

# 電機機械問題詳解

G. R. 斯利蒙 A. 斯特朗

陳 秋 麟

原著  
譯著

曉 園 出 版 社  
世界圖書出版公司

TM 3-00  
S 76

378507

# 電機機械問題詳解

G. R. 斯利蒙  
陳 秋 麟

A. 斯特朗

原著  
譯著

曉 園 出 版 社  
世界圖書出版公司

# 电机机械问题详解

G. R. 斯利蒙 A. 斯特朗 原著

陈秋麟 译著

\*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1994 年 10 月第一版 开本: 850×1168 1/32

1994 年 10 月第一次印刷 印张: 6.5

印数: 0001—650 字数: 15.1 万字

ISBN: 7-5062-1918-2/TH·29

定价: 10.80 元 (W<sub>9402/19</sub>)

世界图书出版公司向台湾晓园出版社购得重印权

限国内发行

## 前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，曉園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。曉園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

# Slemon電機機械問題詳解

## (目 錄)

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第一章 磁 路.....        | 1   |
| 第二章 變壓器.....        | 25  |
| 第三章 電機機械的基本原理.....  | 65  |
| 第四章 直流電機.....       | 93  |
| 第五章 感應電機.....       | 123 |
| 第六章 同步電機.....       | 163 |
| 附錄A 基本關係之複習.....    | 189 |
| 附錄B 磁通及磁通密度之測定..... | 195 |

# 第一章 磁 路

1-1 一般而言，金屬鎳原子之磁力矩大約為旋轉磁力矩的基本量（ $9.27 \times 10^{-24}$  安培-平方公尺 = 1 包爾 Bohr 磁子）之 0.6 倍。鎳之原子量為 58.7，密度為 8850 公斤 / 立方公尺。

(a) 假如所有之磁力矩都被排列好，則鎳之磁通密度為何？

(b) 一有用之磁材，包含 50 % 之鎳及 50 % 之鐵，而後者每原子為 2.2 包爾磁子。假設所有的磁力矩都被排列好，求材料中之磁通密度，並與圖 1-14 中之剩餘之磁通密度比較其結果。

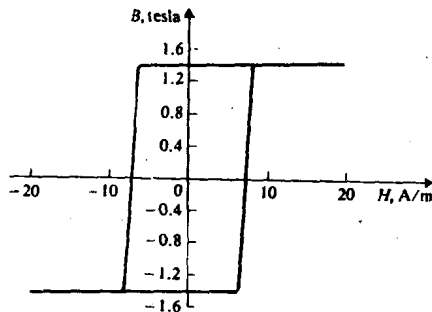


圖 1-14 Deltamax (50 % 鎳, 50 % 鐵) 之  $B-H$  圖

解 (a)  $P_m = 0.6 \times 9.27 \times 10^{-24} = 5.562 \times 10^{-24}$

$$d^3 = \frac{58.7 \times 10^{-3}}{8850 \times 6.02 \times 10^{23}} = 1.10 \times 10^{-29}$$

$$H_{\infty} = \frac{P_m}{d^3} = 505636.36$$

$$B = \mu_0 \times H_{\infty} = 0.6354 \text{ T}$$

(b) 鐵:  $P_m = 2.2 \times 9.27 \times 10^{-24} = 2.0394 \times 10^{-23}$

$$H_{\infty} = \frac{P_m}{d^3} = 175682.8 \quad (d = 2.27 \times 10^{-10} \text{ m})$$

$$B = \mu_0 H_{\infty} = 2.18 \text{ T}$$

材料中磁通  $B = (2.18 + 0.6354) / 2 = 1.41 \text{ T}$

- 1-2 理想之鐵磁材料之單位體積最大磁力矩為  $1.2 \times 10^6$  安培 / 公尺。所有區域都與磁化方向完全一致，同時所有區域壁都固定其原來位置上，直到 80 安培 / 公尺之磁場強度為止。

(a) 畫出此材料之磁滯環圈。

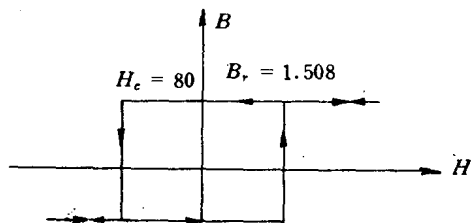
(i) 當此材料到達飽和範圍。

(ii) 當此材料之剩餘磁通密度到最大值之半。

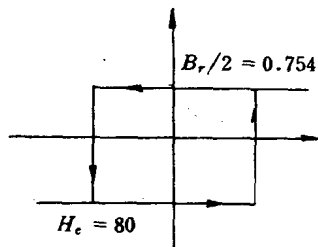
(b) 若產生之磁通密度為其最大剩餘值之 1.05 倍時，求其所需之磁場強度。

解 (a)(i)  $B_r = \mu_0 H_{\max} = \mu_0 \times 1.2 \times 10^6 = 1.508 \text{ T}$

$$H_c = 80 \text{ A/m}$$



(ii)



