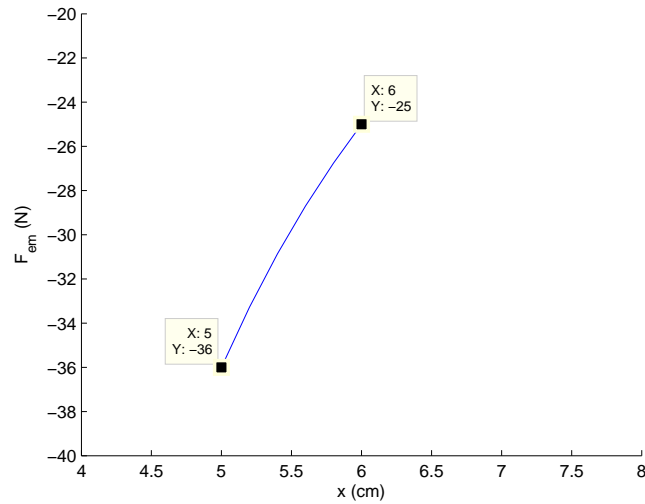


Gráfico-Questão 3:  $F_{em}(x)$ .

**Questão 4** (20 PONTOS):

(a) Velocidade em rpm do campo girante do estator em relação ao estator:

$$n_{sm} = \frac{120 \times f_1}{p} = \frac{120 \times 40}{6}$$

$$\Rightarrow n_{sm} = 800 \text{ rpm}$$

(b) Velocidade em rpm do campo girante do rotor em relação ao rotor:

$$n_2 = s n_{sm} = 0,1 \times 800$$

$$\Rightarrow n_2 = 80 \text{ rpm}$$

**Questão 5** (20 PONTOS):

A onda espacial de fmm do estator completa uma rotação a cada  $P/2$  pares de polos. Como se tem 4 polos, uma rotação do campo girante corresponde a 2 ciclos de corrente.