



# 串並聯電路

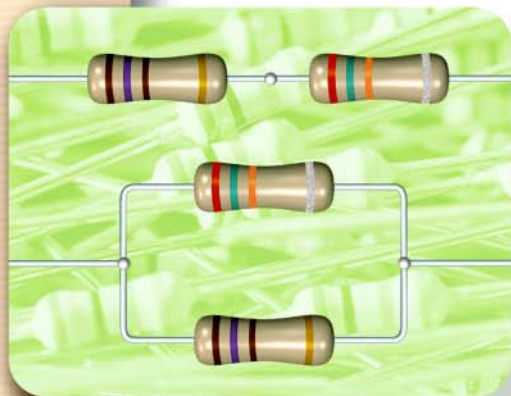
**串**聯電路是指電路中的電子元件成串連接，元件的一端與另一元件的一端相連接，各個首尾相連的元件接在一隻電源上，使得電路中只形成單一的電流路徑。

並聯電路是指電路中有兩個或兩個以上的電子元件，每個元件分別連接至一個相同的電源，因此電路中的電流可以有兩個以上的通道，而形成具有許多電流分支的一種電路。

本章將介紹電阻器所組成的串聯電路及並聯電路，並討論其特性。

## 學習目標

- ▶ 認識串聯電路
- ▶ 認識並聯電路
- ▶ 利用克希荷夫電壓定律分析電阻串聯電路
- ▶ 利用克希荷夫電流定律分析電阻並聯電路
- ▶ 認識電壓源與電流源
- ▶ 學習 Y 型與  $\Delta$  型電路間相互轉換的方法



## 本章目錄

<b>3-1</b>	串並聯電路的定義與特性 .....	74	<b>※3-4</b>	串並聯電路的應用實例 .....	102
<b>3-2</b>	克希荷夫電壓定律 .....	88	<b>3-5</b>	電壓源與電流源 .....	111
<b>3-3</b>	克希荷夫電流定律 .....	94	<b>3-6</b>	Y - $\Delta$ 互換法 .....	116



## 3-1 串並聯電路的定義與特性

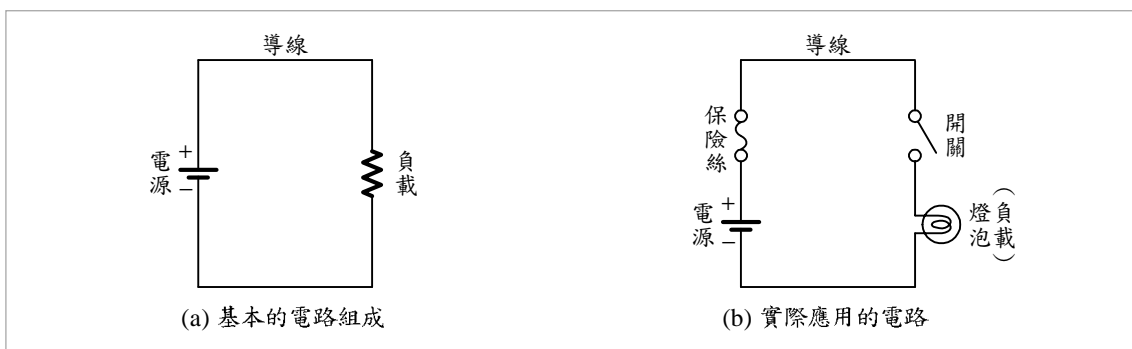
在開始討論串並聯電路之前，我們必須對電路的組成與狀態有基本的認識，然後再進一步探討電阻串並聯電路的定義與特性。

### 3-1.1 電路的組成

電路（electric circuit）是電流通過的途徑，也就是電子移動所流經的路徑。圖 3-1 即是一個基本的電路組成。一個最基本的電路至少必須具備以下三項元件：

1. **電源（power supply）**：是可以將其它形式的能量轉換為電能的裝置，有交流電源與直流電源的分別，其功能在提供電路中的電動勢，使電路產生電流。
2. **導線（wire）**：為電流通過的路徑，是連接元件與元件之間的通道，一般採用銅線為材料。
3. **負載（load）**：可以吸收電路中的電能，並轉換成我們所需要的能量形式，如燈泡、電視機、電冰箱…等電器，換言之，負載即是電路中消耗電能的裝置。

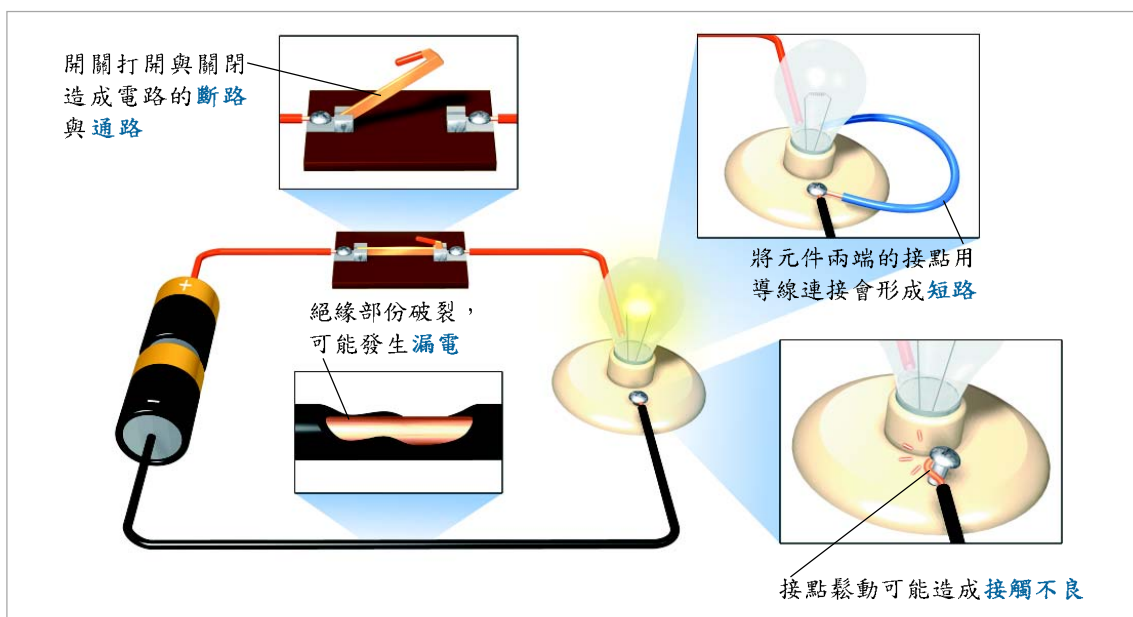
通常在基本電路中，都會再加上保護設備與控制開關等元件，成為一個實際應用的電路，如圖 3-1(b)所示。如果電路的組成較複雜，元件的組合也較多樣，我們稱這種較複雜的電路為網路（network）。



▲ 圖 3-1 電路的組成 基本的電路至少具備電源、導線、負載等元件。

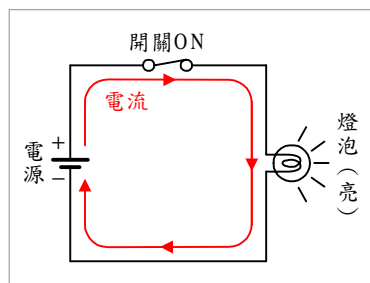
## 3-1.2 電路狀況簡介

通路、斷路、短路、接觸不良、漏電…等現象為電路中常出現的狀況，如圖 3-2 所示。在真正進入電路的探討之前，我們先來介紹這些慣用的專有名詞。



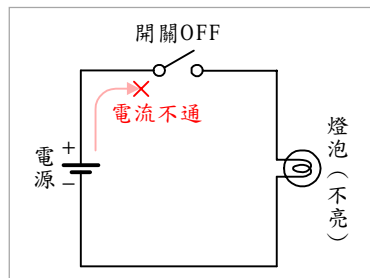
▲ 圖 3-2 基本電路及其各種狀況 電路的狀況包括：通路、斷路、短路、接觸不良、漏電…等。

- **通路：**或稱為閉路（closed circuit），是最基本的電路狀況。電源提供電壓產生電流，電流經由導線通過負載再回到電源形成一個封閉路徑（迴路），如圖 3-3 所示。



▲ 圖 3-3 電路的狀況—通路

- **斷路：**或稱為開路（open circuit），通常發生在導線中斷或電路之開關打開的情況。電路處於斷路的狀態時，電路中的電流為零，因此沒有電流通過負載，負載也沒有作功，如圖 3-4 所示。根據歐姆定律，此時相當於電路中的電阻為無窮大

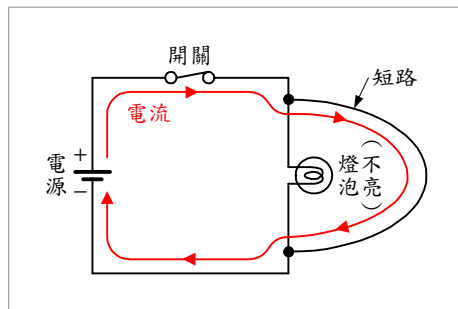


▲ 圖 3-4 電路的狀況—斷路

$$\left( R = \frac{V}{I} = \frac{V}{0} = \infty \right)。$$



- **短路 (short circuit)：**電流沒有經由負載回到電源，而直接經由導線（或外來導體）形成迴路，如圖 3-5 所示。由於一般導線的電阻值極小，根據歐姆定律，短路的結果將造成大量的電流通過，使電路產生高溫，很容易造成電線走火，釀成火災。一般室內配線皆以無熔絲斷路器（NFB）作為總開關，當線路發生短路時，無熔絲開關將自動跳脫，使電路變成斷路而避免火災發生。



▲ 圖 3-5 電路的狀況—短路

- **接觸不良：**接觸不良為電路中有異常電阻發生的情況，例如導線生鏽或焊接點鬆動造成的接觸不良等。電路在接觸不良的接點上產生電壓降，並轉換為熱能，造成電路的電能損耗，接點容易被毀損。
- **漏電：**漏電是由於導線的絕緣部份破裂，而與外界可導電的物體接觸，使部份電流外漏的現象。漏電的發生，將造成電能的浪費，也容易發生觸電的危險。

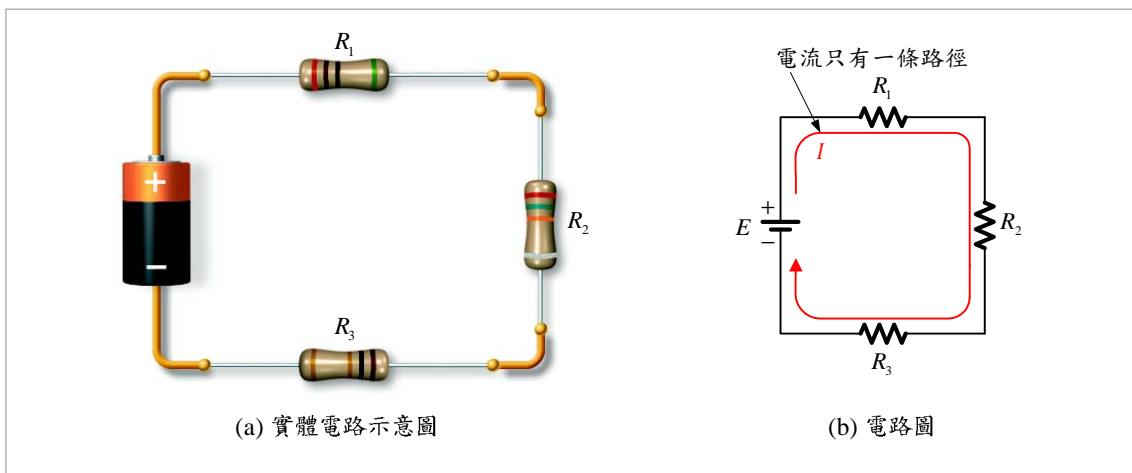
我們將上述幾種電路的狀況與其電流的關係整理如表 3-1 所列。

▼ 表 3-1 通路、斷路、短路的比較

狀況	電路圖	電流
通路		$I_c = \frac{E}{R}$
斷路		$I_o = \frac{E}{\infty} = 0$
短路	(a) 電源短路 	$I_s = \frac{E}{0} = \infty$
	(b) 部分負載短路 	$I'_s = \frac{E}{R_1}$

### 3-1.3 串聯電路的定義

串聯電路（series circuit）為：將兩個或兩個以上的電子元件串接而組成之電路，其中電流只有一條單一路徑。若以電阻所組成之串聯電路為例，則其電路符號與實際線路圖如圖 3-6 所示。



▲ 圖 3-6 電阻串聯電路 兩個以上之電阻元件串接所組成的電路，其中電流只有一條單一路徑。

### 3-1.4 串聯電路的特性

圖 3-7 所示為一電阻串聯電路，其各項的電路特性分析說明如下。

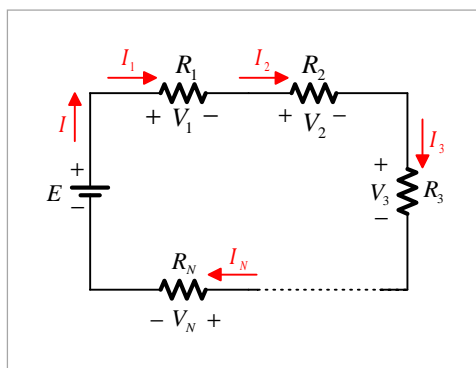
#### 電流

串聯電路的總電流與流經各電阻器的電流均相等。用數學式表示成：

#### Σ 重要公式

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_N \quad (3-1-1)$$

其中電流  $I_1, I_2, \cdots, I_N$ ，如圖 3-7 電路所示。



▲ 圖 3-7 串聯電路的特性



## 電壓

串聯電路的總電壓降等於各電阻器電壓降的和。在電路中，電流的方向是由高電位流向低電位，當電流流經電子元件時，元件兩端便會產生電位差，流入端為+，流出端為-，定義這樣的電位差為電壓降，如圖 3-7 所示。根據歐姆定律可以得到：

$$V_1 = I_1 R_1 = I R_1, V_2 = I_2 R_2 = I R_2, \dots, V_N = I_N R_N = I R_N$$

所以，上述文字可以用數學式表示成：

### Σ 重要公式

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_N = I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots + I_N R_N = I(R_1 + R_2 + \dots + R_N) \quad (3-1-2)$$

其中  $V_T$  為電路的總電壓降。

## 電動勢

串聯電路中的總電動勢等於電路的總電壓降。用數學式可表示成：

### Σ 重要公式

$$E = V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_N \quad (3-1-3)$$

其中  $E$  為電路的總電動勢。如果電路中有許多電壓源串接，則串聯電壓源所產生的總電動勢為各電壓源電動勢的和。電壓源在串接時，須注意其電動勢的極性，如表 3-2 所示。

▼ 表 3-2 電壓源的串接

同方向之電壓源的串接	不同方向之電壓源的串接
$E = E_1 + E_2 \quad \text{或} \quad E = -(E_1 + E_2)$	$E = E_1 - E_2 \quad \text{或} \quad E = -(E_1 - E_2) = E_2 - E_1$

## 電阻

串聯電路中的總電阻等於各電阻值的和。由(3-1-2)式與歐姆定律得：

$$\begin{aligned}\because V_T &= IR_T = I_1R_1 + I_2R_2 + \cdots + I_NR_N = I(R_1 + R_2 + \cdots + R_N) \\ \therefore IR_T &= I(R_1 + R_2 + \cdots + R_N)\end{aligned}$$

其中  $R_T$  為電路的總電阻值。將上式等號兩邊的總電流  $I$  消去，得到串聯電路的總電阻值等於各電阻器電阻值的和：

### Σ 重要公式

$$R_T = R_1 + R_2 + \cdots + R_N \quad (3-1-4)$$

若電路中有  $n$  個相同電阻值之電阻器串聯，則總電阻  $R_T = nR$ 。

## 功率

串聯電路中的總功率等於各電阻器所消耗功率的和。將(3-1-2)式的等號兩邊乘上總電流  $I$ ，再利用(3-1-1)式得：

$$\begin{aligned}V_T I &= V_1 I + V_2 I + \cdots + V_N I \\ &= V_1 I_1 + V_2 I_2 + \cdots + V_N I_N \\ P_T &= P_1 + P_2 + \cdots + P_N\end{aligned} \quad (3-1-5)$$

或將(3-1-4)式的等號兩邊乘上  $I^2$ ，再利用(3-1-1)式，亦可得：

$$\begin{aligned}I^2 R_T &= I^2 R_1 + I^2 R_2 + \cdots + I^2 R_N \\ &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + \cdots + I_N^2 R_N \\ P_T &= P_1 + P_2 + \cdots + P_N\end{aligned}$$

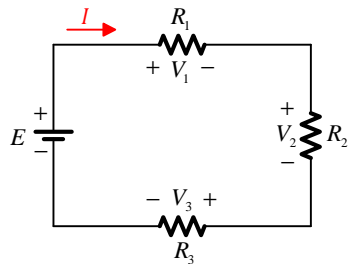
其中  $P_T$  為電路的總功率。





### 範例 3-1

如右圖所示電路，電壓源  $E$  由 4 個 1.5V 的乾電池串聯而成，而電路中燈泡的電阻值分別為： $R_1 = 3\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 1\text{k}\Omega$ 、 $R_3 = 2\text{k}\Omega$ ，試求串聯電路中的各電阻通過的電流與電路的總電壓降為多少？



【解】電源提供的總電動勢： $E = 4(1.5\text{V}) = 6\text{V}$

總電壓降與電源提供的總電動勢相等： $V_T = E = 6\text{V}$

由(3-1-2)式可得電流： $I = \frac{V_T}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{6\text{V}}{3\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega} = 1\text{mA}$

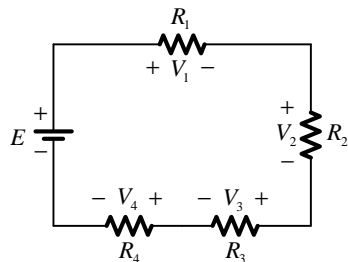
**馬上練習** 承上題所示電路，其電路的每一個電阻值皆為  $200\Omega$ ，電路的電流為  $2\text{A}$ ，試求  $E$  為多少？

【答】 $E = 1200\text{V}$ 。



### 範例 3-2

如右圖所示電路， $R_1 = 30\Omega$ 、 $R_2 = 10\Omega$ 、 $R_3 = 20\Omega$ 、 $R_4 = 20\Omega$ ，電路中的總電流為  $3\text{A}$ ，試求串聯電路中的總電阻、各電阻器上流過的電流與總電壓為多少？



【解】電路的總電阻：

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 30\Omega + 10\Omega + 20\Omega + 20\Omega = 80\Omega$$

各電阻器上的電流等於電路的總電流： $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I = 3\text{A}$

電路的總電壓： $E = IR_T = (3\text{A})(80\Omega) = 240\text{V}$

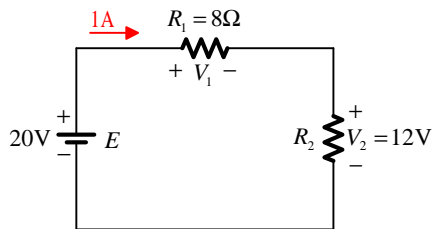
**馬上練習** 承上題所示電路， $R_1 = 30\Omega$ 、 $R_2 = 15\Omega$ 、 $R_3 = 20\Omega$ 、 $R_4 = 25\Omega$ ，電路中的總電壓為  $180\text{V}$ ，試求串聯電路中的總電阻為多少？

【答】 $R_T = 90\Omega$ 。




**範例 3-3**

如右圖所示電路，一個 20V 的直流電源  $E$  連接一電阻  $R_2$ ，串聯一個電阻值為  $8\Omega$  的電阻  $R_1$ ，試求電阻  $R_1$  與  $R_2$  所消耗的功率各為多少？



【解】流經串聯電路各元件上的電流皆相等，即流經  $R_1$ 、 $R_2$  的電流  $I = 1\text{A}$ ，所以：

$$P_1 = I^2 R_1 = (1\text{A})^2 (8\Omega) = 8\text{ W}$$

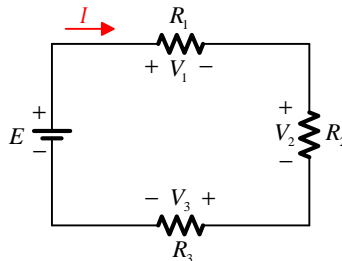
$$P_2 = V_2 I = (12\text{V})(1\text{A}) = 12\text{ W}$$

