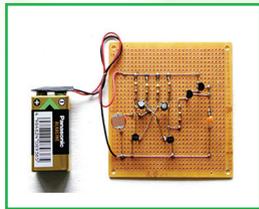


ELECTRICITY

BASIC



ELECTRICITY

BASIC

本章學習目標

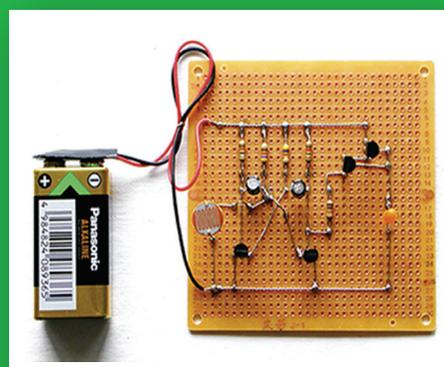
1. 利用節點電壓法分析各支路的電流。
2. 利用迴路電流法分析各迴路的電流。
3. 瞭解重疊定理在多電源電路的應用。
4. 利用戴維寧與諾頓定理化簡電路。
5. 瞭解戴維寧與諾頓等效電路的轉換。
6. 學習負載如何在電路中獲得最大的功率轉移。

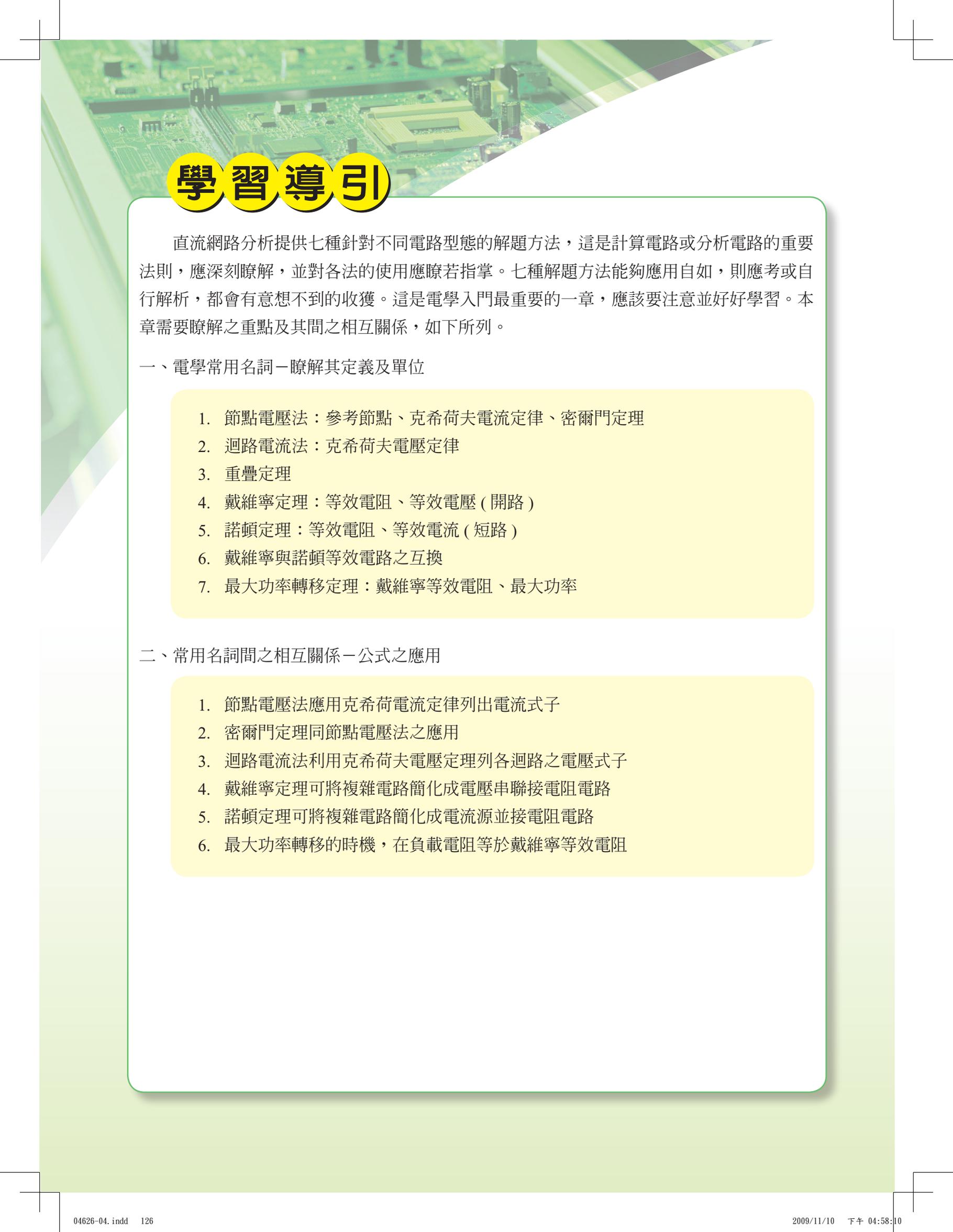
本章綱要

- 4-1 節點電壓法
- 4-2 迴路電流法
- 4-3 重疊定理
- 4-4 戴維寧定理
- 4-5 諾頓定理
- 4-6 戴維寧與諾頓等效電路之轉換
- 4-7 最大功率轉移定理

Chapter 4

直流網路分析





學習導引

直流網路分析提供七種針對不同電路型態的解題方法，這是計算電路或分析電路的重要法則，應深刻瞭解，並對各法的使用應瞭若指掌。七種解題方法能夠應用自如，則應考或自行解析，都會有意想不到的收獲。這是電學入門最重要的一章，應該要注意並好好學習。本章需要瞭解之重點及其間之相互關係，如下所列。

一、電學常用名詞－瞭解其定義及單位

1. 節點電壓法：參考節點、克希荷夫電流定律、密爾門定理
2. 迴路電流法：克希荷夫電壓定律
3. 重疊定理
4. 戴維寧定理：等效電阻、等效電壓 (開路)
5. 諾頓定理：等效電阻、等效電流 (短路)
6. 戴維寧與諾頓等效電路之互換
7. 最大功率轉移定理：戴維寧等效電阻、最大功率

二、常用名詞間之相互關係－公式之應用

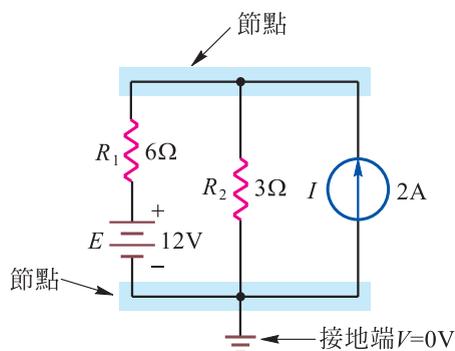
1. 節點電壓法應用克希荷夫電流定律列出電流式子
2. 密爾門定理同節點電壓法之應用
3. 迴路電流法利用克希荷夫電壓定理列各迴路之電壓式子
4. 戴維寧定理可將複雜電路簡化成電壓串聯接電阻電路
5. 諾頓定理可將複雜電路簡化成電流源並接電阻電路
6. 最大功率轉移的時機，在負載電阻等於戴維寧等效電阻



4-1 節點電壓法

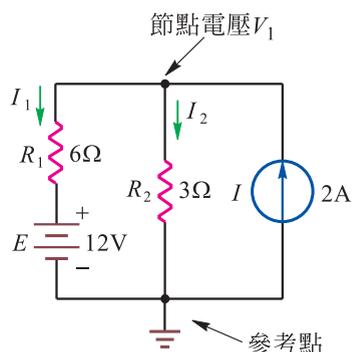
節點電壓法應用克希荷夫電流定則， $I_{in} - I_{out} = 0$ ，的觀念，作為電路端電壓計算的通式。節點為兩個或以上之支路的連接處。節點電壓法以支路之共用端，或稱接地點 $V = 0$ 伏特，作為參考點，其餘各節點相對於參考點有一電位差。節點電壓演算的過程，如圖 4-1，說明如下：

1. 決定電路之節點及參考點。



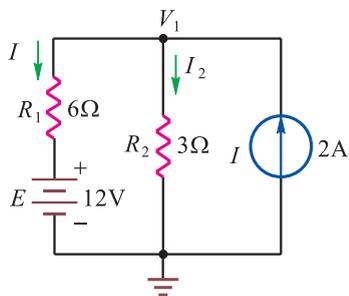
1. 節點為支路之共用端。
2. 參考點的電壓等於 0 伏特，大都以電壓源之負端作為參考點。
3. 圖(a)所示共有 2 個節點。

2. 選定節點並定名稱。

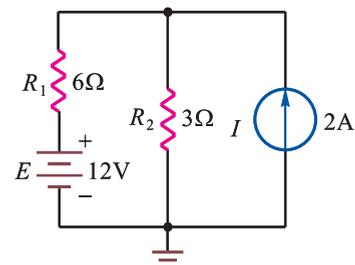


1. 接地端為參考點。
2. 另節點作為節點電壓 V_1 。
3. 假設電流方向 I_1 及 I_2 。

3. 應用克希荷夫電流定律，求得節點電壓法之通式。



1. 克希荷夫電流定律： $I - I_1 - I_2 = 0$
2. $I_1 = \frac{V_1 - E}{R_1}$ ， $I_2 = \frac{V_1}{R_2}$ ， $I = 2A$
3. $I - I_1 - I_2 = I - \frac{V_1 - E}{R_1} - \frac{V_1}{R_2} = 0$



■ 圖 4-1 節點電壓法

4. 將圖 4-1 之元件數值，代入節點電壓法之數學式，節點電壓值，如下所示。

$$I - \frac{V_1 - E}{R_1} - \frac{V_1}{R_2} = 2 - \frac{V_1 - 12}{6} - \frac{V_1}{3} = 0$$

$$\frac{12 - V_1 + 12 - 2V_1}{6} = \frac{24 - 3V_1}{6} = 0$$

$24 - 3V_1 = 0$ ，所以，節點電壓 (或端電壓)

$$V_1 = \frac{24}{3} = 8\text{V}$$

5. 計算各支 (分) 路之電流值 I_1 及 I_2 。

支路 1 之電流：

$$I_1 = \frac{V_1 - E}{R_1} = \frac{8 - 12}{6} = \frac{-4}{6} = -\frac{2}{3} \text{ A}$$

負號表示與假設方向相反，實際上， I_1 的方向應向上 (↑)。

支路 2 之電流：

$$I_2 = \frac{V_1}{R_2} = \frac{8}{3} \text{ A}$$

正號表示電流方向與假設相同，向下 (↓)。

驗證： $I_2 = I_1 + I \rightarrow 8/3 = 2/3 + 2 = 2/3 + 6/3 = 8/3$ 故得證。

- ※ 6. 密爾門定理 → 節點電壓法之應用

密爾門定理為節點電壓流之應用。密爾門定理應用歐姆定律 $V = IR$ 之演變，其數學式為：

觀念：

$$V = I \times R = \frac{I}{\frac{1}{R}} = \frac{\text{支路之電流和}}{\text{並聯電阻之倒數和}}$$

數學式：

$$V = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \dots + \frac{E_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

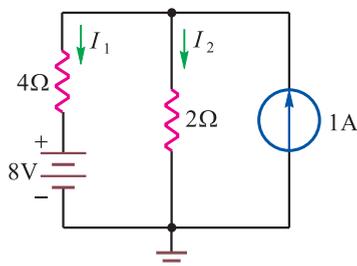
以圖 4-1 為例，用密爾門定理理解出端電壓，如下所示：

$$V_1 = \frac{\frac{12}{6} + 0 + 2}{\frac{1}{6} + \frac{1}{3} + 0} = \frac{4}{\frac{1}{2}} = 8V$$



範例 4-1.1

應用節點電壓法，求圖中各支路之電流。



解 首先決定參考節點及假設電流方向，如圖所示。

應用克希荷夫電流定律，得數學式為：

$$\frac{V_1 - 8}{4} + \frac{V_1}{2} + (-1) = 0; \text{ 電流源方向與假設相反。}$$

$$V_1 - 8 + 2V_1 - 4 = 0$$

$$3V_1 = 12, V_1 = 12/3 = 4V$$

$$I_1 = (4 - 8)/4 = -1A; \text{ 與假設方向相反，應向上。}$$

$$I_2 = 4/2 = 2A; \text{ 與假設方向相同，向下。}$$

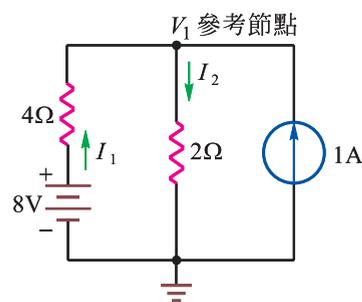
※ 解 密爾門定理

數學式為 V_1 (參考點電壓) = I_T (分路電流和) $\times R_T$ (並聯總電阻值)

