

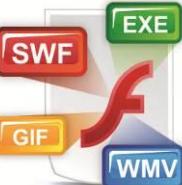
# 第3章

## 串並聯電路

- 3-1 電路型態及其特性
- 3-2 電壓源及電流源
- 3-3 克希荷夫電壓定律
- 3-4 克希荷夫電流定律
- 3-5 惠斯登電橋
- 3-6 Y- $\Delta$  互換
- ※3-7 應用電路

電路中兩個以上元件的基本連接方式有串聯、並聯、串並聯等方式，本章將建立電路連接的基本觀念，解釋串聯電路、並聯電路的定義及特性，同時說明兩大重要觀念：克希荷夫電壓定律及克希荷夫電流定律，進而學習串聯電路的分壓定則及並聯電路的分流定則的使用方式，配合實際生活中家用電器連接的使用說明，以及應用電路的討論，藉此奠定解析第四章直流迴路中複雜網路之能力。

## PDF 嵌入圖示說明

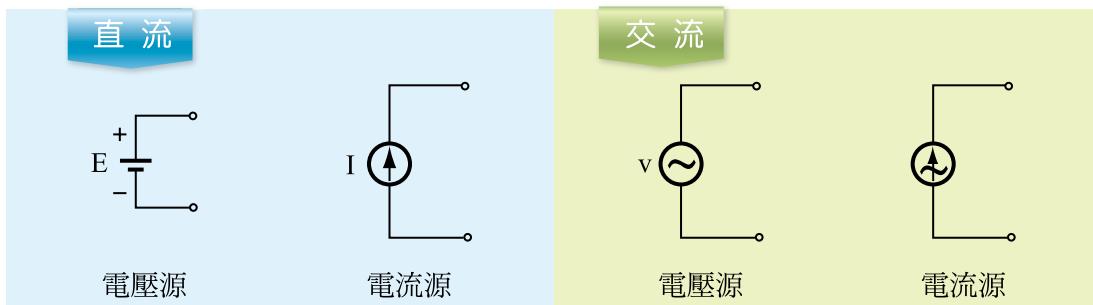
圖示	作用
	點選連結 PhET 動畫
	點選連結該章電子教案
	點選連結各式動畫
	點選該圖檔放大
	點選連結網路資源
	點選連結影片檔

## 3-1

# 電路型態及其特性

電路是將電子元件（不限數量）經由導線與電源相連接而成，使電源產生的電流經由導線連接而通過電子元件以達到某特定的目的，例如電燈發亮、聲音放大等。電路中元件連接的基本型態有**串聯**（series）及**並聯**（parallel）兩種，電路又因為電源而分為**直流電路**、**交流電路**及**交直流混合電路**。電路的組成通常有以下四項元件：

**一・電源：**電源有直流電源及交流電源，依輸出特性又可分為電壓源及電流源兩種。元件符號如圖 3-1 所示。



● 圖 3-1 電源符號

**二・開關：**控制電路中電流是否可以流動，如圖 3-2 所示。



● 圖 3-2 開關

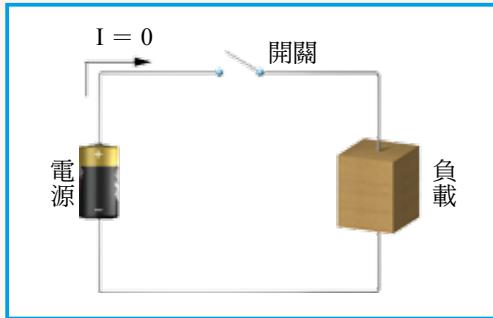
**三・導線：**連接電路中的各項元件。

**四・負載：**各種電器均可做為負載，但為了方便說明及分析，因此在本書中以電阻代表負載。

在討論電路的各項特性中，經常會使用到許多專有名詞。

## 常用的專有名詞

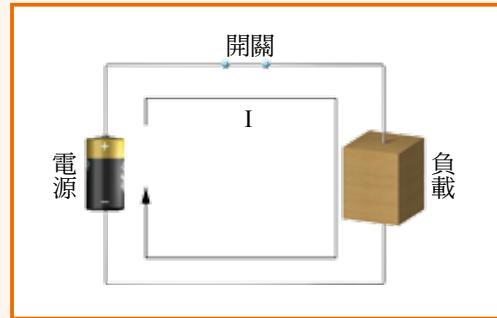
### 1. 斷路 (open circuit)



或稱開路，電路中發生斷路處無電流通過，如同開關打開。

開關打開  
所以電流無法通過

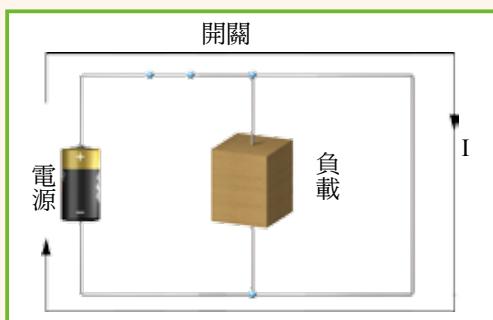
### 2. 通路 (close circuit)



或稱閉路，開關閉合時電路中電源產生的電流流經元件回到電源。

電路導通時，會有電流通過喲！

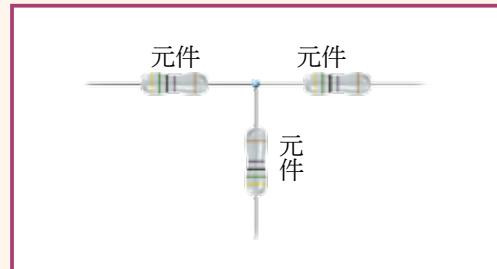
### 3. 短路 (short circuit)



電路中元件兩端經由導線連接，全部電流皆流經導線，使元件上無電流通過。

被短路的元件無電流通過，所以可以移除

### 4. 接點 (junction) 和節點 (node)



接點：電路中兩個或多個導體的連接點。

節點：電路中的接點，是三個以上元件的共同端點，此點稱為節點。

### 3-1-1 串聯電路的定義與特性

#### ★ 串聯電路

電路中元件相連接的接點上只有二個元件沒有分支，電流流動只有單一通路，此連接方式稱兩元件串聯，圖 3-3 為串聯電路。

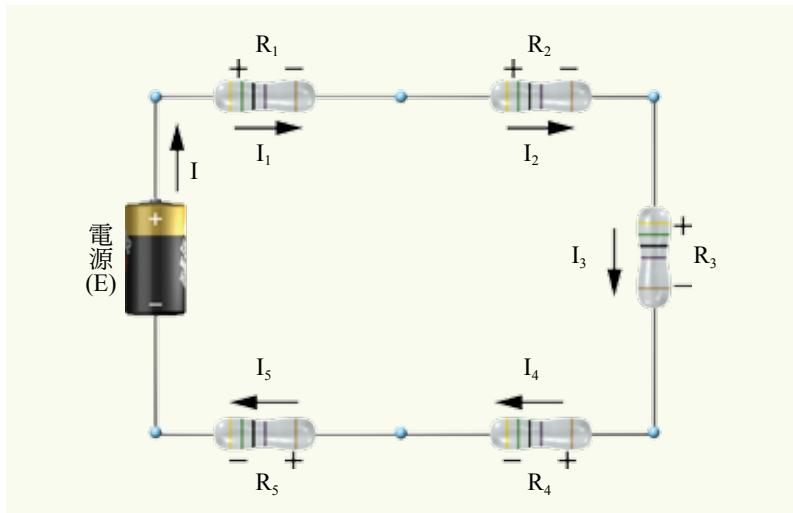


圖 3-3 電阻串聯電路

串聯電路具有下列各項特性：



#### 一・電流

串聯電路中各元件流經的電流相同，圖 3-3 中各元件相連成單一通路，因此各元件上流經的電流均相同

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5$$

#### 二・電壓

串聯電路中各電阻的電壓依歐姆定律計算：

$$V_1 = I_1 \times R_1, V_2 = I_2 \times R_2, \dots, V_n = I_n \times R_n$$

電阻上的電壓極性，流入端為“+”，流出端為“-”，總電壓降為各元件電壓降的和：

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n$$

### 三・電阻

電路中電阻串聯時，總電阻等於個別電阻的和。

$$\because E = V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n$$

$$I \times R_T = I \times R_1 + I \times R_2 + I \times R_3 + \cdots +$$

$$I \times R_n$$

$$I \times R_T = I \times (R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n)$$

$$\therefore R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

### 四・功率

串聯電路中總功率等於各元件功率的和。

$$\because E = V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n$$

串聯時電流相同，等號兩邊同乘 I

$$E \times I = V_1 \times I + V_2 \times I + V_3 \times I + \cdots +$$

$$V_n \times I$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$$

同時總功率等於電流平方乘總電阻。

$$\because P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$$

$$= I^2 \times R_1 + I^2 \times R_2 + I^2 \times R_3 + \cdots +$$

$$I^2 \times R_n$$

$$= I^2 \times (R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n)$$

$$= I^2 \times R_T$$



### 生活中的電學

#### 鹼性電池

實際的電池是理想電壓源串聯內電阻，當電池使用一段時間後端電壓近似不變，但內電阻會逐漸增加。若將電池正負極短路，會因內部通過大電流而使溫度上升，導致爆炸的危險；若將新舊電池混合使用，會因為內電阻不同，使新電池負擔過大並減少其壽命。



## 範例

1

如圖 3-4 所示，試計算 (1) 總電阻 (2) 總電流  
(3) 各電阻的電壓降。

**解** (1) 總電阻

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 1\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega + 3\text{k}\Omega = 6\text{k}\Omega \end{aligned}$$

(2) 總電流

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{120}{6\text{k}} = 20\text{mA}$$

(3) 串聯時各元件電流相同

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_1 = I_1 \times R_1 = 20 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = 20\text{V}$$

$$V_2 = I_2 \times R_2 = 20 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 = 40\text{V}$$

$$V_3 = I_3 \times R_3 = 20 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^3 = 60\text{V}$$

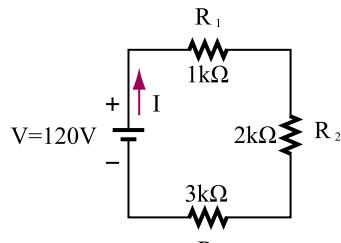


圖 3-4

## 類題

例 1 中  $V = 200\text{V}$ ， $R_1 = 3\text{k}\Omega$ ， $R_2 = 5\text{k}\Omega$ ， $R_3 = 2\text{k}\Omega$ ，試計算

(1) 總電阻 (2) 總電流。

**答**

(1)  $10\text{k}\Omega$ ；(2)  $20\text{mA}$

## 範例

2

如圖 3-5 所示，已知  $8\Omega$  上的電壓降為  $16\text{V}$ ，試計算 (1) 電源  $E$  (2)  $R_1$  消耗的電功率。

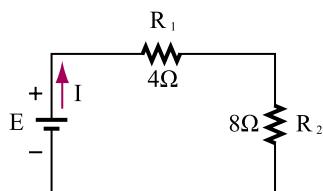


圖 3-5

**解** (1) 串聯時電流相同

$$I = I_1 = I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{16}{8} = 2A$$

$$E = I \times R_T = 2 \times (4 + 8) = 24V$$

$$(2) P_1 = I_1^2 \times R_1 = 2^2 \times 4 = 16W$$

### 類題

例 2 中， $R_1 = 6\Omega$ ， $R_2 = 18\Omega$ ， $R_1$  上電壓為 12V 時，試計算

(1) 電源 E (2)  $R_2$  消耗的電功率。

**答** (1) 48V；(2) 72W

### 範例

3

如圖 3-6 所示，已知  $R_3$  消耗的功率為 20 瓦特，  
則電阻  $R_1$  = ?

**解**  $P_3 = I_3^2 \times R_3$

$$\therefore I_3 = \sqrt{\frac{P_3}{R_3}} = \sqrt{\frac{20}{5}} = 2A$$

串聯時電流相同

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = 2A \quad R_T = \frac{E}{I} = \frac{80}{2} = 40\Omega = R_1 + R_2 + R_3$$

$$\therefore R_1 = 40 - R_2 - R_3 = 40 - 10 - 5 = 25\Omega$$

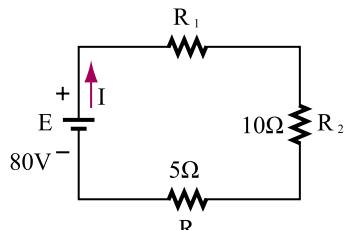


圖 3-6

### 類題

例 3 中，電源  $E = 120V$ ， $R_2 = 15\Omega$ ， $R_3 = 10\Omega$ ， $P_3 = 160W$ ，則電阻  $R_1 = ?$

**答**  $5\Omega$

### 3-1-2 並聯電路的定義與特性

#### ★ 並聯電路

電路中二個或二個以上的元件，同時連接在兩個節點上。由於元件的端點相連在一起，因此元件的端電壓相同，如圖 3-7 所示。當兩元件並聯時，以“//”符號表示兩元件並聯。

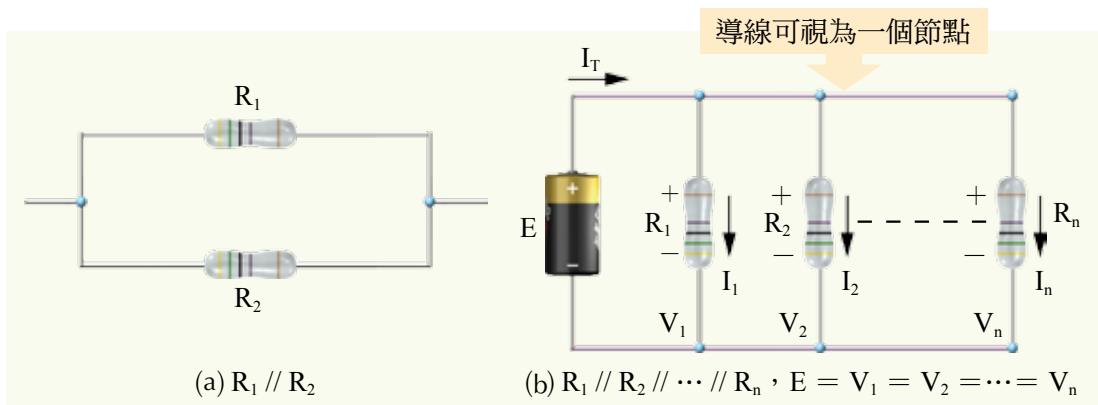


圖 3-7 並聯連接示意圖

電路中元件的組合可以同時有串聯及並聯，也可以先串聯後並聯或先並聯後串聯，解題要訣是符合串聯或並聯定義之元件，依特性計算各項結果，並聯電路具有下列各項特性：

#### 一・電流

元件並聯時為獨立分支，各支路電流之和等於總電流。

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

#### 二・電壓

元件並聯時各元件之端電壓均相同。

$$E = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

### 三・電阻

並聯電路總電阻的倒數等於各電阻倒數的和。

$$\therefore I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$\frac{E}{R_T} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_n}{R_n}$$

$$\frac{E}{R_T} = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

$$\therefore \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{或}$$

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

#### 1. 若只有兩個電阻並聯時

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

$$\text{總電阻 } R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

#### 2. 若 n 個相同電阻值的電阻並聯時

$$(R_1 = R_2 = \dots = R_n = R)$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \frac{1}{R_T} = \frac{n}{R}$$

$$\therefore R_T = \frac{R}{n}$$

綜合上述，電阻並聯後的總電阻值將小於個別電阻。

$$R_T = R_1 // R_2 // R_3$$

$$R_T < R_1 ; R_T < R_2 ; R_T < R_3$$

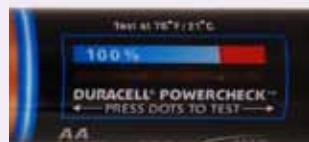


#### 生活中的電學

##### 驗電條

一般市售的電池上有些會附有驗電條顯示電力有多少，其利用三、四片長度相同、寬度不同的相同材料並聯在一起，電池連接驗電條時，最靠近電池的金屬片因寬度最小，電阻最小，發熱功率最大，故最先發熱發亮；離電池最遠的金屬片，因寬度最大，電阻最大，發熱功率最小，故最慢發熱發亮。

當電池電力下降後，離電池最遠的金屬片，因電阻最大，故無法發亮。



## 四 · 電導

並聯電路總電導等於各支路電導和。

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad G_T = \frac{1}{R_T}; G_1 = \frac{1}{R_1}; G_2 = \frac{1}{R_2}; \cdots; G_n = \frac{1}{R_n}$$

$$\therefore G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \cdots + G_n$$

## 五 · 功率

並聯電路總功率等於各電阻消耗功率的和。

$$\therefore I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

等號兩邊同時乘  $V$        $V \times I_T = V \times I_1 + V \times I_2 + V \times I_3 + \cdots + V \times I_n$

$$\therefore P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$$

### 範例

4

如圖 3-8 所示，試計算

- (1) 總電阻
- (2) 各電阻電流
- (3) 總電流
- (4) 各電阻消耗的功率
- (5) 總功率。

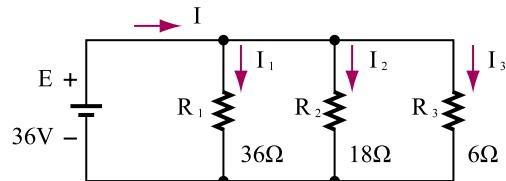


圖 3-8

**解** (1)  $R_T = R_1 // R_2 // R_3$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{36} + \frac{1}{18} + \frac{1}{6} = \frac{1+2+6}{36} = \frac{1}{4} \quad \therefore R_T = 4\Omega$$

(2) 並聯電路各元件端電壓相等

$$E = V_1 = V_2 = V_3 = 36V$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{36}{36} = 1A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{36}{18} = 2A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{36}{6} = 6A$$

(3) 總電流等於各支路電流相加

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 1 + 2 + 6 = 9A$$

$$(4) P_1 = I_1^2 \times R_1 = 1^2 \times 36 = 36W$$

$$P_2 = I_2^2 \times R_2 = 2^2 \times 18 = 72W$$

$$P_3 = I_3^2 \times R_3 = 6^2 \times 6 = 216W$$

$$(5) P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$= 36 + 72 + 216 = 324W$$

## 類題

例 4 中， $R_1 = 24\Omega$ ， $R_2 = 18\Omega$ ， $R_3 = 36\Omega$ ， $E = 72V$ ，試計算

- (1)  $R_T$  (2)  $P_T$  (3)  $P_2$ 。

**答** (1)  $8\Omega$ ；(2)  $648W$ ；(3)  $288W$

## 範例

5

如圖 3-9 所示，總電流  $I = 6A$ ，分支電流  $I_2 = 4A$ ，試計算 (1) 分支電流  $I_1$  (2) 電阻  $R_2$  (3) 總電源  $E$ 。