**馬上練習** 承上題所示電路，若  $E = 12\text{V}$ ， $V_1 = 4\text{V}$ ， $I_2 = 2\text{A}$ ，試求電路之總電阻及電路之總功率為多少？

【答】 $R_T = 6\Omega$ ， $P_T = 24\text{ W}$ 。


**範例 3-4**

如右圖所示電路， $E = 12\text{V}$ 、 $R_1 = 3\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 1\text{k}\Omega$ 、 $R_3 = 2\text{k}\Omega$ ，試求串聯電路中的總電阻、線路電流與各電阻器上的電壓降為多少？



【解】(1)  $R_T = R_1 + R_2 + R_3$   
 $= 3\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega = 6\text{ k}\Omega$

$$(2) I = \frac{E}{R_T} = \frac{12\text{V}}{6\text{k}\Omega} = 2\text{ mA}$$

$$(3) V_1 = IR_1 = (2\text{mA})(3\text{k}\Omega) = 6\text{ V}$$

$$V_2 = IR_2 = (2\text{mA})(1\text{k}\Omega) = 2\text{ V}$$

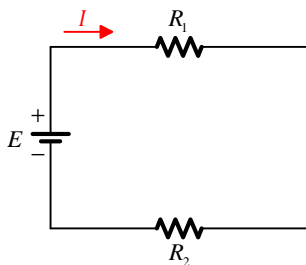
$$V_3 = IR_3 = (2\text{mA})(2\text{k}\Omega) = 4\text{ V}$$

**馬上練習** 承上題所示電路， $I = 2\text{mA}$ 、 $R_1 = 5\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 2\text{k}\Omega$ 、 $R_3 = 3\text{k}\Omega$ ，試求串聯電路的總電壓為多少？

【答】 $E = 20\text{ V}$ 。

**範例 3-5**

如下圖所示電路， $E = 120\text{V}$ 、 $R_1 = 10\Omega$ 、 $R_2 = 30\Omega$ ，試求各電阻消耗的功率、電源供應的總功率？



【解】電路的電流為：

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{120\text{V}}{10\Omega + 30\Omega} = 3\text{ A}$$

(1) 電阻消耗的功率為：

$$P_1 = I^2 R_1 = (3\text{A})^2 (10\Omega) = 90\text{ W}$$

$$P_2 = I^2 R_2 = (3\text{A})^2 (30\Omega) = 270\text{ W}$$

(2) 電源供應的總功率為： $P_T = EI = (120\text{V})(3\text{A}) = 360\text{ W}$

由上式我們也可以看出：電源供應的總功率為各電阻消耗功率的和。

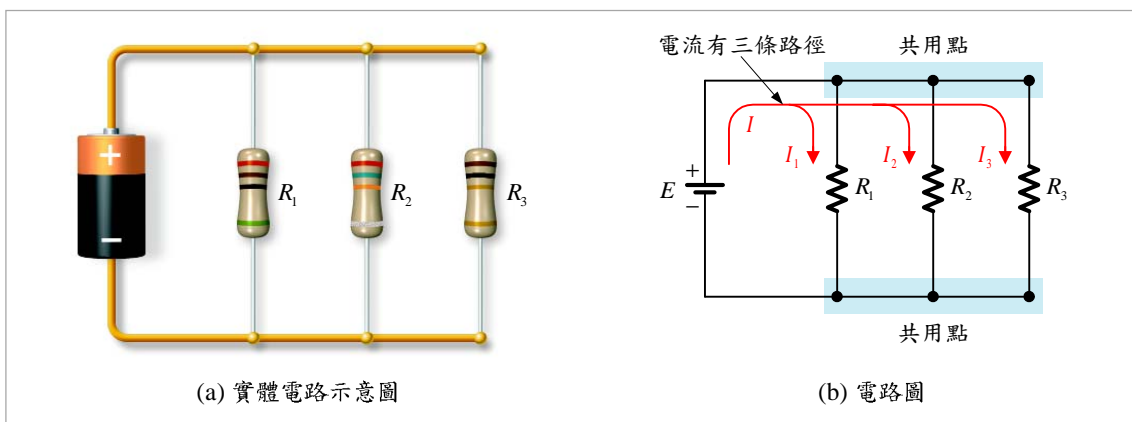
**馬上練習** 承上題所示電路， $I = 2\text{A}$ 、 $R_1 = 2\Omega$ 、 $R_2 = 3\Omega$ ，試求電源供應的總功率？

【答】 $P_T = 20\text{ W}$ 。

### 3-1.5 並聯電路的定義

並聯電路是一種與串聯電路不同的電路結構，同時也有著不同的電壓與電流性質。

並聯電路（parallel circuit）為：電路中兩個或兩個以上的元件以二個共用點方式連接，造成電流通路有二條以上的路徑。若以電阻所組成之並聯電路為例，則其電路符號與實際線路圖如圖 3-8 所示。



▲ 圖 3-8 電阻並聯電路 兩個以上之電阻元件以二個共同點方式連接，造成電流有二條以上的路徑。



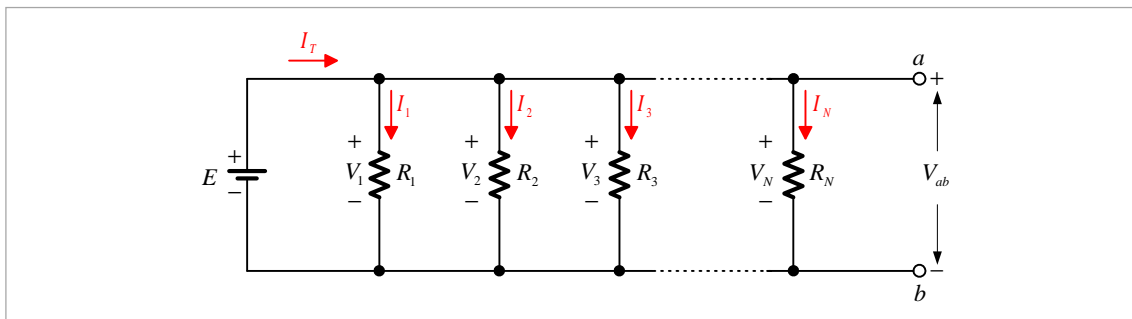
### 知識充電

並聯電路的應用十分普遍，一般家庭用電的線路配接方式，即是採用並聯電路系統，如下圖所示。



## 3-1.6 並聯電路的特性

圖 3-9 所示為一電阻並聯電路，其各項的電路特性分析說明如下。



▲ 圖 3-9 並聯電路的特性



### 電流

並聯電路的總電流等於分流至各電阻器電流的和。用數學式表示成：

#### Σ 重要公式

$$I_T = I_1 + I_2 + \cdots + I_N \quad (3-1-6)$$

其中電流  $I_1, I_2, \cdots, I_N$ ，如圖 3-9 電路所示。

### 電壓

並聯電路的總電壓降與各電阻器的電壓降均相等。用數學式表示成：

#### Σ 重要公式

$$V_{ab} = V_1 = V_2 = \cdots = V_N \quad (3-1-7)$$

其中  $V_{ab}$  為電路的總電壓降。

### 電動勢

並聯電路中的總電動勢等於各電阻器的電壓降。用數學式表示成：

#### Σ 重要公式

$$E = V_{ab} = V_1 = V_2 = \cdots = V_N \quad (3-1-8)$$

其中  $E$  為電路的總電動勢。

### 電阻

在串聯電路中的總電阻等於各電阻值的和，因此電阻的數目愈多，總電阻值也愈大；但在並聯電路中的總電阻值便有些不同了。由(3-1-6)式、(3-1-8)式與歐姆定律可得：

$$\frac{E}{R_T} = \frac{V_{ab}}{R_T} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \cdots + \frac{V_N}{R_N} = \frac{V_{ab}}{R_1} + \frac{V_{ab}}{R_2} + \cdots + \frac{V_{ab}}{R_N}$$

其中  $R_T$  為電路的總電阻值。將上式等號兩邊的電壓  $V_{ab}$  消去，得到並聯電路中的總電阻值倒數等於各電阻器電阻值倒數的和：

#### Σ 重要公式

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_N} \quad (3-1-9)$$

若電路中只有兩個電阻器並聯，則總電阻  $R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 。若電路中有  $n$  個相同電阻值的電阻器並聯，則總電阻  $R_T = \frac{R}{n}$ 。

因為電導值為電阻值的倒數（ $G = \frac{1}{R}$ ），換句話說，(3-1-9)式可表示為：並聯電路中的總電導值等於各電導值的和。即：

#### Σ 重要公式

$$G_T = G_1 + G_2 + \cdots + G_N \quad (3-1-10)$$

其中  $G_T$  為電路的總電導值。

## 功率

並聯電路中的總功率等於各電阻器所消耗功率的和。將(3-1-6)式的等號兩邊乘上電壓  $V_{ab}$ ，再利用(3-1-8)式得：

$$\begin{aligned} V_{ab} I_T &= V_{ab} I_1 + V_{ab} I_2 + \cdots + V_{ab} I_N = V_1 I_1 + V_2 I_2 + \cdots + V_N I_N \\ P_T &= P_1 + P_2 + \cdots + P_N \end{aligned} \quad (3-1-11)$$

或將(3-1-9)式的等號兩邊乘上  $E^2$ ，再利用(3-1-8)式，亦可得：

$$\begin{aligned} \frac{E^2}{R_T} &= \frac{E^2}{R_1} + \frac{E^2}{R_2} + \cdots + \frac{E^2}{R_N} = \frac{V_1^2}{R_1} + \frac{V_2^2}{R_2} + \cdots + \frac{V_N^2}{R_N} \\ P_T &= P_1 + P_2 + \cdots + P_N \end{aligned}$$

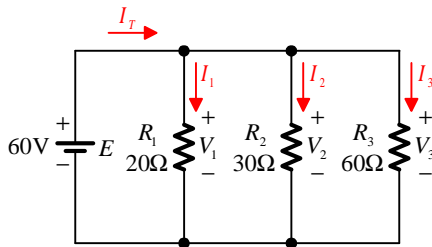
其中  $P_T$  為電路的總功率。



## 範例 3-6

如右圖所示電路，試求：

- (1) 電路的總電阻值
- (2) 總電流
- (3) 各電阻的電流
- (4) 各電阻的消耗功率 為多少？



【解】(1)  $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{60\Omega} = \frac{3+2+1}{60\Omega} = \frac{1}{10\Omega}$

$\therefore R_T = 10\Omega$

(2)  $I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{60V}{10\Omega} = 6A$

(3)  $E = V_1 = V_2 = V_3 = 60V$  (於並聯電路時，其電壓相等)

$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{E}{R_1} = \frac{60V}{20\Omega} = 3A$

$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_2} = \frac{60V}{30\Omega} = 2A$

$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{E}{R_3} = \frac{60V}{60\Omega} = 1A$

(4)  $P_1 = I_1^2 R_1 = (3A)^2 (20\Omega) = 180W$  (或  $P_1 = \frac{E^2}{R_1} = \frac{(60V)^2}{20\Omega} = 180W$ )

$P_2 = I_2^2 R_2 = (2A)^2 (30\Omega) = 120W$  (或  $P_2 = \frac{E^2}{R_2} = \frac{(60V)^2}{30\Omega} = 120W$ )

$P_3 = I_3^2 R_3 = (1A)^2 (60\Omega) = 60W$  (或  $P_3 = \frac{E^2}{R_3} = \frac{(60V)^2}{60\Omega} = 60W$ )

$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 180W + 120W + 60W = 360W$

【另解】 $P_T = I_T^2 R_T = (6A)^2 (10\Omega) = 360W$  (或  $P_T = \frac{E^2}{R_T} = \frac{(60V)^2}{10\Omega} = 360W$ )

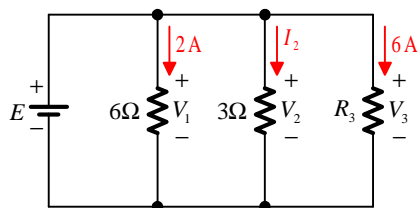
**馬上練習** 若有 5 個  $100\Omega$  之電阻相並聯，試求其電路之總電阻為多少？

【答】 $R_T = 20\Omega$ 。



## 範例 3-7

如右圖所示電路，試求：(1)電壓源  $E$  (2)電流  $I_2$  (3)電阻值  $R_3$  (4)總電阻值  $R_T$  為多少？



【解】(1)  $E = V_1 = I_1 R_1 = (2\text{A})(6\Omega) = 12\text{V}$

$$(2) I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_2} = \frac{12\text{V}}{3\Omega} = 4\text{A}$$

$$(3) R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{E}{I_3} = \frac{12\text{V}}{6\text{A}} = 2\Omega$$

$$(4) R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{6\Omega} + \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{2\Omega}} = \frac{1}{\frac{1+2+3}{6\Omega}} = 1\Omega$$

**馬上練習** 承上題，試求並聯電路中電阻消耗的總功率為多少？

【答】 $P_T = 144\text{W}$ 。



## 單元評量



1. 在串聯電路中，電阻大者消耗之功率較電阻小者為 \_\_\_\_\_。
2.  $R_1 = 100\Omega$ ， $R_2 = 150\Omega$ ，兩者串聯接於  $100\text{V}$  電源上，問電阻  $R_1$  兩端之電壓為 \_\_\_\_\_  $\text{V}$ 。
3.  $50\text{V}$  電源供給  $500\text{mW}$  功率至兩串聯電阻器  $R_1$  和  $R_2$ ，若跨於  $R_1$  上之電壓為  $10\text{V}$ ，則  $R_1$  電阻值為 \_\_\_\_\_  $\text{k}\Omega$ 。
4. 有一  $50\text{V}$  電源串聯兩電阻器  $R_1 = 10\Omega$  和  $R_2 = 40\Omega$ ，則電阻  $R_2$  所消耗的功率為 \_\_\_\_\_  $\text{W}$ 。
5.  $20\text{V}$  電源串聯兩電阻器  $R_1 = 10\Omega$  和  $R_2 = 30\Omega$ ，則電路所消耗的總功率為 \_\_\_\_\_  $\text{W}$ 。
6. 二個電阻並聯，電阻值分別為  $100\Omega$  與  $25\Omega$ ，電路的總電阻變為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。
7. 三個電阻值分別為  $4\Omega$ 、 $6\Omega$  與  $12\Omega$  的電阻器，將三個電阻器並聯後，電路的總電阻變為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。
8. 三個電阻並聯，電阻值分別為  $5\Omega$ 、 $5\Omega$  與  $2.5\Omega$ ，若電路的總電流為  $6\text{A}$ ，則通過  $2.5\Omega$  電阻器上的電流為 \_\_\_\_\_  $\text{A}$ 。
9. 有三個電阻值相同的電阻器並聯，電路的總電阻為  $10\Omega$ ，任一個電阻器的電阻值為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。



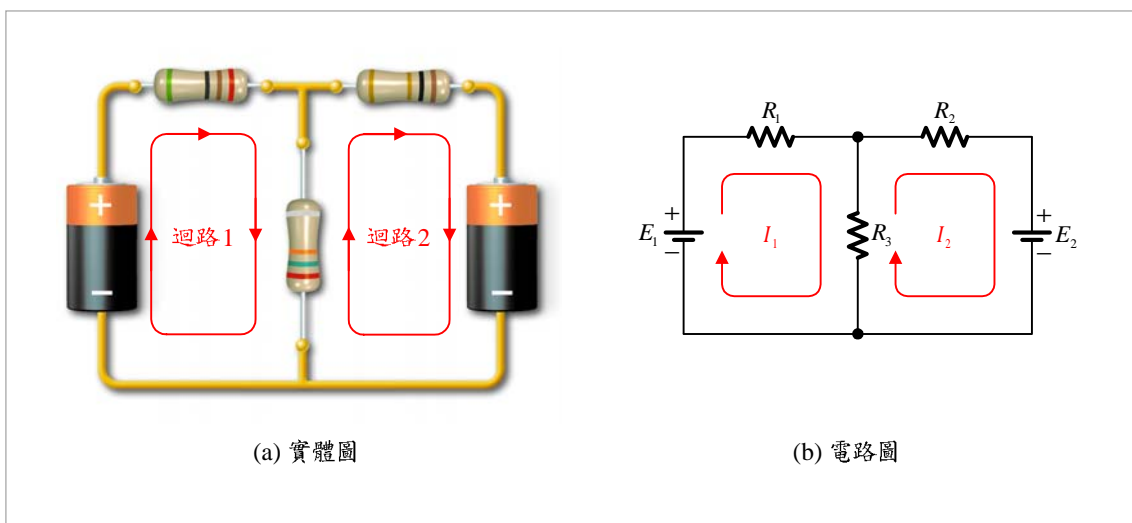


## 3-2 克希荷夫電壓定律

電壓、電流與電阻是電路分析中的三大要素，歐姆定律說明了三者間的關係。而對較複雜的電路網路分析，德國物理學家克希荷夫（G. R. Kirchhoff, 1824~1887）則首先提出兩條有關電路中之電壓與電流的定律，乃建立出一套分析電路的絕佳工具。在本節中，我們便先來討論克希荷夫電壓定律（**Kirchhoff's Voltage Law**，簡稱 **KVL**）在電阻串聯電路的應用。

### 3-2.1 迴路

迴路（loop）是電路中任何封閉的電流導通路徑，如圖 3-10 中的迴路 1 與迴路 2。在迴路 1 中，所包含的元件有電池  $E_1$ 、電阻  $R_1$  與  $R_3$ ；在迴路 2 中，所包含的元件有電池  $E_2$ 、電阻  $R_2$  與  $R_3$ 。在已知的電路中，任一迴路內各元件的電壓關係式，可由克希荷夫電壓定律來決定，我們將在下一個小節中說明。



▲ 圖 3-10 電路中的迴路 迴路是電路中任何封閉的電流導通路徑。

## 3-2.2 克希荷夫電壓定律簡介

克希荷夫電壓定律在說明：任一封閉電路（迴路）內之電壓代數和為零，或是迴路中所有電源電壓之和等於所有元件電壓降之和。用數學式表示為：

**Σ 重要公式**

$$\Sigma E = \Sigma V (\Sigma IR) \Rightarrow \Sigma E - \Sigma V = 0 \quad (3-2-1)$$

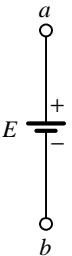
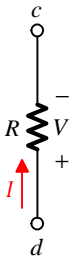
其中， $\Sigma$  為代數總和的符號， $E$  與  $V$  分別表示電路中的電源電壓與元件電壓。若以電壓昇與電壓降來說明，則克希荷夫電壓定律亦可表示為：任一封閉電路內，其電壓昇之和等於電壓降之和。即：

**Σ 重要公式**

$$\Sigma(E_{- \rightarrow +} \text{ 及 } V_{- \rightarrow +}) (\text{電壓昇}) = \Sigma(E_{+ \rightarrow -} \text{ 及 } V_{+ \rightarrow -}) (\text{電壓降}) \quad (3-2-2)$$

其中，電壓昇與電壓降的定義是：假設一參考方向（通常是電流方向），若電位是由負至正（ $- \rightarrow +$ ）者，則為**電壓昇**，**電壓取正值**。反之若電位由正至負（ $+ \rightarrow -$ ），則為**電壓降**，**其電壓取負值**。如表 3-3 所示。

▼ 表 3-3 電壓昇與電壓降的說明

元件	電壓昇與電壓降	元件	電壓昇與電壓降
	(1) 若由 $b$ 至 $a$ ，則 $E$ 為電壓昇。 ( $\because$ 由 $- \rightarrow +$ ) (2) 若由 $a$ 至 $b$ ，則 $E$ 為電壓降。 ( $\because$ 由 $+ \rightarrow -$ ) (左圖中之 $E$ 為電源；長線為 $+$ ，短線為 $-$ )		(1) 若由 $c$ 至 $d$ ，則 $V$ 為電壓昇。 ( $\because$ 由 $- \rightarrow +$ ) (2) 若由 $d$ 至 $c$ ，則 $V$ 為電壓降。 ( $\because$ 由 $+ \rightarrow -$ ) (左圖中之 $V = IR$ ；由 $I$ 決定 $V$ 之 $+-$ ：流入端為正，流出端為負。)

