



串並聯電路

學習大綱

- 3-1 電路型態及其特性
- 3-2 電壓源及電流源
- 3-3 克希荷夫電壓定
- 3-4 克希荷夫電流定律
- 3-5 惠斯登電橋
- 3-6 Y- Δ 互換
- 3-7 本章內容摘要
- 3-8 課後習題

學習目標

1. 使學生瞭解電路型態及其特性
2. 使學生瞭解電壓源、電流源與互換
3. 能使用克希荷夫電壓定律計算電壓與電流
3. 能使用克希荷夫電流定律計算電壓與電流
3. 能瞭解惠斯登電橋原理，計算電壓與電流
3. 學生能使用 Y- Δ 互換，計算電壓與電流

3-1 電路型態及其特性

前面第二章已經介紹電壓、電流及可以計算一個電阻電流的歐姆定律，如圖 3-1a，本章開始則要進入簡單兩個電阻以上的串並聯電路。

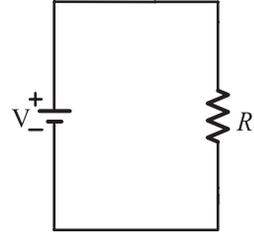


圖 3-1a 單一元件

電路型態

兩個以上的電阻的連結可以是串聯，如圖 3-1b，或並聯，如圖 3-1c。串聯是指所有元件循序頭尾魚貫連接，電流從一個元件流出、再流入另一元件。並聯是指所有元件共用輸入點與共用輸出點。串聯通常以 (+) 符號表示，並聯通常以 (//) 符號表示。例如，圖 3-1b 串聯總電阻是 (R_1+R_2) ；圖 3-1c 並聯總電阻是 $(R_1//R_2)$ ，以上電阻的計算將會在 3-2 與 3-3 節介紹。

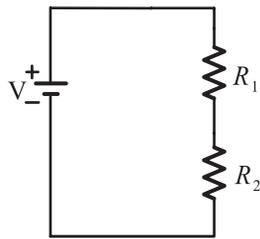


圖 3-1b 串聯電路

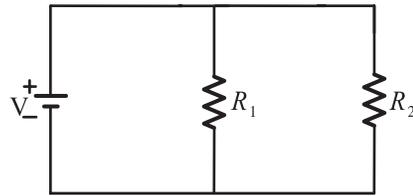


圖 3-1c 並聯電路

串聯電路的特性

串聯電路的特性如下：

- (1) 串聯電路各元件的電壓降之和，等於所有元件之電壓升總和。此為克希荷夫電壓定律，將會在 3-2 節介紹。
- (2) 串聯總電阻等於所有串聯電阻之和： $R_T=R_1+R_2+R_3 \cdots +R_N$ 。
- (3) 串聯的所有元件電流都相同。
- (4) 電阻值越大，其端電壓越大，此即為電壓分配定則。
- (5) 元件位置互換，以上所有性質不變。
- (6) 任一元件斷路，則所有元件都沒有電流。

以上特性，將會在 3-2 節克希荷夫電壓定律介紹。

並聯電路特性

並聯電路特性如下：

- (1) 並聯電路各元件的電壓降都相同。
- (2) 並聯總電阻等於所有並聯電阻倒數之和再倒數： $R_T = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \cdots + 1/R_N)$ 。
- (3) 並聯的所有元件流入的電流等於流出的電流之和 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 \cdots + I_N$ 。
- (4) 電阻值越大，流過的電流越小，此為電流分配定則。
- (5) 任一元件斷路，其它元件都可正常運作，家用電器都是並聯連接，所以任意電器故障，其它電器都是正常運作。

以上特性，將會在 3-3 節克希荷夫電流定律介紹。以下介紹一些電路基本名詞。

封閉迴路

前面的圖 3-1a、3-1b 都稱為封閉迴路，且只有一個封閉迴路，電流從電源正端出發，經由負載電阻，最後回到電池負端，此稱為封閉迴路。圖 3-1d 則有三個封閉迴路，分別是 loop1、loop2、loop3。（封閉迴路的應用，將會在 4-2 節介紹）

網目(mesh)

迴路內無其它迴路者稱為網目，如圖 3-1d 的 loop1、loop2 內無封閉迴路，所以又稱為網目。（網目的應用，將會在 4-2 節介紹）

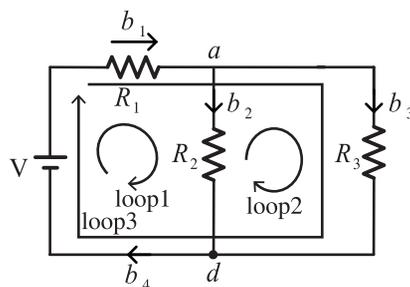


圖 3-1d 節點、分支及迴路

斷路(breaking)或開路(open circuit)

如圖 3-1e 的三個 R_2 稱為斷路或開路， R_2 均無電流。

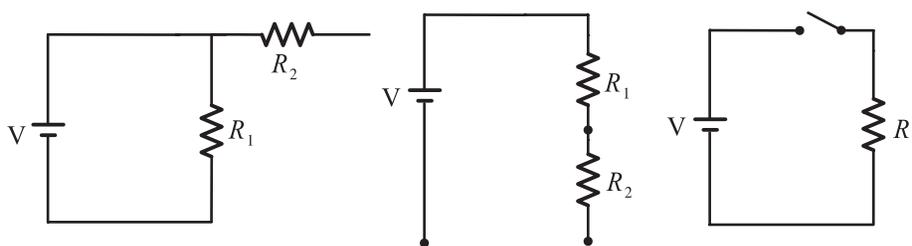


圖 3-1e 斷路或開路

§ 短路(short circuit)

如圖 3-1f 的兩個 R_1 稱為被短路，被短路的電阻不會有電流流過。電器的機殼都有接地線，如圖 3-1g，當機殼漏電（有可能機器碰撞或動物咬破火線，造成機殼接觸火線，此稱為漏電），當使用者碰觸機殼時才不會觸電（使用者有阻抗，就如同圖 3-1f 的 R_1 ，接地線就如圖 R_1 旁邊的導線，導線電阻遠低於 R_1 ，所以使用者不會有電流通過。

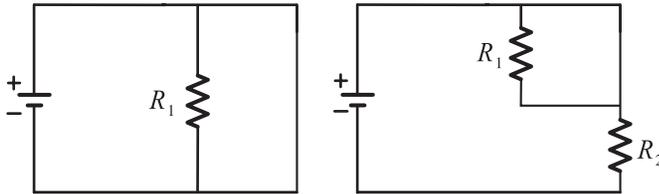


圖 3-1f 短路



圖 3-1g 電器機殼地線

§ 節點(node)

三個或三個以上元件連接的點，稱為節點，如圖 3-1d 中的節點 a 、 d 。

§ 支路(branch)

兩節點間的電路，稱為支路，如圖 3-1d 中的支路 b_1 、 b_2 及 b_3 。

範例3-1a

電路如圖 (1)，求 V_{ba} 、 V_{ca} 、 V_{da} 、 V_{bc} 、 V_{bd} 的電壓。

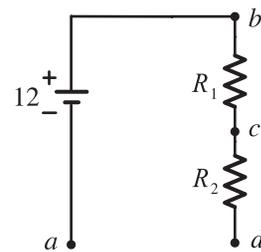


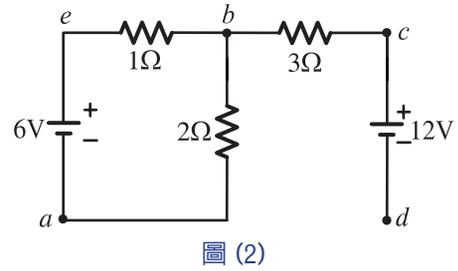
圖 (1)

解

因為此電路為開路， R_1 、 R_2 均無電流，所以 b 、 c 、 d 都是等電位， V_{ba} 、 V_{ca} 、 V_{da} 電壓都是 12V， $V_{bc}=0$ 、 $V_{bd}=0$ 。

自我練習

1. 電路如圖 (2) 。
 - (1) 求 V_{ba} 、 V_{ca} 、 V_{da} 的電壓？
 - (2) 求 1Ω 、 2Ω 、 3Ω 電阻的電流？
 - (3) 求 V_{cd} 、 V_{bd} 的電壓？
 - (4) 求 V_{eb} 、 V_{ec} 、 V_{ed} 、 V_{bc} 的電壓？



3-2 克希荷夫電壓定律

德國物理學家克希荷夫 (Gustav Robert Kirchhoff, 1824-1887) 研究電路學提出兩個有名的定律，分別為電壓定律及電流定律。首先介紹克希荷夫電壓定律 (Kirchhoff's voltage law, 以下簡稱 KVL), KVL 用於說明迴路上各元件電壓的關係——在任一封閉迴路中，電壓升與電壓降的總和為零 (電流由電壓源正極出發者為電壓升，電流由電壓源負極出發者為電壓降，電阻元件都是電壓降)。例如，圖 3-2a，由 KVL 得到 $E_1 + E_2 = V_1 + V_2 + V_3$ ，圖 3-2b，由 KVL 得到 $E_1 = E_2 + V_1 + V_2 + V_3$ 。

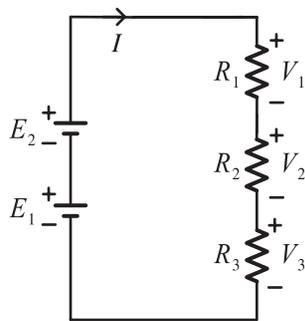


圖 3-2a 串聯電路

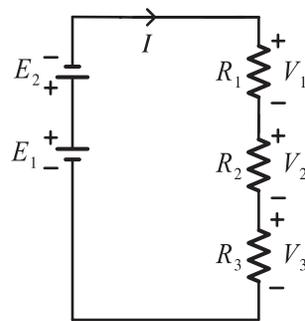


圖 3-2b 並聯電路

電路串聯與克希荷夫電壓定律

圖 3-2c 是 3 個電阻的串聯電路，由 KVL 得到

$$E = V_1 + V_2 + V_3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

由於串聯電路，電流都相同

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 \quad \dots\dots\dots(2) \quad \text{(公式3-1)}$$

將 (1) 式除以 (2)，得到

$$\frac{E}{I_T} = \frac{V_1}{I_1} + \frac{V_2}{I_2} + \frac{V_3}{I_3}$$

由歐姆定律 $E/I_T = R_T$ ，得到

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad \text{(公式3-2)}$$

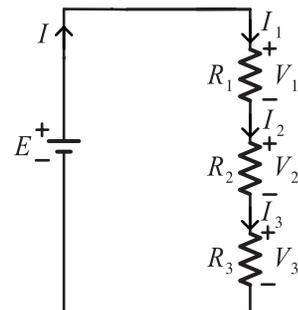


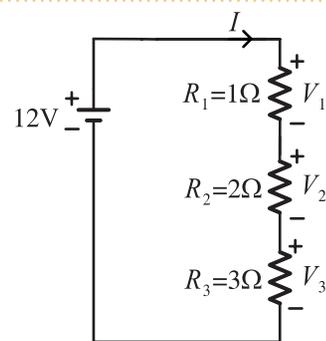
圖 3-2c

以上即為串聯電路的總電阻為所有電阻之和。

範例3-2a

電路如圖(1)，請計算：

- (1) 總電阻 R_T ?
- (2) 總電流 I ?
- (3) 各電阻的電壓降?
- (4) 各電阻的功率?
- (5) 總功率?



