

電機工程問題詳解

A. B. 卡爾森 D. G. 吉瑟 原著
余兆良 譯著

曉園出版社
世界圖書出版公司

電機工程問題詳解

A. B. 卡爾森 D. G. 吉瑟 原著
余 兆 良 譯著

曉園出版社
世界圖書出版公司

电机工程问题详解

A.B. 卡尔森 D.G. 吉瑟 原著
余兆良 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: 16.75
印数: 0001—450 字数: 40万字

ISBN: 7-5062-1935-2/TM·2

定价: 31.00元 (WB9403/16)

世界图书出版公司已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。

Carlson 電機工程問題詳解

第一章	導 論	0
第二章	電路概念	1
第三章	電阻性電路	19
第四章	二—埠與運算放大器	53
第五章	電容、電感與阻抗	85
第六章	交流電路	123
第七章	頻率響應與濾波器	147
第八章	暫態響應	201
第九章	二極體與半導體	237
第十章	電晶體與積體電路	259

第十一章	非線性電子電路.....	283
第十二章	電子放大器電路.....	341
第十三章	反饋與控制系統.....	391
第十四章	信號處理與通訊系統.....	433
第十五章	數位邏輯.....	473
第十六章	數位系統.....	503
第十七章	磁學與機電學.....	529
第十八章	交流電力系統.....	559
第十九章	轉動電機.....	609

第二章 電路概念

習題

2.1-1 當以上電池被接至一 50 W 燈泡時，試求其電流。

假設 v 與 i 保持固定，且能量從電池轉移到電泡間沒有損失，試問這電池在放電完畢之前，能維持多久？

$$\text{解 } i = \frac{p}{v} = \frac{50}{12} = 4 \frac{1}{6} \text{ A}$$

$$t = \frac{w}{p} = \frac{5 \times 10^6}{50} = 10^5 \text{ sec} = 27 \text{ hr } 46 \text{ min } 40 \text{ sec}$$

2.1-2 當上述電源產生 $i = 0.3$ 微安時，試計算 p 。

$$\begin{aligned} \text{解 } p &= vi = 50 \times 10^3 \times 0.3 \times 10^{-6} \\ &= 15 \times 10^{-3} = 15 \text{ mW} \end{aligned}$$

2.2-1 具有 $i = (0.01v)^3$ 的某裝置被連接到一個 200 V 的電源，試作出類似於圖 2.2-7b 的略圖，求出經過這個裝置的電流，與電源所輸出的功率。

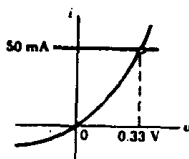
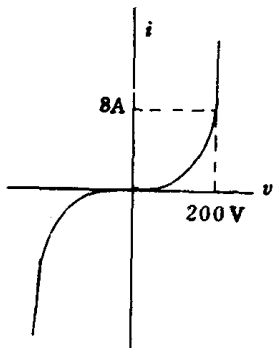


圖 2.2-7 (b)

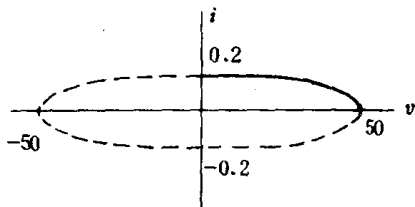


$$\begin{aligned} i &= (0.01v)^3 \\ &= (0.01 \times 200)^3 \\ &= 8 \text{ A} \\ p &= vi = 200 \times 8 \\ &= 1600 \text{ W} \\ &= 1.6 \text{ kW} \end{aligned}$$

2 電機工程問題詳解

- 2.2-2 某有源裝置以 $(5i)^2 + (0.02v)^2 = 1$ 描述，其中 $i \geq 0$ 與 $v \geq 0$ 。試繪 $i-v$ 曲線圖，並證明若 $v \leq 5\text{ V}$ ，這裝置具有 $i_s = 200\text{ mA}$ 電流源特性；而當 $i \leq 20\text{ mA}$ ，它又可作用成 $v_s = 50\text{ V}$ 的電壓源。

