

第一章

電路基本概念與分析

本章學習重點

1. 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。
2. 本章在初等考試與五等特考中最常考的重點包括：(1)基本電路特性；(2)電容與電感的基本特性；(3)應用克希荷夫定律來解直流電路；(4)含電容與電感的暫態電壓與電流；(5)含相依電源的電路；(6)雙埠網路。

壹 基礎觀念

一、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。

二、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 $P(\text{watt}) = \frac{W(\text{joule})}{t(\text{s})}$ 來換算，且代入歐姆定律可以得到：

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

上榜關鍵 ★★★

歐姆定律是電子電機領域最重要的公式，請熟記！

上榜關鍵 ★

焦耳定律及其換算（式1-1）在求任何與功耗相關的題目時特別重要！

貳 線性電路

一個電路若符合線性（linearity），則須同時滿足兩個條件：一、齊次性（homogeneous）；二、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。

上榜關鍵★

電路中哪些元件是線性／非線性，此為相當重要的觀念。

範例 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。

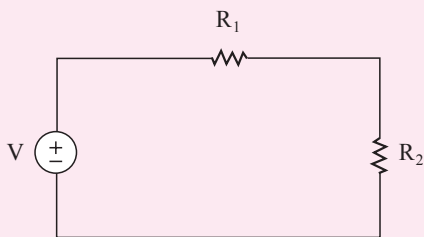


圖 1-2 例 1 電路

【解析】

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 $P_{(R1)}$ 由 $0.5W$ 變為 $4.5W$ 。

參 常用線性網路定理與分析

一、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。

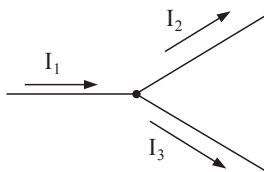


圖 1-3 電路節點與分流

上榜關鍵★

此為節點電壓分析法之核心觀念。

上榜關鍵★

節點電壓分析法常與 KCL 搭配使用在網路分析。

上榜關鍵 ★

此為網目電流分析法的核心觀念，常與 KVL 搭配，使用在網路分析。

二、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：

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

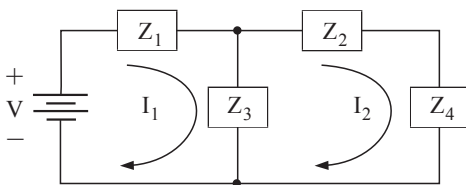


圖 1-4 網目電流範例

三、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。

上榜關鍵 ★★

重疊定理常應用在多電源電路分析。

範例 2

如圖 1-5 所示電路，流經電阻 R 的電流為：（94 地特）

- (A) $\frac{V_0}{R}$ (B) I_0 (C) $\frac{V_0}{R} + I_0$ (D) $\frac{V_0}{R} - I_0$

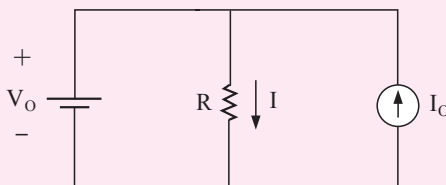


圖 1-5 例 2 電路

【解析】

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 $= \frac{V_O}{R}$ 。

【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。

四、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——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 $R_T = R_{ab}$ 。

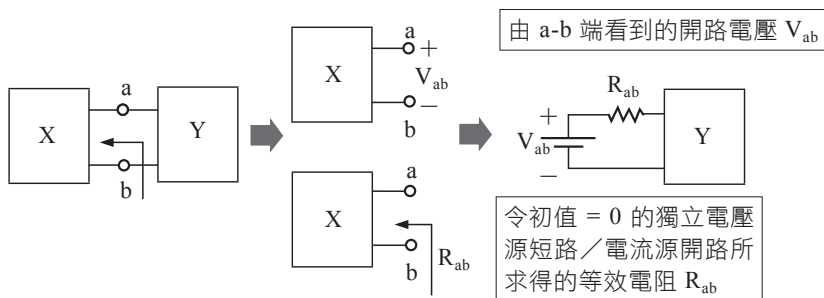


圖 1-6 戴維寧定理

上榜關鍵★

求出戴維寧等效電壓與電阻後，便可簡化複雜的網路。

上榜關鍵★

以等效電壓源來考慮戴維寧等效；以等效電流源來考慮諾頓等效。

五、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——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 $R_N = R_{ab}$ 。

