

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。

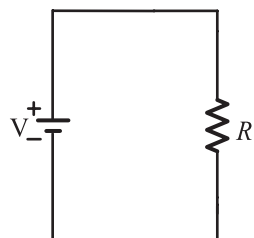


圖 3-1a 單一元件

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。

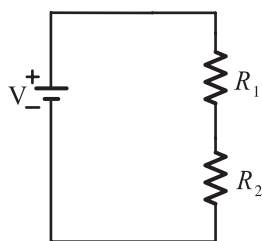


圖 3-1b 串聯電路

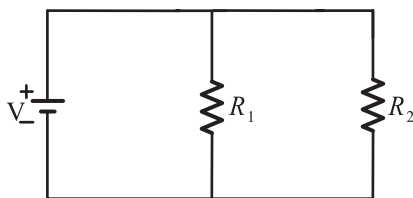


圖 3-1c 並聯電路

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）

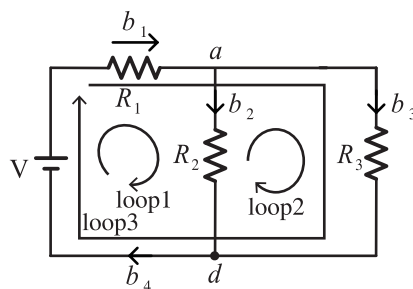


圖 3-1d 節點、分支及迴路

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。

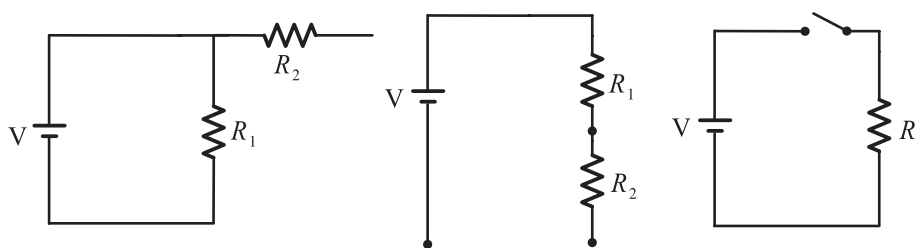


圖 3-1e 斷路或開路

§ 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。

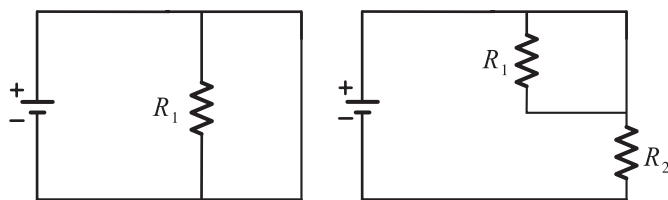


圖 3-1f 短路



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。

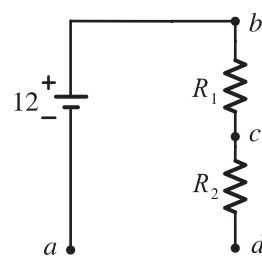


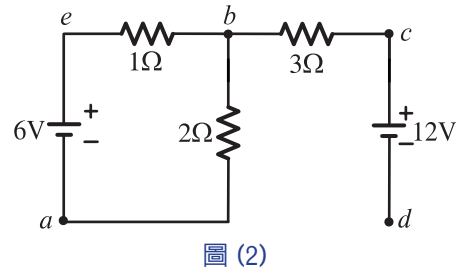
圖 (1)

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 $E_1 = E_2 + V_1 + V_2 + V_3$ 。

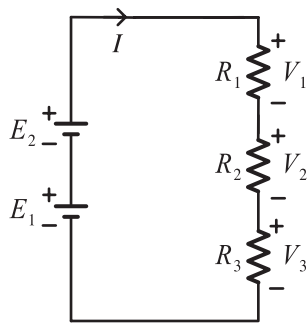


圖 3-2a 串聯電路

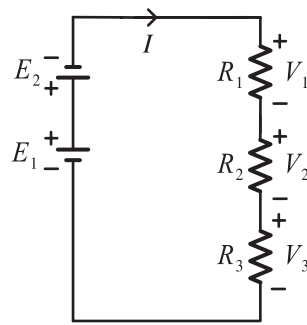


圖 3-2b 並聯電路

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

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 \quad \dots\dots\dots(2)$$

(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

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

(公式3-2)

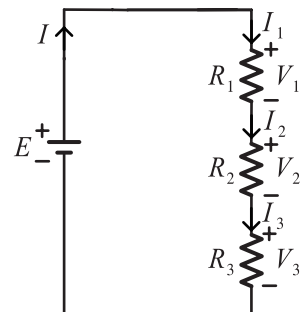


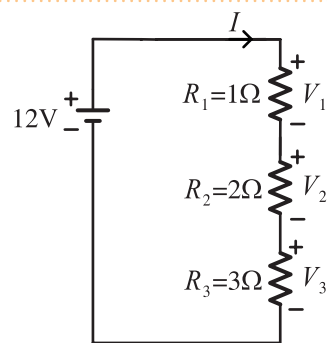
圖 3-2c

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

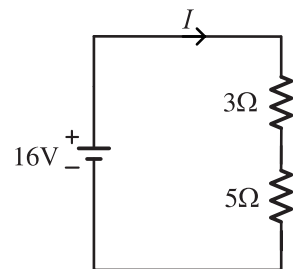
- (1) 本電路為3個電阻的串聯電路，總電阻等於所有電阻之和，所以 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 1 + 2 + 3 = 6\Omega$ 。
- (2) 總電流是輸入電壓除以總電阻，所以 $I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{6} = 2\text{A}$ 。
- (3) 所有電阻分壓是總電流乘以個別電阻，所以 $V_1 = I \cdot R_1 = 2 \cdot 1 = 2\text{V}$ ；
 $V_2 = I \cdot R_2 = 2 \cdot 2 = 4\text{V}$ ； $V_3 = I \cdot R_3 = 2 \cdot 3 = 6\text{V}$ 。
- (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 ?