解



由圖知其曲線為一橢圓。其與 i ， v 軸之交點分別在 0.2 A 及 50 V 。

- (1) 若 $v = 5\text{ 伏}$ 則 $i \doteq 0.199\text{ A}$

即若 $v \leq 5\text{ 伏}$ 則 $0.2 \geq i \geq 0.199$

其變動率僅為 0.5%

故可視為一 $i_s = 200\text{ mA}$ 之電流源。

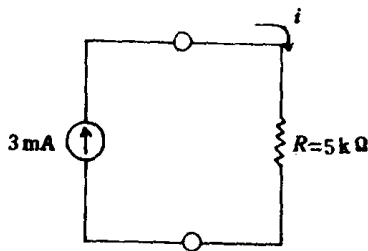
- (2) 同理若 $i \leq 20\text{ mA}$ ，

則 $50 \geq v \geq 49.75$ ，

其變動率亦為 0.5% ，

故可視為 $-v_s = 50\text{ V}$ 之電壓源

- 2.3-1 當圖 2.3-3 中的電池以一個 3 毫安 的電流源取代時，試求 v 與 p 。



■ 2.3-1



$$v = iR = 3 \times 5 = 15\text{ 伏}$$

$$p = vi = 15 \times 0.003 = 0.045\text{ W} = 45\text{ mW}$$

2.3-2 某應變計由 100 cm 長和 0.002 cm 半徑做成，當 $\Delta \ell / \ell = 10^{-3}$ 時，試計算 ΔR 。

解 把數值代入 ΔR 之公式

$$\begin{aligned}\Delta R &= 2R \left(\frac{\Delta \ell}{\ell} \right) = 2 \left(\rho \frac{\ell}{A} \right) \left(\frac{\Delta \ell}{\ell} \right) \\ &= 2 \times \frac{10^{-6}}{\pi \times (2 \times 10^{-5})^2} \times 10^{-3} = 1.59 \, \Omega\end{aligned}$$

2.4-1 當例題 2.4-1 的電晶體被用在圖 2.4-6 的電路中時，試求其電壓與電流。
提示：首先將 i_E 以 i_B 表示。

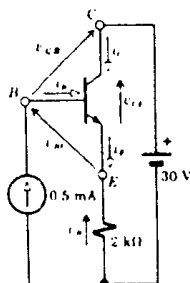


圖 2.4-6

解 由 KCL： $i_E = i_C + i_B = 0.9 i_E + i_B$

$\therefore i_B =$ 電流計之值

$\therefore i_B = 0.1 i_E = 0.5 \text{ mA}$

$i_E = 5 \text{ mA}$

$i_C = 4.5 \text{ mA}$

由 KVL： $v_{CE} + v_R = 30 \text{ V} = v_{CE} + 5 \times 2$

$v_{CE} = 20 \text{ V}$

$v_{CB} = v_{CE} - v_{BE} = 20 - 0.7 = 19.3 \text{ V}$

2.4-2 在圖 2.4-7 中，假定 $v_1 = 12 \text{ V}$ 與 $R = 3 \, \Omega$ ，當 v_2 分別以(a)一閉路開關(b)一開路開關(c)另一 $3 \, \Omega$ 電阻及(d)與 i 反向之 $i_s = 5 \text{ A}$ 電流源代替，試重繪其電路，計算 i 及標出所有電壓。

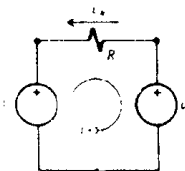
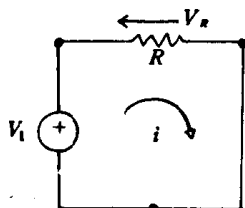


圖 2.4-7

4 電機工程問題詳解

解 (a)