(b)  $H_{\max} = \mu_{\max} = 1.2 \times 10^6 \text{ Amp/m}$

$$B_{\max} = \mu_0 H_{\max} = 1.5079645 \text{ T}$$

$$B = B_{\max} \times 1.05 = 1.58$$

$$B_0 = B - B_{\max} = 0.0753982$$

$$H = \frac{B_0}{\mu_0} = 60 \times 10^3 \text{ A/m}$$

## 1-3 參考圖 1-14 中之塑膠環

- (a) 求供應 15 毫亨利電感所需之匝數。  
 (b) 假定線圈所用銅線之絕緣厚度為 0.2 公厘，線圈共有五層，求此銅線之直徑及此線圈之總電阻。  
 (c) 求此線圈之時間常數。  
 (d) 畫出此線圈之等效電路。  
 (e) 當線圈之電流為 20 安培時，畫出此線圈之等效磁路，並標示其磁阻值與磁通值。

解 (a)  $R = \frac{1}{\mu_0 A} = 175 \times 10^6 \text{ A/Wb}$

$$N^2 = LR \quad N = \sqrt{LR} = 1620$$

(b) 每層圈數 =  $\frac{1620}{5} = 324$

第三層周長 =  $(300 - 5 \text{ din}) \pi$

$$\text{din} = \frac{\pi (300 - 5 \text{ din})}{324}$$

$$\text{din} = 2.77 \text{ mm}$$

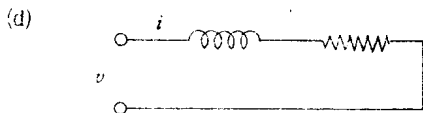
銅直徑  $d = 2.77 - 0.4 = 2.37 \text{ (mm)}$

平均長度  $2 \times (100 + 50) + 2 \pi (2.5 \times 2.77) = 343.5 \text{ mm}$

全長 =  $1620 \times 0.344 = 557 \text{ m}$

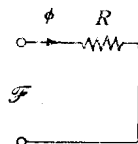
$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{1.72 \times 10^{-8} \times 557}{\frac{\pi}{4} \times 2.37^2 \times 10^{-6}} = 2.17 \Omega$$

(c)  $T = \frac{L}{R} = 6.55 \times 10^{-3} \text{ S}$



(e)  $B = \frac{\mu_0 \times N \times i}{2 \pi r} = \frac{\mu_0 \times 1620 \times 20}{0.35 \pi} = 0.0370$

$$\phi = BA = B \times 100 \times 50 \times 10^{-6} = 0.185 \text{ mWb}$$



$$R = \frac{\mathcal{F}}{\phi} = 1.75 \times 10^8 \text{ A/Wb}$$

1-4 木製圓環之平均直徑為 250 公厘，截面積為 1000 平方公厘，1200 匝之電線均勻地繞在此圓環上，線上之電流為 2 安培，求

- (a) 線圈內之磁場強度。
- (b) 圓環中產生之總磁通。
- (c) 圓環中之磁通密度。
- (d) 線圈之電感。

解 (a)  $H = \frac{Ni}{2\pi a} = \frac{1200 \times 2}{2\pi \times (\frac{0.25}{2})} = 3055.77 \text{ A/m}$

(b)  $B = \mu_0 H = 3.84 \times 10^{-3} \text{ T}$

$$\phi = B \times A = B \times 1000 \times 10^{-6} = 3.84 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

