

ESTA PROVA É AUTO-EXPLICATIVA. PERGUNTAS SOBRE AS QUESTÕES NÃO SERÃO RESPONDIDAS EM HIPÓTESE ALGUMA. As respostas nesta folha são obrigatórias. O item não será corrigido se não houver resposta escrita no espaço em branco à tinta. Provas feitas a lápis no papel de prova não serão revisadas. Inutilize bem todos os espaços em branco das folhas de solução da prova feita a tinta. Explícite as equações usadas durante a solução (Ex:  $V_t = R_a \cdot I_a = 0,1 \times 100 = 10 \text{ V}$  e não  $V_t = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ V}$ ). Não se esqueça das **unidades**, principalmente nas respostas obrigatórias nesta folha. O **capricho** faz parte da prova (provas **sem** capricho ou escritas com lápis **muito** claros poderão ter descontos de 0 a 2 pontos, a critério do professor). O arredondamento dos cálculos deve ser feito na **3ª. casa decimal significativa** (exemplos:  $4,2356 = 4,236$ ;  $0,0236$ ;  $0,00236$ ;  $0,000236$ ). A resposta deve também conter **3 algarismos significativos obrigatoriamente**. Faça os cálculos com todos os algarismos fazendo o arredondamento apenas no resultado final. É permitido o uso de calculadoras, incluindo as HPs comuns. É **expressamente** proibido o uso de qualquer outro tipo de computador, incluindo Palms e afins bem como calculadoras que permitam **comunicação entre pessoas**. A **NÃO OBSERVÂNCIA DESTAS REGRAS SERÃO TRATADAS COMO FALTA DE COOPERAÇÃO DO ESTUDANTE**.

Cada questão vale 4 pontos. A nota máxima é 10

**Questão 01** - O dispositivo eletromagnético da figura 1 tem núcleo magnético ideal de seção quadrada de lado igual a 6 cm. O número de espiras é 300 e a resistência elétrica do condutor é de  $6\Omega$ . Despreza-se a dispersão do fluxo magnético e o efeito de bordas. O entreferro é mantido em 5mm e uma fonte de tensão contínua de 120 V é conectada à bobina. Determine:  
a) a energia magnética armazenada no campo magnético 8,143 J, b) a força de içamento da parte móvel 1628,675 N, c) trocando a fonte de tensão contínua por uma fonte de tensão alternada de 120V eficazes e frequência de 60Hz determine a força média de içamento da parte móvel 216,649 N d) se o material magnético fôsse o aço forjado (figura 2) qual seria o valor da força do item b? 1568,755 N, e) qual a conclusão que você tira da resposta ao item d? O material magnético usado não é dos melhores e pouco influencia no valor da força. Se fôsse utilizado um material magnético melhor, com curva B-H mais vertical, a influência seria menor ainda.

**Questão 02** - No sistema eletromagnético da figura 3 a indutância própria do estator é dada por  $L_e = L_A + L_B \cos(2\theta)$  sendo  $\theta$  o ângulo que denota a posição do rotor. O rotor não tem enrolamento (máquina de relutância). A velocidade angular mecânica do rotor é dada por  $\omega_m$  e  $\theta = \omega_m t + \theta_0$ . Uma corrente elétrica senoidal de valor eficaz  $I = 10\text{A}$  e de frequência  $f = 60\text{Hz}$  é injetada no enrolamento de estator. Os valores dos parâmetros elétricos do enrolamento do estator são:  $L_A = 800 \text{ mH}$  e  $L_B = 270 \text{ mH}$ . a) obtenha uma expressão geral numérica para o torque eletromagnético produzido pelo sistema eletromagnético e que atua sobre o rotor do sistema eletromagnético

$$T_{em} = -27 \sin(2(\omega_m t + \theta_0)) + 13,5 \sin[2(\omega_m + \omega)t + 2\theta_0] + 13,5 \sin[2(\omega_m - \omega)t + 2\theta_0]$$

b) determine as condições para que haja torques com valores médios não nulos bem como os respectivos valores desses torques para cada condição determinada

$$T_{em} \neq 0 \text{ se } \omega_m = 0 \Rightarrow T_{em} = -27 \sin(2\theta_0)$$

