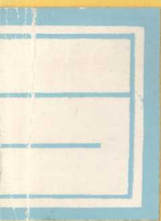


電子電路

原理及題解

〔美〕 J. A. 埃德明尼斯特 原著

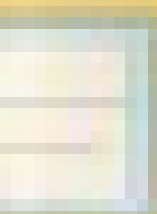


曉園出版社
世界圖書出版公司

電子電路

原理及題解

〔美〕 L. A. 奧德明尼斯特 原著



曉園出版社
電子圖書出版公司

電子電路

原理及題解

陳 肇 勳 譯

曉 園 出 版 社
世 界 圖 書 出 版 公 司

北京 · 廣州 · 上海 · 西安

1992

内 容 简 介

本书包括电子电路方面基本概念, 基本原理的简要介绍和具有详细题解的习题共 391 题。

电 子 电 路 原 理 及 题 解

(美) J. A. 埃德明尼斯特 原著

陈肇勋 译著

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京分公司重印

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

1993 年 1 月第 一 版 开本: 711×1245 1/24

1993 年 1 月第一次印刷 印张: 16.5

印数: 0001-1650 字数: 29.7 万字

ISBN: 7-5062-1463-6/TN·15

定价: 12.60 元 (W_{9206/6})

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向晓园出版社购得重印权
限国内发行

譯 序

本書為電機工程的入門書籍，就編排的內容及深度方面，它適用於一般專科及大學的電子、電機科系學生；而就內容及習題的實用性而言，它更適用於其他相關科系及實際工作的工程師。

本書的特色在於內容深入淺出，習題包羅廣泛，已具有基本概念的學者，可以直接從事習題之研究，而初學者則必須詳細研讀書本內容，然後再深入探討習題及補充習題。

在各章節的內容安排及文字敘述上，譯者儘量保留原稿並力求簡潔以利讀者閱讀；而在習題的演練上，則根據書本內容詳細的解說，以使讀者充份了解電路學的精義。

本書編印謹慎，校稿詳細，然百密難免一疏，若有疏漏之處，尚請讀者不吝指教。

陳 肇 勳

1987年9月

原 序

本書乃為基礎電路分析之教科書，並可當作標準教材的補充資料，適用於電子工程師及一般學者。而本書的重點乃在於基礎定理的研究與電路之分析技術。

針對科目的範圍，本書共區分十六個章節加以討論，在每個章節中就各個定義、定理及電路特性加以敘述並舉數個例題來說明討論，然後附上習題與補充習題，在習題部分針對各節的理論擴大說明，並引用實例來引導讀者去熟練各個定理及電路特性，而在補充習題部分則舉出更多相關的實例，以幫助讀者對於各類型題目的解題技巧有所了解。（每個補充習題都附有答案）

本書所研究的主題包括：基本電路響應、串聯與並聯電路、功率與功率因數改善、共振現象等。在各章中先發展出直流電路的節點電壓及網目電流方法，然後再介紹交流電路的相量分析法，在解題技巧方面，我們分別發展了重疊定理、互易定理及補償定理，而在較複雜的電路方面則有多相電路及互感耦合電路。另外，關於周期波的響應處理，我們同時推導出三角及指數形式的傅立葉級數（二種級數間的係數可以互換），至於解決電路的暫態響應方面，本書介紹了古典微分方程式法及拉氏轉換等二種方法，讀者可自行比較使用。

本書所使用的單位為 SI 系統，書上各章均出現依賴電壓及電流源，而在第十五章則簡單介紹了狀態變數分析法。

Joseph A. Edminister

目 錄

第一章 導 論 1

1. 單位 1 / 2. 力, 功, 功率 2 / 3. 電流及電荷 2 / 4. 電位
3 / 5. 符號表示法 4 / 6. 連續及不連續函數 4 / 習題與解答
5 / 補充題 7

第二章 電路概念 9

1. 電路元件 9 / 2. 電位 10 / 3. 電流 10 / 4. 符號法則 11
/ 5. 電路圖 11 / 6. 電壓 - 電流關係 13 / 7. 串聯元件與並聯元件
13 / 8. 電阻 14 / 9. 電感 15 / 10. 電容 16 / 習題與解答
18 / 補充題 26