(c)  $B = 3.84 \times 10^{-3} \text{ T}$

(d)  $\lambda = 1200 \times \phi = 4.608 \times 10^{-3}$

$$L = \frac{\lambda}{i} = 2.304 \times 10^{-3} \text{ H}$$

另一形狀相同鑄鋼製之圓環，其磁化曲線如圖 1-7 所示，亦繞相同線圈，線圈中之電流亦為 2 安培，求

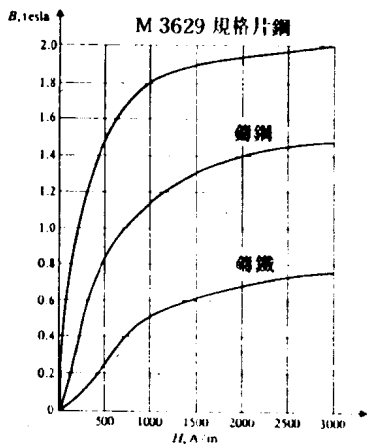


圖 1-7 磁化曲線

(e) 鋼製圓環中產生之總磁通。

(f) 在此條件下，鑄鐵之相對導磁係數為何。

(g) 線圈之電感。

解 (e)  $H = \frac{Ni}{2\pi a} = 3055.77 \text{ A/m}$

$$B_{\mu} = 1.47 \quad B_0 = 3055.77 \times \mu_0 = 3.84 \times 10^{-3}$$

$$B = B_{\mu} + B_0 \approx 1.47 \quad \phi = BA = 1.47 \text{ mWb}$$

$$(f) \mu_r = \frac{B}{H\mu_0} = 382.28$$

$$(g) \lambda = N\phi = NBA = 1.764$$

$$L = \frac{\lambda}{i} = 0.882 \text{ H}$$

1-5 圖 1-4 是圓環形鐵心，是以 M-36 鋼，規格 29 之連續鋼片製成，其磁化曲線如圖 1-7 所示，線圈有 300 匝。

(a) 求在鐵心中產生 1.4 特斯拉磁通密度所需之線圈電流。

(b) 假設磁化曲線為近似直線，通過原點與  $B = 1.4$  特斯拉處，則此鐵心材料之相對導磁係數為何？又線圈之有效電感為何？

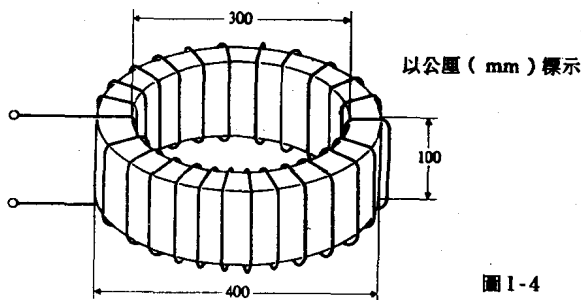


圖 1-4

解 (a) 查圖 1-7 得  $H = 420$

$$H = \frac{Ni}{2\pi r} \quad i = \frac{2\pi r \times H}{N} = \frac{0.35\pi \times 420}{300} = 1.54 \text{ A}$$

$$(b) \mu_0 \mu_r = 1.4/415.7 = 3.3678 \times 10^{-3}$$

(直線  $B = 1.4$  得  $H = 415.7$ )

$$\mu_r = 3.3678 \times 10^{-3} / \mu_0 = 2680$$

$$L = \frac{NBA}{l} = \frac{300 \times 1.4 \times 0.1 \times 0.05}{1.54} \doteq 1.36 \text{ H}$$

1-6 圖 1-4 之塑膠圓形環上繞有 1615 匝之線圈，線圈中之電流為 20 安培。

(a) 求在環中平均直徑處之單位體積磁場能量。

(b) 求儲於環中總場能。

(c) 若以習題 1-3 之電感及線圈電流來求其總場能並與 (b) 之結果比較。

解 (a)  $H = Ni / 2 \pi r = 20 \times 1615 / 0.35 \pi = 29375.46 \text{ A/m}$

$$B_0 = \mu_0 H = 0.0369$$

$$W_B = \frac{B_0^2}{2 \mu_0} = (0.0369)^2 / 2 \mu_0 = 542 \text{ J/m}^3$$

(b)  $W_B = A \times l \times W_B = 0.1 \times 0.05 \times 0.35 \pi \times W_B = 2.98 \text{ J}$

(c)  $W_L = \frac{1}{2} \times (20)^2 \times 15 \times 10^{-3} = 3 \text{ J}$

1-7 鎳 - 鐵磁性材料，其限制之  $B-H$  圈如圖 1-14 所示。

(a) 假若圖 1-4 之鐵心由此材料製成，求每週之磁滯損失。

(b) 設其使用頻率為 20 赫，求其磁滯損失。

(c) 若線圈之外加電壓的均方根值為 110 伏特，20 赫之弦波而線圈電阻省略不計，則要使鐵心沿圖 1-14 中之  $B-H$  圈磁化時，其線圈之匝數為何？