圖(1)

解

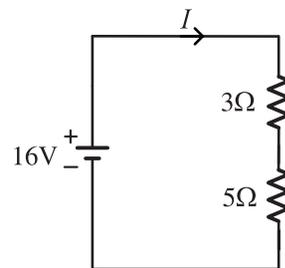
- (1) 本電路為3個電阻的串聯電路，總電阻等於所有電阻之和，所以 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 1 + 2 + 3 = 6\Omega$ 。
- (2) 總電流是輸入電壓除以總電阻，所以 $I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{6} = 2\text{A}$ 。
- (3) 所有電阻分壓是總電流乘以個別電阻，所以 $V_1 = I \cdot R_1 = 2 \cdot 1 = 2\text{V}$ ；
 $V_2 = I \cdot R_2 = 2 \cdot 2 = 4\text{V}$ ； $V_3 = I \cdot R_3 = 2 \cdot 3 = 6\text{V}$ 。
- (4) $P_1 = IV_1 = 2 \cdot 2 = 4\text{W}$ ； $P_2 = IV_2 = 2 \cdot 4 = 8\text{W}$ ； $P_3 = IV_3 = 2 \cdot 6 = 12\text{W}$
- (5) 總功率不管是串或並聯，總功率都是個別功率之和，所以：

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 4 + 8 + 12 = 24\text{W}$$

(公式3-3)

自我練習

1. 電路如圖(2)，請計算：
 - (1) 總電阻 R_T ?
 - (2) 總電流 I ?
 - (3) 各電阻電壓降?
 - (4) 各電阻功率 P ?
 - (5) 總功率 P_T ?

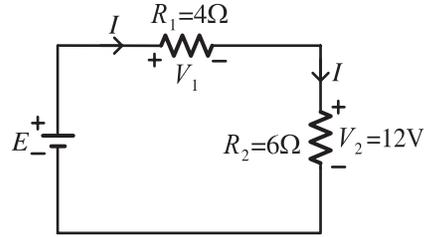


圖(2)

範例3-2b

電路如圖(1)，已知 6Ω 電阻分壓是 $12V$ ，請問：

- (1) $R_1=4\Omega$ 的 V_1 是多少？
- (2) E 是多少？



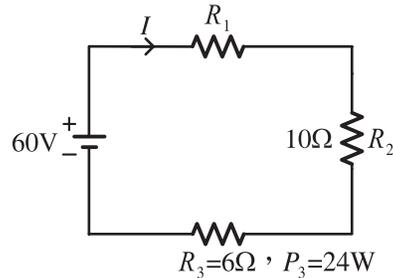
圖(1)

解

- (1) 由 $V_2=12$ ， $R_2=6\Omega$ 得到 $I = \frac{12}{6} = 2A$ 。
- (2) 串聯電路電流都相等，所以 $V_1=IR_1=2 \cdot 4=8V$ ， $E = V_1+V_2=8+12=20V$

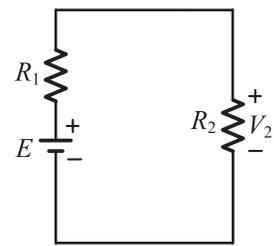
自我練習

1. 電路如圖(2)，若 $R_3=6\Omega$ ，求：
(1) $R_1=?$ (2) $I=?$ (3) $R_T=?$
2. 如圖(3)所示電路，若 E 及 R_1 為固定值，且當 $R_2=2\Omega$ 時， $V_2=10V$ ；當 $R_2=8\Omega$ 時， $V_2=16V$ 。當 $R_2=18\Omega$ 時，則 V_2 為何？
統測 112

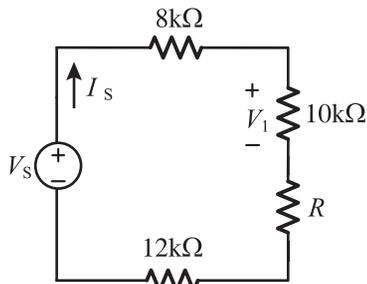


圖(2)

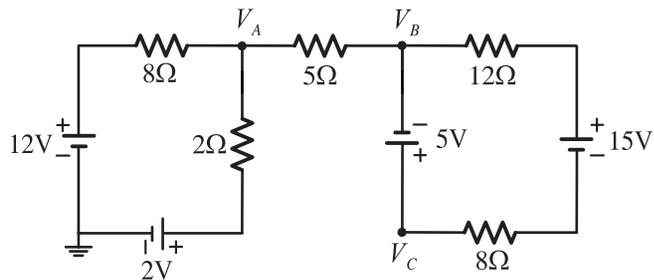
3. 如圖(4)所示電路，若電源 V_s 提供 $40mW$ 功率，且 $V_1=0.25V_s$ ，則下列何者正確？
統測 109
(A) $I_s=2mA$ (B) $V_s=20V$
(C) $R=10k\Omega$ (D) R 消耗 $20mW$ 功率
4. 如圖(5)所示，求 V_C 之值為____伏特 (V)。台電 103



圖(3)



圖(4)



圖(5)

範例3-2c

若將 100V/10W 與 100V/40W 的燈泡串接於 100V 的電源，請問 (1) 總電流是多少？ (2) 各別分壓是多少？ (3) 各別功率是多少？ (4) 那一燈泡較亮？ (5) 總功率 P_T 是多少？

解

(1) 看到功率，就把功率的三個公式寫出來，再依所給資料，選擇公式，所以

$$P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R} \Rightarrow \text{由 } 100\text{V}/10\text{W} \text{ 得到 } 10 = \frac{(100)^2}{R_1} \Rightarrow R_1 = 1000\Omega$$

$$\text{由 } 100\text{V}/40\text{W} \text{ 得到 } 40 = \frac{(100)^2}{R_2} \Rightarrow R_2 = 250\Omega$$

$$\text{由兩個燈泡串聯，得到 } R_T = R_1 + R_2 = 1000 + 250 = 1250\Omega$$

$$\text{由總電流等於總電壓除以總電阻，得到 } I = \frac{V}{R_T} = \frac{100}{1250} = 0.08\text{A}$$

$$(2) V_1 = I \cdot R_1 = 0.08 \cdot 1000 = 80\text{V} \quad V_2 = IR_2 = 0.08 \cdot 250 = 20\text{V} \circ$$

$$(3) P_1 = IV_1 = 0.08 \cdot 80 = 6.4\text{W} \quad P_2 = I \cdot V_2 = 0.08 \cdot 20 = 1.6\text{W} \circ$$

(4) 由 $P_1 > P_2$ 得到 10W 燈泡較亮。

$$(5) P_T = P_1 + P_2 = 6.4 + 1.6 = 8\text{W} \circ$$

自我練習

1. 有 100V/40W 的燈泡數個，現在要將這些燈泡接在 200V 的電源上，請問至少串接幾個才不會燒毀？
2. 有 3V/6W 的燈泡數個，現在要將這些燈泡接在 12V 的電源上，請問至少串接幾個才不會燒毀？

電壓分配定則

串聯電路所有元件電流都相同，所以每一電阻的分壓與其電阻成正比此稱為電壓分配定則。 R_1 與 R_2 串接於電源電壓 E ，如圖 3-2d，則：

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

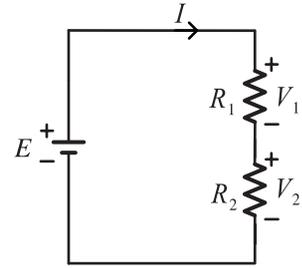


圖 3-2d 電壓分配定則

$$V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

(公式3-4a)

$$V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

(公式3-4b)

自我練習

1. 1Ω 與 4Ω 的電阻串接在 $10V$ 的電源，請問：
 - (1) 其分壓各為多少？ (2) 功率各為多少？
2. 1Ω 、 2Ω 與 6Ω 的電阻串接在 $9V$ 的電源，請問其分壓各為多少？

電壓表的設計

市售電壓表通常有很多個檔位，例如，滿刻度從最小開始有 0.1 、 2.5 、 10 、 $50\cdots$ ，我們設計電壓表時，通常先設計最小的檔位，其餘只要再串聯電阻就可以共用刻度表。例如，有一電壓表內阻 R_1 ，滿刻度是 V_1 ，如圖 3-2e，表示電壓表要能承受 V_1 ，流過內部電

，但是都共用一個刻度表

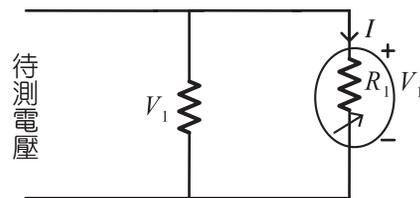


圖 3-2e 原電壓表

現在若要能量測 E (E 通常是 V_1 整數倍，這樣才能共用刻度)，請問如何設計？原電壓表內阻 R_1 ，滿刻度是 0.1 ，

$$I = V_1/R_1$$

現在第二檔要測量電壓 E ($E > V_1$ ，且通常 E 是 V 的整數倍，這樣才能共用刻度)，如圖 3-2f，因為第二檔也是同一個表，表示也僅能承受電壓 V_1 ，剩下的電壓就要由 R_2 承擔，所以

$$V_2 = E - V_1$$

因為共用一個表，功率相同、電流也相同，也僅能流過電流 I ，所以

$$V_2 / R_2 = \frac{E - V_1}{R_2} = \frac{V_1}{R_1} = I$$

整理，得到

$$R_2 = \frac{E - V_1}{I} \quad (\text{以上 } I = \frac{V_1}{R_1})$$

(公式3-5)

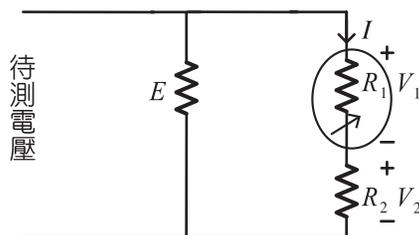


圖 3-2f 倍增電壓表

自我練習

- 有一電壓表內阻是 $1\text{k}\Omega$ ，滿刻度是 0.1V ：
 - 現在要測量 2.5V ，請問應該如何設計？
 - 若要測量 50V ，請問要如何設計？

$$I = 0.1 / 1\text{k} = 0.1\text{m}$$

$$R_2 = (2.5 - 0.1) / 0.1\text{m} = 24\text{k}\Omega$$

3-3 克希荷夫電流定律

克希荷夫另外針對節點上的各分支電流間的關係，提出了克希荷夫電流定律 (Kirchhoff's current law，簡稱 KCL)。其內容是流進任一節點的電流總和等於流出該節點的電流總和。