我們以圖 3-11 之電路圖實際說明克希荷夫電壓定律如下，其中迴路的方向可任意選擇：



● 若於  $abcd$  封閉電路中：

(選擇迴路方向由  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ )

$$1. -V_1 - E_2 - V_2 + E_1 = 0,$$

$$E_1 - E_2 = V_1 + V_2, \text{ 即 } \sum E = \sum V。$$

$$2. E_1 = V_1 + E_2 + V_2, \text{ 即}$$

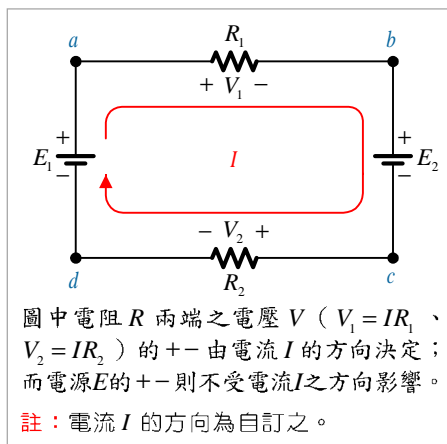
$$\sum(E_{\rightarrow+} \text{ 及 } V_{\rightarrow+}) = \sum(E_{\rightarrow-} \text{ 及 } V_{\rightarrow-})。$$

● 若於  $adcba$  封閉電路中：

(選擇迴路方向由  $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ )

$$1. -E_1 + V_2 + E_2 + V_1 = 0, V_1 + V_2 = E_1 - E_2, \text{ 即 } \sum V = \sum E。$$

$$2. V_2 + E_2 + V_1 = E_1, \text{ 即 } \sum(E_{\rightarrow+} \text{ 及 } V_{\rightarrow+}) = \sum(E_{\rightarrow-} \text{ 及 } V_{\rightarrow-})。$$



▲ 圖 3-11 克希荷夫電壓定律的圖解

## 3-2.3 電壓分配定則

在串聯電路中，電阻器間的電壓分配，是依電阻值的大小決定。實際上，各電阻器兩端電壓與該電阻器的電阻值大小成正比，這便稱為電壓分配定則（分壓法）。在串聯電路中，流經串聯電路各元件的電流均相等，利用這個原則，我們分析電路中各元件的電壓如下。

1. 圖 3-12 所示之兩個電阻的串聯電路（最常用）：

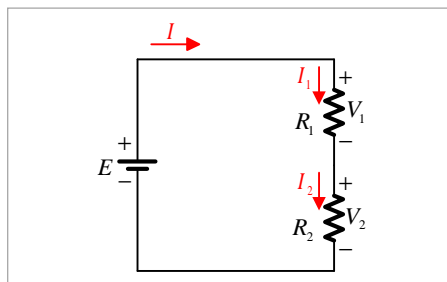
$$\text{電路的總電阻：} R_T = R_1 + R_2$$

$$\because I = I_1 \quad \therefore \frac{E}{R_T} = \frac{V_1}{R_1}$$

$$\text{得 } V_1 = \frac{R_1}{R_T} E = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

$$\text{又 } \because I = I_2 \quad \therefore \frac{E}{R_T} = \frac{V_2}{R_2}$$

$$\text{得 } V_2 = \frac{R_2}{R_T} E = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$



▲ 圖 3-12 兩個電阻的串聯電路

結論：兩個電阻串聯之分壓法為

Σ重要公式

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{R_1}{R_T} E = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E \\ V_2 &= \frac{R_2}{R_T} E = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \end{aligned} \quad (3-2-3)$$

2. 圖 3-13 所示之兩個以上電阻的串聯電路：

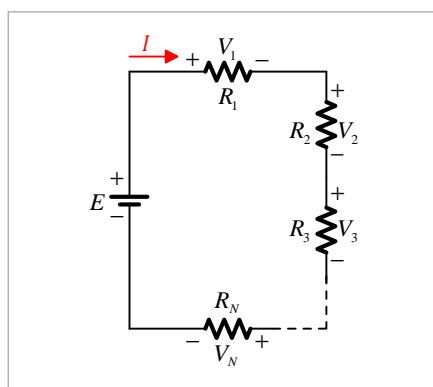
同理，兩個以上電阻串聯之分壓法為

$$V_x = \frac{R_x}{R_T} E$$

（式中  $V_x$  代表  $R_x$  電阻的端電壓，且

總電阻  $R_T = R_1 + R_2 + \cdots + R_N$ ）

由上式可以得到：於串聯電路中，電阻器上的電壓與電阻值成正比。當然，更複雜的串聯電路，電壓分配定則也同樣成立。



▲ 圖 3-13 兩個以上電阻的串聯電路



### 範例 3-8

如右圖所示電路，試求電路的電流為多少？

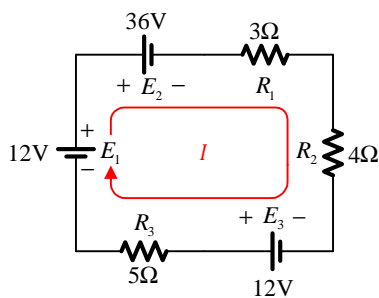
【解】利用克希荷夫電壓定律（KVL）之方程式：

$$E_1 - E_2 - IR_1 - IR_2 + E_3 - IR_3 = 0$$

（式中  $E_2$  為電壓降）

$$\therefore I = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12\text{V} - 36\text{V} + 12\text{V}}{3\Omega + 4\Omega + 5\Omega} = -1\text{A}$$

上式中的負號代表迴路的電流流動方向與原假設的方向相反。



### 馬上練習

承上題所示電路，如果將電路中的  $E_2$  電壓值改為 12V，試求電路的電流為多少？

【答】 $I = 1\text{A}$ 。



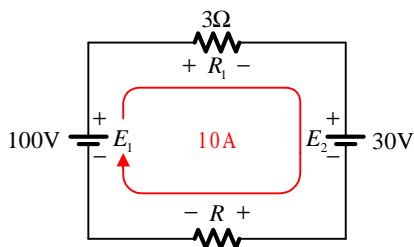
### 範例 3-9

有一未知元件與其他元件串接成如右圖電路，如果測得電路的總電流為順時針方向 10A，試求此元件的電阻值為多少？

【解】假設未知元件的電阻值為  $R$ ，寫下電路的克希荷夫電壓方程式為：

$$E_1 - IR_1 - E_2 - IR = 0 \quad (\text{式中 } E_2 \text{ 為電壓降})$$

$$\therefore R = \frac{E_1 - E_2 - IR_1}{I} = \frac{100\text{V} - 30\text{V} - (10\text{A})(3\Omega)}{10\text{A}} = 4\Omega$$



### 馬上練習

承上題所示電路，如果將圖中之未知元件的電阻值改為  $5\Omega$ ，若要讓電流維持 10A，試求  $E_2$  的電壓值要改為多少？

【答】 $E_2 = 20\text{V}$ 。



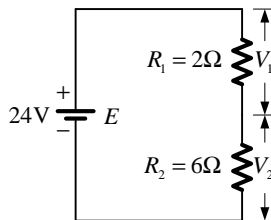
### 範例 3-10

如右圖所示電路，試求電壓  $V_1$  與  $V_2$  為多少？

【解】利用電壓分配定則，可得：

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E = \frac{2\Omega}{2\Omega + 6\Omega} (24\text{V}) = 6\text{V}$$

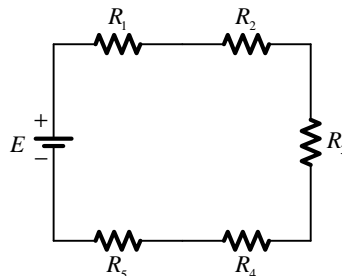
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E = \frac{6\Omega}{2\Omega + 6\Omega} (24\text{V}) = 18\text{V}$$



### 馬上練習

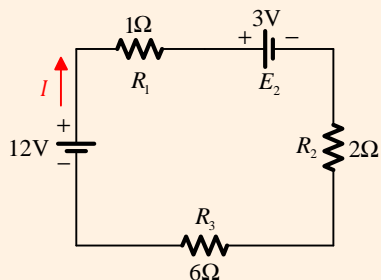
如右圖所示的電路， $E = 15\text{V}$ 、 $R_1 = 1\Omega$ 、 $R_2 = 2\Omega$ 、 $R_3 = 3\Omega$ 、 $R_4 = 4\Omega$ 、 $R_5 = 5\Omega$ ，試利用電壓分配定則求各電阻的電壓降為多少？

【答】 $V_1 = 1\text{V}$ ， $V_2 = 2\text{V}$ ， $V_3 = 3\text{V}$ ， $V_4 = 4\text{V}$ ， $V_5 = 5\text{V}$ 。

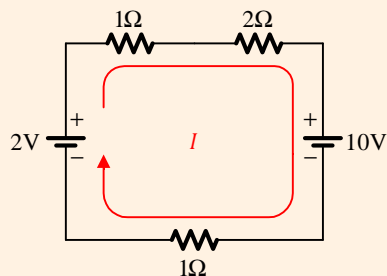


單元評量

1. 如圖(1)所示電路，試求電流  $I = \underline{\hspace{2cm}}$  A。
2. 如圖(2)所示電路，試求電流  $I = \underline{\hspace{2cm}}$  A。

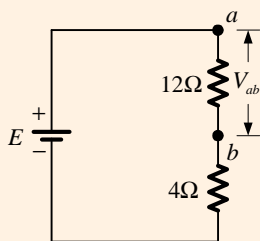


圖(1)

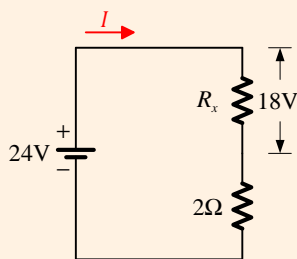


圖(2)

3. 如圖(3)所示電路， $V_{ab} = 12\text{V}$ ，則電路的總電壓  $E = \underline{\hspace{2cm}}$  V。
4. 如圖(4)所示電路，試求圖中之  $R_x = \underline{\hspace{2cm}}$  Ω， $I = \underline{\hspace{2cm}}$  A。

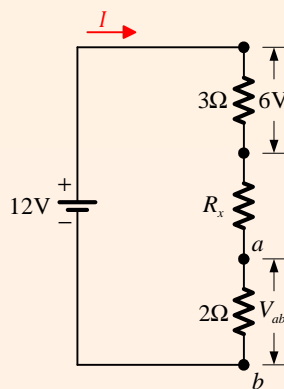


圖(3)



圖(4)

5. 如圖(5)所示電路，試求圖中之  $R_x = \underline{\hspace{2cm}}$  Ω， $I = \underline{\hspace{2cm}}$  A， $V_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$  V。



圖(5)

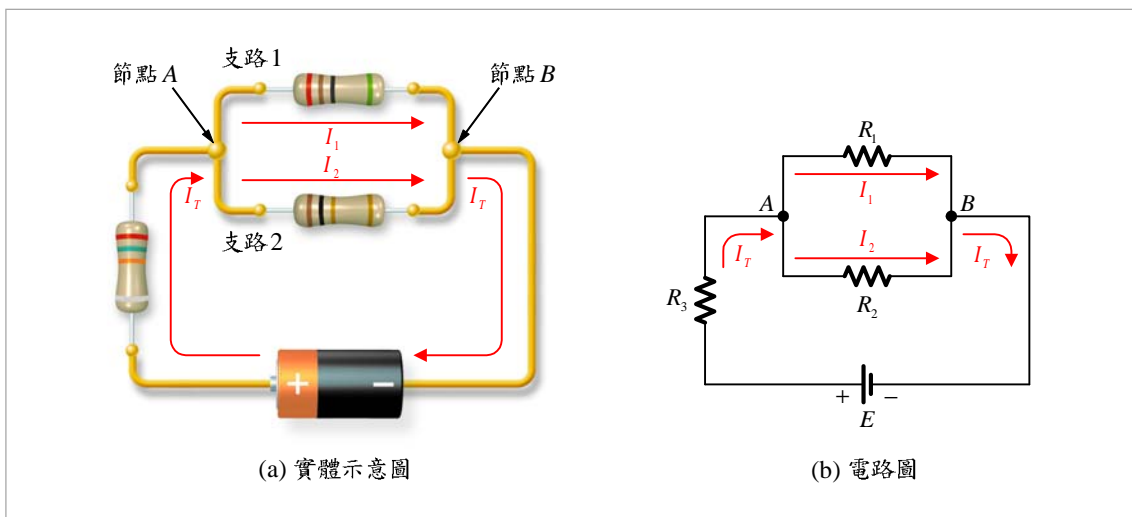


## 3-3 克希荷夫電流定律

克希荷夫電流定律（**K**irchhoff's **C**urrent **L**aw，簡稱 **KCL**）是電路分析中另一個重要的工具，與克希荷夫電壓定律並列為網路分析的兩大基本必備工具。在本節中，我們將介紹克希荷夫電流定律在電阻並聯電路中的應用。

### 3-3.1 節點

節點（node）是電路中兩條或兩條以上電路分支的共用點，也是三個或三個以上電路元件的接合點（junction），如圖 3-14 中的  $A$ 、 $B$  兩點。當電流  $I_T$  流進節點  $A$  時，電流分成兩條支路（branch） $I_1$ 、 $I_2$ ；而通過節點  $B$  後，電流又合併成原來  $I_T$ 。所以節點可說是並聯電路中支路兩端的連接點。所有電流經過某一節點的關係式，可由克希荷夫電流定律來決定，我們將在下一個小節中說明。



▲ 圖 3-14 電路中的節點 節點是電路中兩條或兩條以上電路分支的共用點。



### 3-3.2 克希荷夫電流定律簡介

克希荷夫電流定律在說明：在任一個電流網路中，流入某一節點的電流總和必等於流出該節點的電流總和。用數學式可以表示成：

Σ 重要公式

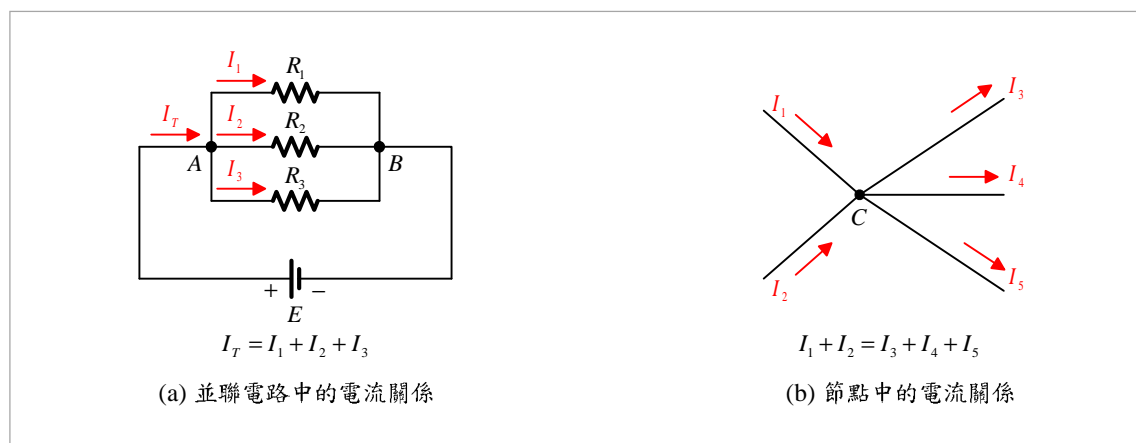
$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \quad (3-3-1)$$

其中  $I_{in}$  為流入節點的電流； $I_{out}$  為流出節點的電流。事實上，克希荷夫電流定律也是電荷不滅定律的另一種陳述方式。所以，在節點的電流總和為：

Σ 重要公式

$$\sum I = \sum I_{in} - \sum I_{out} = 0 \quad (3-3-2)$$

換句話說，克希荷夫電流定律也可以用另一種方式來說明：流入與流出任一個電路節點的電流總和為零。圖 3-15 為克希荷夫電流定律在並聯電路與節點中的應用：圖(a)顯示並聯電路中，流經節點 A 與節點 B 電流關係式；圖(b)為節點 C 之流進電流與流出電流間的關係式。



▲ 圖 3-15 克希荷夫電流定律的應用 流入某節點的電流總和等於流出該節點的電流總和。



### 3-3.3 電流分配定則

在並聯電路中，每個分路電阻器上流過的電流，是依電阻值的大小決定。實際上，各分路電流與該分路上電阻器的電阻值大小成反比，這便稱為電流分配定則（分流法）。在並聯電路中，各分路上的電壓均相同，利用這個原則，我們分析電路中各分路的電流如下。

1. 圖 3-16 所示之兩個電阻的並聯電路（最常用）：

$$\text{電路的總電阻： } R_T = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\therefore E = V_1 \quad \therefore IR_T = I_1 R_1$$

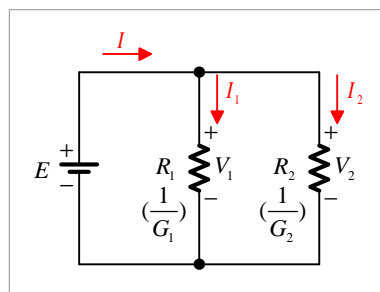
$$\text{得 } I_1 = \frac{R_T}{R_1} I = \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$\text{又 } \therefore E = V_2 \quad \therefore IR_T = I_2 R_2$$

$$\text{得 } I_2 = \frac{R_T}{R_2} I = \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_2} I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

（將  $G = \frac{1}{R}$  代入上述式子，亦可得用電導表示的電流分配定則）

結論：兩個電阻並聯之分流法為



▲ 圖 3-16 兩個電阻的並聯電路

#### Σ 重要公式

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{R_T}{R_1} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I = \frac{G_1}{G_T} I = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I \\ I_2 &= \frac{R_T}{R_2} I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I = \frac{G_2}{G_T} I = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I \end{aligned} \quad (3-3-3)$$

## 2. 圖 3-17 所示之兩個以上電阻的並聯電路：

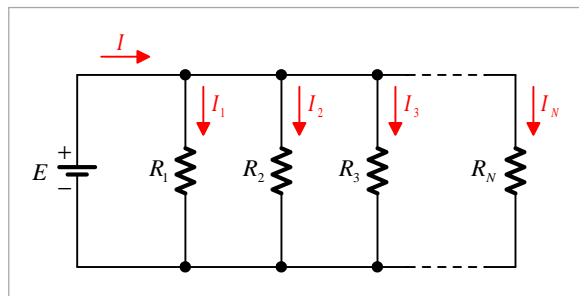
同理，兩個以上電阻並聯之分流法為

$$I_x = \frac{R_T}{R_x} I = \frac{G_x}{G_T} I$$

(式中  $I_x$  代表通過  $R_x$  分路電阻上的電流，且總電阻

$$\begin{aligned} R_T &= \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_N} \right)^{-1} \\ &= \frac{1}{G_1 + G_2 + \cdots + G_N} = \frac{1}{G_T} \end{aligned}$$