解 (a) 圖 1-14 圈內近似面積  $2 \times (1.4 \times 14.5) = 40.6 \text{ 焦耳/m}^3$

$$\text{每週之能量損失 } 42 \times 100 \times 50 \times 10^{-6} \times 0.35 \pi \\ = 0.223 \text{ J/cycle}$$

(b) 磁滯損失  $= 0.223 / \frac{1}{20} = 4.46 \text{ W}$

(c)  $E_L = 2 \pi f N \Phi$

$$\Phi = \frac{B_{\max} \times A}{\sqrt{2}} = \frac{1.4 \times 100 \times 50 \times 10^{-6}}{\sqrt{2}} \\ = \frac{7 \times 10^{-3}}{\sqrt{2}} = 4.95 \times 10^{-3}$$

$$N = \frac{E_L}{2 \pi f \Phi} = \frac{110}{2 \pi \times 20 \times 4.95 \times 10^{-3}} = 176.8 = 177 \text{ 圈}$$

1-8 圓環鐵心之截面積為  $10^{-4}$  平方公尺，平均磁通路徑為 0.15 公尺，繞有 350 匝之線圈。鐵心材料在磁通密度為 1.4 提斯拉時，其相對導磁係數為 5,000。

(a) 若鐵心之磁通密度限制在最大值 1.4 提斯拉內，則線圈內感應之弦波電壓在頻率為 400 赫時，其均方根為何？

(b) 求(a)中之電流。

(c) 若線圈之電阻為 1.5 歐姆，則(a)之條件下，線圈端之外加電壓為何？

解 (a)  $\phi = BA = 1.4 \times 10^{-4}$      $\Phi = \phi \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 9.8995 \times 10^{-5}$

$$E_L = 2 \pi f \times N \times \Phi = 87 \text{ V}$$

$$(b) R = \frac{2 \pi a}{\mu_0 \mu_r \left( \frac{\pi d^2}{4} \right)} = \frac{0.15}{10^{-4} \times 4 \pi \times 10^{-7} \times 5000}$$

$$= 238732.41$$

$$\mathcal{F} = Ni = R \times \Phi$$

$$i = \frac{R \times \Phi}{N} = \frac{238732.41 \times 9.8995 \times 10^{-5}}{350} = 67.5 \text{ mA}$$

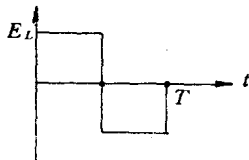
$$(c) 67.5 \text{ m} \times 1.5 = 101.25 \text{ mV}$$

$$\text{外加電壓} = 87 + 0.10125 = 87.10125 \approx 87 \text{ V}$$

1-9 磁心之截面積為 500 平方公厘且假定磁通密度在 1.5 提斯拉以下時，其導磁係數為無限大。鐵心上繞一 400 匝之線圈，外加一方波電壓，週期為 0.15 秒，若鐵心之磁通密度不超過 1.5 提斯拉時，其方波之最大波幅為何？

解  $\phi_{\max} = 1.5 \times 500 \times 10^{-6} = 7.5 \times 10^{-4}$

$$E_L = N \times \frac{\phi_{\max} - 0}{\frac{T}{2} - 0} = \frac{400 \times 7.5 \times 10^{-4}}{0.15/2} = 4$$



$$\therefore \text{極大波幅 } 4 \times 2 = 8 \text{ V}$$

1-10 磁心之截面積為 0.015 平方公尺，磁路徑長度為 0.9 公尺。鐵心材料為 M-36，0.356 公厘之片鋼，密度為 7800 公斤/立方公尺。鐵心繞線有 20 匝之線圈，其電阻忽略不計。

(a) 當線圈之外加電壓為 110 (均方根) 伏，60 赫之弦波電壓時，求其鐵心損失。

(b) 若以 (a) 之電壓而頻率改為 100 赫時，再求其鐵心損失。

解 (a)  $V = 110 \times \sqrt{2} = 155.56$      $\Phi = \frac{V}{2\pi fN} = 0.0206$

$B = \Phi/A = 1.3754$  查圖 1-23 得  $P_c \approx 3.6 \text{ W/kg}$

總鐵心損失： $0.015 \times 0.9 \times 7800 \times 3.6 = 379 \text{ W}$

(b)  $\Phi = \frac{V}{2\pi fN} = \frac{110\sqrt{2}}{2\pi \times 100 \times 20} = 0.0123793$

