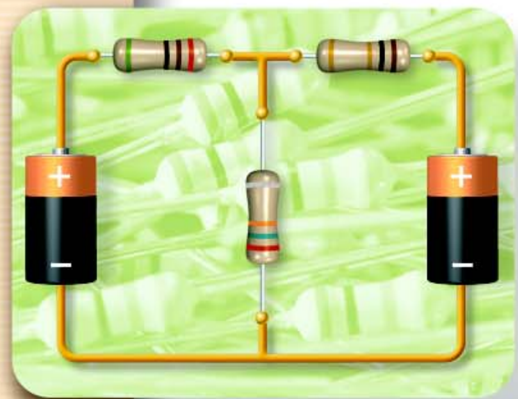
CH 4

直流迴路

在學過電阻的串、並聯電路後，這一章中我們要進一步介紹更複雜的網路分析方法。在實際的電路中，並不會像前一章中所介紹的基本電路那樣簡單，我們必須透過網路分析法來簡化電路，然後才能快速有效地計算出電路中的電壓或電流值。本章將為複雜的直流網路提供幾種有效的分析方法。

學習目標

- 認識重疊定理並應用在複雜的網路分析
- 利用戴維寧定理簡化網路
- 利用諾頓定理簡化網路
- 學習戴維寧等效電路與諾頓等效電路間的轉換
- 學習負載電阻的最大輸出功率
- 利用節點電壓法分析網路
- 利用迴路電流法分析網路

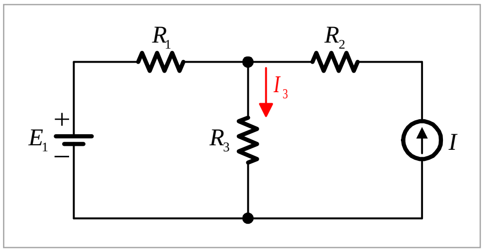


本章目錄

4-1　重疊定理

在分析含有多個電源之網路時，可利用本節所要介紹的**重疊定理**（superposition theorem）來解析電路。重疊定理告訴我們：當一個網路中有多個電流源或電壓源同時存在時，我們可以每次只考慮一個電壓源或一個電流源對電路的作用，並計算出對電路元件產生的電壓，或對電路分路產生的電流，然後將所有電流源與電壓源的作用相加減（同方向相加，反方向相減），得到的電壓值與電流值便是整個網路的分析結果。

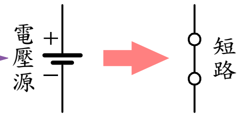
實例解析：以重疊定理分析圖 4-1 所示電路中流經電阻 R_3 的電流 I_3。



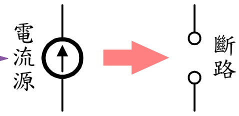
▲ 圖 4-1　重疊定理示範電路圖

Step 1　使網路只保留其中一個電源，而將其他的電源移開。移開電源的原則如下：

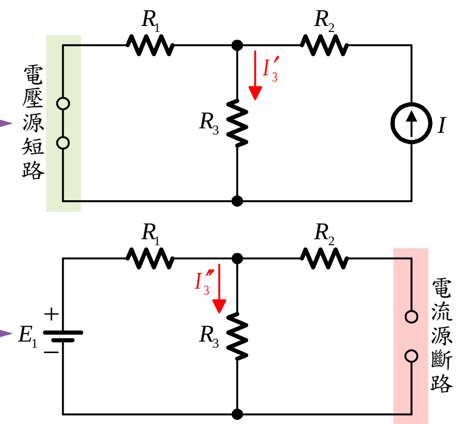
1.1　移開電壓源時，將兩端視為**短路**



1.2　移開電流源時，將兩端視為**斷路**



Step 2　分別畫出單一電源作用於電路時之電路圖（若網路中有兩個電源，就須畫出兩個單一電源的電路圖；若網路中有三個電源，就須畫出三個單一電源的電路圖）



Step 3 以串並聯方式解各單一電源之電路圖，並將得到的電壓或電流值重疊（相加減）即為所求（**電流方向相同者相加，相反者相減；電壓極性相同者相加，相反者相減**）

註：此定理較不適用於多電壓源之網路，而在電流源較多時最適用。

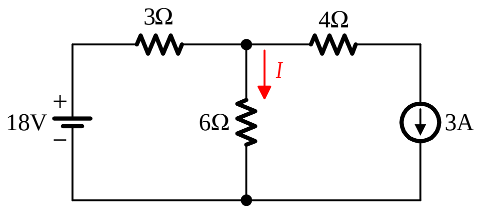
$$I_3' = \frac{R_1}{R_1 + R_3} I$$ （分流法）

$$I_3'' = \frac{E}{R_1 + R_3}$$

$I_3 = I_3' + I_3''$　（$\because$ I_3' 與 I_3'' 電流方向相同）

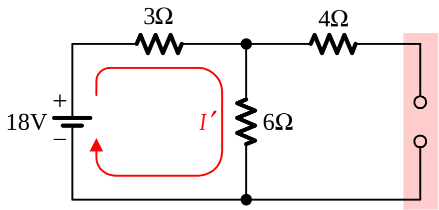
範例 4-1

如下圖所示電路，試利用重疊定理求電流 I 為多少？



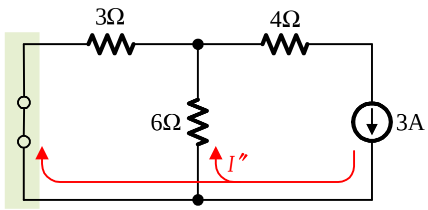
【解】(1) 考慮 18V 電壓源的效應，將 3A 電流源移開（斷路），如右圖所示：