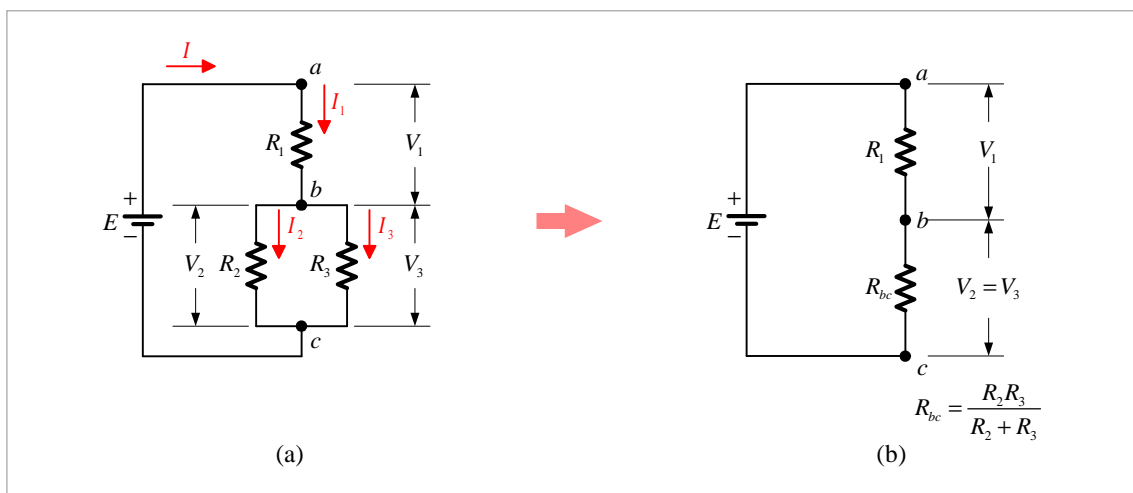
由上式可以得到：於並聯電路中，分路的電流與電阻值成反比、或與電導值成正比。



▲ 圖 3-17 兩個以上電阻的並聯電路

## 3-3.4 電阻串並聯電路之運用

圖 3-18 所示為一電阻串並聯電路，我們可以運用本章所學的內容分析如下。



▲ 圖 3-18 電阻串並聯電路



1. 根據串聯、並聯電路的特性，可得：

$$R_T = R_1 \text{ 串 } (R_2 \text{ 並 } R_3) = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

2. 根據克希荷夫定律，可得：

$$\text{KCL} : I = I_1 = I_2 + I_3$$

$$\text{KVL} : E = V_{ab} + V_{bc} = V_1 + V_2 = V_1 + V_3 \quad (\because V_{bc} = V_2 = V_3)$$

3. 根據電流分配定則，可得：

$$I_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I_1 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I_1 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I$$

4. 根據電壓分配定則，可得：

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_{bc}} E$$

$$V_2 = V_3 = \frac{R_{bc}}{R_1 + R_{bc}} E \quad (\text{式中 } R_{bc} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3})$$



### 範例 3-11

如右圖所示電路， $I = 30\text{A}$ ， $R_1 = 80\Omega$ ， $R_2 = 40\Omega$ ，試利用克希荷夫電流定律，求各電阻器上通過的電流為多少？

【解】利用克希荷夫電流定律得：

$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow I_2 = I - I_1 = 30\text{A} - I_1$$

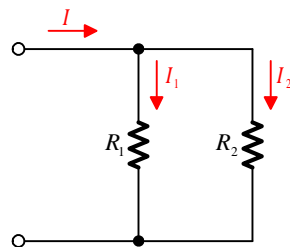
因為並聯的各電阻電壓相等，由歐姆定律得：

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_1 (80\Omega) = (30\text{A} - I_1)(40\Omega)$$

整理後得：

$$I_1 = \frac{(30\text{A})(40\Omega)}{80\Omega + 40\Omega} = 10\text{A}$$

$$I_2 = 30\text{A} - I_1 = 30\text{A} - 10\text{A} = 20\text{A}$$



**馬上練習** 承上題所示電路， $I_1 = 5\text{A}$ ， $R_1 = 20\Omega$ ， $R_2 = 10\Omega$ ，試利用克希荷夫電流定律，求  $I$  與  $I_2$  的電流為多少？

【答】 $I = 15\text{A}$ ， $I_2 = 10\text{A}$ 。

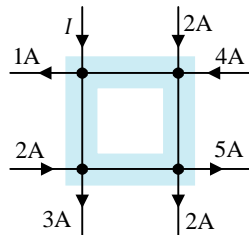


### 範例 3-12

如右圖所示，試求  $I = ?$

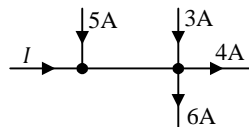
【解】井字形中央四點可視為同一節點，根據克希荷夫電流定律，可得：

$$\begin{aligned}\sum I_{in} &= \sum I_{out} \Rightarrow I + 2 + 4 + 2 = 5 + 2 + 3 + 1 \\ I &= 11\text{A} - 8\text{A} = 3\text{A}\end{aligned}$$



**馬上練習** 如右圖所示，試求  $I = ?$

【答】 $I = 2\text{A}$ 。



### 範例 3-13

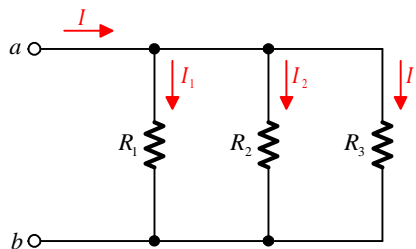
如右圖所示電路， $I = 20\text{A}$ ， $R_1 = R_2 = 3\Omega$ ， $R_3 = 6\Omega$ ，試利用電流分配定則，求各電阻上通過的電流為多少？

$$\begin{aligned}\text{【解】 } \frac{1}{R_T} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{5}{6} \\ \Rightarrow R_T &= \frac{6}{5}\Omega\end{aligned}$$

$$\therefore I_1 = \frac{R_T}{R_1} I = \frac{\frac{6}{5}\Omega}{3\Omega} (20\text{A}) = 8\text{A}$$

$$I_2 = \frac{R_T}{R_2} I = \frac{\frac{6}{5}\Omega}{3\Omega} (20\text{A}) = 8\text{A}$$

$$I_3 = \frac{R_T}{R_3} I = \frac{\frac{6}{5}\Omega}{6\Omega} (20\text{A}) = 4\text{A}$$





**馬上練習** 承上題所示電路， $I_1 = 4\text{A}$ ， $R_1 = R_2 = R_3 = 3\Omega$ ，試利用電流分配定則，求電路之總電流為多少？

【答】 $I = 12\text{A}$ 。



### 範例 3-14

若有  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  三個電阻器，如右圖所示之電路接於  $30\text{V}$  之電源，若流過  $R_1$  之電流為  $2\text{A}$ ，試求  $I = ?$   $I_2 = ?$   $R_3 = ?$

【解】 $R_1$ 、 $R_2$  之端電壓：

$$V_1 = V_2 = I_1 R_1 = (2\text{A})(3\Omega) = 6\text{V}$$

$$(1) I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{6\text{V}}{6\Omega} = 1\text{A}$$

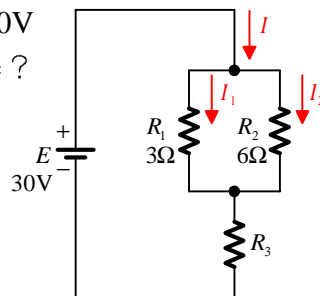
$$(2) I = I_1 + I_2 = 2\text{A} + 1\text{A} = 3\text{A}$$

$$(3) R_T = \frac{E}{I} = \frac{30\text{V}}{3\text{A}} = 10\Omega$$

$$\therefore R_3 = R_T - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 10\Omega - \frac{(3\Omega)(6\Omega)}{3\Omega + 6\Omega} = 8\Omega$$

$$\text{或 } V_3 = E - V_1 = 30\text{V} - 6\text{V} = 24\text{V} \quad (\because V_1 = V_2 = 6\text{V})$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{V_3}{I} = \frac{24\text{V}}{3\text{A}} = 8\Omega$$

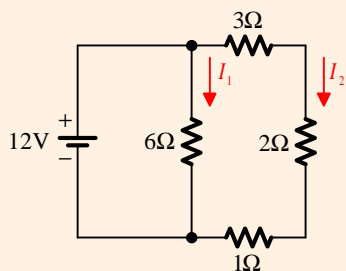


**馬上練習** 承上題，試求電路的功率為多少？

【答】 $P_T = 90\text{W}$ 。

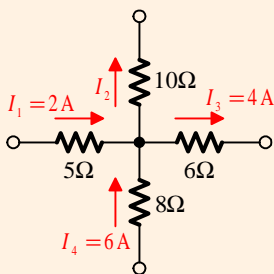
單元評量

1. 如圖(1)所示電路，試求電路的總電阻為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ ，通過  $6\Omega$  電阻器上的電流為 \_\_\_\_\_ A，通過  $2\Omega$  電阻器上的電流為 \_\_\_\_\_ A。

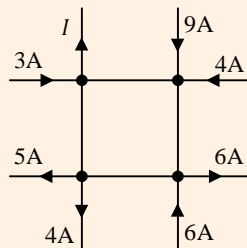


圖(1)

2. 有兩個  $2\Omega$  電阻器並聯，已知通過其中一個電阻器上的電流為 3A，試求另一電阻器上通過的電流為 \_\_\_\_\_ A。
3. 有一 12V 的電壓源連接兩個電阻值為  $6\Omega$  與  $3\Omega$  的電阻並聯電路，試求通過  $3\Omega$  電阻器上的電流為 \_\_\_\_\_ A。
4. 如圖(2)所示電路，試求電流  $I_2 =$  \_\_\_\_\_ A。
5. 如圖(3)所示電路，試求電流  $I =$  \_\_\_\_\_ A。

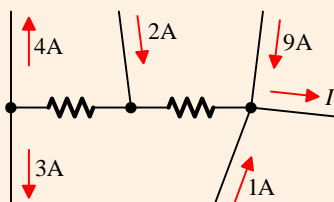


圖(2)

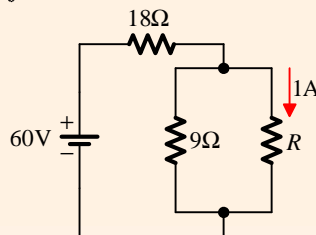


圖(3)

6. 如圖(4)所示電路，試求電流  $I =$  \_\_\_\_\_ A。
7. 如圖(5)所示電路，試求電阻  $R =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。



圖(4)



圖(5)





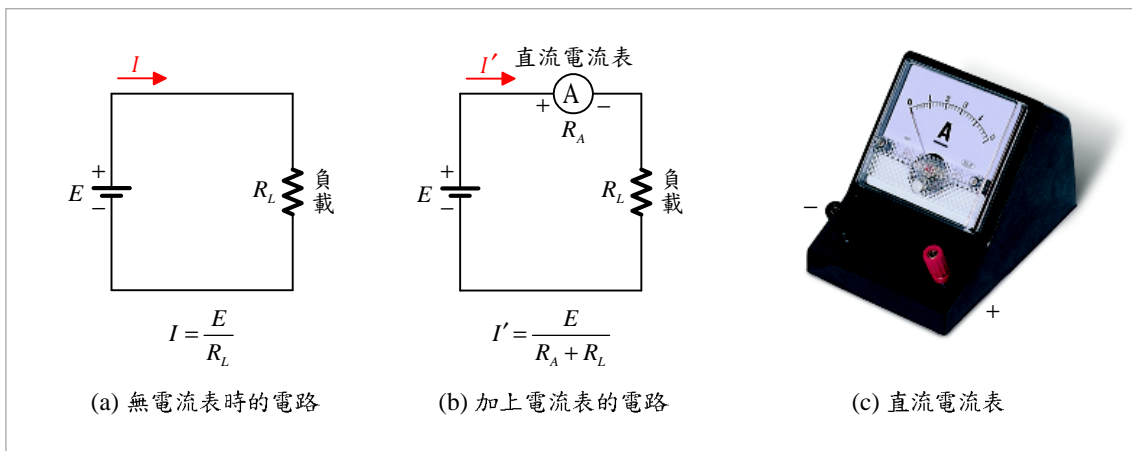
## ※ 3-4 串並聯電路的應用實例

### 3-4.1 串聯電路的應用實例

串聯電路的應用十分廣泛，例如保險絲、無熔絲開關等保護裝置的裝設方法，應該與電路串聯，才能在線路過載時，使電路變成斷路，以避免火災發生。以下我們介紹幾種較常用的串聯電路之應用。

#### 直流電流表

當我們使用電流表（ammeter）測量電流時，必須將電流表與被測量的負載串聯在一起。圖 3-19 為電流表與待測負載的串聯電路，圖(a)、(b)分別為有無使用電流表情況下的電路符號。

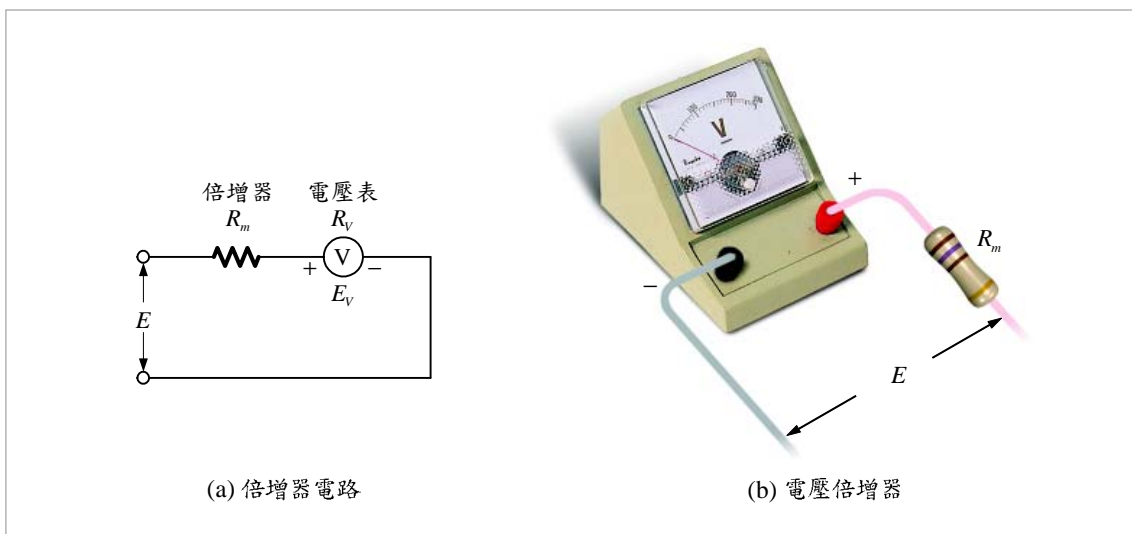


▲ 圖 3-19 電流表的使用 電流表在使用時須與被測量的負載串聯，且其內阻愈小愈好。

由上圖(a)與上圖(b)的比較：當  $R_A \cong 0$  時， $I' \cong I$ 。所以，為了減少測量時所造成的誤差，電流表的內電阻  $R_A$  應該儘量減小。

## 電壓倍增器

由於電壓表（伏特計）的量度有一定的範圍，如果想要量測超過電壓表的量度範圍時，可以將電壓表串聯一個電阻器，作成電壓倍增器，如圖 3-20 所示。（註：有關電壓表的使用方式，請見 3-4.2 節。）



▲ 圖 3-20 倍增器電路與實體示意圖 將電壓表串聯一電阻器可增大量度的範圍。

如上圖所示，電壓表的測量範圍為  $E_v$ ，若要增大測量電壓  $E$  之範圍，可串聯一只倍增器  $R_m$ ，則：

### Σ 重要公式

$$R_m = (m - 1)R_v \quad (3-4-1)$$

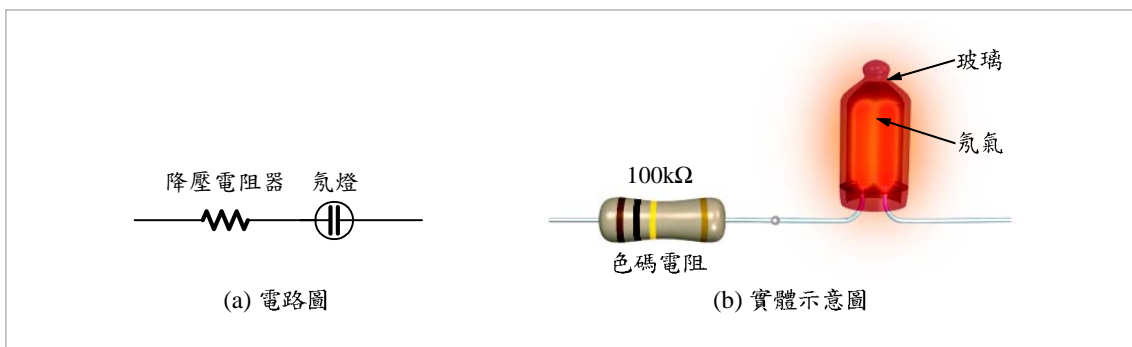
其中， $m = \frac{E}{E_v}$  為欲測量電壓之倍率， $R_v$  為電壓表之內阻。(3-4-1)式的證明如下：因為流經倍增器電阻與電壓表的電流一樣，則：

$$\frac{E - E_v}{R_m} = \frac{E_v}{R_v} \Rightarrow R_m = \frac{E - E_v}{E_v} R_v = (m - 1)R_v$$



## 降壓電阻器

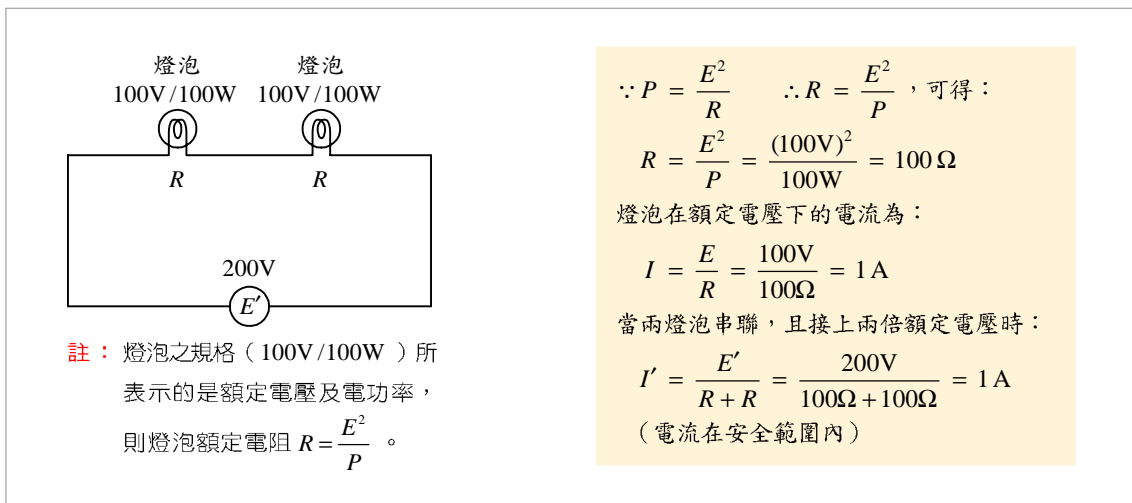
家庭電器中常用之指示燈（氖燈，如電鍋的煮飯指示燈），需串聯一高電阻來降低流過氖燈之電流（降低電壓），以保護氖燈避免燒毀，如圖 3-21 所示。



▲ 圖 3-21 氖氣指示燈之電路及實體示意圖

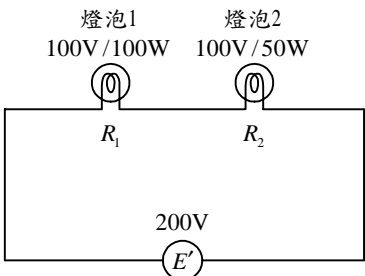
## 燈泡的串聯應用實例

1. 若兩個規格相同之燈泡串聯，可接於兩倍之額定電壓值。我們以圖 3-22 電路來說明。



▲ 圖 3-22 兩個規格相同之燈泡串聯實例

2. 若兩個規格不同之燈泡串聯，不可接於兩倍之額定電壓值，否則較小瓦特數之燈泡會燒毀。我們以圖 3-23 電路來說明。



$$\because P = \frac{E^2}{R} \quad \therefore R = \frac{E^2}{P}, \text{ 可得:}$$

$$R_1 = \frac{E_1^2}{P_1} = \frac{(100\text{V})^2}{100\text{W}} = 100\Omega$$

$$R_2 = \frac{E_2^2}{P_2} = \frac{(100\text{V})^2}{50\text{W}} = 200\Omega$$

燈泡在額定電壓下的電流為：

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{100\text{V}}{100\Omega} = 1\text{A}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{100\text{V}}{200\Omega} = 0.5\text{A}$$

當兩燈泡串聯，且接上兩倍額定電壓時：

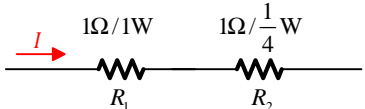
$$I' = \frac{E'}{R_1 + R_2} = \frac{200\text{V}}{100\Omega + 200\Omega} = 0.67\text{A}$$

(電流  $I'$  超過  $I_2$ ，故燈泡 2 會燒毀)

