

第十三章 磁场中的磁介质

13.1 一长直螺线管,每米绕有 1000 匝,今要求在螺线管内部轴上一点 p 的磁感应强度 $B=4.2 \times 10^{-4} \text{T}$,问螺线管中需通以多大的电流?(设螺线管内为空气)。

若螺线管是绕在铁芯上,通以上述同样大小的电流,问这时在螺线管内部同一点产生的磁感应强度为多少? 设此时纯铁的相对磁导率 $\mu_r=5000$ 。

解 当管内为空气时

$$B = \mu_0 n I$$

$$I = \frac{B}{\mu_0 n} = \frac{4.2 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1000} = 0.334 \text{A}$$

有铁芯时

$$B' = \mu_0 \mu_r n I = \mu_r B = 5000 \times 4.2 \times 10^{-4} = 2.1 \text{T}$$

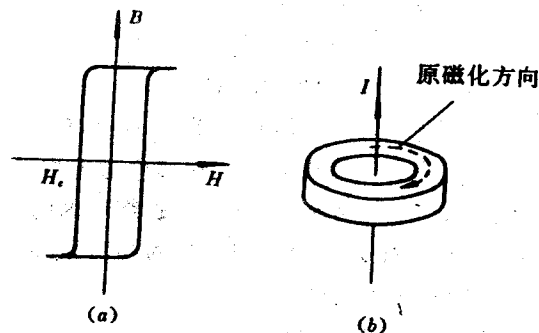
13.2 铁氧体的矩形磁滞回线如图 13.2a 所示。图 13.2b 为用这种磁性材料制成的电子计算机中存储元件的环形磁芯,其外半径为 0.8mm,内半径为 0.5mm,高 0.3mm,矫顽力为 $H_c = \frac{500}{\pi} \text{A/m}$ 。磁芯已被磁化,方向如图所示。

试问:(1)如何施加轴向电流,其值为多大时,磁芯中磁化方向开始翻转?(2)若需使磁芯中自内到外的磁化方向全部翻转,脉冲电流的峰值至少需要多大?

解 (1)由安培环路定理,长直线电流的磁场

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

磁芯内径处最先开始反转



题 13.2 图

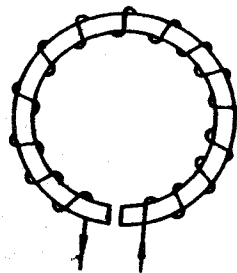
$$H_c = \frac{I}{2\pi R_1}$$

$$I = 2\pi R_1 H_c = 2\pi \times 5 \times 10^{-4} \times \frac{500}{\pi} = 0.5 \text{A}$$

(2)磁芯外径处最后反转,此时电流强度为

$$I = 2\pi R_2 H_c = 2\pi \times 8.0 \times 10^{-4} \times \frac{500}{\pi} = 0.8 \text{A}$$

13.3 铁制的螺绕环的平均周长为 61cm,空气隙长 1cm(如图所示)。环上线圈总数为 1000 匝,当线圈中通过电流为 1.5A 时,空气隙中的磁感应强度为 0.18T。求铁环的 μ 值(忽略空气隙中磁感应线的发散)。



题 13.3 图

解 根据安培环路定理

$$\oint_L H \cdot dl = H_1(L - l_1) + H_2 l_1 = NI$$

将 $H_1 = \frac{B}{\mu}$, $H_2 = \frac{B}{\mu_0}$ 代入上式

$$\mu = \frac{B(L - l_1)}{NI - \frac{B}{\mu_0} l_1}$$

$$= \frac{0.18 \times 0.6}{1000 \times 1.5 - \frac{0.18}{4\pi} \times 10^7 \times 10^{-2}}$$

$$= 1.59 \times 10^{-3} \text{ N/A}^2$$

13.4 一环形铁芯,其平均周长为 0.30m ,截面积为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$,该环均匀地密绕 300 匝线圈。当线圈中通有电流 0.032A 时,环内的磁通量为 $2.0 \times 10^{-6} \text{ Wb}$ 。试求:(1)螺绕环内的磁场强度和磁化强度;(2)单位长度的磁化电流;(3)铁芯的相对磁导率。

解 (1)由安培环路定理

$$H = \frac{NI}{2\pi R} = \frac{300 \times 0.032}{0.3} = 32 \text{ A/m}$$

故有

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{2 \times 10^{-6}}{1.0 \times 10^{-4}} = 2 \times 10^{-2} \text{ T}$$

按定义

$$M = \frac{B}{\mu_0} - H$$

$$= \frac{2 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7}} - 32$$

$$= 1.59 \times 10^4 \text{ A/m}$$

$$(2) \quad j_m = M = 1.59 \times 10^4 \text{ A/m}$$

$$(3) \quad \mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{2 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 32} = 497$$

13.5 在生产中,为了测试某种材料的相对磁导率,常将这种材料做成截面为矩形的环形螺线管的芯子。设环上绕有线圈 200 匝,平均周长为 0.10m ,横截面积为 $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 。当线圈内通过的电流为 0.10A 时,用磁通计测得穿过环形螺线管横截面的磁通量为 $6.0 \times 10^{-6} \text{ Wb}$,试求该材料的相对磁导率。