以圖 3-3a 的並聯電路為例，對節點 a 而言，流進的電流 I ，流出的電流 I_1 、 I_2 、 I_3 。兩者必相等：

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

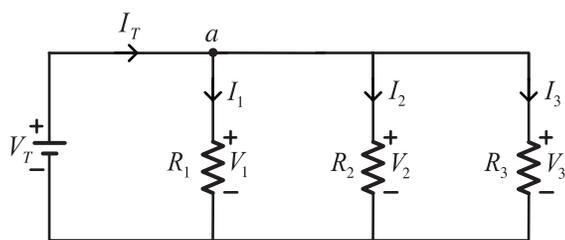


圖 3-3a

範例 3-3a

電路如圖 (1)，試求 $I = ?$

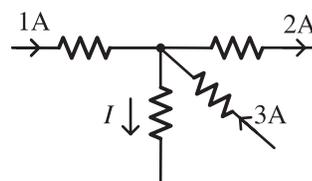


圖 (1)

解

依據克希荷夫電流定律，流進任一節點的電流等於流出該節點的電流，所以

$$\text{流進} = 1 + 3 = \text{流出} = I + 2$$

整理，得到

$$I = 2\text{A (流出)}$$

自我練習

1. 電路如圖 (2)，求 $I = ?$
2. 電路如圖 (3)，求 $I_1 = ?$

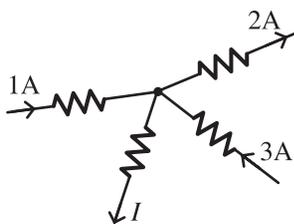


圖 (2)

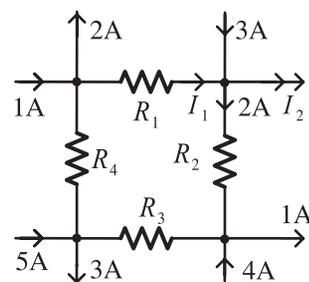


圖 (3)

並聯總電阻

以圖 3-3a 為例，依據克希荷夫電流定律

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

(公式3-6)

依照歐姆定律得到

$$\frac{V_T}{R_T} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \quad \dots\dots\dots(2)$$

並聯時電壓都相等

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3$$

則 (2) 式的電壓可以通通消除，得到

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

(公式3-7a)

所以得到並聯總電阻等於所有電阻的倒數和再倒數。以上公式，若僅有兩個電阻並聯，則 $R_T = (R_1 // R_2)$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ 整理得到 } R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

(公式3-7b)

以上兩個電阻的並聯計算，可以寫成 Python 程式如下：

```
r1=3;r2=6;r3=4
r=1/(1/r1+1/r2)
print(r)
```

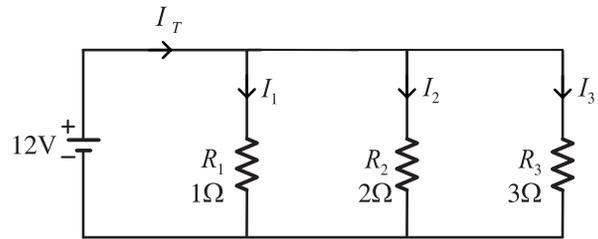
以上三個電阻的並聯計算，可以寫成 Python 程式如下：

```
r1=3;r2=6;r3=4
r=1/(1/r1+1/r2+1/r3)
print(r)
```

範例3-3b

電路如圖(1)，試求：

- (1) 各電阻的電流 I_1 、 I_2 及 I_3 ？
- (2) 總電流 I_T ？
- (3) 總電阻 R_T ？
- (4) 各電阻的功率 P_1 、 P_2 、 P_3 ？
- (5) 總功率 P_T ？



圖(1)

解

(1) 由歐姆定律 $I_1 = \frac{12}{1} = 12\text{A}$ ， $I_2 = \frac{12}{2} = 6\text{A}$ ， $I_3 = \frac{12}{3} = 4\text{A}$

(2) 由克希荷夫電流定律 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 12 + 6 + 4 = 22\text{A}$

(3) 總電阻可以使用歐姆定律 $R_T = \frac{V}{I_T} = \frac{12}{22} = 0.54\Omega$ ，也可以使用

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}} \doteq 0.54\Omega$$

(4) $P_1 = I_1 V = 12 \cdot 12 = 144\text{W}$

$$P_2 = I_2 V = 6 \cdot 12 = 72\text{W}$$

$$P_3 = I_3 V = 4 \cdot 12 = 48\text{W}$$

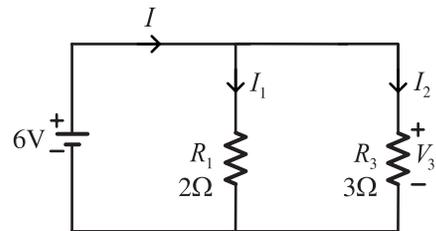
(請留意，並聯時電阻小，得到的功率反而大)

(5) 不論串或並聯，總功率都是個別功率之和，所以

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 144 + 72 + 48 = 264\text{W}。$$

自我練習

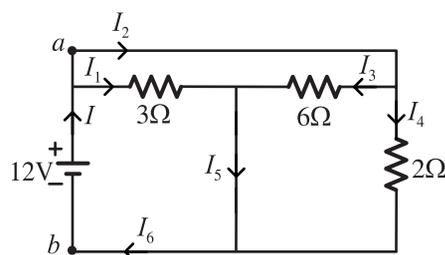
1. 電路如圖(2)，試求 $I_1 = ?$ $I_2 = ?$ $I = ?$
 $R_T = ?$
2. 若將 5 個 10Ω 串聯，外接 100V 電源，則總電阻是多少？總功率是多少？
3. 若將 5 個 10Ω 並聯，外接 100V 電源，則總電阻是多少？總功率是多少？



圖(2)

範例3-3c

電路如圖(1)，求 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 、 I_5 、 I_6 之值？



圖(1)

解

(1) 由歐姆定律

$$I_1 = \frac{12}{3} = 4\text{A}, \quad I_3 = \frac{12}{6} = 2\text{A}, \quad I_4 = \frac{12}{2} = 6\text{A}$$

(2) 由克希荷夫電流定律

$$I_2 = I_3 + I_4 = 8\text{A}$$

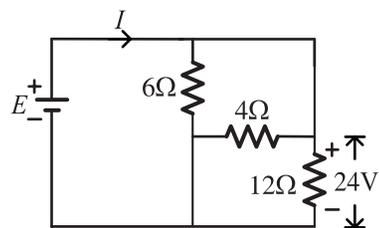
$$I = I_1 + I_2 = 4 + 8 = 12\text{A}$$

$$I_5 = I_1 + I_3 = 4 + 2 = 6\text{A}$$

$$I_6 = I_5 + I_4 = 6 + 6 = 12\text{A}。$$

自我練習

1. 電路如圖(2)，求(1)總電壓 $E = ?$ (2)總電流 $I = ?$



圖(2)

並聯電路電流分配定則：

並聯電路因為電壓都相同，而電流與電阻成反比，所以若有電流 I 進入 R_1 與 R_2 並聯的節點，如圖 3-3b，則

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

以上稱為電流分配定則。這些電壓、電流分配定則都要記起來，後面章節計算才能省事。

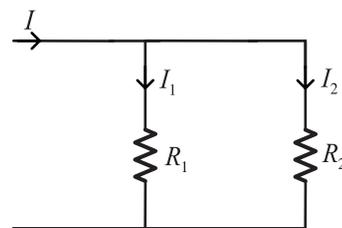
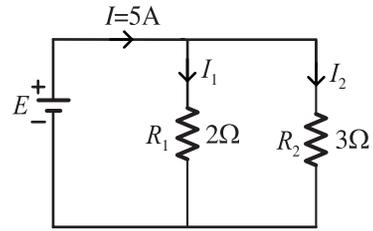


圖 3-3b

範例3-3d

本範例推導電流分配定則，電路如圖(1)，試求：

- (1) I_1 、 $I_2 = ?$
 (2) 總電壓 $E = ?$



圖(1)

解

- (1) 依據克希荷夫電流定律

$$I_1 + I_2 = I \quad \dots\dots\dots(1)$$

- (2) 電阻並聯，端電壓都相同

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

- (3) 將 $I_2 = I - I_1$ 代入(2)

$$I_1 R_1 = I R_2 - I_1 R_2 \Rightarrow I_1 R_1 + I_1 R_2 = R_2 I$$

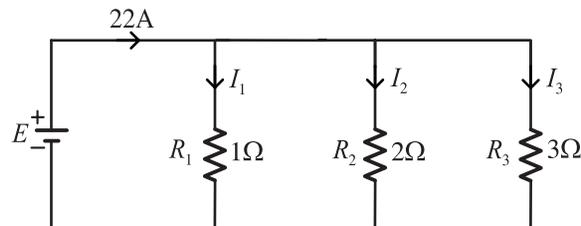
$$\Rightarrow I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I = \frac{3}{2 + 3} \cdot 5 = 3\text{A} \quad (\text{此即為電流分配定則，分配的電流與自己的電阻成反比})$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I = \frac{2}{2 + 3} \cdot 5 = 2\text{A} \circ$$

- (4) $E = I_1 R_1 = 3 \cdot 2 = 6\text{V} \circ$

自我練習

1. 1:2:3 的反比是 $\frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$ ，通分得到 $2 \cdot 3 : 3 \cdot 1 : 1 \cdot 2 = 6 : 3 : 2$ ，若電路如圖(2)，試求：(1) I_1 、 I_2 及 $I_3 = ?$ (2) 電源電壓是多少？



圖(2)

2. 電路如圖 (3)，若 $I_1 = 6A$ ，則 (1) I_2 、 I_3 及 $I = ?$ (2) $E = ?$

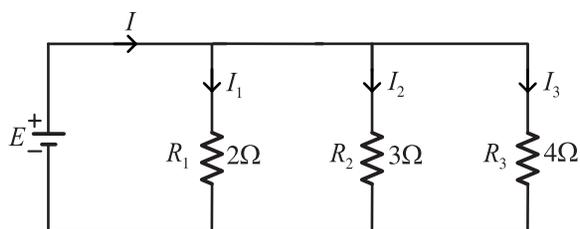


圖 (3)

範例3-3e

電路如圖 (1)，請計算

- (1) I_1 、 I_2 及 $I_3 = ?$
- (2) V_1 、 $V_2 = ?$
- (3) $R_T = ?$

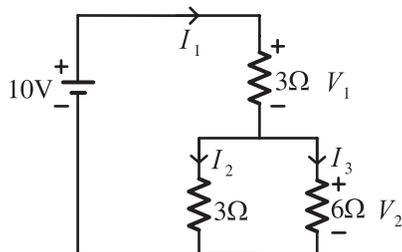


圖 (1)