▲ 圖 3-23 兩個規格不同之燈泡串聯實例

## 兩電阻器的串聯應用實例

兩電阻器串聯時，因串聯電路中電流相同，所以須取兩電阻器中最小額定電流值用之。若超過最小額定電流值，則電阻器將燒毀。我們以圖 3-24 電路來說明。



$$\because P = I^2 R \quad \therefore I = \sqrt{\frac{P}{R}}, \text{ 可得:}$$

$$R_1 \text{ 之額定電流: } I_1 = \sqrt{\frac{1\text{W}}{1\Omega}} = 1\text{A}$$

$$R_2 \text{ 之額定電流: } I_2 = \sqrt{\frac{0.25\text{W}}{1\Omega}} = 0.5\text{A}$$

$I$  取兩電阻器之最小額定電流值  $\Rightarrow I = 0.5\text{A}$

兩電阻器串聯後所能承受之最大功率為：

$$P_T = I^2 R_T = (0.5\text{A})^2 (1\Omega + 1\Omega) = 0.5\text{W}$$

▲ 圖 3-24 兩電阻器串聯實例

**範例 3-15**

有一個內電阻為  $5\text{k}\Omega$  的電壓表，可以測量的電壓滿刻度為  $100\text{V}$ ，如果要測量  $300\text{V}$  的電壓時，應該串聯多大值的倍增器？

$$\text{【解】 } R_m = (m-1)R_v = \left(\frac{E}{E_v} - 1\right)R_v = \left(\frac{300\text{V}}{100\text{V}} - 1\right)(5\text{k}\Omega) = 10\text{k}\Omega$$

**馬上練習**

有一  $150\text{V}$  之電壓表，其內阻為  $18\text{k}\Omega$ ，若串聯一  $54\text{k}\Omega$  的倍增器，則此電壓表最大可測量多少電壓？

$$\text{【答】 } E = 600\text{V}。$$

**範例 3-16**

將  $100\text{V}/80\text{W}$  與  $100\text{V}/50\text{W}$  的兩個相同材質燈泡串聯後，兩端接上  $110\text{V}$  電源，試問那個燈泡會較亮？

【解】利用功率公式與歐姆定律： $P = IE = \frac{E^2}{R} = I^2 R$ ，可知

兩燈泡的電阻分別為：

$$R_1 = \frac{E_1^2}{P_1} = \frac{(100\text{V})^2}{80\text{W}} = 125\Omega \quad R_2 = \frac{E_2^2}{P_2} = \frac{(100\text{V})^2}{50\text{W}} = 200\Omega$$

兩燈泡可通過的最大電流分別為：

$$I_1 = \frac{P_1}{E_1} = \frac{80\text{W}}{100\text{V}} = 0.8\text{A} \quad I_2 = \frac{P_2}{E_2} = \frac{50\text{W}}{100\text{V}} = 0.5\text{A}$$

串聯電路通過的電流為：

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{110\text{V}}{125\Omega + 200\Omega} = 0.34\text{A}$$

兩燈泡在電路中消耗的功率分別為：

$$P_1 = I^2 R_1 = (0.34\text{A})^2 (125\Omega) = 14.45\text{W}$$

$$P_2 = I^2 R_2 = (0.34\text{A})^2 (200\Omega) = 23.12\text{W}$$

$\therefore P_2 > P_1 \quad \therefore 100\text{V}/50\text{W}$  的燈泡接上  $110\text{V}$  電源後較亮

**馬上練習**

$100\text{V}/100\text{W}$  燈泡和  $100\text{V}/50\text{W}$  燈泡串聯而接於  $150\text{V}$  電源，試問哪一個燈泡較亮？燈泡是否會燒毀？

【答】 $50\text{W}$  燈泡較亮，且無燈泡燒毀。

**範例 3-17**

100V/100W 及 100V/40W 之燈泡各一個，串聯接於 100V 之電源上，試求兩燈泡消耗之總功率為多少？

$$\text{【解】 } R_1 = \frac{E_1^2}{P_1} = \frac{(100\text{V})^2}{100\text{W}} = 100\ \Omega \quad R_2 = \frac{E_2^2}{P_2} = \frac{(100\text{V})^2}{40\text{W}} = 250\ \Omega$$

$$P_T = \frac{E^2}{R_1 + R_2} = \frac{(100\text{V})^2}{100\ \Omega + 250\ \Omega} = 28.57\ \text{W}$$

**馬上練習** 額定電壓為 100V 之相同燈泡兩個，將其串聯後接於 50V 之電源，若總功率為 5W，試求燈泡的額定功率為多少？

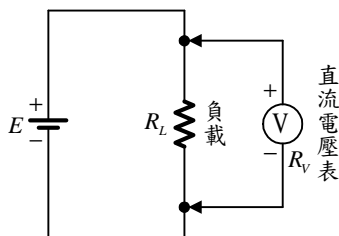
【答】 $P = 40\ \text{W}$ 。

## 3-4.2 並聯電路的應用實例

並聯電路在日常生活中的應用極為普遍，以下介紹幾種較常見的應用實例。

### 直流電壓表

利用電壓表（voltmeter）測量負載兩端電壓時，電壓表應與負載相並聯，如圖 3-25 所示。電壓表本身也具有內阻，選用時宜採用高內阻的電壓表，以避免誤差。另外，電壓表的使用，也應注意測量的電壓應在電壓表的測量安全限度內。



(a) 電壓表與負載連接的電路圖



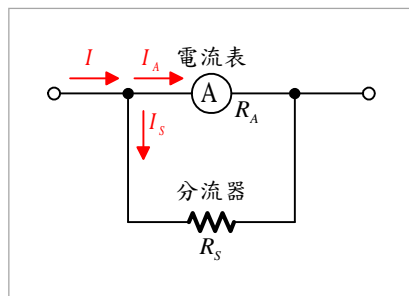
(b) 直流電壓表

▲ 圖 3-25 電壓表的使用 電壓表在使用時須與被測量的負載並聯，且其內阻愈大愈好。



## 分流器

分流器（shunt）設計的目的是為擴增電流表的量測範圍，另一方面也可以保護表頭，避免因測量的電流過大而損壞表頭。分流器的設計原理是將電流表並聯一分路電阻，讓大部份的電流經由這個分路流出，電流表也因此可以擴增量測的範圍，而這個並聯的電阻便稱為分流器，如圖 3-26 所示。



▲ 圖 3-26 分流器電路圖

如上圖所示，電流表的測量範圍為  $I_A$ ，若要增大測量電流  $I$  之範圍，可並聯一只分流器  $R_S$ ，則：

### Σ 重要公式

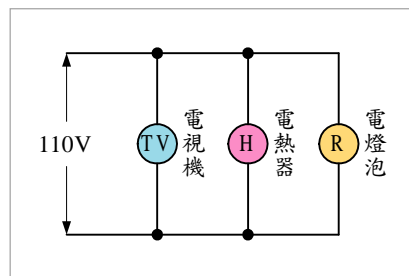
$$R_S = \frac{1}{n-1} R_A \quad (3-4-2)$$

其中， $n = \frac{I}{I_A}$  為欲測量電流之倍率， $R_A$  為電流表之內阻。(3-4-2)式的證明如下：因為分流器與電壓表的電壓一樣，則：

$$I_A R_A = I_S R_S = (I - I_A) R_S \Rightarrow R_S = \frac{I_A}{I - I_A} R_A = \frac{1}{n-1} R_A$$

## 家用電器的並聯運用

台灣電力公司所提供的電源電壓為 110V，且屋內配線之電源插座及燈具是採用並聯連接。所以家用電器之額定電壓須為 110V 方可使用於家用電路上，如圖 3-27 所示。

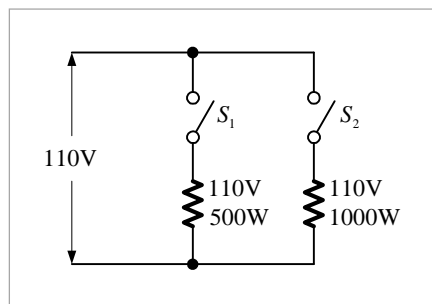


▲ 圖 3-27 家用電器的並聯電路



## 電暖氣的並聯運用

在冬天天氣寒冷時，一般家庭會使用電暖氣來取暖。電暖氣一般是由兩條電熱線及兩只切換開關所組成，如圖 3-28 所示， $S_1$  控制 110V、500W 之電熱線， $S_2$  控制 110V、1000W 之電熱線：



▲ 圖 3-28 電暖氣的電路

1. 若  $S_1$  通 (ON)、 $S_2$  不通 (OFF) 時，電暖氣得到 500 瓦特之功率。
2. 若  $S_1$  不通 (OFF)、 $S_2$  通 (ON) 時，電暖氣得到 1000 瓦特之功率。
3. 若  $S_1$  通 (ON)、 $S_2$  通 (ON) 時，電暖氣可得到  $500 + 1000 = 1500$  瓦特之功率。



## 範例 3-18

有一安培計的最大額定電流值為 10mA，內電阻為  $18\Omega$ ，如果想增加安培計的有效使用範圍至 100mA，試求應加入一個電阻值為多少的分流器？

$$\text{【解】 } R_s = \frac{1}{n-1} R_A = \frac{1}{\frac{I}{I_A} - 1} R_A = \frac{1}{\frac{100\text{mA}}{10\text{mA}} - 1} (18\Omega) = 2\Omega$$

## 馬上練習

有一安培計的最大額定電流值為 10mA，內電阻為  $2\Omega$ ，若並聯一  $0.5\Omega$  之分流器，則可增加安培計的有效範圍至多少 mA？

【答】  $I = 50\text{ mA}$ 。



## 單元評量



1. 如圖 (1) 所示電路， $V_{ab} = 12\text{V}$ ，則電路的總電流  $I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$ 。
2. 有一伏特計電阻值為  $A$ ，串聯一電阻值為  $B$  之倍增器後，則其放大倍率為  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

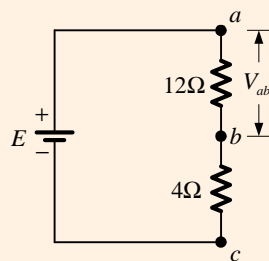
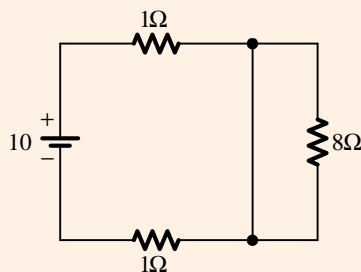


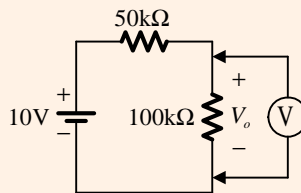
圖 (1)



3. 內阻  $12\text{k}\Omega$ 、滿刻度電壓  $150\text{V}$  之直流伏特計，當串聯一  $36\text{k}\Omega$  之電阻時，其測定範圍可擴大到 \_\_\_\_\_  $\text{V}$ 。
4. 設  $R_1$  與  $R_2$  兩電阻串聯於  $200\text{V}$  之電源，若  $R_1$  之功率為  $50\text{W}$ ， $R_2$  之功率為  $150\text{W}$ ，則  $R_1$  應為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。
5.  $100\text{V}$ 、 $0.4\text{A}$  燈泡共兩個串聯於  $100\text{V}$  電源，若經  $10$  小時，則所消耗之電能為 \_\_\_\_\_ 仟瓦小時。
6. 如圖(2)所示電路，短路電流為正常電流的 \_\_\_\_\_ 倍。
7.  $110\text{V}/100\text{W}$  及  $110\text{V}/60\text{W}$  的燈泡各一個，串聯接於  $110\text{V}$  的電源上，兩燈泡消耗的總功率為 \_\_\_\_\_  $\text{W}$ 。
8.  $1\Omega$  與  $2\Omega$  兩電阻器的額定功率為  $0.5\text{W}$ ，串聯後在不超過額定功率損耗下，電壓最大能加到 \_\_\_\_\_  $\text{V}$ 。
9. 將規格為  $100\text{V}/40\text{W}$  與  $100\text{V}/60\text{W}$  的兩個相同的材質電燈泡串聯接於  $110\text{V}$  電源，試問哪個電燈泡會較亮？ \_\_\_\_\_。
10. 兩個規格分別為  $1\Omega/1\text{W}$  及  $2\Omega/4\text{W}$  的電阻器串聯後，相當於幾歐姆幾瓦的電阻器？ \_\_\_\_\_  $\Omega$  / \_\_\_\_\_  $\text{W}$ 。
11. 如圖(3)所示電路，若電壓表  $(\text{V})$  的內電阻值為  $100\text{k}\Omega$ ，則所測得電壓值為 \_\_\_\_\_  $\text{V}$ 。
12. 內電阻  $10\Omega$ 、滿刻度  $10\text{mA}$  的電流表，並聯一個  $1\Omega$  電阻以擴大測量範圍，若表頭指針指在  $3\text{mA}$ ，則待測電流  $I =$  \_\_\_\_\_  $\text{mA}$ 。
13. 有一安培計的最大額定電流值為  $100\text{mA}$ ，內電阻為  $20\Omega$ ，如果想增加安培計的有效使用範圍至  $300\text{mA}$ ，應加入一個電阻值為 \_\_\_\_\_  $\Omega$  的分流器。
14. 有  $10\Omega$  及  $20\Omega$  電熱線各一條，接於  $110\text{V}$  電源的電暖氣，可得到 \_\_\_\_\_  $\text{W}$ 、\_\_\_\_\_  $\text{W}$ 、\_\_\_\_\_  $\text{W}$  等三種功率的熱量。
15. 有一內阻為  $10\Omega$ 、最大刻度  $50\text{mA}$  之直流安培計，欲擴大測定範圍至  $300\text{mA}$  時，則其所加分流器電阻值為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ ；若欲測定範圍至  $300\text{V}$  的電壓時，則外加倍增器之電阻值應為 \_\_\_\_\_  $\text{k}\Omega$ 。



圖(2)



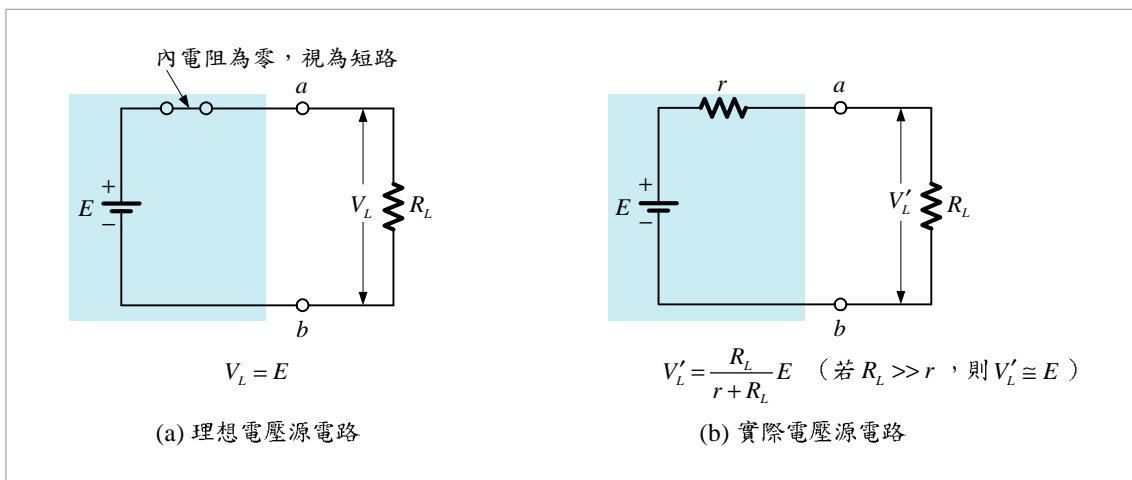
圖(3)

## 3-5 電壓源與電流源

電壓源（voltage source）與電流源（current source）是電路中提供電能的裝置，其作用是分別供給負載固定的電壓與電流。然而，對於實際的電壓源與電流源而言，其內部都有內電阻的存在，使得輸出的電壓與電流或多或少都受到外接負載的影響。我們說明如下。

### 3-5.1 電壓源

電壓源（voltage source）是一個恆定的電壓供應裝置，其供應電壓的大小，應不受外接電路的不同而改變，如圖 3-29 所示電路。由圖中電路可看出：一個理想的電壓源可以供給負載電阻一個穩定的電壓；而實際的電壓源內則串聯一小電阻，若電壓源的內電阻愈小，便愈接近理想的電壓源。



▲ 圖 3-29 電壓源電路 電壓源的內阻愈小，則輸出電壓愈不受負載大小的影響。

#### ● 理想電壓源

電壓源所提供的電動勢為  $E$ ，因本身的內電阻為零，可視為短路，所以外接負載後的輸出電壓依然為  $V_L = E$ ，不受外接負載大小的影響，如圖 3-29(a)所示。



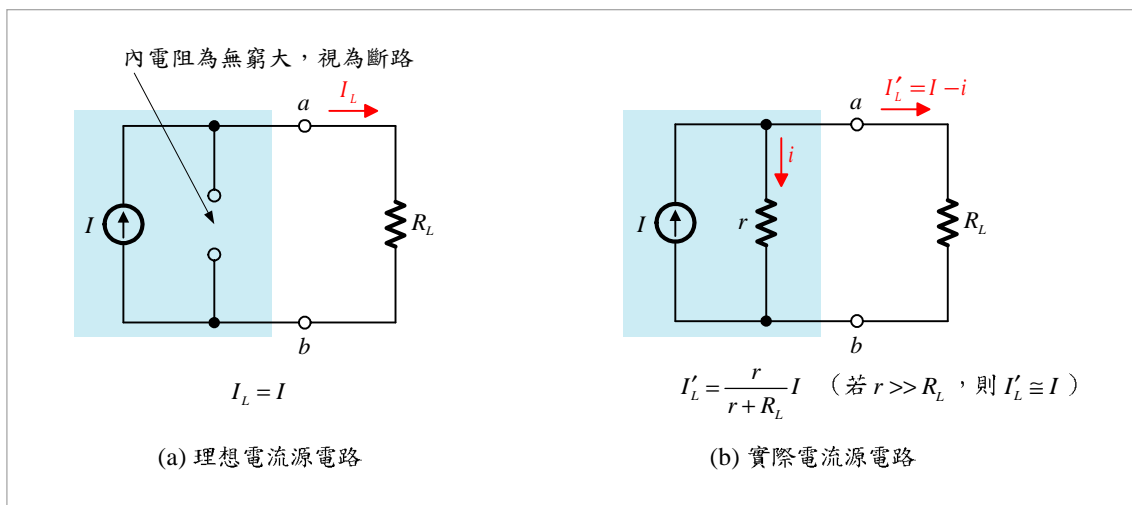
### ● 實際電壓源

電壓源所提供的電動勢為  $E$ ，因本身有小的內電阻  $r$ ，所以根據克希荷夫電壓定律（KVL），可知外接負載後的輸出電壓變為

$$V'_L = \frac{R_L}{r + R_L} E, \text{ 會受外接負載大小的影響，如圖 3-29(b) 所示。}$$

## 3-5.2 電流源

電流源（current source）是一個恆定的電流供應裝置，其供應電流的大小，應不受外接電路的不同而改變，如圖 3-30 所示電路。由圖中電路可看出：一個理想的電流源可以供給負載電阻一個穩定的電流；而實際的電流源內則並聯一大電阻，若電流源的內電阻愈大，便愈接近理想的電流源。



▲ 圖 3-30 電流源電路 電流源的內阻愈大，則輸出電流愈不受負載大小的影響。

### ● 理想電流源

電流源所提供的電流為  $I$ ，因本身的內電阻為無窮大，可視為斷路，所以外接負載後的輸出電流依然為  $I_L = I$ ，不受外接負載大小的影響，如圖 3-30(a) 所示。