第三章 直流電阻電路 31

1. 克希荷夫電壓定律 31 / 2. 克希荷夫電流定律 32 / 3. 分壓與
分流 32 / 4. 串聯 - 並聯網路之化簡 33 / 5. 重疊定理 35 /
6. 戴維寧與諾頓定理 37 / 7. 最大傳輸功率定理 39 / 習題與解
答 39 / 補充題 51

第四章 直流網目分析與直流節點分析 57

1. 分支電流與網目電流 57 / 2. 矩陣與網目電流 59 / 3. 行列式
與網目電流方法 60 / 4. 輸入電阻 61 / 5. 傳輸電阻 61 / 6.
節點電壓方法 63 / 習題與解答 64 / 補充題 71

第五章 電路暫態 75

1. 導論 75 / 2. 初始充電的 RC 電路 75 / 3. 初始電流與 RL 電路
77 / 4. 時間常數 78 / 5. RC 或 RL 電路的等效電路 80 / 6. 有
源狀態的 RL 及 RC 電路 80 / 7. 串聯 RLC 電路 82 / 8. 雙網目電

路 86 / 9. 單位階梯函數 87 / 習題與解答 90 / 補充題 101

第六章 正弦電路分析 107

1. 導論 107 / 2. 正弦電壓與電流 107 / 3. 電路元件之響應 108 / 4. 串聯 RL 電路之正弦響應 109 / 5. 串聯 RC 電路之正弦響應 111 / 6. 相量 111 / 習題與解答 114 / 補充題 119

第七章 頻率中的正弦穩態電路 123

1. 導論 123 / 2. 阻抗 123 / 3. 導納 126 / 4. 頻域中的分壓及分流定律 127 / 5. 阻抗角 128 / 習題與解答 129 / 補充題 136

第八章 頻域中的網路分析 143

1. 導論 143 / 2. 網目電流方法 143 / 3. 節點電壓方法 146 / 4. 戴維寧及諾頓定理 147 / 5. 等效 Y -聯結及 Δ -聯結 147 / 6. 重疊定理 148 / 7. 互易定理 148 / 8. 補償定理 149 / 習題與解答 150 / 補充題 161

第九章 功率與功率因數 167

1. 時域中的功率 167 / 2. 正弦穩態電路中的功率 167 / 3. 功率三角, 複數功率 171 / 4. 功率因素之改善 172 / 習題與解答 173 / 補充題 182

第十章 多相電路 185

1. 三相電壓 185 / 2. Y 及 Δ 系統 185 / 3. 相量電壓 186 / 4. 平衡 Δ 聯結負載 187 / 5. 平衡四線 Y 聯結負載 188 / 6. 平衡三相負載的單線等效電路 189 / 7. 不平衡 Δ 聯結負載 190 / 8. 不平衡 Y 聯結負載 191 / 9. 平衡三相負載的功率 193 / 10. 三相負載及雙瓦特計方法 194 / 習題與解答 196 / 補充題 203

第十一章 頻率響應及共振 207

1. 導論 207 / 2. 單埠及雙埠網路 207 / 3. 高通及低通網路
208 / 4. 半功率頻率 212 / 5. 一般化的雙埠，雙元件網路 213
/ 6. RLC 串聯電路；串聯共振 213 / 7. 品質因數 215 / 8. RLC
並聯電路；並聯共振 216 / 9. 實際的 LC 並聯電路 217 / 10. 串
聯 - 並聯轉換 218 / 11. 軌跡圖 219 / 習題與解答 220 / 補
充題 235

第十二章 波形函數的傅立葉分析 241

1. 導論 241 / 2. 三角傅立葉級數 241 / 3. 指數形式的傅立葉級
數 243 / 4. 波形對稱 245 / 5. 線頻譜 247 / 6. 波形的合成
248 / 7. 有效值與功率 249 / 8. 電路分析的應用 250 / 習題與
解答 253 / 補充題 265

第十三章 複數頻率 273

1. 導論 273 / 2. S - 頻域中的網路分析 274 / 3. 根據 S - 平面求
網路響應 276 / 4. 自然響應 278 / 5. S - 頻域中的定標 278
/ 習題與解答 279 / 補充題 288

第十四章 拉氏轉換方法 291

1. 導論 291 / 2. 拉氏轉換 291 / 3. 常用函數的拉氏轉換 292
/ 4. 初值定理與終值定理 294 / 5. 部份分式展開 296 / 6. S - 頻
域電路 298 / 習題與解答 299 / 補充題 311