**解** (1)  $\because$  總電流 = 分支電流和

$$I = I_1 + I_2$$

$$\therefore I_1 = 6 - 4 = 2A$$

(2) 並聯電路，元件端電壓相等

$$V_1 = V_2 \Rightarrow I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2$$

$$2 \times 12 = 4 \times R_2$$

$$\therefore R_2 = 6\Omega$$

$$(3) E = V_1 = V_2 = I_1 \times R_1 = 2 \times 12 = 24V$$

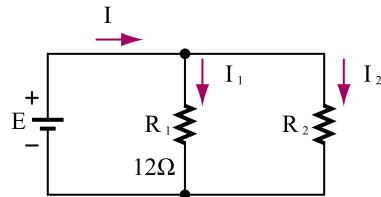


圖 3-9

## 類題

例 5 中， $I_1 = 6A$ ， $R_2 = 10\Omega$ ， $I = 15A$  時，試計算 (1)  $R_1$  (2)  $I_2$ 。

**答** (1)  $15\Omega$ ；(2)  $9A$

## 範例

6

如圖 3-10 所示，已知  $R_2$  消耗的功率為 48 瓦特，則 (1) 電阻  $R_2$  為多少？(2) 電源電壓  $E$  為多少？(3) 總電流  $I$  為多少？

**解** (1)  $P_2 = I_2^2 \times R_2$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{P_2}{I_2^2} = \frac{48}{4^2} = 3\Omega$$

$$(2) V_2 = I_2 \times R_2 = 4 \times 3 = 12V$$

並聯電路電壓相同  $E = V_1 = V_2 = 12V$

$$(3) I = I_1 + I_2 = \frac{12}{4} + 4 = 3 + 4 = 7A$$

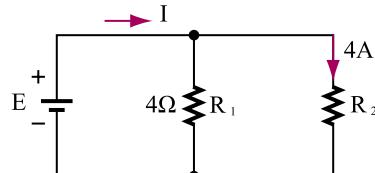


圖 3-10

## 類題

例 6 中，若  $E = 60V$ ， $R_1 = 6\Omega$ ， $P_2 = 300W$ ，試計算 (1)  $R_2$  (2)  $I$ 。

**答** (1)  $12\Omega$ ；(2)  $15A$

## 隨堂練習

- 三個電阻器分別為  $24\Omega$ 、 $12\Omega$ 、 $8\Omega$ ，串聯後等效電阻為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ ；並聯後等效電阻為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。
- 如圖 (1) 串聯電路，總電阻為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ ，總電流為 \_\_\_\_\_ A， $R_2$  的端電壓為 \_\_\_\_\_ V， $R_3$  消耗的功率為 \_\_\_\_\_ W。

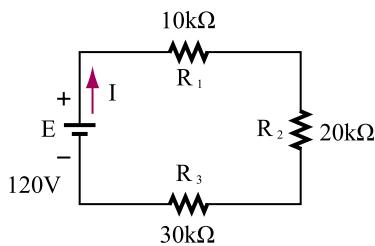


圖 (1)

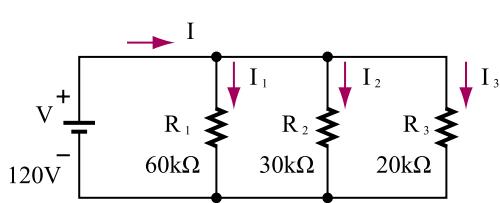
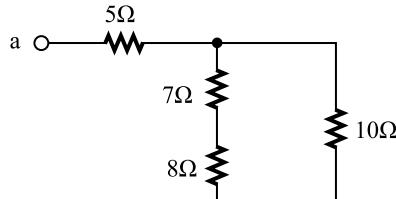


圖 (2)

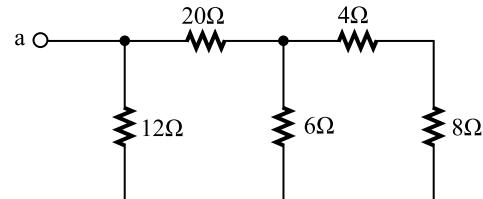
3. 如圖(2)並聯電路，總電阻為\_\_\_\_\_Ω，總電流為\_\_\_\_\_A，R<sub>1</sub>的支路電流為\_\_\_\_\_A，R<sub>2</sub>的端電壓為\_\_\_\_\_V，R<sub>3</sub>消耗的功率為\_\_\_\_\_W。

4. 計算圖(3)中總電阻為多少？



$$R_{ab} = \text{_____} \Omega$$

(a)



$$R_{ab} = \text{_____} \Omega$$

(b)

圖(3)

## 3-2

# 電壓源及電流源

電路的連接中，需要有供給能量的**主動元件**，如電壓源或電流源；消耗能量的元件，如電阻器；儲存能量的元件，如電容器或電感器，以下針對主動元件的電壓源與電流源分別討論其定義及特性。

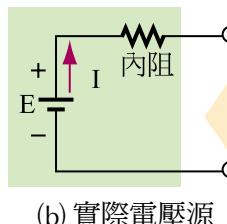
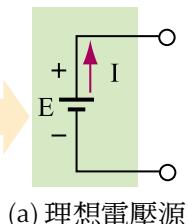
電壓源的內阻會使  
輸出端電壓降低。



### 3-2-1 電壓源

#### 一・特性

電壓源是一個端電壓固定、電流大小隨負載不同而改變的元件，如圖所示。



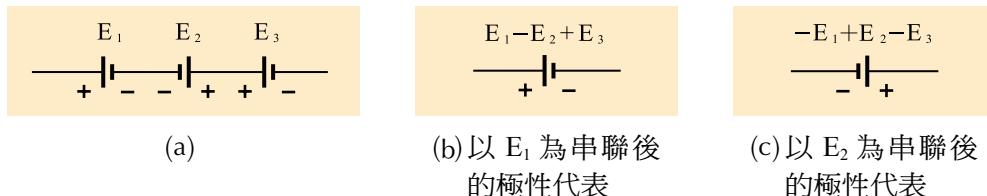
實際的電壓源可視為一個理想電壓源串聯一內阻，內阻大小將影響負載電壓的大小。內阻愈小，電源輸出的電流量愈大，負載電壓愈大；理想電壓源其內阻為零。

圖 3-11 電壓源

一般電路的表示及計算，無特別聲明時，內阻視為  $0\Omega$ ，電壓源視為理想電壓源。

## 二・電壓源串聯

串聯電路中有多個電壓源串聯時，可依其極性合併為一個等效電壓源，**電壓極性相同者相加；電壓極性相反者相減**。合併後總電壓若為負值，則表示實際電壓極性與假設極性相反。如圖 3-12 所示。

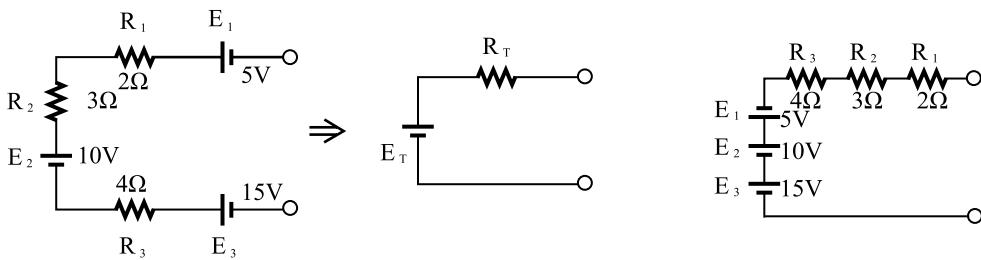


● 圖 3-12 電壓源串聯合併

### 範例

7

如圖 3-13 所示，試計算 (1) 等效電阻  $R_T$  (2) 等效電壓源  $E_T$



● 圖 3-13

● 圖 3-14 串聯元件之間可互換位置

解

$$\begin{aligned} (1) R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 2 + 3 + 4 \\ &= 9\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) E_T &= -E_1 + E_2 + E_3 \\ &= -5 + 10 + 15 \\ &= 20V \end{aligned}$$

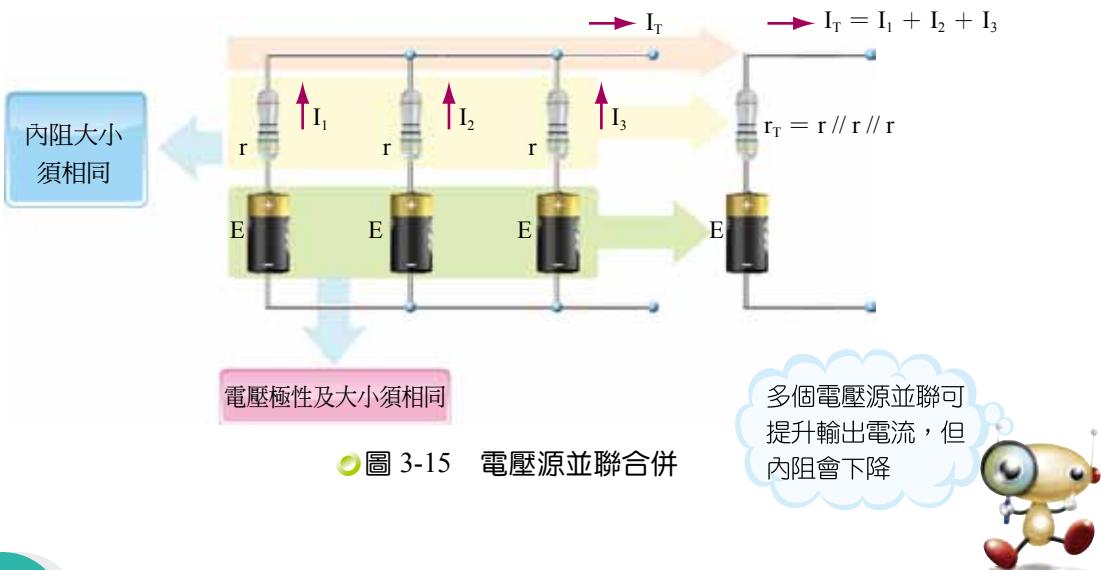
## 類題

例 7 中，若  $E_2$  正、負極性相反，則  $E_T = ?$

答 0V

## 三・電壓源並聯

電壓源並聯可提高供給負載電流量，如圖 3-15 所示。



## 範例

8

如圖 3-16 所示，試計算 (1) 圖 (a) 中負載電流  $I_L$  (2) 圖 (b) 中等效電壓源 ( $E_T$ ) 、等效電阻 ( $r_T$ ) 、負載電流 ( $I_L$ )

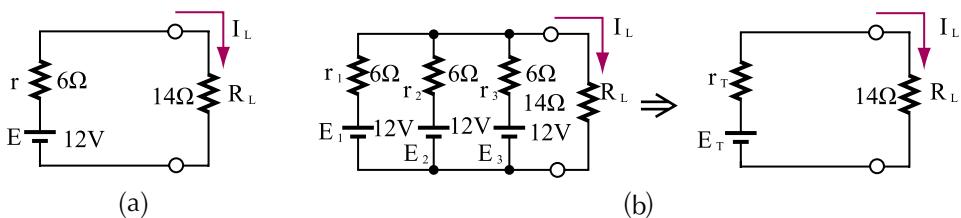


圖 3-16

解

$$(1) \text{ 圖 (a) 中串聯各元件電流相同 } I_L = I_T = \frac{E}{r + R_L} = \frac{12}{6 + 14} = 0.6A$$

$$(2) \text{ 等效電壓 } E_T = E_1 = E_2 = E_3 = 12V$$

$$\text{等效電阻 } r_T = r_1 // r_2 // r_3 = 6 // 6 // 6 = 2\Omega$$

$$\text{負載電流 : } I_L = \frac{E_T}{r_T + R_L} = \frac{12}{2 + 14} = 0.75A$$

由本例題可知，當多組電壓源並聯時，因總內阻下降，因而對負載提供的電流增加。

### 類題

例 8 圖 3-16(b) 中， $r_1 = r_2 = r_3 = 12\Omega$ ， $R_L = 16\Omega$ ， $E_1 = E_2 = E_3 = 20V$ ，試計算 (1)  $r_T$  (2)  $E_T$  (3)  $R_L$  端電壓。

答

(1)  $4\Omega$ ；(2)  $20V$ ；(3)  $16V$

## 3-2-2 電流源

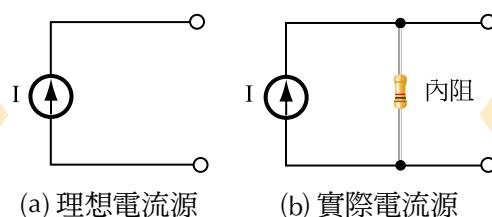
### 一・特性

一般電路的表示及計算，無特別聲明時，內阻視為 $\infty \Omega$ ，電流源視為理想電流源。

電流源內阻會因分流效應使輸出端電流降低。



電流源是一個輸出電流固定、端電壓大小隨負載不同而改變的元件，如圖所示。

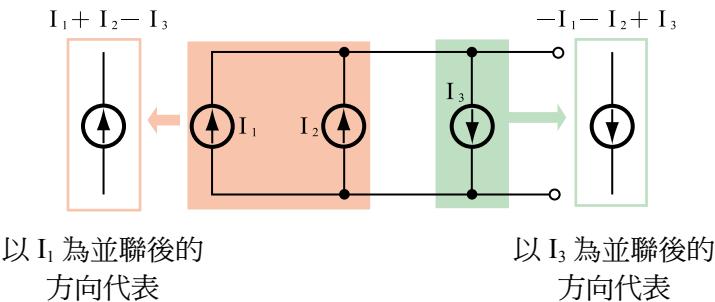


實際的電流源可視為一個理想電流源並聯一內阻，內阻大小將影響負載電流的大小，內阻愈大，負載電流愈大；理想電流源內阻為無限大。

圖 3-17 電流源

## 二・電流源並聯

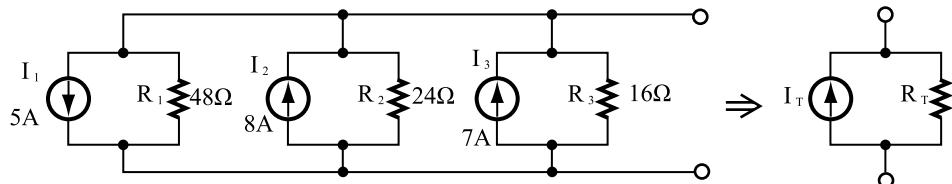
並聯電路中有幾個電流源並聯時，可依其電流方向合併為一等效電流源，**電流方向相同者相加，電流方向相反者相減**，合併後總電流若為負值，則表示實際電流方向與假設相反。如圖 3-18 所示。



● 圖 3-18 電流源並聯合併

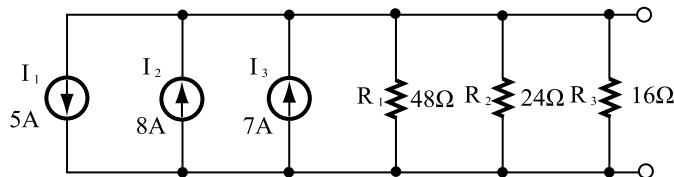
### 範例 9

如圖 3-19 所示，試計算 (1) 等效電阻  $R_T$  (2) 等效電流源  $I_T$ 。



● 圖 3-19

元件位置經調整後



● 圖 3-20 並聯元件之間可互換位置

**解**

$$(1) R_T = R_1 // R_2 // R_3 = 48 // 24 // 16 = 8\Omega$$

$$(2) I_T = -I_1 + I_2 + I_3 = -5 + 8 + 7 = 10A$$

**類題**

例 9 中，若  $I_3$ 、 $R_3$  未知，但  $I_T = 20A$ ， $R_T = 12\Omega$ ，試計算 (1)  $I_3$  (2)  $R_3$ 。

**答**

(1) 17A；(2) 48Ω

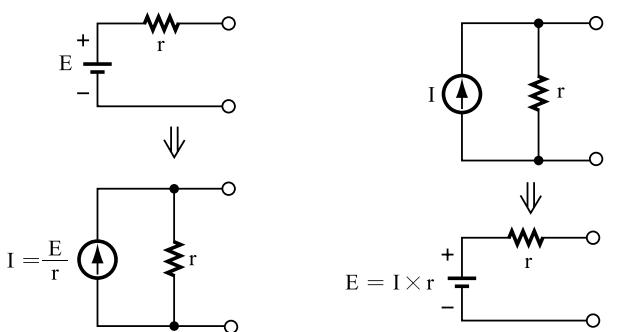
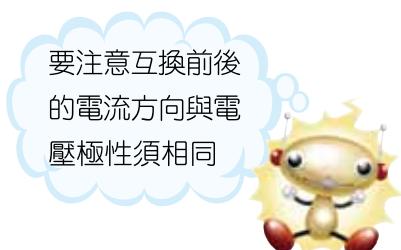
### 三・電流源串聯

電流源串聯可提高內阻大小，但極少使用，使用時須注意下列各項：

1. 電流方向須相同。
2. 電流大小須相同。
3. 內阻大小須相同。

#### 3-2-3 電壓源與電流源互換

為方便串並聯電路的計算，可將電壓源與電流源進行互相轉換，轉換方式為內阻保持不變，利用歐姆定律求算電壓源或電流源大小。如圖 3-21 所示。但須注意電壓源正極為電流源電流流出的方向。



(a) 電壓源轉換為電流源

(b) 電流源轉換為電壓源

圖 3-21 電源互換

## 範例

10

如圖 3-22(a) 所示，試計算轉換後的電壓源或電流源。

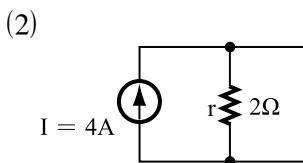
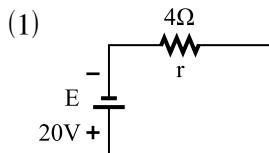


圖 3-22(a)

**解**

(1)

$\Rightarrow$

$$I = \frac{E}{r} = \frac{20}{4} = 5\text{A}$$

圖 3-22(b)

(2)

$\Rightarrow$

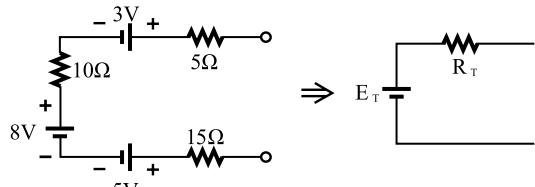
$$E = I \times r = 4 \times 2 = 8\text{V}$$

圖 3-22(c)

## 隨堂練習

5. 電壓源內阻愈\_\_\_\_\_愈好，  
理想電壓源內阻為\_\_\_\_\_。

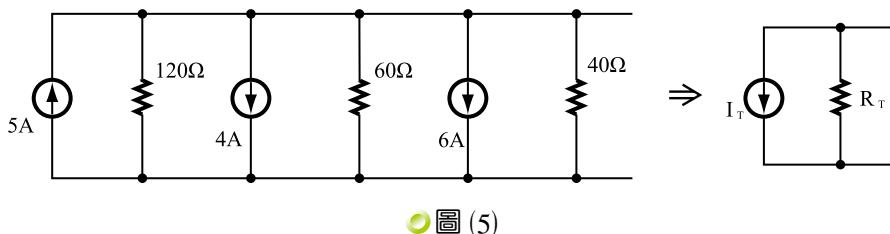
6. 如圖(4)所示，計算合併後等效  
總電阻  $R_T = \underline{\hspace{2cm}}$  Ω，等效  
總電壓  $E_T = \underline{\hspace{2cm}}$  V。