解

(1) 電路可先簡化成如圖 (2)， $(3 // 6) = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} = 2\Omega$

$$I_1 = \frac{10}{3 + 2} = 2A。$$

$$I_2 = \frac{6}{3 + 6} \cdot 2 \doteq 1.33A \text{ (分流定則)}。$$

$$I_3 = \frac{3}{3 + 6} \cdot 2 \doteq 0.67A \text{ (分流定則)}。$$

(2) $V_1 = 3 \cdot 2 = 6V。$

$$V_2 = 2 \cdot 2 = 4V。$$

(3) $R_T = 3 + 2 = 5\Omega。$

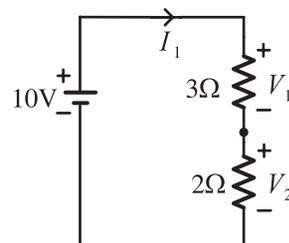


圖 (2)

自我練習

1. 電路如圖 (3)，請計算：

- (1) I_1 、 I_2 及 $I_3 = ?$
- (2) V_2 及 $E = ?$
- (3) $R_T = ?$

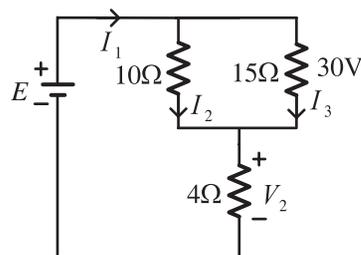


圖 (3)

2. 電路如圖 (4) 請計算：

(1) 各電阻的電流？

(2) $R_T = ?$

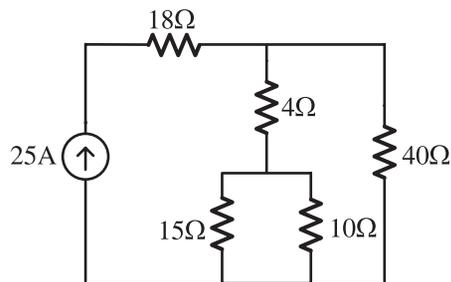


圖 (4)

電流表的設計

前面的電壓表是串聯另一電阻，擴大測量範圍，得到很多檔位，電流表也是有很多檔位，而共用一個刻度表。例如內阻是 R_1 ，滿刻度是 I_1 的電流表，如圖 3-3c，現在要提升至 I ($I > I_1$ 且通常是整數倍，這樣才能共用刻度)。

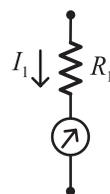


圖 3-3c 原始電流表

因為電路並聯，可以分流多餘的電流，所以我們將原電表並聯一個電阻 R_2 ，如圖 3-3d。原電表只能流過 I_1 ，所以將多餘的電流 $I - I_1$ 分給 R_2 ，並聯時電壓都相等，所以：

$$I_1 R_1 = (I - I_1) \cdot R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{I_1 R_1}{I - I_1} \quad (\text{公式3-8})$$

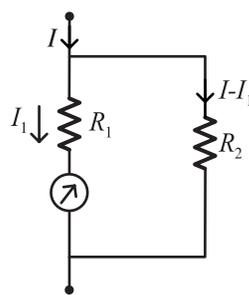


圖 3-3d 倍增電流表

自我練習

1. 有一電流表內阻為 240Ω ，滿刻度可量 10mA ：

(1) 現在若要能量測 50mA ，則應如何設計？

(2) 若要測量 250mA ，則應如何設計？

額定功率

每一個電阻器都有其額定功率，額定功率代表該電阻所能承受的功率而不燒毀時的最大功率，當超過最大功率時，該電阻就燒毀。例如 $100\Omega/1\text{W}$ 的電阻，若外接電源，表示最多能外接 10V ，當超過此電壓，該電阻就燒毀。

☞ 電阻串聯的額定功率

電阻串聯，因為電流都相同，串聯後的額定功率計算則要取電流較小者。例如 $100\Omega/1W$ 與 $10\Omega/4W$ 串聯，則：

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = 0.1A \quad I_2 = \sqrt{\frac{4}{10}} = 0.63A$$

I_1 、 I_2 取較小者，表示僅能通過 $0.1A$ 的電流。串聯後 $R_T = 110\Omega$ ，表示額定功率為： $P_T = I^2 R_T = 0.01 \cdot 110 = 1.1W$

☞ 電阻並聯的額定功率

電阻並聯，因為電壓都相同，並聯後的額定功率計算則要取電壓較小者，例如 $900\Omega/4W$ 與 $300\Omega/3W$ 的電阻並聯，並聯前的額定電壓分別是

$$V_1 = \sqrt{P_1 \cdot R_1} = \sqrt{900 \cdot 4} = 60V \quad V_2 = \sqrt{P_2 \cdot R_2} = \sqrt{300 \cdot 3} = 30V$$

並聯電壓都相同，所以選電壓較小的 $30V$ ，並聯後等效電阻是 $(900//300) = 225\Omega$ ，所以額定功率是：

$$P_T = \frac{V_T^2}{R_T} = \frac{30^2}{225} = 4W$$

自我練習

1. 有兩電阻 $500\Omega/5W$ 與 $100\Omega/4W$ 電阻串聯，求其額定功率 = ?
2. 有兩電阻 $3\Omega/12W$ 與 $9\Omega/9W$ 電阻並聯，求其額定功率 = ?
3. 如圖 (1) 所示，若已知 $R_1 = 20\Omega$ ， R_1 消耗功率為 $180W$ ， R_2 消耗功率為 $360W$ ， $R_3 = 60\Omega$ ， R_3 消耗功率為 $60W$ ，則下列何者正確？ 統測 111
 - (A) $E = 120V$ ， $R_4 = 60\Omega$
 - (B) $E = 120V$ ， $R_4 = 30\Omega$
 - (C) $E = 240V$ ， $R_4 = 60\Omega$
 - (D) $E = 240V$ ， $R_4 = 30\Omega$

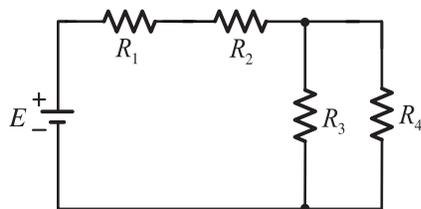


圖 (1)

4. 如圖 (2) 所示電路， 20Ω 電阻消耗 20W 功率，下列何者正確？

統測 109

- (A) 5Ω 電阻消耗 10W 功率
- (B) $V_x = 12\text{V}$
- (C) $I = 1\text{A}$
- (D) $R = 10\Omega$

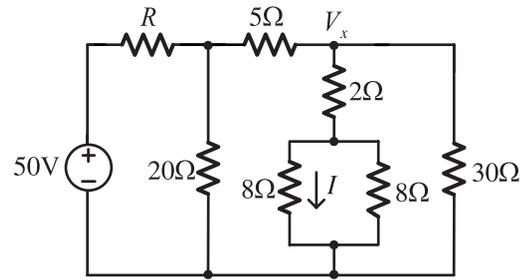


圖 (2)

5. 如圖 (3) 所示電路，若 A、B、C、D、E 為理想的電路元件，則下列敘述何者正確？

統測 109

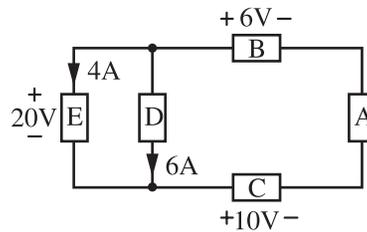


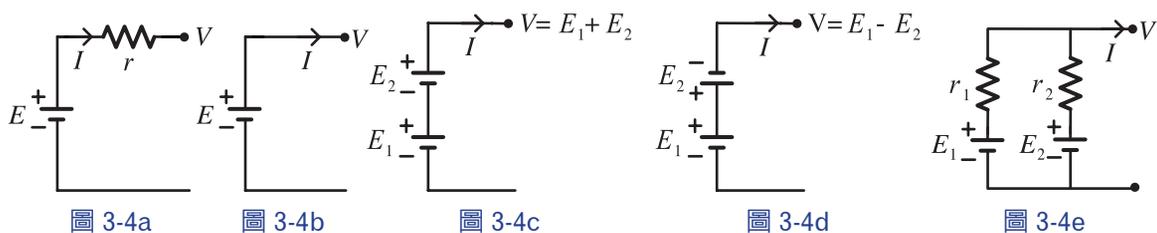
圖 (3)

- (A) 元件 A 供應 280W 功率
- (B) 元件 B 消耗 60W 功率
- (C) 電路元件總供應功率為 300W
- (D) 電路元件總消耗功率為 270W

3-4 電壓源與電流源

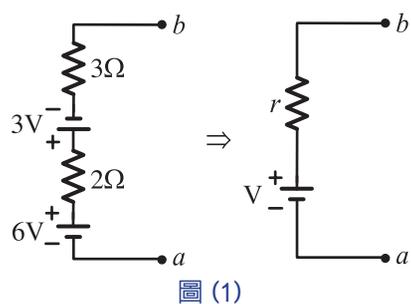
電壓源

實際的電壓源如圖 3-4a，為一電壓源 E 與內阻 r 串聯，內阻 r 將會影響實際輸出的電壓大小，實際輸出電壓 $V = E - Ir$ ；理想電壓源的內阻視為零，如圖 3-4b，所以輸出電壓 $V = E$ 。電流是從電壓源的正極流出，進入負載，再流回電壓源負端。若電壓源串聯，則其內阻相加，但要留意極性，若極性順序相同，則總電壓相加，如圖 3-4c；若極性順序相反，則總電壓相減，如圖 3-4d。電壓源並聯可提升電流供給量，如圖 3-4e，例如，若每一電源供應器可提供最大 30A 的電流，則兩台電源供應器共可提供至多 60A 的電流，但請留意電壓與內阻要相同才能並聯。



範例 3-4a

電路如圖 (1)，試求其等效電壓 V 與等效電阻 r 。



解

電壓源串聯表示電壓相加，內阻也相加，所以：

$$V = 6 - 3 = 3\text{V}$$

$$r = 2 + 3 = 5\Omega$$

自我練習

1. 電路如圖 (2)，試求：電路等效電壓 V 與等效電阻 r ？

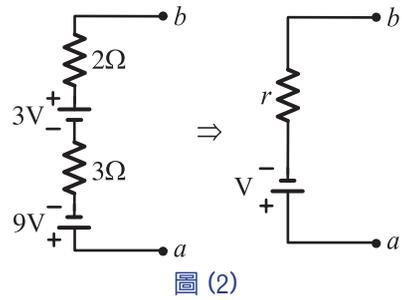


圖 (2)