第十五章 狀態變數分析法 317

1. 導論 317 / 2. 網路拓撲學 317 / 3. 狀態方程式 (一般式)
318 / 4. 狀態矩陣微分方程式 321 / 5. 矩陣方程式的解 321 /
習題與解答 324 / 補充題 330

第十六章 耦合電路與變壓器 335

1. 自感與互感 335 / 2. 耦合線圈之分析 336 / 3. 電導耦合等效
電路 338 / 4. 耦合係數 339 / 5. 線性變壓器 340 / 6. 理想變
壓器 343 / 習題與解答 346 / 補充題 356

附錄 A 平均值與有效值 363

附錄 B 複數系統 367

附錄 C 矩陣與行列式 371

索 引 379

第一章

導論

1.1 單位

本書所用之單位為國際單位系統 (International System of Units, 簡稱 SI) , 此系統由九個基本單位所建立 (列於表 1-1) , 據此, 所有之單位皆可經由這些基本單位導出。表中之符號皆以小寫字母表示, [除非此單位名稱為一獨立之人名, 例如安培 (A), 凱文 (K)] 。另外, 當單位名稱須用複數表示時, 則以英文適用之文法即可, 例如, henries 為 henry 之複數。

表 1-1

數 量	單 位	符 號
長 度	公 尺	m
質 量	公 斤	kg
時 間	秒	s
電 流	安 培	A
溫 度	凱 文	K
物質數量	莫 耳	mol
發光強度	燭 光	cd
平面角	徑 度	rad
立體角	立體徑度	sr

表 1-2

數 量	單 位	符 號
電 荷	庫 倫	C
電 位	伏 特	V
電 阻	歐 姆	Ω
電 導	西 蒙	S
電 感	亨 利	H
電 容	法 拉	F
頻 率	赫 茲	Hz
力	牛 頓	N
能, 功	焦 耳	J
功 率	瓦 特	W
磁通量	韋 伯	Wb
磁場強度	泰 拉	T

電路理論中常用的單位如表 1-2 所示, 在本章中將一一介紹這些單位, 至於其他的單位, 在必要的時候也將予以解釋。

SI 系統的十進位之因數符號經常被使用, (表 1-3) , 在使用時, 將表 1-3 的因數字首置於表 1-1 及表 1-2 的符號前面即可, 例如, mm 即表示 millimeter (毫米, 10^{-3} m), 而 MW 即表示 megawatt, (百萬瓦, 10^6 W) 。

表 1-3

因 數	字 首	符 號
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p

1.2 力，功，功率

一般來說，導出的單位乃是由相關的單位所組成的數學式子。例如，“力等於質量乘加速度”。所以，**牛頓力 (newton force)** 乃定義為：使一公斤質量物體產生每秒平方一公尺加速度的非平衡力，也就是， $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ 。

功是由一力作用一段距離所產生，一焦耳的功相當於 1 牛頓·米： $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。功與能量有相同的單位，因此；貯存於電容的能量可以用焦耳來表示。

功率乃是作功的速率，也可解釋為能量改變的速率，功率的導出單位如瓦特 (W) 為每秒一焦耳 (J/s)。例如，在 2 分鐘內以 3 N 的力量將物體舉高 2 公尺 (增加了位能)，則平均功率為：

$$\frac{6 \text{ J}}{120 \text{ s}} = 0.05 \text{ W}$$

1.3 電流及電荷

電流之基本單位為安培 (A)，其定義為：以此固定電流作用真空中二個距離一公尺的平行圓切面導體，則將產生每公尺 2×10^{-7} 牛頓的力。當然，電流乃是由電荷移動所造成，而一安培為每秒中有一庫倫的電量通過一固定區域，以此方式來定義，則電荷的導出單位，庫倫 (C) 乃相當於安培·秒： $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ 或 $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$ 。(注意，移動的電荷可能是正的，也可能是負的)。流體中可能含有正離子 (如圖 1-1(a))，若正離子往左移動而以每秒一庫倫的速率流經 B 平面，則此流體的電流便為一安培 (方向向左)。同樣的，若負離子往右移動的速率為每秒一庫倫，則電流亦為一安培 (方向向右，如圖 1-1(b))。更引人興趣的是金屬導體之電流 (如圖 1-1(c))，此類導體的原子皆固定在晶體結構上，原子核中帶正電的質子被帶負電的电子