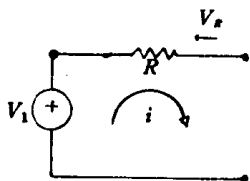


$$i = \frac{v}{R} = \frac{12}{3} = 4 \text{ A}$$

$$V_R = 12 \text{ 伏}$$

$$V_2 = 0 \text{ 伏}$$

(b)



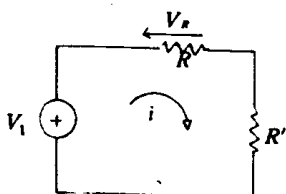
因為開路，故

$$V_R = 0 \text{ 伏}$$

$$V_2 = 12 \text{ 伏}$$

$$i = 0 \text{ A}$$

(c)

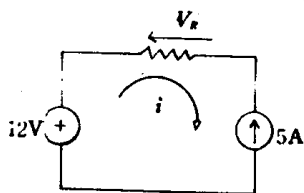


$$i = \frac{v}{R+R'} = \frac{12}{6} = 2 \text{ A}$$

$$V_R = iR = 2 \times 3 = 6 \text{ 伏}$$

$$V_2 = iR' = 2 \times 3 = 6 \text{ 伏}$$

(d)

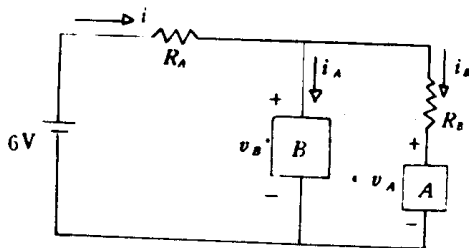


$$i = -5 \text{ A} \quad (\because \text{電流源之故})$$

$$V_R = iR = -15 \text{ 伏}$$

2.4-3 試以二個偏壓電阻設計一電路，使上例題 2.4-2 的裝置可由一個 6 伏電池供電。並使用適當定律核對你的工作

解



$$\begin{aligned} \text{由 KCL} \quad i &= i_A + i_B \\ &= 1.6 + 2 = 3.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{又由 KVL} \quad 6 &= i R_A + v_B \\ &= 3.6 R_A + 5\end{aligned}$$

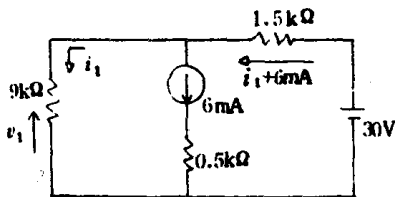
$$\text{得 } R_A = \frac{5}{18} \Omega$$

$$\begin{aligned}\text{再由 KVL} \quad v_B &= i_B R_B + v_A \\ 5 &= 2 R_B + 4\end{aligned}$$

$$\text{得 } R_B = \frac{1}{2} \Omega$$

2.4-4 試使用分路電流分析重做例題 2.4-3，並證明 $i_1 = v_1 / 9 \text{ k}\Omega = 2 \text{ mA}$

解



由 KVL 及圖

$$i_1 \times 9 + (i_1 + 6) \times 1.5 = 30$$

$$10.5 i_1 + 9 = 30$$

$$10.5 i_1 = 21$$

$$i_1 = 2 \text{ mA}$$

2.4-5 圖 2.4-13 代表一個電池充電電路，試用節點電壓法求出所有電壓與電流，並證明 i_2 為負的。

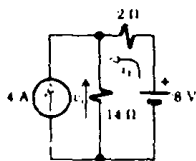


圖 2.4-13

$$\text{解 由 KCL} \quad 4 = \frac{v_1}{14} + \frac{v_1 - 8}{2}$$

$$8 = \frac{v_1}{14} + \frac{7v_1}{14} = \frac{8v_1}{14}$$

故 $v_1 = 14$ 伏

$$i_2 = \frac{8 - v_1}{2} = \frac{8 - 14}{2} = -3 \text{ 安}$$

問 題

2.1-1 某線載有 $i = 10^{-6}$ 安，試問每秒有多少電子流經線上一特定之點？

解 $i = 10^{-6} \text{ A} = 10^{-6} \text{ C/S} = n \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C/S}$

$$n = 10^{-6} / 1.6 \times 10^{-19} = 6.25 \times 10^{12} \text{ 個}$$

2.1-2 某銅線具有 $n = 10^{29}$ 電子/ m^3 與 $A = 2 \text{ mm}^2$ ，當 $i = 1 \text{ A}$ 時，試求出該銅線中電子之平均速度。