### ● 實際電流源

電流源所提供的電流為  $I$ ，因本身有大的內電阻  $r$ ，所以根據克希荷夫電流定律（KCL），可知外接負載後的輸出電流變為

$$I'_L = \frac{r}{r + R_L} I, \text{ 會受外接負載大小的影響，如圖 3-30(b) 所示。}$$

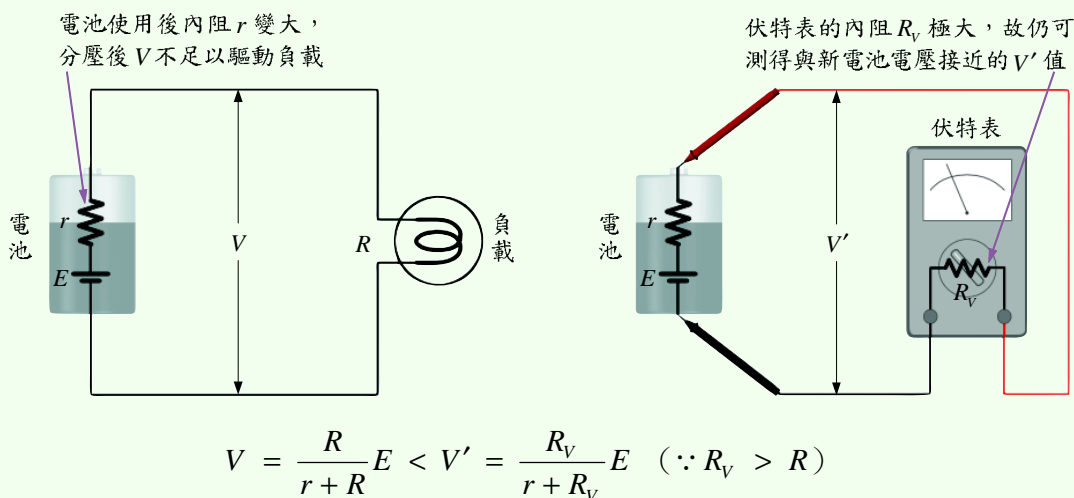
（註：詳細之電壓源電路與電流源電路的轉換及組合，請參見本書附錄 B。）



### 知識充電

當乾電池用久了之後，無法再使負載（如收音機、隨身聽）繼續工作時，我們若拿伏特計直接量測此顆電池兩端的電壓，可發現此電池仍有電壓值，且只比新的電池小一些，但卻無法使負載工作，這是為什麼？

原因是：當電池用過後，其內電阻會增加，因此在接上負載的電路後，負載所分配到的電壓較小，故無法啟動。而在用伏特計量測時，一般來說，伏特計有極大的內阻（約在數千  $\Omega$  以上），故仍可測得不小的電壓值。要判斷電池能不能驅動負載工作，其正確的方法應該是在有連接負載電路時量測電池兩端的電壓。

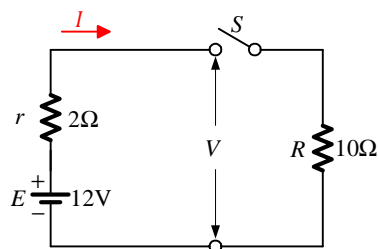




### 範例 3-19

如右圖所示電路，試求：

- (1) 當開關  $S$  不通 (OFF) 時 (即 斷路) 之電流  $I = ?$  電壓  $V = ?$
- (2) 當開關  $S$  通 (ON) 時 (即 開路) 之電流  $I = ?$  電壓  $V = ?$



【解】(1) 當開關  $S$  不通 (OFF) 時，電路中斷

$$\therefore I = 0 \text{ A}$$

$$V = E - Ir = E = 12 \text{ V}$$

(2) 當開關  $S$  通 (ON) 時，電路導通

$$\therefore I = \frac{E}{r + R} = \frac{12\text{V}}{2\Omega + 10\Omega} = 1 \text{ A}$$

$$V = E - Ir = 12 - (1\text{A})(2\Omega) = 10 \text{ V}$$

$$(\text{或 } V = IR = (1\text{A})(10\Omega) = 10 \text{ V})$$

**馬上練習** 承上題，將電壓源更換為  $E = 24\text{V}$ ，但內阻  $r$  未知，若測得之電流  $I = 2\text{A}$ ，試求內阻  $r$  為多少？

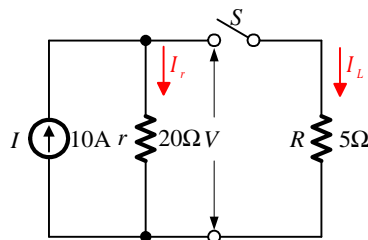
【答】 $r = 2\Omega$ 。



### 範例 3-20

如右圖所示電路，試求：

- (1) 當開關  $S$  不通 (OFF) 時 (即 斷路) 之電流  $I_L = ?$  電壓  $V = ?$
- (2) 當開關  $S$  通 (ON) 時 (即 開路) 之電流  $I_L = ?$  電壓  $V = ?$



【解】(1) 當開關  $S$  不通 (OFF) 時，電路中斷

$$\therefore I_L = 0 \text{ A}$$

$$V = I_r r = (I - I_L)r = Ir = (10\text{A})(20\Omega) = 200 \text{ V}$$

(2) 當開關  $S$  通 (ON) 時，電路導通

$$\therefore I_L = \frac{r}{r+R}I = \frac{20\Omega}{20\Omega+5\Omega}(10\text{A}) = 8 \text{ A}$$

$$V = I_r r = (I - I_L)r = (10\text{A} - 8\text{A})(20\Omega) = 40 \text{ V}$$

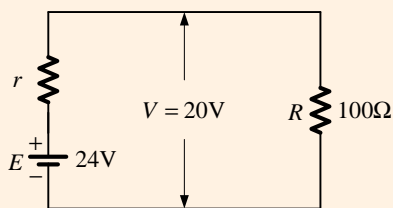
$$(\text{或 } V = I_L R = (8\text{V})(5\Omega) = 40 \text{ V})$$

**馬上練習** 承上題，將電流源更換為  $I=6\text{A}$ ，但內阻  $r$  未知，若測得之電流  $I_L=4\text{A}$ ，試求內阻  $r$  為多少？

【答】 $r = 10 \Omega$ 。

### 單元評量

- 理想電壓源之內電阻應為 \_\_\_\_\_。
- 理想電流源之內電阻應為 \_\_\_\_\_。
- 如圖(1)所示電路，試求電阻  $r =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。



圖(1)

- 一只電動勢為  $1.5\text{V}$  之乾電池，外接一共  $1.4\Omega$  之電阻器後，其端電壓變為  $1.4\text{V}$ ，則此電池之內電阻為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。
- 一汽車用某規格之蓄電池，當以  $5\text{A}$  之電流充電時，其端電壓為  $13\text{V}$ ；以  $3\text{A}$  之電流充電時，其端電壓為  $12.4\text{V}$ ，則電池之內阻應為 \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

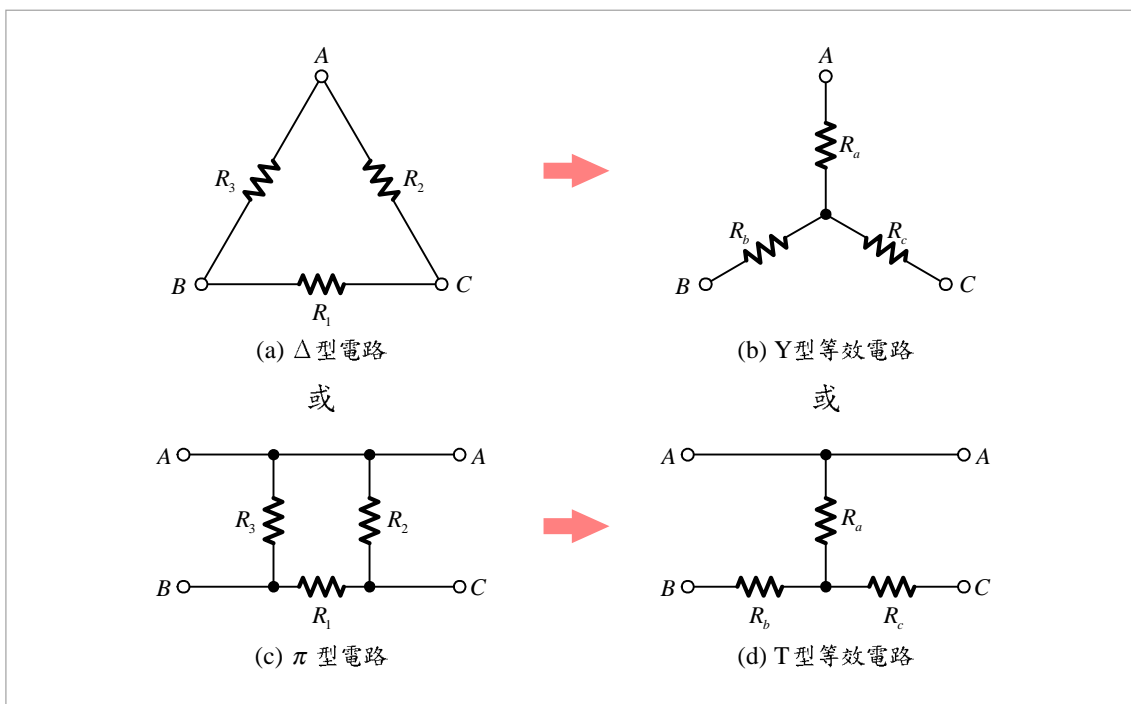


## 3-6 Y - $\Delta$ 互換法

在直流電路中，電阻可以有許多不同的連接方式，並不一定只會出現如上述所示之簡單的串並聯型式，而甚至可能會出現很複雜的情況。這裡我們先介紹電阻的連接方式為 Y 型或  $\Delta$  型時的解決方法，此時我們通常可以將 Y 型化成  $\Delta$  型，或將  $\Delta$  型化成 Y 型後，便可以比較容易對網路作分析。

(註：詳細之 Y -  $\Delta$  互換公式的證明，請參見本書附錄 A。)

### 3-6.1 $\Delta$ 型化成 Y 型



▲ 圖 3-31  $\Delta$  型電路化成 Y 型等效電路 若  $R_1 = R_2 = R_3 = R_{\Delta}$ ，則  $R_a = R_b = R_c = R_Y = \frac{1}{3}R_{\Delta}$ 。

如圖 3-31(a)所示，以  $\Delta$  型連接方式的三個電阻（或是  $\pi$  型電路，如圖 (c)），可以轉換成圖 3-31(b)的 Y 型等效電路（或是 T 型等效電路，如圖 (d)），其轉換後的等效電阻值分別為：



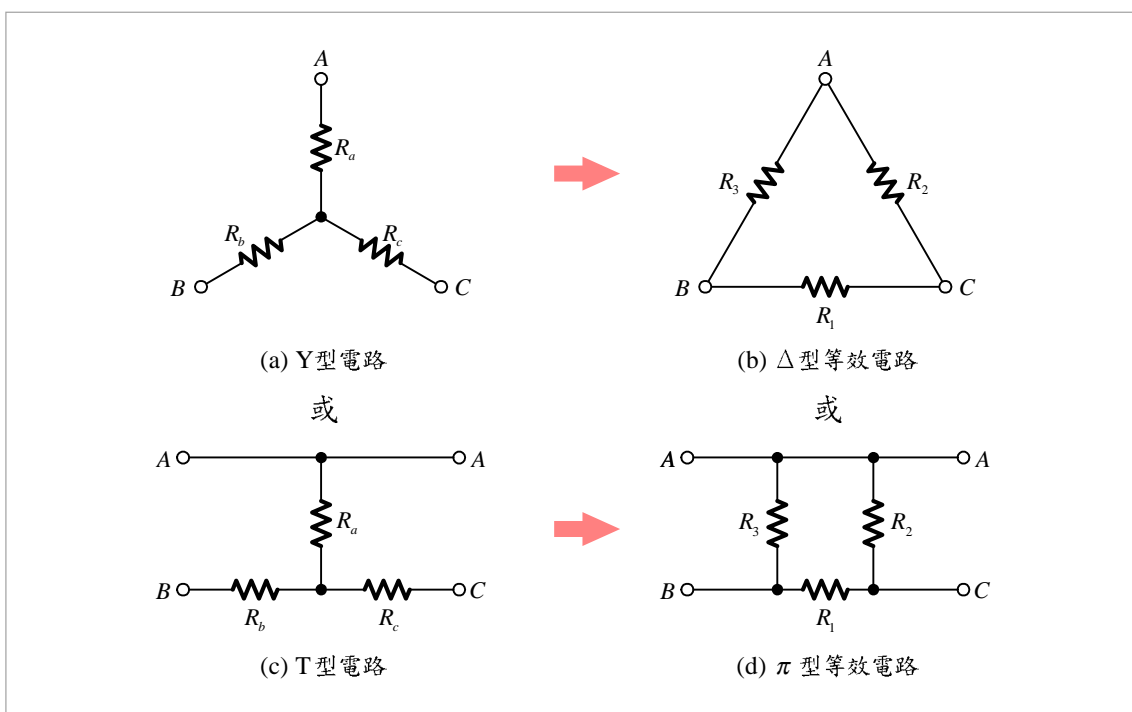
## Σ 重要公式

$$R_a = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad R_b = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad R_c = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (3-6-1)$$

若是 $\Delta$ 型電路連接的三個電阻都相等（ $R_1 = R_2 = R_3 = R_\Delta$ ），則化成Y型等效電路後的電阻值為 $\Delta$ 型電路的 $\frac{1}{3}$ ，即：

## Σ 重要公式

$$R_a = R_b = R_c = R_Y = \frac{R_\Delta R_\Delta}{R_\Delta + R_\Delta + R_\Delta} = \frac{1}{3} R_\Delta$$

3-6.2 Y型化成 $\Delta$ 型

▲ 圖 3-32 Y型電路化成 $\Delta$ 型等效電路 若  $R_a = R_b = R_c = R_Y$ ，則  $R_1 = R_2 = R_3 = R_\Delta = 3R_Y$ 。

如圖 3-32(a)所示，以Y型連接方式的三個電阻（或是T型電路，如圖(c)），可以轉換成圖 3-32(b)的 $\Delta$ 型等效電路（或是 $\pi$ 型等效電路，如圖(d)），其轉換後的等效電阻值分別為：



## Σ 重要公式

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a} = R_b + R_c + \frac{R_b R_c}{R_a} \\
 R_2 &= \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b} = R_c + R_a + \frac{R_c R_a}{R_b} \\
 R_3 &= \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c} = R_a + R_b + \frac{R_a R_b}{R_c}
 \end{aligned} \quad (3-6-2)$$

若是 Y 型電路連接的三個電阻都相等（ $R_a = R_b = R_c = R_Y$ ），則化成  $\Delta$  型等效電路後的電阻值為 Y 型電路的 3 倍，即：

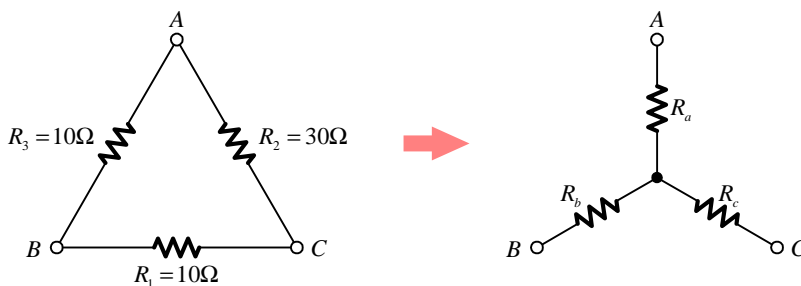
## Σ 重要公式

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_{\Delta} = \frac{R_Y R_Y + R_Y R_Y + R_Y R_Y}{R_Y} = 3R_Y$$



## 範例 3-21

試求下圖  $\Delta$  型電路化成 Y 型電路之等效電阻為多少？



【解】根據(3-6-1)式可得：

$$R_a = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(30\Omega)(10\Omega)}{10\Omega + 30\Omega + 10\Omega} = 6\Omega$$

$$R_b = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(10\Omega)(10\Omega)}{10\Omega + 30\Omega + 10\Omega} = 2\Omega$$

$$R_c = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(10\Omega)(30\Omega)}{10\Omega + 30\Omega + 10\Omega} = 6\Omega$$

**馬上練習** 承上題所示電路，若  $R_1 = 30\Omega$ ， $R_2 = 20\Omega$ ， $R_3 = 50\Omega$ ，試求 Y 型電路之等效電阻為多少？

【答】 $R_a = 10\Omega$ ， $R_b = 15\Omega$ ， $R_c = 6\Omega$ 。

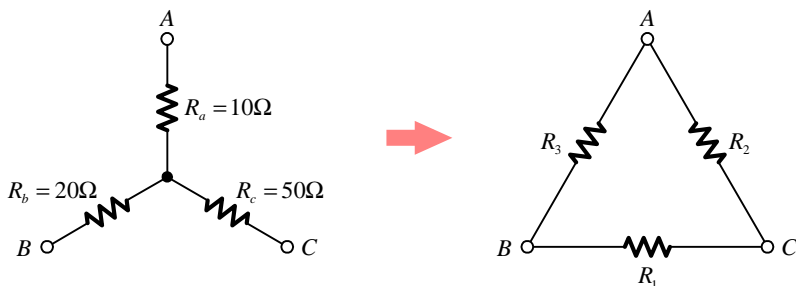
**馬上練習** 承上題所示電路，若  $R_1 = R_2 = R_3 = 6\Omega$ ，試求 Y 型電路之等效電阻為多少？

【答】 $R_Y = 2\Omega$ 。



### 範例 3-22

試求下圖 Y 型電路化成  $\Delta$  型電路之等效電阻為多少？



【解】根據(3-6-2)式可得：

$$R_1 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a} = \frac{(10\Omega)(20\Omega) + (20\Omega)(50\Omega) + (50\Omega)(10\Omega)}{10\Omega} = 170\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b} = \frac{(10\Omega)(20\Omega) + (20\Omega)(50\Omega) + (50\Omega)(10\Omega)}{20\Omega} = 85\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c} = \frac{(10\Omega)(20\Omega) + (20\Omega)(50\Omega) + (50\Omega)(10\Omega)}{50\Omega} = 34\Omega$$

**馬上練習** 承上題所示電路，若  $R_a = 6\Omega$ ， $R_b = 10\Omega$ ， $R_c = 15\Omega$ ，試求  $\Delta$  型電路之等效電阻為多少？

【答】 $R_1 = 50\Omega$ ， $R_2 = 30\Omega$ ， $R_3 = 20\Omega$ 。

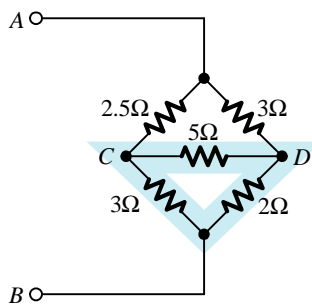
**馬上練習** 承上題所示電路，若  $R_a = R_b = R_c = 3\Omega$ ，試求  $\Delta$  型電路之等效電阻為多少？

【答】 $R_{\Delta} = 9\Omega$ 。

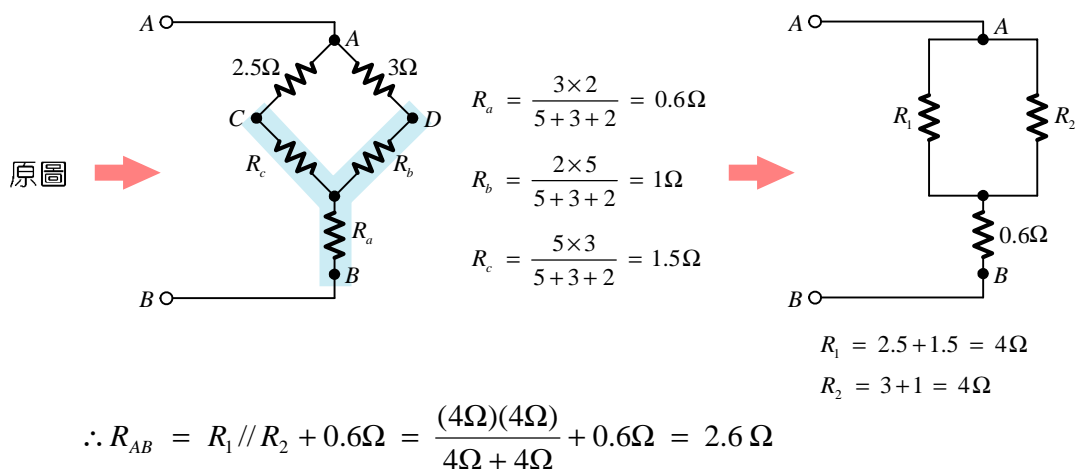


### 範例 3-23

如下圖所示電路，試求  $A$ 、 $B$  兩端之總電阻為多少？



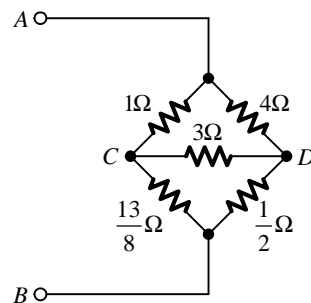
【解】 $\because$   $\triangle CDB$  三邊電阻值之和為 5 或 10 之倍數，可化成 Y 型電路較好計算