圖(4)

7. 電流源內阻愈\_\_\_\_\_愈好，理想電流源內阻為\_\_\_\_\_。

8. 如圖(5)所示，計算合併後等效總電阻  $R_T = \underline{\hspace{2cm}}$  Ω，等效總電流  $I_T = \underline{\hspace{2cm}}$  A。

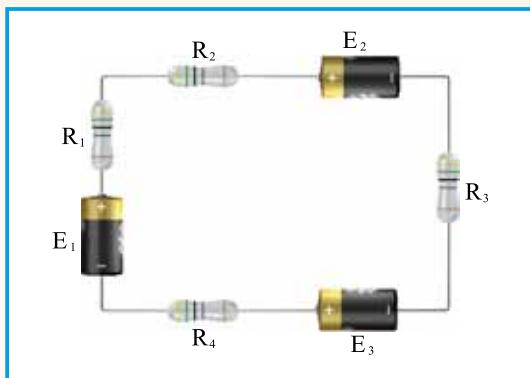


### 3-3 克希荷夫電壓定律

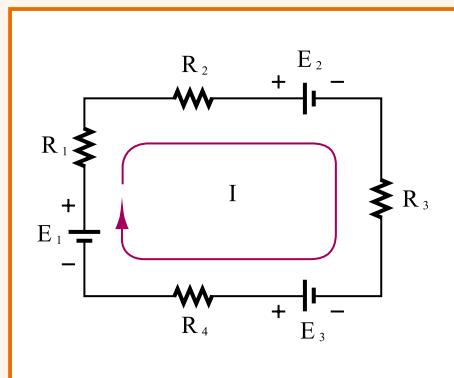
克希荷夫先生是德國著名的科學家，他在對電路分析上提出兩項相當好用的定律，首先介紹克希荷夫電壓定律（Kirchhoff's voltage law，簡稱 KVL）。

#### 克希荷夫電壓定律—題解步驟

##### 0 電路圖



##### 步驟 1



電流方向可以  
假設順時針或  
逆時針均可。



(1) 假設迴路中電流方向。

### 3-3-1 克希荷夫電壓定律

電路中經由電源與元件相連接之路徑稱為迴路。對任何一封閉迴路中，

1. 電壓代數和為零

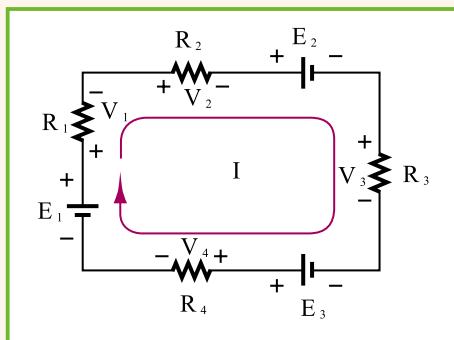
或 2. 總電壓升等於總電壓降

$$\Sigma E = \Sigma V \text{ 或 } \Sigma E - \Sigma V = 0$$

式中  $\Sigma E$  為總電壓升； $\Sigma V$  為總電壓降（負載元件電壓以電流流入端為正，流出端為負）。

$\left\{ \begin{array}{l} \text{電壓升：元件上電位由負電位} (-) \rightarrow \text{正電位} (+) \\ \text{電壓降：元件上電位由正電位} (+) \rightarrow \text{負電位} (-) \end{array} \right.$

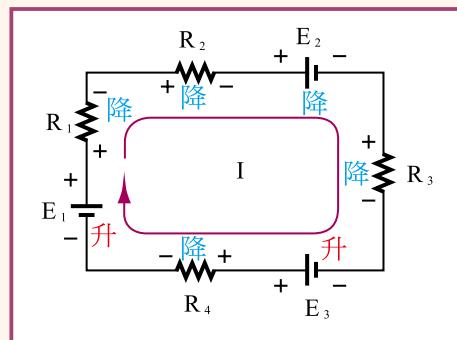
步驟 2



(2) 標明各元件電壓極性。（電阻兩端電壓極性為電流流入端為正，流出端為負。）

(3) 列出迴路方程式。若取電壓升為正值，電壓降則為負值；反之，電壓升為負值，則電壓降為正值。

步驟 3



電壓代數和為零，如圖可得

$$-E_1 + V_1 + V_2 + E_2 + V_3 - E_3 + V_4 = 0$$

或總電壓升等於總電壓降，可得

$$E_1 + E_3 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + E_2$$

## 範例

11

如圖 3-23 所示，試計算 (1) 電流 I  
(2)  $R_1$  電壓。

解

(1) 依克希荷夫電壓定律

列出方程式

$$\begin{aligned} -E_1 + I \times R_1 + E_2 + I \times R_2 \\ + E_3 + I \times R_3 = 0 \end{aligned}$$

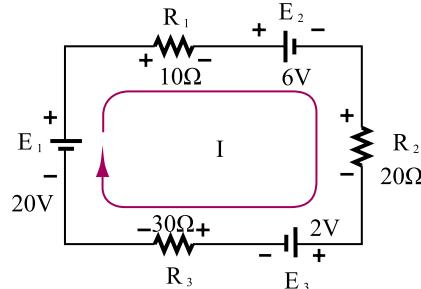


圖 3-23

$$\therefore I = \frac{E_1 - E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{20 - 6 - 2}{10 + 20 + 30} = 0.2A$$

$$(2) V_1 = I \times R_1 = 0.2 \times 10 = 2V$$

## 類題

例 11 中，若電壓源  $E_3$  正負極改為相反，大小改為 4V，試計算 (1) I (2)  $R_2$  的電壓。

答

(1) 0.3A；(2) 6V

## 範例

12

如圖 3-24 所示，試計算  $R_2$  為多少？

解

依克希荷夫電壓定律

列出方程式

$$\begin{aligned} -E_1 + I \times R_1 + I \times R_2 + E_2 + \\ I \times R_3 = 0 \end{aligned}$$

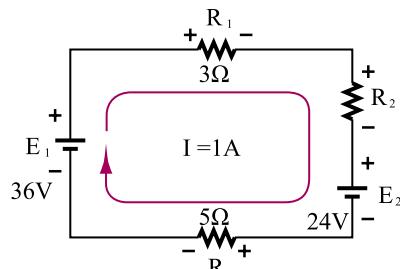


圖 3-24

$$\therefore R_2 = \frac{E_1 - E_2 - I \times R_1 - I \times R_3}{I}$$

$$= \frac{36 - 24 - 1 \times 3 - 1 \times 5}{I} = 4\Omega$$

## 類題

例 12 中， $E_1$  改為 72V、 $E_2$  改為 40V，試計算  $R_2$  為多少？

答  $24\Omega$

### 3-3-2 電壓分配定則

電阻的串聯電路中，電阻上的電壓和等於電壓源提供的電壓，請參考圖 3-25 電阻串聯電路及其說明。

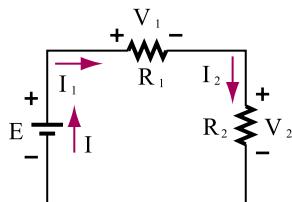


圖 3-25

由克希荷夫電壓定律

$$E = I_1 \times R_1 + I_2 \times R_2$$

又串聯電路各元件上電流相等

$$I = I_1 = I_2$$

$$E = I \times R_1 + I \times R_2 = I \times (R_1 + R_2)$$

$$\therefore I = \frac{E}{R_1 + R_2} = I_1 = I_2$$

各電阻電壓可利用歐姆定律，可得：

$$V_1 = I_1 \times R_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} \times R_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times E = \frac{R_1}{R_T} \times E \quad \text{公式 3-1}$$

$$V_2 = I_2 \times R_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} \times R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times E = \frac{R_2}{R_T} \times E$$

上式稱為電壓分配定則：串聯電路中，電阻分配到的電壓為該電阻與總電阻之比值乘以總電源電壓。電阻值愈大，分配到的電壓愈大。電壓分配定則在兩個以上電阻串聯時也可使用。

$$V_n = \frac{R_n}{R_T} \times E$$

### 範例 13

如圖 3-26 所示，試計算  $R_1$  及  $R_2$  上的電壓。

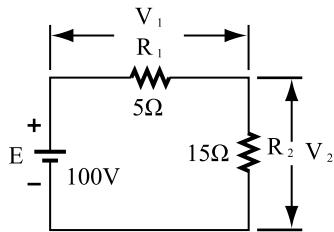


圖 3-26

**解** 由電壓分配定則

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times E = \frac{5}{5 + 15} \times 100 = 25V$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times E = \frac{15}{5 + 15} \times 100 = 75V$$

### 類題

例 13 中，若  $R_1$  未知， $V_2$  為 60V 時， $R_1$  為多少？

**答**  $10\Omega$

## 範例

14

如圖 3-27 所示，試計算電壓源  $E = ?$

**解** 由電壓分配定則

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

$$100 = \frac{40}{20 + 40} \times E$$

$$\therefore E = 100 \times \frac{60}{40} = 150\text{V}$$

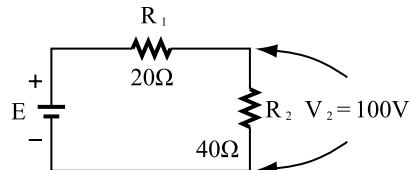


圖 3-27

## 類題

例 14 中，若  $V_2 = 50\text{V}$  時，電源  $E$  為多少？

**答** 75V

## 範例

15

某蓄電池接上  $5\Omega$  負載時，負載端電壓為  $10\text{V}$ ，若將負載改為  $2\Omega$  時，負載端電壓為  $6\text{V}$ ，則影響電壓的原因為何？大小為多少？

**解**

電池提供負載電壓應該為固定電壓，當負載電阻值變動時，輸出電壓應固定不變；造成輸出電壓隨負載大小而變動的原因為：電池的內阻與負載間分壓造成的結果。

$$V_L = \frac{R_L}{r + R_L} \times E$$

$$10 = \frac{5}{r + 5} \times E \cdots \cdots ①$$

$$6 = \frac{2}{r + 2} \times E \cdots \cdots ②$$

解 ①、② 之方程式可得  $r = 4\Omega$

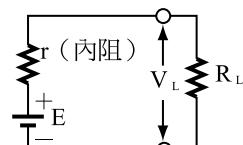


圖 3-28

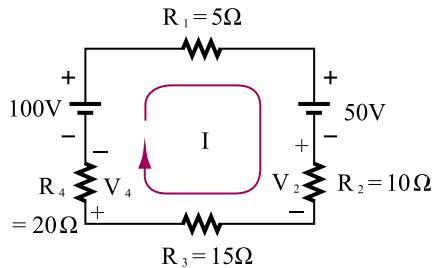
## 類題

某蓄電池接上  $4\Omega$  負載時，負載端電壓為  $8V$ ，若將負載改為  $6\Omega$  時，負載端電壓為  $9V$ ，則負載為  $10\Omega$  時，端電壓為多少？

答 10V

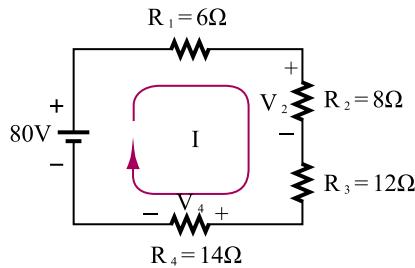
## 隨堂練習

9. 電阻串聯電路中，電阻愈小，則分配的電壓愈\_\_\_\_\_。
10. 如圖(6)所示，電路中， $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A， $V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ V， $V_4 = \underline{\hspace{2cm}}$ V。



圖(6)

11. 如圖(7)所示，電路中， $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A， $V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ V， $V_4 = \underline{\hspace{2cm}}$ V。



圖(7)

## 3-4

# 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）。

### 3-4-1 克希荷夫電流定律

對電路中任一節點而言：

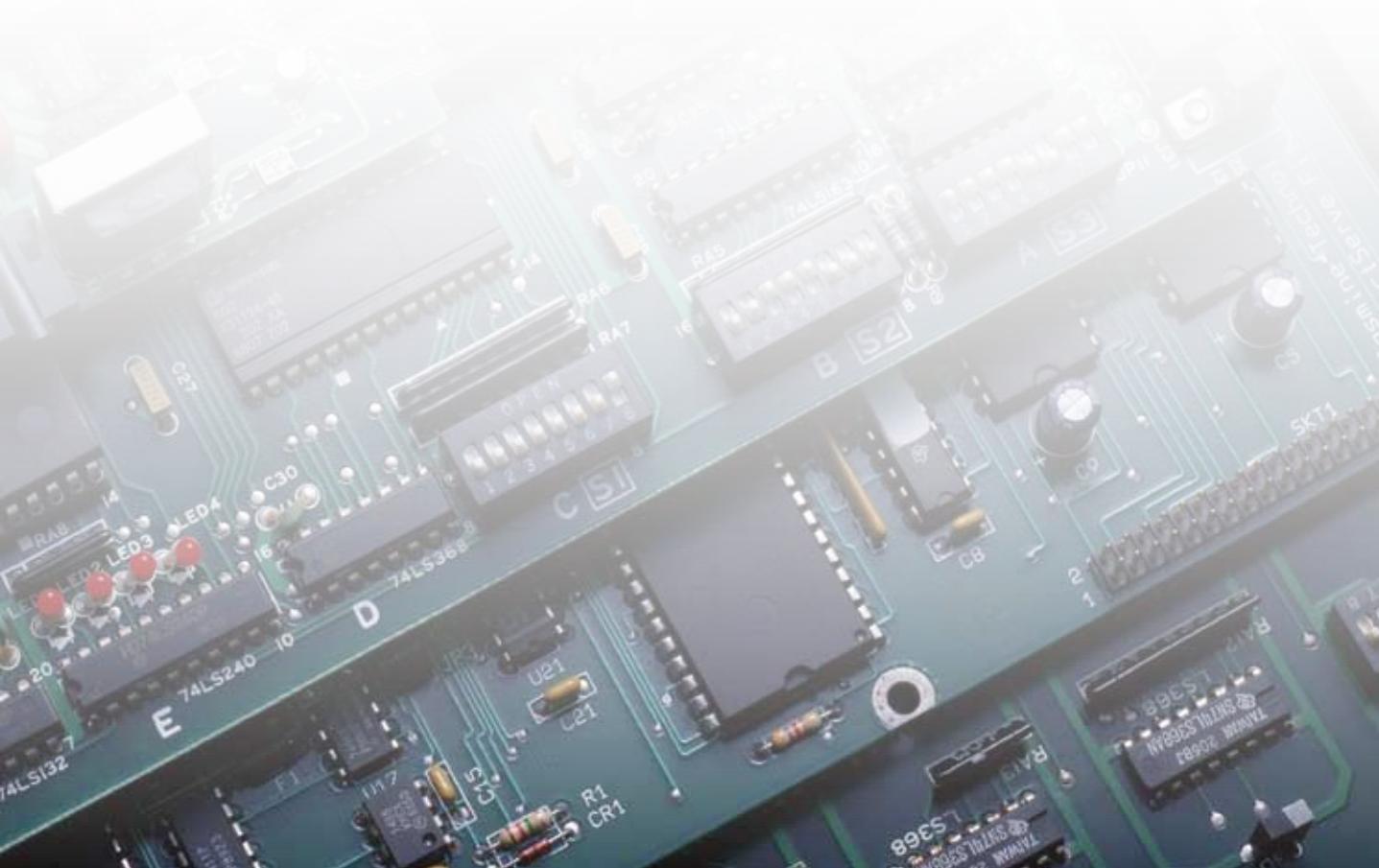
1. 電流代數和為零

$$\sum I = 0$$

或 2. 總流入電流等於總流出電流

$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \quad \text{或} \quad \sum I_{in} - \sum I_{out} = 0$$

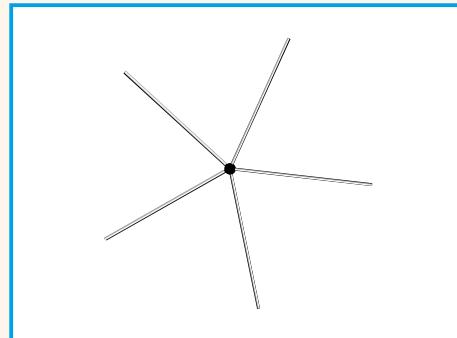
式中  $\sum I_{in}$  為流入節點電流總和； $\sum I_{out}$  為流出節點電流總和