電流源

實際電流源如圖 3-4f，為一個電流源 I 並聯一內阻 r ，理想電流源的內阻無限大，所以如圖 3-4g。電流源並聯如圖 3-4h，電流源並聯的等效電路如圖 3-4i，電流方向相同時，總電流相加，電流方向相反時，總電流相減，電流源並聯的內阻也是所有有內阻的並聯。電流源若要串聯，則電流方向、大小與內阻都必須相同，才能串聯。

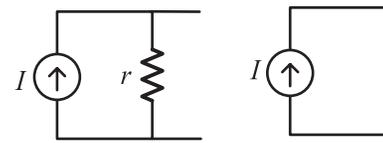


圖 3-4f

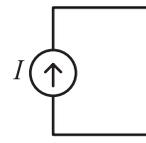


圖 3-4g

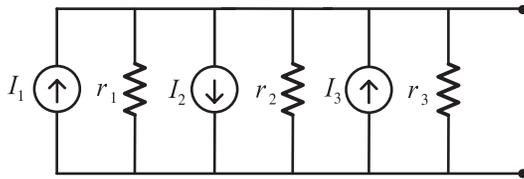


圖 3-4h 電流源並聯

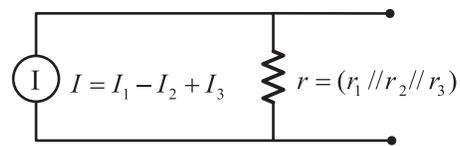


圖 3-4i 電流源並聯等效電路

範例 3-4b

電路如圖 (1)，試求：電路等效壓 V 與等效電阻 r ？

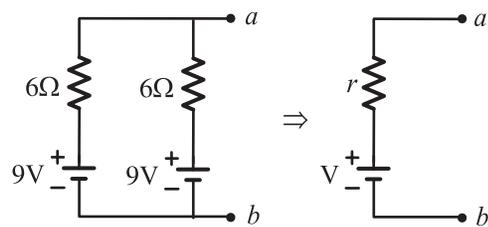


圖 (1)

解

- (1) 電壓源電壓要相同才能並聯，且並聯後電壓相同，所以 $V=9V$ 。

(2) 電壓源並聯，電阻也是並聯，所以 $r = (6//6) = 3\Omega$ 。

自我練習

1. 電路如圖 (2)，試求電路等效電壓 V 與等效電阻 r ？

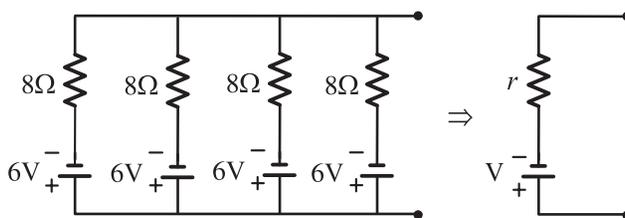


圖 (2)

電壓源與電流源互換

為了方便電路的電流與電壓計算，電流源與電壓源可以互換，電壓源換成電流源如圖 3-4j，其轉換方式如下：

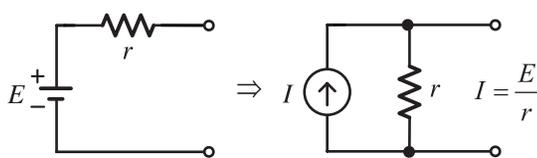


圖 3-4j 電壓源轉電流源

1. 內阻 r 相同。

(公式3-9a)

2. 電流源 $I = \frac{E}{r}$ 。

(公式3-9b)

電流源轉電壓源，如圖 3-4k，其轉換方式如下：

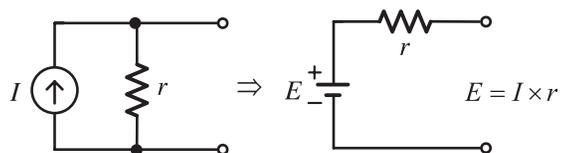


圖 3-4k 電流源轉電壓源

1. 內阻 r 相同。

(公式3-10a)

2. 電壓源 $E = I \times r$ 。

(公式3-10b)

範例3-4c

電路如圖 (1)，求電阻 3Ω 的電流是多少？

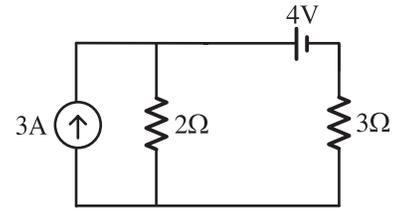


圖 (1)

解

(1) 電流源可轉電壓源，如圖 (2)，所以

$$V = 3 \times 2 = 6V。$$

(2) $I_{3\Omega} = (6 - 4) / (2 + 3) = 0.4A。$

自我練習

1. 電路如圖 (3)，求 $I_{5\Omega} = ?$

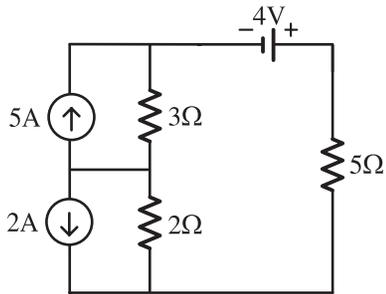


圖 (3)

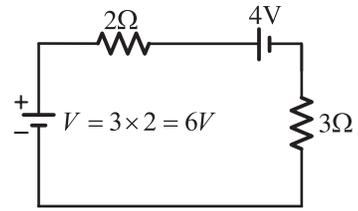


圖 (2)

3-5 惠斯登電橋

惠斯登電橋 (wheatstone bridge) 電路如圖 3-5a， R_1 和 R_2 稱為電橋的比例臂， R_s 為調整臂，待測電阻為 R_x ，其功用可用來量測未知電阻 R_x 的值。依據歐姆定律得到：

$$V_2 = I_2 R_s \quad V_4 = I_5 R_x$$

$$V_1 = I_1 R_1 \quad V_3 = I_4 R_2$$

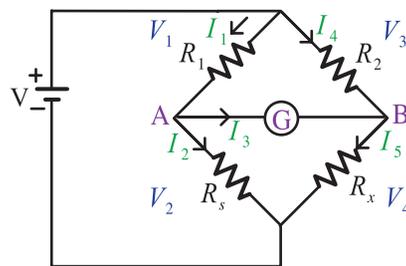


圖 3-5a 惠斯登電橋

調整 R_s 的電阻值，使流過檢流計的電流 $I_3 = 0$ ，代表電橋平衡，流過檢流計的電流為零，即電橋 A、B 兩點的電位相同，此時

$$V_A = V_B, \quad I_2 = I_1, \quad I_5 = I_4, \quad V_2 = V_4, \quad V_1 = V_3$$

$$\text{由 } V_2 = V_4 \text{ 得到 } I_2 \cdot R_s = I_5 R_x \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{由 } V_1 = V_3 \text{ 得到 } I_1 \cdot R_1 = I_4 R_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

將以上(1)/(2)得到 $\frac{R_s}{R_1} = \frac{R_x}{R_2} \Rightarrow R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s$ (公式3-11)

範例3-5a

電路如圖 (1) 所示為惠斯登電橋等效電路， R_x 為待測電阻，若檢流計 Ⓞ 電流 I_G 為零，則下列何者正確？ 統測 111

- (A) $R_x = 20 \text{ k}\Omega$
- (B) $R_x = 200 \text{ k}\Omega$
- (C) $I_1 = I_2$
- (D) $I_1 = I_4$

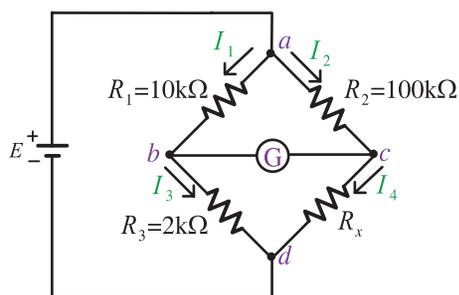


圖 (1)

解

(1) 若檢流計Ⓒ為零，代表對邊電阻相乘相等，所以

$$R_1 \cdot R_x = R_2 \cdot R_3$$

$$10\text{k} \cdot R_x = 100\text{k} \cdot 2\text{k} \Rightarrow R_x = 20\text{k}\Omega$$

(2) 此時 $V_b = V_c$ ， $I_1 = I_3$ ， $I_2 = I_4$ ，所以答案選 (A)。

自我練習

1. 如圖 (2) 所示，檢流計Ⓒ指示值為零時，
 R_x 為 _____ Ω 。 台電 99

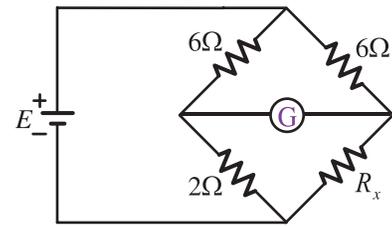


圖 (2)

3-6 Y- Δ 互換

Y型(y branch)電路轉 Δ 電路(delta branch)

圖 3-6a 稱為 Y 型電路，圖 3-6b 稱為 Δ 型電路。

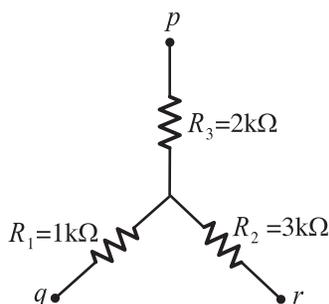


圖 3-6a Y 型電路

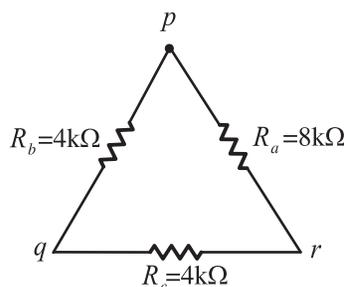
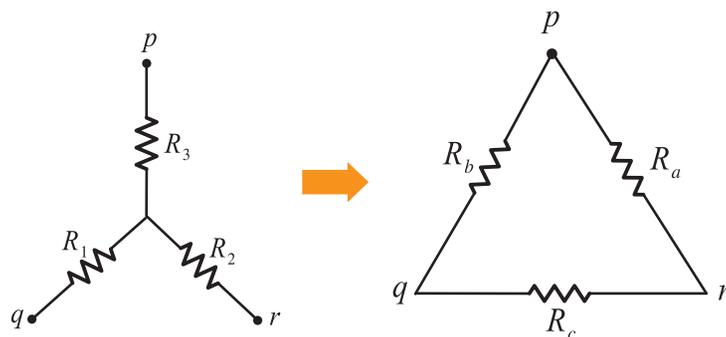


圖 3-6b Δ 型電路

經由串並聯計算，圖 3-6a 的 $R_{pq} = (2k+1k) = 3k\Omega$ ，圖 3-6b 的 $R_{pq} = (4k // (8k+4k)) = 3k\Omega$ 。我們發現兩個電路的 R_{pq} 、 R_{qr} 、 R_{pr} 都相等，所以此兩個電路等效，既然等效，表示可以替換，而不影響原電路特性，以上 Y 型轉 Δ 型或 Δ 型轉 Y 型是一個解電路的技巧，因為有些電路經由此種方式轉換後，會變得比較簡單。