$B = \Phi/A = 0.825$  查圖 1-24 得  $P_c \approx 2.4 \text{ W/kg}$

總鐵心損失： $0.015 \times 0.9 \times 7800 \times 2.4 = 252.7 \text{ W}$

1-11 一均勻之鐵磁圓環之截面積為 100 平方公厘，平均直徑為 50 公厘，鐵心材料之週期磁族系如圖 1-71 所示，繞於鐵心之線圈為 200 匝，而其電阻忽略不計。

(a) 假若於線圈矩形波電壓之峯對峯值為 12 伏特時，產生磁通密度峯值為 1.6 特斯拉時，電壓波之週期為何？

(b) 在 (a) 之條件下，畫出其電流波形並求在線圈中電流之峯值。

(c) 若要產生 1.2 特斯拉之磁通密度峯值時，其外加 50 赫之正弦電壓波之均方根值為何？

(d) 在 (c) 之條件下，畫出其電流波形並求在電壓峯值瞬間之電流值。

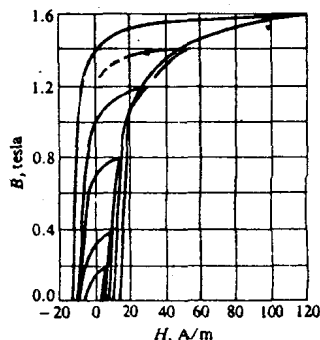


圖 1-71

解 (a)  $B = 1.6 \text{ T}$

$$\lambda = NAB = 3.2 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

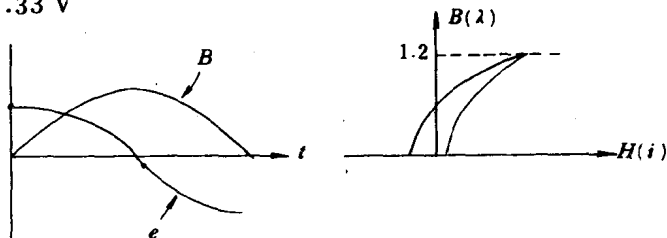
$$2\lambda = \int_0^{T/2} e dt = \frac{T}{2} \cdot V$$

$$\therefore T = \frac{4\lambda}{V} = \frac{4 \times 3.2 \times 10^{-2}}{6} = 21.32 \text{ ms}$$

$$(b) ie = \frac{Hl}{N} = \frac{120 \times \pi \times 50 \times 10^{-3}}{200} = 0.094 \text{ A}$$

$$(c) E_L = 2\pi f N \Phi = \frac{2\pi \times 50 \times 200 \times 1.2 \times 100 \times 10^{-6}}{\sqrt{2}} = 5.33 \text{ V}$$

(d)



1-12 鐵心之截面積為 500 平方公厘，磁路長度為 200 公厘，其  $B-H$  環圈以圖 1-72 之近似分段折線來表示。

(a) 鐵心上繞一 500 匝之線圈，線圈電阻省略不計，若要在鐵心中產生峰值為 1.5 特斯拉之磁通密度，線圈之外加 300 赫弦波電壓之均方根值為何？

(b) 在 (a) 之穩定狀況下，畫出在線圈中電流之波形。

(c) 計算出 (b) 中電流之富氏級數之首三項的值。

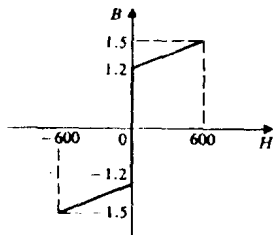


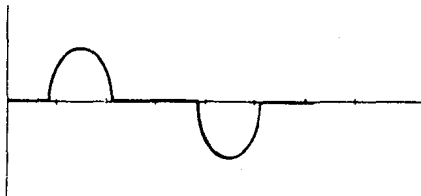
圖 1-72

解 (a)  $\phi = BA = 1.5 \times 500 \times 10^{-6} = 7.5 \times 10^{-4}$

$$\Phi = \frac{\phi}{\sqrt{2}} = 5.3 \times 10^{-4}$$

$$E_L = 2 \pi f \times N \Phi = 499.8 \approx 500V$$

(b)



$$(c) i_m( \omega t ) = i_1 \sin( \omega t ) + i_3 \sin( 3 \omega t ) + i_5 \sin( 5 \omega t ) \\ + \dots + i_n \sin( n \omega t )$$

$$n = 1, 3, 5, 7$$

$$\omega = 600 \pi$$

$$\text{求得} \begin{cases} i_1 = 0.095 \text{ A} \\ i_3 = -0.0713 \text{ A} \\ i_5 = 0.0596 \text{ A} \end{cases}$$