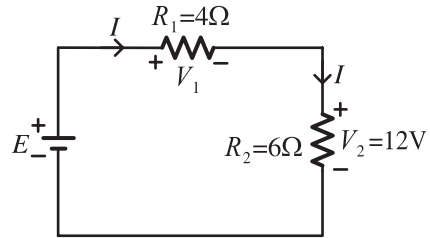


圖(2)

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？



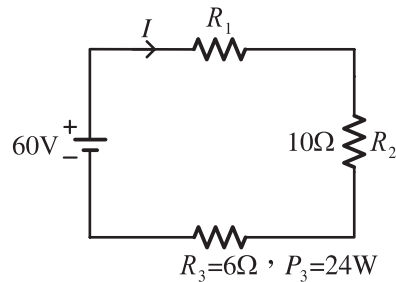
圖(1)

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 $V_1=IR_1=2 \cdot 4=8V$ ， $E = V_1+V_2=8+12=20V$

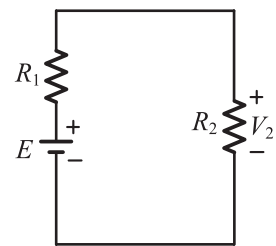
自我練習

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？

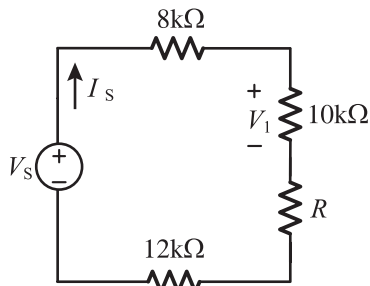


圖(2)

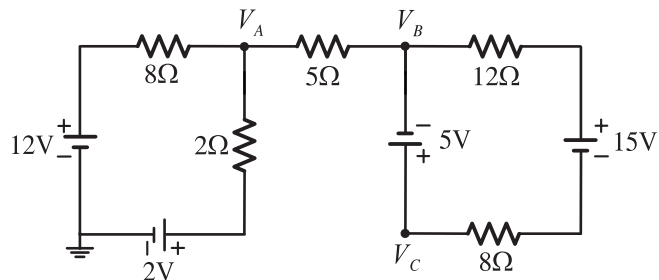
3. 如圖(4)所示電路，若電源 V_s 提供 $40mW$ 功率，且 $V_1=0.25V_s$ ，則下列何者正確？
 - (A) $I_s=2mA$ (B) $V_s=20V$
 - (C) $R=10k\Omega$ (D) R 消耗 $20mW$ 功率
4. 如圖(5)所示，求 V_C 之值為____伏特 (V)。台電 103



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：

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

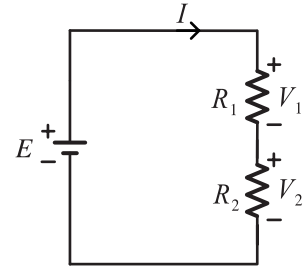


圖 3-2d 電壓分配定則

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

(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 ...，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 ，流過內部電流

$$I = V_1/R_1$$

，但是都共用一個刻度表

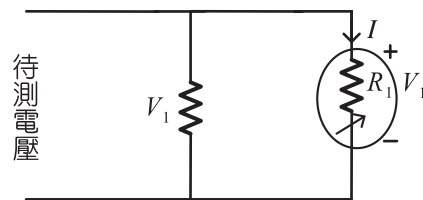


圖 3-2e 原電壓表

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 ，

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)

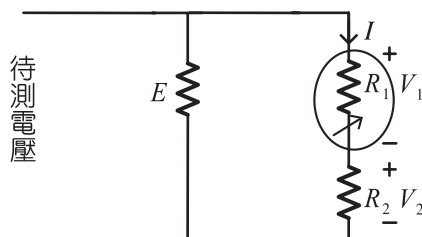


圖 3-2f 倍增電壓表

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？

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

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

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：

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

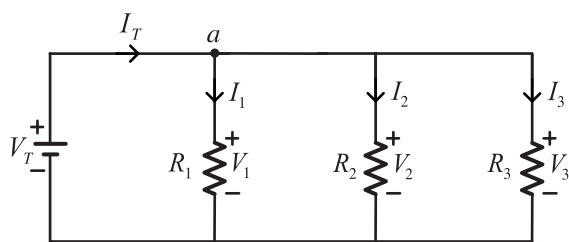


圖 3-3a

範例 3-3a

電路如圖 (1)，試求 $I = ?$

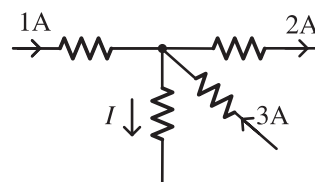


圖 (1)

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 $I_1 = ?$

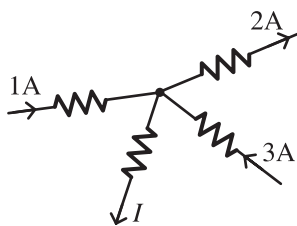


圖 (2)

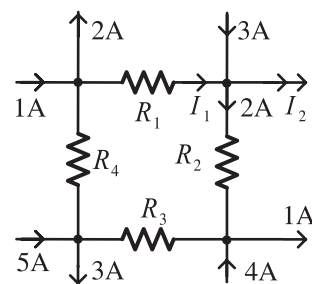


圖 (3)