分路電流和 $I_T = 8/4 + 1 = 2 + 1 = 3(A)$; 依電源流向，圖示向上為正。

$$\text{並聯總電阻 } R_T = 4 // 2 = 4 \times 2 / (4 + 2) = 8/6 = 4/3(\Omega)$$

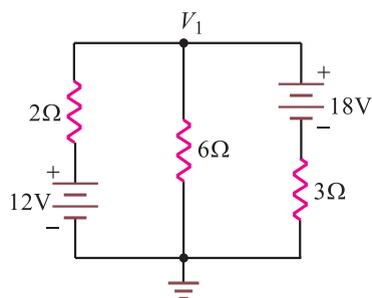
$$\text{參考點電壓 } V_1 = I_T \times R_T = 3 \times 4/3 = 4(V)$$



4

立即練習

如圖所示電路，試求節點電壓 V_1 為多少伏特？



Ans $V_1 = 12V$ 。



範例 4-1.2

如圖所示，若 $X_{bc} = -10V$ ，則 V_{ac} 為多少伏特？

解 參考點電位為 a ，依節點電壓法：

$$\frac{V_a - 10}{10k} + \frac{V_a}{10k} + \frac{V_a + 10}{5k} = 0$$

$V_a - 10 + V_a + 2(V_a + 10) = 0$ ； a 點上的 $10k\Omega$ 電阻沒作用。

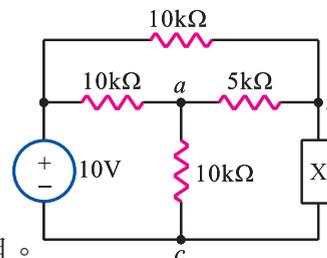
$$4V_a + 10 = 0, V_a = -10/4 = -2.5V$$

※ 解 密爾門定理。假設電流方向向上。

$$\text{分路電流和 } I_T = 10/10k + 0 + (-10/5k) = 1m - 2m = -1m(A)$$

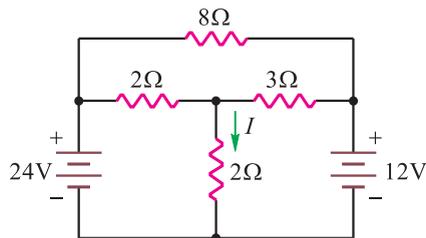
$$\text{並聯總電阻 } R_T = 10k // 10k // 5k = 5k // 5k = 2.5k(\Omega)$$

$$\text{節點電壓 } V_a = (-1m) \times 2.5k = -2.5(V)$$



立即練習

如圖所示之電路電流 I 為多少安培？

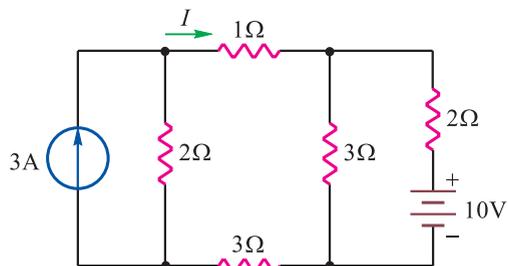


Ans $I = 6A$ 。

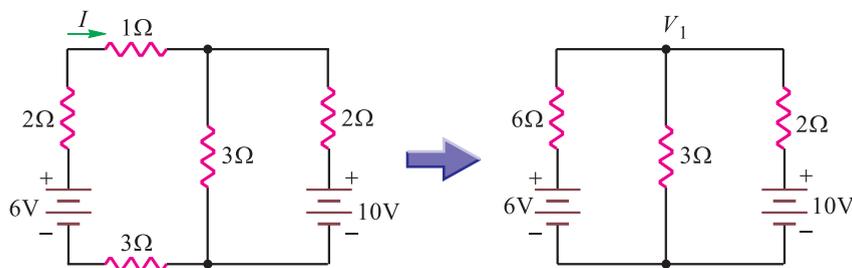


範例 4-1.3

如圖所示電路，試求電路電流 I 為多少安培？



解 將電流源轉換成電壓源，如圖所示：



電壓源之電壓值 $E = 3 \times 2 = 6V$

三電阻串聯之總值 $R = 1 + 2 + 3 = 6\Omega$

參考點電壓為 V_1 ，假設電流方向向下，依節點電壓法為：

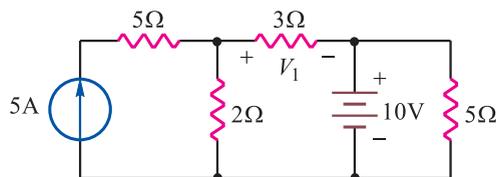
$$\frac{V_1 - 6}{6} + \frac{V_1}{3} + \frac{V_1 - 10}{2} = 0, \text{ 化解: } V_1 - 6 + 2V_1 + 3(V_1 - 10) = 0$$

$$6V_1 - 36 = 0, 6V_1 = 36, V_1 = 36 / 6 = 6V$$

$$\text{電路電流 } I = (6 - 6) / 6 = 0A$$

立即練習

如圖所示電路，試電阻 3Ω 之電壓降 V_1 為多少伏特？



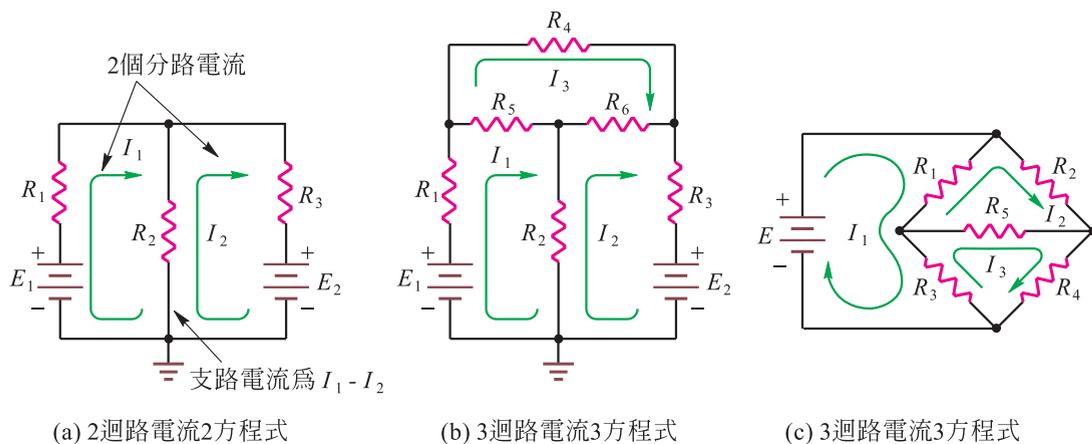
Ans $V_1 = 0V$ 。

4



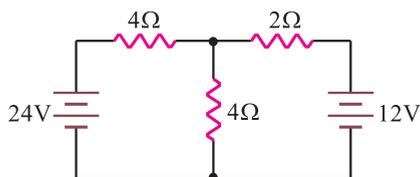
4-2 迴路電流法

迴路電流法應用克希荷夫電壓定律， $\Sigma V = 0$ 。迴路電流法指定分路電流方向，並依電路型式，確定分路電流的數目，如圖 4-2 所示，利用克希荷夫電壓定律寫出方程式，集合所有分路方程式，以聯立線性方程式解出電流值。



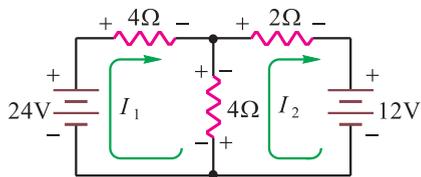
■ 圖 4-2 迴路電流與方程式數目

以圖 4-3 為例，迴路電流法之解法過程，如下所述：



■ 圖 4-3 說明圖例

1. 指定任意分路電流方向。



1. 設定兩分路之電流方向 I_1 及 I_2 。
2. 電流方向以同方向為主。
圖示為順時針方向。
3. 電阻之極性由假設之電流方向決定。
4. 電壓源之極性不受電流方向影響。

2. 依克希荷夫電壓定則，寫出分路方程式。

迴路 1：

$$\sum V = 24 - I_1 \times 4 - (I_1 - I_2) \times 4 = 0$$

電壓升
電壓降

支路 4Ω 流過 I_1 與 I_2 ，故以 I_1 為參考時，取 $I_1 - I_2$ 。
迴路 2： $\sum V = -12 - (I_2 - I_1) \times 4 - I_2 \times 2 = 0$

： I_2 為參考，流經 4Ω 的電流取 $I_2 - I_1$ 。

3. 整理並列出分路之電流方程式。

$$24 - 4I_1 - 4I_1 + 4I_2 = 0 \rightarrow -8I_1 + 4I_2 = -24 \rightarrow 2I_1 - I_2 = 6 \dots\dots\dots (1)$$

$$-12 - 4I_2 + 4I_1 - 2I_2 = 0 \rightarrow 4I_1 - 6I_2 = 12 \rightarrow 2I_1 - 3I_2 = 6 \dots\dots\dots (2)$$

4. 解聯立線性方程式。

$$\text{由第 (2) 式} - \text{第 (1) 式} \quad -2I_2 = 0 \rightarrow I_2 = 0\text{A} \dots\dots\dots (3)$$

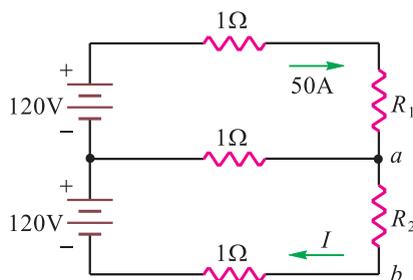
由第 (3) 式代入第 (1) 式 $2I_1 = 6 \rightarrow I_1 = 6/2 = 3\text{A}$ ；電流假設方向相同。

4



範例 4-2.1

如圖所示，若欲使 $V_{ab} = 120\text{V}$ ，則電阻 R_1 及 R_2 應為多少歐姆？



解 依迴路電流法，以克希荷夫電壓定則列出數學式為：

$$V_{ab} = 120\text{V}，\text{即 } IR_2 = 120 \dots\dots\dots (1)$$

$$120 - 50 \times 1 - 50R_1 - (50 - I) \times 1 = 0，50R_1 - I = 20 \dots\dots\dots (2)$$

$$120 - (I - 50) \times 1 - IR_2 - I \times 1 = 0，IR_2 + 2I = 170 \dots\dots\dots (3)$$

(1) 式代入 (3) 式

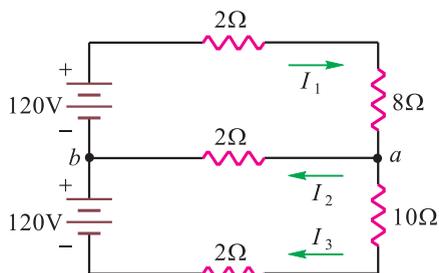
$$120 + 2I = 170，2I = 170 - 120 = 50，I = 50/2 = 25 \dots\dots\dots (4)$$

$$(4) \text{ 式代入 (1) 式 } 25R_2 = 120，R_2 = 120/25 = 4.8\Omega$$

$$(4) \text{ 式代入 (2) 式 } 50R_1 - 25 = 20，R_1 = 45/50 = 0.9\Omega$$

立即練習

如圖所示電路，試求電流 I_1 、 I_2 、 I_3 各為若干安培？

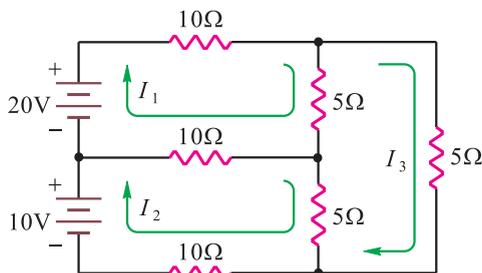


Ans $I_1 = 11.7\text{A}$, $I_2 = 1.5\text{A}$, $I_3 = 10.2\text{A}$ 。



範例 4-2.2

如圖所示電路，試以迴路電流法，求 I_1 、 I_2 、 I_3 為多少安培？



解 依克希荷夫電壓定律，列出各分路之數學式為：

迴路 1：

$$20 - 10I_1 - 5(I_1 - I_3) - 10(I_1 - I_2) = 0, \quad 5I_1 - 2I_2 - I_3 = 4 \quad \dots\dots (1)$$

迴路 2：

$$10 - 10(I_2 - I_1) - 5(I_2 - I_3) - 10I_2 = 0, \quad -2I_1 + 5I_2 - I_3 = 2 \quad \dots\dots (2)$$