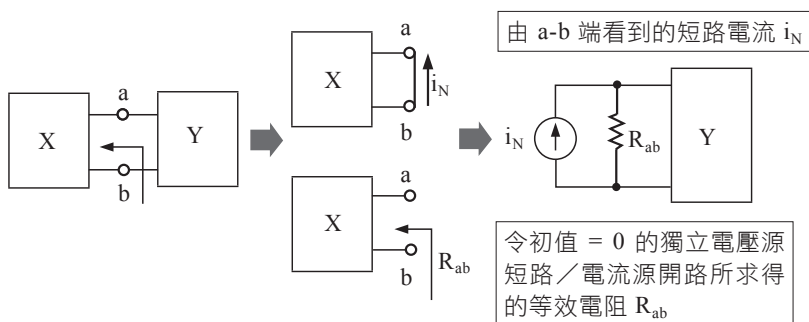


圖 1-7 諾頓定理

範例 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。

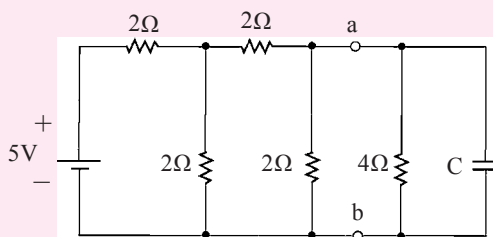


圖 1-8 例 3 電路

【解析】

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。

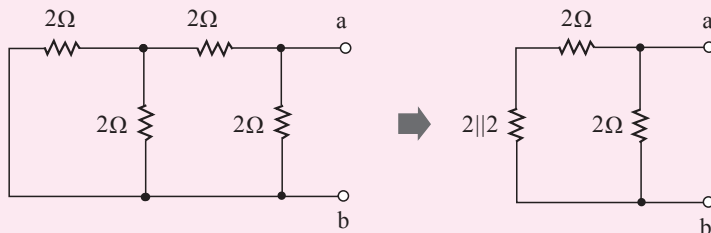


圖 1-9 戴維寧等效電阻

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

$$= 5 \left[\frac{(2 // 4)}{(2 // 4) + 2} \right] \times \frac{1}{2} = 1V。$$

肆 電 源

電源可分成獨立電源與相依電源兩種，如下所述：

一、獨立電源 (independent source)

(一) 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：

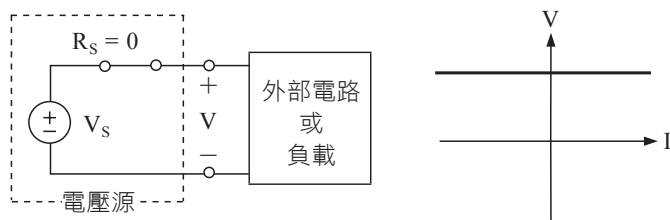


圖 1-10 理想電壓源

(二) 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：

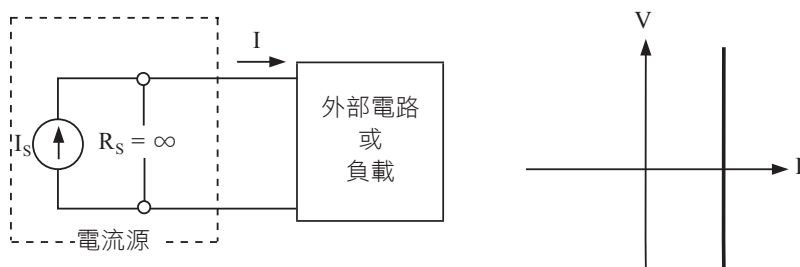


圖 1-11 理想電流源

二、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。

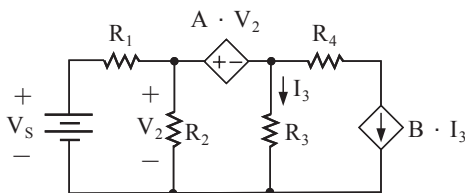


圖 1-12 相依電源

範例 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？

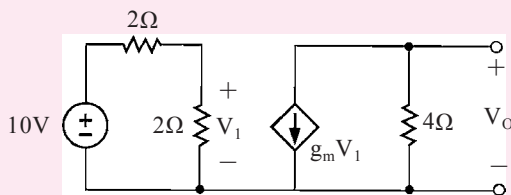


圖 1-13 例 4 電路

【解析】

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

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

故 $V_O = (-2 \times 5) \cdot 4 = -40V$ 。

伍 拉氏轉換與轉移函數

一、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：

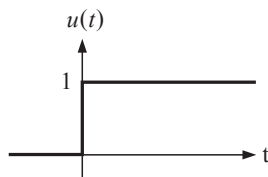


圖 1-14 單位步階函數

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

指數函數 (大於 $t = 0$) 的拉式轉換如 1-7 式所示：

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

正弦函數 (大於 $t = 0$) 的拉式轉換如 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 $t = 0$) 的拉式轉換如 1-9 式所示：

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

二、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 $T(s) = \infty$ 。

陸 電容器與電感器

一、電容器

電容量為 C 的電容器是一種利用任何形式的上、下極板與介電質來儲存電荷的裝置，電容器兩端的電壓 v 與電流 i 的關係為：

$$i(t) = C \frac{dv}{dt} \quad (1-11)$$

若 $\Delta t \rightarrow 0$ 且 $v(t-1)$ 將瞬間變為 $v(t)$ ，即 v 將瞬間改變則 $\frac{dv}{dt}$ 將變成無窮大，電流也將瞬間無窮大，這是不可能成真的，因此電容器兩端的電位差不可能瞬間改變。

電路中任何兩端點間的電壓與電流比稱之為兩端點間的阻抗（impedance），阻抗 (Z) 是電阻 (R) + 電抗 (X)；阻抗的倒數為導納（admittance），通常導納以 Y 表示。

若電源是弦波信號，當弦波穩態時則電容器的電壓落後電流 90° ，有兩種方式可表示電容的阻抗（簡稱容抗）與導納：

弦式穩態表示式—

$$\text{容抗：} Z_C = \frac{1}{j\omega C} \quad ; \quad \text{電容導納：} Y_C = j\omega C$$

拉式轉換表示式—

$$\text{容抗：} Z_C = \frac{1}{sC} \quad ; \quad \text{電容導納：} Y_C = sC$$