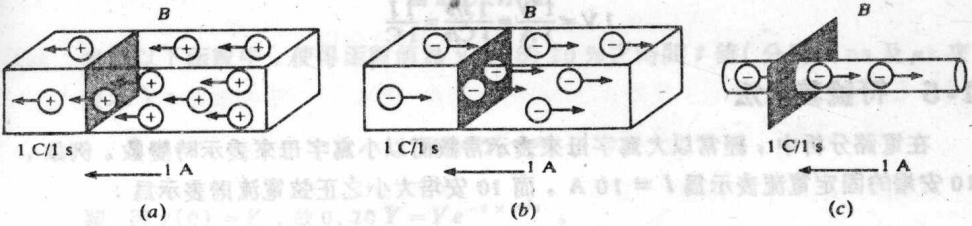


圖 1-1

所圍繞。而且，良好導體的原子結構必有一個或二個電子分佈於原子核的外層軌域上，而其餘電子則鎖定於靠近原子核的內層軌域中。外層之電子可在原子間自由的移動。然而，由於庫倫力的作用，電子不可能堆積在一個區域內，所以，在正常情況下，一條銅線大約每立方公尺會包含有 8.5×10^{28} 個電子，而且，這些電子會在原子間自由移動。電子的電荷量為： $-e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，因此，就電流為 1 A 的導體而言，每秒中應有 6.24×10^{18} 個電子通過某一固定截面。

1.4 電 位

電場中的電荷力可以使帶電粒子加速，此處引人興趣的是逆著電場方向移動所作的功，在圖 1-2 中，電荷 Q 受到電場力 F 及大小相同方向相反的作用力 F_e 所作用，當電荷移至位置 1 時需要作功，若 Q 為一庫侖且 F_e 所作的功為一焦耳，則我們可說：位置 1 相對於位置 0 的電位為正 1 伏特 (one volt positive)，也就是， $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$ 。

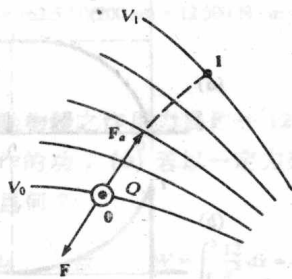


圖 1-2

事實上，伏特也經常被定義為：沿一帶 1 安培固定電流之導體的二點之電位差（此二點間的消耗功率為 1 瓦特）。功率乃是電流與電壓差的乘積， $p = vi$ 或 $v = p/i$ 。因此

$$1 \text{ V} = \frac{1 \text{ W}}{1 \text{ A}} = \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ C/s}} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$$

1.5 符號表示法

在電路分析中，經常以大寫字母來表示常數而以小寫字母來表示時變數。例如，10 安培的固定電流表示為 $I = 10 \text{ A}$ ，而 10 安培大小之正弦電流則表示為：

$$i = (10 \text{ A}) \sin \omega t \quad \text{或} \quad i = 10 \sin \omega t \quad (\text{A})$$

在正常情況下，本書採用第二種表示法；其中， i 的單位是安培 (A)， ω 的單位是 rad/s ，而 t 的單位是秒 (s)。

1.6 連續及不連續函數

在電路中，分支電流乃是移動電荷的一次微分， $i = dq/dt$ （關於這點，第二章將更詳細解釋）。但是，電荷是由電子所攜帶，而電子不能突然的出現或消失，例如，在圖 1-3 中，分支電流 i 出現於連接在電容（電荷量為 q ）的導體上，今若在時間為 $0 < t < t_1$ 的區間內，電荷的增加情況如圖 1-4 (a)，則電流便如圖 1-4 (b) 所示。當時間由 t_1 至 t_2 時，電荷保持定值，所以電流為零，而在 $t_2 < t < t_3$ 時，電荷 q 以固定速率下降至零，所以，電流為負的常數。在 $t = 0, t_1, t_2$ 時，電流為不連續 (discontinuous) 函數（因為，在此瞬間， $i(t^-) \neq i(t^+)$ ）。相對的，電荷函數則一定是連續的 (continuous)，因為，電荷的數量不可能瞬間的出現或消失，電子可能以快速的速率移動，但速率絕不可能為無窮大。

