



CIRCUITOS MAGNÉTICOS COM ÍMÃS PERMANENTES

Considere o núcleo de material ferromagnético mostrado na figura 21.1, enrolado com um enrolamento de N espiras. Fazendo circular por este enrolamento uma corrente de intensidade I , suficiente para levar o núcleo à saturação, e em seguida extinguindo-se esta corrente, de acordo com a teoria dos domínios magnéticos já vista, o núcleo manterá um magnetismo residual, conforme pode ser visto no ciclo de histerese da figura 21.2. Pode-se dizer que o material ferromagnético imantou-se, ou tornou-se um ímã permanente.

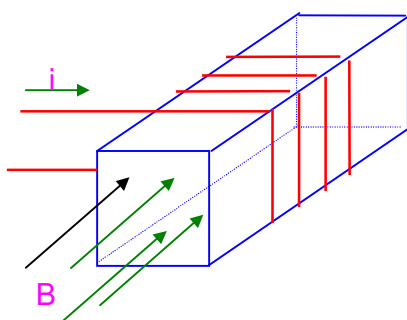


figura 21.1 - Núcleo com enrolamento de N espiras

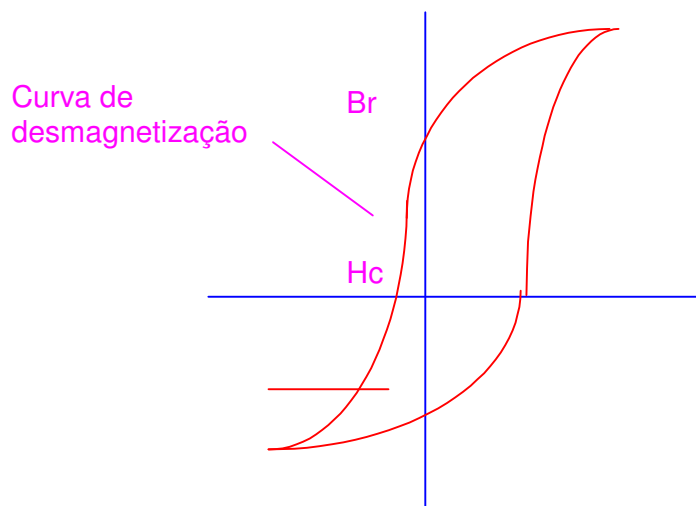


figura 21.2 - Ciclo de Histerese

A região de interesse no ciclo de histerese é o segundo quadrante. Este trecho é chamado de curva de desmagnetização, e representa as características de um dado ímã. O ideal é que os ímãs permanentes apresentem alta retentividade (interseção da curva com o eixo B), e alta coercitividade (interseção da curva com o eixo H), medida da dificuldade de desmagnetização do material. Uma característica muito importante em um ímã permanente é o máximo valor $B \times H$ (BH_{\max}) (Não se trata so produto de B_{\max} por H_{\max}). A figura 21.3 apresenta algumas curvas de desmagnetização. Por ela, percebe-se que a curva que dá o máximo BH é a curva 2.

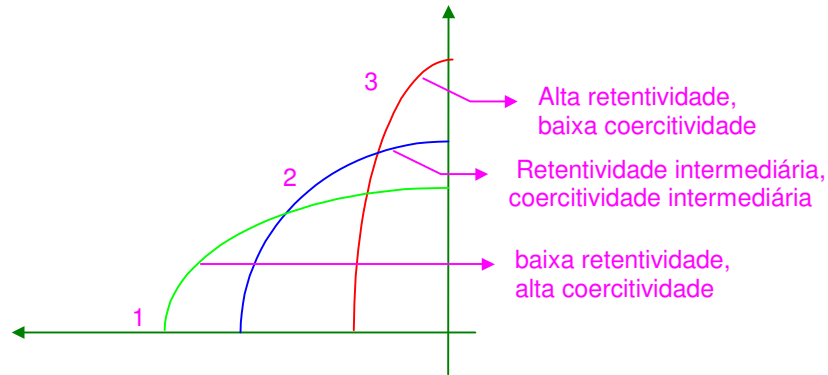


Figura 21.3 - Curvas de desmagnetização

O máximo produto BH para uma substância indica a máxima densidade de energia (J/m^3) que armazenada no ímã. Quanto maior o valor de BH_{max} , menor será a quantidade de material necessária para um dado valor de fluxo.

A figura 21.4 apresenta a curva de desmagnetização de uma liga alnico 5, e a tabela 21.1 apresenta valores de Retentividade, coercitividade e BH_{max} de diversos tipos de ímãs permanentes.