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 ？

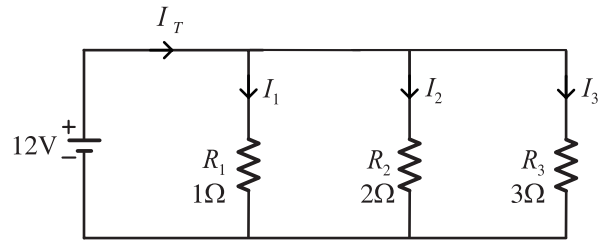


圖 (1)

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？

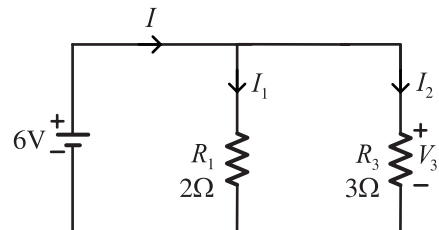
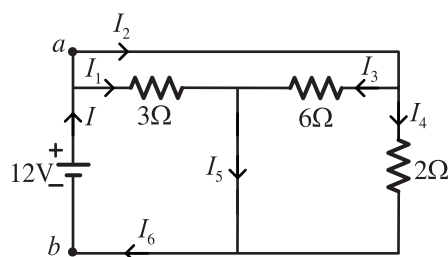


圖 (2)

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

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

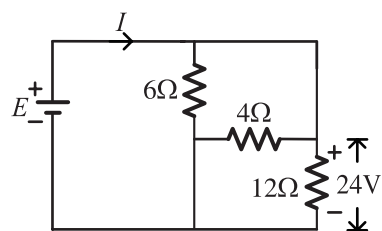
$$I = I_1 + I_2 = 4 + 8 = 12\text{A}$$

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

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

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。

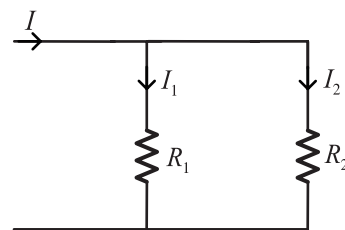
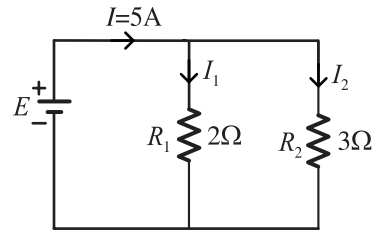


圖 3-3b

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)

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

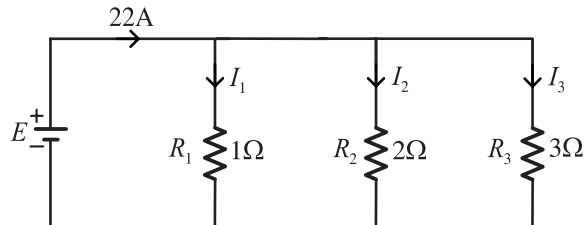
$$\Rightarrow I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I = \frac{3}{2 + 3} \cdot 5 = 3\text{A} \quad (\text{此即為電流分配定則，分配的電流與自己的電阻成反比})$$

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

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

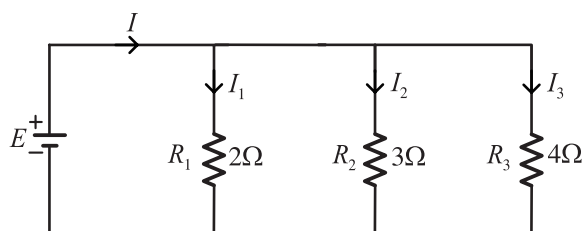
自我練習

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) $E = ?$

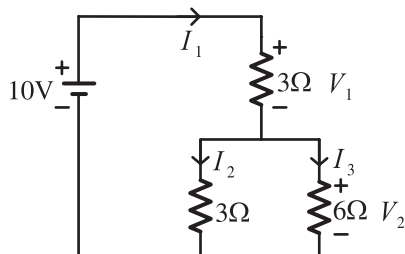


圖(3)

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)， $(3//6) = \frac{3 \cdot 6}{3+6} = 2\Omega$

$$I_1 = \frac{10}{3+2} = 2A。$$

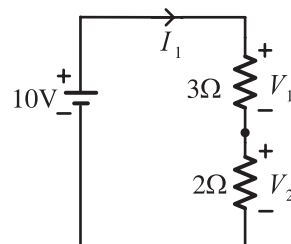
$$I_2 = \frac{6}{3+6} \cdot 2 \doteq 1.33A \text{ (分流定則)}。$$

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

(2) $V_1 = 3 \cdot 2 = 6V。$

$$V_2 = 2 \cdot 2 = 4V。$$

(3) $R_T = 3+2 = 5\Omega。$

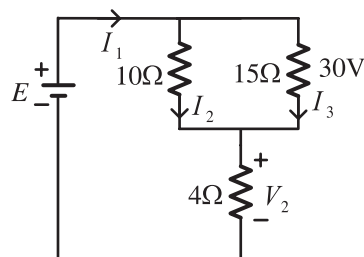


圖(2)

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) $R_T = ?$

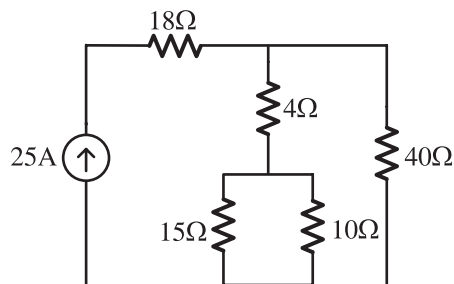


圖 (4)

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)。

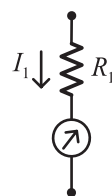


圖 3-3c 原始電流表

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：

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

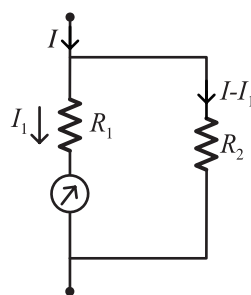


圖 3-3d 倍增電流表

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) $E = 240V$ ， $R_4 = 30\Omega$