Y 轉 Δ 的公式如下：



$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}, R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}, R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} \quad (\text{公式3-12})$$

以上公式可以用電路形狀來幫助記憶，簡單的說，Y 轉 Δ ，先有 Y，所以公式形狀也是 Y，且 Y 下面有一直線，所以分母選對面的電阻，分子

是三個電阻兩兩相乘之總和，且都相同。而且此轉換公式，分子一定是兩個相乘，單位是 Ω^2 ，分母則是一個 Ω ，兩個相除，單位才會是 Ω ，而且分母只有一個電阻，樣式很簡單，分子就會比較複雜。(此公式「分母較簡單」這句話，請看以下 Δ 電路轉Y型電路，就會明白)

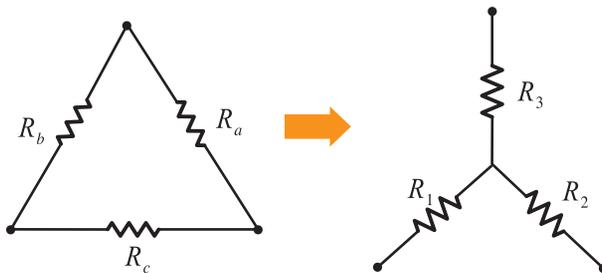
$$R_a = \frac{\text{電阻兩兩相乘之總和}}{R_a \text{對面的電阻}} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} \quad (\text{形狀是Y})$$

以上公式的計算有點繁瑣，所幸現在程式設計已經是國中課綱，我們就將以上公式寫成 Python 程式如下：

```
k=1000;R1=1*k;R2=2*k;R3=2*k
RR=R1*R2+R2*R3+R3*R1
Ra=RR/R1
Rb=RR/R2
Rc=RR/R3
print(Ra,Rb,Rc) #8000,4000,4000
```

Δ 電路轉Y型電路

Δ 轉Y的公式如下：



$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c}, \quad R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}, \quad R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$$

(公式3-13)

以上公式可以用電路形狀來幫助記憶，簡單的說， Δ 轉Y，先有 Δ ，公式的形狀也是 Δ ，所以分母選三個電阻相加且都相同，分子是對應電阻兩旁的電阻乘積。而且分子一定是兩個相乘，單位是 Ω^2 ，分母則是一個 Ω ，那兩個相除，單位才會是 Ω ，而且分母複雜（分母複雜這句話，請對照Y轉 Δ ），分子就簡單，所以選 R_1 旁邊電阻相乘就可以。

$$R_1 = \frac{\text{原本三角型中，相同位置兩邊電阻相乘}}{\text{三個電阻總和}} = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (\text{形狀是 } \triangle)$$

以上公式的 Python 程式如下：

```
k=1000;Ra=1*k;Rb=2*k;Rc=3*k
RR=Ra+Rb+Rc
R1=(Rb*Rc)/RR
R2=(Ra*Rc)/RR
R3=(Ra*Rb)/RR
print(R1,R2,R3)#1000 500 333
```

補充說明

以上 Y 型與 \triangle 型電路互轉公式的推導如下：

$$1. R_{pq} = R_b // (R_a + R_c) = R_1 + R_3 \Rightarrow \frac{R_a R_b + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_1 + R_3 \quad \textcircled{1}$$

$$2. R_{qr} = R_c // (R_a + R_b) = R_1 + R_2 \Rightarrow \frac{R_a R_c + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_1 + R_2 \quad \textcircled{2}$$

$$3. R_{pr} = R_a // (R_b + R_c) = R_3 + R_2 \Rightarrow \frac{R_a R_b + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_3 + R_2 \quad \textcircled{3}$$

4. 將以上①②③三式，等號兩邊全部相加得到

$$\frac{2(R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a)}{R_a + R_b + R_c} = 2(R_1 + R_2 + R_3) \Rightarrow \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a + R_b + R_c} = R_1 + R_2 + R_3 \quad \textcircled{4}$$

$$5. \text{將④} - \text{③得到 } R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \textcircled{5} \quad (\text{此為 } \triangle \text{ 型轉 Y 型公式})$$

$$6. \text{將④} - \text{①得到 } R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \textcircled{6} \quad (\text{此為 } \triangle \text{ 型轉 Y 型公式})$$

$$7. \text{將④} - \text{②得到 } R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} \quad \textcircled{7} \quad (\text{此為 } \triangle \text{ 型轉 Y 型公式})$$

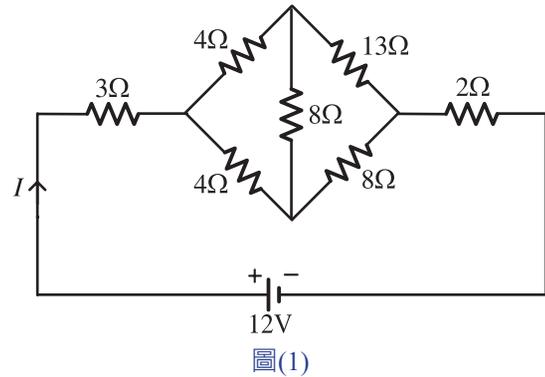
8. 將⑤⑥⑦兩邊兩兩相乘再相加，也就是⑤·⑥ + ⑥·⑦ + ⑤·⑦得到

$$\begin{aligned} R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_1 &= \frac{R_c(R_a R_b R_c) + R_a(R_a R_b R_c) + R_b(R_a R_b R_c)}{(R_a + R_b + R_c)^2} \\ &= \frac{R_a R_b R_c (R_a + R_b + R_c)}{(R_a + R_b + R_c)^2} = \frac{R_a R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \textcircled{8} \end{aligned}$$

9. 將⑧ / ⑤得到 $R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$ (此為 Y 型轉 Δ 型公式)
10. 將⑧ / ⑥得到 $R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}$ (此為 Y 型轉 Δ 型公式)
11. 將⑧ / ⑦得到 $R_c = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3}$ (此為 Y 型轉 Δ 型公式)

範例3-6a

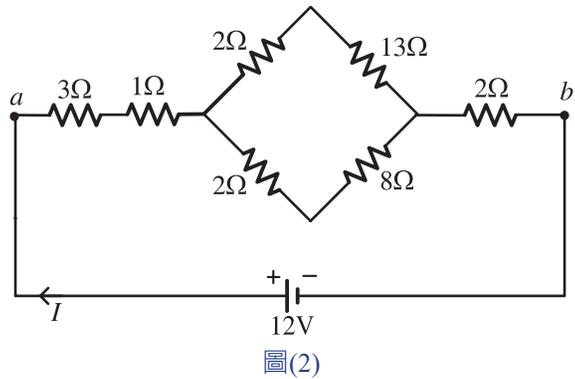
電路如圖 (1)，求電流 $I = ?$



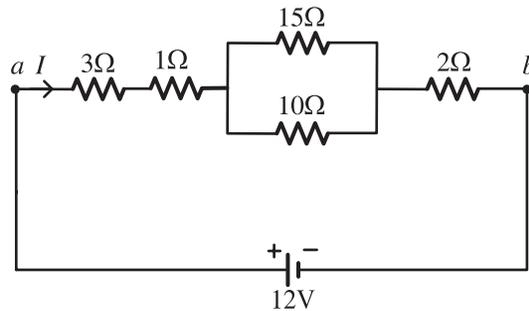
圖(1)

解

- (1) 本例可將圖 (1) 左邊 4Ω 、 4Ω 、 8Ω 的 Δ 型電路轉為 Y 型電路，如圖 (2)。
- (2) 圖 (2) 電路 2Ω 、 13Ω 串聯， 2Ω 、 8Ω 串聯先化簡，如圖 (3)。
- (3) 圖 (3)， $R_{ab} = 3 + 1 + (15 // 10) + 2 = 4 + 6 + 2 = 12\Omega$ 。
- (4) $I = \frac{12}{12} = 1A$ 。



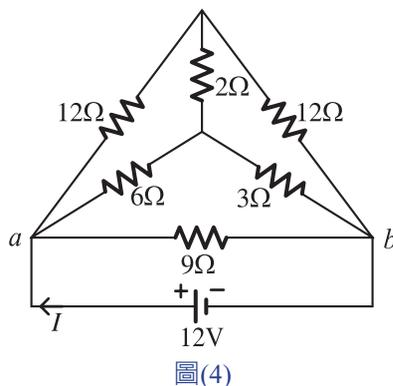
圖(2)



圖(3)

自我練習

1. 電路如圖 (4)，求 $I = ?$



圖(4)

範例3-6b

電路如圖 (1) 所示：

$R_1 = 8\Omega$ 、 $R_2 = 2\Omega$ 、 $R_3 = 8\Omega$ 、 $R_4 = 4\Omega$ 、
 $R_5 = 4\Omega$ 、 $R_6 = 16\Omega$ ，則電流 I 為何？
 (統測 110)

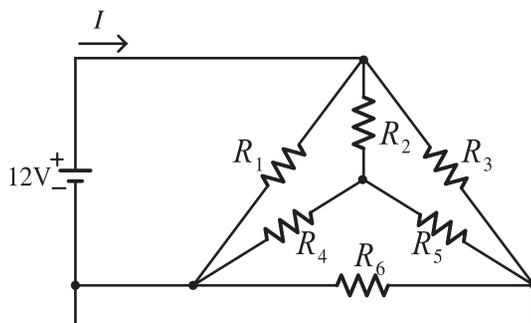


圖 (1)

解

(1) 本例將 R_2 、 R_4 、 R_5 的 Y 型電路化爲 Δ 電路，如圖 (2)。

$$R_7 = \frac{R_2 R_4 + R_2 R_5 + R_4 R_5}{R_5}$$

$$= \frac{2 \cdot 4 + 2 \cdot 4 + 4 \cdot 4}{4} = \frac{32}{4} = 8\Omega$$

$$R_8 = \frac{R_2 R_4 + R_2 R_5 + R_4 R_5}{R_4} = \frac{32}{4} = 8\Omega$$

(2) 圖 (2) 的 R_9 與 R_6 被短路，所以等效電路如圖 (3)。

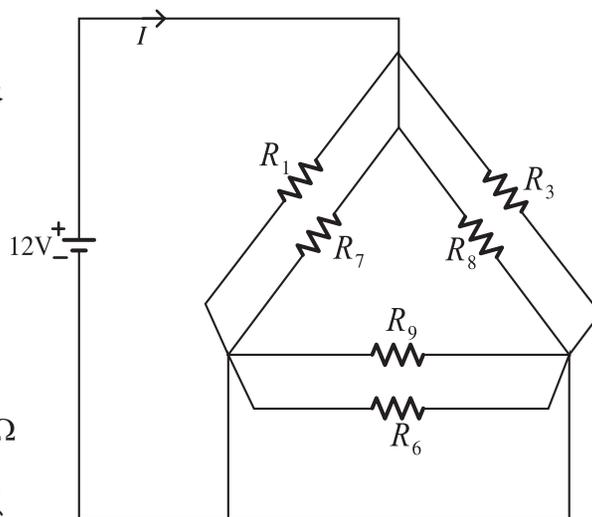


圖 (2)