迴路 3：

$$-5I_3 - 5(I_3 - I_2) - 5(I_3 - I_1) = 0, \quad I_1 + I_2 - 3I_3 = 0 \quad \dots\dots (3)$$

$$(1) - (2) \quad 7I_1 - 7I_2 = 2 \quad \dots\dots (4)$$

$$(2) \times 3 - (3) \quad -7I_1 + 14I_2 = 6 \quad \dots\dots (5)$$

$$(4) + (5) \quad 7I_2 = 8, \quad I_2 = 8/7\text{A} \quad \dots\dots (6)$$

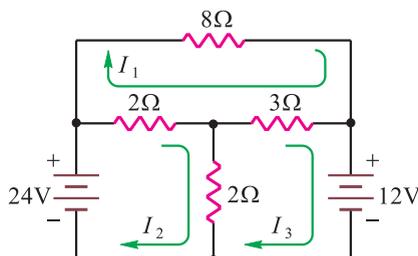
$$(6) \text{ 式代入 } (4) \text{ 式} \quad 7I_1 - 8 = 2, \quad 7I_1 = 10, \quad I_1 = 10/7\text{A} \quad \dots\dots (7)$$

由 (7)、(6) 式代入 (3) 式

$$10/7 + 8/7 - 3I_3 = 0, \quad 3I_3 = 18/7, \quad I_3 = 6/7\text{A}$$

立即練習

如圖所示，試求電流 I_1 、 I_2 、 I_3 為多少安培？

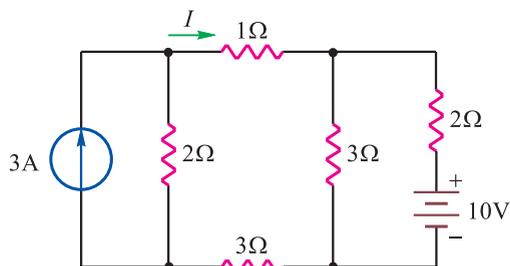


Ans $I_1 = 1.5A$, $I_2 = 7.5A$, $I_3 = 1.5A$ 。



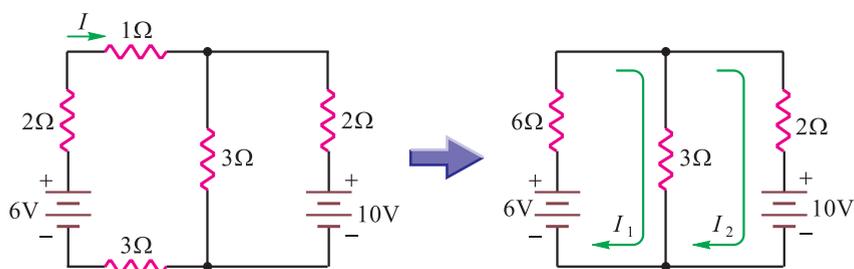
範例 4-2.3

試利用迴路電流法求圖中之電流 I 為多少安培？



4

解 可將圖中不同電源轉換成相同之電源。



依克希荷夫電壓定律，各分路之數學式為：

迴路 1：

$$6 - 6I_1 - 3(I_1 - I_2) = 0, 9I_1 - 3I_2 = 6, 3I_1 - I_2 = 2 \dots\dots\dots (1)$$

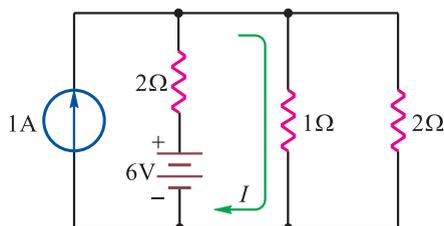
$$\text{迴路 2：} -3(I_2 - I_1) - 2I_2 - 10 = 0, 3I_1 - 5I_2 = 10 \dots\dots\dots (2)$$

由 (2)-(1) 式 $-4I_2 = 8$, $I_2 = -8/4 = -2A$; 與假設之電流方向相反。

$$I_2 = -2 \text{ 代入 (2) 式 } 3I_1 + 10 = 10, 3I_1 = 0, I_1 = 0A = I$$

立即練習

試以迴路電流法求圖中之電流 I 為多少安培？

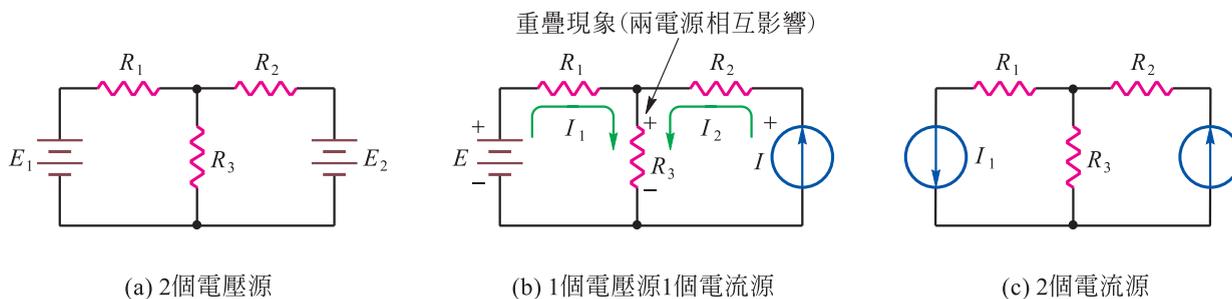


Ans 2A。

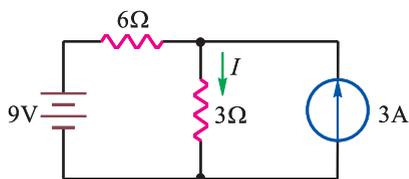


4-3 重疊定理

重疊定理應用在電路具有二個或以上電源的電路，如圖 4-4 所示。重疊定理的好處是不須使用繁複之數學式解電路值，只須將電源單獨處理，最後以代數和來決定電路之未知量。在圖 4-4(b) 中，電壓源有一電流 I_1 流經電阻 R_3 ，電流源也有一電流 I_2 流經 R_3 ，對電阻 R_3 而言，比較兩電源相互的影響，此稱為重疊現象。



■ 圖 4-4 電源之型式及數目

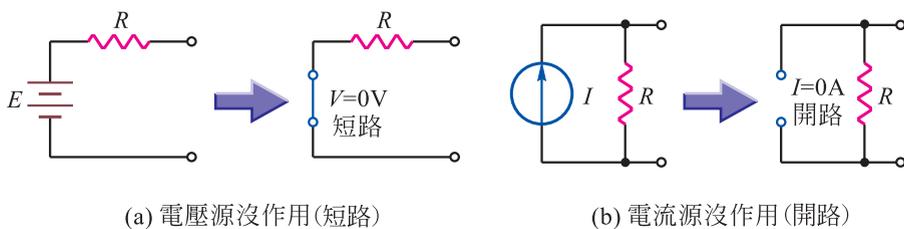


■ 圖 4-5 說明圖例

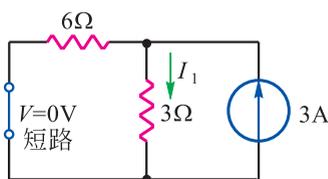
重疊定理的敘述為：在多個電源電路中，流經任一元件之電流值，或跨越任一元件之電壓值，等於單獨電源在該元件產生之電流或電壓值的和。

以圖 4-5 為例，重疊定理應用於多電源電路之解法過程，如下所述：

1. 解出單電源對電路元件之作用，首先必須指定那個電源作用，那個電源沒作用，條件為：
- (1) 若電壓源沒作用，電壓值為零，該電壓源呈短路現象。
 - (2) 若電流源沒作用，電流值為零，該電流源呈開路現象。如圖 4-6 所示。

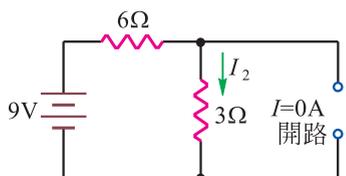


■ 圖 4-6 移去電源之現象



1. 令電壓源為 0 伏特，電壓端呈短路。
2. 令流過 3Ω 的電流為 I_1 。
3. 6Ω 與 3Ω 並聯，依分流定則， I_1 為：

$$I_1 = \frac{6}{6+3} \times 3A = 2A$$
，電流方向向下。



1. 令電流源為 0 安培，電路呈開路現象。
2. 令流過 3Ω 的電流為 I_2 。
3. 6Ω 與 3Ω 串聯，依歐姆定理， I_2 為：

$$I_2 = \frac{9}{6+3} = 1(A)$$
，電流方向向下。

2. 欲求元件之電流或電壓值，應為單電源作用，產生之電流或電壓值之和。若
- (1) 單電源作用之電流或電壓值的方向，或極性相同，應取其和值。
 - (2) 單電源作用之電流或電壓值的方向，或極性相反，應取其差值。
- 則，流經電阻 R_3 的電流值 $I = I_1 + I_2 = 2A + 1A = 3A$ ，電流方向向下。

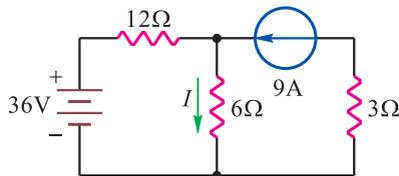
網站介紹

基本電學實驗網站：
<http://ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/down/exp3.htm>



範例 4-3.1

如圖所示電路，試求流過 6Ω 電阻之電流 I 為多少安培？



解 先令電流源為零 (開路)，考慮電壓源之作用，其電路為：

設流經 6Ω 電阻之電流為 I_1 ，則

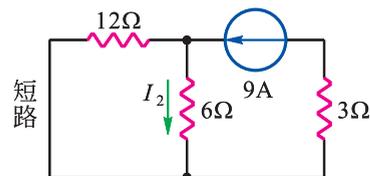
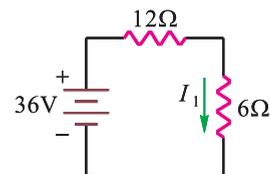
$$I_1 = \frac{36}{12+6} = \frac{36}{18} = 2\text{A}；\text{電流方向向下}$$

次令電壓源為零 (短路)，考慮電流源之作用，其電路為：

設流經 6Ω 電阻之電流為 I_2 ，依電流分配定則

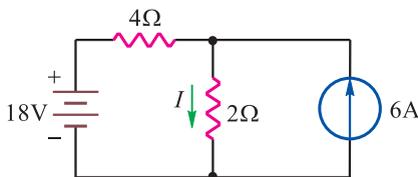
$$I_2 = \frac{9 \times 12}{12+6} = \frac{108}{18} = 6\text{A}；\text{電流方向向下}$$

所以，流經 6Ω 電阻之電流為 $I = I_1 + I_2 = 2 + 6 = 8\text{A}$



立即練習

試以重疊定理求電路電流 I 為多少安培？

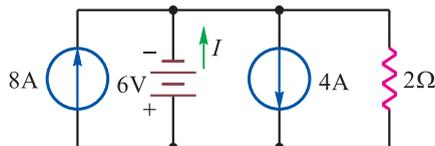


Ans $I = 7\text{A}$ 。

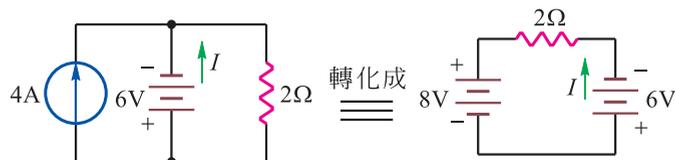


範例 4-3.2

如圖所示電路，試求流經 6V 電壓源之電流為多少安培？



解 先合併多電流源為單電流源，兩者方向相反，應相減，電路圖為：

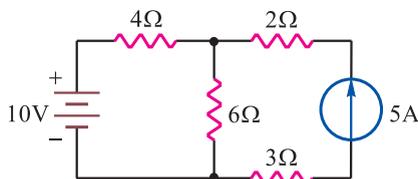


再將電流源 4A 與並聯之 2Ω 電阻，轉化成電壓源 $E = 4 \times 2 = 8V$ ，電阻值則不變。

電路電流 $I = (8+6)/2 = 14/2 = 7A$ ，與設定方向相反，故 $I = -7A$ 。

立即練習

如圖所示電路，試求流過 6Ω 電阻的電流為多少安培？



Ans 3A。

4

隨堂練習

- () 1. 如圖 (1) 所示電路中，流經 2Ω 電阻的電流 I 為 (A)1A (B)3A (C)5A (D)10A。
- () 2. 如圖 (2) 所示電路，若 $I = 0A$ 時，則 $R_1/R_2 =$ (A)3/5 (B)5/3 (C)3 (D)5。

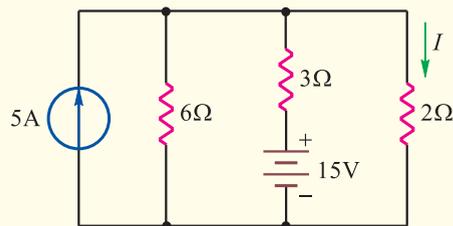


圖 (1)

