

SEL0404 – ELETRICIDADE II

LISTA 1

1 – Um circuito magnético com um único entreferro é apresentado na figura a seguir. As dimensões do núcleo são:

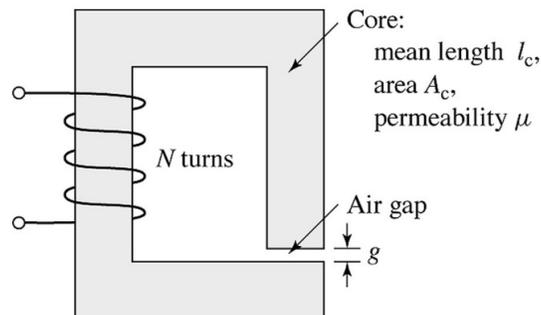
- Área de seção transversal $A_C = 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$;
- Comprimento médio do circuito magnético $l_C = 0,6 \text{ m}$;
- Comprimento do entreferro $g = 2,3 \times 10^{-3} \text{ m}$;
- $N = 83$ Voltas.

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 um fluxo de $1,0 \text{ T}$ no núcleo.

3 – O circuito magnético do exercício 1 tem um núcleo constituído de material não linear cuja permeabilidade , em função de 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 obter uma densidade de fluxo de 2,2 T no núcleo.

4 – 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.

5 – O circuito magnético da figura abaixo 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:

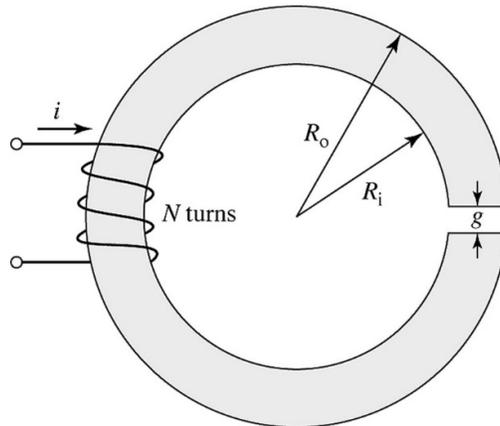
a) O comprimento médio do caminho magnético l_C e a área de seção transversal A_C ;

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

Para $N = 65$ voltas, calcule:

c) A indutância L ;

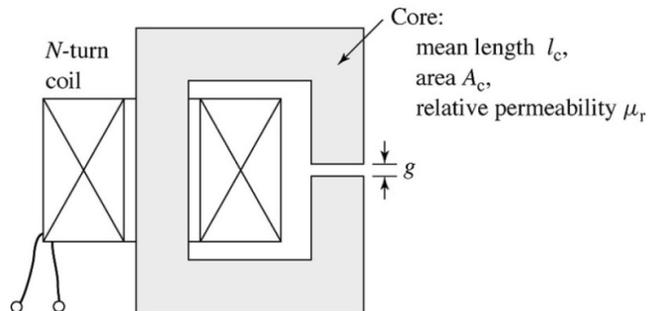
- d) A corrente I necessária para uma densidade de fluxo magnético no entreferro $B_G = 1,35 \text{ T}$;
- e) O fluxo concatenado λ pela bobina.



6- O indutor da figura abaixo tem as seguintes dimensões:

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

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

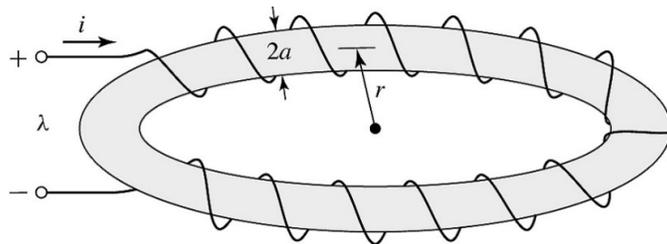


7 – Um mecanismo de armazenamento de energia, constituído de N voltas enroladas em um toróide de material não magnético é apresentado na figura abaixo. Como pode ser visto na figura, o toróide tem secção transversal circular de raio a e o raio do toróide é r . Pode-se considerar que o campo magnético 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:

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

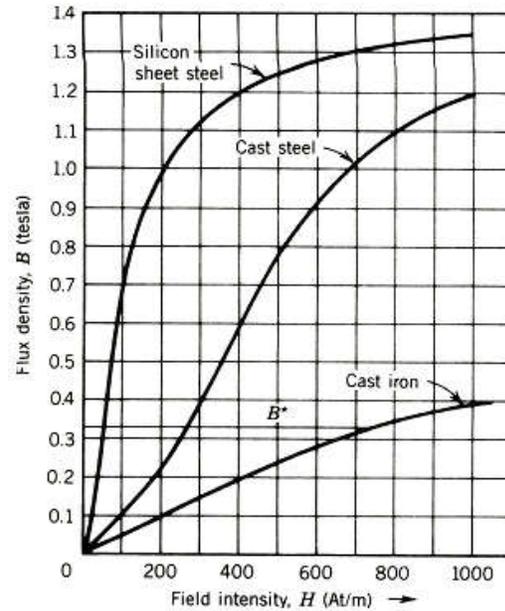
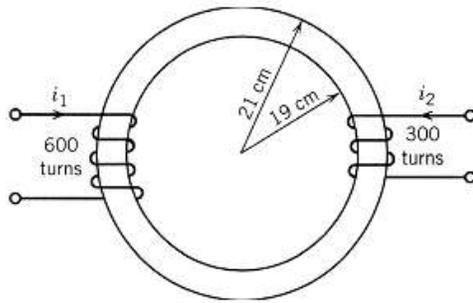
Para $N = 1000$ voltas, $r = 10$ m, $a = 0,45$ m:

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

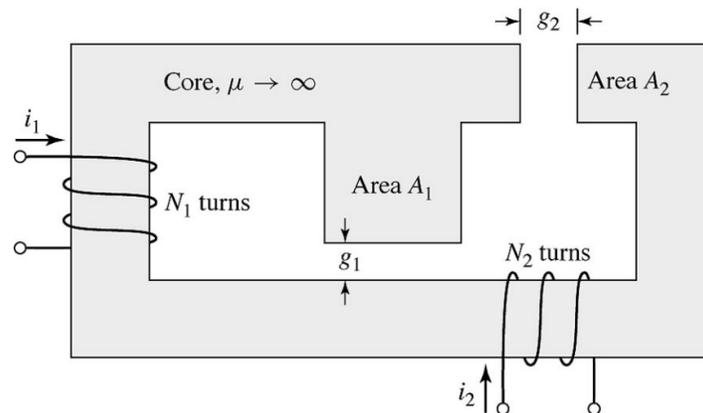


8 – Duas bobinas estão envolvidas em um núcleo toroidal como mostra a figura abaixo. O núcleo é feito de chapas de aço silício e tem uma seção transversal quadrada. As correntes das bobinas são $i_1 = 0,28$ A e $i_2 = 0,56$ A.

- Determine a densidade de fluxo no raio médio do núcleo (utilizar a curva de magnetização);
- Assumindo uma densidade de fluxo constante (mesma que no raio médio) sobre a seção transversal do núcleo, determine o fluxo no cobre.
- Determine a permeabilidade relativa, μ_r , do núcleo.



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



- a) 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.
- b) Repita a parte (a) supondo uma corrente igual a zero no enrolamento 1 e uma corrente I_2 no enrolamento 2.

- c) Repita a parte (a) supondo que a corrente do enrolamento 1 seja I_1 e a corrente do enrolamento 2 seja I_2 .
- d) Encontre as indutâncias próprias dos enrolamentos 1 e 2, e a indutância mútua entre os enrolamentos.

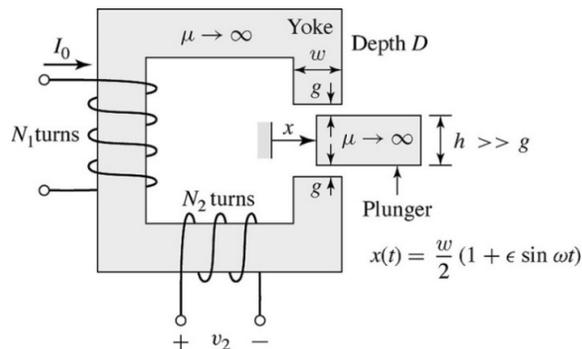
10 – O gerador alternador da figura a seguir tem um êmbolo móvel (de posição x) montado de tal modo que desliza para dentro e para fora de uma estrutura magnética, conhecida como *yoke*, mantendo o espaçamento g constante nos dois lados entre o êmbolo e o *yoke*. Esses dois podem ser considerados como 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.

- a) Desprezando os efeitos de espreamento, encontre a indutância mútua entre os enrolamentos 1 e 2 em função da posição x do êmbolo.
- b) 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.