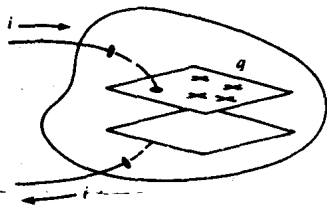


圖 1-3

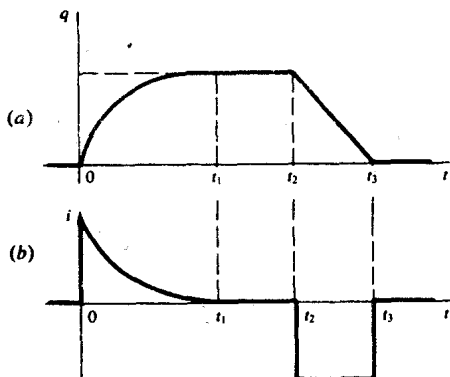


圖 1-4

習題與解答

- 1.1 求出以下函數中，使得函數值為 $y(0)$ 的 20 % 之時間 t 值（分別以 ns 及 μ s 來表示）：

$$y(t) = Y e^{-8 \times 10^5 t}$$

圖 因 $y(0) = Y$ ，故 $0.20 Y = Y e^{-8 \times 10^5 t}$ 。

根據自然對數的定義可知：

$$t = 2.01 \times 10^{-6} \text{ s} = 2010 \text{ ns} = 2.01 \mu\text{s}$$

- 1.2 一穩態之阻抗 Z 可表為：

$$Z = [(10.5)^2 + (2\pi f 4 \times 10^{-5})^2]^{1/2} \quad (\Omega)$$

其中 f 為頻率（單位為 Hz），則在頻率為 9.95 kHz 及 3.20 MHz 時，分別求出 Z 值。

圖

$$\{(10.5)^2 + [2\pi(9.95 \times 10^3)4 \times 10^{-5}]^2\}^{1/2} = 10.79 \Omega$$

$$\{(10.5)^2 + [2\pi(3.20 \times 10^6)4 \times 10^{-5}]^2\}^{1/2} = 30.24 \Omega$$

- 1.3 在簡單的直線運動中，一 2.5 公斤物體的加速度為 25 m/s^2 ，則：(a) 求作用力 F ，(b) 若開始時，物體是靜止於 $x = 0$ 處，則求出 4 秒鐘後，物體的位置及其功能。

圖 (a) $F = ma = (2.5 \text{ kg})(25 \text{ m/s}^2) = 62.5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 62.5 \text{ N}$

(b) $x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(25 \text{ m/s}^2)(4 \text{ s})^2 = 200 \text{ m}$

再根據功與能的關係，可知：

$$\text{KE} = Fx = (62.5 \text{ N})(200 \text{ m}) = 12500 \text{ N} \cdot \text{m} = 12500 \text{ J}$$

或 12.5 kJ。

- 1.4 作用於沿 x 軸方向移動物體之作用力為 $F = 12/x^2$ (N)，則：(a) 求在 $1 \text{ m} \leq x \leq 3 \text{ m}$ 區間內所作的功，(b) 若以一定力來作用於物體，在相同區間內作一樣的功，則此定力為何？

圖 (a) $dW = F dx$ 故 $W = \int_1^3 \frac{12}{x^2} dx = 12 \left[\frac{-1}{x} \right]_1^3 = 8 \text{ J}$

(b) $8 \text{ J} = F_c(2 \text{ m})$ 或 $F_c = 4 \text{ N}$

- 1.5 一導體中流動的固定電流為 5 安培，則在一分鐘內有多少電子流經一固定點？

圖

$$5 \text{ A} = (5 \text{ C/s})(60 \text{ s/min}) = 300 \text{ 電子 / min}$$

6 第一章 導 論

$$\frac{300 \text{ C/min}}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C/電子}} = 1.87 \times 10^{21} \text{ 電子/min}$$

- 1.6 在一固定的電路中，移動 $0.5 \mu\text{C}$ 的電荷自一點到另一點所需作功為 $9.25 \mu\text{J}$ ，則二點間的電位差為何？

圖

$$1 \text{ 伏特} = 1 \text{ 焦耳 / 庫侖} \quad V = \frac{9.25 \times 10^{-6} \text{ J}}{0.5 \times 10^{-6} \text{ C}} = 18.5 \text{ V}$$