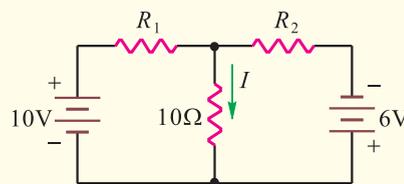


圖 (2)

- () 3. 如圖 (3) 所示電路，電流 I 為 (A)1A (B)-1A (C)2A (D)-2A。
- () 4. 如圖 (4) 所示，試求 3Ω 電阻消耗功率為多少瓦特？ (A)4 (B)12 (C)48 (D)147。

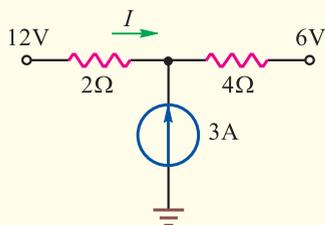


圖 (3)

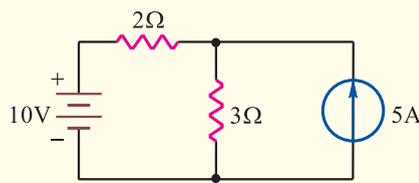


圖 (4)

- () 5. 如圖 (5) 之電路，電路電流 I 為多少安培？ (A)4 (B)3 (C)2 (D)1。
 () 6. 有一電路如圖 (6) 所示，下列何者錯誤？ (A) $V_{ab} = -1.2$ 伏特 (B) $V_{bd} = 8.8$ 伏特 (C) 三個電阻所消耗的功率和為 19.6W (D) 電壓源與電流源都提供能量給其他元件。

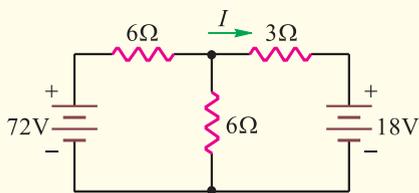


圖 (5)

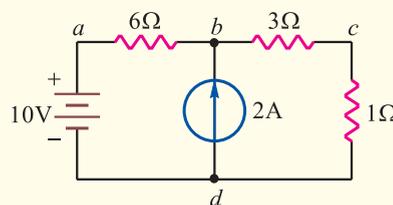


圖 (6)

- () 7. 如圖 (7) 所示之電路中，由電壓源所提供之功率為 (A)12W (B)24W (C)36W (D)48W。(註：此電路之電壓源與電流源均為直流電源。)
 () 8. 如圖 (8) 所示，求在 4 歐姆電阻兩端之電壓降為多少伏特？ (A)2.6 (B)3.8 (C)6.4 (D)10.2。

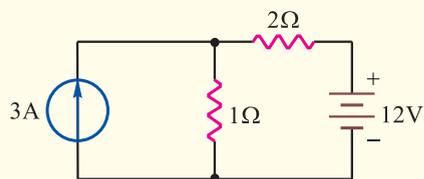


圖 (7)

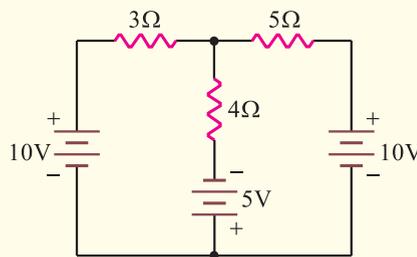
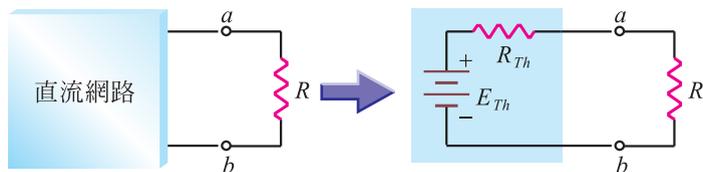


圖 (8)



4-4 戴維寧定理

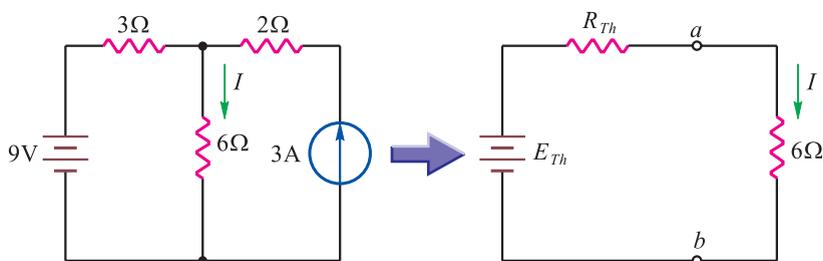
戴維寧定理敘述為：在直流網路中，任意兩端點 (a 、 b) 間，皆可以一電壓源 (E_{Th}) 與串聯電阻 (R_{Th}) 所組成之等效電路來替代。如圖 4-7 所示。



■ 圖 4-7 戴維寧等效電路

運用戴維寧定理的特點是 (1) 可精確地計算出直流網路中，任一特定的電壓或電流值，不會受多個電源影響。(2) 等效電路可簡化繁雜電路。

以圖 4-8 為例，戴維寧定理應用電路，其解法過程，如下所述：



■ 圖 4-8 說明圖例

4

1. 兩電源電路，求流經電阻 6Ω 的電流為多少？
2. 戴維寧等效電阻 R_{Th} 的求解：
 - (1) 令所有電源為零。
 - (2) 電壓源呈短路，電流源呈開路。
 - (3) 電路呈純電阻電路。

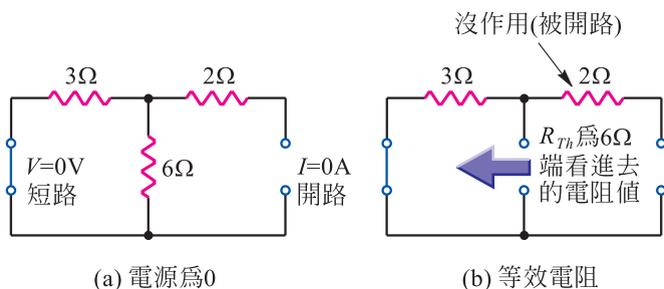
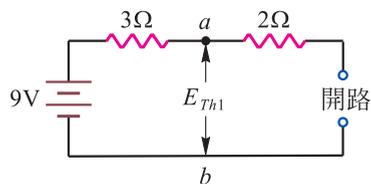


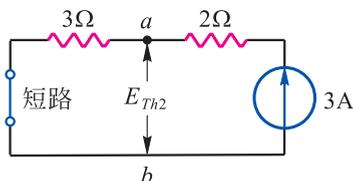
圖 (b) 中，電阻 2Ω 被開路，故沒作用，則 $R_{Th} = 3\Omega$ 。

3. 戴維寧等效電壓 E_{Th} 的求解：因兩電源，故 $E_{Th} = E_{Th1} + E_{Th2}$ 。
 - (1) 利用重疊定理求電阻 6Ω 兩端之電壓降。
 - (2) 令電流源 $I = 0A$ ，並定電阻 6Ω 兩端之電壓降名為 E_{Th1} 。



- 1. 電路呈開路現象，沒電流產生。
- 2. 電阻 6Ω 兩端之電壓降等於電壓源。
 $E_{Th1} = E = 9V$ ，極性為上正下負。

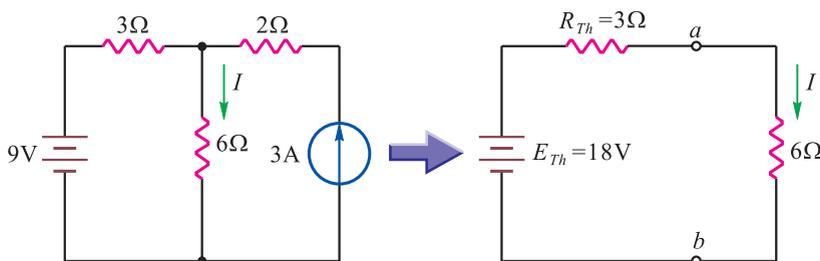
(3) 令電壓源 $V = 0V$ ，並定電阻 6Ω 之電壓降名為 E_{Th2} 。



- 1. 電壓源呈短路，電路為串聯電路。
- 2. 電阻 6Ω 兩端之電壓降等於 3Ω 之電壓降。
 $E_{Th2} = IR = 3 \times 3 = 9V$ 。極性為上正下負。

(4) 戴維寧等效電壓 $E_{Th} = E_{Th1} + E_{Th2} = 9 + 9 = 18V$ (因兩電壓極性相同，故相加。)

4. 戴維寧等效電路。



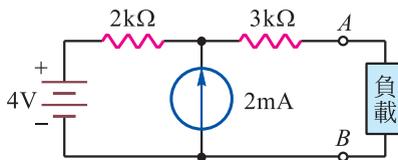
流經電阻 6Ω 的電流，利用歐姆定理為：

$$I = \frac{18}{3+6} = \frac{18}{9} = 2A$$

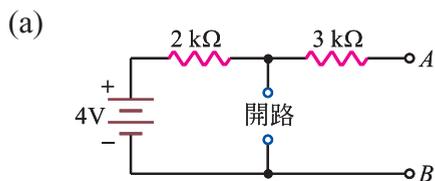


範例 4-4.1

如圖所示，有一獨立電壓源 $4V$ ，一獨立電流源 $2mA$ ，求其戴維寧等效電路？

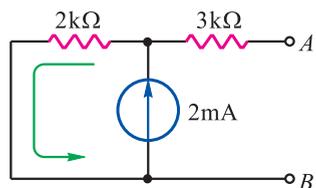


解 (1) 等效電壓 E_{Th} 之求法：雙電源應用重疊定理，先令電流源為零，如下圖。



- 圖示電路為開路狀況，則
 $E_{Th1} = E_{AB} = 4V$
開路兩端電壓等於電壓源。

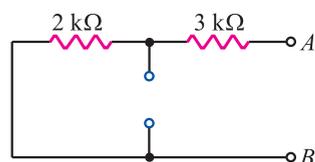
(b) 再令電壓源為零 (短路)，如下圖。



E_{AB} 為 $2\text{k}\Omega$ 之電壓降，而 $3\text{k}\Omega$ 因開路，而無作用。則
 $E_{Th2} = E_{AB} = 2\text{k} \times 2\text{m} = 4(\text{V})$

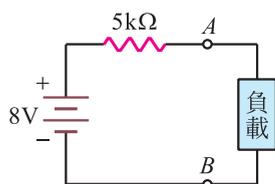
(c) 等效電壓 $E_{Th} = E_{Th1} + E_{Th2} = 4 + 4 = 8\text{V}$

