

SEL0329 – Conversão Eletromecânica de Energia

Lista 3

1 – Em um atuador de movimento de translação, a relação λ - i é dada por

$$i = \lambda^{3/2} + 2.5\lambda(x - 1)^2$$

Para $0 < x < 1$ m, onde ' i ' é a corrente na bobina do atuador. Determine a força na parte móvel para $x = 0.6$ m. (resposta: λ^2)

2 – A relação λ - i para um sistema eletromagnético é dada por

$$\lambda = \frac{1.2i^{1/2}}{g}$$

onde g é o comprimento do entreferro. Para uma corrente $i = 2$ A e $g = 10$ cm, determine a força mecânica na parte móvel:

- a) usando a energia do sistema (resposta: -226,25 Nm)
- b) usando a co-energia do sistema (resposta: -226,25 Nm)

3 – Um atuador é apresentado na figura 1. Todas as dimensões estão em centímetros. O material magnético é aço fundido, cujas características de magnetização são apresentadas na figura 2. O núcleo magnético e o entreferro têm seção transversal quadrada. A bobina tem 500 voltas e 4 ohms de resistência.

- a) O entreferro é $d = 1$ mm. ($H_c = 350$ A/m; $B = 0,5$ T)
 - i) Determine a corrente na bobina e a tensão de alimentação (dc) necessária para se obter uma densidade de fluxo de 0.5 T no entreferro. (resposta: 1,22A; 4,88V)
 - ii) Determine a energia armazenada no atuador (resposta: 0,38 J)
 - iii) Determine a força de atração no braço do atuador (resposta: 248,7 N)
 - iv) Determine a indutância da bobina (resposta: 0,51 H)
- b) O braço do atuador pode ser mover e finalmente o entreferro se fecha
 - i) Para um entreferro igual a zero, determine a densidade de fluxo no núcleo, a força no braço do atuador, a energia armazenada no atuador (resposta: 1,2T; 1432,4 N; 0,9J)
 - ii) Determine a transferência de energia (excluindo a energia dissipada na bobina devido a resistência) entre a fonte DC e o atuador. Assuma que o braço se move

lentamente. Qual é a direção do fluxo de energia? Quanto de energia mecânica é produzida? (resposta: 1,0675 J; sentido fonte – atuador; 0,5475 J)