- 1.7 在一電阻器中，電能轉換成熱能的速率為 7.56 kJ/min ，而流經電阻的電流為 270 C/min ，則橫跨於電阻二端的電位差為何？

圖 根據 $P = VI$ ，

$$V = \frac{P}{I} = \frac{7.56 \times 10^3 \text{ J/min}}{270 \text{ C/min}} = 28 \text{ J/C} = 28 \text{ V}$$

- 1.8 一固定電路元件的電流為 $i = 2.5 \sin \omega t$ (mA)，其中 ω 為角頻率，(rad/s)，而二端之電位差為 $v = 45 \sin \omega t$ (V)，則求出平均功率 P_{avg} 及一週期內貯存的能量 W_T 。

圖 能量乃是瞬間功率的時間積分，故：

$$W_T = \int_0^{2\pi/\omega} vi \, dt = 112.5 \int_0^{2\pi/\omega} \sin^2 \omega t \, dt = \frac{112.5\pi}{\omega} \text{ (mJ)}$$

平均功率為：

$$P_{\text{avg}} = \frac{W_T}{2\pi/\omega} = 56.25 \text{ mW}$$

注意： P_{avg} 與 ω 無關。

- 1.9 電力公司所經常使用的能量單位為仟瓦 - 小時 (kWh)，則 (a) 1 kWh 為多少焦耳？(b) 一 650 W 之彩色電視機自下午 7 點打開至下午 11 點半，則消耗之能量為多少？(分別以 MJ 及 kWh 表示)

圖 (a)

$$1 \text{ kWh} = (1000 \text{ W})(1 \text{ h}) = (1000 \text{ J/s})(3600 \text{ s}) = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

或 3.6 MJ 。

(b)

$$(650 \times 10^{-3} \text{ kW})(4.5 \text{ h}) = 2.93 \text{ kWh}$$

且

$$(2.93 \text{ kWh})(3.6 \text{ MJ/kWh}) = 10.5 \text{ MJ}$$

- 1.10 圖 1-5 (a) 中為進入一電路元件的電流圖形，則求出此電流對電器元件的充電量 (假設電路元件開始時並未充電)。

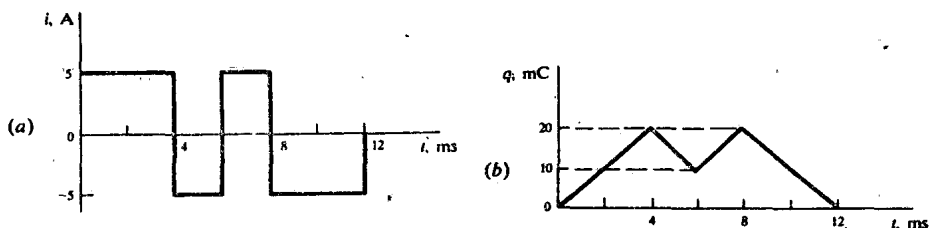


圖 1-5

圖 根據 $i = dq/dt$ 及 $q(0) = 0$,

$$q = \int_0^t i dt$$

i 對時間的積分值可以用圖解法，由圖 1-5(a) 中 0 至 t 間的曲線覆蓋面積求得，其結果如圖 1-5(b) 所示。注意：即使 i 不為連續函數，但 q 也必是連續函數，並注意：因 i 的圖形對 $t = 6$ ms 為奇對稱，故 q 的圖形亦對稱於此點。

補充題

1-11 求出以下之時間（以 μs 及 ms 表示），使得：

$$v = 250(1 - e^{-2 \times 10^3 t}) \text{ (V)}$$

的函數值為 97.5 V。

圖 247 μs , 0.247 ms

1-12 求出以下之時間（以 μs 及 ns 表示），使得正弦電壓 $v = V_m \sin \omega t$ 產生第一次的最小值（最負值）。其中， $V_m > 0$ 且 $\omega = 2\pi \times 10^6$ rad/s。

圖 0.75 μs , 750 ns

1-13 求出以下之功及功率，使得 3.5×10^{-2} 公斤之物體在 7.5×10^{-4} 牛頓的作用之下，於 14 秒內移動了 2 米。

圖 1.5 mJ , 0.107 mW

1-14 求出以下之功及功率，使得一 5 公斤物體沿 30° 的無摩擦斜面上，於 3.5 秒內移動了 2 米距離。

圖 49.0 J , 14.0 W

1-15 電動馬達之功率單位為馬力（hp，相當於 746 W），則一個 5 馬力的馬達在 2 小時