## 克希荷夫電流定律—解題步驟

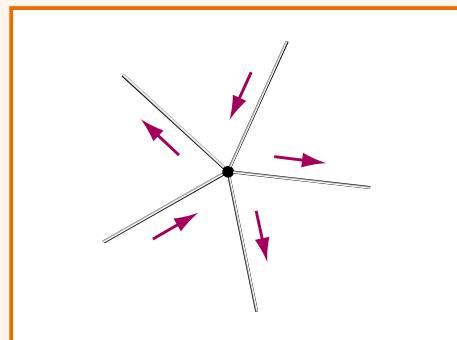
步驟 1

■ 找出電路中節點。



步驟 2

■ 標明該節點各分支電流方向。



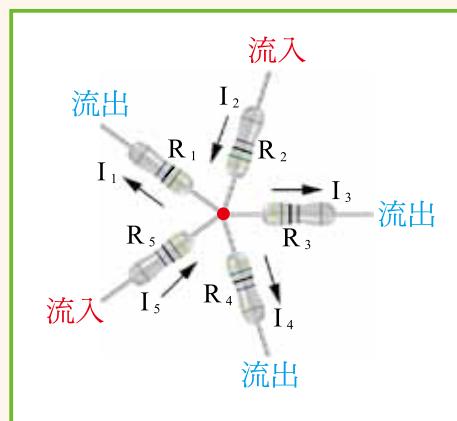
步驟 3

$$\text{總流入電流} = I_2 + I_5$$

$$\text{總流出電流} = I_1 + I_3 + I_4$$

依據克希荷夫電流定律，列出電流方程式

$$I_2 + I_5 = I_1 + I_3 + I_4$$



## 範例

16

如圖 3-29 所示，試計算電阻  $R_1 = 3\Omega$  時，消耗功率為多少瓦特？

**解** 由克希荷夫電流定律

$$\text{總流入電流} = I_2 + I_3 + I_5$$

$$\text{總流出電流} = I_1 + I_4$$

$$\therefore I_2 + I_3 + I_5 = I_1 + I_4 \Rightarrow I_1 = 3 + 4 + 5 - 8 = 4A$$

$$R_1 \text{ 消耗的功率 } P_1 = I_1^2 \times R_1 = 4^2 \times 3 = 48W$$

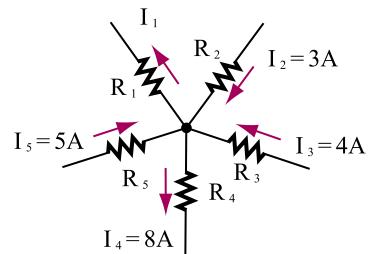


圖 3-29

## 類題

例 16 中， $I_3$ 、 $I_4$  方向相反時， $R_1 = 2\Omega$ ，其消耗功率多少？

**答** 288W

## 範例

17

如圖 3-30 所示，試計算  $I$  為多少安培？

**解** 圖中虛線框可視為一共同節點

由克希荷夫電流定律

$$\text{總流入電流} = 4 + 5 + 3 = 12A$$

$$\begin{aligned} \text{總流出電流} &= I + 2 + 4 + 3 + 1 \\ &= I + 10A \end{aligned}$$

$$\therefore 12 = I + 10A \Rightarrow I = 2A$$

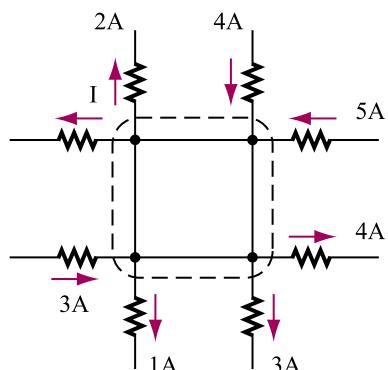


圖 3-30

## 類題

例 17 中，若  $I$  的方向改為相反方向，試計算  $I$  為多少？

答  $-2A$

### 3-4-2 電流分配定則

電阻的並聯電路中，各分支電阻上的電流和等於電源提供的總電流，請參考圖 3-31 電阻並聯電路及其說明。

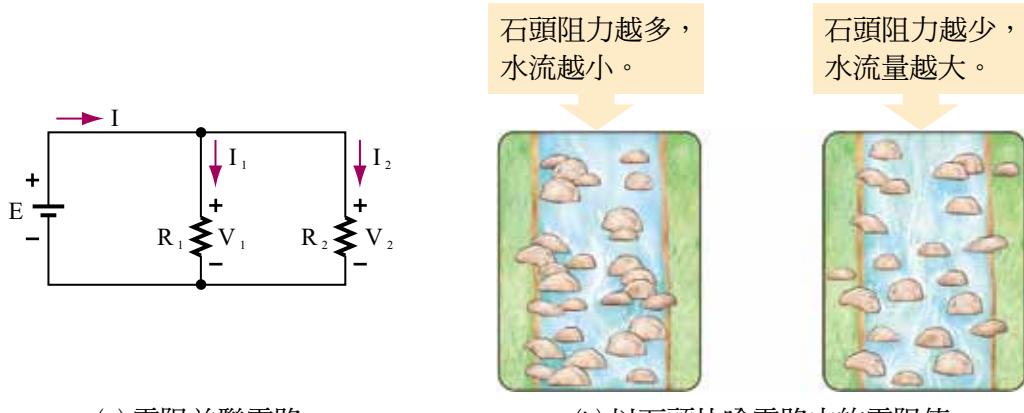


圖 3-31

$\therefore$  並聯電路總電阻

$$R_T = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad E = I \times R_T = I \times \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

又並聯電路各元件上電壓相等  $\Rightarrow E = V_1 = V_2$  則

公式  
3-2

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{R_T}{R_1} \times I = \frac{\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} \times I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{R_T}{R_2} \times I = \frac{\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}}{R_2} \times I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I$$

上式稱為電流分配定則：並聯電路中，電阻分配到的電流為總電阻與該電阻之比值乘以總電源電流。而電阻值愈小，分配到的電流愈大。電流分配定則在兩個以上電阻並聯時也可使用。

$$I_n = \frac{R_T}{R_n} \times I$$

### 範例

18

如圖 3-32 所示，試計算 (1) 總電源電壓  $E$  = ? (2) 流經各電阻之電流為多少安培？

**解** (1)  $E = I_T \times R_T = 6 \times \frac{120 \times 60}{120 + 60} = 240V$

(2) 由分流定則

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I = \frac{60}{120 + 60} \times 6 = 2A$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I = \frac{120}{120 + 60} \times 6 = 4A$$

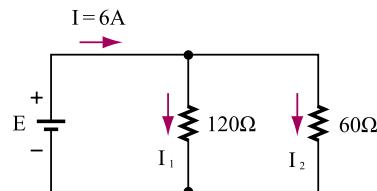


圖 3-32

### 類題

例 18 中，若  $I$  未知， $I_2 = 3A$ ，則  $I$  為多少？

**答**  $I = 4.5A$

## 範例

19

如圖 3-33 所示，試計算電阻  $R_2$  為多少歐姆？

解

由分流定則

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

$$3 = \frac{15}{15 + R_2} \times 5 \Rightarrow 45 + 3R_2 = 75$$

$$\therefore R_2 = \frac{75 - 45}{3} = 10\Omega$$

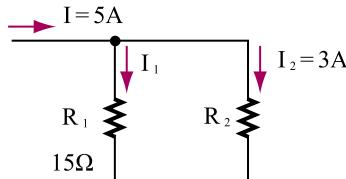


圖 3-33

## 類題

例 19 中， $R_1 = 10\Omega$ ， $I = 10A$ ， $I_2 = 4A$ ，則  $R_2$  為多少？

答

$15\Omega$

## 範例

20

一電流源接上  $50\Omega$  負載時，負載通過電流  $8A$ ，負載改為  $100\Omega$  時，負載通過電流  $6A$ ，當負載改為  $200\Omega$  時，負載電流為多少？

解

電流源輸出電流非定值時，表示內阻不是無限大。

$$I_L = \frac{r}{r + R_L} \times I$$

$$8 = \frac{r}{r + 50} \times I \dots\dots \textcircled{1}$$

$$6 = \frac{r}{r + 100} \times I \dots\dots \textcircled{2}$$

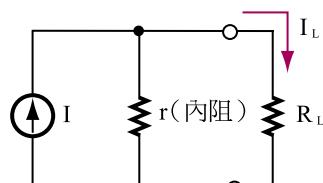


圖 3-34

解 ①、② 方程式可得  $r = 100\Omega$ ,  $I = 12A$

$$\therefore R_L = 200\Omega \text{ 時} \quad I_L = \frac{100}{100 + 200} \times 12 = 4A$$

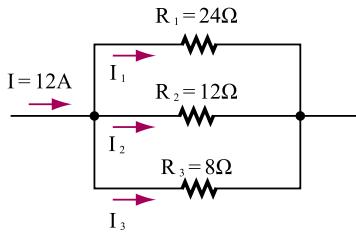
### 類題

一電流源接上  $40\Omega$  負載時，負載通過電流  $6A$ ，負載改為  $60\Omega$  時，負載通過電流  $4.5A$ ，當負載改為  $80\Omega$  時，負載電流為多少？

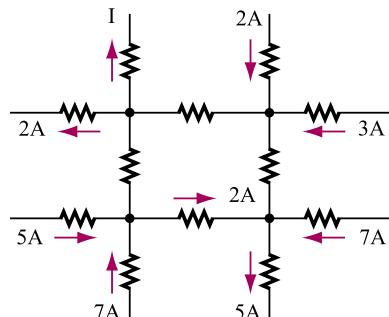
答 3.6A

### 隨堂練習

12. 如圖(8)所示，計算電路中， $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ A,  $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ A,  $I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ A。



圖(8)

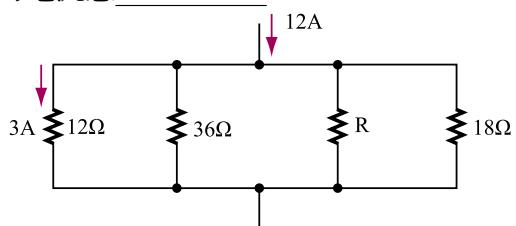


圖(9)

13. 電阻並聯電路中，電阻愈大，則分配的電流愈           。

14. 如圖(9)所示，計算電路中  $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A。

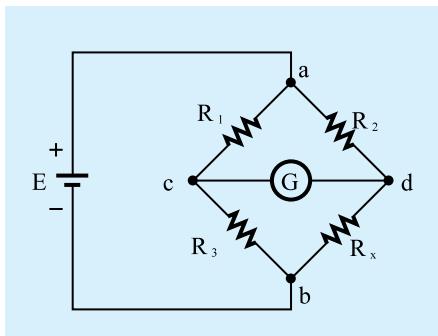
15. 如圖(10)所示，計算電路中  $R = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω。



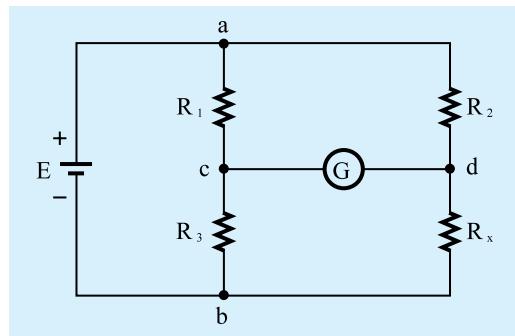
圖(10)

## 3-5 惠斯登電橋

惠斯登電橋 (Wheatstone bridge) 如圖 3-35 所示，由三個已知大小且可調整的電阻及檢流計所組成，可用來測量未知電阻的電阻值，電路連接如圖 3-35，藉由調整三個已知電阻的大小，使檢流計指示為零，此時稱為電橋平衡，經由公式可得未知電阻  $R_x$  的數值。



(a)



(b)

● 圖 3-35 惠斯登電橋

其原理為：當檢流計指示為零時，表示節點 **c**、**d** 間無電流通過，故 **c**、**d** 間可視為開路；同時 **c**、**d** 間電位差為零，故 **c**、**d** 間可視為短路，如圖 3-36 所示。

$$\because V_c = V_d \Rightarrow \frac{R_3}{R_1 + R_3} \times E = \frac{R_x}{R_2 + R_x} \times E$$

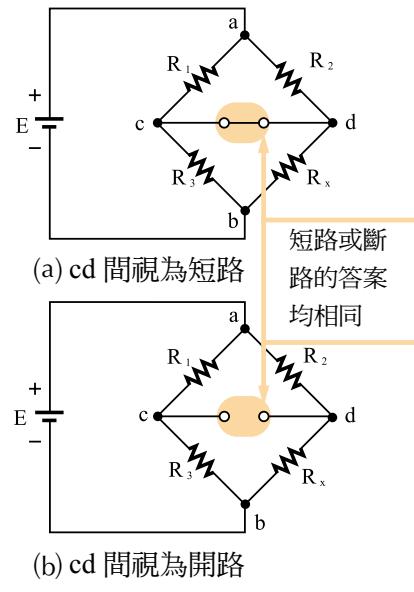
$$R_3 \times (R_2 + R_x) = R_x \times (R_1 + R_3)$$

$$\Rightarrow R_2 \times R_3 = R_1 \times R_x$$

整理化簡後， $R_x$  可得：

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \times R_3$$

電橋電路如果不平衡時常使用  $\Delta$ -Y 轉換來分析電路。



● 圖 3-36 惠斯登電橋平衡時等效電路

結論：當惠斯登電橋平衡時，對邊電阻相乘會相等，藉以求算未知電阻。

應用：電橋平衡時，檢流計可視為短路或開路，藉以化簡電阻網路，圖3-36中，

$R_{ab}$  可得：

$$\begin{aligned} R_{ab} &= (R_1 // R_2) + (R_3 // R_x) \quad (\text{cd間視為短路}) \\ &= (R_1 + R_3) // (R_2 + R_x) \quad (\text{cd間視為開路}) \end{aligned}$$

### 範例

21

如圖3-37(a)所示，當電橋平衡時 (1) 電阻  $R = ?$  (2) 總電阻 = ?

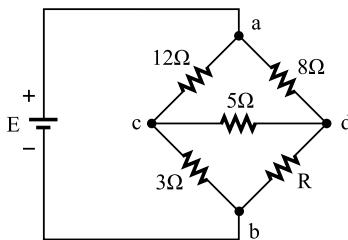


圖 3-37(a)

解 (1) 如圖3-37(a)，電橋平衡時，

對邊電阻相乘相等

$$12 \times R = 3 \times 8 \quad \therefore R = 2\Omega$$

(2) 電橋平衡時將5Ω電阻視為開路，

如圖3-37(b)所示。

$$R_{ab} = (12 + 3) // (8 + 2) = 6\Omega$$

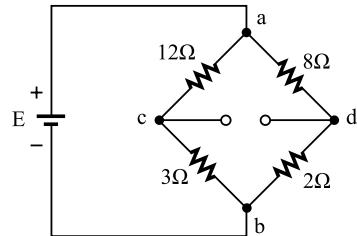


圖 3-37(b)

### 類題

例21中， $12\Omega$ 改為 $6\Omega$ 時，(1)  $R = ?$  (2) 總電阻 = ?

答 (1)  $4\Omega$ ；(2)  $\frac{36}{7}\Omega$

## 範例

22

如圖 3-38(a) 所示，a、b 間總電阻為多少？

**解** 電路經整理後如圖 3-38(b) 所示，

$$\because 2 \times 6 = 3 \times 4 \therefore \text{電橋平衡}$$

將  $5\Omega$  電阻視為開路後，

如圖 3-38(c) 所示。

$$R_{ab} = (2 + 4)/(3 + 6)/18 = 3\Omega$$

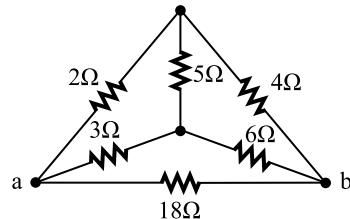
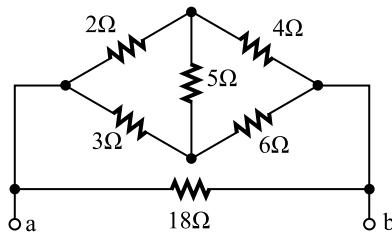
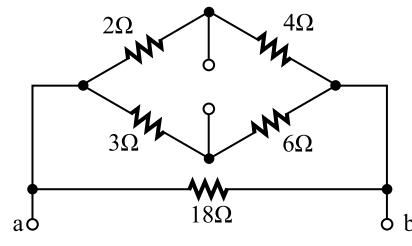


圖 3-38(a)



(b)



(c)

圖 3-38

## 類題

例 22 中， $2\Omega$  改為  $10\Omega$ 、 $4\Omega$  改為  $20\Omega$ 、 $5\Omega$  改為  $15\Omega$ 、 $3\Omega$  改為  $30\Omega$ 、 $6\Omega$  改為  $60\Omega$ 、 $18\Omega$  改為  $180\Omega$ ，則 a、b 間總電阻為多少？

**答**

$$20\Omega$$

## 範例

23

如圖 3-39(a) 所示，試計算 (1) 總電阻  $R_T$   
 (2) 總電流  $I$  (3) 電流  $I_1$ 。

解 此電路為電橋電路

$$\because 8 \times 2 = 4 \times 4 \therefore \text{電橋平衡}$$

3Ω 電阻無電流通過。

可將 3Ω 電阻開路，如圖 3-39(b)。

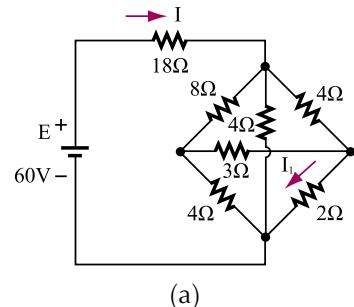
(1) 總電阻

$$\begin{aligned} R_T &= 18 + [(8 + 4)/4/(4 + 2)] \\ &= 18 + (12/4/6) = 18 + 2 = 20\Omega \end{aligned}$$

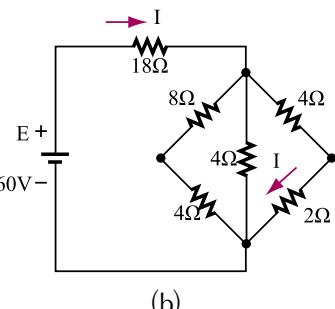
$$(2) \text{總電流 } I = \frac{E}{R_T} = \frac{60}{20} = 3A$$

(3) 電流  $I_1$

$$I_1 = \frac{(8 + 4)/4}{[(8 + 4)/4] + (4 + 2)} \times I = \frac{3}{3 + 6} \times 3 = 1A$$



(a)



(b)

圖 3-39

## 隨堂練習

16. 如圖 (11) 所示，電流  $I = \underline{\hspace{2cm}}$  A，總電阻  $R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$  Ω。

17. 如圖 (12) 所示，總電阻  $R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$  Ω。

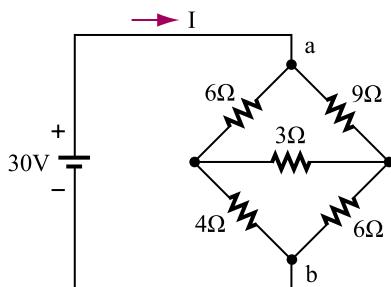


圖 (11)

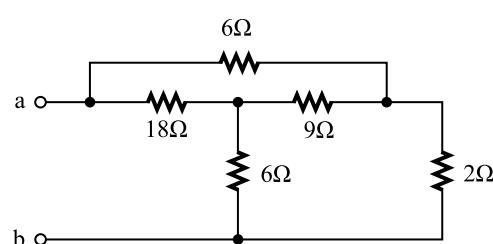


圖 (12)

18. 如圖 (13) 所示，總電阻

$$R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

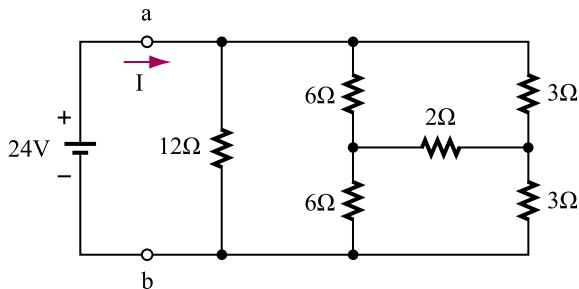
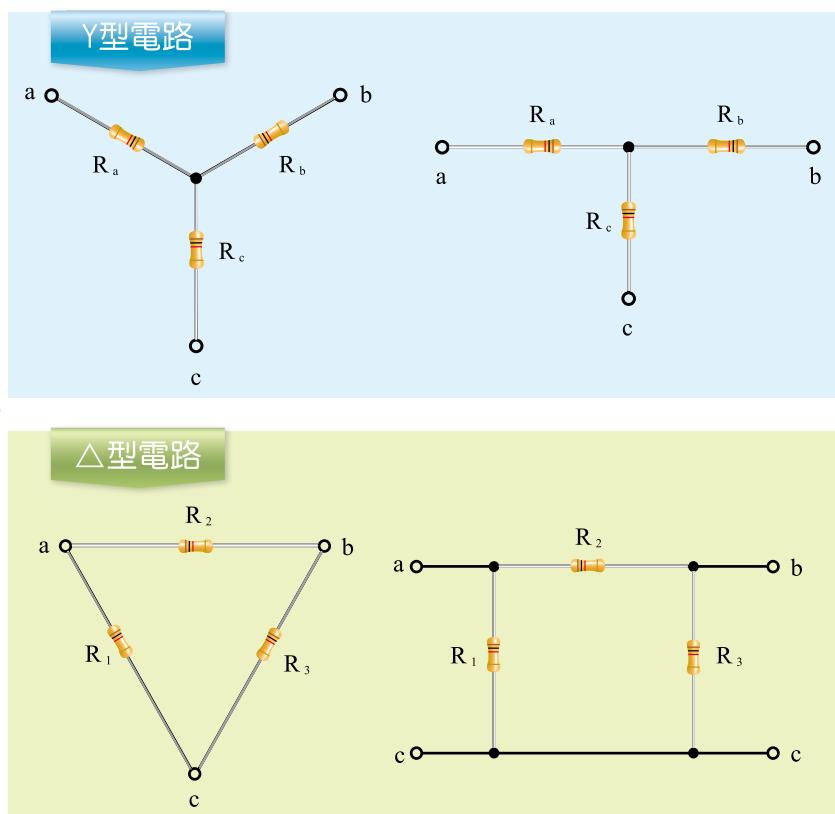


