

SEL0329 – Conversão Eletromecânica de Energia

Lista 1

1 – Um circuito magnético com um único entreferro é apresentado na figura a seguir.

As dimensões do núcleo são:

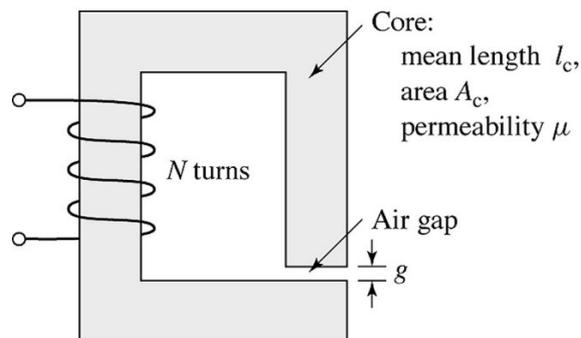
- Área de seção transversal $A_C = 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
- Comprimento médio do circuito magnético $l_C = 0,6 \text{ m}$
- Comprimento do entreferro $g = 2,3 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $N = 83$ Voltas

Considere que a permeabilidade magnética do núcleo é $\mu = 2500\mu_0$ e despreze a dispersão de fluxo.

a) Calcule a relutância do núcleo R_C e a relutância do entreferro R_G .

Para uma corrente $i = 1,5 \text{ A}$, calcule:

- b) o fluxo total ϕ
- c) o fluxo concatenado na bobina λ
- d) a indutância L da bobina



2 – Considerando a figura anterior, com as mesmas dimensões do exercício 1, assumindo que a permeabilidade magnética do núcleo é infinita, calcule:

- a) o número N de espiras necessárias para uma indutância de 12 mH .
- b) a corrente necessária para uma densidade de fluxo de $1,0 \text{ T}$ no núcleo.

3 – O circuito magnético do Problema 1 tem um núcleo constituído de material não linear cuja permeabilidade , em função da densidade de fluxo B_m é dada por:

$$\mu = \mu_0 \cdot \left(1 + \frac{3499}{\sqrt{1 + 0,047B_m^{7,8}}} \right)$$

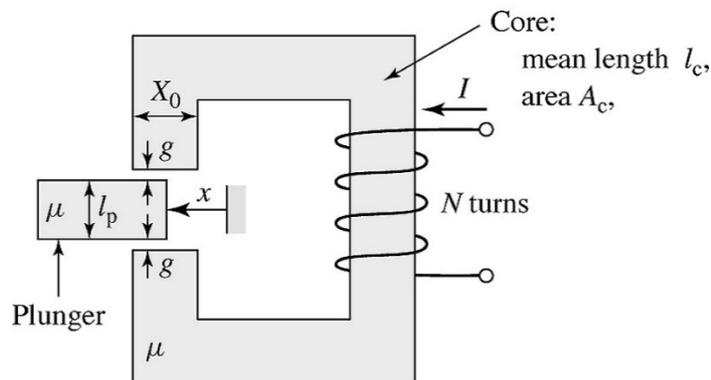
encontre a corrente necessária para se obter uma densidade de fluxo de 2,2 T no núcleo.

4 – O circuito magnético da figura a seguir consiste de um núcleo e uma parte móvel cujo comprimento é l_p , ambos com permeabilidade magnética μ . O núcleo tem área de seção transversal A_c e comprimento médio do circuito magnético l_c . A área dos dois entreferros A_G está em função da posição x da parte móvel e pode ser assumida como:

$$A_G = A_c \cdot \left(1 - \frac{x}{X_0} \right)$$

Despreze a dispersão de fluxo:

- a) Assumindo que μ é infinita, encontre a expressão para a densidade de fluxo magnético no entreferro B_G em função da corrente I no enrolamento, sabendo que a posição da parte móvel varia conforme ($0 \leq x \leq 0,8X_0$).



- b) Repita a parte (a) para uma permeabilidade finita μ .

5 – O circuito magnético do Problema 4 tem as seguintes dimensões:

$$A_c = 8,2 \text{ cm}^2 \quad l_c = 23 \text{ cm}$$

$$l_p = 2,8 \text{ cm} \quad g = 0,8 \text{ mm}$$

$$X_0 = 2,5 \text{ cm} \quad N=430 \text{ espiras}$$

- a) Supondo uma permeabilidade constante de $\mu = 2800\mu_0$, calcule a corrente requerida para se obter uma densidade de fluxo de 1,3 T no entreferro quando o êmbolo está completamente retraído ($x = 0$).
- b) Repita os cálculos da parte (a) para o caso em que o núcleo e o êmbolo são constituídos de um material não-linear cuja permeabilidade é dada por

$$\mu = \mu_0 \cdot \left(1 + \frac{1199}{\sqrt{1 + 0,05B_m^8}} \right)$$

onde B_m é a densidade de fluxo do material.