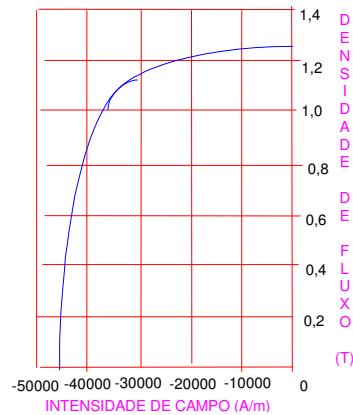


Figura 21.4 - curva de desmagnetização do alnico 5

Tabela 21.1

Material (composição percentual)	Retentividade (T)	Coercitividade (A/m)	BH_{max} (J/m^3)
Aço Cromo (98 Fe, 0,9 Cr, 0,6 Co, 0,4 Mn)	1,0	4.000	1.600
Oxide (57 Fe, 28 O, 15 Co)	0,2	72.000	4.800
Alnico 12 (33 Fe, 35 Co, 18 Ni, 8 Ti, 6 Al)	0,6	76.000	12.000
Alnico 2 (55 Fe, 12 Co, 17 Ni, 10 AL, 6 Cu)	0,7	44.800	13.600
Alnico 5 (Alcomax)(51 Fe, 24 Co, 14 Ni, 8 Al, 3 Cu)	1,25	44.000	36.000
Platina-Cobalto (77 Pt, 23 Co)	0,6	290.000	52.000

21.1 - Ímãs Permanentes com Entreferro .

Ímãs permanentes só podem ser utilizados em estruturas que apresentem entreferros. As maiores aplicações são medidores, microfones, alto falantes, geradores de pequeno porte. Atualmente, com o desenvolvimento de ligas especiais (Samário-Cobalto, por exemplo), que dão origem aos chamados super-ímãs, máquinas de grande porte também estão sendo construídas utilizando-se ímãs permanentes.

Consideremos um circuito magnetizado permanentemente, com um entreferro (figura 21.5). Devido ao entreferro, a densidade de fluxo residual agora deverá ser um valor menor do que B_r , situando-se em um ponto P qualquer da curva de desmagnetização (figura 21.6).

Para localizarmos o ponto P na curva de desmagnetização necessitamos da equação da reta OP', que nos indicará o ponto de operação do ímã.

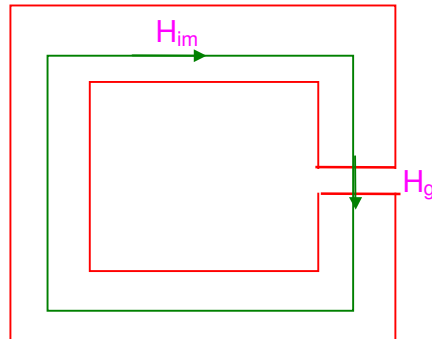


figura 21.5 - Circuito magnético formado com material permanentemente magnetizado

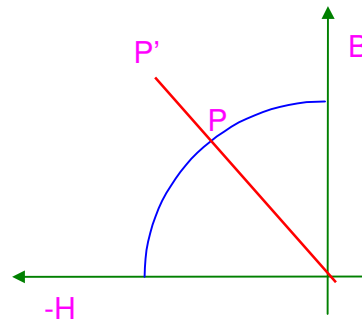


figura 21.6 - Ponto de Operação do ímã

Aplicando-se a lei de Ampère a este circuito, teremos:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = N \cdot I = 0 \quad (21.1)$$

pois não existe corrente, e conseqüentemente Fmm. Assim:

$$H_{im} \cdot l_m + H_g \cdot l_g = 0 \quad (21.2)$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_0} \quad (21.3)$$

$$B_g = -\frac{\mu_0 H_{im} \cdot l_m}{l_g} \quad (21.4)$$

O fluxo magnético será igual, tanto no entreferro como no ímã, portanto :

$$\phi_m = \phi_g = \phi \quad (21.5)$$

Considerando-se o efeito de espraiamento do fluxo no entreferro, podemos escrever:

$$B_g = \frac{\phi}{S_g} ; B_{im} = \frac{\phi}{S_{im}} \quad (21.6)$$

$$B_g = B_{im} \frac{S_{im}}{S_m} \quad (21.7)$$

Portanto:

$$\frac{B_{im} S_{im}}{S_g} = - \frac{\mu_0 H_{im} l_{im}}{l_g} \quad (21.8)$$

$$B_{im} = - \frac{\mu_0 S_g l_{im}}{S_{im} l_g} H_{im} \quad (21.9)$$

Esta é a equação da reta OP'. Do encontro da reta OP' com a curva de desmagnetização, encontramos o ponto de operação do ímã com entreferro.