(2) 等效電阻 R_{Th} 之求法，應令所有電源為零，如下圖所示。



$$R_{Th} = R_{AB} = R_1 + R_2 = 2\text{k} + 3\text{k} = 5\text{k}(\Omega)$$

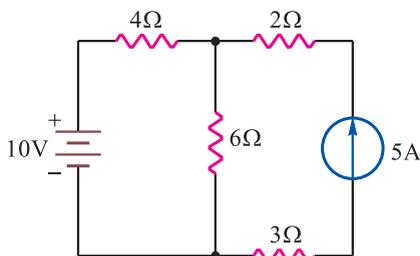
(3) 戴維寧等效電路，如下圖所示。



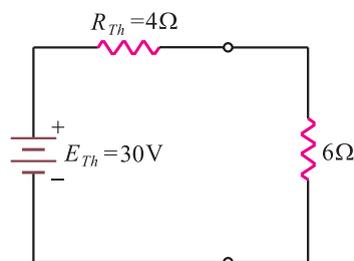
4

立即練習

如圖所示電路，試求 6Ω 電阻兩端之戴維寧等效電路。



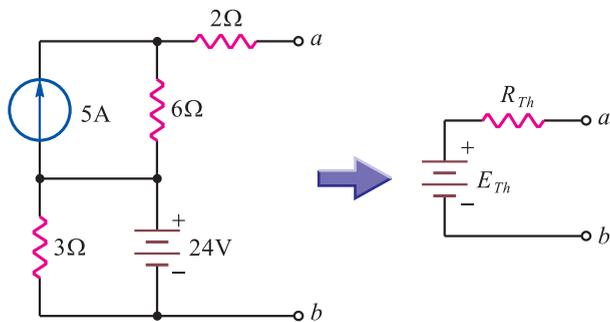
Ans





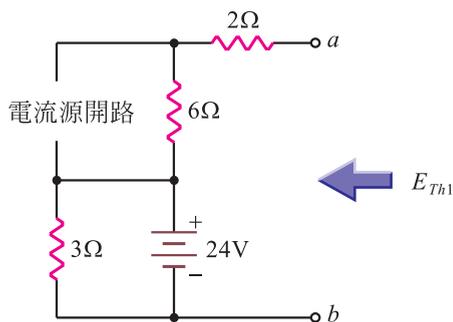
範例 4-4.2

試求圖之戴維寧等效電路。



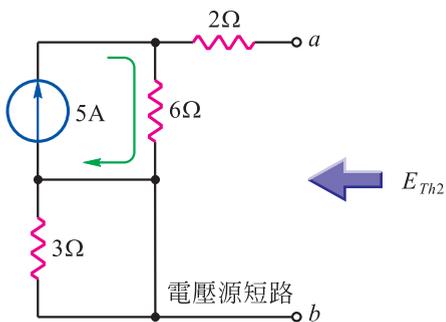
解 (1) 等效電壓 E_{Th} 之求法，因電路為雙電源，應用重疊定理求解。

(a) 令電流源為零—開路，求 E_{Th1} 。



3Ω電阻與24V電壓源並聯，並聯電壓相同，且電路呈開路現象，則：
 $E_{Th1} = 24V$

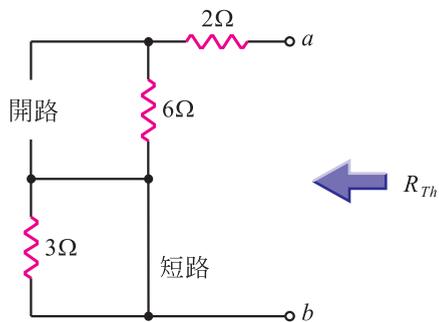
(b) 令電壓源為零—短路，求 E_{Th2} 。



3Ω被短路，2Ω開路，則
 $E_{Th2} = 5 \times 6 = 30V$

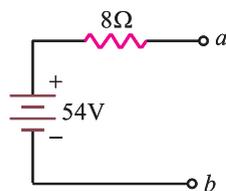
(c) 等效電壓 $E_{Th} = E_{Th1} + E_{Th2} = 24 + 30 = 54V$

(2) 等效電阻 R_{Th} 之求法。



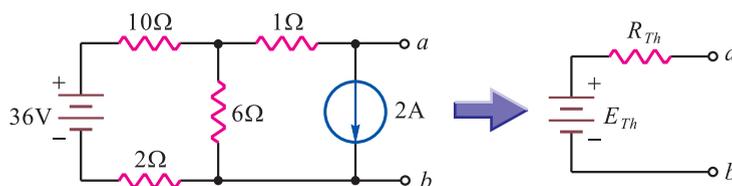
3Ω被短路，沒作用，則
 $R_{Th} = 2 + 6 = 8\Omega$

(3) 戴維寧等效電路為：



立即練習

試求圖之戴維寧等效電路。



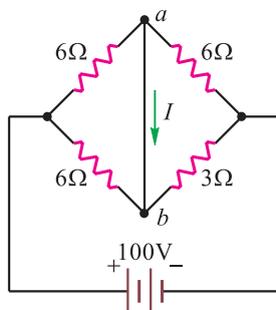
Ans $E_{Th} = 12V, R_{Th} = 5\Omega$ 。



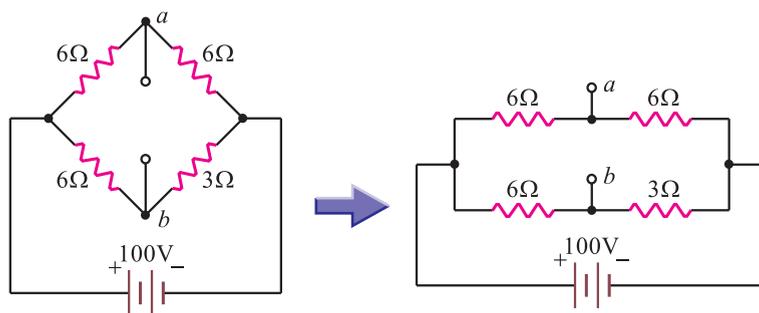
範例 4-4.3

4

如圖所示電路，當 a 、 b 兩端短路時，流經該短路線之電流 I 為多少安培？



解 (1) 等效電壓 E_{Th} 之求解。



a 、 b 兩端電壓為 $E_{Th} = V_{ab} = V_a - V_b$ ， V_a 與 V_b 可用串聯分壓定則求得。

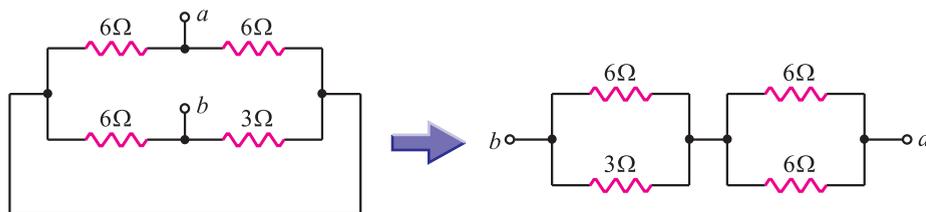
$$V_a = 100 \times 6 / (6+6) = 50V$$

$$V_b = 100 \times 3 / (6+3) = 100/3V$$

註：以電壓源之負端為參考電位。

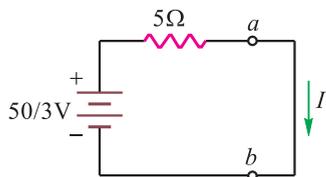
$$E_{Th} = V_{ab} = V_a - V_b = 50 - 100/3 = 50/3V$$

(2) 等效電阻 R_{Th} 之求解。令電壓源為零—短路。



$$R_{Th} = 6//6 + 6//3 = 3 + 2 = 5\Omega$$

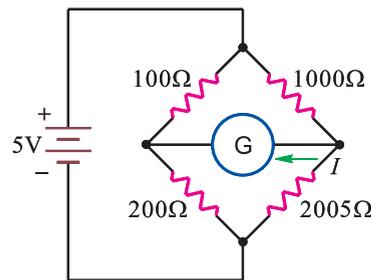
(3) 戴維寧等效電路。



$$\text{短路電流 } I = 50/3/5 = 10/3A$$

立即練習

如圖所示為一不平衡的惠斯登電路，若檢流計之內阻為 100Ω ，則流過檢流計之電流 I 為多少？

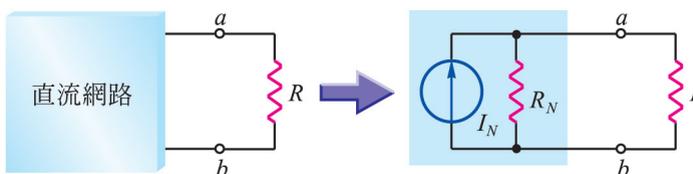


Ans $I = 3.6\mu A$ 。



4-5 諾頓定理

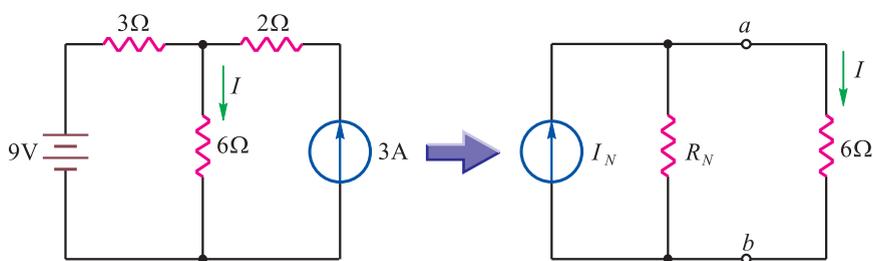
諾頓定理敘述為：在直流網路中，任意兩端點 (a 、 b) 間，皆可以一電流源 (I_N) 與並聯電阻 (R_N) 所組成之等效電路來替代。如圖 4-9 所示



■ 圖 4-9 諾頓等效電路

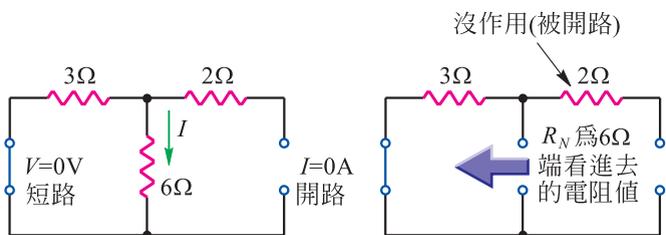
運用諾頓定理求解流經電路任兩端之電流，因電壓為兩端開路之壓降，則電流應為兩端短路流過的電流，所以電路任兩端應以短路的狀況求解。

以圖 4-10 為例，諾頓定理應用電路，其解法過程，如下所述：

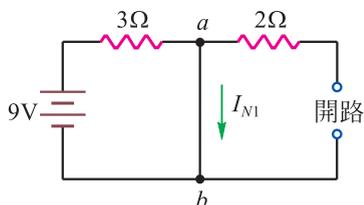


■ 圖 4-10 說明圖例

1. 兩電源電路，求流經電阻 6Ω 的電流為多少？
2. 諾頓等效電阻 R_N 的求解：
 - (1) 令所有電源為零。
 - (2) 電壓源呈短路，電流源呈開路。
 - (3) 電路呈純電阻電路。



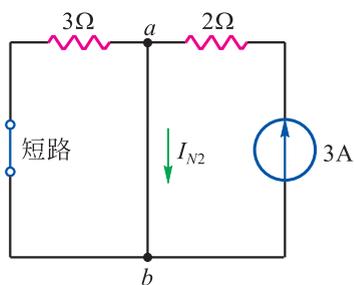
- (4) 2Ω 電阻被開路，等效電阻 $R_N = 3\Omega$ 。
3. 諾頓等效電流 I_N 的求解：
 - (1) 因電路有兩電源，利用重疊定理，解出 $I_N = I_{N1} + I_{N2}$ 。
 - (2) 首先令電流源 $I = 0A$ ，電路呈開路， 6Ω 兩端應以短路表示，並名短路電流為 I_{M1} 。



1. 電阻 2Ω 被開路，故沒作用。
 2. 短路電流 I_{M1} 為：

$$I_{M1} = \frac{9}{3} = 3A$$
，電流方向向下。

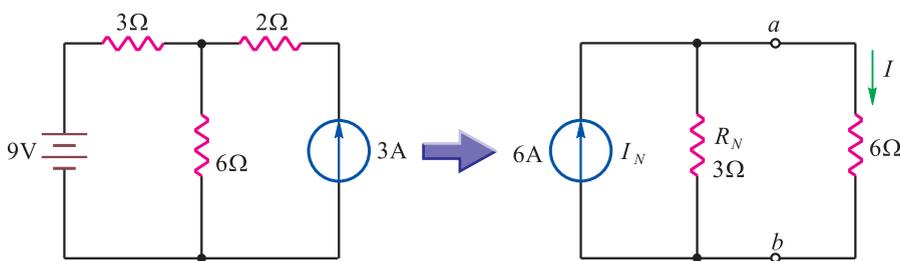
- (3) 再令電壓源 $V = 0V$ ，電路呈短路， 6Ω 兩端應以短路表示，並名短路電流為 I_{N2} 。



1. 電阻 3Ω 被短路，故沒作用。
2. 短路電流 I_{N2} 等於電流源，即：
 $I_{N2} = I = 3A$ ，電流方向向下。

(4) 兩電流方向相同，故諾頓等效電流 $I_N = I_{N1} + I_{N2} = 3 + 3 = 6A$ 。

4. 諾頓等效電路。



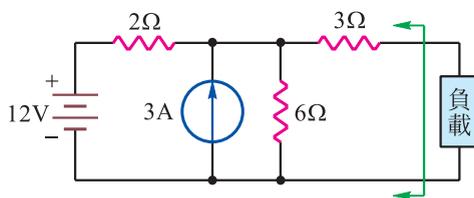
流經 6Ω 電阻之電流 I ，利用分流定則為：

$$I = \frac{3}{6+3} \times 6 = 2A$$



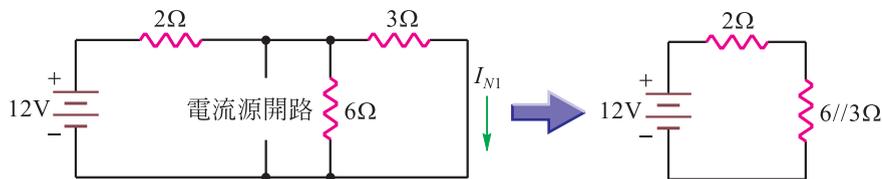
範例 4-5.1

如圖所示電路，試求等值之諾頓電路。



解 (1) 等效電流 I_N (短路電流) 之求法，雙電源電路應用重疊定理。

(a) 令電流源為零，求輸出端之短路電流 I_{N1} 。



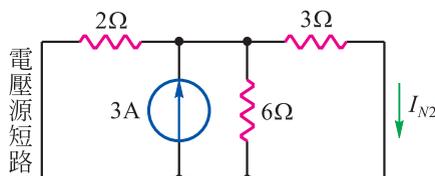
6Ω 與 3Ω 並聯之電阻值為 $6 \times 3 / (6+3) = 2\Omega$