圖 (13)

## 3-6

## Y-△互換

在複雜的電路結構中，簡化電阻網路時需要先判斷元件與元件之間為串聯或並聯形式，經判斷後發覺電路的連接，不是串聯或並聯的連接時，就不能使用串聯電路或並聯電路中的公式，必須先將電路經過轉換後，才能進一步計算或分析電路。常見的連接方式有 Y 型或△型 (delta)，如圖 3-40 所示。



實際的電路結構，依連接的形狀 **Y型**又可稱為 **T型**或**星型(star)**，**△型**又可稱為 **π型**或**環型**。

有時題目經過互換後，就會變得非常容易計算。



### ★ $\triangle \rightarrow Y$

如圖 3-41 所示，將  $\triangle$  型轉換為等效電路  $Y$  型。對於兩端點間之總電阻：

$\triangle$  型之總電阻 =  $Y$  型之總電阻

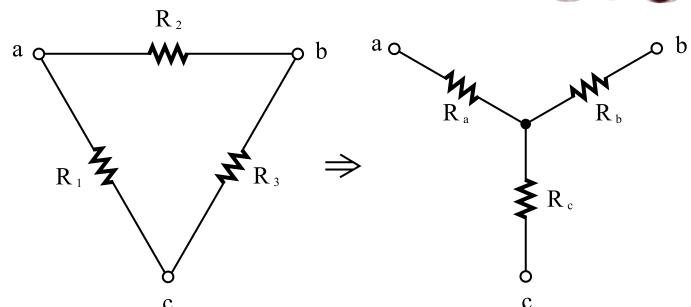


圖 3-41

$$R_{ab} = (R_1 + R_3) // R_2 = \frac{(R_1 + R_3) \times R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = R_a + R_b \dots\dots \text{①}$$

$$R_{bc} = (R_1 + R_2) // R_3 = \frac{(R_1 + R_2) \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = R_b + R_c \dots\dots \text{②}$$

$$R_{ca} = (R_2 + R_3) // R_1 = \frac{(R_2 + R_3) \times R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = R_c + R_a \dots\dots \text{③}$$

將 (① + ② + ③)  $\div 2$  得：

$$\frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = R_a + R_b + R_c \dots\dots \text{④}$$

公式  
3-3

$$\text{④} - \text{②} \rightarrow R_a = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

公式  
3-4

$$\text{④} - \text{③} \rightarrow R_b = \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

公式  
3-5

$$\text{④} - \text{①} \rightarrow R_c = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

綜合（公式 3-3）、（公式 3-4）、（公式 3-5）可知，△型轉換為等效電路 Y 型之原則為：

$$R_Y = \frac{\text{所求電阻在} \triangle \text{型中共頂點的電阻乘積}}{\triangle \text{三個電阻總和}}$$

若△型中  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ，則等效電路 Y 型中

$$R_a = R_b = R_c = \frac{R}{3}$$

★Y → △

如圖 3-42 所示，將 Y 型轉換為等效電路△型。

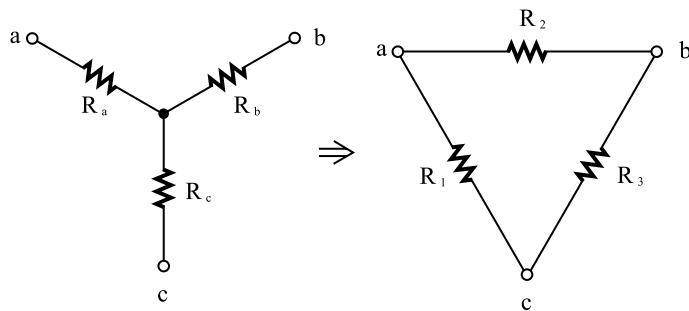


圖 3-42

將（公式 3-3）、（公式 3-4）、（公式 3-5）三式電阻值，兩兩相乘後再相加可得：

$$R_a \times R_b + R_b \times R_c + R_c \times R_a = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdots \cdots ⑤$$

$$⑤ \div (\text{公式 3-4}) \rightarrow R_1 = \frac{R_a \times R_b + R_b \times R_c + R_c \times R_a}{R_b}$$

公式  
3-6

$$⑤ \div (\text{公式 3-5}) \rightarrow R_2 = \frac{R_a \times R_b + R_b \times R_c + R_c \times R_a}{R_c}$$

公式  
3-7

$$\textcircled{5} \div (\text{公式 3-3}) \rightarrow R_3 = \frac{R_a \times R_b + R_b \times R_c + R_c \times R_a}{R_a}$$

公式  
3-8

綜合（公式 3-6）、（公式 3-7）及（公式 3-8）可知，Y 型轉換為等效電路△型之原則為：

$$R_{\triangle} = \frac{\text{Y 型中電阻兩兩相乘之和}}{\text{所求電阻在 Y 型中對應最遠頂點之電阻}}$$

若 Y 型中  $R_a = R_b = R_c = R$ ，則等效電路△型中

$$R_1 = R_2 = R_3 = 3R$$

**範例  
24**

如圖 3-43(a) 所示，求 A、B 兩端之總電阻。

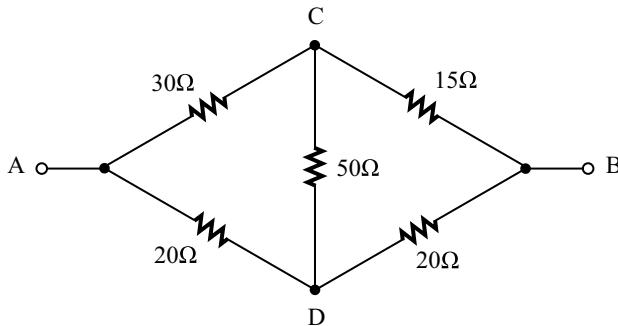


圖 3-43(a)

**解** 利用（公式 3-3）、（公式 3-4）及（公式 3-5）三式，將  $20\Omega$ 、 $30\Omega$ 、 $50\Omega$  組成的△型轉換為等效電路 Y 型

$$R_a = \frac{30 \times 20}{30 + 20 + 50} = 6\Omega$$

$$R_b = \frac{20 \times 50}{30 + 20 + 50} = 10\Omega$$

$$R_c = \frac{30 \times 50}{30 + 20 + 50} = 15\Omega$$

$$\begin{aligned} R_{AB} &= R_a + ((R_b + 20) // (R_c + 15)) \\ &= 6 + ((10 + 20) // (15 + 15)) \\ &= 21\Omega \end{aligned}$$

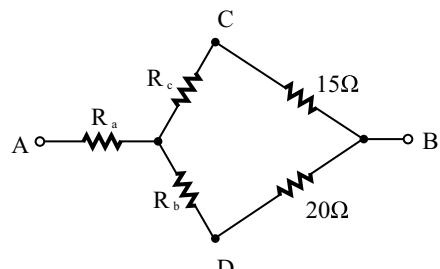


圖 3-43(b)

## 類題

例 24 中， $30\Omega$  改為  $80\Omega$ 、 $50\Omega$  改為  $100\Omega$ 、 $15\Omega$  改為  $50\Omega$ ，求 A、B 兩端總電阻 = ?

答

 $30.5\Omega$ 範例  
25

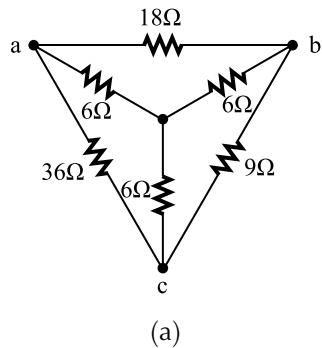
如圖 3-44(a) 所示， $R_{ab}$  為多少？

解

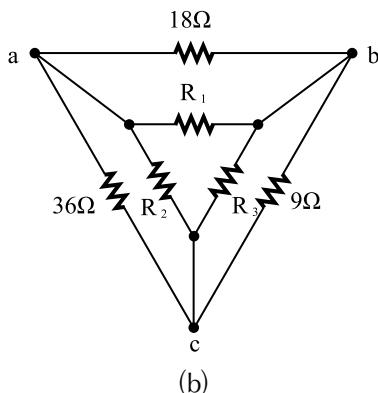
利用（公式 3-6）、（公式 3-7）及（公式 3-8）三式，將三個  $6\Omega$  組成的 Y 型轉換為等效電路△型，因為 Y 型中電阻均相等，所以：

$$R_1 = R_2 = R_3 = 3 \times 6 = 18\Omega$$

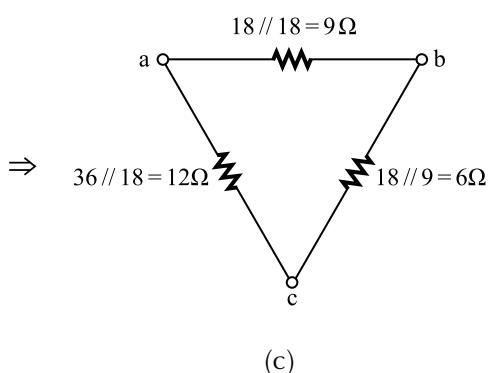
$$R_{ab} = 9 // (12 + 6) = 6\Omega$$



(a)



(b)



(c)

● 圖 3-44

## 範例

26

如圖 3-45(a) 所示，試計算電路總電流為多少？

**解** 利用（公式 3-3）、（公式 3-4）及（公式 3-5）三式，將  $12\Omega$ 、 $6\Omega$ 、 $18\Omega$  組成的△型轉換為等效電路 Y 型

$$R_a = \frac{12 \times 6}{12 + 6 + 18} = 2\Omega$$

$$R_b = \frac{12 \times 18}{12 + 6 + 18} = 6\Omega$$

$$R_c = \frac{6 \times 18}{12 + 6 + 18} = 3\Omega$$

總電阻：

$$\begin{aligned} R &= R_a + ((R_b + 4) // (R_c + 12)) \\ &= 2 + ((6 + 4) // (3 + 12)) = 8\Omega \end{aligned}$$

$$\text{總電流 : } I = \frac{V}{R} = \frac{40}{8} = 5A$$

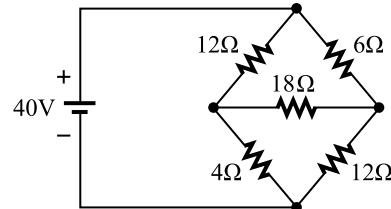


圖 3-45(a)

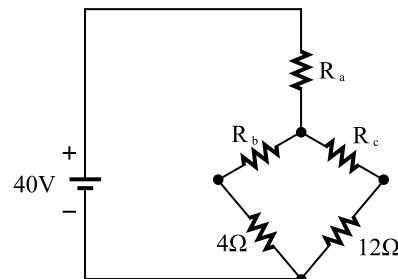


圖 3-45(b)

## 隨堂練習

19. 將  $6\Omega$ 、 $12\Omega$ 、 $24\Omega$  組成的 Y 型轉換為等效電路△型，試計算△型的三個電阻之和 = \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

20. 試計算圖 (14) 中  $R_{ab} =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

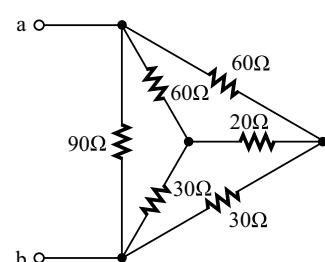


圖 (14)

21. 如圖 (15) 所示，試計算  $R_1 = \underline{\hspace{2cm}}\Omega$  ;  $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}\Omega$  ;  $R_3 = \underline{\hspace{2cm}}\Omega$ 。

22. 如圖 (16) 所示，試計算  $R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}\Omega$ 。

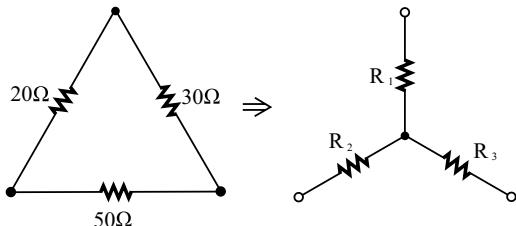


圖 15

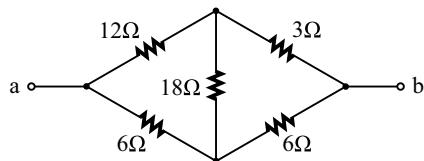


圖 16

## \* 3-7 應用電路

實際應用中利用串聯、並聯的連接方式，可組合成各式電路，而電路中電壓、電流的問題不盡相同，以下為常見的各種應用電路。

### 3-7-1 電壓之量測

記得！實習課使用電壓表測量電壓要並聯喔。



串並聯電路連接負載後，可利用電壓表測量負載兩端的電壓，**測量電壓方法**為**電壓表與負載並聯連接**，如圖 3-46 所示。

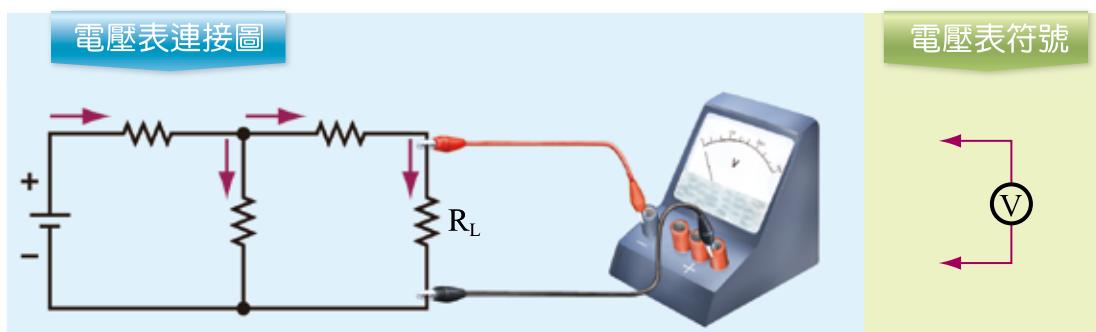
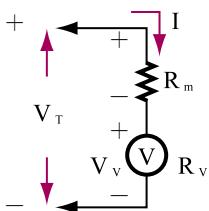


圖 3-46 電壓表量測負載電壓

因電壓表採並聯方式測量，由克希荷夫電流定律得知電壓表會有電流通過，造成因電壓表內阻產生的誤差，因此為避免因電壓表內阻產生的誤差，**電壓表的選用，應以內阻越大越好，理想電壓表內阻為無限大**。當內阻為無限大時，就不會有電流通過而造成誤差。

## ★電壓表倍增器 (multiplier)

電壓表本身有最大量測值，當待測元件電壓超過此最大量測值時，電壓表可能導致燒毀，為避免此類情形的發生並提高測量範圍，**可將電壓表與一電阻器串聯，電阻器功能為保護電壓表並提高最大量測值**，如圖 3-47 所示，此電阻器稱為**電壓表倍增器**。



$R_m$ ：倍增器

$R_v$ ：電壓表內阻

$V_v$ ：電壓表最大量測值

$V_T$ ：串聯倍增器後最大量測值

圖 3-47 電壓表與倍增器

$\because$  串聯電路流經元件電流相同

$$V_T = I \times (R_m + R_v) \quad \text{而} \quad I = \frac{V_v}{R_v}$$

$$V_T = \frac{V_v}{R_v} \times (R_m + R_v) \Rightarrow R_m = \left( \frac{V_T}{V_v} - 1 \right) \times R_v$$

取倍增率  $m = \frac{V_T}{V_v}$  為擴大後增加的電壓倍率

$$\therefore R_m = (m - 1)R_v$$

### 範例

27

一電壓表內阻  $10k\Omega$ ，滿刻度電壓為  $50V$ ，如欲提高最大量測值為  $150V$  時，應如何設計電路？

解

電壓表提高最大量測值，須串聯一倍增器  $R_m$

$$\text{倍增率 } m = \frac{V_T}{V_V} = \frac{150}{50} = 3$$

$$\therefore R_m = (m - 1) \times R_V = (3 - 1) \times 10\text{k}\Omega = 20\text{k}\Omega$$

### 類題

一電壓表內阻  $20\text{k}\Omega$ ，滿刻度電壓為  $100\text{V}$ ，如串聯一  $10\text{k}\Omega$  電阻，則最大測量值為多少？

答

$150\text{V}$

## 3-7-2 電流之量測

串並聯電路連接負載後，可利用電流表測量流經負載的電流，**測量電流方式為電流表與負載串聯連接**，如圖 3-48 所示。

使用電流表測量  
電流要串聯才是  
正確的方法。

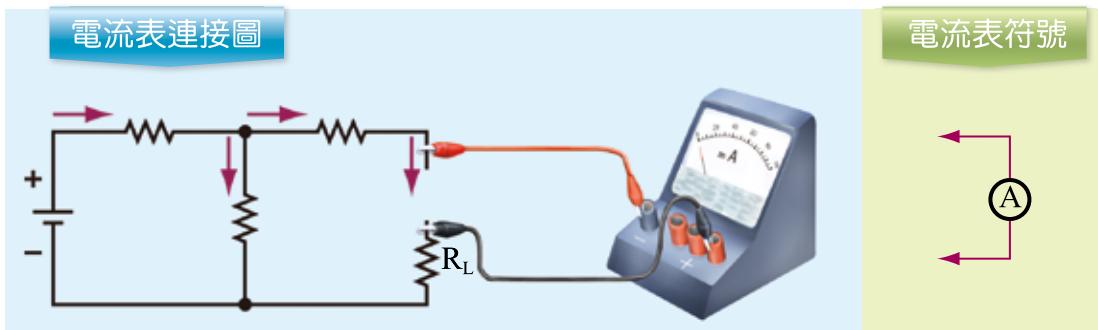


圖 3-48 電流表量測負載電流

因電流表採串聯方式測量，由克希荷夫電壓定律得知，電流表兩端產生電位差，造成因電流表內阻產生的誤差，因此為避免因電流表內阻產生的誤差，**電流表的選用，應以內阻越小越好，理想電流表內阻為零**。當內阻為零時，就不會產生端電壓而造成誤差。