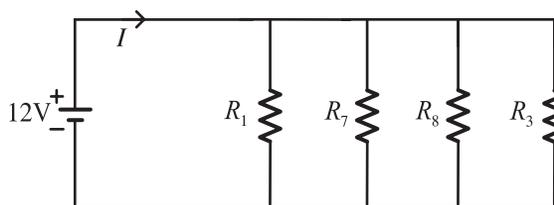


圖 (3)

$$R_T = (R_1 // R_7 // R_8 // R_3) = (8 // 8 // 8 // 8) = 8 / 4 = 2\Omega$$

$$I = \frac{12}{2} = 6A。$$

(3) 以上的想法可以練習 Y 轉 Δ 形，但是本例 R_6 兩端都接地，等於被短路，可以先去掉，如圖 (4)。

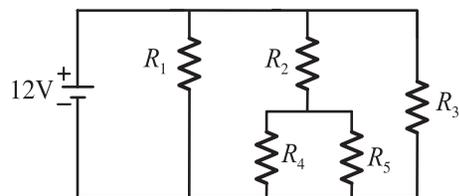


圖 (4)

(4) R_4, R_5 並聯先化簡， $(4//4)=2$ ，如圖 (5)， $R_T=(8//4//8)=2\Omega$ 。

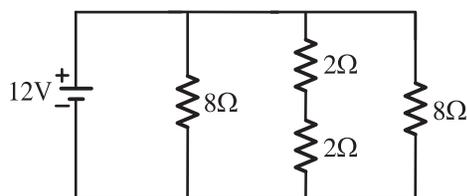


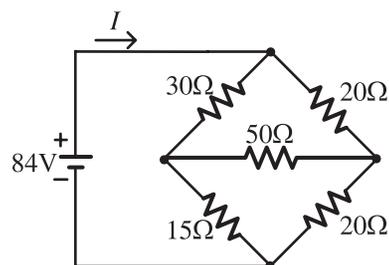
圖 (5)

自我練習

1. 如右圖所示，則電流 $I=$ _____ 安培 (A)。

台電 101

(提示：本例對邊相乘沒有相等，所以可將任一三角形轉為 Y 型電路)



2. 如右圖所示電路，電流 I 為何？

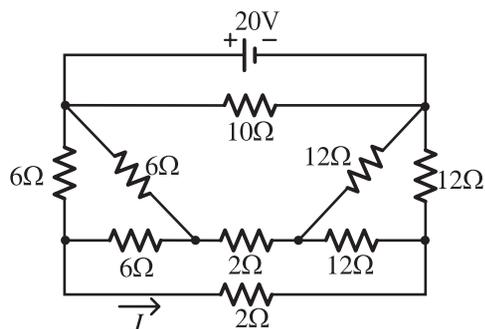
統測 111

(A) 0.5A

(B) 1A

(C) 1.5A

(D) 2A

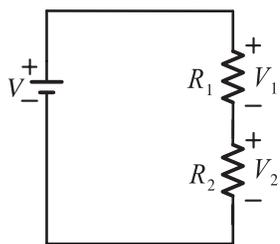


3-7 本章內容摘要

1. 克希荷夫電壓定律 (KVL)：在任一封閉迴路中電壓升與電壓降代數和為零；或總電壓升等於總電壓降。
2. 克希荷夫電流定律 (KCL)：在任一節點上電流代數和為零；或總流入電流等於總流出電流。
3. 串聯電路特性：
 - (1) 串聯電路各元件的電壓降之和，等於所有元件電壓升總和。
 - (2) 串聯總電阻等於所有串聯電阻之和 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_N$ 。
 - (3) 串聯的所有元件電流都相同。
 - (4) 電阻值越大，其端電壓越大，此即為電壓分配定則。
 - (5) 元件位置互換，以上所有性質不變。
 - (6) 任一元件斷路，則所有元件都沒有電流。
 - (7) 電路總功率等於各元件功率之和。 $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_N$
4. 並聯電路特性：
 - (1) 並聯電路各元件的電壓降都相同。
 - (2) 並聯總電阻等於所有並聯電阻倒數之和再倒數 $R_T = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \cdots + 1/R_N)$ 。
 - (3) 並聯的所有元件流入的電流等於流出的電流之和 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_N$ 。
 - (4) 電阻值越大，流過的電流越小，此為電流分配定則。
 - (5) 任一元件斷路，其它元件都可正常運作，家用電器都是並聯連接，所以任意電器故障，其它電器都是正常運作。
 - (6) 電路總功率等於各元件功率之和。 $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_N$
5. 串聯電阻電壓分配定則。 R_1, R_2 電阻串聯電阻的分壓與自己電阻成正比

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$$

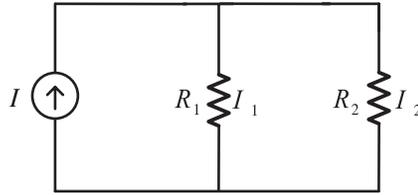
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$



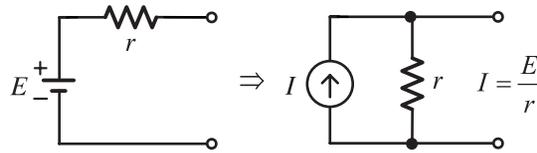
6. 並聯電阻電流分配定則。 R_1, R_2 並聯電阻的分流與自己電阻成反比

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

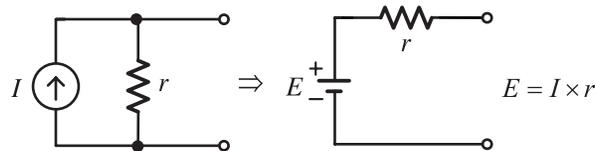
$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$



7. 實際電壓源為電壓源串聯一內阻，理想電壓源內阻為零，電壓源轉電流源的方式如下：

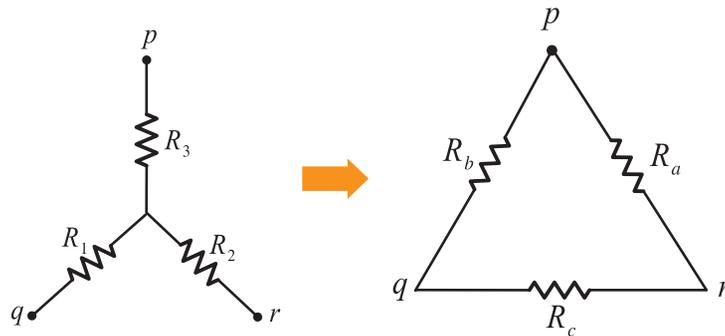


8. 理想電流源為電流源並聯一內阻，理想電流源內阻為無限大，電流源轉電壓源的方式如下：



9. 惠斯登電橋對邊電阻相乘若相等，中央電阻無電流。

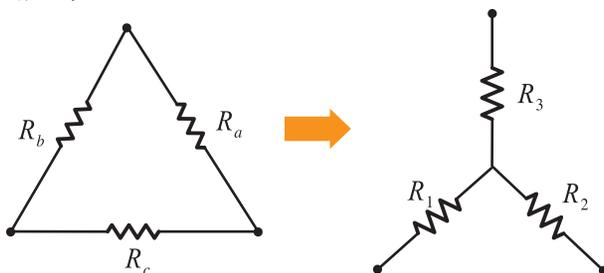
10. Y 轉 Δ 的公式如下：



$$R_a = \frac{\text{電阻兩兩相乘之總和}}{R_a \text{對面的電阻}} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} \quad (\text{形狀是Y})$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}, \quad R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$$

11. Δ 轉 Y 的公式如下：



$$R_1 = \frac{\text{原本三角型中，相同位置兩邊電阻相乘}}{\text{三個電阻總和}} = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (\text{形狀是 } \triangle)$$

$$R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}, \quad R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$$

補充說明

1. 定律 (law)：在自然界中，通過大量具體的實驗與驗證，所累積歸納而成的結論。例如，牛頓萬有引力定律、克希荷夫電壓定律、克希荷夫電流定律。
2. 定理 (theorem)：物理、電學、數學上的公式或規則，已證明為真實，稱為「定理」，例如，畢氏定理、戴維寧、諾頓定理。定理比定律適用範圍較窄，通常先要有一些前提，例如，畢氏定理的條件是要有一個直角。戴維寧、諾頓定理也是，僅適用特定的電路，不像克希荷夫電壓、電流定律，是所有電路都適用。
3. 定則 (rule)：定則是一種特定的方法用於解決或計算問題的數學方法，有時也稱作法則，例如，依據克希荷夫電壓定律可以導出電壓分配分配定則，依據克希荷夫電流定律，可導出電流分配定則，將此公式與定則記起來，可以減少計算時間。
4. 公式 (formula)：公式是由定律、定理或定則整理出來的數學式，這樣以後遇到類似的問題，直接計算比較快。例如，串聯電路總電阻為所有電阻的和；並聯電路總電阻為所有電阻倒數和相加再倒數。

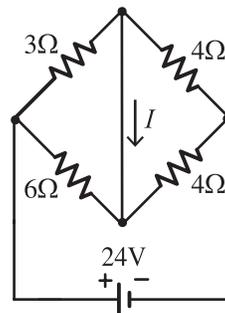
5. 性質 (property) 與特性 (attribute)：性質與特性通常用來描述某一定律的現象。例如，依據克希荷夫電壓定律，可以得到以下串聯電路性質：
- (1) 串聯電路的所有元件的電流一定相同。
 - (2) 任一元件燒毀，電流就中斷。
 - (3) 任意元件都可互換位置，不影響總電流。

3-8 課後習題

選擇題

1. 如右圖所示，電路中之 I 值為多少？

中油 106



2. 將三個額定功率分別為 10W、50W、100W 的 10Ω 的負載電阻串聯在一起，則串聯後所能承受的最大額定功率為多少？

中油 105

3. 額定 110V、100W 和 220V、100W 的兩個電燈泡，串接在 110V 的電源上，則此兩個電燈泡消耗之總功率為多少？

中油 105

4. 有一電池電動勢為 12.5V，內部電阻為 0.5Ω ，若接一負載 2Ω ，求負載之端電壓的為多少？

中油 105

5. 滿刻度 10mA 之電流計，其內阻為分流器電阻之 249 倍，則該電流計能測定之最大電流為多少？

中油 105

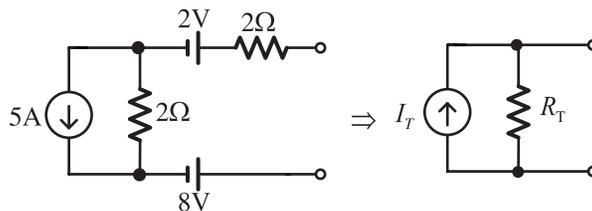
6. 有一電流源，其電流值為 3A，內阻為 4Ω ，請問轉換為等效電壓源後，其電壓值為多少？

