

第一章

電路基本概念與分析





私塾重點提示區

一、前言

本章最主要的目的，在於說明讀者準備電子電路時所必備的基本電路觀念與線性理論。為了能引導讀者於後續章節中對於電子元件與半導體元件之電路分析所需引用的電路原理能有較清楚的認知，本章將讓讀者以循序漸進的方式融會貫通本書精要。

二、應考重點

本章在初等考試與五等特考中最常考的重點包括：(一) 基本電路特性；(二) 電容與電感的基本特性；(三) 應用克希荷夫定律來解直流電路；(四) 含電容與電感的暫態電壓與電流；(五) 含相依電源的電路；(六) 雙埠網路。

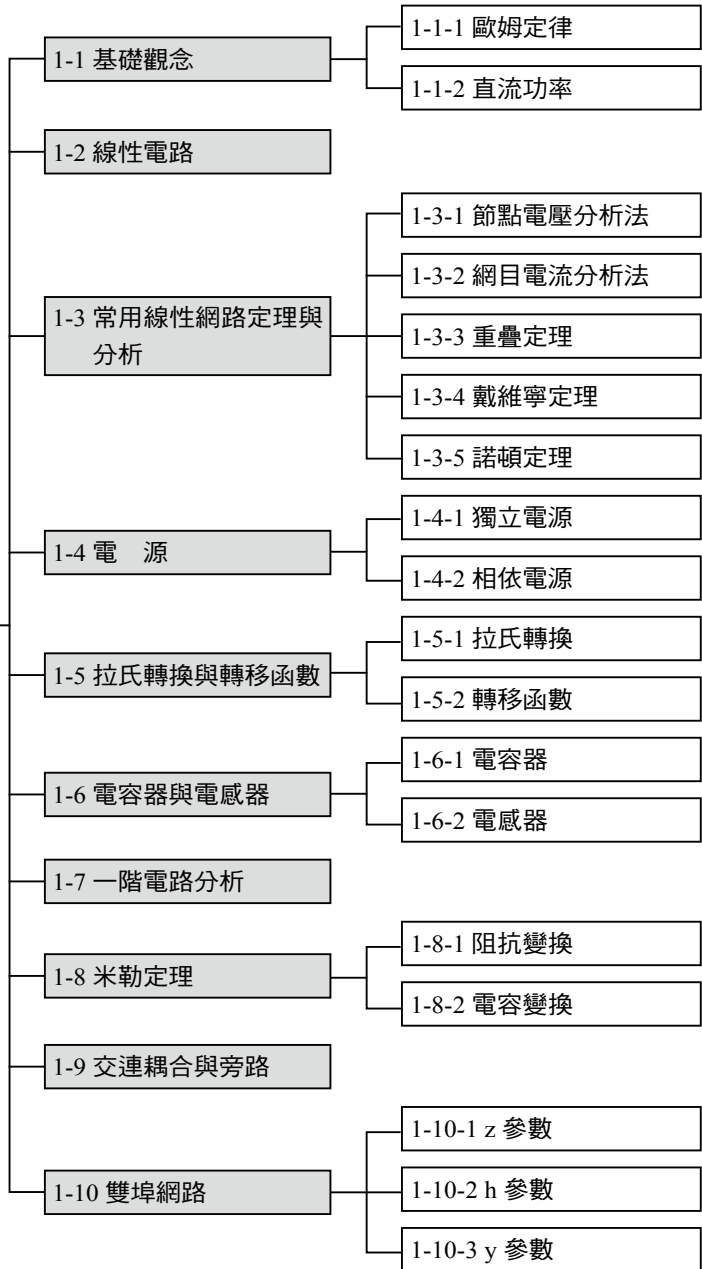
三、初考與五等特考分析

初考	特考地方政府 公務人員考試	特考身心 障礙人員考試	特考原住 民族考試
h 參數、米勒電容效應、電壓放大器、基本電容觀念、信號耦合與旁路，以上主題於近十年初等考試之出題比例佔 70% 以上。	米勒效應、電容頻率響應、轉移函數、電路直流功率分析、重疊定理、電壓源與電流源轉換、最大功率轉移、相依電源，以上主題於近十年五等特考地方政府公務人員考試中之出題比例佔 80% 以上。	本章於近十年特考身心障礙人員考試中所佔比例不多，有出過獨立電壓源與電流源、電容頻率響應等主題。	本章於近十年特考原住民族考試中出題比例不高，只出過電容頻率響應相關主題。