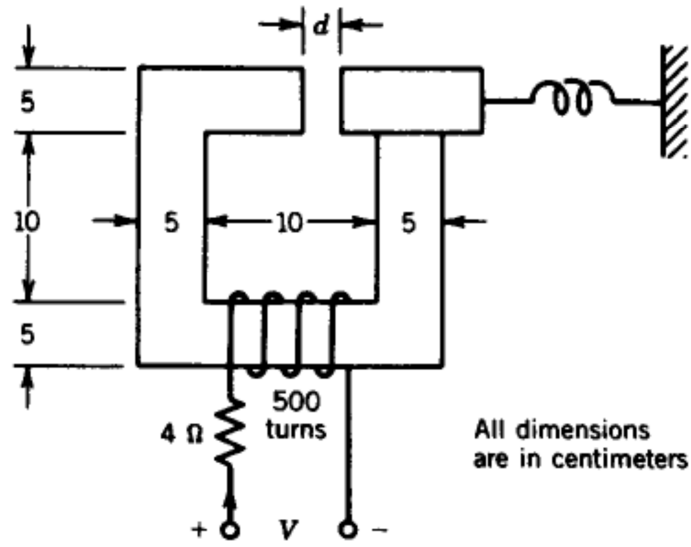


Figura 1

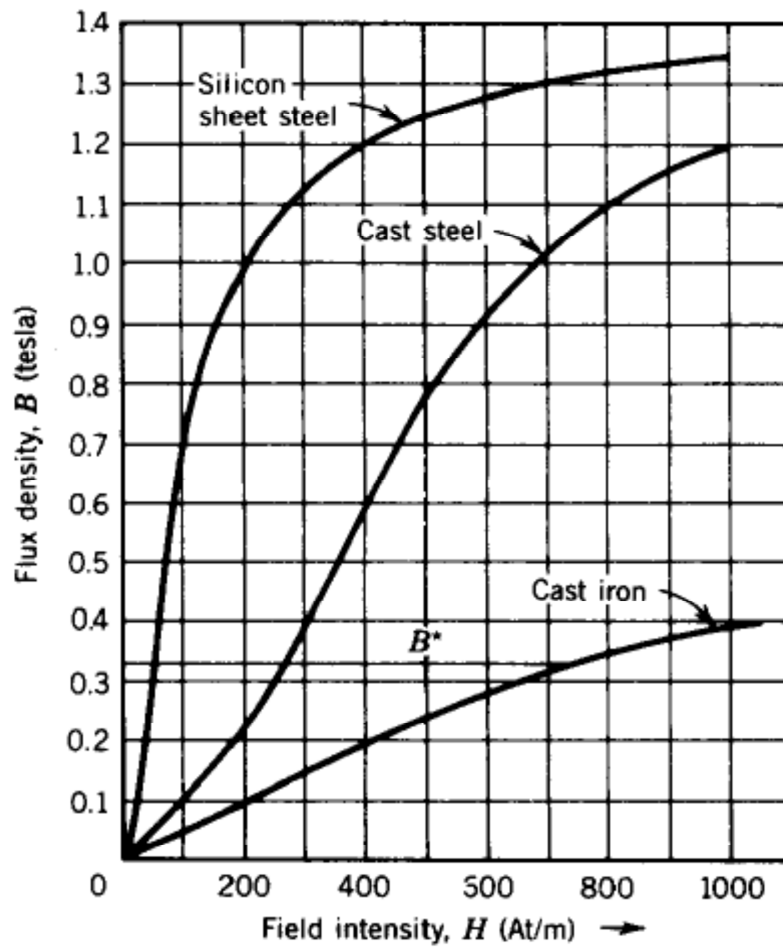


Figura 2

4 – A figura 3 mostra um sistema eletromagnético para levitação de um pedaço de aço. A bobina tem 600 voltas. A relutância do material magnético pode ser desprezada até uma densidade de fluxo de 1.4 T.

a) Para uma corrente de 15 A (dc) determine o maior comprimento de entreferro 'g' no qual a densidade de fluxo seja 1.4 T. (resposta: 4,04 mm)

b) Para o valor de entreferro encontrado no item anterior, determine a força na peça de aço. (resposta: 199,64 kN)

c) A peça de aço tem massa igual a 1000 kg. Para uma corrente de 15 A, determine o maior comprimento de entreferro tal que a peça de aço possa ser levitada pelo sistema. (Adote, gravidade 9.81 m/s^2) (resposta: 18,225 mm)

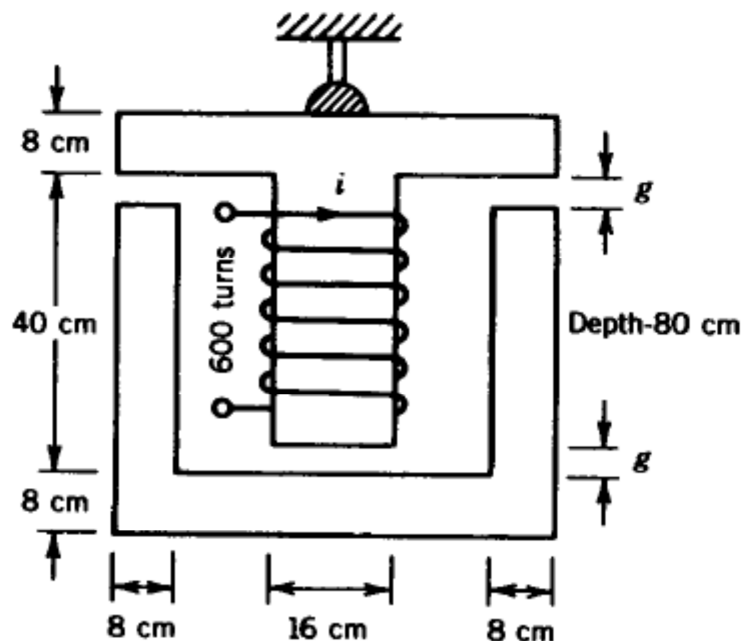


Figura 3

5 – A figura 4 mostra um sistema eletromagnético para levitação de uma peça de aço. A bobina tem 2500 voltas. A densidade de fluxo no entreferro é de 1.25 T. Assuma que o núcleo seja um material ideal (não satura).

