



FORÇA DE ORIGEM MAGNÉTICA NO ENTREFERRO

A presença de um campo magnético em um circuito magnético com entreferro produz como efeito a tendência de fechar esse entreferro. Ou seja, polos magnéticos de polaridades opostas nos dois lados do entreferro atraem-se mutuamente.

Forças originadas a partir de campos magnéticos são de grande aplicação em numerosos dispositivos eletromagnéticos (relés, eletroímãs, instrumentos de medida, motores e geradores elétricos).

Como foi visto no anteriormente, a densidade de energia armazenada num campo magnético vale :

$$w_m = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} \quad (\text{J} / \text{m}^3) \quad (22.1)$$

Como a relutância do circuito magnético é muito menor que a relutância do entreferro (isso foi visto em exemplos anteriores), podemos considerar que toda a F_{mm} é utilizada para vencer o entreferro, ou seja, toda a energia está armazenada no entreferro. Além disso, como o entreferro é muito pequeno, em relação ao comprimento do circuito magnético, podemos supor que o campo magnético no entreferro é uniforme. Assim, a energia armazenada no entreferro vale :

$$W_m = w_m \cdot V_g = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \cdot S_g \cdot l_g \quad (\text{J}) \quad (22.2)$$

onde:

V_g = Volume do entreferro

S_g = Seção transversal do entreferro

l_g = comprimento do entreferro.

Suponhamos agora que este entreferro seja mantido aberto por uma força. Se esta força sofrer um pequeno acréscimo, de forma que o entreferro aumente de δl_g , acompanhado de um ligeiro acréscimo na corrente, de forma a manter B constante, o acréscimo de energia δW_m será dado por:

$$dW_m = \frac{B^2}{2\mu_0} S_g \delta l_g \quad (22.3)$$

O trabalho desenvolvido no entreferro é dado por:

$$W = F \cdot d \quad (\text{J}) \quad (22.4)$$

$$W = F \cdot \delta l_g \quad (22.5)$$

Como o trabalho realizado pela força externa é igual ao acréscimo de energia no campo magnético, teremos:

$$dW = dW_m \quad (22.6)$$

$$F \cdot \delta l_g = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot S_g \cdot \delta l_g \quad (22.7)$$

Portanto, a força no entreferro será dada por:

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} S_g \quad (22.8)$$

Exemplo 22.1

Um eletromagneto em forma de U sustenta uma barra de ferro, conforme a figura 22.1. Se a permeabilidade relativa do circuito magnético é 1800, e o número de Ampéres-espiras é 1 kA, qual é o peso da barra? O comprimento do eletromagneto e da barra é 1 m, e o contato ferro-ferro é feito através lâminas de cobre de 1 mm de espessura. A área de contato é de $0,1 \text{ m}^2$.

Solução

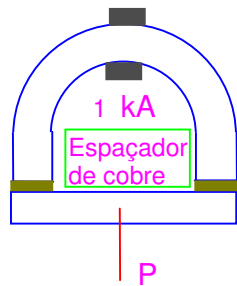
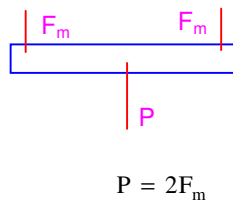


figura 22.1 - eletromagneto do exemplo 22.1

forças sobre a barra:



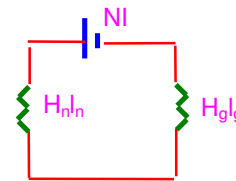
Correção da área efetiva do entreferro, para levar em conta o espraçamento:

$$S_n = 0,1 \text{ m}^2 = \pi r^2$$

$$r = 0,178 \text{ m}$$

$$S_g = \pi(0,178 + 0,001)^2 = 0,1006 \text{ m}^2$$

Circuito elétrico análogo:



$$NI = H_g l_g + H_n l_n$$

$$NI = \frac{B_g}{\mu_0} l_g + \frac{B_n}{\mu_r \mu_0} l_n$$

$$\phi = B_g S_g = B_n S_n \Rightarrow B_n = \frac{S_g}{S_n} B_g$$

$$NI = \frac{B_g}{\mu_0} l_g + \frac{B_g}{\mu_r \mu_0} \frac{S_g}{S_n} l_n$$

$$B_g = 0,491 \text{ T}$$

$$F_m = \frac{1}{2} \frac{0,491^2}{\mu_0} 0,1006 = 9.653 \text{ N}$$

$$P = 2 \times 9.653 = 19.306 \text{ N}$$

$$P = 1,93 \text{ T}$$

Exemplo 22.2

Determinar o número de Ampéres-espiras necessários para manter um entreferro de 1 mm na estrutura ferromagnética da figura 22.2, contra a ação de uma mola de constante $k = 5 \times 10^2 \text{ N/m}$. Nesta situação, a distensão da mola é 2 cm. Desprezar o espraçamento e a relutância do ferro.