利用串聯分壓定則， 2Ω 之電壓為 $12 \times 2 / (2+2) = 6V$

6V 為 6Ω 與 3Ω 並聯之電壓，則

$$I_{N1} = 6/3 = 2A ; \text{電流向下}$$

(b) 令電壓源為零，求輸出端之短路電流 I_{N2} 。



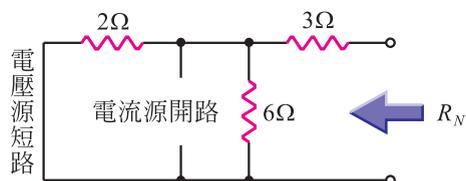
並聯分流定則，則 $I_{N2} = \frac{R_T}{3} \times 3A$

$$R_T = \frac{3 \times 6 \times 2}{3 \times 6 + 6 \times 2 + 2 \times 3} = \frac{36}{18 + 12 + 6} = \frac{36}{36} = 1\Omega$$

則 $I_{N2} = \frac{1}{3} \times 3A = 1A ; \text{電流方向向下}$

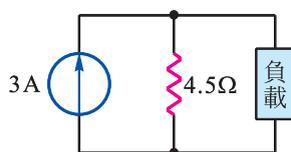
(c) 等效電流 $I_N = I_{N1} + I_{N2} = 2 + 1 = 3A$

(2) 等效電阻 R_N 之求法，令電壓源與電流源皆為零。



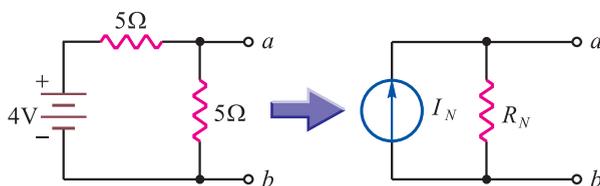
$$\text{等效電阻 } R_N = 2 // 6 + 3 = 2 \times 6 / (2 + 6) + 3 = 12 / 8 + 3 = 4.5\Omega$$

(3) 諾頓等效電路為：



立即練習

如圖所示，試求諾頓等效電路。

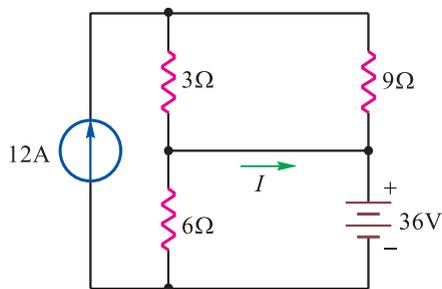


Ans $R_N = 2.5\Omega, I_N = 0.8A$ 。



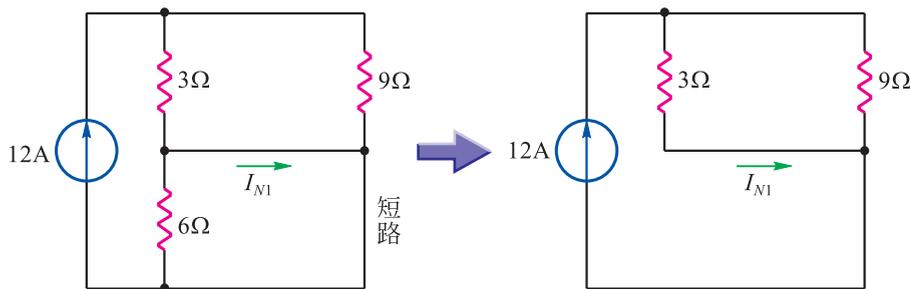
範例 4-5.2

如圖所示電路，試以諾頓定理求電路電流 I 為多少安培？



解 (1) 等效電流 I_N ，雙電源應用重疊定理。

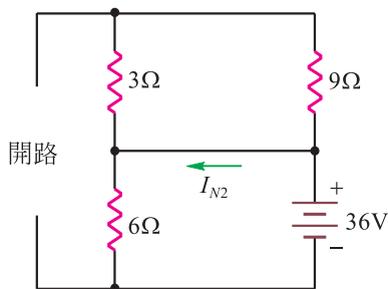
(a) 令電壓源等於零，電路如下圖所示。



6Ω 電阻被短路， I_{N1} 為流經 3Ω 之電流。依並聯分流定則：

$$I_{N1} = \frac{9}{3+9} \times 12 = 9\text{A} ; \text{電流向右}$$

(b) 令電流源等於零，電路如下圖所示。

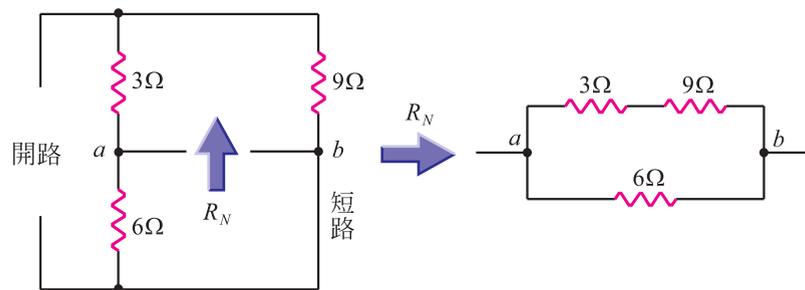


3Ω 與 9Ω 被短路沒作用，則

$$I_{N2} = 36/6 = 6\text{A} ; \text{電流向左}$$

(c) 等效電流 $I_N = I_{N1} - I_{N2} = 9 - 6 = 3\text{A}$

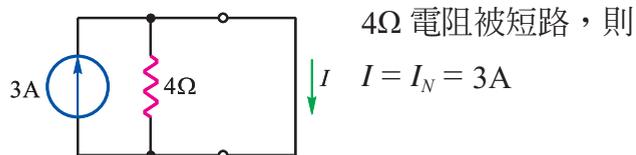
(2) 等效電阻 R_N ，令電壓源與電流源等於零，電路如下圖所示。



在等效電阻 a 、 b 端，自左右拉開成右圖，則

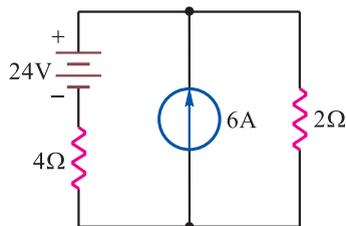
$$R_N = (3+9) // 6 = 12 \times 6 / (12+6) = 72 / 18 = 4\Omega$$

(3) 諾頓等效電路，如下圖，則電流為：



立即練習

如圖所示電路，試利用諾頓等效電路，求出流經 2Ω 電阻之電流為多少安培？

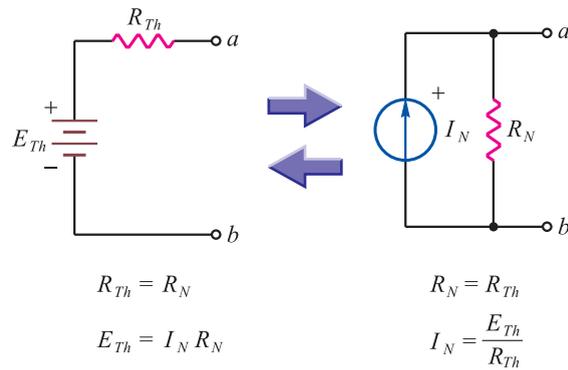


Ans 8A。



4-6 戴維寧與諾頓等效電路之轉換

戴維寧與諾頓等效電路之轉換，如同電壓源與電流源之置換，如圖 4-11 所示。轉換中，等效電阻值固定，不作變動， $R_{Th} = R_N$ 。等效電壓與等效電流依歐姆定律 $E = IR$ 或 $I = E/R$ 轉換。

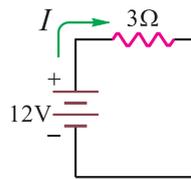


■ 圖 4-11 戴維寧與諾頓等效電路之轉換

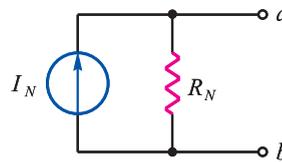


範例 4-6.1

如圖所示為戴維寧等效電路，試將其轉換成諾頓等效電路。

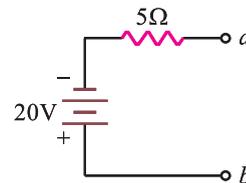


解 等效電流 $I_N = E_{Th}/R_{Th} = 12/3 = 4A$
 等效電阻 $R_N = R_{Th} = 3\Omega$ ；電阻值不變



立即練習

如圖所示為戴維寧等效電路，試將其轉換成諾頓等效電路。

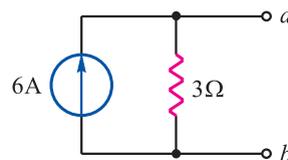


Ans $I_N = 4A$ (方向向下)， $R_N = 5\Omega$ 。

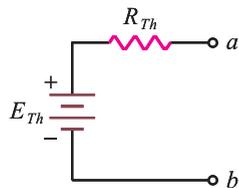


範例 4-6.2

如圖所示為諾頓等效電路，試將其轉換成戴維寧等效電路。

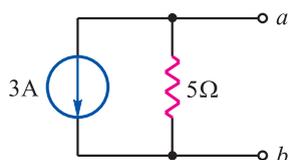


解 等效電壓 $E_{Th} = I_N \times R_N = 6 \times 3 = 18V$
 等效電阻 $R_{Th} = R_N = 3\Omega$; 電阻值不變



立即練習

如圖所示為諾頓等效電路，試將其轉換成戴維寧等效電路。



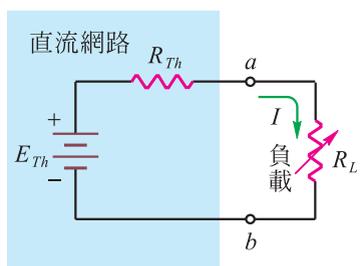
Ans $E_{Th} = 15V$ (+ 端向下) , $R_{Th} = 5\Omega$ 。



4-7 最大功率轉移定理

4

最大功率轉移定理之敘述為：在直流網路中，負載自網路獲取最大功率的條件，是當負載的總電阻值等於網路之戴維寧等效電阻值，如圖 4-12 所示。



最大功率轉移之條件：

$$R_L = R_{Th}$$

■ 圖 4-12 最大功率轉移

如圖 4-12 所示之網路，當 $R_L = R_{Th}$ 時，會將最大功率傳送至負載。最大功率為：

功率： $P = I^2 R$

網路之電流： $I = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L}$

負載之功率： $P_L = I^2 R_L = \left(\frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L}\right)^2 \times R_L$ ，

重點整理

當 $R_L = R_{Th}$ 時，負載可獲得最大功率

$$P_{\max} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$$

E_{Th} ：戴維寧等效電壓

R_{Th} ：戴維寧等效電阻

R_L ：負載電阻

P_{\max} ：負載最大功率輸出

因 $R_L = R_{Th}$ 時

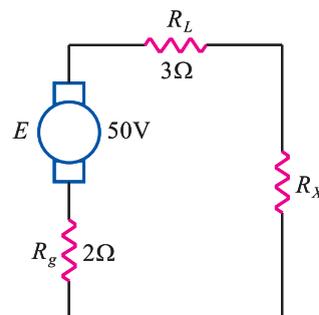
$$\text{最大功率爲：} P_{\max} = \left(\frac{E_{Th}}{2R_{Th}}\right)^2 \times R_{Th} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$$



範例 4-7.1

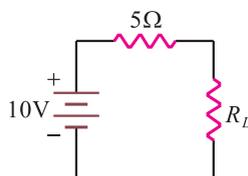
如圖所示電路，欲使 R_X 處獲得最大功率輸出，
試求 (1) $R_X = ?$ (2) 此最大功率爲多少？

解 (1) $R_X = R_{Th} = R_L + R_g = 3 + 2 = 5\Omega$
 (2) 最大功率 $P_{\max} = \frac{E^2}{4R_X} = \frac{50^2}{4 \times 5} = \frac{2500}{20} = 125\text{W}$