6 – Um indutor com o formato da figura do exercício 1 com dimensões:

- Área de seção transversal $A_C = 3,6 \text{ cm}^2$
- Comprimento médio do circuito magnético $l_C = 15 \text{ cm}$
- $N = 75$ Voltas

Considerando que a permeabilidade magnética do núcleo é $\mu = 2100\mu_0$ e desprezando a dispersão de fluxo, calcule o valor do entreferro necessário para uma indutância de 6,0mH.

7 – O circuito magnético da figura a seguir consiste de um anel laminado de altura h . O anel tem raio interno R_I e raio externo R_O . Considere que o ferro tenha permeabilidade $\mu = 750\mu_0$ e despreze a dispersão de fluxo. Para:

- $R_I = 3,4 \text{ cm}$
- $R_O = 4,0 \text{ cm}$
- $h = 2 \text{ cm}$
- $g = 0,2 \text{ cm}$

Calcule:

a) O comprimento médio do caminho magnético l_C e a área de seção transversal A_C (Considere a seção do anel como sendo retangular).

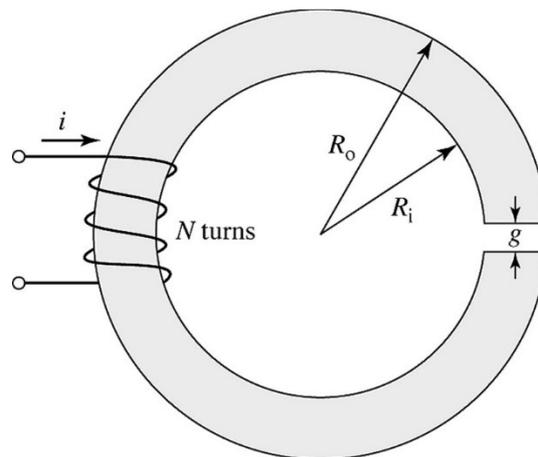
b) A relutância do núcleo R_C e a relutância do entreferro R_G .

Para $N = 65$ voltas, calcule:

c) a indutância L

d) a corrente I necessária para uma densidade de fluxo magnético no entreferro $B_G = 1,35$ T

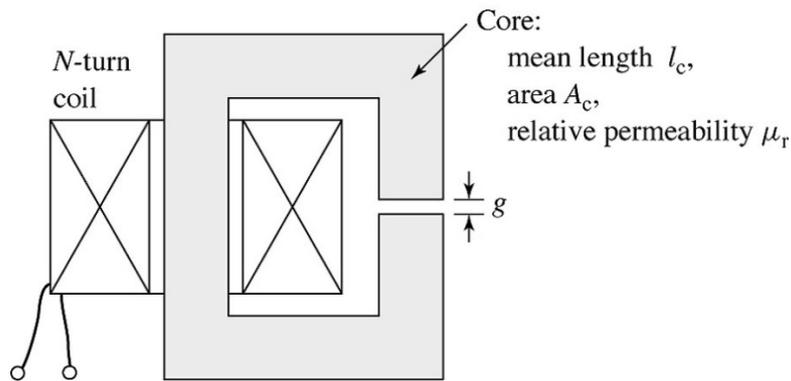
e) o fluxo concatenado λ pela bobina.



8- O indutor da figura a seguir tem as seguintes dimensões:

- $A_c = 1,0 \text{ cm}^2$
- $l_C = 15 \text{ cm}$
- $g = 0,8 \text{ m}$
- $N = 480$ voltas

Considere que a permeabilidade magnética do núcleo é $\mu = 1000\mu_0$ e despreze a dispersão de fluxo. Calcule a indutância da bobina.



9 – O indutor da figura do Problema 8 opera em 60Hz.

- Considerando desprezível a resistência da bobina, calcule a tensão eficaz (RMS) correspondente à densidade de fluxo magnético de 1,5 T no núcleo.
- Calcule a corrente eficaz (RMS) e a energia armazenada.