中油 105

7. 如右圖所示之電路，試計算轉換後之等效電流源 $I_T = ?$

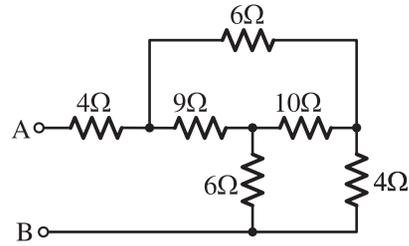
中油 107

- (A) -4A
(B) -2A
(C) 2A
(D) 4A



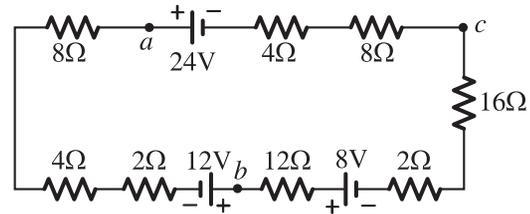
8. 試求右圖中 A、B 兩端點間的等效電阻。
中油 107

- (A) 10Ω
(B) 20Ω
(C) 25Ω
(D) 36Ω



9. 如右圖所示之電路，8V 電池之電功率為？

- (A) 消耗 4W
(B) 供應 4W
(C) 供應 8W
(D) 消耗 8W



10. 電壓表可以藉由_____電阻來擴大量測範圍，電流表可以藉由_____電阻來擴大量測範圍。
中油 107

- (A) 串聯、串聯 (B) 串聯、並聯 (C) 並聯、並聯 (D) 並聯、串聯

11. 將 4 個 16 歐姆電阻並聯接於 12V 之電壓，下列何者錯誤？

- (A) 總電阻小於 16Ω (B) 總消耗功率為 36W
(C) 總阻值為 4Ω (D) 各分支電流為 3A

12. 有一電壓表，內阻為 2.5kΩ，滿刻度電流為 2mA：欲改接成可測量 20V 電壓則須串接上電阻多少 kΩ？

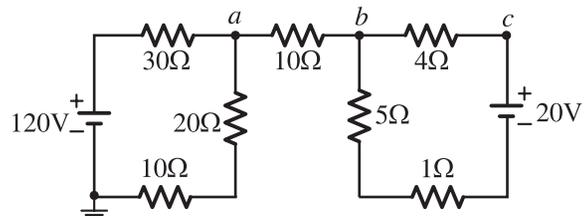
- (A) 2.5 (B) 5 (C) 7.5 (D) 6

13. 三個電阻分別為 20Ω、80Ω、240Ω，若將三個電阻並聯後接上電壓為 60 伏特的電源，則線路電流為：

- (A) 2 安培 (B) 3 安培 (C) 4 安培 (D) 5 安培

14. 如右圖所示，b 點之電位為多少 V？

- (A) 0V
(B) 12V
(C) 20V
(D) 60V



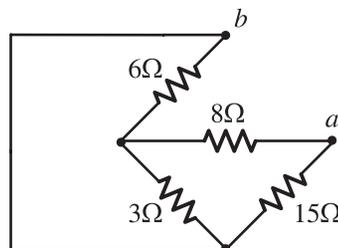
15. 三個電阻分別為 3Ω 、 10Ω 、 2Ω ，若將三個電阻串聯後接上電壓為 30 伏特的電源，則線路電流為：

中油 109

- (A) 1 安培 (B) 2 安培 (C) 5 安培 (D) 15 安培

16. 如右圖求 R_{ab} 值為多少？

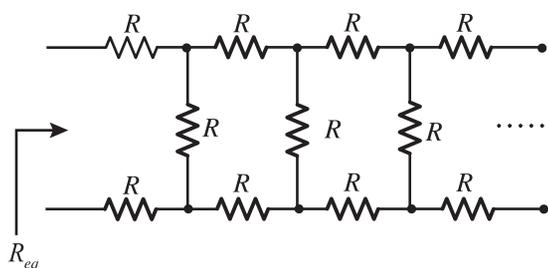
中油 109



- (A) 6Ω
 (B) 8Ω
 (C) 10Ω
 (D) 12Ω

17. 如右圖所示電路，求 R_{eq} 為多少？

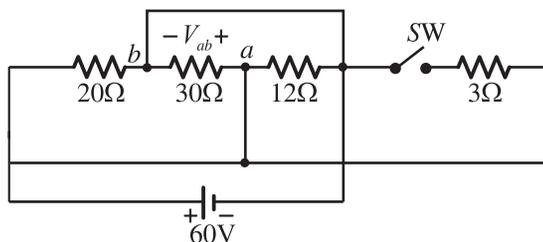
統測 109



- (A) $\sqrt{3}R\Omega$
 (B) $(1+\sqrt{3})R\Omega$
 (C) $\sqrt{2}R\Omega$
 (D) $(1+\sqrt{2})R\Omega$

18. 如右圖所示之電路，當開關 SW 打開 (off) 時之 a 、 b 兩端電壓 $V_{ab}(\text{off})$ 與 SW 閉合 (on) 時之 a 、 b 兩端電壓 $V_{ab}(\text{on})$ 之關係為何？

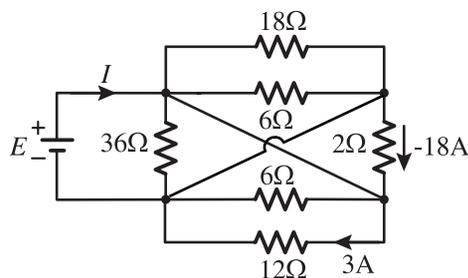
統測 108



- (A) $V_{ab}(\text{off})=12V_{ab}(\text{on})$
 (B) $V_{ab}(\text{off})=4.5V_{ab}(\text{on})$
 (C) $V_{ab}(\text{off})=V_{ab}(\text{on})$
 (D) $V_{ab}(\text{off})=0.5V_{ab}(\text{on})$

19. 如右圖所示之電路，則 E 和 I 之值各為何？

統測 108

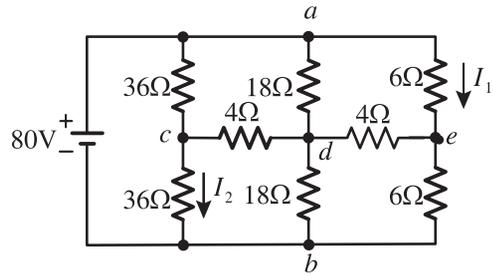


- (A) 36V, 54A
 (B) 36V, 36A
 (C) 54V, 54A
 (D) 54V, 36A

20. 如右圖所示之電路，則 I_1 與 I_2 之關係為何？

統測 108

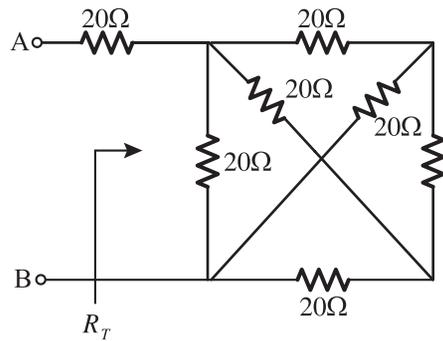
- (A) $I_1 = 12I_2$
 (B) $I_1 = 6I_2$
 (C) $I_1 = 3I_2$
 (D) $I_1 = I_2$



21. 求 A、B 端的等效電阻 R_T 為何 (如右圖)？

身心障礙 112

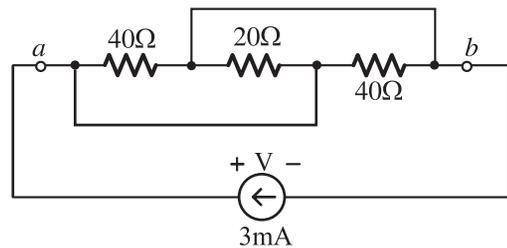
- (A) 10Ω
 (B) 20Ω
 (C) 30Ω
 (D) 40Ω



22. 如右圖所示，電流源兩端的電壓 V 為多少伏特？

身心障礙 112

- (A) 0.03 伏特
 (B) 0.3 伏特
 (C) 0.06 伏特
 (D) 0.6 伏特



23. 將內阻 $10k\Omega$ 、 $150V$ 之直流伏特計與另一台內阻 $10k\Omega$ 、 $200V$ 之直流伏特計串聯，則可量測之最高電壓為多少 V ？

自來水 111

- (A) 150 (B) 200 (C) 300 (D) 350

素養觀念題

- 小明使用三用電表歐姆檔量測電阻，小華也說，我也來量，然後也同時量測，請問此時量測值是變低、變高、或不變？
- 小明使用三用電表電壓檔量測直流電壓，小華也說，我也來量，然後也同時量測，請問此時量測值是變低、變高、或不變？
- 小明使用三用電表電流檔量測直流電流，小華也說，我也來量，然後也同時量測，請問此時量測值是變低、變高、或不變？請問其值是否變化很大？

4. 小明因為家裡來一群客人，就同時使用電子鍋煮飯、一個電鍋蒸魚、一個電鍋蒸肉、烤箱烤麵包，5 分鐘後廚房就斷電，請問為什麼呢？可否研究一下廚房有沒有專用線路？配電盤有沒有廚房專用無熔絲開關？此無熔絲開關容許的最大電流是多少？廚房可同時使用最大電流或功率是多少？每一個電子鍋、電鍋、烤箱有沒有標示功率？且此四個電器同時使用時的總電流、總功率是多少？
5. 小明買一個延長線，如圖 (1)，電流標示 15A，家裡有一電子鍋，其功率標示如圖 (2)，請問此延長線，至多可以同時使用幾個電子鍋？



圖 (1)



圖 (2) 電子鍋功率貼圖

6. 小明與小華合作步進馬達專題，小明負責製作步進馬達信號產生器的電路，如圖 (3) 左邊，小華負責將信號放大然後推動步進馬達，如圖 (3) 右邊，雙方個別測試都正常運轉，但連在一起，如圖 (3)，步進馬達卻不動，請問原因呢？

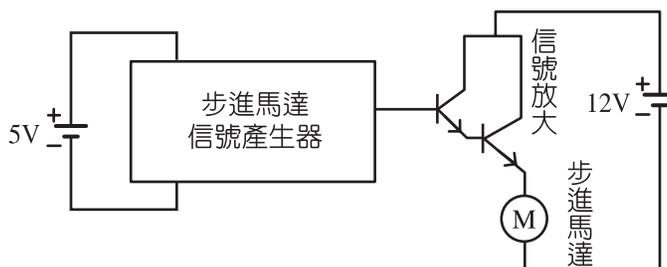


圖 (3) 步進馬達驅動電路示意圖

MEMO