大綱

第一章 電路基本概念與分析





內文教學區



1-1 基礎觀念

1-1-1 歐姆定律

一塊一定長度的均勻導電材料其兩端的電壓降為 V ，則該電壓降為通過截面積 S 的電流 I 與導電材料兩端點間的電阻值 R 的乘積，即 $V = I \times R$ (volts)，稱為歐姆定律。

1-1-2 直流功率

直流功率以焦耳定律 $P = I \times V$ (watt) 來求得，其單位為每秒消耗多少焦耳的能量，可用 P (watt) = $\frac{W(\text{joule})}{t(\text{s})}$ 來換算，且代入歐姆定律可以得到：

$$P = \frac{W}{t} = IV = I^2R = \frac{V^2}{R} \quad (1-1)$$



1-2 線性電路

一個電路若符合線性 (linearity)，則須同時滿足兩個條件：1. 齊次性 (homogeneous)；2. 可加性 (additive)。

假設系統的輸入信號為 $x(t)$ 且系統輸出信號為 $y(t)$ ，如圖 1-1 所示，當輸入信號 $x(t)$ 放大 T 倍而成為 $T \cdot x(t)$ ，則輸出信號也將以相同比例放大 T 倍而成為 $T \cdot y(t)$ ，此謂齊次性。

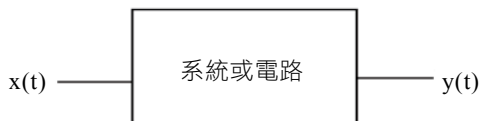


圖 1-1 線性電路／系統概念圖



兩個（含以上）不同的輸入信號為 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 分別具有不同的輸出信號 $y_1(t)$ 和 $y_2(t)$ ，如果將兩個輸入信號相加而成為 $x_1(t) + x_2(t)$ ，則必可得到 $y_1(t) + y_2(t)$ 的輸出結果，此謂可加性。

同時滿足兩個線性條件的電子元件稱之為線性元件（電子元件兩端點的電壓與電流之 $V-I$ 特性曲線為線性），而由線性元件所組成的電路稱之為線性電路。

電子電路中常見的線性元件為電阻、電容、電感、獨立電壓（流）源，常見的非線性元件為二極體、雙極性接面電晶體、場效電晶體。

例 1-1

圖 1-2 電路中，若 $V = 3V$ ， $R_1 = 2\Omega$ ， $R_2 = 4\Omega$ 。試求圖 1-2 中 R_1 上的電壓。若獨立電壓源為原來的三倍，試求 R_1 上的電壓變化。並請說明 R_1 的功率變化。

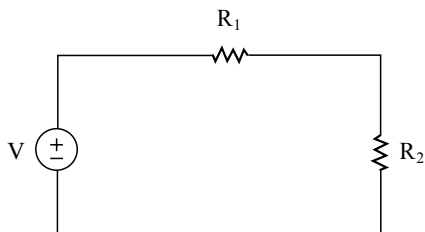


圖 1-2 例 1-1 電路

【解】

根據分壓原理， R_1 上的跨壓 V_1 為 $V_1 = V \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ，所以 $V_1 = 1V$ 。

若 V 增為原來的三倍變成 $9V$ ，則 $V_1 = 3V$ （請依照線性原理思考可快速得解）。

由以上可知， V_1 由 $1V$ 變為 $3V$ ，根據 $P = \frac{V^2}{R}$ ，則 $P_{(R_1)}$ 由 $0.5W$ 變為 $4.5W$ 。