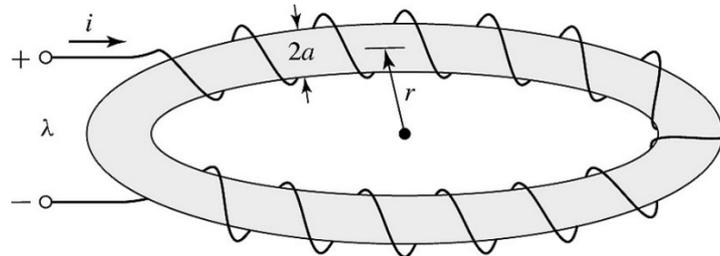
10 – Um mecanismo de armazenamento de energia, constituído de N voltas enroladas em um toróide de material não magnético é apresentado na figura abaixo. Como pode ser visto na figura, o toróide tem secção transversal circular de raio a e o raio do toróide é r . Pode-se considerar que o campo magnético fora do toróide é zero. Considerando que $a \ll r$, o campo magnético H dentro do toróide é orientado acompanhando o toro e que tenha magnitude uniforme:

$$H = \frac{NI}{2\pi r}$$

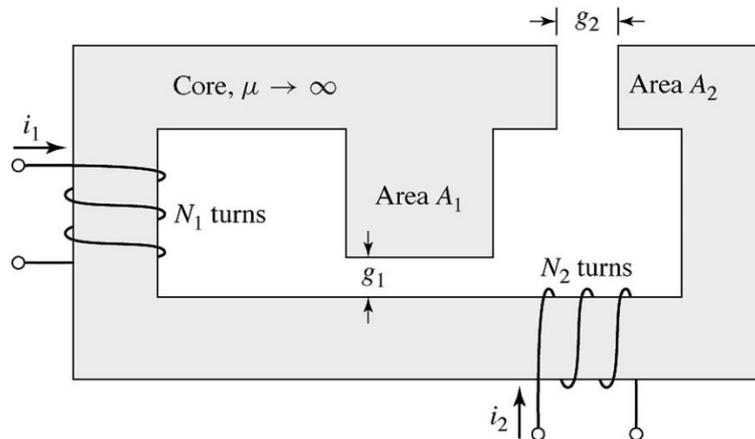
Para $N = 1000$ voltas, $r = 10$ m, $a = 0,45$ m:

- Calcule a indutância L da bobina
- A bobina opera com densidade de fluxo magnético 1,75 T. Calcule a energia armazenada.

- c) Se a bobina for carregada a uma taxa constante ($di/dt = \text{cte}$), calcule a tensão terminal necessária para atingir a densidade de fluxo de 1,75 T em 30 segundos. Despreze a resistência da bobina.



- 11** – O circuito magnético da figura a seguir tem dois enrolamentos e dois entreferros. Pode-se supor que o núcleo tenha permeabilidade infinita. As dimensões do núcleo são indicadas na figura.



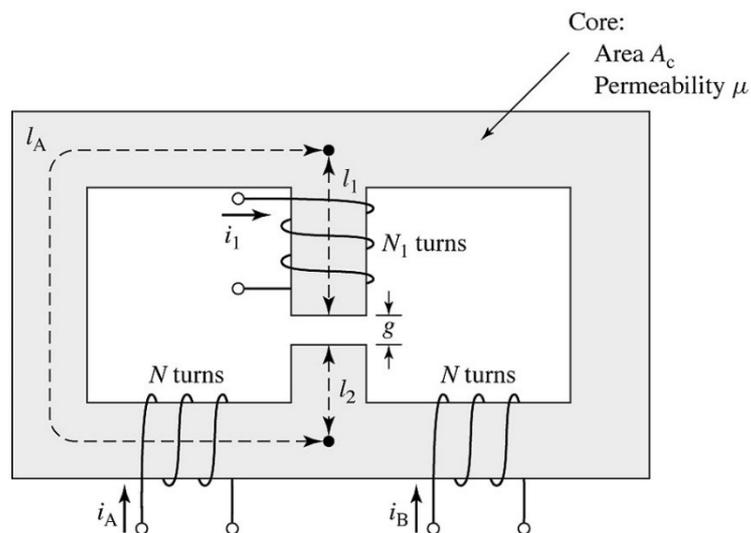
- Supondo que a bobina 1 esteja conduzindo uma corrente I_1 e a corrente na bobina 2 seja zero, calcule (i) a densidade de fluxo magnético em cada um dos entreferros; (ii) o fluxo concatenado do enrolamento 1 e (iii) o fluxo concatenado do enrolamento 2.
- Repita a parte (a), supondo uma corrente zero no enrolamento 1 e uma corrente I_2 no enrolamento 2.
- Repita a parte (a), supondo que a corrente do enrolamento 1 seja I_1 e a corrente do enrolamento 2 seja I_2 .
- Encontre as indutâncias próprias dos enrolamentos 1 e 2, e a indutância mútua entre os enrolamentos.