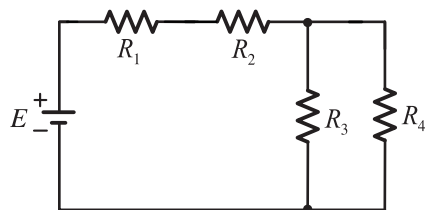


圖 (1)

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) $R = 10\Omega$

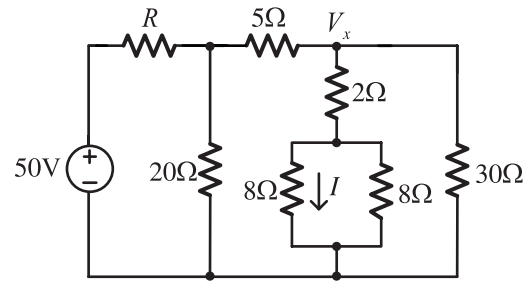


圖 (2)

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

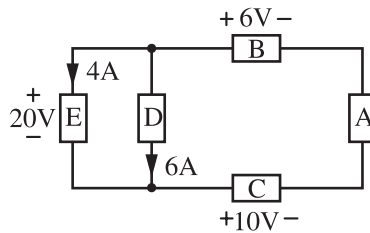


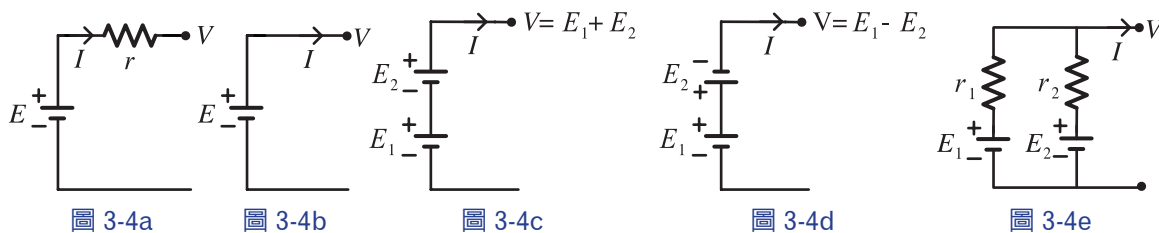
圖 (3)

- (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

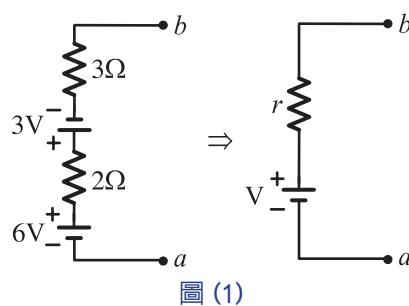
電壓源

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 ？

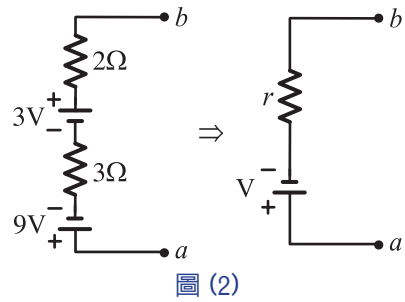


圖 (2)

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。

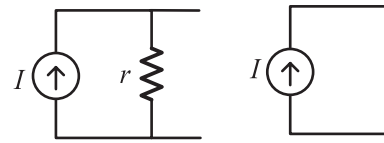


圖 3-4f

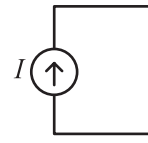


圖 3-4g

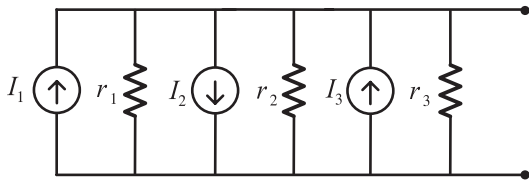


圖 3-4h 電流源並聯

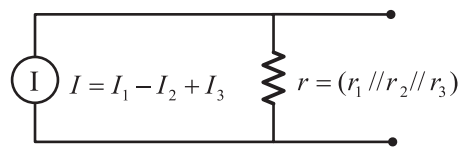


圖 3-4i 電流源並聯等效電路

範例 3-4b

電路如圖 (1)，試求：電路等效壓 V 與等效電阻 r ？

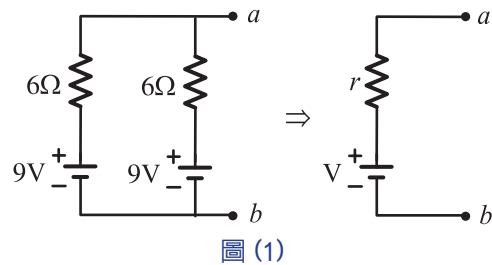


圖 (1)

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 ？

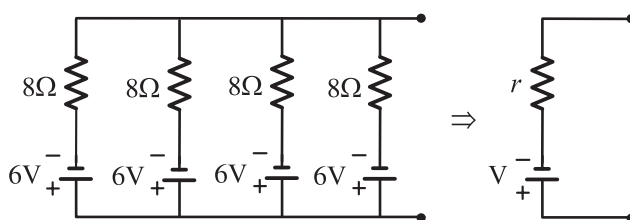


圖 (2)