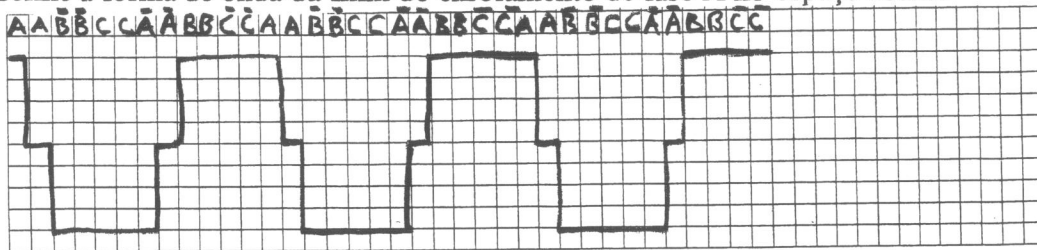
$$\omega_m = +\omega \Rightarrow T_{em} = 13,5 \sin(2\theta_0)$$

$$\omega_m = -\omega \Rightarrow T_{em} = 13,5 \sin(2\theta_0)$$

(OBS: a resposta do item b dependerá da solução do item anterior e sem aquela solução esta resposta terá valor nulo). **Sugestões:** usar:  $\sin^2(a) = (1/2)(1 - \cos(2a))$ ;  $\sin(a+b) + \sin(a-b) = 2\sin(a)\cos(b)$

**Questão 03** – Uma máquina elétrica trifásica de indução ou síncrona tem no seu estator um enrolamento trifásico distribuído capaz de produzir um campo girante na velocidade angular elétrica das correntes elétricas que circularém pelas três fases. a) considere uma máquina trifásica de 6 pólos com estator com 36 ranhuras com um enrolamento de um lado de bobina por ranhura e de passo completo. a) escreva a sequência de lados de bobina da máquina (use a sequência de fases ACB)

b) desenhe a forma de onda da fmm do enrolamento de fase A no espaço abaixo



c) calcule o fator de enrolamento desse enrolamento 0,9633 d) escreva a expressão da 1ª. harmônica da fmm da fase a do enrolamento supondo que uma corrente elétrica  $i_a$  o percorra  $F_{m1a} = (4/\pi)(0,9623N/6)i_a \cos(\frac{s}{2}\theta)$  e) idem da densidade de fluxo para um entreferro  $g$   $B = \mu_0 F_{m1a} / g$ , f) se a máquina fosse um gerador síncrono qual deveria ser a velocidade de acionamento de seu eixo (em rpm) para que ela forneça uma tensão na frequência de 60Hz?  $n_m = 1200 \text{ rpm}$ , g) se ela fosse um motor de indução com escorregamento de 2% qual seria a frequência das correntes alternadas induzidas no enrolamento do rotor?  $f_r = 0,02 \times 60 = 1,2 \text{ Hz}$  h) nesse último caso qual seria a velocidade do rotor em rpm?  $n_r = 1200 - 0,02 \times 1200 = 1178 \text{ rpm}$

Sugestão: Primeira harmônica de onda quadrada de fmm  
 $(4/\pi)(N_{eq}/\text{polos})i_a \cos\{(\text{polos}/2)\theta_a\}$

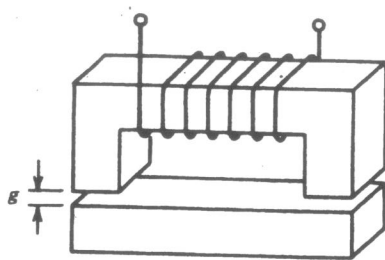


Figura 1

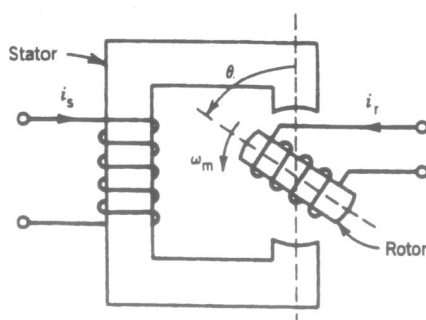


Figura 3

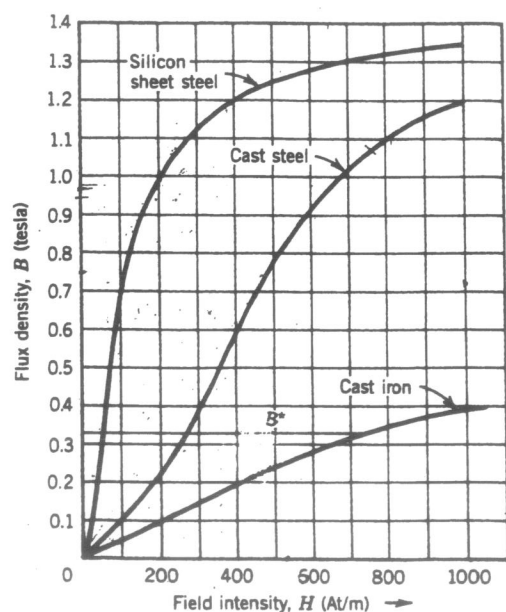


Figura 2