## ★ 電流表分流器 (shunt)

電流表與電壓表同樣有最大量測值，當待測元件電流超過此最大量測值時，電流表可能導致燒毀，為避免此類情形的發生並提高測量範圍，可將**電流表與一電阻器並聯**，電阻器功能為**保護電流表並提高最大量測值**，如圖 3-49 所示，此電阻器稱為**分流器**。

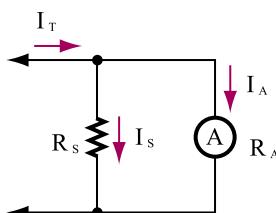


圖 3-49 電流表與分流器

$R_s$ ：分流器

$R_A$ ：電流表內阻

$I_s$ ：分流器電流

$I_A$ ：電流表最大量測值

$I_T$ ：並聯分流器後最大量測值

$\because$  並聯電路各元件兩端電壓相同

$$I_s \times R_s = I_A \times R_A$$

$$\text{由 KCL } I_s = I_T - I_A$$

$$R_s = \frac{I_A \times R_A}{I_T - I_A} = \frac{1}{\frac{I_T}{I_A} - 1} \times R_A$$

取  $n = \frac{I_T}{I_A}$  為擴大後增加的電流倍率

$$\therefore R_s = \frac{1}{n - 1} \times R_A$$



### 生活中的電學

#### 藍光光碟

藍光光碟（Blue-ray Disc，簡稱BD），2002年日、韓及歐洲的設備製造商在日本東京達成協定，共同推出使用405奈米的藍色鐳射作為讀寫光源的新一代DVD光碟標準，不同於一般的DVD的採用紅色光束來讀寫，用以儲存高品質影音及高容量資料，每片BD碟片直徑為12cm，容量為50G，號稱是DVD的5倍。



## 範例

28

一電流表內阻  $20\Omega$ ，滿刻度電流為  $50mA$ ，如欲提高最大量測值為  $300mA$  時，應如何設計電路？

解

電流表提高最大量測值，須並聯一分流器  $R_s$

$$n = \frac{I_T}{I_A} = \frac{300mA}{50mA} = 6$$

$$\therefore R_s = \frac{1}{n - 1} \times R_A = \frac{1}{6 - 1} \times 20 = 4\Omega$$

## 類題

一電流表滿刻度電流為  $60mA$ ，並聯一  $10\Omega$  電阻後，最大測量電流為  $300mA$ ，則電流表內阻為多少？

答

$40\Omega$

### 3-7-3 電器的串聯與並聯

一般家用電器均會標明額定值，如輸入電壓、輸入電流、最大承受功率等，當電器與電源相連接後，產生的數值若超過額定值，則電器會有燒毀的危險。

#### 一・家用電器並聯

目前臺灣電力供應採電壓固定、電流可變的方式，因此各電器的額定電壓均固定且相同，連接方式使用並聯連接，而且電器在並聯連接使用時互相不會影響，如圖 3-50 所示， $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$ ，當各電器額定電壓等於電源電壓時，系統消耗的總功率為各開啟電器功率之和。



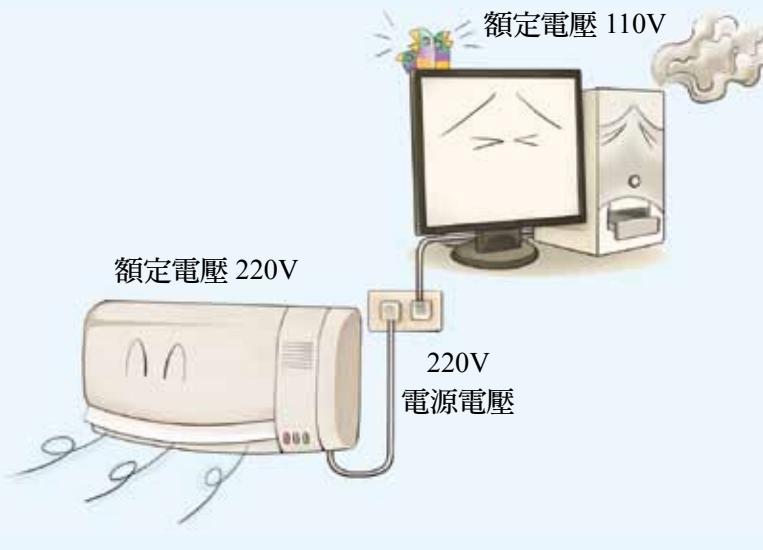
● 圖 3-50 家用電器連接方式



### 額定電壓與電源電壓的關係

若額定電壓不等於電源電壓時，須注意：

1. 額定電壓 < 電源電壓，電器將會燒毀。
2. 額定電壓 > 電源電壓，電器將無法正常工作。



## 二・家用電器串聯

一般家用電器是採並聯連接，對於電器串接於電源時發生的一些狀況，以下使用燈泡為例進行說明，燈泡所標示的額定值為電壓及功率，當燈泡在電路中實際的電壓或功率超出額定值，或是電流超出安全範圍，則燈泡會燒毀。

解題步驟：

**Step 1** 計算燈泡內阻。

**Step 2** 計算燈泡上電流或電壓。

**Step 3** 計算燈泡消耗功率。

**Step 4** 判斷消耗功率是否超過額定功率，若超過額定功率時，則燒毀。

## 範例

29

如圖 3-51，兩燈泡串接於 100V 時，

(1) 每個燈泡消耗功率為何？

(2) 何者較亮？

解

計算燈泡內阻

$$R_1 = \frac{V_1^2}{P_1} = \frac{100^2}{100} = 100\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_2^2}{P_2} = \frac{100^2}{25} = 400\Omega$$

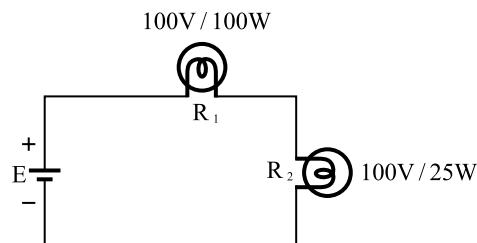


圖 3-51

$$\text{串聯電路電流相同 } I = I_1 = I_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{100}{100 + 400} = 0.2A$$

(1) 每個燈泡實際消耗的功率為

$$P'_1 = I^2 \times R_1 = 0.2^2 \times 100 = 4W \quad P'_2 = I^2 \times R_2 = 0.2^2 \times 400 = 16W$$

(2)  $P'_1 < P'_2 \therefore 100V/25W$  燈泡較亮

## 類題

例 29 中，兩燈泡規格為：100V/50W、100V/25W，電源電壓  $E = 120V$ ，

(1) 每個燈泡消耗功率 = ? (2) 何者較亮？

答

(1)  $P'_1 = 8W$ ， $P'_2 = 16W$ ；(2)  $100V/25W$  較亮

## 範例

30

上題中電源電壓改為 200V 時 (1) 每個燈泡消耗功率為多少瓦特？(2) 何者較亮？

解

由上題知燈泡內阻  $R_1 = 100\Omega$ ； $R_2 = 400\Omega$

$$\text{串聯電路電流相同 } I = I_1 = I_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{200}{100 + 400} = 0.4A$$

(1) 每個燈泡實際消耗的功率為

$$P_1' = I_1^2 \times R_1 = 0.4^2 \times 100 = 16W$$

$$P_2' = I_2^2 \times R_2 = 0.4^2 \times 400 = 64W$$

(2)  $P_2' > P_2$ ,  $P_2$  代表燈泡 2 的額定功率。  $\Rightarrow$  100V/25W 燈泡燒毀

當燈泡 2 燃燒後，使電流 = 0A，故燈泡 1 消耗的功率變為 0W，且不會發亮，因此  $P_1' = 0W$ ,  $P_2' = 0W$ ，兩者皆不會發亮。

外接電源電壓大於燈泡額定電壓時，額定值較小的燈泡容易燒毀。

### 三・電阻器串聯

電阻器串聯時，等效電阻額定功率的計算，先求算各電阻的額定電流，因串聯電路電流相同，為避免燒毀電阻器，故取其中最小者做為等效額定電流，再利用總電阻求算等效額定功率。

解題步驟：

**Step 1** 計算各電阻之額定電流 ( $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$ )

**Step 2** 選取較小之額定電流做為等效電流 ( $I_T$ )

**Step 3** 計算等效電阻 ( $R_T$ )

**Step 4** 計算等效額定功率 ( $P_T = I_T^2 \times R_T$ )

#### 範例

31

兩電阻  $1\Omega/0.5W$ 、 $2\Omega/0.5W$ ，串聯後等效額定功率為多少？

**解** 總電阻  $R_T = R_1 + R_2 = 1 + 2 = 3\Omega$

各電阻額定電流

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{0.5}{1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} A ; I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{0.5}{2}} = \frac{1}{2} A$$

$\because I_1 > I_2$  取較小者  $\therefore I_T = I_2$

$$P_T = I_T^2 \times R_T = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 3 = 0.75W$$

### 類題

兩電阻  $30\Omega/2W$ 、 $20\Omega/1W$ ，串聯後等效額定功率為多少？

答 2.5W

## 四・電阻器並聯

電阻器並聯時，等效電阻額定值的計算，先求算各電阻的額定電壓，因並聯電路電壓相同，為避免燒毀電阻器，故取其中最小者做為等效額定電壓，再利用總電阻求算等效額定功率。

解題步驟：

**Step 1** 計算各電阻之額定電壓 ( $V = \sqrt{P \times R}$ )

**Step 2** 選取較小之額定電壓做為等效額定電壓 ( $V_T$ )

**Step 3** 計算等效電阻 ( $R_T$ )

**Step 4** 計算等效額定功率 ( $P_T = \frac{V_T^2}{R_T}$ )

## 範例

32

兩電阻  $900\Omega/4W$ 、 $300\Omega/3W$ ，並聯後等效額定功率為多少？

解

$$\text{總電阻 } R_T = R_1 // R_2 = 900 // 300 = 225\Omega$$

各電阻額定電壓

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

$$\because V_1 > V_2 \text{ 取較小者} \quad \therefore V_T = V_2$$

$$P_T = \frac{V_T^2}{R_T} = \frac{30^2}{225} = \frac{900}{225} = 4W$$

## 類題

兩電阻  $30\Omega/2W$ 、 $20\Omega/1W$ ，並聯後等效額定功率為多少？

答

$$\frac{5}{3} W$$

## 五・電阻串並聯電路

綜合本章前面各節所敘述的觀念及方法，用於各種電阻串並聯電路，因此對於求算相同的電壓或電流，但有不同的解法。

## 範例

33

如圖 3-52(a) 所示，試計算

(1)  $6\Omega$  電流為多少？

(2)  $10\Omega$  電流為多少？

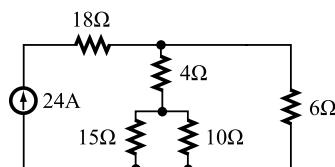


圖 3-52(a)

解

電路可先化簡為圖 3-52(b)

$$R = 4 + (15 // 10) = 10\Omega$$

利用分流定則

$$(1) I_{6\Omega} = \frac{R}{R + 6} \times 24 = \frac{10}{10 + 6} \times 24 \\ = 15A$$

$$(2) I_{4\Omega} = I - I_{6\Omega} = 24 - 15 = 9A$$

$$\therefore I_{10\Omega} = \frac{15}{15 + 10} \times I_{4\Omega} = \frac{15}{25} \times 9 = \frac{27}{5} = 5.4A$$

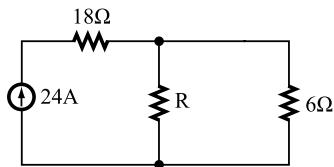


圖 3-52(b)

## 類題

計算例 33 中，(1)  $4\Omega$  電流為多少？(2)  $15\Omega$  電流為多少？

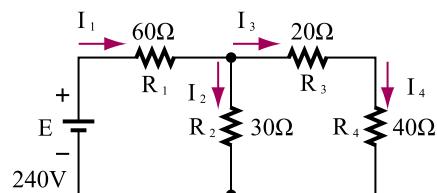
答

$$(1) 9A; (2) \frac{18}{5} A$$

## 範例

34

如圖 3-53(a) 所示，試計算

(1)  $R_1$  上通過的電流  $I_1 = ?$ (2)  $R_4$  上端電壓  $V_4 = ?$ 

解

利用電阻串聯、並聯特性

$$\text{總電阻 } R_T = R_1 \text{ 串 } [R_2 \text{ 並 } (R_3 \text{ 串 } R_4)] \\ = 60 + [30 // (20 + 40)] = 80\Omega$$

$$(1) \text{總電流 } I_T = I_1 = \frac{E}{R_T} = \frac{240}{80} = 3A$$

圖 3-53(a)

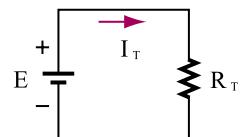


圖 3-53(b)

(2) 利用分流定律： $I_1 = I_2 + I_3$

$$\therefore I_3 = \frac{R_2}{R_2 + (R_3 + R_4)} \times I_1 = \frac{30}{30 + (20 + 40)} \times 3 = 1A = I_4$$

$$R_4 \text{ 上 } V_4 = I_4 \times R_4 = 1 \times 40 = 40V$$

### 類題

例 34 中，(1)  $I_2 = ?$  (2)  $R_3$  端電壓 = ?

答

(1) 2A ; (2) 20V

### 範例

35

如圖 3-54 所示，若  $I_3 = 18A$ ，試計算

(1)  $V_1 = ?$  (2)  $I_1 = ?$  (3) 電源電壓  $E = ?$

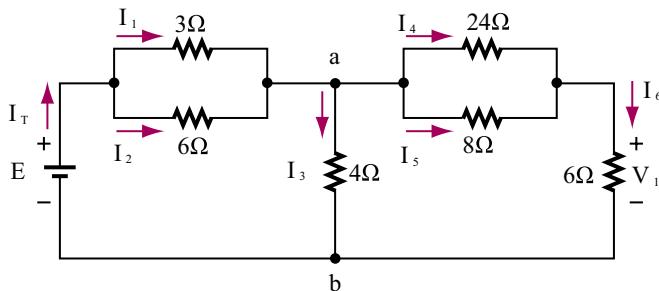


圖 3-54

解

(1) 利用分壓定則

$$V_1 = \frac{6}{(24//8) + 6} \times V_{ab} = \frac{6}{6+6} \times I_3 \times 4 = \frac{1}{2} \times 18 \times 4 = 36V$$

(2) 由克希荷夫電流定律

$$I_T = I_1 + I_2 \dots \dots \textcircled{1}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 \dots \dots \textcircled{2}$$

$$I_4 + I_5 = I_6 \dots \dots \textcircled{3}$$

$$\text{綜合 } \textcircled{1}、\textcircled{2}、\textcircled{3} \text{ 得知 } I_T = I_3 + I_6 = 18 + \frac{36}{6} = 24A$$

$$\text{依分流定則 } I_1 = \frac{6}{3+6} \times I_T = \frac{2}{3} \times 24 = 16A$$

$$(3) \text{ 總電阻 } R_T = (3 // 6) + [4 // ((24 // 8) + 6)] = 5\Omega$$

$$\therefore E = I_T \times R_T = 24 \times 5 = 120V$$

### 類題

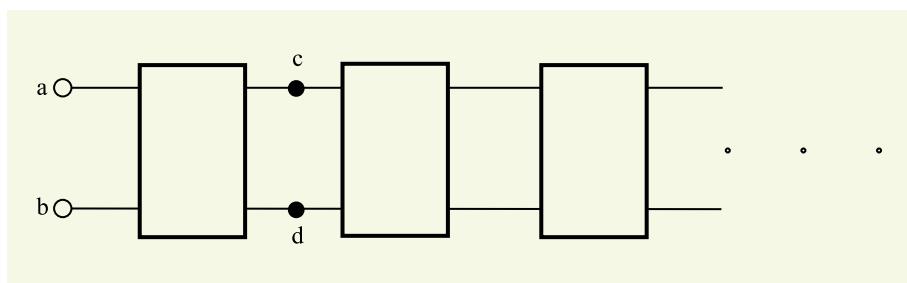
例 35 中，(1)  $I_4 = ?$  (2)  $3\Omega$  電壓 = ?

答

(1)  $1.5A$  ; (2)  $48V$

## 六・特殊電阻網路

電路中某部分重複出現，且電路連接為無窮盡時，如圖 3-55 所示。



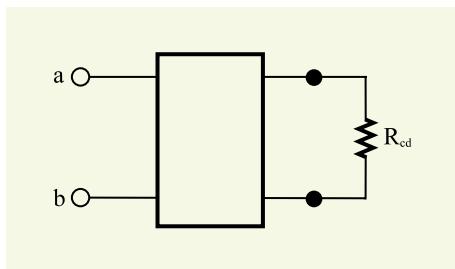
● 圖 3-55 電阻連接之無窮網路

此類電路解法為：

**Step 1** 保留一組重複出現之電路，將剩餘電路之總電阻設為  $R_{cd}$ ，如圖 3-56 所示。

**Step 2** 剩餘之電路與原電路近似相同，故  $R_{ab} \approx R_{cd}$ 。

**Step 3** 列出  $R_{ab}$  方程式，計算  $R_{ab}$ 。

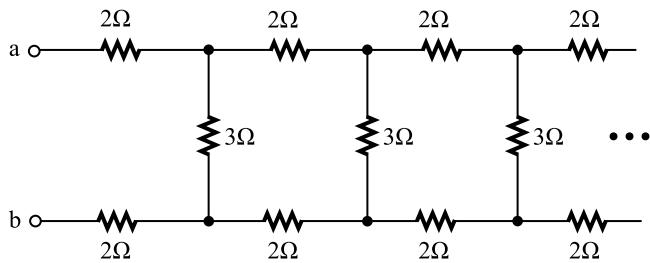


● 圖 3-56 等效之電路

### 範例

36

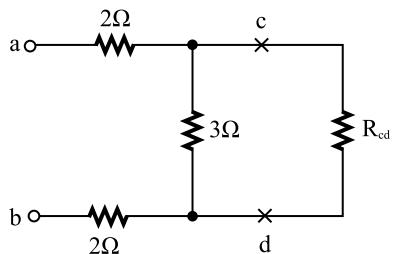
計算圖 3-57(a) 中總電阻  $R_{ab}$  為多少歐姆？



● 圖 3-57(a)

解

- (1) 保留一組重複電路
  - (2) 剩餘電路總電阻設為  $R_{cd}$
  - (3) 利用  $R_{ab} \approx R_{cd}$
- $$\begin{aligned} R_{ab} &= 2 + (3 // R_{ab}) + 2 \\ &= 4 + (3//R_{ab}) \end{aligned}$$



● 圖 3-57(b)

$$R_{ab} - 4 = \frac{R_{ab} \times 3}{R_{ab} + 3} \Rightarrow (R_{ab} - 4)(R_{ab} + 3) = 3R_{ab}$$

$$R_{ab}^2 - 4R_{ab} - 12 = 0 \Rightarrow (R_{ab} - 6)(R_{ab} + 2) = 0$$

$$\therefore R_{ab} = 6\Omega$$

或  $R_{ab} = -2\Omega$  (不合)