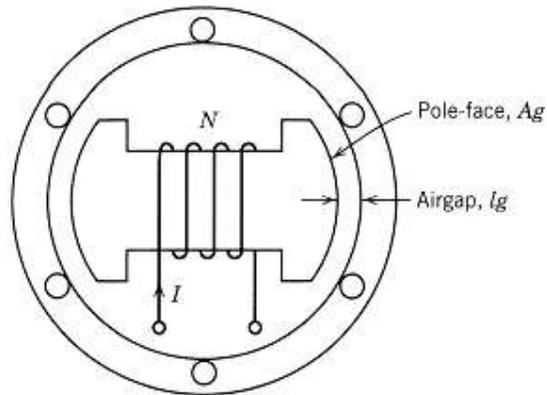


11. Uma máquina síncrona de dois polos, como mostrada na figura abaixo, tem as seguintes dimensões:

- Cada comprimento *air gap*, $l_g = 2,5\text{mm}$;
- Área da seção transversal da superfície do polo, $A_g = 500\text{ cm}^2$
- $N = 500$ voltas;
- $I = 5\text{ A}$
- $\mu_c = \text{infinito}$

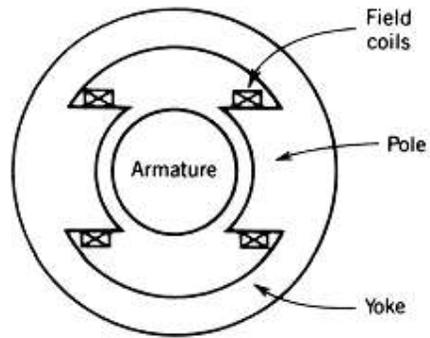
a) Desenhe o circuito magnético equivalente;

b) Encontre a densidade de fluxo no *air gap*.



12 - Um gerador de dois polos, ilustrado na figura abaixo, tem um circuito magnético com as seguintes dimensões:

- Cada polo (*cast steel*):
 - Comprimento magnético = 10 cm;
 - Seção transversal = 400 cm²;
- Cada *air gap*:
 - Comprimento = 0,1 cm;
 - Seção transversal = 400 cm²;
- Armadura (*Si-steel*):
 - Comprimento médio = 20 cm;
 - Seção transversal médio = 400 cm²
- *Yoke* (*cast steel*):
 - Circunferência média = 160 cm;
 - Média da área de seção transversal = 200 cm²



Metade da excitação voltas \cdot ampere está localizada em cada um dos dois polos.

- a) Desenhe o circuito magnético equivalente.
- b) Quantas voltas \cdot ampere por polo são requeridas para produzir uma densidade de fluxo magnético de 1,1 tesla no circuito magnético? (Use as curvas de magnetização do exercício 8)
- c) Calcule o fluxo na armadura.

GABARITO

1.

- a) $R_c = \frac{l_c}{\mu A_c} = 0,10610 \text{ MA/Wb};$ $R_g = \frac{g}{\mu_0 A_c} = 1,0168 \text{ MA/Wb}$
b) $\phi = \frac{NI}{R_c + R_g} = 1,1087 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$
c) $\lambda = N \phi = 9,2023 \text{ mWb.e}$
d) $L = \frac{\lambda}{I} = 6,1349 \text{ mH}$

2.

- a) $N = \sqrt{\frac{Lg}{\mu_0 A_c}} \approx 110 \text{ espiras};$
b) $I = \frac{gB}{\mu_0 N} = 16,6389 \text{ A.}$

3.

- a) $\mu_r = 730,13.$
b) $= \frac{B}{N} \left(\frac{g}{\mu_0} + \frac{l_c}{\mu} \right) = 65,85 \text{ A.}$

4.

$$g = \mu_0 A_c \cdot \left(\frac{N^2}{L} - \frac{l_c}{\mu A_c} \right) = 0,3527 \text{ mm.}$$

5.