### 馬上練習

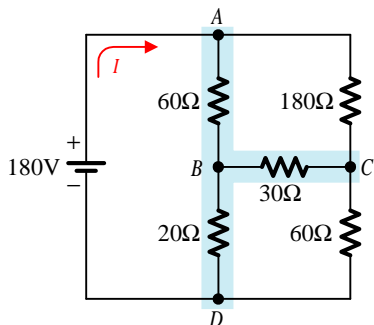
如右圖所示電路，試求  $A$ 、 $B$  兩端之總電阻為多少？

【答】 $R_{AB} = 1.5\Omega$ 。

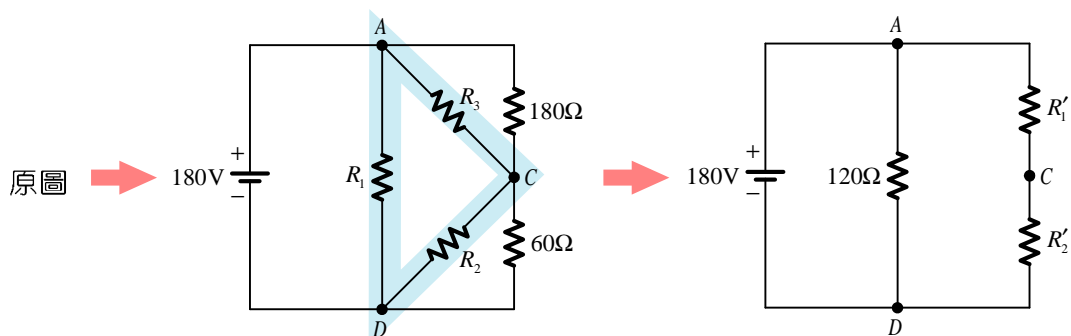



**範例 3-24**

如下圖所示電路，試利用 Y 型電路化成  $\Delta$  型等效電路的方法，求電流  $I$  為多少？



【解】將  $\begin{matrix} A \\ | \\ C \\ | \\ D \end{matrix}$  化成  $\begin{matrix} A \\ \diagup \diagdown \\ C \end{matrix}$ ，即



$$R_1 = \frac{30 \times 60 + 60 \times 20 + 20 \times 30}{30} = 120\Omega$$

$$R_2 = \frac{30 \times 60 + 60 \times 20 + 20 \times 30}{60} = 60\Omega$$

$$R_3 = \frac{30 \times 60 + 60 \times 20 + 20 \times 30}{20} = 180\Omega$$

$$R'_1 = R_3 // 180 = \frac{180 \times 180}{180 + 180} = 90\Omega$$

$$R'_2 = R_2 // 60 = \frac{60 \times 60}{60 + 60} = 30\Omega$$

$$R_{AD} = 120 // (R'_1 + R'_2) = \frac{(120\Omega)(90\Omega + 30\Omega)}{(120\Omega) + (90\Omega + 30\Omega)} = 60\Omega$$

$$\therefore I = \frac{E}{R_{AD}} = \frac{180V}{60\Omega} = 3A$$

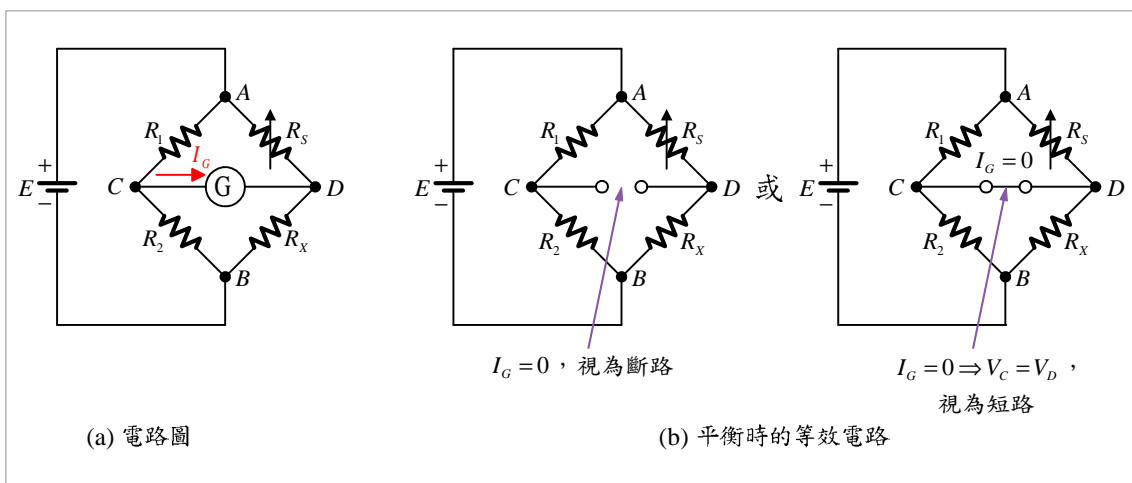
**馬上練習** 承上題，試利用  $\Delta$  型電路化成 Y 型等效電路的方法，求電流  $I$  為多少？

【答】 $I = 3A$ 。



### ※ 3-6.3 惠斯登電橋

圖 3-33 所示為一惠斯登電橋（Wheatstone bridge），是由四個電阻及一個檢流計  $\textcircled{G}$  所組成，其中  $R_x$  為待測電阻，可藉由調整可變電阻  $R_s$  的大小來測知其電阻值。測量時，我們調整可變電阻  $R_s$ ，使通過檢流計的電流  $I_G$  為零，此時稱為**電橋平衡**，且待測電阻  $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s$ 。其證明如下：



▲ 圖 3-33 惠斯登電橋 可藉由調整可變電阻  $R_s$  的大小來測知未知電阻  $R_x$  的大小。電橋平衡時  $I_G = 0$ ，則  $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s$ 。

當電橋平衡時，檢流計無電流通過，則  $C$ 、 $D$  兩端可視為**斷路**或**短路**，如圖 3-33(b)所示。根據分壓定律可知：

$$V_C = V_D \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} E = \frac{R_x}{R_s + R_x} E \Rightarrow R_2(R_s + R_x) = R_x(R_1 + R_2)$$

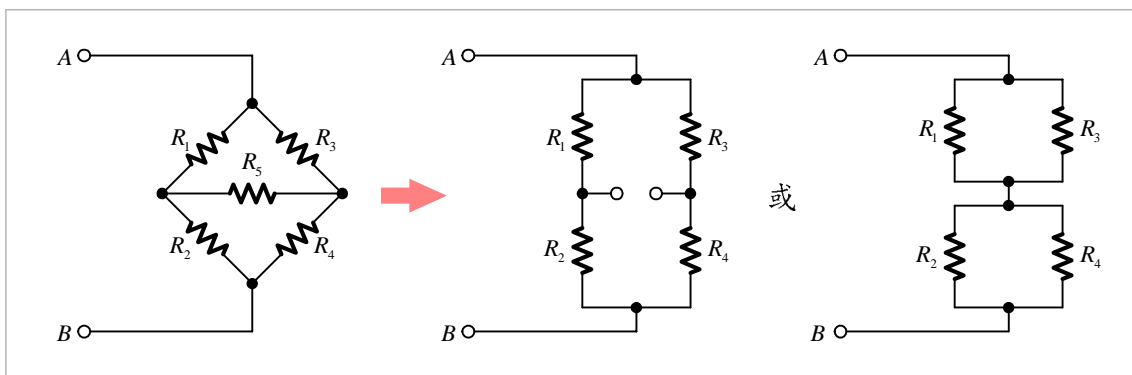
整理後可得  $R_2 R_s = R_x R_1$ ，則待測電阻  $R_x$  為：

#### Σ 重要公式

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s \quad [ \Omega, \text{歐姆} ] \quad (3-6-3)$$

惠斯登電橋的應用如下：如圖 3-34 所示電路，若  $R_1 R_4 = R_2 R_3$ （對邊電阻交叉相乘的乘積相等），或  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ （兩側電阻的比值相等）時，是為電橋平衡，則電阻  $R_5$  可任意移除或將其短路，所以：

$$R_{AB} = (R_1 + R_2) // (R_3 + R_4) = (R_1 // R_3) + (R_2 // R_4)$$



▲ 圖 3-34 惠斯登電橋平衡時的應用 電橋平衡時，電阻  $R_5$  可視為斷路或短路。

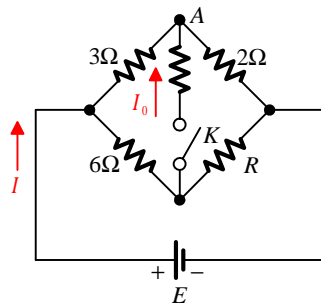


### 範例 3-25

如右圖所示電路，若開關  $K$  的打開與閉合對電流  $I$  無影響，則電阻  $R$  應為多少？

【解】若圖中開關  $K$  之 ON、OFF 對  $I$  無影響，表示  $I_0 = 0\text{A}$ ，則根據電橋平衡公式：

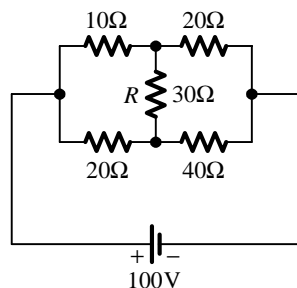
$$(3\Omega)R = (2\Omega)(6\Omega) \quad \therefore R = \frac{(2\Omega)(6\Omega)}{3\Omega} = 4\Omega$$



### 馬上練習

如右圖所示電路，試求電阻  $R$  所消耗之功率為多少？

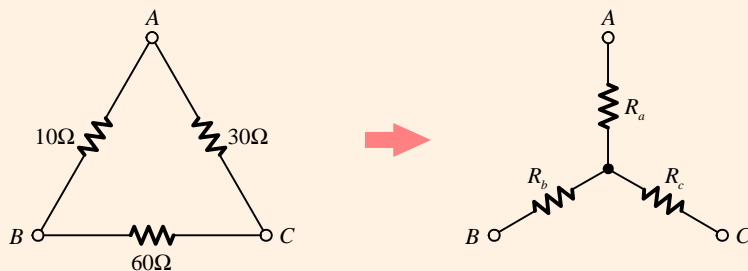
【答】 $P_R = 0\text{W}$ 。





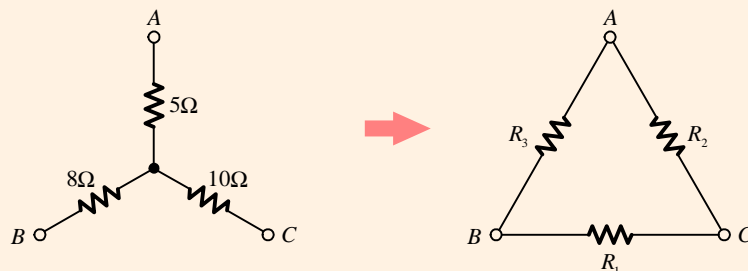
單元評量

1. 試將圖(1)的 $\Delta$ 型電路化成Y型電路，則  $R_a = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ ， $R_b = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ ， $R_c = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。



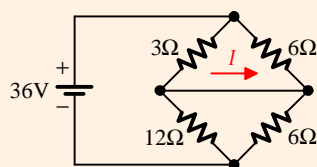
圖(1)

2. 試將圖(2)的Y型電路化成 $\Delta$ 型電路，則  $R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ ， $R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ ， $R_3 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。

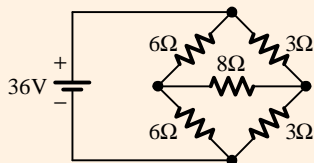


圖(2)

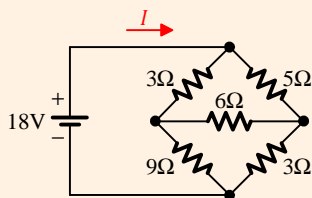
3. 如圖(3)所示電路，試求  $I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$ 。（請用Y- $\Delta$ 互換法計算）
4. 如圖(4)所示電路，試求  $8\Omega$  電阻所消耗的功率為  $\underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$ 。
5. 如圖(5)所示電路，試求  $I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$ 。



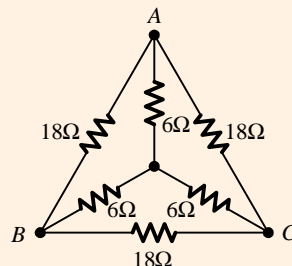
圖(3)



圖(4)



圖(5)



圖(6)

6. 如圖(6)所示電路，試求  $B$ 、 $C$  二點間的電阻  $R_{BC} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。





## 重點摘要

1. 電路：是電流經過的途徑，也就是電子移動所流經的路徑。一個基本的電路組成，至少須具備 (1)電源 (2)導線 (3)負載 三項元件。

2. 串聯電路：兩個或兩個以上的電子元件串接而組成之電路，其中電流只有一條單一路徑。

3. 電阻串聯電路的特性：

(1) 串聯電路的總電流與流經每一電阻之電流相等。

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_N$$

(2) 串聯電路的總電動勢等於電路的總電壓降。（總電壓降為電路各電阻壓降之和）

$$E = V_T = V_1 + V_2 + \cdots + V_N$$

(3) 串聯電路的總電阻值等於電路各電阻值之和。

$$R_T = R_1 + R_2 + \cdots + R_N$$

(4) 串聯電路的總功率等於電路各電阻所消耗功率之和。

$$\begin{aligned} P_T &= P_1 + P_2 + \cdots + P_N \\ &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + \cdots + I_N^2 R_N = I^2 R_1 + I^2 R_2 + \cdots + I^2 R_N \\ &= I^2 (R_1 + R_2 + \cdots + R_N) = I^2 R_T \end{aligned}$$

(5) 若有  $n$  個歐姆數相同之電阻串聯，則其總電阻為其單一電阻歐姆數之  $n$  倍；即  $R_T = nR$ 。例：若有 5 個  $100\Omega$  之電阻串聯，則其總電阻  $R_T = 5 \times 100 = 500\Omega$ 。

4. 並聯電路：電路中的兩個或兩個以上的元件以二個共用點方式連接，造成電流通路有二條以上的路徑。

5. 電阻並聯電路的特性：

(1) 並聯電路的總電流等於分流至各電阻器電流之和。

$$I_T = I_1 + I_2 + \cdots + I_N$$

(2) 並聯電路的總電動勢等於電路的總電壓降。（總電壓降等於各電阻器之電壓降）

$$E = V_{ab} = V_1 = V_2 = \cdots = V_N$$





- (3) 並聯電路的總電阻值倒數等於各電阻器電阻值倒數之和。

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_N}$$

註：若只有  $R_1$  與  $R_2$  並聯時，則  $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ ，即  $R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 。

- (4) 並聯電路中的總電導值等於各電導值之和。

$$G_T = G_1 + G_2 + \cdots + G_N$$

- (5) 並聯電路中的總功率等於各電阻器所消耗功率之和。

$$\begin{aligned} P_T &= P_1 + P_2 + \cdots + P_N \\ &= \frac{V_1^2}{R_1} + \frac{V_2^2}{R_2} + \cdots + \frac{V_N^2}{R_N} = \frac{E^2}{R_1} + \frac{E^2}{R_2} + \cdots + \frac{E^2}{R_N} \\ &= E^2 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_N} \right) = \frac{E^2}{R_T} \end{aligned}$$

- (6) 若有  $n$  個歐姆數相同之電阻相並聯，則其總電阻為其單一電阻歐姆數的

$\frac{1}{n}$  倍；即  $R_T = \frac{1}{n} R$ ，且流過每一個電阻之分路電流為  $\frac{1}{n} I$ 。例：若有 5 個  $100\Omega$  之電阻並聯，則其總電阻  $R_T = \frac{1}{5} \times 100 = 20\Omega$ 。

6. 電壓源：內阻  $r$  與負載電阻  $R_L$  串聯，而且內阻值愈小，電壓源供應的電壓便愈穩定。
7. 電流源：內阻  $r$  與負載電阻  $R_L$  並聯，而且內阻值愈大，電流源供應的電流便愈穩定。
8. 迴路：電路中任何封閉的電流導通路徑。
9. 克希荷夫電壓定律（KVL）：

- (1) 任一封閉電路內之電壓代數和為零。即

$$\sum E - \sum V = 0$$

- (2) 任一封閉電路內，其電壓昇之和等於電壓降之和。即

$$\sum (E_{\rightarrow+} \text{ 及 } V_{\rightarrow+}) (\text{電壓昇}) = \sum (E_{+\rightarrow} \text{ 及 } V_{+\rightarrow}) (\text{電壓降})$$

10. 電阻串聯電路之電壓分配定則（分壓法）：

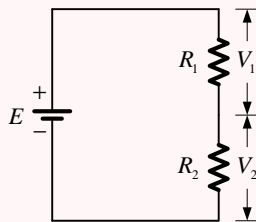
$$V_x = \frac{R_x}{R_T} E \quad (\text{式中 } x=1, 2, 3, \cdots)$$



11. 兩個電阻串聯電路之分壓法（最常用）：

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

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



12. 節點：電路中兩條或兩條以上電路分支的共用點。

13. 克希荷夫電流定律（KCL）：

在任一個電流網路中，流入某一節點的電流總和必等於流出該節點的電流總和。即

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

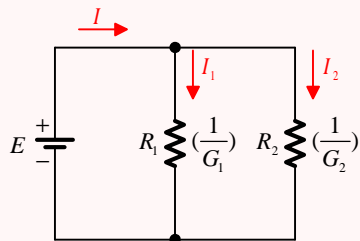
14. 電阻並聯電路之電流分配定則（分流法）：

$$I_x = \frac{R_T}{R_x} I \quad (\text{式中 } x=1, 2, 3, \dots)$$

15. 兩個電阻並聯電路之分流法（最常用）：

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I$$



16. 電流表：測量通過負載的電流時，電流表應與負載相串聯。為了減少測量時所造成的誤差，電流表的內電阻應該儘量減小。

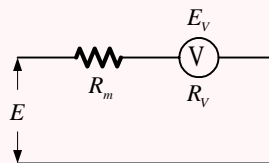
17. 倍增器：將電壓表串聯一個電阻器作成電壓倍增器，可以量測超過電壓表量度範圍的電壓。

$$R_m = (m-1)R_V$$

式中， $m = \frac{E}{E_V}$ （測量電壓之倍率）

$R_m$ ：倍增電阻器

$R_V$ ：電壓表之內阻



18. 電壓表：測量負載兩端電壓時，電壓表應與負載相並聯。電壓表本身也具有內阻，選用時宜採用高內阻的電壓表，以避免誤差。





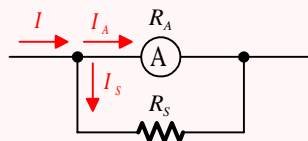
21. 分流器：為擴增電流表的量測範圍，且另一方面也可以保護表頭，避免因測量的電流過大而損壞表頭。

$$R_S = \frac{1}{n-1} R_A$$

式中， $n = \frac{I}{I_A}$  (欲測量電流之倍率)

$R_S$ ：分流電阻器

$R_A$ ：電流表之內阻



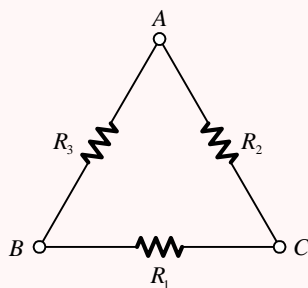
22. Y -  $\Delta$  互換法：

- (1)  $\Delta$  型化成 Y 型電路

$$R_a = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_b = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_c = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