12 – Uma forma de onda quadrada de tensão, com frequência fundamental de 60 Hz e semiciclos positivos e negativos iguais de amplitude E , é aplicada a um enrolamento de 1000 espiras em um núcleo fechado de ferro de seção reta igual a $1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Despreze a resistência do enrolamento e todos os efeitos de fluxo disperso.

- Faça um esboço da tensão, do fluxo concatenado no enrolamento e do fluxo no núcleo, em função do tempo.
- Encontre o valor máximo admissível para E se a densidade máxima de fluxo não puder ser superior a 1,15 T.

13 – O circuito magnético simétrico da figura a seguir tem três enrolamentos. Os enrolamentos A e B têm N espiras cada um e são enrolados nas duas pernas inferiores do núcleo. As dimensões do núcleo estão indicadas na figura.

- Encontre a indutância própria de cada um dos enrolamentos.
- Encontre as indutâncias mútuas entre os três pares de enrolamentos.
- Encontre a tensão induzida no enrolamento 1 quando as correntes $i_A(t)$ e $i_B(t)$ dos enrolamentos A e B estão variando no tempo. Mostre que essa tensão pode ser usada para medir o desequilíbrio (diferença) entre duas correntes senoidais de mesma frequência.



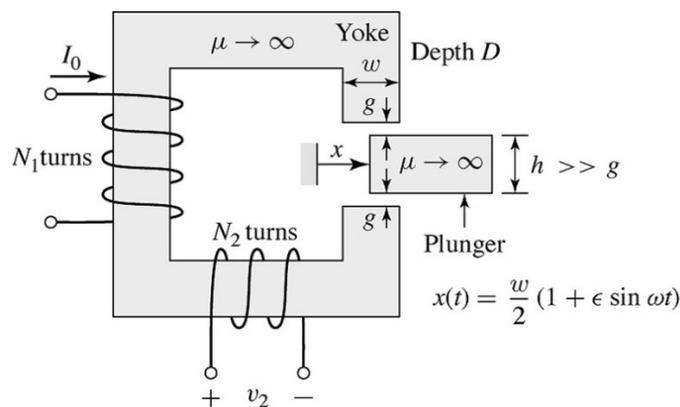
14 – O gerador alternador da figura a seguir tem um êmbolo móvel (de posição x) montado de tal modo que desliza para dentro e para fora de uma estrutura magnética, conhecida como *yoke*, mantendo o espaçamento g constante nos dois lados entre o êmbolo e o *yoke*. Esses dois podem ser considerados como tendo permeabilidade infinita. O movimento do êmbolo está restringido de tal modo que sua posição limita-se a $0 \leq x \leq w$.

Há dois enrolamentos nesse circuito magnético. O primeiro enrolamento tem N_1 espiras e conduz uma corrente CC constante I_0 . O segundo de N_2 espiras está em circuito aberto e pode ser conectado a uma carga.

- Desprezando os efeitos de espreadimento, encontre a indutância mútua entre os enrolamentos 1 e 2 em função da posição x do êmbolo.
- O êmbolo é acionado por uma fonte externa de tal modo que o seu movimento é descrito por

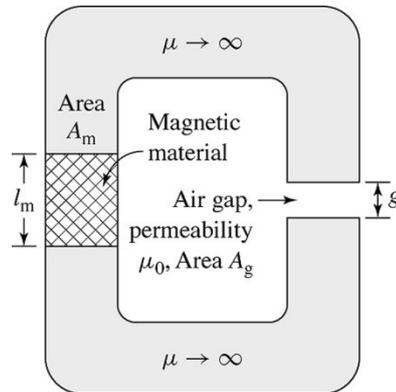
$$x(t) = \frac{w(1 + \epsilon \sin(\omega t))}{2}$$

Onde $\epsilon \leq 1$. Encontre uma expressão para a tensão senoidal gerada como resultado desse movimento.



15 – Encontre o volume mínimo de ímã necessário para produzir uma densidade de fluxo de 0,8 T no entreferro no circuito magnético da figura abaixo. O material magnético é o Alnico 5 e o ponto de máximo produto energético ocorre em $B_m = 1,0$ T e $H_m = -40$ kA/m.

$$A_g = 2 \text{ cm}^2 \quad g = 0,2 \text{ cm}$$



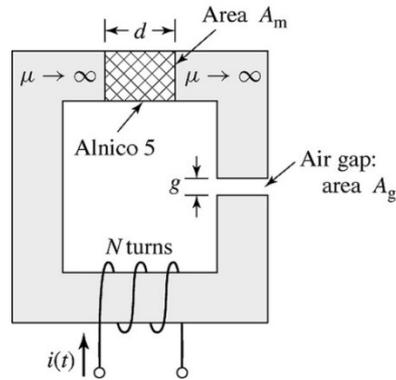
16 – No entreferro do circuito magnético da figura a seguir, deseja-se obter uma densidade de fluxo magnético variável no tempo de acordo com

$$B_g = B_0 + B_1 \text{sen}(\omega t)$$

Onde $B_0 = 0,5$ T e $B_1 = 0,25$ T. O campo CC B_0 deve ser criado por um ímã de neodímio-ferro-boro, ao passo que o campo variável no tempo deve ser criado por uma corrente variável no tempo.