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：

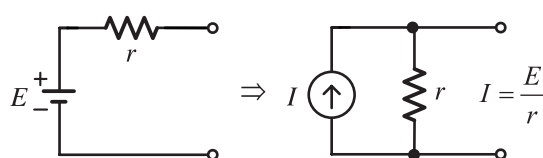


圖 3-4j 電壓源轉電流源

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：

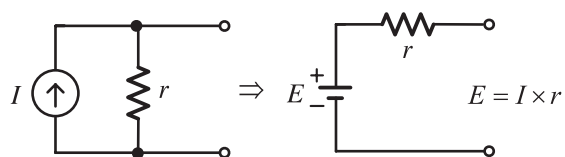


圖 3-4k 電流源轉電壓源

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？

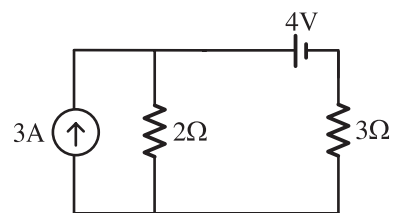


圖 (1)

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 $I_{5\Omega} = ?$

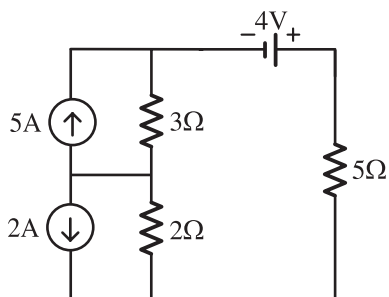


圖 (3)

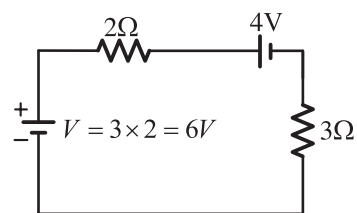


圖 (2)

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：

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

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

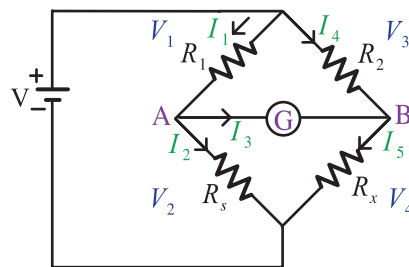


圖 3-5a 惠斯登電橋

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) $I_1 = I_4$

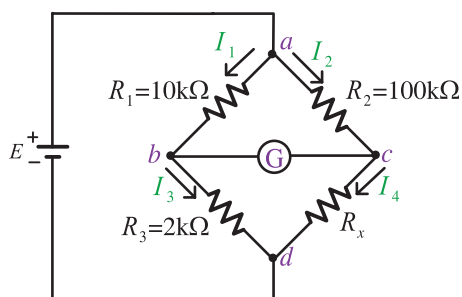


圖 (1)

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

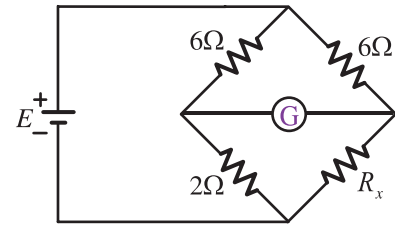


圖 (2)

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。

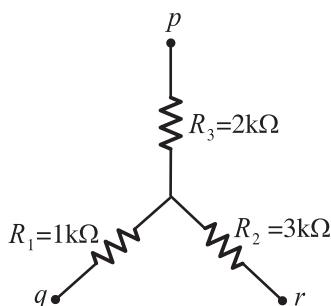


圖 3-6a Y 型電路

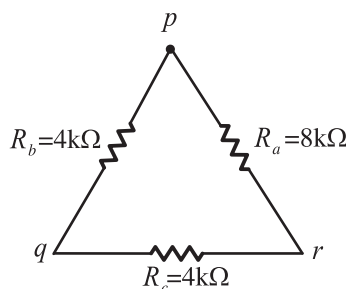
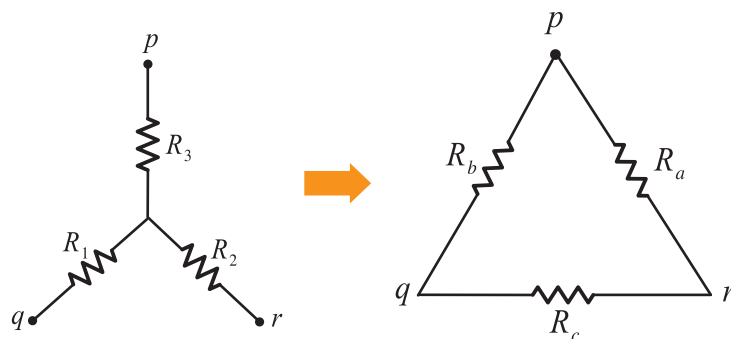


圖 3-6b Δ 型電路

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)

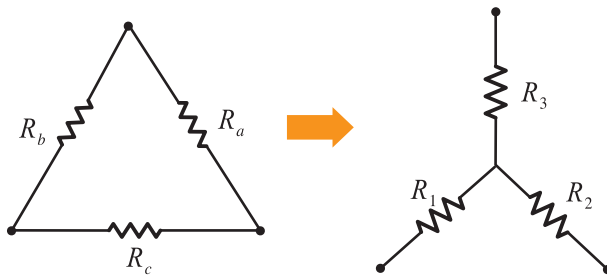
$$R_a = \frac{\text{電阻兩兩相乘之總和}}{R_a \text{對面的電阻}} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} \quad (\text{形狀是Y})$$

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

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

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

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

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

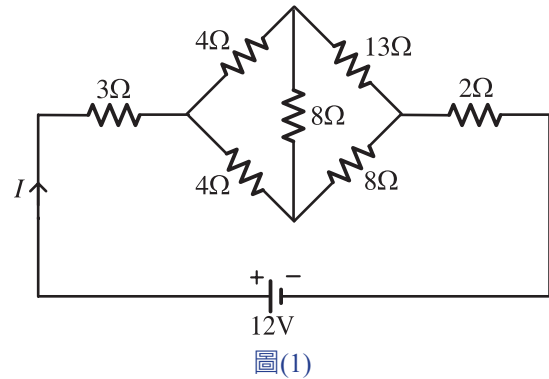
8. 將⑤⑥⑦兩邊兩兩相乘再相加，也就是⑤·⑥ + ⑥·⑦ + ⑤·⑦得到

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

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)