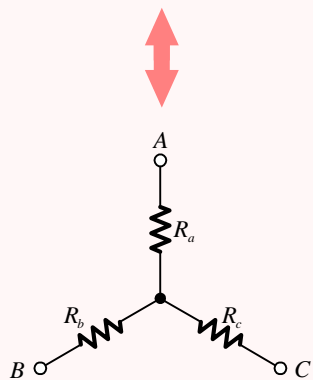


- (2) Y 型化成  $\Delta$  型

$$R_1 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a}$$

$$R_2 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b}$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c}$$

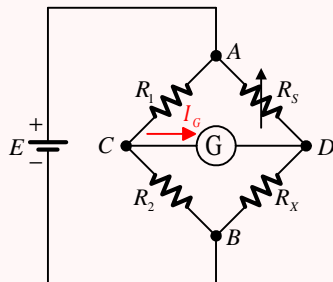


- (3) 若每邊電阻值相等，則

$$R_Y = \frac{1}{3} R_{\Delta} \quad R_{\Delta} = 3 R_Y$$

23. 惠斯登電橋：當電橋平衡時，通過檢流計的電流為零，則

$$R_X = \frac{R_2}{R_1} R_S$$

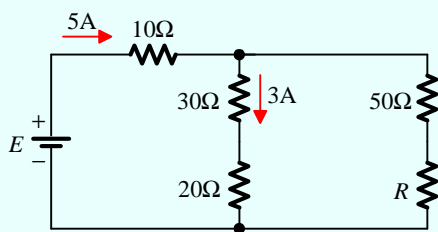




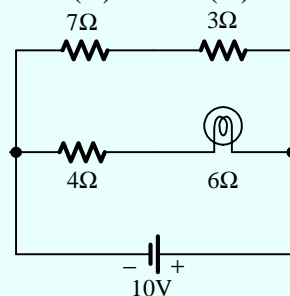
## 學後評量

## 一、選擇題

- ( ) 1. 串聯電路是指 (A)電路中的元件以串接方式連接 (B)電路中只有單一路徑 (C)流過各元件上的電流均相同 (D)以上皆是
- ( ) 2. 已知一串聯電路由兩個相同電阻組成，電路的總電流為 2A，試求流經每一電阻上的電流分別為 (A)1A、1A (B)1A、2A (C)2A、1A (D)2A、2A
- ( ) 3. 分析電阻串聯電路時，利用下列哪一個定律最恰當？ (A)克希荷夫電流定律 (B)克希荷夫電壓定律 (C)克希荷夫功率定律 (D)克希荷夫電阻定律
- ( ) 4. 有 3 個電阻值分別為  $6\text{k}\Omega$ 、 $4.7\text{k}\Omega$ 、 $330\Omega$  的電阻器串聯，則此電路的總電阻值為 (A) $11.03\text{M}\Omega$  (B) $6\text{k}\Omega$  (C) $11.03\Omega$  (D) $11.03\text{k}\Omega$
- ( ) 5. 電阻串聯電路的總電阻值為 (A)電路的總電壓除以電路總電流 (B)各別電阻值的和 (C)以上皆是 (D)以上皆非
- ( ) 6. 理想電壓源可供應變動負載  $R_L$  之 (A)固定電壓及固定電流 (B)固定電壓及變動電流 (C)變動電壓及變動電流 (D)變動電壓及固定電流
- ( ) 7. 理想電壓源之特性為 (A)電流保持恆定值 (B)電路內阻無限大 (C)電路內阻等於零 (D)輸出電壓隨負載變動
- ( ) 8. 三個電阻分別為  $3\Omega$ 、 $10\Omega$ 、 $2\Omega$ ，若將三個電阻串聯後，其  $3\Omega$  兩端之電壓為 30V，則線路電流為 (A)3A (B)10A (C)15A (D)28A
- ( ) 9. 如圖(1)所示電路，電阻  $R$  兩端的電壓為 (A)100V (B)50V (C)150V (D)250V
- ( ) 10. 如圖(1)所示電路，電阻  $R$  值為 (A) $25\Omega$  (B) $50\Omega$  (C) $150\Omega$  (D) $100\Omega$



圖(1)



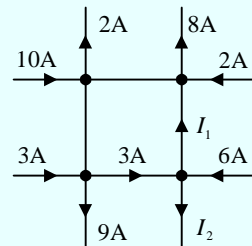
圖(2)

- ( ) 11. 有 10 歐姆、20 歐姆、30 歐姆三個電阻器並聯在一起，若 10 歐姆之電流為 0.1 安培，則 (A)20 歐姆之電流為 0.2 安培 (B)30 歐姆之電流為 0.25 安培 (C)20 歐姆之電流為 0.05 安培 (D)30 歐姆之電流為 0.33 安培
- ( ) 12. 如圖(2)所示電路， $6\Omega$  的燈泡因燒壞而斷路後， $4\Omega$  電阻兩端的電位差為 (A)10V (B)4V (C)0V (D)7V



- ( )13. 有三個電阻並聯，其電阻值分別為 20 歐姆、10 歐姆、5 歐姆，若流經 10 歐姆的電流為 2A，則總電流為 (A)7A (B)8A (C)5A (D)10A

- ( )14. 如圖(3)所示， $I_1$  及  $I_2$  分別為 (A)2A，7A (B)7A，2A (C)2A，11A (D)-7A，2A



圖(3)

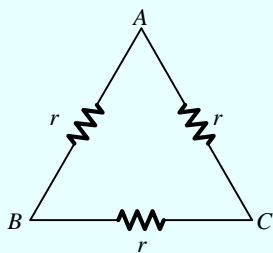
- ( )15. 兩個相同之電阻並聯後，由一理想電壓源供電，此兩電阻共消耗 200W 之功率，若將此兩電阻改為串聯，則兩電阻共消耗多少功率？ (A)50W (B)100W (C)200W (D)400W

- ( )16. 下列敘述何者正確

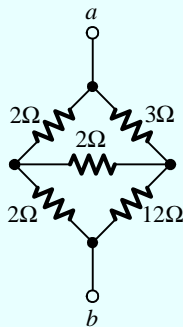
- (A)理想電壓源其內阻應為零，而理想電流源其內阻亦為零  
(B)理想電壓源其內阻應為零，而理想電流源其內阻應為無窮大  
(C)理想電壓源其內阻應為無窮大，而理想電流源其內阻應為零  
(D)理想電壓源其內阻應為無窮大，而理想電流源其內阻亦為無窮大

- ( )17. 有三個電阻並聯的電路，其電阻值分別為  $5\Omega$ 、 $10\Omega$ 、 $20\Omega$ ，如果流經  $20\Omega$  電阻的電流為 1A，則此電路總電流為多少？ (A)3A (B)5A (C)7A (D)9A

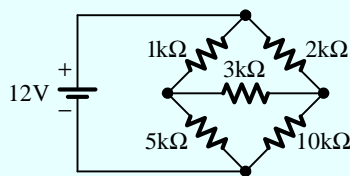
- ( )18. 如圖(4)所示，三只相同之電阻接成  $\Delta$  型，則自  $\Delta$  型之任意兩端量測其電阻值，所得應為單獨一個電阻的幾倍？ (A)2 倍 (B)1.5 倍 (C) $\frac{2}{3}$  倍 (D) $\frac{1}{3}$  倍



圖(4)



圖(5)



圖(6)

- ( )19. 如圖(5)所示電路，求  $ab$  兩端的等效電阻  $R_{ab} = ?$  (A) $12\Omega$  (B) $9\Omega$  (C) $6\Omega$  (D) $3\Omega$

- ( )20. 如圖(6)所示，其流經  $3k\Omega$  電阻之電流為： (A)1mA (B)2mA (C)5mA (D)0A



- ※( )21. 利用電橋測量電阻，是屬於何種測量方法？(A)直接測量法 (B)間接測量法 (C)比較測量法 (D)絕對測量法
- ※( )22. 一只 100V、1000W 的電熱線與一只 100V、500W 的電熱線串聯使用，若於兩端加入 100V 的電壓，此時兩電熱線的總電功率為 (A)1500W (B)750W (C) $\frac{500}{3}$ W (D) $\frac{1000}{3}$ W
- ※( )23. 將 100V、100W 與 100V、10W 的兩個相同材質的電燈泡串聯後，兩端接上 99V 電源，則試問哪個電燈泡會較亮？(A)10W 的電燈泡 (B)100W 的電燈泡 (C)兩者亮度相同 (D)10W 的電燈泡將燒毀
- ※( )24. 將 110V、100W 與 220V、400W 的兩個相同材質的電燈泡串聯後，兩端接上 220V 電源，則 (A)100W 的電燈泡燒毀 (B)400W 電燈泡消耗功率較高 (C)兩者消耗功率相同 (D)兩電燈泡都不亮
- ※( )25. 有兩個 110V、100W 的電燈泡，若將其串接在 110V 電源時，每個燈泡所消耗的功率為 (A)25W (B)50W (C)100W (D)200W
- ※( )26. 有兩個電阻電阻值比為 2:1，兩電阻所能承受的最大功率均為 1W，串聯之後所能承受的最大總功率為 (A)1.25W (B)1.5W (C)1.75W (D)2W
- ※( )27. 5k $\Omega$ 、5W 與 5k $\Omega$ 、2W 的兩個電阻器串聯，其等值電阻為 (A)5k $\Omega$ 、7W (B)10k $\Omega$ 、7W (C)10k $\Omega$ 、4W (D)10k $\Omega$ 、5W
- ※( )28. 某 10mA 毫安表，其內電阻為  $R_a$ ，經串聯一高電阻  $R_s$  後，可測得滿刻度偏轉電壓為 150V；如再串接一個與  $R_s$  相同大小的高電阻時，若測定的最高電壓可提高至 299.8V；則  $R_a$  的值應為 (A)10 $\Omega$  (B)15 $\Omega$  (C)20 $\Omega$  (D)30 $\Omega$
- ※( )29. 要擴大直流電流表的測量範圍，必須使用 (A)倍增器 (B)分流器 (C)電壓表 (D)放大器
- ※( )30. 有一電阻為 20 歐姆的電流計，表頭的最大刻度為 0.2 安培，如果想將測量範圍擴增至 1.0 安培時，應如何改裝？(A)串聯 5 歐姆的電阻 (B)並聯 20 歐姆的電阻 (C)並聯 5 歐姆的電阻 (D)並聯 10 歐姆的電阻

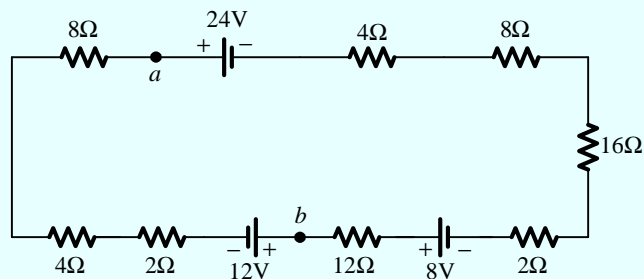
## 二、計算題

1. 有一 50V 的電壓源與 2 $\Omega$ 、3 $\Omega$ 、5 $\Omega$  三個電阻串聯成一個迴路，試求 3 $\Omega$  電阻器兩端的電壓為多少伏特？
2. 如果將  $R_1$  與  $R_2$  兩個電阻串聯於 200 伏特電源，已知  $R_1$  的功率為 50 瓦特， $R_2$  的功率為 150 瓦特，試求  $R_1$  的電阻值為多少？



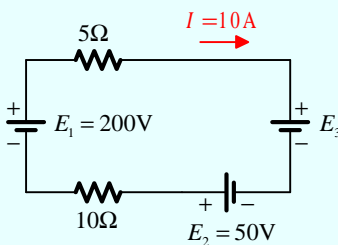


3. 如圖(7)所示電路，試求  $a$ 、 $b$  端間的電位差  $V_{ab}$  為多少伏特？

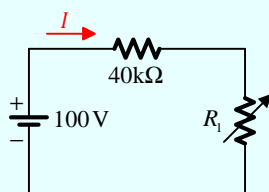


圖(7)

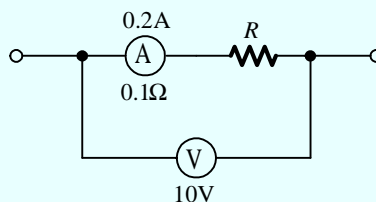
4. 將三個額定功率分別為 10W、60W、100W 的  $10\Omega$  的負載電阻串聯在一起，則串聯後所能承受的最大額定功率為多少？
5. 如圖(8)所示電路，試求  $E_3 = ?$
6. 如圖(9)的電路中，可變電阻器  $R_1$  調整範圍是  $30k\Omega$  到  $60k\Omega$ ，當可變電阻調整到跨於  $R_1$  兩端的電壓為最大值時，電流  $I$  等於多少 mA？



圖(8)

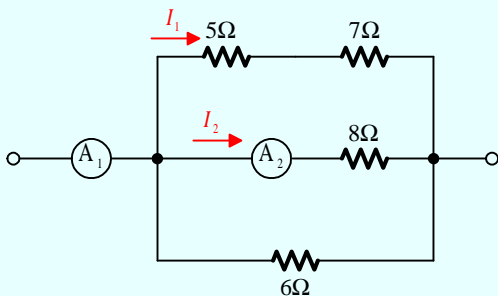


圖(9)

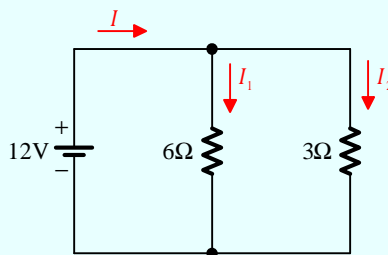


圖(10)

7. 將  $2\Omega$ 、 $3\Omega$ 、 $5\Omega$  三個電阻並聯，連接一個 50V 的電壓源，試求通過每個電阻器電流為多少安培？
8. 如圖(10)所示電路，伏特計的指針指在 10V，安培計指在 0.2A，若已知安培計的內阻為  $0.1\Omega$ ，試求電阻  $R$  為多少歐姆？
9. 如圖(11)所示電路，如果  $A_2$  讀數為 3A，試求  $A_1$  讀數為多少安培？
10. 試求圖(12)並聯電路中的總電阻、線路電流與流過各電阻器上的分路電流為多少？



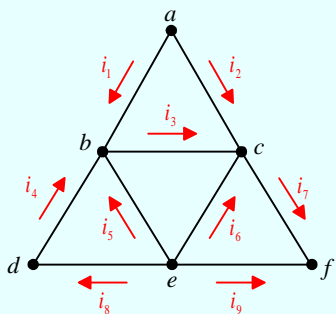
圖(11)



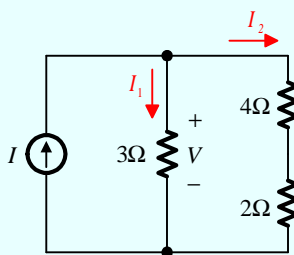
圖(12)



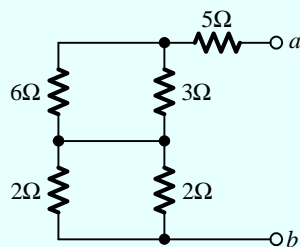
11. 如圖(13)所示，電流  $i_1 = 2\text{A}$ ， $i_3 = 5\text{A}$ ， $i_7 = 4\text{A}$ ， $i_8 = 6\text{A}$ ，則  $i_5$ 、 $i_6$  的值分別為多少安培？
12. 如圖(14)所示電路，若電壓  $V = 12\text{V}$ ，試求電流源  $I$  為多少？
13. 如圖(15)所示電路，試求  $a$ 、 $b$  間總電阻為多少？



圖(13)

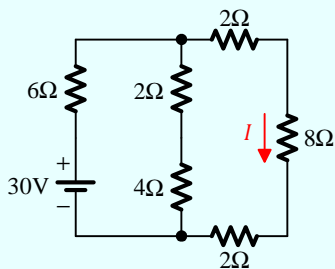


圖(14)

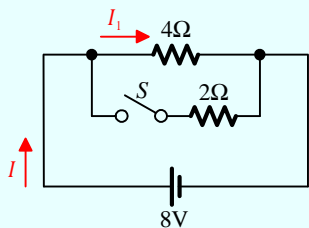


圖(15)

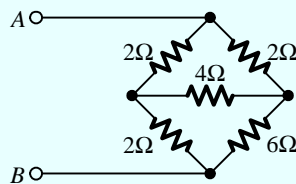
14. 如圖(16)所示電路，試求電流  $I$  為多少？
15. 如圖(17)所示電路，試求：
  - (1) 開關  $S$  於 ON 時之電流  $I$  為開關  $S$  於 OFF 時的幾倍？
  - (2) 開關  $S$  於 ON 時之電流  $I_1$  為開關  $S$  於 OFF 時的幾倍？
16. 在圖(18)中  $A$ 、 $B$  兩點之電阻為多少？



圖(16)

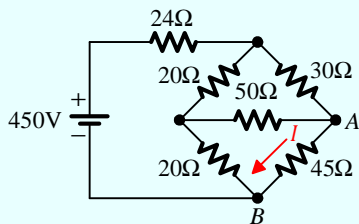


圖(17)



圖(18)

17. 如圖(19)所示，試求流經  $A$ 、 $B$  兩點間的電流  $I$  為多少安培？

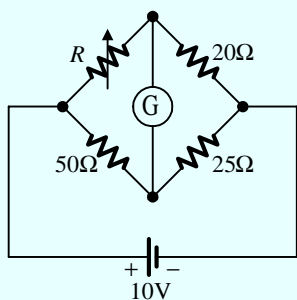


圖(19)

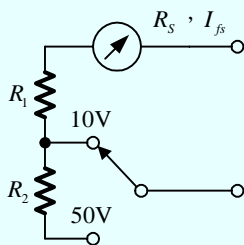




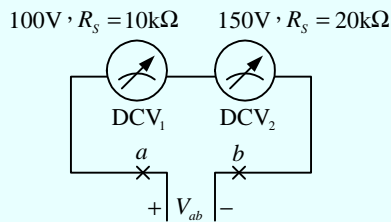
※18. 如圖(20)，設調節可變電阻  $R$  使  $G$  中沒有電流，則  $R$  之值為多少？



圖(20)



圖(21)



圖(22)

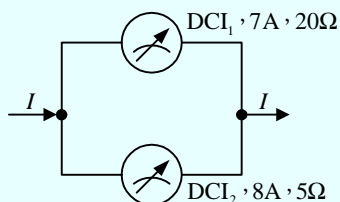
※19. 基本電表滿刻度電流  $I_m = 50\mu A$ ，電表內阻  $R_m = 2k\Omega$ ，欲擴展為滿刻度 10V 範圍的電壓表，則應串聯倍率電阻為多少  $k\Omega$ ？

※20. 如圖(21)所示，為多範圍直流電壓表，電表之  $R_s = 1k\Omega$ ， $I_{fs} = 50\mu A$ ，使電壓表分別量測 10V 及 50V，則  $R_1$  及  $R_2$  值應分別為多少？

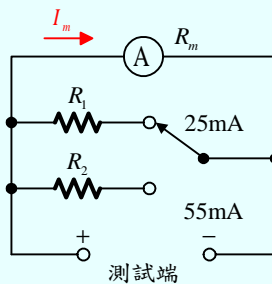
※21. 如圖(22)，2 個 DCV 表分別為  $DCV_1$  (滿刻度 100V，內阻  $10k\Omega$ ) 及  $DCV_2$  (滿刻度 150V，內阻  $20k\Omega$ )，則最大可測直流電壓  $V_{ab}$  為多少 V？

※22. 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任何一個之消耗功率超過其規格，則電源之最高電壓為多少 V？

※23. 如圖(23)所示，2 個 DCI 表分別為  $DCI_1$  (滿刻度 7A，內阻  $20\Omega$ ) 及  $DCI_2$  (滿刻度為 8A，內阻  $5\Omega$ )，則最大可測直流電流  $I$  為多少？



圖(23)



圖(24)

※24. 如圖(24)為分路式電流表之電路，若電流表的表頭滿刻度電流  $I_m = 5mA$ ，電表內阻  $R_m = 40\Omega$ ，則  $R_1$  及  $R_2$  應為多少？

※25. 1.5V 之電池所能供給的最大電流設為 3A，則四只電池串聯使用時，其所能供應之最大電流為多少安培？