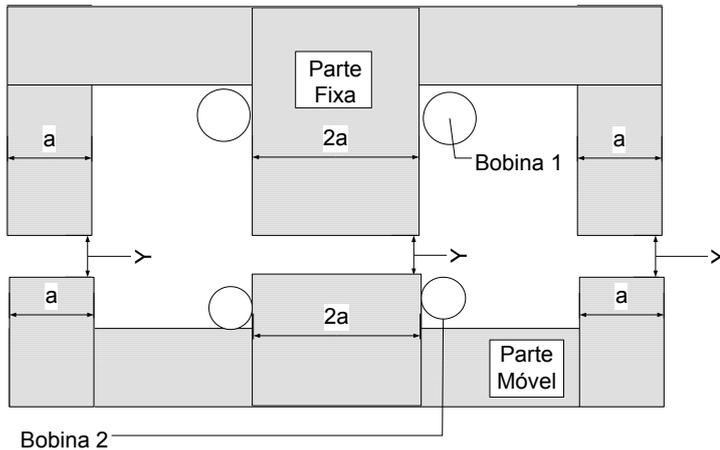




Lista Balanço de Energia em Conversores Eletromecânicos

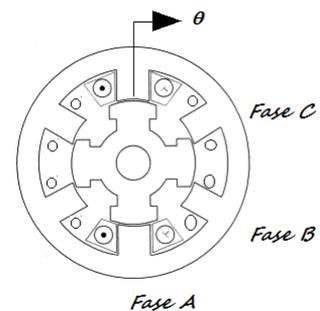
1- A figura abaixo mostra o corte de um dispositivo eletromecânico, cuja profundidade é igual a w e que tem um entreferro de valor Y . As duas bobinas podem ser alimentadas separadamente. A bobina 1 possui N espiras e a bobina 2 tem $2N$ espiras. Admita as seguintes



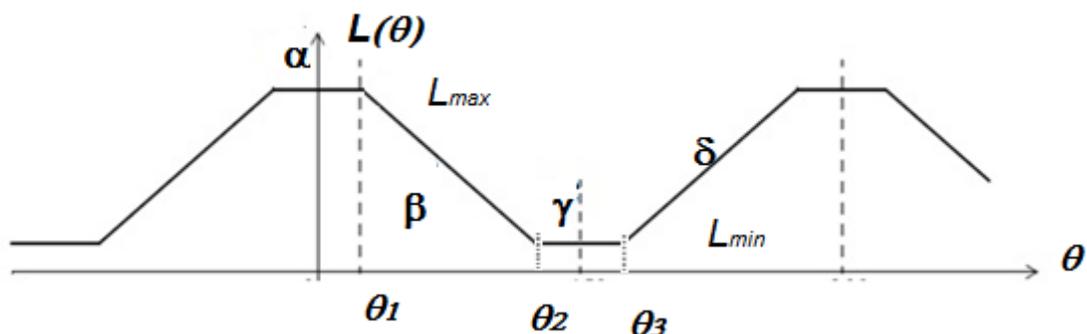
hipóteses: o material ferromagnético possui permeabilidade magnética infinita, não há espraiamento de fluxo magnético e o movimento da peça móvel é apenas na direção vertical.

a) Suponha que apenas a bobina 2 esteja energizada. Faça um esboço das linhas de

- campo para esta situação. *Indique no desenho o sentido da corrente na bobina;*
- b) Determine a indutância própria de cada uma das bobinas;
- c) Determine a força em função da posição, quando apenas a bobina 1 é percorrida por uma corrente de valor I .
- d) Defina a polaridades das bobinas e determine a expressão da mútua indutância do par de bobinas;
- e) Determine a força em função da posição, quando as bobinas 1 e 2 são percorridas por uma corrente de valor I . *Indique no desenho o sentido da corrente em cada bobina.*
- f) Em qual condição a força desenvolvida pelo conjunto é nula?
- g) Existe alguma condição em que o sistema produza força de repulsão? Porque?