Exemplo 21.1

Calcular o fluxo magnético no entreferro do ímã permanente da figura 21.7. A curva de desmagnetização é dada na figura 21.8, e pode ser considerada como sendo um quadrante de círculo

solução

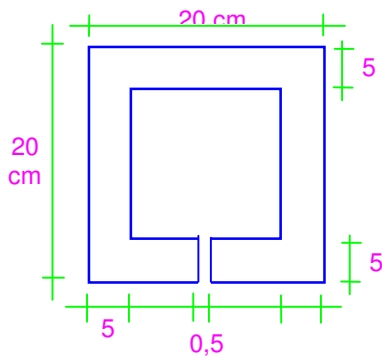


figura 21.7 - Ímã permanente c/ entreferro

$$l_{im} = 15 + 15 + 15 + (15 - 0,5) = 59,5 \text{ cm}$$

$$S_{im} = 5 \times 6 = 30 \text{ cm}^2$$

$$S_g = (a + l_g) \cdot (b + l_g)$$

$$S_g = (5 + 0,5) \cdot (6 + 0,5) = 35,75 \text{ cm}^2$$

$$B_{im} = \frac{-4\pi \times 10^{-7} \times 35,75 \times 10^{-4} \times 59,5 \times 10^{-2} \times H_{im}}{30 \times 10^{-4} \times 0,5 \times 10^{-2}}$$

$$B_{im} = -1,78 \times 10^{-4} H_{im}$$

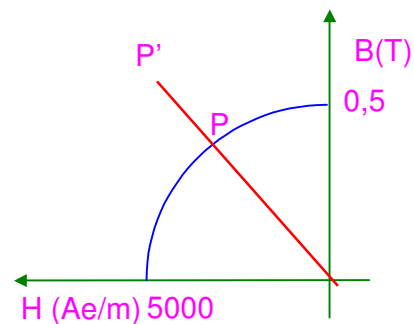


figura 21.8 - Curva de desmagnetização

Esta é a equação da reta OP' (linha de cisalhamento).

Com a consideração de que a curva do ímã é aproximada por um quadrante de círculo, o ponto de operação será:

$$B_{op} \cong 0,44 \text{ T}$$

$$H_{op} \cong -2472 \text{ A.esp/m}$$

O fluxo no entreferro será:

$$\phi_g = \phi_{im} = S_{im} \cdot B_{im} = 0,44 \times 30 \times 10^{-4}$$

$$\phi_g = 13,2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

Exemplo 21.1

Calcular o raio R da estrutura abaixo, formada por um ímã permanente cuja curva de desmagnetização é igual a do exemplo anterior, para estabelecer um fluxo de $0,236 \times 10^{-4}$ Wb no entreferro. Desprezar o espraiamento.

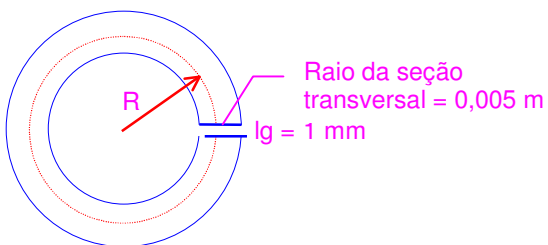
Solução

figura 21.9 - Ímã permanente do exemplo 21.2

$$H_i l_i + H_g l_g = 0$$

$$l_i = 2\pi R - 0,001 \quad l_g = 0,001$$

$$B_g = B_i = \frac{\phi}{S_g} = \frac{0,236 \times 10^{-4}}{\pi(0,005)^2} = 0,3 \text{ T}$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = 238.732 \text{ A/m}$$

Determinação de H_i :

Pelo gráfico da figura 21.10:

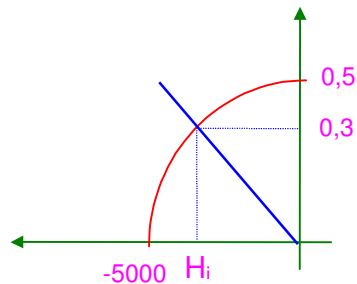


figura 21.10 - curva de desmagnetização do exemplo 21.2

$$1 \text{ cm} \equiv 0,1 \text{ T}$$

$$1 \text{ cm} \equiv -1000 \text{ A/m}$$

$$5 = \sqrt{3^2 + x^2}$$

$$x = 4$$

$$H_i \cdot 4 \times (-1000) = -4000 \text{ A/m}$$

$$-4000 \times (2\pi R - 0,001) + 238.732 \times 0,001 = 0$$

$$R \cong 1 \text{ cm}$$

EXERCÍCIOS

- 1) - A estrutura da figura abaixo é construída de forma tal que o campo magnético tem um comportamento praticamente radial no entreferro. Calcule o comprimento d que deve ter ímã permanente construído com alnico 5, de forma que a indução magnética B no entreferro seja de 0,2 T, dados que: $l_g = 1$ mm, Raio médio = 2 cm. Desprezar a relutância do ferro e o espraçamento.