### 類題

例 36 中， $3\Omega$  改為  $8\Omega$  時， $R_{ab} = ?$

**答**  $8\Omega$

### 隨堂練習

23. 理想電壓表內阻 = \_\_\_\_\_；理想電流表內阻 = \_\_\_\_\_。

24. 內阻  $20\Omega$ ，滿刻度電流  $20mA$  的電流表，欲擴大量測範圍至  $400mA$ ，則分流器 = \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

25.  $5k\Omega/5W$ 、 $5k\Omega/2W$  兩電阻器串聯，等值電阻 = \_\_\_\_\_  $\Omega$ ，等效功率 = \_\_\_\_\_  $W$ 。

26.  $110V/100W$ 、 $220V/400W$  兩相同材質的燈泡串聯於  $220V$  的電源，則兩燈泡消耗的功率分別為 \_\_\_\_\_  $W$ 、\_\_\_\_\_  $W$ 。

27. 如圖 (17) 所示，試計算  $I = 3A$  時， $I_{15\Omega} =$  \_\_\_\_\_  $A$ ， $V_{bd} =$  \_\_\_\_\_  $V$ ，電源電壓  $E =$  \_\_\_\_\_  $V$ 。

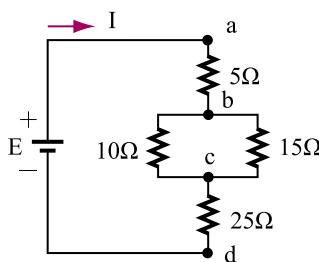


圖 (17)



## 太陽能



太陽是一個巨大的氣態球體，其主要成分是氫氣，其餘包含氦氣、碳、氮等其他成分，但太陽並沒有界限分明的表面，因此天文學家將發出自白光，但光線無法穿透的球面作為表面，稱為光球層，以光球層為界限分為內部結構與大氣結構兩大部分。內部結構由內到外分為：核心、輻射層、對流層；

大氣結構分為：光球層、色球層、日冕與太陽風。太陽能主要是來自太陽核心的核反應，因各種質能互換過程，以熱核融合反應最有效率。

太陽中心由於引力的牽引而產生重力，使氣體凝聚一團而不會分散，因這些氣體，太陽表面密度很低，而中心部分約有相當二千五百個大氣壓



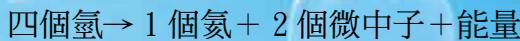
因應地球暖化嚴重，各界無不極力思考石油的替代品。太陽能車是利用太陽能板發電而產生動力的一種車輛，特徵是目前市面上的太陽能車款多運用於競賽。



太陽能熱水器 (solar water heating system) 也是利用太陽能板集熱後加熱水溫，達到提供人類使用的目的。



向內擠壓，通常中心處會因此而爆裂，但是太陽又有從內部向外側擴張的反壓力量，兩者間得到平衡，但是在高溫及高壓下，氫原子失去外圍的電子，而氫原子核以高速互相碰撞，便發生了核子反應：



氫原子轉換為氦原子時，氫原子質量會減少，因愛因斯坦的質能互換原理，減少的質量會轉換變成光與熱，這就是太陽能的來源。



太陽能發電的原理，是利用 P 型及 N 型半導體接面晶片（太陽能電池）受陽光照射後，將光能轉換為電能，再接上負載形成一個迴路而發電。





## 電學比一比

串聯電路	並聯電路
1. 電流相同	1. 電壓相同
2. $V_T = V_1 + V_2 + V_3$	2. $I_T = I_1 + I_2 + I_3$
3. $R_T = R_1 + R_2 + R_3$	3. $R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$
4. 克希荷夫電壓定律 對任一封閉迴路： 總電壓升等於總電壓降	4. 克希荷夫電流定律 對任一節點： 總流入電流等於總流出電流
5. 分壓定則： $V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times E$ $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times E$	5. 分流定則： $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I$ $I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I$
6. 電壓表倍增器： 電壓表串聯一電壓表倍增器，保護電壓表及提高最大測量值 $R_m = (m - 1) \times R_v$ $m = \frac{V_T}{V_v}$	6. 電流表倍增器： 電流表並聯一電流表倍增器，保護電流表及提高最大測量值 $R_s = \frac{1}{n - 1} \times R_A$ $n = \frac{I_T}{I_A}$
7. 電器串聯： P.142 步驟 1-4	7. 電器並聯： 總功率為各開啟電器功率之和
8. 電阻器串聯： P.144 步驟 1-4	8. 電阻器並聯： P.145 步驟 1-4

# 本章彙總

## 1. 串聯電路特性

- (1) 各元件流經的電流均相同。 $I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$
- (2) 總電源電壓等於各元件電壓和。 $E = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$
- (3) 電路總電阻等於各電阻之和。 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$
- (4) 電路總功率等於各元件功率之和。 $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$

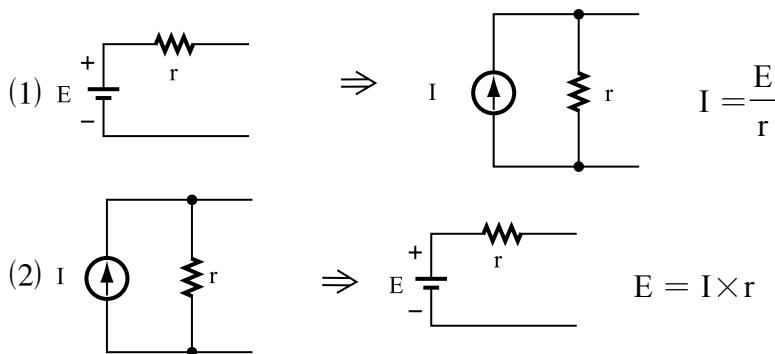
## 2. 並聯電路特性

- (1) 各元件端電壓相同。 $E = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$
- (2) 總電源電流等於各支路元件電流和。 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$
- (3) 電路總電阻倒數等於各支路電阻倒數和。 $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$
- (4) 電路總功率等於各支路元件功率和。 $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$

## 3. 電壓源與電流源特性

電壓源	電流源
(1) 理想電壓源內阻為零。	(1) 理想電流源內阻為無限大。
(2) 實際內阻與電壓源串聯。	(2) 實際內阻與電流源並聯。
(3) 電壓源串聯依電源極性合併。	(3) 電流源串聯須電流大小與內阻均相等。
(4) 電壓源並聯須電壓大小及內阻均相等。	(4) 電流源並聯依電流方向合併。

## 4. 電源互換



# 本章彙總

## 5. 克希荷夫定律

(1) 電壓定律 (KVL)：在任一封閉迴路中電壓代數和為零；或總電壓升等於總電壓降。

$$\Sigma E_{\text{升}} = \Sigma V_{\text{降}} \Rightarrow \Sigma E_{\text{升}} - \Sigma V_{\text{降}} = 0$$

(2) 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。

$$\Sigma I_{\text{in}} = \Sigma I_{\text{out}} \Rightarrow \Sigma I_{\text{in}} - \Sigma I_{\text{out}} = 0$$

## 6. 電壓分配定則

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times E = \frac{R_1}{R_T} \times E ; V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times E = \frac{R_2}{R_T} \times E$$

## 7. 電流分配定則

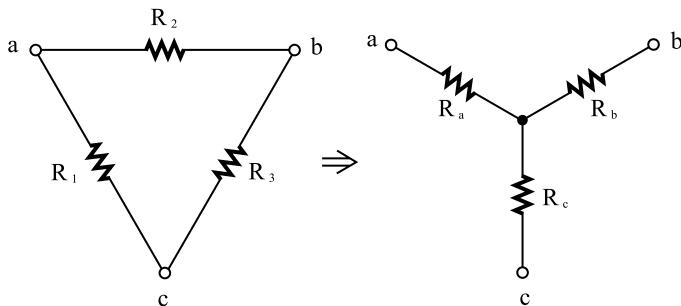
$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I = \frac{R_T}{R_1} \times I ; I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I = \frac{R_T}{R_2} \times I$$

## 8. 惠斯登電橋

(1) 平衡條件：對邊電阻相乘相等。

(2) 平衡時，中央電阻可短路或開路。

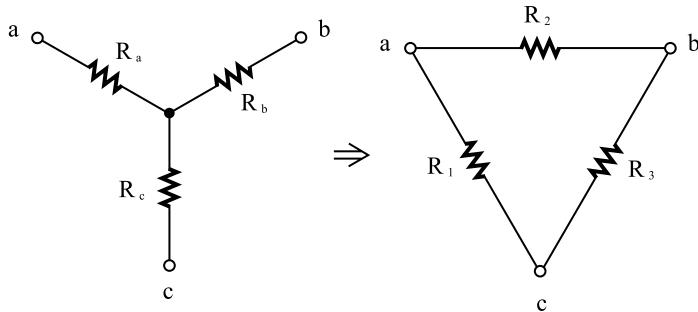
## 9. $\Delta \rightarrow Y$



$$R_Y = \frac{\text{所在電阻在}\Delta\text{中共頂點的電阻乘積}}{\triangle\text{三電阻總和}}$$

# 本章彙總

10.  $\text{Y} \rightarrow \triangle$



$$R_{\triangle} = \frac{\text{Y型中電阻兩兩相乘之和}}{\text{所求電阻在Y型中對應最遠頂點之電阻}}$$

11. 電壓表

- (1) 並聯測量元件電壓。
- (2) 理想電壓表內阻為無限大。
- (3) 擴大量測值須串聯一倍增器 ( $R_m$ )。

$$R_m = (m - 1) \times R_V ; \text{其中 } R_V : \text{電壓表內阻} ; m : \text{倍增率} \quad m = \frac{V_T}{V_V}$$

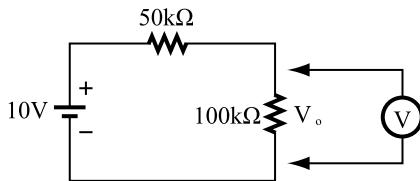
12. 電流表

- (1) 串聯測量元件電流。
- (2) 理想電流表內阻為零。
- (3) 擴大量測值須並聯一分流器 ( $R_s$ )。

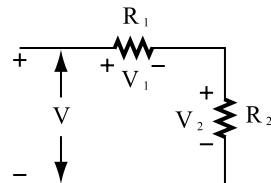
$$R_s = \frac{1}{n - 1} \times R_A ; \text{其中 } R_A : \text{電流表內阻} ; n : \text{電流倍率} \quad n = \frac{I_T}{I_A}$$

# 自我評量

- 3-3 ( ) 1. 如圖(1)所示，若電壓表 V 之內阻為  $100k\Omega$ ，則所測得之  $V_o$  電壓值應為？ (A) 3.33 (B) 5 (C) 6.67 (D) 10 V。

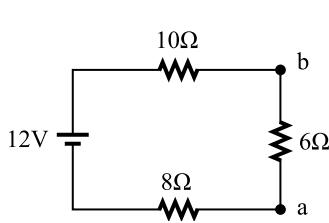


圖(1)

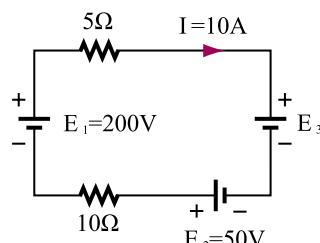


圖(2)

- ( ) 2. 在圖(2)中，下列的敘述何者為錯誤？ (A)  $V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V$   
 (B)  $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V$  (C)  $V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V$  (D)  $V_2 = V - V_1$ 。  
 ( ) 3. 在圖(3)電路中，ab 端對應的電位差  $V_{ab}$  等於 (A) -3 (B) 3 (C) -5  
 (D) 5 V。

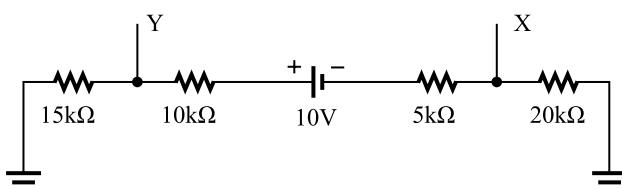


圖(3)



圖(4)

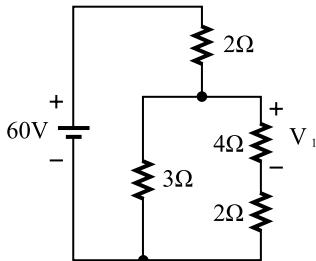
- ( ) 4. 如圖(4)所示，求  $E_3 = ?$  (A) 40 (B) 60 (C) 80 (D) 100 V。  
 ( ) 5. 圖(5)所示電路， $V_{XY}$  值為多少伏特？ (A) -7 (B) 7 (C) -3  
 (D) 3 V。



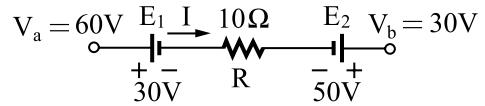
圖(5)

# 自我評量

- ( ) 6. 如圖(6)所示， $V_1$ 之電壓降為多少伏特？ (A) 20 (B) 12 (C) 15 (D) 24 V。

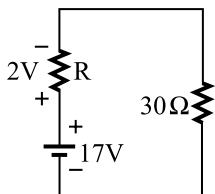


圖(6)

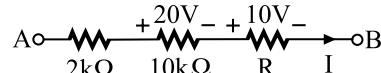


圖(7)

- ( ) 7. 兩個未知電阻串聯，假設其中一個電阻  $R_1 = x\Omega$ ，另一個為  $R_2 = 3x\Omega$ ，若接上直流 40V 電壓源後測得電阻總消耗 400W 的功率，則電阻  $R_1$  為 (A) 1Ω (B) 2Ω (C) 3Ω (D) 4Ω。
- ( ) 8. 有一個電池輸出 2A 電流時，輸出電壓為 1.5V，輸出 3A 電流時，輸出電壓為 1.4V，則此電池的內阻為多少  $\Omega$  ? (A) 0.1 (B) 0.15 (C) 0.2 (D) 0.25  $\Omega$ 。
- ( ) 9. 如圖(7)，I 等於 (A) 10 (B) 5 (C) -5 (D) -10 A。
- ( ) 10. 如圖(8)所示， $R = ?$  (A) 2 (B) 4 (C) 6 (D) 8  $\Omega$ 。
- ( ) 11. 如圖(9)所示，下列敘述何者不正確？ (A)  $V_{AB} = 34V$  (B)  $R_x = 5k\Omega$  (C)  $I = 2mA$  (D)  $R_{AB} = 15k\Omega$ 。



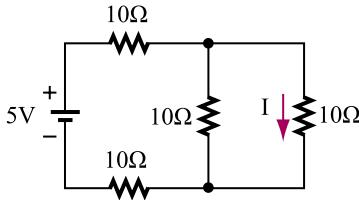
圖(8)



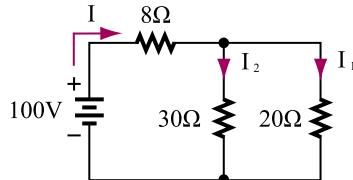
圖(9)

# 自我評量

- 3-4 ( ) 12. 圖(10)電路中之  $I$  應為？ (A)  $\frac{1}{10}$  (B)  $\frac{1}{6}$  (C)  $\frac{1}{5}$  (D) 1 A。



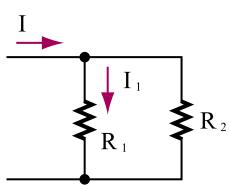
圖(10)



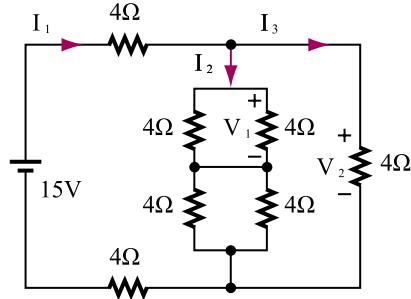
圖(11)

- ( ) 13. 於圖(11)中，下列敘述何者錯誤？ (A)  $I = 5A$  (B)  $I_1 = 2A$  (C)  $I_1 > I_2$  (D)  $30\Omega$  電阻上之壓降為  $60V$ 。

- ( ) 14. 圖(12)中， $I_1$  值為 (A)  $\frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I$  (B)  $\frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I$  (C)  $\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \times I$  (D)  $\frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2} \times I$ 。



圖(12)



圖(13)

- ( ) 15. 如圖(13)電路中， $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $V_1$  之值，下列何者正確？ (A)  $I_1 = 1A$  (B)  $I_2 = 1A$  (C)  $I_3 = 1A$  (D)  $V_1 = 1.5V$ 。

- ( ) 16. 有 4 個電阻並聯，此 4 個電阻之值分別為  $24k\Omega$ 、 $24k\Omega$ 、 $12k\Omega$ 、 $6k\Omega$ ，已知流入 4 個並聯電阻之總電流為  $240mA$ ；則  $6k\Omega$  電阻上之電流為 (A)  $180$  (B)  $120$  (C)  $60$  (D)  $30$  mA。

# 自我評量

- ( ) 17. 有一串並聯網路，其電流路徑如圖 (14) 所示，其中  $A_1$  及  $A_2$  為電流表，此時  $A_1$  及  $A_2$  之指示值各為何？ (A)  $A_1 = 6A$ ,  $A_2 = 9A$  (B)  $A_1 = 1A$ ,  $A_2 = 3A$  (C)  $A_1 = 0A$ ,  $A_2 = 9A$  (D)  $A_1 = 2A$ ,  $A_2 = 2A$ 。
- ( ) 18. 已知圖 (15) 中之  $I_1 = 2A$ ,  $I_2 = -1A$ ,  $I_3 = 3A$ ，則  $I_4$  為？ (A) 0 (B) 2 (C) 4 (D) 6 A。

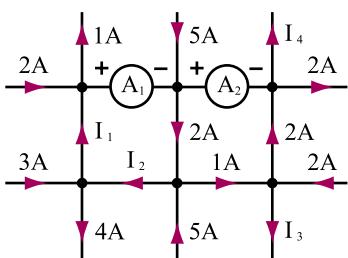


圖 (14)

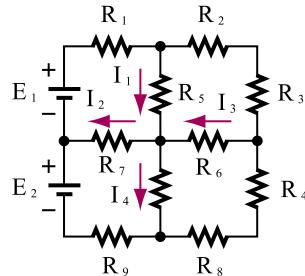


圖 (15)

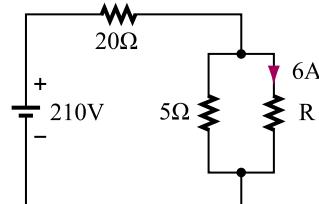


圖 (16)

- ( ) 19. 如圖 (16) 所示，求  $R$  值為多少歐姆？ (A)  $\frac{1}{2}$  (B) 2 (C) 1 (D) 3 Ω。
- ( ) 20. 如圖 (17) 電路，開關閉合前的電流為正常電流，閉合後為短路電流，則短路電流為正常電流的幾倍？ (A) 10 (B) 8 (C) 6 (D) 5。

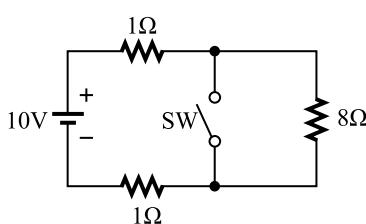


圖 (17)