解 $i = q \cdot n \mu A$

$$\mu = \frac{i}{q \cdot n A} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{29} \times 2 \times 10^{-6}} \\ = 3.125 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

2.1-3 若 $i(t) = 10^{-3} t$ 安，試求 $0 \leq t \leq 1$ 分鐘內所轉移的電荷與平均電流 i_{av} 。

解 $q = \int_0^{60} 10^{-3} t \, dt = \frac{10^{-3}}{2} t^2 \Big|_0^{60} = 1.8 \text{ 庫倫}$

$$i_{av} = \frac{q}{t} = \frac{1.8}{60} = 0.03 \text{ A} = 30 \text{ mA}$$

2.1-4 若圖 2.1-1 中的手電筒有一個 1.5 V 的電池，試問每個電子傳送給燈泡多少能量？

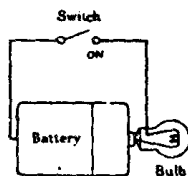


圖 2.1-1

解 $w = C v = 1.6 \times 10^{-19} \times 1.5$
 $= 2.4 \times 10^{-19} \text{ joule}$

2.1-5 試問將需要多少電壓來升高一個電子一焦耳的能量？

解 $1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 庫倫} \times 1 \text{ 伏特}$
 $= (1.6 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}) \cdot (6.25 \times 10^{18} \text{ 伏特})$
 即要 $6.25 \times 10^{18} \text{ 伏特}$

2.1-6 試求一個 12 V 汽車電池額定 500 Ah 所儲存之總電荷與能量。

解 $Q = 500 \times 3600 \text{ sec}$
 $= 1.8 \times 10^6 \text{ 庫倫}$
 $w = C v = 1.8 \times 10^6 \times 12$
 $= 2.16 \times 10^7 \text{ 焦耳}$

2.1-7 試對一個 1.5 V AAA 型鹼性電池額定 0.75 Ah，重做上題之計算。

解 $C = 0.75 \times 3600 = 2700 \text{ 庫倫}$
 $w = C v = 1.5 \times 2700 = 4050 \text{ 焦耳}$

2.1-8 某負載在 120 V 曾消耗 50 kWh。試問多少電子曾流過該負載。

解 $w = C v$
 $50 \times 3.6 \times 10^6 = c \times 120$
 $C = 1.5 \times 10^6 \text{ 庫倫}$
 $= (1.5 \times 10^6) / (1.6 \times 10^{-19}) = 9.375 \times 10^{24} \text{ 電子}$

2.1-9 假定上題之負載連續工作一週，試求其平均電流 i_{av} 。

解 $p = v i$ $p_{av} = \frac{50 \text{ kWh}}{7 \times 24 \text{ h}} = 0.298 \text{ kW}$
 $i_{av} = \frac{P_{av}}{V} = \frac{0.298 \text{ kW}}{120 \text{ V}} = 2.48 \text{ A}$

2.2-1 試以 $I_s = 20 \text{ 毫安}$ 重作例題 2.2-1。

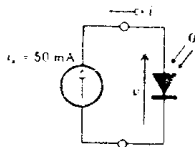


圖 2.2-7

8 電機工程問題詳解

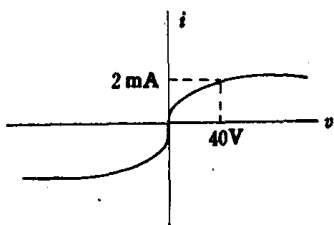
解 $i = I_0 (e^{40v} - 1) - I_p$

$$0.05 = 10^{-7} (e^{40v} - 1) - 0.02$$

$$e^{40v} = \frac{0.07}{10^{-7}} + 1 \approx 7 \times 10^5$$

$$v \approx \frac{1}{40} \ln(7 \times 10^5) = 0.336 \text{ 伏}$$

2.2-2 某一裝置在 $i > 0$ 時有 $v = 10^7 i^2$ 及 $i < 0$ 時 $v = -10^7 i^2$ ，將它連接到一個 40 伏電源，試重做習題 2.2-1。