- a) $l_c = 2 \left(R_0 - \frac{R_0 - R_i}{2} \right) - g = 23,05 \text{ cm};$ $A_c = (R_0 - R_i) \cdot h = 1.2 \text{ cm}^2$
b) $R_g = \frac{g}{\mu_0 A_c} = 13,263 \text{ MA/Wb};$ $R_c = \frac{l_c}{\mu A_c} = 2.0380 \text{ MA/Wb}$
c) $L = \frac{N^2}{R_c + R_g} = 276,1 \text{ } \mu\text{H}$
d) $I = \frac{BA_c(R_c + R_g)}{N} = 38,135 \text{ A};$
e) $\lambda = NA_c B_c = 10,53 \text{ mWb.}$

6.

$$L = \frac{N^2 A_c}{\frac{l_c}{\mu} + \frac{g}{\mu_0}} = 30,48 \text{ mH}$$

7.

a) $L = \frac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{2\pi r} = 12,7 \text{ mH}$

b) $W = 2\pi r \pi a^2 \frac{B^2}{2\mu_0} = \text{Vol} \frac{B^2}{2\mu_0} = 48,707 \text{ MJ}$

8.

a) $B = 1,14 \text{ T}$

b) $\Phi = 0,456 \text{ mWb}$

c) $\mu_r = 3393$

9.

a)

(i) $B_1 = \frac{\mu_0 N_1}{g_1} \cdot I_1 \quad B_2 = \frac{\mu_0 N_1}{g_2} \cdot I_1$

(ii) $\lambda_1 = \mu_0 N_1^2 \cdot \left(\frac{A_1}{g_1} + \frac{A_2}{g_2} \right) \cdot I_1$

(iii) $\lambda_2 = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{g_2} \cdot I_1$

b)

(i) $B_1 = 0 \quad B_2 = \frac{\mu_0 N_2}{g_2} \cdot I_2$

(ii) $\lambda_1 = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{g_2} \cdot I_2$

(iii) $\lambda_2 = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{g_2} \cdot I_1$

c)

(i) $B_1 B_1 = \frac{\mu_0 N_1}{g_1} \cdot I_1 \quad B_2 = \frac{\mu_0 N_1}{g_2} \cdot I_1 + \frac{\mu_0 N_2}{g_2} \cdot I_2$

(ii) $\lambda_1 = \mu_0 N_1^2 \cdot \left(\frac{A_1}{g_1} + \frac{A_2}{g_2} \right) \cdot I_1 + \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{g_2} \cdot I_2$

(iii) $\lambda_2 = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{g_2} \cdot I_1 + \frac{\mu_0 N_2^2 A_2}{g_2} \cdot I_2$

d)

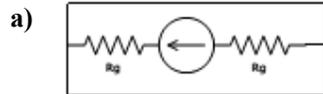
$$L_{11} = \mu_0 N_1^2 \cdot \left(\frac{A_1}{g_1} + \frac{A_2}{g_2} \right) \quad L_{22} = \frac{\mu_0 N_2^2 A_2}{g_2} \quad L_{12} = L_{21} = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{g_2}$$

10.

a) $L_{12} = \frac{\mu_0 N_1 N_2}{2g} D(w - x)$

b) $v_2 = -I_0 \cdot \frac{\mu_0 N_1 N_2}{2g} \cdot \frac{\varepsilon \omega w}{2} \cdot \cos(\omega t)$

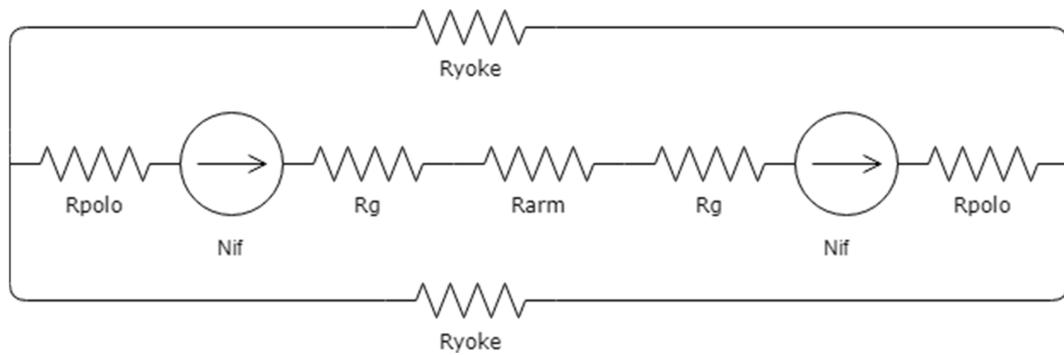
11.



b) $B = 0,628 \text{ T}$

12.

a)



b) $F = 1302,5 \frac{\text{A} \cdot \text{espira}}{\text{polo}}$

c) $\Phi = 0,044 \text{ Wb}$