1-13 一 200 匝之線圈繞於鐵心上，鐵心材料之  $B-H$  圈可以圖 1-73 之理想化曲線表示。180 赫之弦波電壓加於線圈使其產生峯值為 1.5 提斯拉之磁通密度。鐵心之磁路長度為 150 公厘。求其線圈電流之基波，第三諧波及第五諧波各分量。

解

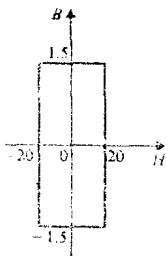


圖 1-73

1-14 一 800 匝之線圈穿過兩圓環鐵心如圖 1-74 所示。鐵心 A 之平均直徑為

100 公厘，截面積為 150 平方公厘；鐵心  $B$  之平均直徑為 120 公厘，截面積為 250 平方公厘。兩鐵心材料之相對導磁係數均為 2800。

(a) 求出每一鐵心之磁阻。

(b) 畫出此系統之等效磁路。

(c) 求使線圈產生 0.2 韋伯磁通時之線圈電流。

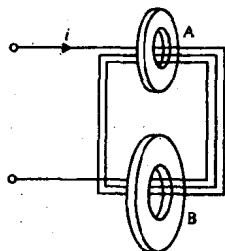


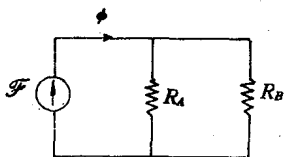
圖 1-74

$$\text{解 (a)} \quad R_A = \frac{l}{A \mu_0 \mu_r} = \frac{2\pi \left( \frac{0.1}{2} \right)}{150 \times 10^{-6} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 2800}$$

$$= 595 \times 10^3 \text{ A/Wb}$$

$$R_B = \frac{l}{A \mu_0 \mu_r} = 428.5 \times 10^3 \text{ A/Wb}$$

(b)



$$(c) \quad \phi = \frac{0.2}{800} = 2.5 \times 10^{-4} \quad R = R_A \parallel R_B = 249 \times 10^{-3}$$

$$i = \frac{R \times \phi}{N} = 77.89 \text{ mA}$$

1-15 圖 1-75 之磁系上繞有一 240 匝之線圈；產生了 0.4 毫韋伯之磁通。其鑄鋼部份之磁通密度為 0.9 特斯拉，片鋼部份之磁通密度為 1.4 特斯拉。鑄鋼之截面為正方形。兩種鋼料之接觸面之氣隙不予考慮。

- (a) 求兩種鋼料部份需要之尺寸。  
 (b) 求所需之電流。  
 (c) 求此磁系每一部份之磁阻。  
 (d) 畫出此磁系之等效磁路。

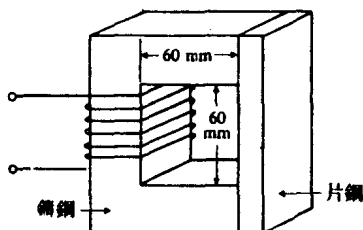


圖 1-75

- 解 (a)  $0.4 \text{ m} = 0.9 \times A$   $A = 4.4 \times 10^{-4}$  鑄鋼寬度 = 高度 = 21.1 mm  
 $0.4 \text{ m} = 1.4 \times 21.1 \text{ mm} \times l$   
 $l = 13.54 \text{ mm}$  片鋼厚度 = 13.54 mm

- (b) 鑄鋼  $\mu, \mu_0 = 1.568 \times 10^{-3}$

$$R_A = \frac{(60 \times 3 + 21.1 \times 2) \times 10^{-3}}{4.4 \times 10^{-4} \times \mu_0 \mu_r} = 0.322 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$\text{片鋼 } \mu, \mu_0 = 2.84 \times 10^{-3}$$

$$R_B = \frac{(60 + 21.2) \times 10^{-3}}{21.2 \times 13.54 \times 10^{-3} \times \mu_0 \mu_r} = 99.8 \times 10^3 \text{ A/Wb}$$

$$R = R_A + R_B = 421800$$

$$i = \frac{R \phi}{N} = 0.703 \text{ A}$$

- (c)  $R_A = 0.322 \times 10^6 \text{ A/Wb}$

$$R_B = 99.8 \times 10^3 \text{ A/Wb}$$

- (d)