1-3 常用線性網路定理與分析

1-3-1 節點電壓分析法

根據能量守恆原理，在一保守系統中能量不會憑空消失，它只會轉換成別種形式的能量，基於這種概念，則淨流入電路中某節點的電流等於淨流出某節點的電流。如圖 1-3 所示， $I_1 = I_2 + I_3$ ，換句話說， $-I_1 + I_2 + I_3 = 0$ ，亦即淨流入某節點的電流和為 0 ($I_1 - I_2 - I_3 = 0$) 或淨流出某節點的電流和為 0 ($-I_1 + I_2 + I_3 = 0$)。節點電壓分析法可以藉由節點電壓來求得流進／出此點的電流。

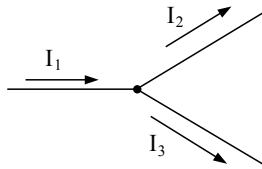


圖 1-3 電路節點與分流

1-3-2 網目電流分析法

在電路中任何一個最小的封閉迴路皆可稱為網目，網目電流所流經的元件之電壓升降和為 0。如圖 1-4 所示，另方程式則為：

$$\begin{cases} -V + I_1 Z_1 + (I_1 - I_2) Z_3 = 0 \\ I_2 Z_2 + I_2 Z_4 + (I_2 - I_1) Z_3 = 0 \end{cases} \quad (1-2)$$

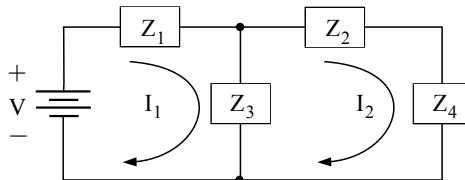


圖 1-4 網目電流範例

1-3-3 重疊定理

若電路中含有數個獨立電源，則各電路元件的零態響應（初始值為零）為各個獨立電源施加在該元件的零態響應之總和，稱之重疊定理。



重疊定理只能應用在線性網路或操作在線性區的非線性網路，許多包含非線性元件（如 BJT、FET 或二極體）的網路都有機會應用重疊定理來分析。

例 1-2

如圖 1-5 所示電路，流經電阻 R 的電流為： (94 地特)

- (A) $\frac{V_O}{R}$ (B) I_O (C) $\frac{V_O}{R} + I_O$ (D) $\frac{V_O}{R} - I_O$

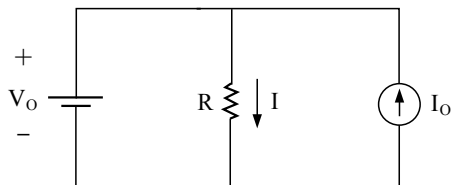


圖 1-5 例 1-2 電路

【解】

考慮 V_O 的響應時， I_O 開路，所以 $(V_O/R) = I$ ；當考慮 I_O 的響應時，電壓源 V_O 短路，所以 R 被短路使得 $I = 0A$ 。綜合 V_O 和 I_O 對 R 造成的電流，所以

$$I = \frac{V_O}{R}。$$

【注意】

當電路中有超過一個以上的電源時，若要應用重疊定理來求分壓或分流，當一次考慮一個電源的效應時，其他的電壓源短路且電流源開路。

1-3-4 戴維寧定理

若要簡化一個複雜網路，可從求出 a-b 端看入的開路電壓—戴維寧等效電壓 V_T ，並且令 a-b 端看入的網路之獨立電源為 0 而看到的電阻和一戴維寧等效電阻 R_T 。如圖 1-6 所示，其中戴維寧等效電壓 $V_T = V_{ab}$ ，戴維寧等效電阻 $R_T = R_{ab}$ 。

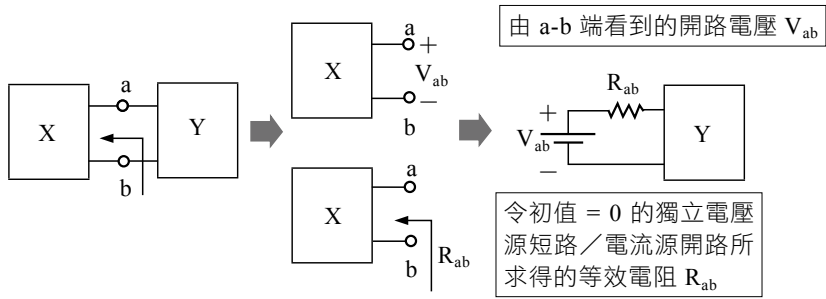


圖 1-6 戴維寧定理

1-3-5 諾頓定理

若要簡化一個複雜網路，可從求出 a-b 端看入的短路電流—諾頓等效電流 i_N ，並且令 a-b 端看入的網路之獨立電源為 0 而看到的電阻和一諾頓等效電阻 R_N 。