2- Um motor de relutância pode ser visto em corte na figura ao lado. Cada fase deste motor é constituída por duas bobinas ligadas em série e posicionadas a 180° . Na figura apenas a fase A está energizada. Admita que na posição indicada o entreferro entre a saliência do rotor e a saliência do polo do rotor seja constante. Nestas condições, pode-se afirmar que a indutância da fase A pode ser expressa na forma do gráfico abaixo, em que θ é o ângulo que mede a posição do rotor. Note que, no gráfico, escala das abscissas (θ) está fora de escala, mas a figura do motor está em escala.





- O perfil da indutância da fase A mostra ao menos 4 regiões claramente distintas, discriminadas como α , β , γ e δ .
- Explique, qualitativamente, por qual motivo a indutância de uma fase se modifica com a posição do rotor e para isto, relacione cada uma delas a uma posição rotórica.
- Analise o desenho e o comportamento do gráfico e forneça valores possíveis (aproximados) para θ_1 , θ_2 e θ_3 . Justifique.
- Admita que a fase A seja percorrida por corrente de valor I de valor constante. Faça um esboço de gráfico do valor do torque em função da posição θ para esta condição. A partir deste gráfico, pode-se afirmar que o dispositivo é um motor? Justifique.
- Deseja-se produzir torque na direção horária somente acionando as três fases. Sugira um procedimento para isto. Não é necessário o cálculo do torque neste item.

3- Dois enrolamentos montados no estator e no rotor de uma máquina tem $L_1 = 0,1$ mH, $L_2 = 0,2$ mH e $M(\theta) = 0,05 \cos(\theta)$ mH, em que θ é o ângulo entre os eixos dos enrolamentos que são ligados em série e percorridos por corrente $i(t)$ de valor $\sqrt{2} I_{ef} \sin(\omega t)$.

- Determine o valor do conjugado em função da posição angular θ e do instante t
- Determinar o conjugado médio no tempo em função do ângulo θ
- Determinar o conjugado médio no tempo para $I_{ef} = 10$ A e $\theta = 90^\circ$
- Faça o corte transversal deste dispositivo.

4- Refaça o problema anterior com $L_1(\theta) = 0,6 + 0,2 \cos(2\theta)$, mantidos os valores de L_2 e $M(\theta)$.

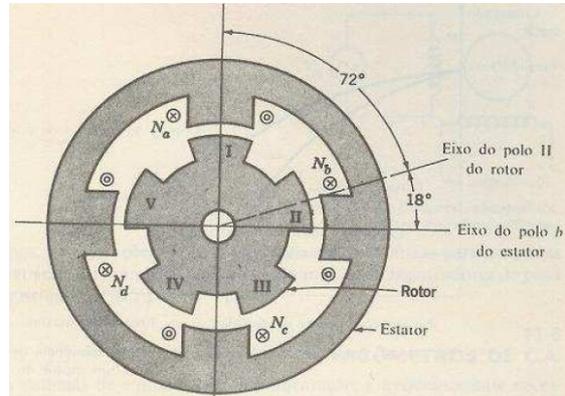
5- Dois enrolamentos montados no estator e no rotor de uma máquina tem indutâncias $L_1(\theta) = 0,1 + 0,05 \cos(4\theta)$ mH, $L_2 = 0,2$ mH, e $M(\theta) = 0,01 \cos(2\theta)$ mH, em que θ é o ângulo entre os eixos dos enrolamentos.

- Quantos polos possui este dispositivo? Faça o seu corte transversal.
- Justifique a seguinte afirmação: "ao se alimentar somente o enrolamento 2, não é possível tornar este dispositivo um conversor eletromecânico de energia".
- Deseja-se que na posição $\theta = 30^\circ$, o torque de relutância seja igual a 0,002 Nm. Qual deve ser o valor das correntes contínuas em cada enrolamento? Dica: há uma condição particular, que torna a determinação deste par de valores mais simples.
- Deseja-se que na posição $\theta = 30^\circ$, o torque de mútua seja igual a 0,002 Nm. Qual deve ser o valor das correntes contínuas nos enrolamentos? Para facilitar assumamos correntes idênticas no estator e rotor.



6- A figura ao lado, extraída do livro Máquinas Elétricas (Fitzgerald, Kingsley e Kusko), representa um motor de passo de operação diferencial. Responda, justificando:

- Qual o torque produzido se apenas a bobina **a** for energizada?
- As bobinas **b** e **d** ligadas em série produzem torque?
- como energizar as bobinas de maneira que o rotor gire no sentido horário, e como controlar a velocidade? Admita que os arcos dos polos do estator e os arcos dos polos do rotor sejam concêntricos.