Solução

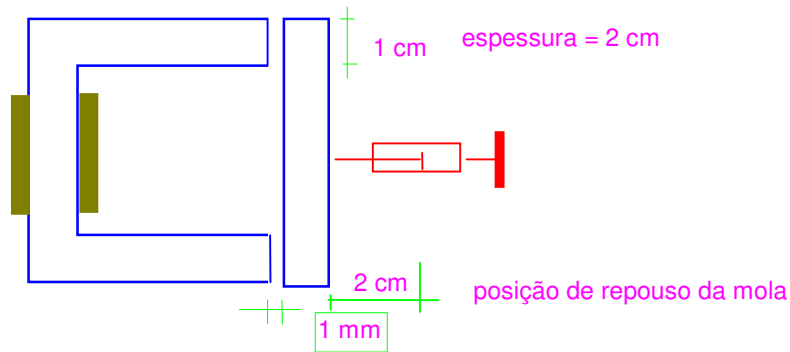
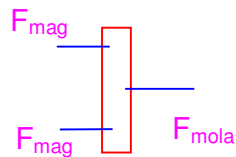


figura 22.2 - estrutura ferromagnética do exemplo 22.2



$$F_{\text{mag}} = \frac{F_{\text{mola}}}{2}$$

$$F_{\text{mola}} = Kx$$

$$F_{\text{mola}} = 5 \times 10^2 \times 2 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_{\text{mag}} = 5 = \frac{1}{2} \mu_0 H_g^2 S$$

$$H_g = \sqrt{\frac{2 \times F_{\text{mag}}}{\mu_0 S}}$$

$$H_g = \sqrt{\frac{2 \times 5}{\mu_0 (0,01 \times 0,02)}} = 199471 \text{ Ae / m}$$

$$F_{\text{mm}} = 2 H_g l_g$$

$$F_{\text{mm}} = 399 \text{ Ae}$$

EXERCÍCIOS

- 1) - O eletromagneto mostrado na figura abaixo é projetado para suportar uma força que tende a fechar o entreferro, equivalente ao peso de uma massa de 10 toneladas. Qual é a máxima corrente permitida para a qual a força não exceda esse valor? O enrolamento possui 10000 espiras, e a permeabilidade relativa do material é 400.

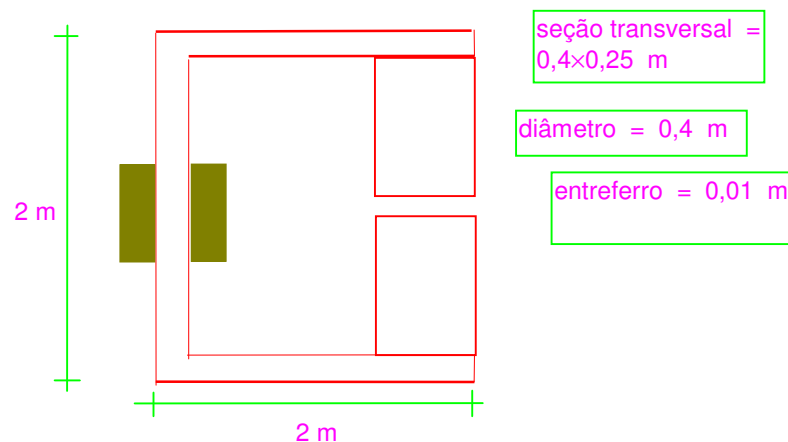


Figura 1 - figura do problema 1

- 2)- O Objetivo deste problema é demonstrar a importância de um bom projeto do circuito magnético em um dispositivo eletromagnético. Um eletroímã é construído com chapas de aço silício. O número de espiras no enrolamento é 1000. Dois circuitos magnéticos são propostos (figuras 2 e 3). Em cada

proposta, calcular a corrente que deve circular no enrolamento para se levantar os seguintes pesos: $P = 1\text{ T}$, $P = 2\text{ T}$, $P = 5\text{ T}$. Desprezar o espraiamento. Preencha os valores da tabela I, e calcule o volume de material magnético gasto em cada caso. Tire as suas conclusões.

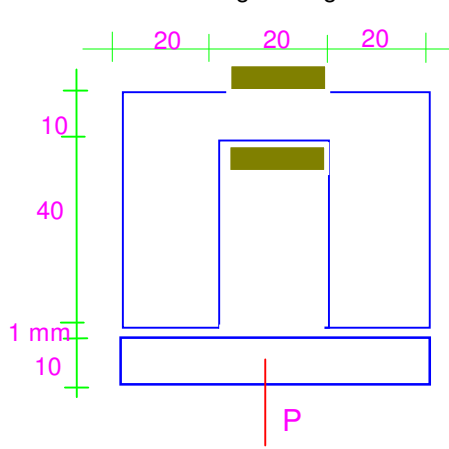


Figura 2 - circuito 1 p/ p problema 2

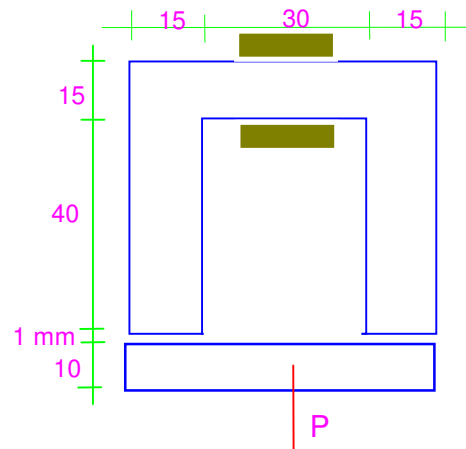


figura 3 - circuito 2 p/ o problema 2

Peso (T)	corrente (A)	
	circuito 1	circuito 2
1		
2		
5		

tabela I - preencha com os valores obtidos de corrente