如圖 1-7 所示，其中諾頓等效電流 $i_N = I_{ab}$ ，諾頓等效電阻 $R_N = R_{ab}$ 。

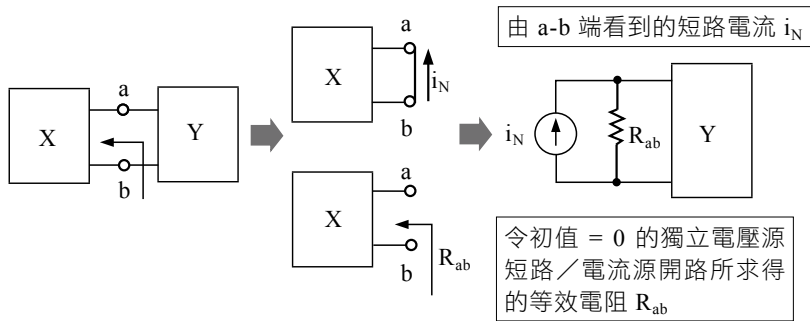


圖 1-7 諾頓定理

例 1-3

如圖 1-8 所示電路，試求出由 a-b 端看入的左側戴維寧等效電路。

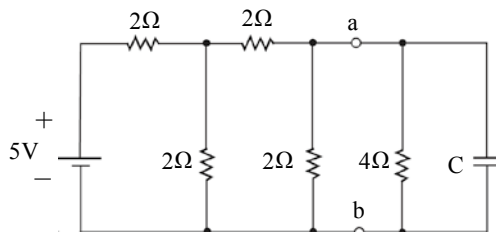


圖 1-8 例 1-3 電路



【解】

如圖 1-9 所示，由 a-b 端看入的戴維寧等效電阻可由先將 5V 電壓源短路後，由 a-b 端看入的等效電阻。

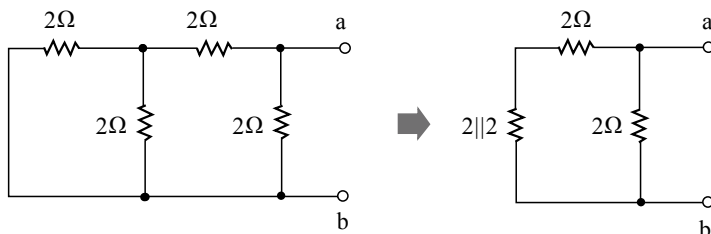


圖 1-9 戴維寧等效電阻

所以戴維寧等效電阻為 $R_T = [(2 // 2) + 2] // 2 = 1.2\Omega$ ，而戴維寧等效電壓可由 a-b 端看入的 2Ω 電阻上的分壓求得，故 $V_T = 5 \frac{2}{2+3} = 2V$ 。



1-4 電 源

電源可分成獨立電源與相依電源兩種，如下所述：

1-4-1 獨立電源 (independent source)