a) Para um entreferro $d = 10 \text{ mm}$.

i) Determine a corrente na bobina. (resposta: 7,96 A)

ii) Determine a energia armazenada no sistema (resposta: 19,8 J)

iii) Determine a força na peça de aço (resposta: 1980 N)

iv) Determine a massa da peça de aço (Adote, gravidade 9.81 m/s^2). (resposta: 201,64 kg)

b) Para um entreferro $d = 5 \text{ mm}$, determine a corrente na bobina necessária para levantar a peça de aço. (resposta: 3,98 A)

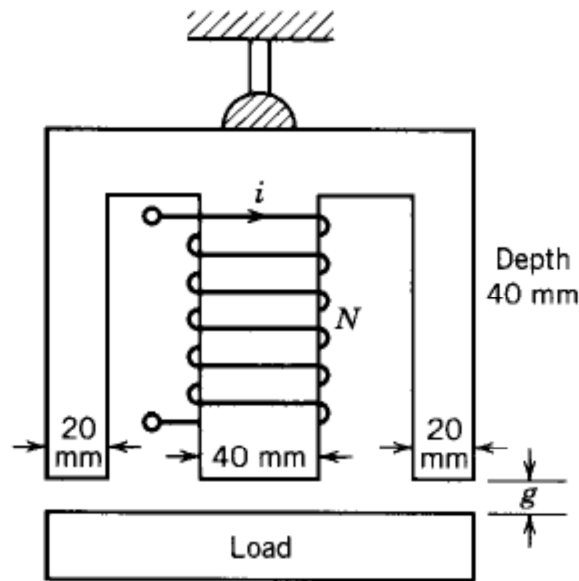


Figura 4.

6 – A figura 5 mostra a secção em corte de um atuador eletromagnético cilíndrico. O embolo móvel tem área de secção transversal de $0,0016 \text{ m}^2$. A bobina tem 2500 voltas e resistência de 10 ohms. Uma tensão de 15 V (dc) é aplicada nos terminais da bobina. Assuma que o núcleo seja um material ideal (não satura).

a) Determine o valor do entreferro 'g' em mm para que a densidade de fluxo no entreferro seja de 1.5 T. Determine a energia armazenada para esta condição. (resposta: 3,14 mm; 4,5 J)

b) Obtenha a expressão para a força no embolo como função do comprimento do entreferro. (resposta: $f = \frac{0,0141372}{g^2}$)

c) Determine a força no embolo para as condições do exercício (a). (resposta: 1432,4 N)

d) Suponha que o embolo se mova rapidamente da posição inicial $g = 5 \text{ mm}$ para $g = 0 \text{ mm}$. O embolo move tão rapidamente que o fluxo concatenado pela bobina (e também a densidade de fluxo no entreferro) dificilmente muda durante o movimento.

i) Determine a força durante a movimentação do embolo. (resposta: 565,5 N)

ii) Determine a quantidade de energia mecânica produzida durante a movimentação. (resposta: 2,83 J)

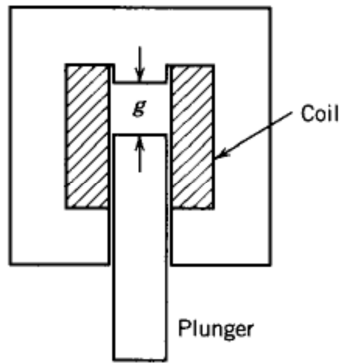


Figura 5

7 – A figura 6 mostra um sistema de levitação eletromagnética. A bobina tem 400 voltas e resistência de 5 ohms. A relutância do material magnético pode ser desprezada. O núcleo magnético tem uma seção transversal quadrada de 5 cm por 5 cm. Uma peça de aço e introduzida ao sistema com valor de entreferro de $g = 1\text{mm}$, entre a peça e o núcleo. Uma força de 550 newtons é necessária para levantar tal peça.