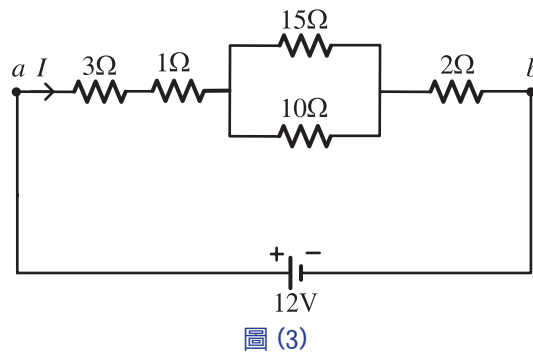
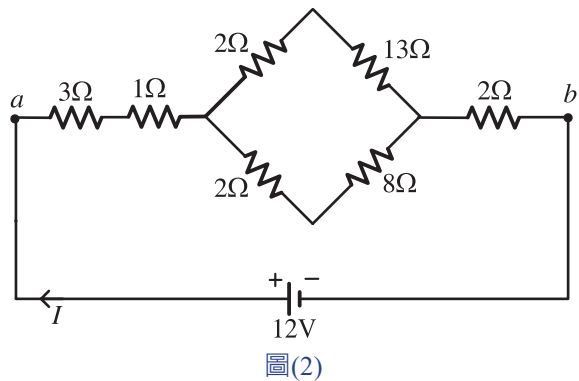
範例3-6a

電路如圖 (1)，求電流 $I = ?$



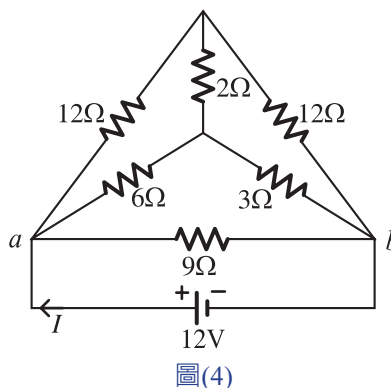
解

- (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) $I = \frac{12}{12} = 1A$ 。



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)

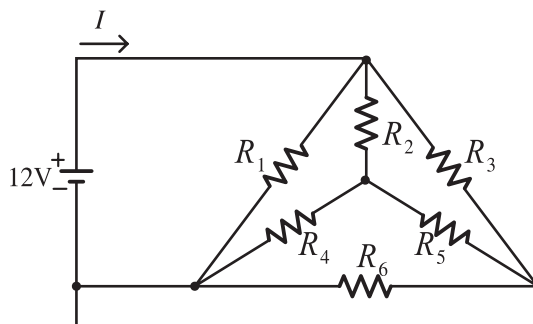


圖 (1)

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)。

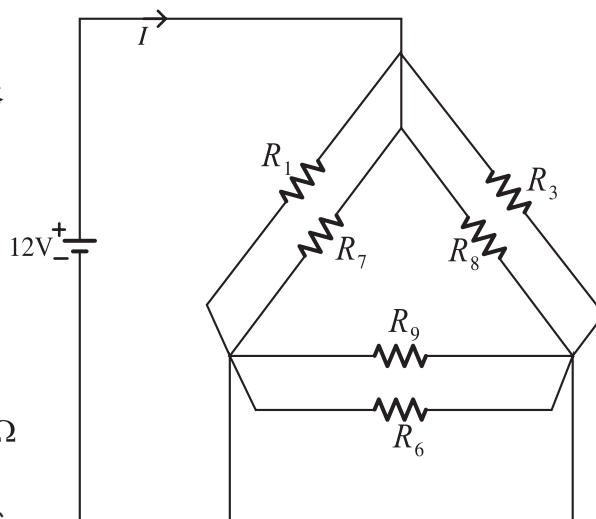


圖 (2)

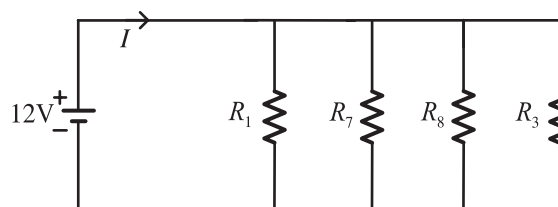


圖 (3)

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

$$I = \frac{12}{2} = 6A。$$

(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)。

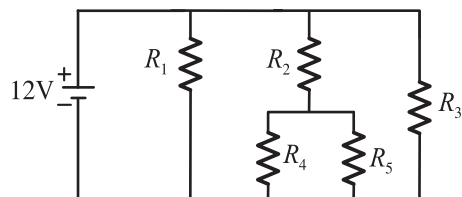


圖 (4)

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

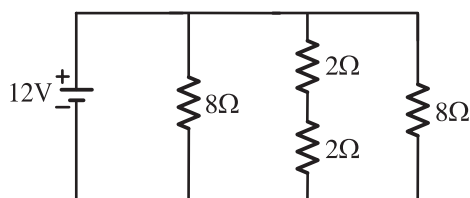


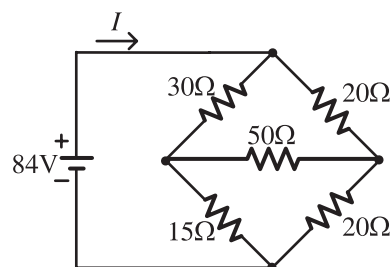
圖 (5)