立即練習

如圖所示電路，試求 R_L 之最大消耗功率爲多少瓦特？

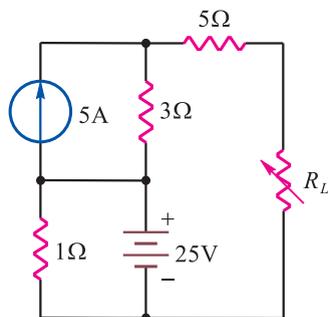


Ans $P_{\max} = 5\text{W}$ 。



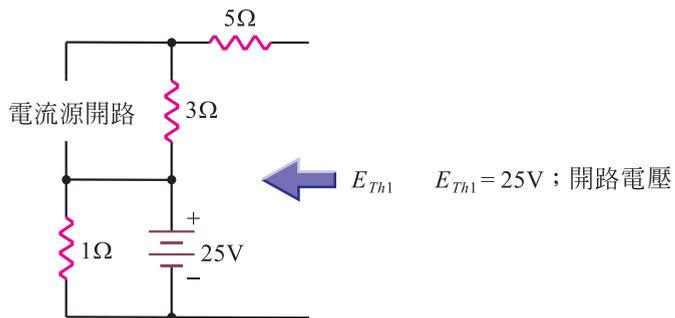
範例 4-7.2

如圖所示電路，純電阻負載 R_L 之最大消耗功率爲多少瓦特？

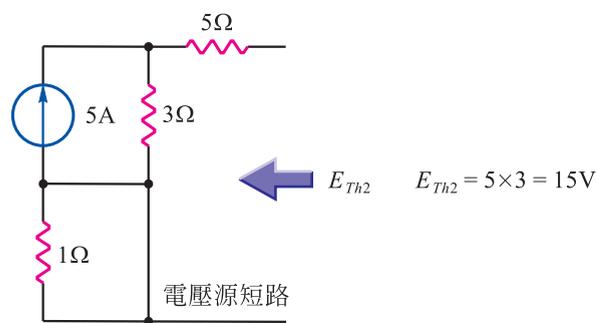


解 首先將電路轉換成戴維寧等效電路。

(1) 令電流源為零，電路如下圖所示，求等效電壓 E_{Th1} 。

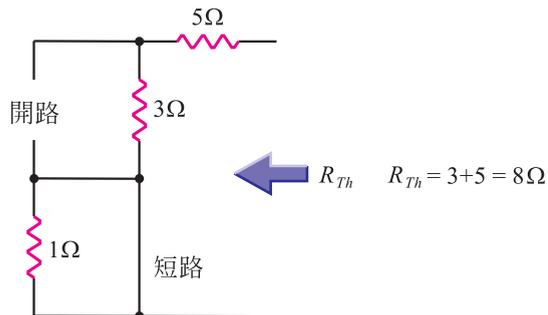


(2) 令電壓源為零，電路如下圖所示，求等效電壓 E_{Th2} 。

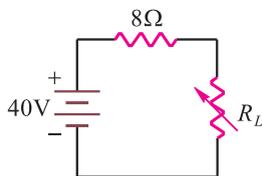


(3) 戴維寧等效電壓 $E_{Th} = E_{Th1} + E_{Th2} = 25 + 15 = 40V$

(4) 等效電阻，電壓源與電流源均應為零，電路如下圖所示。



(5) 戴維寧等效電路，如下圖所示。



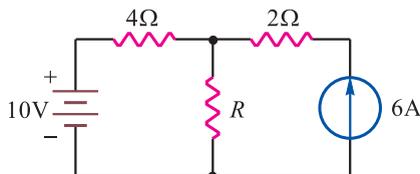
$R_L = 8\Omega$ 時，可獲得最大消耗功率，

$$P_{\max} = \frac{40^2}{4 \times 8} = \frac{1600}{32} = 50W$$

4

立即練習

如圖所之網路，若欲 R 可獲得最大功率，則 R 應為多少歐姆？



Ans $R = 4\Omega$ 。

隨堂練習

- () 1. 如圖 (1) 所示， A 為理想安培計，則流過 A 的電流為 (A)2A (B)3A (C)4A (D)5A。
- () 2. 決定圖 (2) 電路之 R_L 值，以使此電阻元件可吸收最大功率，則 R_L 值為 (A)1Ω (B)2Ω (C)3Ω (D)4Ω。

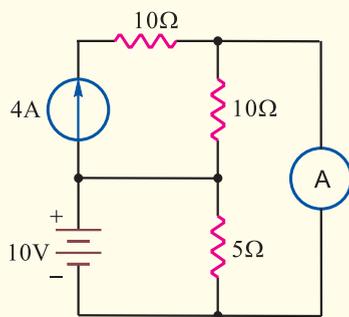


圖 (1)

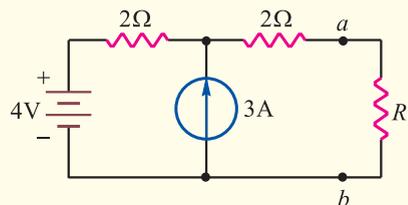


圖 (2)

- () 3. 如圖 (3) 所示電路， R_L 兩端的戴維寧等效電路為 (A) $E_{Th} = 12V, R_{Th} = 6\Omega$ (B) $E_{Th} = 6V, R_{Th} = 12\Omega$ (C) $E_{Th} = 4V, R_{Th} = 4\Omega$ (D) $E_{Th} = 12V, R_{Th} = 4\Omega$ 。
- () 4. 如圖 (3) 所示電路， R_L 兩端的諾頓等效電路為 (A) $I_N = 3A, R_N = 4\Omega$ (B) $I_N = 2A, R_N = 6\Omega$ (C) $I_N = 0.5A, R_N = 12\Omega$ (D) $I_N = 1A, R_N = 4\Omega$ 。
- () 5. 如圖 (3) 所示電路， R_L 所能獲得的最大功率是多少？ (A)6W (B)9W (C)12W (D)15W。
- () 6. 如圖 (4) 所示，求 6Ω 電阻所消耗的功率為 (A)6W (B)12W (C)24W (D)54W。

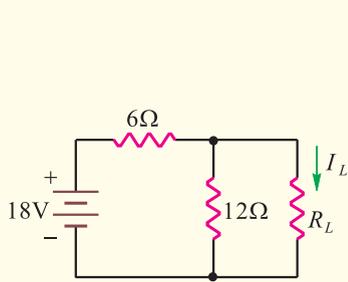


圖 (3)

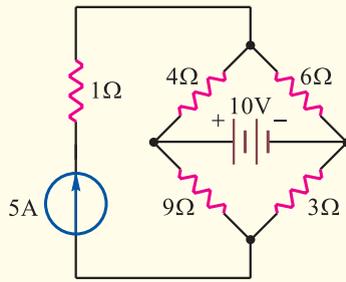


圖 (4)

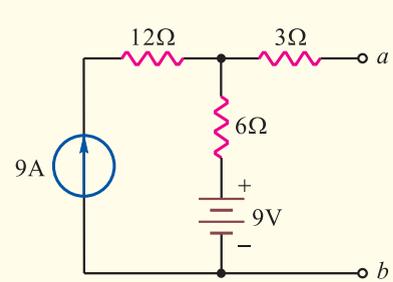


圖 (5)

- () 7. 如圖 (5) 所示之電路情形，求 a 、 b 兩點之諾頓等效電阻 R_N 及諾頓效電流 I_N ： (A) $R_N = 9\Omega$ ， $I_N = 5A$ (B) $R_N = 9\Omega$ ， $I_N = 3A$ (C) $R_N = 12\Omega$ ， $I_N = 3A$ (D) $R_N = 9\Omega$ ， $I_N = 7A$ 。
- () 8. 如圖 (6) 所示電路，試求 R 值為 (A) 10Ω (B) 20Ω (C) 30Ω (D) 40Ω 。
- () 9. 如圖 (7) 所示電路， R_x 為何值時，才可獲得最大功率？功率值為多少？ (A) 5Ω ， $1.5W$ (B) 10Ω ， $2.5W$ (C) 5Ω ， $3.5W$ (D) 10Ω ， $4.5W$ 。

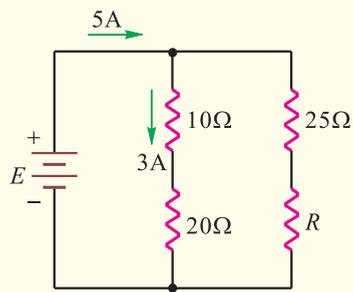


圖 (6)

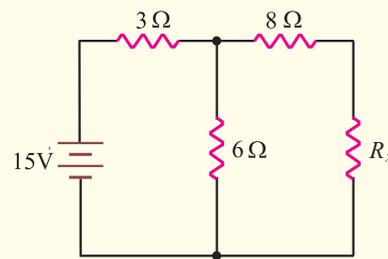


圖 (7)

- () 10. 一戴維寧等效電路其等效電阻為 R_{Th} ，外加負載電阻為 R_{Th} 的 a 倍，則此時負載上之功率與最大功率傳輸時之功率比為何？ (A) $4a : (a+1)^2$ (B) $2a : (a+1)^2$ (C) $4aa : (a+2)^2$ (D) $9a : (a+2)^2$



本章摘要

- 第 1 節** 1. 節點電壓法： $\frac{V - E_1}{R_1} - \frac{V - E_2}{R_2} - \frac{V - E_3}{R_3} - \dots = 0$ ，同克希荷夫電流定律。
2. 密爾門定理： V (節點電壓) = $I_T \times R_T$ ， I_T 為並聯各分路電流和， R_T 為並聯之總電阻。
- 第 2 節** 3. 迴路電流法：利用克希荷夫電壓定律列出各迴路之電壓式子，依方程式之解法求出電流值。
- 第 3 節** 4. 重疊定理：在多個電源電路中，流經任一元件之電流值，或跨越任一元件之電壓值，等於單獨電源在該元件產生之電流或電壓值的和 (極性相同，若極性相反應取其差)。
- 第 4 節** 5. 戴維寧定理：
- (1) 等效電阻 R_{Th} 的求解①令所有電源為零—電壓源呈短路，電流源呈開路。②電路呈純電阻電路—求得開路端之電阻。
- (2) 等效電壓 E_{Th} 的求解，求出開路端之電壓值。
- 第 5 節** 6. 諾頓定理：
- (1) 等效電阻 R_N 的求解①令所有電源為零，②求得開路端之電阻。
- (2) 等效電流 I_N 的求解，求出短路端之電流值。
- 第 6 節** 7. 戴維寧與諾頓等效電路之互換：
- (1) 等效電阻不變： $R_{Th} = R_N$
- (2) 電壓電流源依歐姆定律： $E_{Th} = I_N \times R_N$ ， $I_N = E_{Th} / R_{Th}$
- 第 7 節** 8. 最大功率轉移定理：在直流網路中，負載自網路獲取最大功率的條件，是當負載的總電阻值等於網路之戴維寧等效電阻值。轉移條件： $R_L = R_{Th}$ 。
9. 最大功率為： $P_{\max} = \left(\frac{E_{Th}}{2R_{Th}}\right)^2 \times R_{Th} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$



學後評量

EXERCISE

一、選擇題

基礎題

- () 1. 下列敘述何者錯誤？ (A) 節點電壓法利用 KCL 於節點寫出節點數學式 (B) 迴路電流法利用 KVL 於封閉路徑寫出迴路數學式 (C) 戴維寧等效電路為等效電壓源與等效電阻並聯而成 (D) 含有電壓源的電路仍可以透過節點的設立，應用節點電壓分析法。
- () 2. 迴路電流法之應用是依據 (A) 歐姆定律 (B) 戴維寧定理 (C) 克希荷夫電壓定律 (D) 克希荷夫電流定律。
- () 3. 應用迴路電流法，若有 N 個迴路，則可列出 (A) N (B) $N-1$ (C) 1 (D) $N+1$ 個電壓數學式。
- () 4. 應用戴維寧定律求解等效電路之等效電阻時，應將 (A) 電壓源短路，電流源開路 (B) 電壓源開路，電流源短路 (C) 電壓源、電流源皆開路 (D) 電壓源、電流源皆短路。
- () 5. 有關戴維寧定律之敘述，何者為錯？ (A) 任意二端之直線性網路，均可用一電壓源 (E_{Th}) 串聯一電阻 (R_{Th}) 的等值電路來代替 (B) 等值電路中，電壓源之值為二端間閉路電壓 (C) 等值電路中電阻之值為二端間將電壓源視為短路，而電流源視為斷路時之等值電阻 (D) 求網路中某部份之戴維寧電路時之首先步驟為：將某部份之電路移去，只留下二端點，以 a 、 b 註明之。
- () 6. 用節點電壓法分析電路，乃依據： (A) 歐姆定律 (B) 焦耳定理 (C) 克希荷夫電壓定律 (KVL) (D) 克希荷夫電流定律 (KCL)。
- () 7. 圖 (1) 電路中之戴維寧等效電阻 R_{Th} 與戴維寧等效電壓 E_{Th} 各是多少？ (A) $8\text{k}\Omega$ ， 10V (B) $8\text{k}\Omega$ ， 5V (C) $4\text{k}\Omega$ ， 10V (D) $4\text{k}\Omega$ ， 5V 。