$$v = 10^7 i^2$$

$$40 = 10^7 i^2$$

$$i = 2 \times 10^{-3} = 2 \text{ mA}$$

$$p = vi = 40 \times 2 = 80 \text{ mW}$$

2.2-3 設圖 2.2-3 中，光二極體有 $I_0 = 0.1$ 微安與 $I_s = 20$ 毫安試證明下列陳述

(a) 若 $v \leq -0.1$ 伏，它作用像一個電流源。

(b) 若 $0 \leq v \leq +0.1$ 伏，它作用像一個電流源。

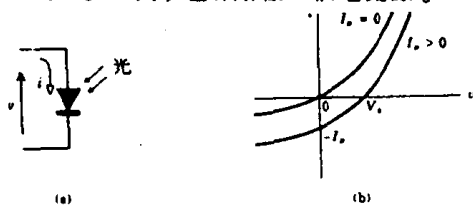


圖 2.2-3

解 $i = I_0 (e^{40v} - 1) - I_p$

$$= 10^{-7} (e^{40v} - 1) - 0.02$$

(a) 若 $v \leq -0.1$ 伏

則

$$i = 10^{-7} (e^{40v} - 1) - 0.02$$

$$-0.02 \geq i \geq -0.02 - 9.8 \times 10^{-8} \approx -0.02$$

即 作用得像一個電流源，其中 $i = -0.02$ 安

- (b) 同理當 $0 \leq v \leq +0.1$ 伏 時

$$i = 10^{-7} (e^{40v} - 1) - 0.02 \approx -0.02$$

即其作用像一個電流源

2.2-4 假設圖 2.2-1(a) 中的電源對 $i \geq 0$ 時有 $v = 12 / (4 + i^2)$

- (a) 試問超過什麼電流範圍，這電源才作用像一個電壓源。

- (b) 這電源可作用像一個電流源嗎？說明你的答案。

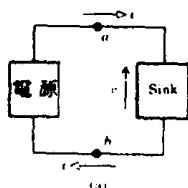
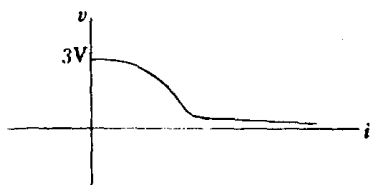


圖 2.2-1 (a)

解



- (a) 若 $i = 0 \Rightarrow v = 3V$

現在若取電壓變動率為 1%，則 i 為

$$v = 12 \times \frac{1}{i^2 + 4} \geq 0.99 \times 3V$$

$$\therefore i \leq 0.67 \text{ A}$$

即 電流需小於 0.201 A

- (b) 由上圖知，這電源不可能作用像個電流源，因為電流對電壓之變率 di/dv ，無論在那一點均很大。

2.3-1 設圖 2.3-3 中的電阻 R 為可調節的，試以數學式及作圖證明當 $R \rightarrow 0$ 時 $p \rightarrow \infty$ 。

解 (a) $\because p = vi = v \cdot \frac{v}{R} = \frac{v^2}{R}$

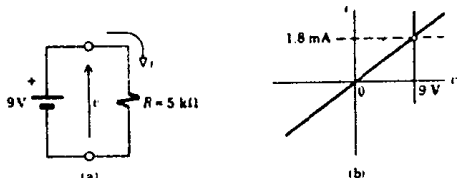
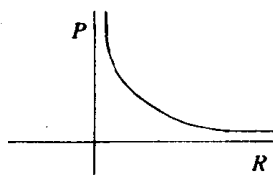