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？

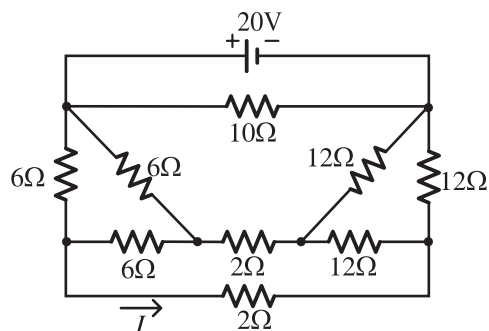
統測 111

(A) 0.5A

(B) 1A

(C) 1.5A

(D) 2A

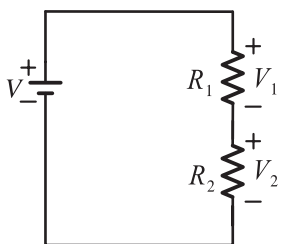


3-7 本章內容摘要

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 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$ 。
 - (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。 $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N$
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 $R_T = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_N)$ 。
 - (3) 並聯的所有元件流入的電流等於流出的電流之和 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N$ 。
 - (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。 $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N$
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

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

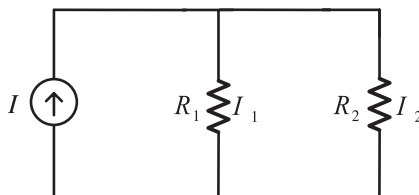
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$



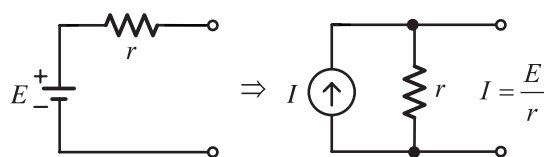
6. 並聯電阻電流分配定則。 R_1, R_2 並聯電阻的分流與自己電阻成反比

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

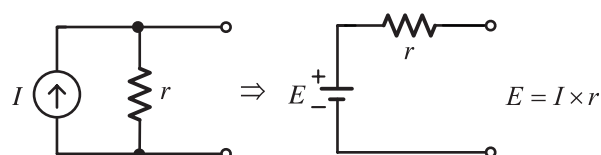
$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$



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：

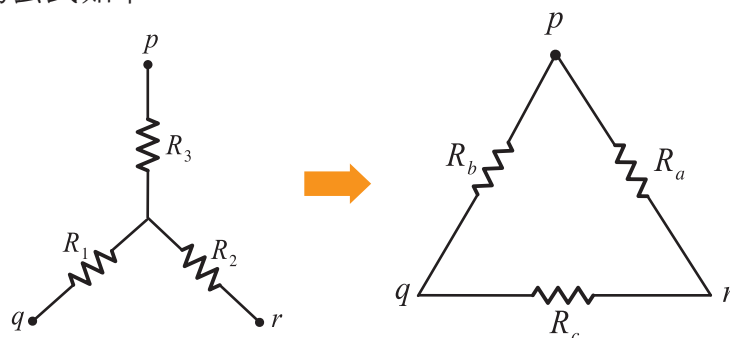


8. 理想電流源為電流源並聯一內阻，理想電流源內阻為無限大，電流源轉電壓源的方式如下：



9. 惠斯登電橋對邊電阻相乘若相等，中央電阻無電流。

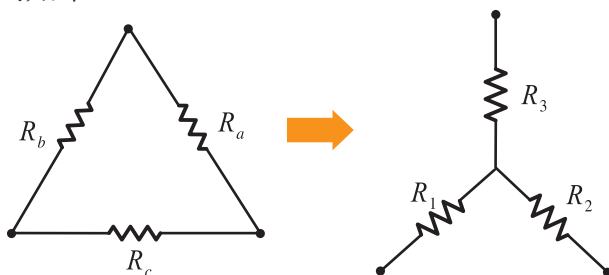
10. Y 轉 Δ 的公式如下：



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

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

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。

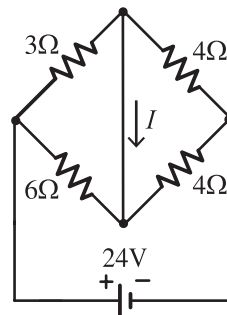
5. 性質 (property) 與特性 (attribute)：性質與特性通常用來描述某一定律的現象。例如，依據克希荷夫電壓定律，可以得到以下串聯電路性質：
- (1) 串聯電路的所有元件的電流一定相同。
 - (2) 任一元件燒毀，電流就中斷。
 - (3) 任意元件都可互換位置，不影響總電流。

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



- (A) 8A
(B) 6A
(C) 1A
(D) 0A

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

- (A) 10W (B) 30W (C) 60W (D) 160W
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

- (A) 1.25W (B) 20W (C) 50W (D) 100W
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

- (A) 8.74V (B) 10V (C) 9.11V (D) 11V
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

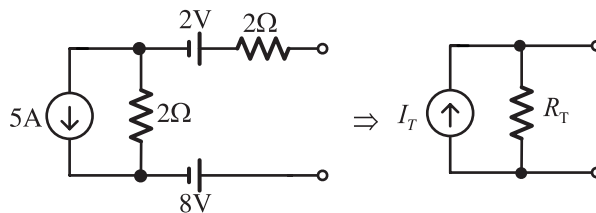
- (A) 0.4A (B) 250mA (C) 2.5A (D) 10.25mA
6. 有一電流源，其電流值為 3A，內阻為 4Ω ，請問轉換為等效電壓源後，其電壓值為多少？