7 -Um equipamento rotativo possui duas bobinas. A bobina alojada no estator tem indutância constante de 400 [mH]. A bobina do rotor tem indutância variando senoidalmente com a posição do rotor, entre os valores máximo de 600 [mH] e mínimo de 200 [mH]. A indutância mútua tem valor máximo de [350 mH] e também varia senoidalmente. Desenhe o corte transversal desse equipamento e escreva as expressões das indutâncias em função da posição do rotor, identificando os pontos de máximo acoplamento entre as bobinas e os pontos de acoplamento nulo.

8- Considere a corrente que circula na bobina do estator do equipamento da questão anterior como sendo constante e igual a 4 [A]. A corrente do rotor também é contínua, mas pode ser invertida por um processo de chaveamento alternando-se entre os valores + 5 [A] ou - 5 [A] na frequência de 50 [Hz]. Escreva a expressão do torque eletromagnético e calcule o seu valor médio em duas condições: rotor parado na posição intermediária entre as posições de máxima mútua e de mútua nula, ou rotor em movimento circular uniforme com frequência N r.p.m.

Algumas Respostas

$$1b) L_1 = \frac{N^2 \mu_0 a w}{Y}; L_2 = 4 \frac{N^2 \mu_0 a w}{Y}$$

$$1c) F = - \frac{1 (NI)^2 \mu_0 a w}{2 Y^2}$$

$$1d) M = \pm \frac{2N^2 \mu_0 a w}{Y} \text{ (tudo depende da polaridade entre bobinas)}$$

$$1e) F = - \frac{1 (NI)^2 \mu_0 a w}{2 Y^2} - 4 \frac{1 (NI)^2 \mu_0 a w}{2 Y^2} \pm \frac{2 (NI)^2 \mu_0 a w}{Y^2}$$

1f) Se o fluxo no entreferro for nulo. Por exemplo: na bobina 1 tem-se corrente igual a 2I ao passo que na bobina 2 tem-se corrente I, mas com polaridades invertidas (uma produz fluxo no sentido inverso ao outro).



2c) $0 < \theta < \theta_1$ $C=0$

$\theta_1 < \theta < \theta_2$ $C = \frac{1}{2} I^2 \frac{L_{min} - L_{max}}{\theta_2 - \theta_1}$ Note que $C < 0!$

$\theta_2 < \theta < \theta_3$ $C=0$

3a) $C(t, \theta) = -10^{-4} I_{ef}^2 \sin^2(\omega t) \sin(\theta)$

3b) $C_{médio}(\theta) = \frac{-10^{-4} I_{ef}^2 \sin(\theta)}{2}$

3c) $C_{médio} = -0,5 \times 10^{-3} \text{Nm}$

3d) dispositivo sem saliência, polos lisos.

4a) $C(t, \theta) = -(0,4 \times \sin(2\theta) + 0,1 \times \sin(\theta)) 10^{-3} I_{ef}^2 \sin^2(\omega t)$

4b) $C_{médio}(\theta) = -(0,4 \times \sin(2\theta) + 0,1 \times \sin(\theta)) \times 10^{-3} \times \frac{I_{ef}^2}{2}$

4c) $C_{médio} = -0,5 \times 10^{-3} \text{Nm}$

4d) dispositivo de polos salientes no rotor.

5a) Ao analisar a periodicidade da mútua indutância, nota-se que a mútua em uma volta do rotor alcança o valor de mútua máxima por duas vezes (mútua positiva) e de mútua mínima por duas vezes (valor negativo). Isto caracteriza um dispositivo de 2 pares de polos ou seja quatro polos. O mesmo resultado pode ser obtido através da análise da indutância própria do estator. Tente fazer esta análise através da indutância própria.

O dispositivo tem polos salientes no rotor (analise a expressão de L_1)

5b) Se $i_1=0$, sabe-se que $C(\theta) = \frac{1}{2} i_2 \frac{dL_2}{d\theta}$, mas L_2 é constante. Desta forma, o conjugado é nulo para qualquer posição θ , o que inviabiliza o processo de conversão eletromecânica de energia.