a) Para uma alimentação DC,

i) Determine o valor da tensão DC aplicada. (resposta: 10,45 V)

ii) Determine a energia armazenada no campo magnético. (resposta: 0,55 J)

b) Para uma alimentação AC a 60 Hz, determine o valor da tensão aplicada. (resposta: 198,3 V)

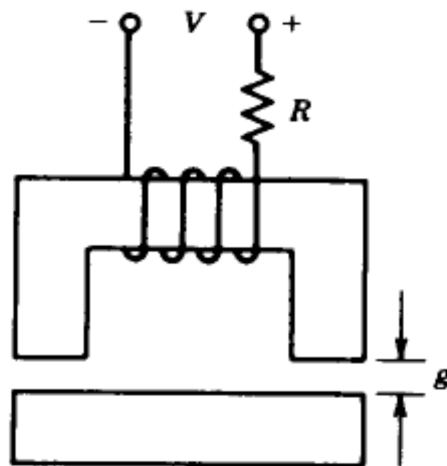


Figura 6

8 – Quando flui corrente através da bobina do solenoide curvo, Figura 7, uma peça ferromagnética curva adentra o solenoide, realizando um movimento contrário a força da mola. A indutância da bobina é $L = 4.5 + 18 \cdot \theta \mu\text{H}$, onde θ é o ângulo de deflexão em radianos. A constante da mola é $0.65 \times 10^{-3} \text{ Nm/rad}$.

a) Mostre que o aparato mede o valor RMS da corrente. (resposta: o ângulo de deflexão é proporcional ao quadrado do valor RMS da corrente)

- b) Determine a deflexão em graus para uma corrente de $10 A_{RMS}$ (resposta: $79,35^\circ$)
- c) Determine a queda de tensão para uma corrente de $10 A_{RMS}$ a 60 Hz passando através da bobina. A resistência da bobina é 0.015 ohms. (resposta: $0,186 V$)

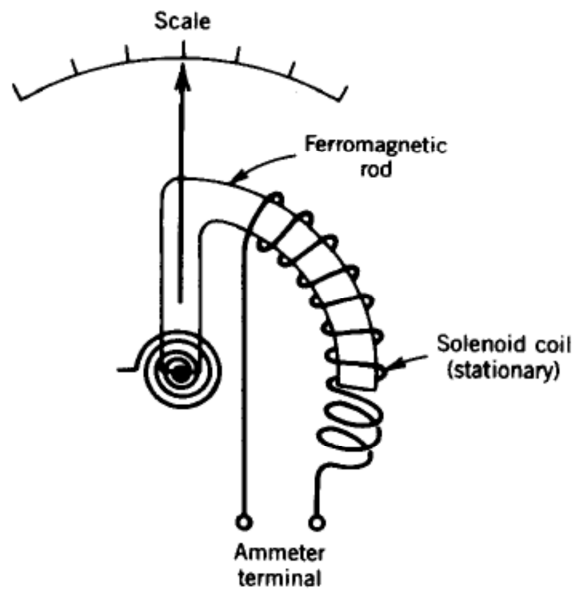


Figura 7

9 – Uma máquina de relutância na forma apresentada na figura 8 não tem enrolamento no rotor. A indutância da bobina do estator é

$$L_{SS} = 0.1 - 0.3 \cos 2\theta - 0.2 \cos 4\theta \text{ H}$$

Uma corrente de $10 A_{RMS}$ a 60 Hz passa através da bobina do estator.

- a) Determine os valores de velocidade (ω_m) do rotor em que a máquina desenvolve o torque médio. (resposta: $\pm 377 \text{ rad/s}$; $\pm 188,5 \text{ rad/s}$)
- b) Determine o torque máximo e a potência (mecânica) que pode ser desenvolvida pela máquina para cada velocidade. (resposta: $[\pm 377]$: 15 Nm ; 5655 W ; $[\pm 188,5]$: 20 Nm ; 3770 W)
- c) Determine o torque máximo à velocidade zero. (resposta: $63,45 \text{ Nm}$)