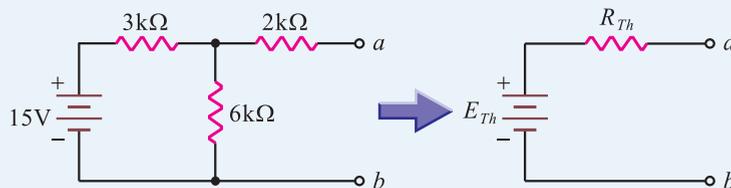


圖 (1)

- () 8. 如圖 (2) 所示， R_N (諾頓等效電阻) = (A) $10/3\Omega$ (B) $20/3\Omega$ (C) $40/3\Omega$ (D) $50/3\Omega$ 。
- () 9. 如圖 (3) 所示電路，則 V_1 為多少？ (A) 16V (B) 18V (C) 20V (D) 22V。

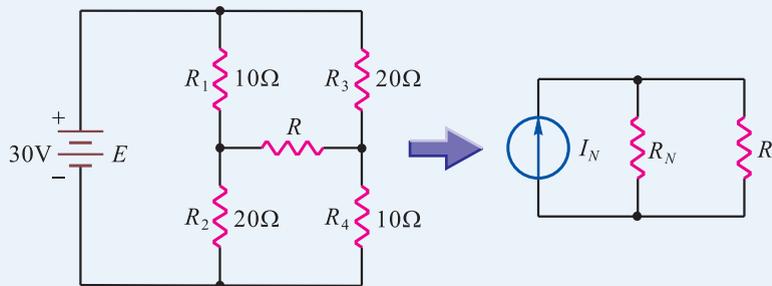


圖 (2)

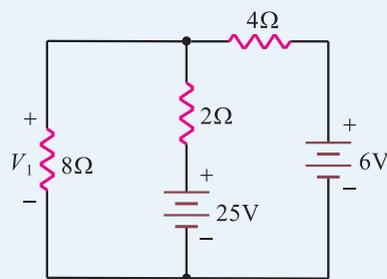


圖 (3)

進階題

- () 1. 將四個電壓為 1.5V，內阻為 1Ω 之電池串聯起來，對負載所能提供之最大功率為 (A) 2.25W (B) 9W (C) 1.5W (D) 4.5W。
- () 2. 如圖 (4) 所示電路，電流源所供給之功率為多少瓦特？ (A) 12 (B) 24 (C) 48 (D) 60。
- () 3. 如圖 (5) 所示之電路，由 4Ω 電阻所消耗之功率為多少瓦特？ (A) 4 (B) 8 (C) 16 (D) 22。

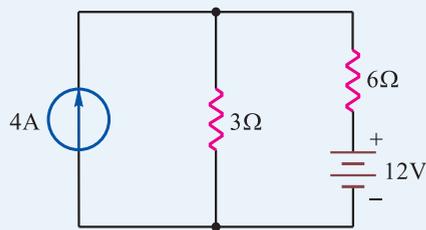


圖 (4)

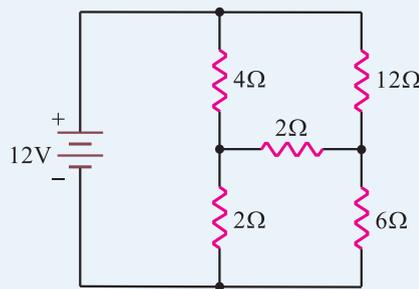


圖 (5)

- () 4. 如圖 (6) 所示之電路，流經 5Ω 電阻之電流 I 為多少安培？ (A) -30 (B) -15 (C) 10 (D) 15。
- () 5. 如圖 (7) 之直流電路，以迴路電流法所列出之方程式如下：
 $a_{11}I_1 + a_{12}I_2 + a_{13}I_3 = 15$
 $a_{21}I_1 + a_{22}I_2 + a_{23}I_3 = 10$
 $a_{31}I_1 + a_{32}I_2 + a_{33}I_3 = -10$
 則 $a_{11} + a_{22} + a_{33} = ?$ (A) 41 (B) 40 (C) 61 (D) 60。

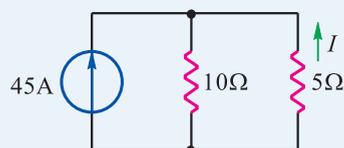


圖 (6)

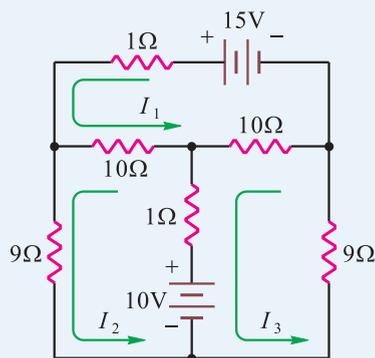


圖 (7)

- () 6. 有一內含直流電源及純電阻之兩端點電路，已知兩端點 a 、 b 間之開路電壓 $V_{ab} = 30V$ ，當 a 、 b 兩端點接上 20Ω 之電阻，此時電壓 $V_{ab} = 20V$ ；則此電路之 a 、 b 兩端需要接至多大之電阻才能得到最大功率輸出？
(A) 10Ω (B) 20Ω (C) 30Ω (D) 40Ω 。
- () 7. 承上題所述，此電路最大之功率輸出為 (A) $18W$ (B) $22.5W$ (C) $45W$ (D) $95W$ 。
- () 8. 如圖 (8) 所示電路，負載電阻 R_L 多少時，可獲得最大功率？ (A) 1Ω (B) 2Ω (C) 3Ω (D) 6Ω 。

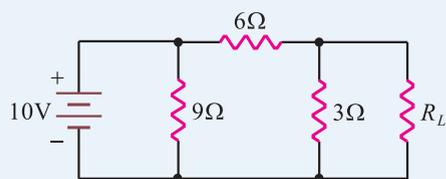


圖 (8)

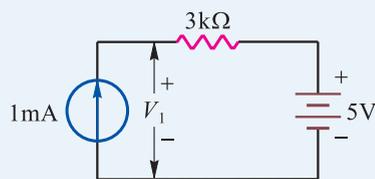


圖 (9)

- () 9. 如圖 (9) 的電路中，電壓值 V_1 是多少？ (A) $2V$ (B) $3V$ (C) $5V$ (D) $8V$ 。

應用題

- () 1. 如圖 (10) 所示之直流電路，求其中電流 $I = ?$ (A) $3A$ (B) $-3A$ (C) $1A$ (D) $-1A$ 。
- () 2. 如圖 (11) 之直流電路，求其中 $12V$ 電源供給之電功率 $P = ?$ (A) $180W$ (B) $168W$ (C) $156W$ (D) $144W$ 。

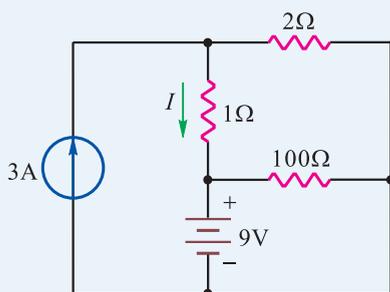


圖 (10)

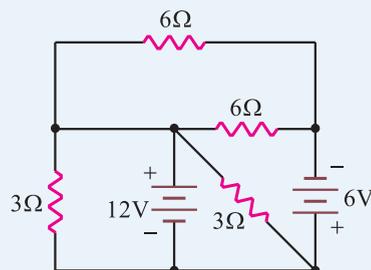


圖 (11)

- () 3. 如圖 (12), 求 E_2 在 R_2 上所產生之壓降為何? (A) $-4V$ (B) $10V$
(C) $-3V$ (D) $12V$ 。

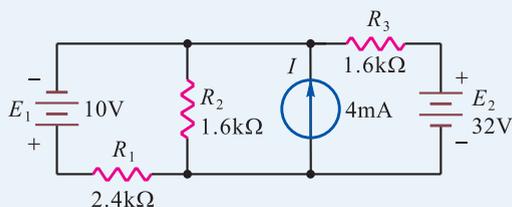


圖 (12)

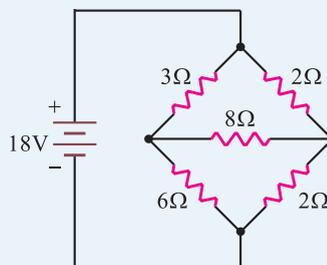


圖 (13)

- () 4. 如圖 (13) 所示, 8Ω 電阻所消耗之功率為 (A) $72/121W$ (B) $144/121W$
(C) $3/8W$ (D) $9/9W$ 。
- () 5. 如圖 (14) 所示, I_N (諾頓等效電流) = (A) $1/4 A$ (B) $3/4 A$ (C) $5/4 A$
(D) $7/4 A$ 。

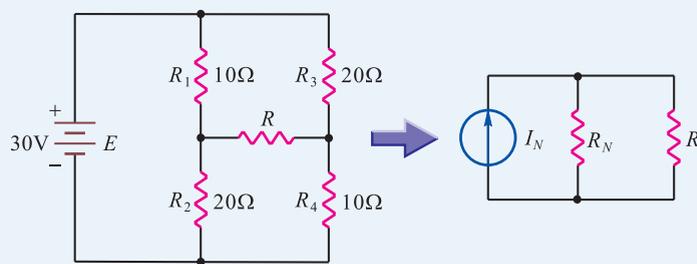


圖 (14)

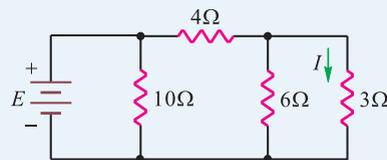


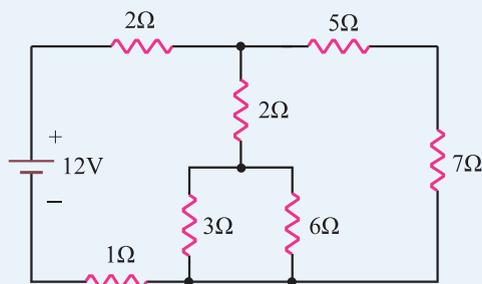
圖 (15)

- () 6. 有 8 個完全相同之直流電壓源, 每一個的開路電壓均為 $10V$, 內阻均為 0.5Ω , 現欲將此 8 個電壓源全部做串、並聯之連結組合後, 供電給 1Ω 的負載電阻, 下列那一項的組合可使該負載電阻消耗到最大功率?
(A) 8 個串聯 (B) 8 個並聯 (C) 2 個串聯成一組後再彼此並聯 (D) 每 4 個串聯成一組後再彼此並聯。

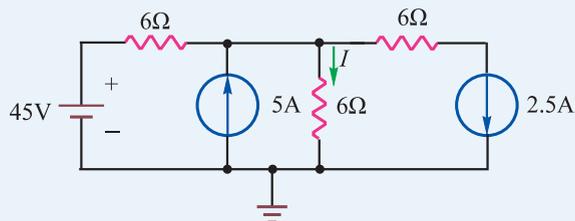
- () 7. 如圖 (15) 所示電路，若電流 I 為 2A ，則電源電壓 E 為多少？ (A) 10V
(B) 14V (C) 16V (D) 18V 。

二、計算題

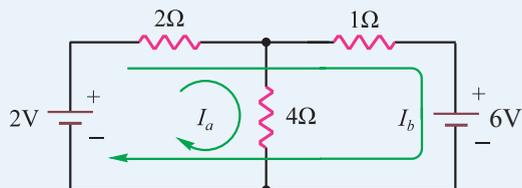
1. 如圖所示之電路，則 6Ω 電阻消耗之功率為何？



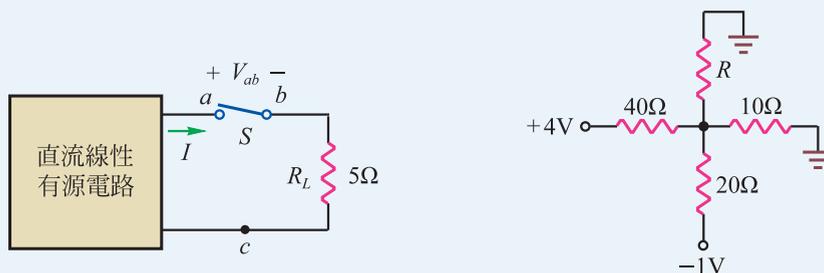
2. 如圖所示之電路，電流 I 為何？



3. 如圖所示之電路，迴路電流 (loop current) I_b 為何？



4. 如下左圖所示之電路，當開關 S 打開時 $V_{ab} = 36\text{V}$ ， S 接通時 $I = 6\text{A}$ ，則當 a 、 c 間短路時，電流 I 為何？



5. 如上右圖所示之電路，欲得電阻 R 之最大轉移功率 P ，則 (R, P) 為何？