中油 105

- (A) 0.75V (B) 5V (C) 9V (D) 12V
7. 如右圖所示之電路，試計算轉換後之等效電流源 $I_T = ?$

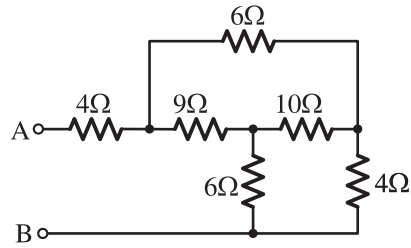
中油 107

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



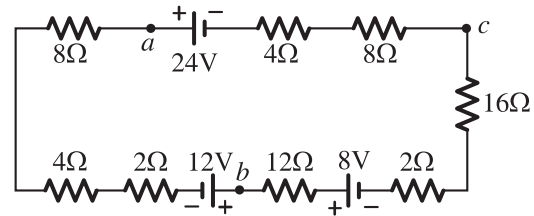
8. 試求右圖中 A、B 兩端點間的等效電阻。
中油 107

- (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？

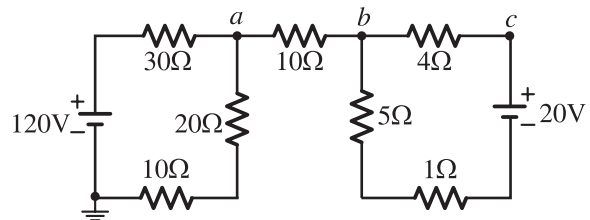
- (A) 2.5 (B) 5 (C) 7.5 (D) 6

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



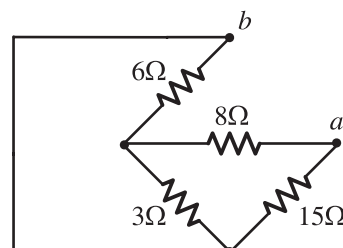
15. 三個電阻分別為 3Ω 、 10Ω 、 2Ω ，若將三個電阻串聯後接上電壓為 30 伏特的電源，則線路電流為：

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？

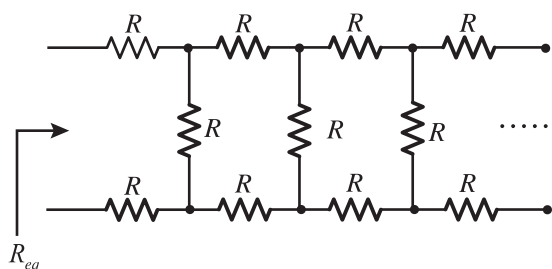
中油 109



- (A) 6Ω
 (B) 8Ω
 (C) 10Ω
 (D) 12Ω

17. 如右圖所示電路，求 R_{eq} 為多少？

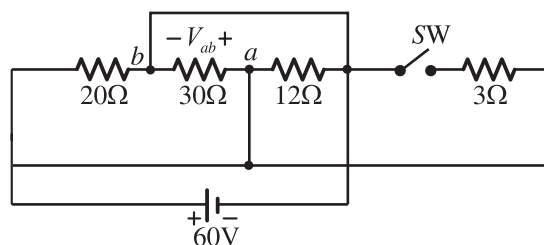
統測 109



- (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

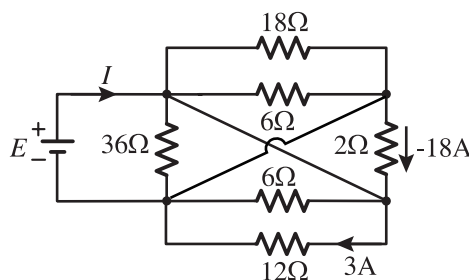
$V_{ab}(\text{on})$ 之關係為何？ 統測 108



- (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

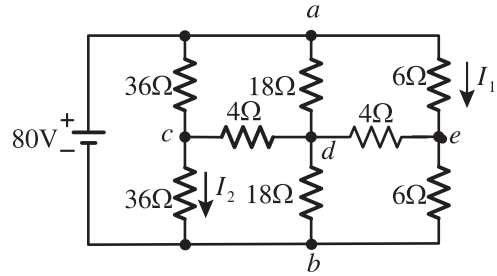


- (A) 36V, 54A
 (B) 36V, 36A
 (C) 54V, 54A
 (D) 54V, 36A

20. 如右圖所示之電路，則 I_1 與 I_2 之關係為何？

統測 108

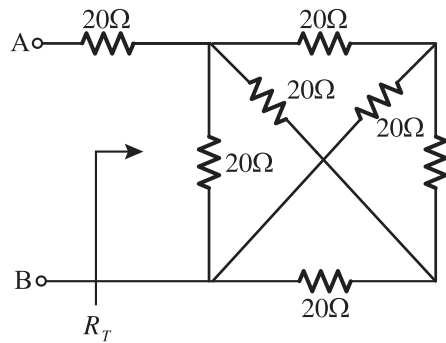
- (A) $I_1 = 12I_2$
- (B) $I_1 = 6I_2$
- (C) $I_1 = 3I_2$
- (D) $I_1 = I_2$



21. 求 A、B 端的等效電阻 R_T 為何 (如右圖)？

身心障礙 112

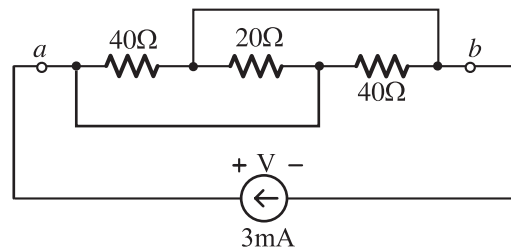
- (A) 10Ω
- (B) 20Ω
- (C) 30Ω
- (D) 40Ω



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

1. 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？
2. 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？
3. 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)，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？

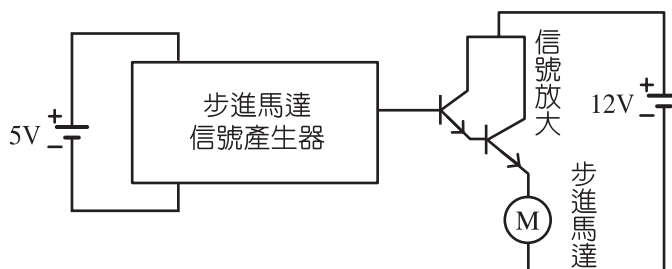


圖 (3) 步進馬達驅動電路示意圖

MEMO