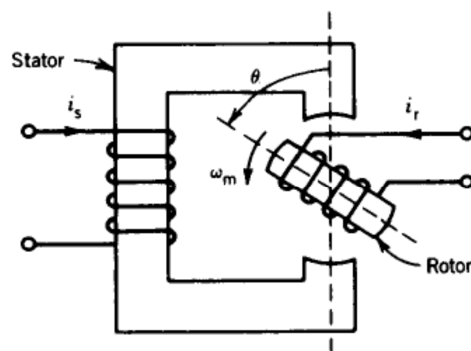


Figura 8

10 – Um motor de relutância com rotor de quatro polos é apresentado na figura 9. A relutância do sistema magnético pode ser assumida como uma função que varia senoidalmente em função de θ e é dada por

$$\mathfrak{R}(\theta) = 2 \cdot 10^5 - 10^5 \cos 4\theta$$

A bobina tem 200 voltas e resistência desprezível, sendo conectada a 120 V, 60 Hz, monofásico.

a) Obtenha uma expressão para o fluxo (ϕ) em função do tempo (dica, $v = Nd\phi/dt$) (resposta: $\phi = \phi_M \cos \omega t$)

b) Mostre que o torque é

$$T = \frac{1}{2} \phi^2 \frac{d\mathfrak{R}}{d\theta}$$

c) Determine os valores de velocidade (ω_m) do rotor em que a máquina desenvolve o torque médio. (resposta: 0; $\pm\omega_m/2$)

d) Determine o torque máximo e a potência (mecânica) que pode ser desenvolvida pela máquina para cada velocidade. (resposta: [0]: 0,5 Nm; 0 W; [$\pm 188,5$]: 0,253 Nm; 47,7 W)

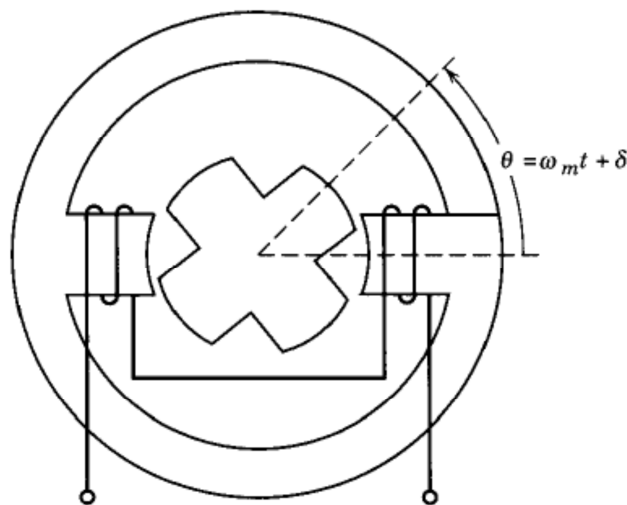


Figura 9

11 – A máquina rotativa da figura 10 tem os seguintes parâmetros

$$L_{SS} = 0.15 \text{ H}$$

$$L_{RR} = 0.06 \text{ H}$$

$$L_{SR} = 0.08 \cos \theta \text{ H}$$

a) O rotor gira a 3600 RPM. Se pelo enrolamento de estator passa uma corrente de 5 A_{RMS} a 60 Hz, determine a tensão instantânea e RMS induzida na bobina do rotor. Determine a

frequência da tensão induzida no rotor. (resposta: $150,8\sqrt{2}\cos(240\pi t + \delta)$ V; 150,8 Vrms, 120 Hz)

b) Suponha que as bobinas de estator e rotor sejam conectadas em série e que uma corrente de 5 A_{RMS} e 60 Hz passa através delas. Determine as velocidades em que a máquina produzirá o torque médio. Também, determine o valor máximo de torque que a máquina produzirá em cada velocidade. (resposta: [0]: 2Nm; $[\pm 2\omega]$ 1Nm)

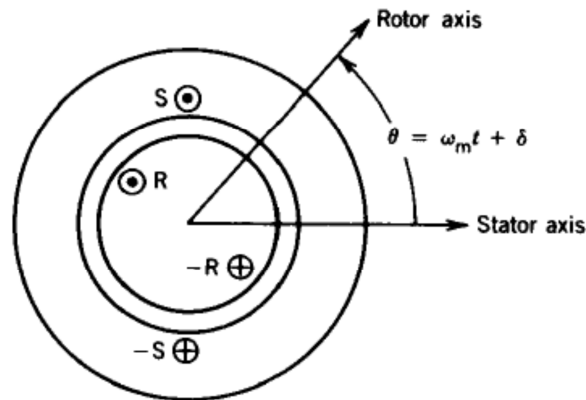


Figura 10

12 – Um indutor tem uma indutância que foi obtida experimentalmente como sendo

$$L = \frac{2L_0}{1 + x/x_0}$$

Onde $L_0 = 30$ mH, $x_0 = 0.87$ mm, e x é o deslocamento de um elemento móvel. A sua resistência de enrolamento foi medida, sendo igual a 110 mΩ.