解 根据安培环路定理

$$H = nI = \frac{N}{L} I$$

$$\text{又} \quad B = \frac{\Phi}{S}$$

得

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{\Phi L}{\mu_0 S N I}$$

$$= \frac{6.0 \times 10^{-6} \times 0.1}{4\pi \times 10^{-7} \times 5.0 \times 10^{-5} \times 200 \times 0.1}$$

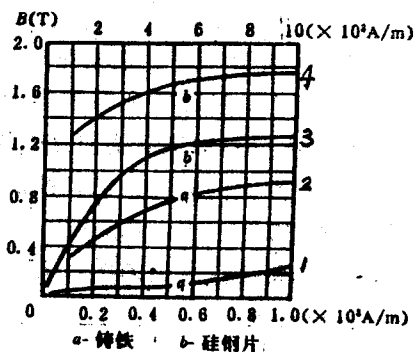
$$= 4.77 \times 10^3$$

13.6 一个闭合的环形铁芯上绕有匝数为 300 的线圈,平均周长为 0.45m ,如果需要在铁芯中产生 0.90T 的磁感应强度,试问在下列两种情况下所需的电流强度各为若干?

(1)铁芯材料为铸铁。

(2)铁芯材料为硅钢片。

铸铁和硅钢片在 $H=0 \sim 1.0$ ($\times 10^3 \text{ A/m}$) 范围时的 B 值见



题 13.6 图

附图中的第 1、第 3 条曲线,在 $H=1 \sim 10$ ($\times 10^3 \text{ A/m}$) 范围时的 B 值见图中第 2、第 4 条曲线。

解 由 $B-H$ 曲线查得,当 $B=0.9\text{T}$ 时, $H_a=9 \times 10^3 \text{ A/m}$, $H_b=0.26 \times 10^3 \text{ A/m}$

(1)由安培环路定理

$$H = nI = \frac{N}{L} I$$

$$I_1 = \frac{LH_a}{N} = \frac{0.45 \times 9 \times 10^3}{300} = 13.5 \text{ A}$$

$$(2) \quad I_2 = \frac{LH_b}{N} = \frac{0.45 \times 0.26 \times 10^3}{300} = 0.39 \text{ A}$$

13.7 一根铁磁棒,其矫顽力为 $4.0 \times 10^3 \text{ A/m}$,把它放在长 12cm 绕有 60 匝导线的长直螺线管中退磁,问绕组中至少需通入多

大的电流?

解 传导电流所产生的磁场强度在数值上须达到 $H \geq H_c$ 才能退磁。所以有

$$H = nI = \frac{N}{L}I \geq H_c$$
$$I \geq \frac{H_c L}{N} = \frac{4.0 \times 10^3 \times 0.12}{60} = 8.0 \text{ A}$$

13.8 一个铁原子的磁矩是 $1.8 \times 10^{-23} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ 。设长 5.0 cm ，截面积为 1.0 cm^2 的铁棒中所有铁原子的磁矩都整齐排列，则(1)铁棒的磁矩为多大；(2)如果需要使这磁棒与磁感应强度为 1.5 T 的外磁场正交，需用多大的转矩？已知铁的密度为 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，铁原子的摩尔质量 $55.85 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 。

解 (1) 每个铁原子的磁矩 $P_{m1} = 1.8 \times 10^{-23} \text{ A} \cdot \text{m}^2$
铁棒中的原子数

$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{\rho V}{M} N_A$$
$$= \frac{7.8 \times 10^3 \times 5.0 \times 10^{-2} \times 1.0 \times 10^{-4}}{55.85 \times 10^{-3}} \times 6.02 \times 10^{23}$$
$$= 4.21 \times 10^{23} \text{ 个}$$

总磁矩

$$P_m = NP_{m1} = 7.57 \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

(2) 所需克服的磁力矩

$$M = P_m \cdot B \sin 90^\circ = P_m \cdot B$$
$$= 7.57 \times 1.5$$
$$= 11.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

第十四章 电磁感应

14.1 一密绕有 100 匝的线圈与冲击电流计串联，电路的总电阻为 10Ω 。当通过线圈的磁通量改变时，冲击电流计有一最大偏转 0.010 rad 。已知该电流计的灵敏度为 10 rad/C ，求线圈中磁通量的改变值。

解 磁通量改变时线圈中的感应电量

$$q_i = \frac{\Delta \theta}{K} = \frac{0.010}{10} = 10^{-3} \text{ C}$$

因同时

$$q_i = \frac{N}{R} (\Phi_1 - \Phi_2)$$

所以

$$\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{R q_i}{N} = \frac{10 \times 10^{-3}}{100}$$
$$= 10^{-3} \text{ Wb}$$

14.2 如图所示，磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有一根金属棒在顶角为 θ 的导线架上滑动，它们组成的回路平面与磁场方向垂直。开始计时时 ($t=0$) 金属棒处于导线架的顶角处，正以匀速率 v 向右滑动。

(1) 试写出感应电动势随时间变化的表达式；

(2) 若 $\theta = 110^\circ$, $B = 352 \text{ mT}$ 和 $v = 5.21 \text{ m/s}$ ，问何时感应电动势等于 56.8 V 。

解 建立如图坐标系，当金属棒运动到 x 位置时，金属棒在导轨内的长度 $l = 2x \tan \frac{\theta}{2}$ ，此时