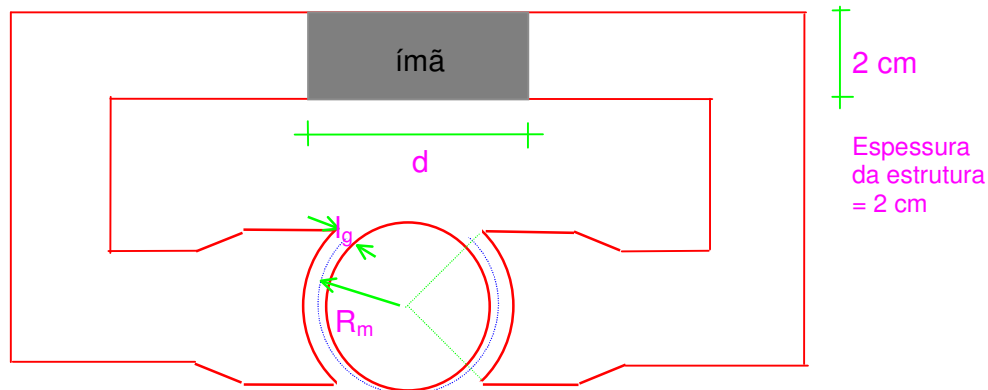


figura 1 - estrutura magnética do problema 1

- 2) - Uma suspensão Magnética - Calcular a corrente que deve circular na bobina de 100 espiras da estrutura magnética da figura 2, de forma a levantar um peso de 800 N. O ímã permanente possui 2 cm de comprimento, área $S = 30$ cm², e característica de magnetização mostrada na figura 3. A orientação do ímã é tal que seu fluxo se adiciona ao da bobina. O entreferro é de 2 mm, e a área s dos dentes é 10 cm². Desprezar o espraçamento e a relutância do ferro.

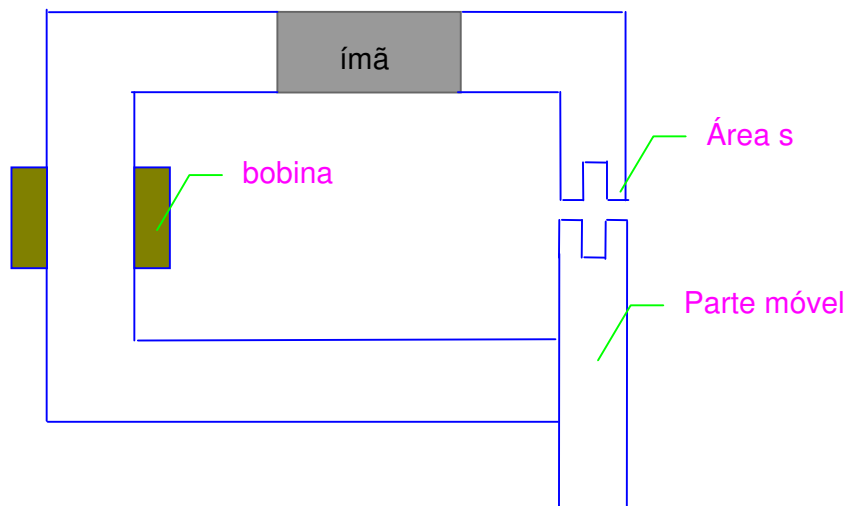


figura 2 - estrutura magnética do problema 2

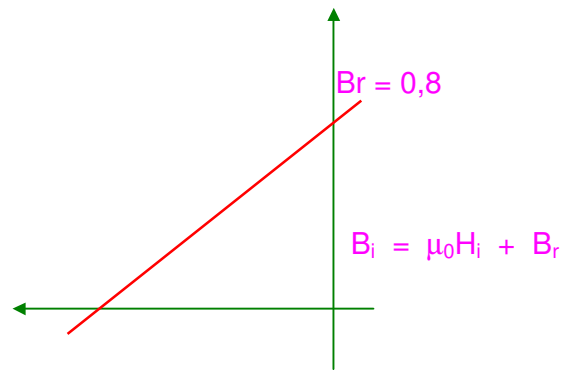


figura 3 - característica de desmagnetização do ímã do problema 2.