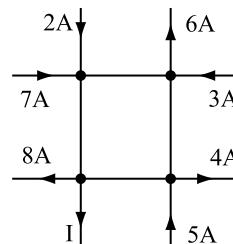


圖 (18)

- ( ) 21. 如圖 (18) 所示電路，則電流  $I$  為多少？ (A)  $-2A$  (B)  $-1A$  (C)  $0A$  (D)  $1A$ 。

# 自我評量

- ( ) 22. 如圖(19)所示電路中，消耗之總功率為 (A) 1200 (B) 1800 (C) 2400 (D) 2700 W。

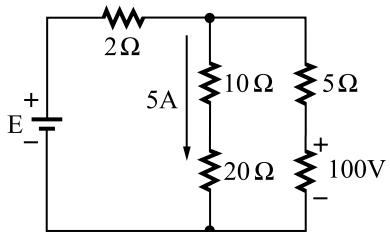


圖 (19)

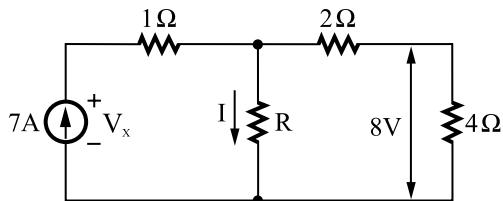


圖 (20)

- ( ) 23. 如圖(20)所示電路，電流 I 等於多少 A ? (A) 2 (B) 3 (C) 4 (D) 5 A。
- ( ) 24. 如圖(21)所示，求  $I_1 = ?$  (A) 4 (B) 3 (C) -4 (D) -7 A。

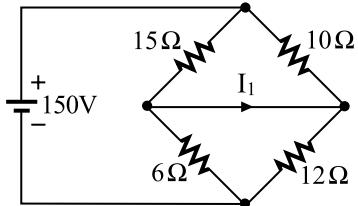


圖 (21)

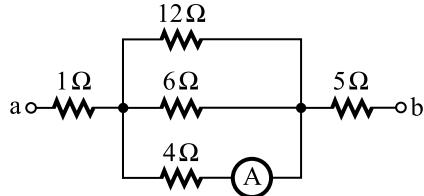


圖 (22)

- ( ) 25. 如圖(22)所示，若Ⓐ讀數為 3A，則 ab 之間電壓為 (A) 132 (B) 48 (C) 24 (D)  $\frac{44}{3}$  V。
- ( ) 26. 如圖(23)只有一電阻發生故障，若  $R_1$  兩端之電壓經量測為 0V，則何處發生故障？(A)  $R_1$  斷路 (B)  $R_2$  斷路 (C)  $R_1$  短路 (D)  $R_2$  短路。

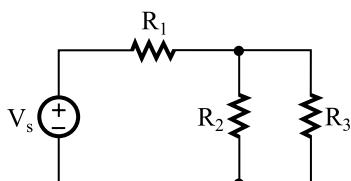
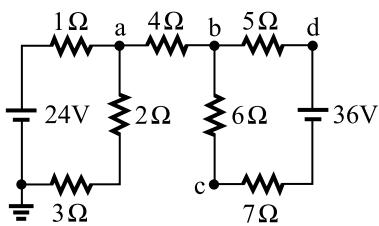


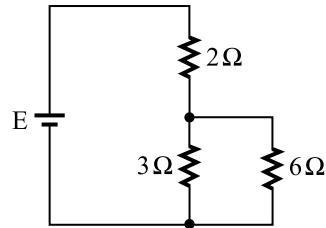
圖 (23)

# 自我評量

- ( ) 27. 如圖(24)所示，下列何者有誤？ (A)  $V_a = + 20V$  (B)  $V_b = - 20V$   
 (C)  $V_c = + 8V$  (D)  $V_d = + 30V$ 。

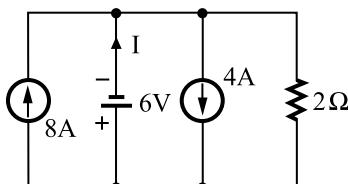


圖(24)

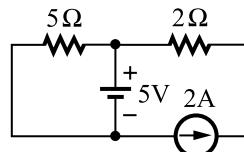


圖(25)

- ( ) 28. 如圖(25)，若  $E$  的直流電壓值為  $36V$ ，求  $6\Omega$  處電阻器所消耗之功率為 (A)  $18$  (B)  $36$  (C)  $54$  (D)  $72$  W。
- ( ) 29. 有兩個電熱鍋各為  $200V$ 、 $1000W$  及  $100V$ 、 $500V$  並聯接於  $100V$  電壓，則消耗功率為 (A)  $500$  (B)  $750$  (C)  $1000$  (D)  $1500$  W。
- ( ) 30. 如圖(26)所示，流經  $6V$  電壓源之電流  $I$  為 (A)  $0$  (B)  $4$  (C)  $7$  (D)  $-7$  A。

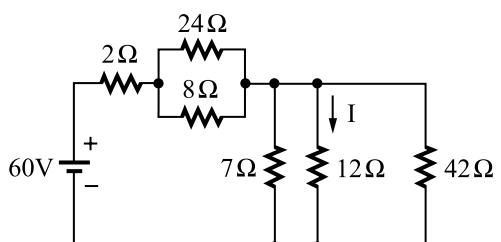


圖(26)



圖(27)

- ( ) 31. 如圖(27)所示電路， $5V$  電壓源 (A) 輸出  $25W$  (B) 消耗  $25W$  (C) 消耗  $5W$  (D) 消耗  $10W$ 。
- ( ) 32. 如圖(28)所示電路，則電流  $I$  約為多少？ (A)  $5A$  (B)  $3.25A$  (C)  $2.5A$  (D)  $1.67A$ 。

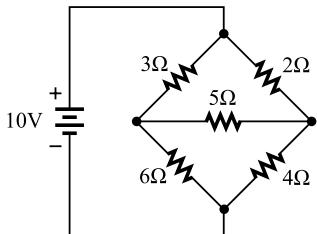


圖(28)

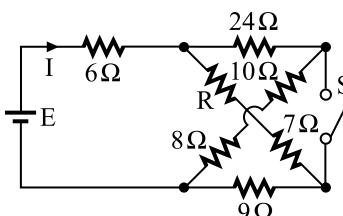
# 自我評量

- ( ) 33. 兩電阻值相等的電阻器，將其並聯後，連接到一理想電流源的兩端，已知此二電阻總共消耗 20 瓦特之功率，如將此二電阻改為串聯後再連接到同一理想電流源的兩端，則此二電阻總共吸收多少瓦特之功率？ (A) 2.5 (B) 5 (C) 10 (D) 80 W。

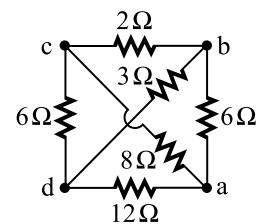
3-5 ( ) 34. 圖(29)中，求流經  $5\Omega$  電阻之電流為 (A) 0 (B) 3 (C) 1 (D) 2 A。



圖(29)

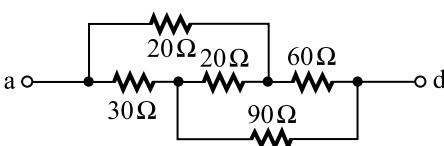


圖(30)

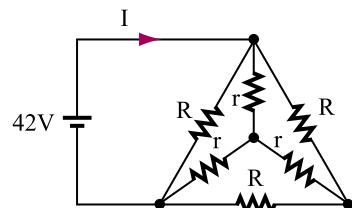


圖(31)

- ( ) 35. 如圖(30)所示，S 接通前後，I 保持定值，則 R 應為 (A) 3 (B) 5 (C) 8 (D)  $12 \Omega$ 。
- ( ) 36. 如圖(31)所示電路，ab 間總電阻應為 (A) 6 (B) 3 (C) 2 (D)  $1 \Omega$ 。
- ( ) 37. 如圖(32)所示電路， $R_{ad}$  為 (A) 6 (B) 12 (C) 24 (D)  $48 \Omega$ 。



圖(32)

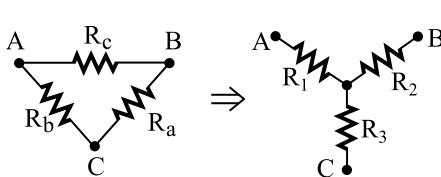


圖(33)

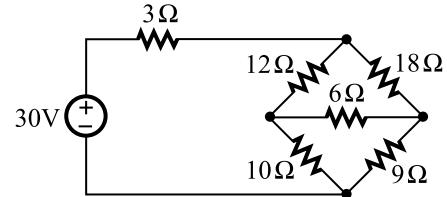
- 3-6 ( ) 38. 圖(33)電路中， $R = 18\Omega$ ， $r = 6\Omega$ ，則電流 I 為？ (A) 4 (B) 6 (C) 7 (D) 8 A。
- ( ) 39. Y 型網路上各分支電阻為 4、6 及 12 歐姆，化為△型網路時其各分支電阻總和為 (A)  $36\Omega$  (B)  $72\Omega$  (C)  $86\Omega$  (D)  $144\Omega$ 。

# 自我評量

- ( ) 40. A、B、C三點的△與Y之等效電路如圖(34)所示，令 $G_a = \frac{1}{R_a}$ 、 $G_b = \frac{1}{R_b}$ 、 $G_c = \frac{1}{R_c}$ 、 $G_1 = \frac{1}{R_1}$ 、 $G_2 = \frac{1}{R_2}$ 、 $G_3 = \frac{1}{R_3}$ ，則下列哪一項不正確？  
(A)  $G_a = \frac{G_2 G_3}{G_1 + G_2 + G_3}$  (B)  $R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$  (C)  $G_1 = \frac{G_a G_b + G_b G_c + G_c G_a}{G_b + G_c}$  (D)  $R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}$ 。

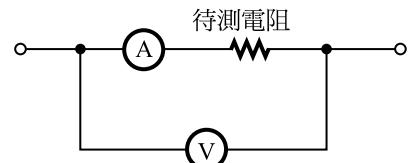


圖(34)



圖(35)

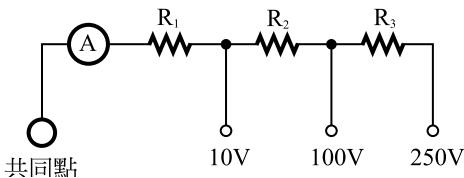
- ( ) 41. 如圖(35)的直流電路，電壓源供給的電流為何？ (A) 0.5 (B) 1  
(C) 1.5 (D) 2 A。
- 3-7 ( ) 42. 某安培表與 $0.5\Omega$ 電阻並接後，其測量範圍提高為原來的10倍，則此安培表的內阻為？ (A) 5 (B) 4.5 (C) 45 (D) 50 Ω。
- ( ) 43. 欲用伏特表及安培表測量電阻，其接線如圖(36)，若伏特表指示10V，安培表指示0.5A，安培表內阻 $2\Omega$ ，則待測電阻值為？ (A) 20 (B) 9 (C) 19 (D) 18 Ω。
- ( ) 44. 將一滿刻度為 $1mA$ 之電流表，擴展為 $100mA$ 之電流表，且所並聯之分流電阻為 $2\Omega$ ，則該電流表的內阻為？ (A) 198 (B) 189  
(C) 99 (D) 18 Ω。

註：伏特表內阻 $\gg$ 待測電阻。

圖(36)

# 自我評量

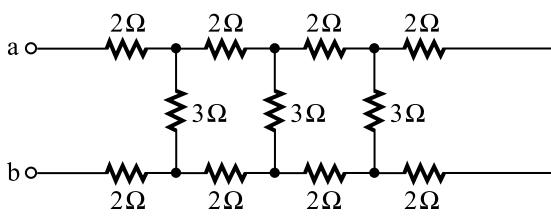
- ( ) 45. 電表中之分流電阻愈小，則流過表頭的滿刻度電流 (A) 愈小 (B) 愈大 (C) 一樣 (D) 視情況而定。
- ( ) 46. 下列敘述何者有誤？ (A) 理想電壓表內阻無限大 (B) 理想電流表內阻無限大 (C) 理想電壓源輸入阻抗為零 (D) 理想電流源內阻無限大。
- ( ) 47. 將三個額定功率分別為 10W、60W、100W 的  $10\Omega$  負載電阻串聯在一起，則串聯後所能承受的最大額定功率為多少瓦特？ (A) 10 (B) 30 (C) 60 (D) 160 W。
- ( ) 48. 電阻器 R 的跨接電壓為 V，則其功率規格 W 應如何決定？  
 (A)  $W \geq \frac{V^2}{R}$  (B)  $W \geq \frac{V}{\sqrt{R}}$  (C)  $W \leq \frac{V^2}{R}$  (D)  $W \leq \frac{V}{\sqrt{R}}$ 。
- ( ) 49. 110 伏 100 瓦燈泡兩個，若將其串接在 110 伏電源時，每個燈泡所消耗的功率為多少瓦特？ (A) 25 (B) 50 (C) 100 (D) 200 瓦特。
- ( ) 50. 將 100W/100V 與 10W/100V 的兩個電燈（其材質特性皆相同）串聯後，兩端接上 99V 電源，則試問哪個電燈泡會較亮？ (A) 10W 之電燈泡 (B) 100W 之電燈泡 (C) 兩者亮度相同 (D) 10W 之電燈泡會燒毀。
- ( ) 51. 如圖(37)電路為 10V、100V、250V 多範圍的電壓表，Ⓐ 為達松發爾電表頭  $100\text{mV}$ ， $1\text{mA}$ ，則電阻  $R_1$  等於 (A)  $9.9\text{k}\Omega$  (B)  $90\text{k}\Omega$  (C)  $150\text{k}\Omega$  (D)  $300\text{k}\Omega$ 。



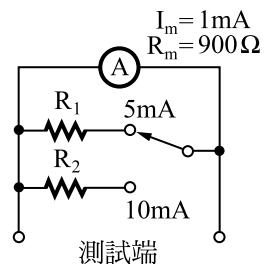
圖(37)

# 自我評量

- ( ) 52. 一個規格為  $100\Omega$ 、 $100W$  的電熱器，與另一個規格為  $100\Omega$ 、 $400W$  的電熱器串聯之後再接上電源，若不使此兩電熱器中之任何一個之消耗功率超過其規格，則電源之最高電壓為何？ (A) 500 (B) 400 (C) 300 (D) 200 V。
- ( ) 53. 如圖(38)，ab 間之等效電阻為 (A) 4 (B) 6 (C) 7 (D) 8  $\Omega$ 。



圖(38)

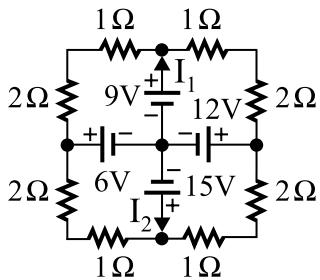


圖(39)

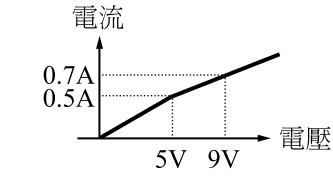
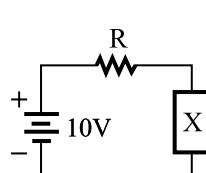
- ( ) 54. 有一  $40mA$  電流計之內阻為分流器電阻之 39 倍，則並聯分流器之電表可量測之最大電流為 (A) 1.6 (B) 2 (C) 3 (D) 4 A。
- ( ) 55. 燈泡 A 為  $110V$ 、 $100W$  額定；燈泡 B 為  $110V$ 、 $40W$  額定，兩個串聯後接於  $220V$  之電源，其結果如何？ (A) AB 兩燈泡一樣亮 (B) AB 兩燈泡各有  $110V$  之電壓降 (C) A 燈泡兩端之壓降為  $157V$  (D) B 燈泡可能因過載而過熱燒毀。
- ( ) 56. 如圖(39)所示電路為多範圍電流表，若電流表  $I_m = 1mA$ ， $R_m = 900\Omega$ ，欲使電流表分別量測  $5mA$  及  $10mA$ ，則  $R_1$  及  $R_2$  各約為多少？ (A)  $R_1 = 450\Omega$ ， $R_2 = 200\Omega$  (B)  $R_1 = 225\Omega$ ， $R_2 = 100\Omega$  (C)  $R_1 = 450\Omega$ ， $R_2 = 50\Omega$  (D)  $R_1 = 225\Omega$ ， $R_2 = 25\Omega$ 。
- ( ) 57. 兩個不同規格的電阻  $12k\Omega/16W$  及  $12k\Omega/8W$  並聯後的最大可允許消耗功率為多少瓦特？ (A) 12 (B) 13 (C) 15 (D) 16 W。

# 自我評量

- ( ) 58. 內阻各為  $200\text{k}\Omega$  及  $150\text{k}\Omega$  之兩台 200 伏特直流電壓表若串聯連接時，可測定之最高電壓為多少伏？ (A) 250 (B) 300 (C) 350 (D) 400。
- ( ) 59. 如圖(40)之直流電路，求其中電流  $I_1 + I_2 = ?$  (A) 6A (B) 4A (C) -4A (D) -6A。



圖(40)



圖(41)

- ( ) 60. 電路元件 X 的電流電壓特性如圖(41)所示，求當電阻 R 等於  $30\Omega$  時，電路元件 X 消耗的功率為多少瓦特？ (A) 0.25W (B) 0.5W (C) 0.625W (D) 0.8W。

## 圖片來源

生活中的電學（鹼性電池）

生活中的電學（驗電條）

shutterstock 圖庫

[http://www.google.com.tw/search?q=Duracell+Powercheck&source=lnms&tbo=isch&sa=X&ei=FSJuUfv0LserkwWZ-YFo&ved=0CAcQ\\_AUoAQ&biw=1680&bih=955#imgrc=uIauY0oJrlJxZM%3A%3BzDK3PB3I\\_WCapM%3Bhttp%253A%252F%252Fstore.bid.tv%252Fproductimages%252F2000%252Fp.AH122546.hr.ba.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fstore.bid.tv%252Fbidtv%252FDuracell-74-Pack-Ultra-Batteries---Includes-48-x-AA--24-x-AAA-and-2-x-9V%252FAH122546%252FProductDetail.raction%3B2000%3B2000](http://www.google.com.tw/search?q=Duracell+Powercheck&source=lnms&tbo=isch&sa=X&ei=FSJuUfv0LserkwWZ-YFo&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1680&bih=955#imgrc=uIauY0oJrlJxZM%3A%3BzDK3PB3I_WCapM%3Bhttp%253A%252F%252Fstore.bid.tv%252Fproductimages%252F2000%252Fp.AH122546.hr.ba.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fstore.bid.tv%252Fbidtv%252FDuracell-74-Pack-Ultra-Batteries---Includes-48-x-AA--24-x-AAA-and-2-x-9V%252FAH122546%252FProductDetail.raction%3B2000%3B2000)

生活中的電學（藍光光碟）

生活瘋電學圖

P119、140 底紋

shutterstock 圖庫

shutterstock 圖庫

富爾特圖庫