(1) 理想電壓源

理想電壓源內阻 R_S 為零，亦即電壓源兩端的電壓不會受到外部電路影響。如圖 1-10 所示：

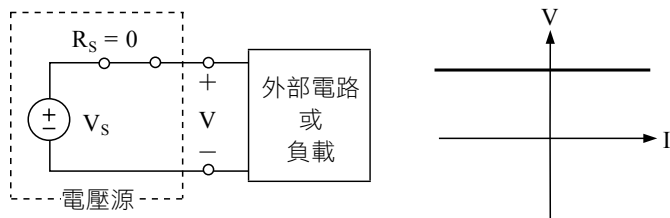


圖 1-10 理想電壓源



(2) 理想電流源

理想電流源內阻 R_S 為無窮大，亦即電流源兩端的電流不會受到外部電路影響。如圖 1-11 所示：

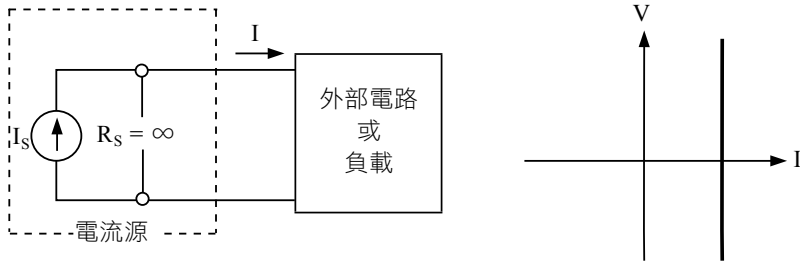


圖 1-11 理想電流源

1-4-2 相依電源 (dependent source)

電路中若有電壓源／電流源是電路中其他元件的電壓降或流經之電流的倍數，此稱為相依電源。相依電源受外部電路的影響很大，某些電子元件的內部等效模型也包含相依電源，如 BJT 或 FET。圖 1-12 所示，其中 A 和 B 為整數倍數，且 $A \cdot V_2$ 為相依電壓源， $B \cdot I_3$ 為相依電流源。

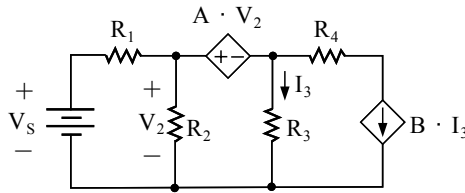


圖 1-12 相依電源

例 1-4

如圖 1-13 所示電路，若相依因素—轉導 $g_m = 2A/V$ ，試求由相依電流源所造成的輸出電壓 V_O 為多少？

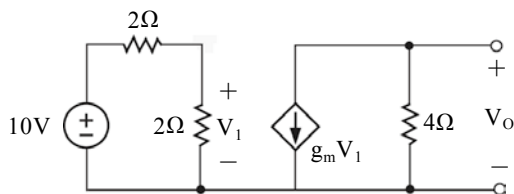


圖 1-13 例 1-4 電路

【解】

$$\text{如圖 1-13 所示電路，} V_1 = 10 \frac{2}{2+2} = 5\text{V}$$

$$\therefore V_0 = (-g_m V_1) \cdot 4$$

$$\text{故 } V_0 = (-2 \times 5) \cdot 4 = -40\text{V} \circ$$



1-5 拉氏轉換與轉移函數

1-5-1 拉氏轉換 (laplace transform)

拉氏轉換的基本定義如 1-3 式所示：

$$\mathcal{L}[x(t)] = X(s) = \int_{0^-}^{\infty} x(t) e^{-st} dt \quad (1-3)$$

拉氏轉換微分性質如 1-4 式所示：

$$\mathcal{L}\left[\frac{dx(t)}{dt}\right] = sX(s) - x(0^-) \quad (1-4)$$

拉氏轉換積分性質如 1-5 式所示：

$$\mathcal{L}\left[\int_{0^-}^{\infty} x(\tau) d\tau\right] = \frac{X(s)}{s} \quad (1-5)$$

單位步階函數 (unit step function) 如圖 1-14 所示，其拉氏轉換如 1-6 式所示：

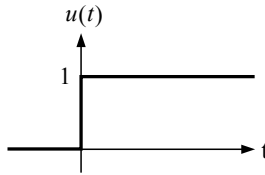


圖 1-14 單位步階函數

$$\mathcal{L}[u(t)] = \frac{1}{s} \quad (1-6)$$

指數函數（大於 $t = 0$ ）的拉氏轉換如 1-7 式所示：

$$\mathcal{L}[e^{-at} u(t)] = \frac{1}{s+a} \quad (1-7)$$

正弦函數（大於 $t = 0$ ）的拉氏轉換如 1-8 式所示：

$$\mathcal{L}[\sin \omega t \cdot u(t)] = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \quad (1-8)$$