Para $A_g = 6 \text{ cm}^2$, $g = 0,4$ cm e $N = 200$ espiras, encontre:

- O comprimento de ímã d e a área A_m que permitirão obter a densidade de fluxo desejada no entreferro e minimizar o volume de ímã.
- Os valores mínimo e máximo da corrente variável necessários para se obter a densidade de fluxo variável no entreferro. Essa corrente irá variar de forma senoidal no tempo?



(Nota: O máximo produto de energia para neodímio-ferro-boro ocorre à $B_m = 0,63$ T e $H_m = -470$ kA/m. A curva de magnetização do ímã pode ser descrita por:

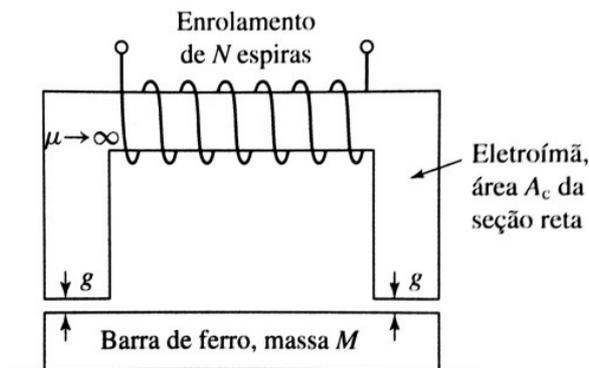
$$B_m = \mu_R H_m + B_r$$

Onde $B_r = 1,26$ T e $\mu_R = 1,067\mu_0$)

EXERCÍCIOS DA PROVA DE 2016

17. O eletroímã da figura abaixo é utilizado para levantar uma barra de ferro de massa M . A bobina tem 500 espiras e suporta uma corrente máxima de 20 A (CC) sem sobreaquecer. Determine: (a) o máximo tamanho do entreferro para o qual uma densidade de fluxo magnético de 1,4T seja estabelecida no eletroímã com uma corrente de 20 A (considere a permeabilidade da barra de ferro infinita); (b) o que acontece com a energia armazenada no entreferro e com a corrente se o entreferro diminui progressivamente até zero, mantendo-se a densidade de fluxo magnético constante? (Demonstre analiticamente para duas situações diferentes: permeabilidade do núcleo e da barra de ferro finitas e infinitas).

Obs.: despreze o efeito do espriamento e a dispersão do fluxo magnético.



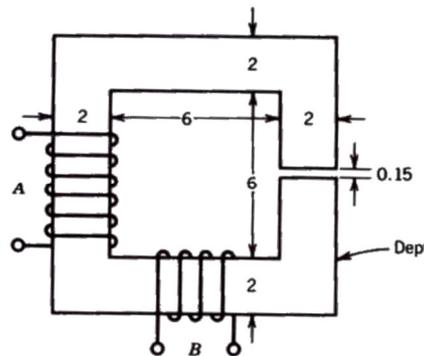
18. O indutor da figura seguinte possui duas bobinas, A e B, tendo 350 e 150 espiras, respectivamente. Para uma determinada aplicação, as bobinas foram ligadas em série e conectadas a uma fonte de tensão CC. Desprezando a dispersão do fluxo magnético, o espraiamento e considerando a permeabilidade relativa do material constante e igual a 1200, pede-se:

(a) Determine dois possíveis valores de corrente que circula nas bobinas para estabelecer uma densidade de fluxo magnético igual a 0,5 T no entreferro.

(b) Calcule as indutâncias próprias das bobinas.

(c) Calcule a energia armazenada no entreferro.

(d) Suponha agora que as bobinas sejam desconectadas e que sejam percorridas por correntes diferentes de tal forma que produzam fluxos magnéticos em sentidos opostos. Mostre analiticamente que as indutâncias mútuas L_{AB} e L_{BA} são iguais e calcule essas indutâncias.



Profundidade = 2 cm

Todas as outras dimensões estão em cm