a) O deslocamento x é mantido constante em 0.90 mm, e a corrente é incrementada de 0 a 6.0 A. Encontre a energia magnética resultante armazenada no indutor. (resposta: 0,531 J)

b) Em seguida, a corrente é mantida constante em 6 A e o deslocamento é incrementado até 1.8 mm. Encontre a alteração correspondente de energia magnética armazenada. (resposta: -0,18 J)

13 – O indutor do problema anterior é acionado por uma fonte senoidal de corrente da forma

$$i(t) = I_0 \text{sen}(\omega t)$$

Onde $I_0 = 5,5$ A e $\omega = 100\pi$ (50 Hz). Com o deslocamento mantido fixo em $x = x_0$, calcule (a) a energia magnética média (W_{CAMPO}), em relação ao tempo, armazenada no indutor e (b) a potência dissipada média, em relação ao tempo, na resistência de enrolamento. (resposta: [a] 0,277 J; [b] 1,63W)

14 – Considere o atuador de êmbolo da figura 11. Suponha que o êmbolo esteja inicialmente totalmente aberto ($g = 2.25$ cm) e que uma bateria seja usada para suprir uma corrente de 2.5 A ao enrolamento.

a) Se o êmbolo for obrigado a se mover muito lentamente (isto é, lentamente em relação á constante de tempo elétrica do atuador), reduzindo o entreferro de 2.25 a 0.20 cm, quanto trabalho mecânico em joules será fornecido ao êmbolo? (resposta: 46,7μJ)

b) Para as condições da parte (a), quanta energia será fornecida pela bateria (além da potência dissipada n bobina)?

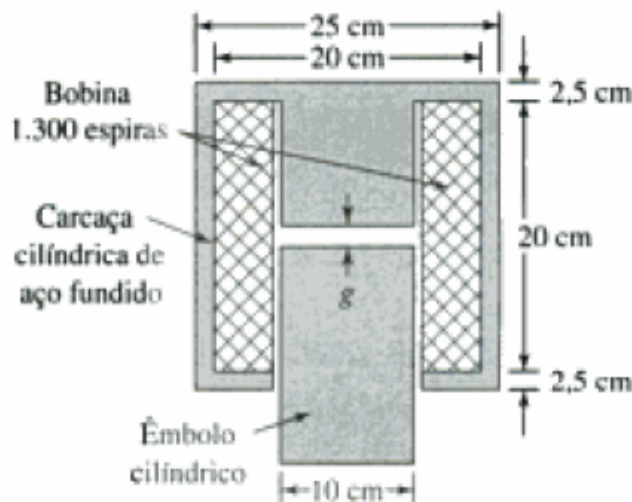


Figura 11

15 – O êmbolo de um solenoide é conectado a uma mola. A força na mola é dada por $f = K_0(0.9a - x)$, onde x é o comprimento do entreferro. A indutância do solenoide tem a forma $L = L_0(1 - x/a)$, e sua resistência de enrolamento é R .

Inicialmente, o êmbolo está em repouso na posição $x = 0.9a$, quando uma tensão CC de magnitude V_0 é aplicada ao solenoide.

a) Encontre uma expressão, em função do tempo, para a força necessária para manter o êmbolo na posição $a/2$. (resposta: $f = -\frac{L_0}{2a} \left(\frac{V_0}{R}\right)^2 e^{-2t/\tau}$)

b) Se, então, o êmbolo for liberado e permitido que atinja o equilíbrio, encontre a posição de equilíbrio X_0 . Você pode supor que essa posição esteja no intervalo $0 \leq X_0 \leq a$. (resposta:

$$X_0 = 0,9a - \frac{L_0}{2aK_0} \left(\frac{V_0}{R}\right)^2$$