**SEL0404 – Eletricidade II**

**Lista 4**

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

$$i=λ^{{3}/{2}}+2.5λ(x-1)^{2}$$

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. R: $λ^{2}$

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

$$λ=\frac{1.2i^{{1}/{2}}}{g}$$

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. R: -226,25 Nm

b) usando a co-energia do sistema. R: -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. R: Hc=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. R: 1,22 A; 4,88 V

ii) Determine a energia armazenada no atuador. R: 0,38 J

iii) Determine a força de atração no braço do atuador. R: 248,7 N

iv) Determine a indutância da bobina. R: 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. R: 1,2 T; 1432,4 N; 0,9 J

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?. R: 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. R: 4,04 mm

b) Para o valor de entreferro encontrado no item anterior, determine a força na peça de aço. R: 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/s2). R: 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 mm.

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

ii) Determine a energia armazenada no sistema. R: 19,8 J

iii) Determine a força na peça de aço. R: 1980 N

iv) Determine a massa da peça de aço (Adote, gravidade 9.81 m/s2). R: 201,64 kg

b) Para um entreferro d = 5 mm, determine a corrente na bobina necessária para levitar a peça de aço. R: 3,98 A



Figura 4.

**6 –** A figura 5 mostra a secção em corte de um atuador eletromagnético cilíndrico. O êmbolo móvel tem área de seção transversal de 0.0016 m2. 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. R: 3,14 mm; 4,5 J

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

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

d) Suponha que o embolo se mova rapidamente da posição inicial g = 5 mm para g = 0 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. R: 565,5 N

ii) Determine a quantidade de energia mecânica produzida durante a movimentação. R: 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 = 1mm, entre a peça e o núcleo. Uma força de 550 newtons é necessária para levitar tal peça.

a) Para uma alimentação DC,

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

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

b) Para uma alimentação AC a 60 Hz, determine o valor da tensão aplicada. R: 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 $L=4.5+18∙θ μ$H, onde $θ$ é o ângulo de deflexão em radianos. A constante da mola é 0.65x10-3 Nm/rad.

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

b) Determine a deflexão em graus para uma corrente de 10 ARMS. R: 79,35°

c) Determine a queda de tensão para uma corrente de 10 ARMS a 60 Hz passando através da bobina. A resistência da bobina é 0.015 ohms. R: 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

$$L\_{SS}=0.1-0.3\cos(2θ)-0.2\cos(4θ) H$$

Uma corrente de 10 ARMS 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. R: ±377 rad/s; ±188,5 rad/s

b) Determine o torque máximo e a potência (mecânica) que pode ser desenvolvida pela máquina para cada velocidade. R: [±377]: 15 Nm; 5655 W; [±188,5]: 20 Nm; 3770 W

c) Determine o torque máximo à velocidade zero. R: 63,45 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

$$R\left(θ\right)=2∙10^{5}-10^{5}\cos(4θ)$$

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

a) Obtenha uma expressão para o fluxo (ɸ) em função do tempo (dica, v = Ndɸ/dt).

R: $ϕ=ϕ\_{M}cosωt$

b) Mostre que o torque é

$$T=\frac{1}{2}ɸ^{2}\frac{dR}{dθ}$$

c) Determine os valores de velocidade ($ω\_{m})$ do rotor em que a máquina desenvolve o torque médio. R: 0; ±$ω\_{m}/2$

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



Figura 9

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

$$L\_{SS}=0.15 H$$

$$L\_{RR}=0.06 H$$

$$L\_{SR}=0.08cos⁡Θ H$$

a) O rotor gira a 3600 RPM. Se pelo enrolamento de estator passa uma corrente de 5 ARMS a 60 Hz, determine a tensão instantânea e RMS induzida na bobina do rotor. Determine a frequência da tensão induzida no rotor. R: $150,8\sqrt{2}\cos(\left(240πt+δ\right))V;150,8 V\_{rms}$; 120 Hz

b) Suponha que as bobinas de estator e rotor sejam conectadas em série e que uma corrente de 5 ARMS 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. R: [0]: 2 Nm; [±2$ω]$: 1 Nm



Figura 10