餘弦函數（大於 $t = 0$ ）的拉氏轉換如 1-9 式所示：

$$\mathcal{L}[\cos \omega t \cdot u(t)] = \frac{s}{s^2 + \omega^2} \quad (1-9)$$

1-5-2 轉移函數 (transfer function)

轉移函數是令初始值為零時，系統輸出信號的拉氏轉換與系統輸入信號的拉氏轉換之比值，通常轉移函數常以 $H(s)$ 或 $T(s)$ 表示：

$$T(s) = \frac{\mathcal{L}[X_{out}(t)]}{\mathcal{L}[X_{in}(t)]} \Big|_{\text{initial}=0} \quad (1-10)$$

其中 X_{out} 為系統輸出信號（電壓或電流）， X_{in} 為系統輸入信號（電壓或電流）。轉移函數 $T(s)$ 的分子為零的點稱為零點（zero），使得 $T(s) = 0$ ；分母為零的點稱為極點（pole），使 $T(s) = \infty$ 。



重點整理區

1. 直流功率： $P = \frac{W}{t} = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$ 。
2. 節點電壓分析法與網目電流分析法的活用。
3. 重疊定理。
4. 戴維寧等效電壓、諾頓等效電流與戴維寧（諾頓）等效電阻的等效。
5. 含有相依電壓源與相依電流源的電路之分析。
6. 以拉氏轉換求含有電容與電感的電路之轉移函數。
7. 含有一個電容或電感的一階電路分析（含開關暫態分析）。
8. 以米勒定理做橫跨輸入埠與輸出埠的電容與電阻之簡化。
9. 交連與旁路電容概念的應用。
10. z 參數、 h 參數與 y 參數的雙埠網路參數運算與應用。
11. 理想電壓源與理想電流源的輸入阻抗和輸出阻抗。
12. 轉移函數之零點與極點求解。

實力養成區

一、選擇題

- () 1. 雙極性接面電晶體小信號 h 參數 h_{oc} 之單位為何？
 (A) 電壓增益，無單位 (B) 電流增益，無單位
 (C) V/A (D) A/V (98 初)
- ▶▶【提示】
 參考本章 1-10-2。
- () 2. 下列有關米勒效應（Miller Effect）之敘述，何者正確？
 (A) 輸入端等效電容正比於（1-兩端電壓增益）
 (B) 輸入端等效電容反比於偏壓電流

1.D 2.A



- (C) 輸出端等效電容反比於兩端電壓增益
(D) 輸出端等效電容正比於偏壓電流 (98 初)

▶▶【提示】

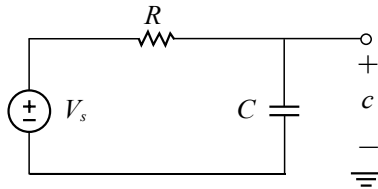
參考本章 1-8。

- () 3. 將電容值 C 的電容跨接增益為 $-A$ 的放大器輸出及輸入，其等效輸入米勒 (Miller) 電容值為何？ ($A, C > 0$)
(A) $C(1 + A)$ (B) $C(1 - A)$
(C) $C(1 + 1/A)$ (D) $C(1 - 1/A)$ (91 初、93 地特)

▶▶【提示】

參考本章 1-8。

- () 4. 下圖中，當頻率趨近於 ∞ 時，電容上的電壓將等於：



- (A) 1 (B) 0
(C) ∞ (D) 1/2 (93 原特)

▶▶【提示】

參考本章 1-6-1。

- () 5. 理想的電壓源及電流源的內阻分別為何？
(A) 0；0 (B) 無窮大；0
(C) 0；無窮大 (D) 無窮大；無窮大 (92 身特)

▶▶【提示】

參考本章 1-4-1。

- () 6. 一理想電壓放大器的輸入阻抗及輸出阻抗分別為何？
(A) 0；0 (B) 0；無限大
(C) 無限大；0 (D) 無限大；無限大 (92 身特、93 初)

▶▶【提示】

參考本章 1-4-11。