圖 2.3-3

當 $R \rightarrow 0$ 時, $\frac{1}{R} \rightarrow \infty$, 又 v 固定

$\therefore p \rightarrow \infty$



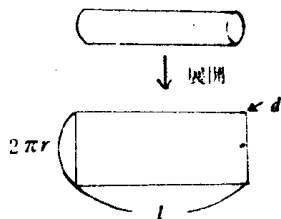
(b) 由上圖亦可看出 當 $R \rightarrow 0$ 時, $p \rightarrow \infty$ 。

2.3-2 例題 2.3-1 證明伏、毫安、仟歐、及毫瓦為相符之單位組 (consistent set of units), 它們的量字首不需變換。試填滿下表中的空格以形成另一相符單位組。

電 壓	伏	毫 伏	微 伏	仟 伏	仟 伏	伏
電 流	毫 安	安	微 安	仟 安	毫 安	微 安
電 阻	仟 歐	仟 歐	歐	歐	百萬歐	百萬歐
功 率	毫 瓦	毫 瓦	微微瓦	百萬瓦	瓦	微 瓦

2.3-3 一個 1 歐電阻以沈澱碳膜在 9 毫米長與 3 毫米直徑的圓筒上製成。試估計這薄膜的厚度。

解



$$R = \rho \frac{\ell}{A} = \rho \frac{\ell}{2\pi r \cdot d}$$

$$d = \frac{\rho \cdot \ell}{2\pi r \cdot R}$$

(查 TABLE 2.3-1) $\rho = 3.5 \times 10^{-5}$

$$= \frac{3.5 \times 10^{-5} \times 9 \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-3} \times 3.14 \times 1}$$

$$= 3.34 \times 10^{-5} \text{ m}$$

- 2.3-4 某電爐的加熱元件由一件直徑 1 毫米在工作溫度時 $\rho = 3 \times 10^{-6}$ 歐·米的線作成。這元件在 240 伏散逸 5 仟瓦，試問該線有多長。

解 首先計算 R 值

$$\because p = vi = \frac{v^2}{R}, \therefore R = \frac{v^2}{p} = 11.52 \text{ 歐}$$

$$R = \rho \frac{\ell}{A} = 3 \times 10^{-6} \times \frac{4\ell}{3.14 \times 10^{-6}} = 11.52$$

$$\ell = 3.02 \text{ m}$$

- 2.3-5 一個 60 瓦 120 伏燈泡有 2 厘米長的燈絲。

(a) 若在工作溫度時 $\rho = 10^{-6}$ 歐·米，試求該燈絲之半徑。

(b) 若室溫時 $\rho = 5 \times 10^{-8}$ 歐·米，試求其侵入電流。

解 $R = \frac{v^2}{p} = 240 \text{ 歐}$

$$(a) R = \rho \frac{\ell}{A} = 10^{-6} \cdot \frac{2 \times 10^{-2}}{3.14 \times r^2} = 240$$

$$r = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-8}}{3.14 \times 240}} = 5.15 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$(b) R = \rho \frac{\ell}{A} = 12 \text{ 歐}$$

$$i = \frac{v}{R} = \frac{120}{12} = 20 \text{ 安}$$

- 2.3-6 一熔線的電阻隨其溫度升高而增加，使 $R = R_c (1 + \alpha T)$ 其中 R_c 為其“冷”電阻， α 為溫度係數，及 T 為其在 20°C 之上的溫度上升。這溫度上升由 $T = kp$ 所供給，其中 k 為一常數，及 p 為熔線所散逸的功率。試求 R 用流經該熔線的需流 i 之表示式，並證明在 $i = 1/\sqrt{\alpha k R_c}$ 時它燒斷 ($R \rightarrow \infty$)。

解 在 $T^\circ\text{C}$ 增加後之 R

$$R = R_c (1 + \alpha T) = R_c (1 + \alpha kp)$$

$$= R_c (1 + \alpha k i^2 R)$$

$$R (1 - \alpha k i^2 R_c) = R_c$$