$$I' = \frac{18\text{V}}{3\Omega + 6\Omega} = 2\text{ A}\ (\downarrow)$$



(2) 考慮 3A 電流源的效應，將 18V 電壓源移開（短路），如右圖所示：

$$I'' = \frac{3\Omega}{3\Omega + 6\Omega}(3\text{A}) = 1\text{ A}\ (\uparrow)$$



(3) 根據重疊定理：

$$I = I' - I'' = 2\text{A} - 1\text{A} = 1\text{ A}$$

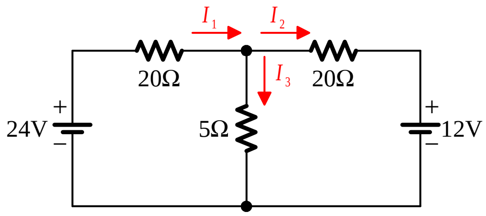
（$\because$ I' 與 I'' 之方向相反，以題示之 $I\downarrow$ 方向為正）

馬上練習　承上題，試利用重疊定理求 3Ω 電阻兩端的電壓為多少？

【答】$V_{3\Omega} = 12\text{ V}$。

範例 4-2

如下圖所示電路，試利用重疊定理求各分路的電流？



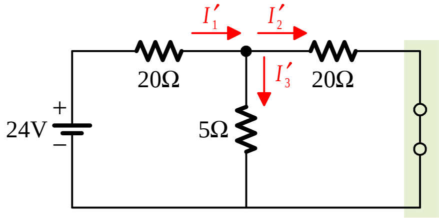
【解】(1) 考慮 24V 電壓源的效應，將 12V 電壓源移開（短路），如右下圖所示：

$$I_1' = \frac{24V}{20\Omega + (5\Omega // 20\Omega)} = \frac{24V}{20\Omega + 4\Omega} = 1\text{ A}\ (\rightarrow)$$

利用分流法可得：

$$I_2' = \frac{5\Omega}{5\Omega + 20\Omega}(1A) = 0.2\text{ A}\ (\rightarrow)$$

$$I_3' = \frac{20\Omega}{5\Omega + 20\Omega}(1A) = 0.8\text{ A}\ (\downarrow)$$



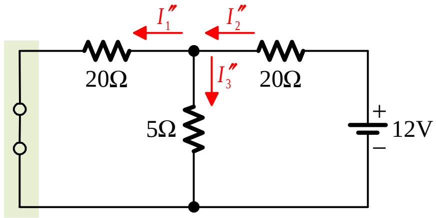
(2) 考慮 12V 電壓源的效應，將 24V 電壓源移開（短路），如右下圖所示：

$$I_2'' = \frac{12V}{20\Omega + (5\Omega // 20\Omega)} = \frac{12V}{20\Omega + 4\Omega} = 0.5\text{ A}\ (\leftarrow)$$

利用分流法可得：

$$I_1'' = \frac{5\Omega}{5\Omega + 20\Omega}(0.5A) = 0.1\text{ A}\ (\leftarrow)$$

$$I_3'' = \frac{20\Omega}{5\Omega + 20\Omega}(0.5A) = 0.4\text{ A}\ (\downarrow)$$



(3) 根據重疊定理：

$I_1 = I_1' - I_1'' = 1A - 0.1A = 0.9\text{ A}$ （以題示之 $I_1 \rightarrow$ 方向為正）

$I_2 = I_2' - I_2'' = 0.2A - 0.5A = -0.3\text{ A}$ （以題示之 $I_2 \rightarrow$ 方向為正）

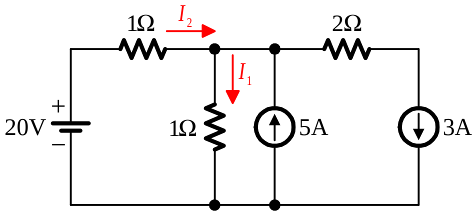
$I_3 = I_3' + I_3'' = 0.8A + 0.4A = 1.2\text{ A}$ （以題示之 $I_3 \downarrow$ 方向為正）

馬上練習 承上題，試利用重疊定理求 5Ω 電阻兩端的電壓為多少？

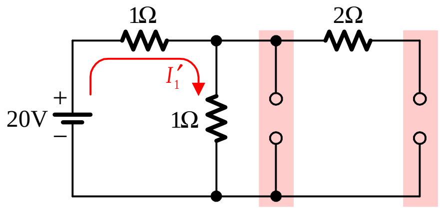
【答】$V_{5\Omega} = 6\text{ V}$。

範例 4-3

如下圖所示電路，試利用重疊定理求電流 I_1 為多少？

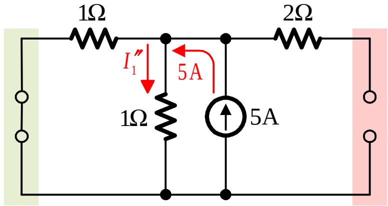


【解】(1) 考慮 20V 電壓源的效應，將 5A 及 3A 電流源移開（斷路），如右圖所示：



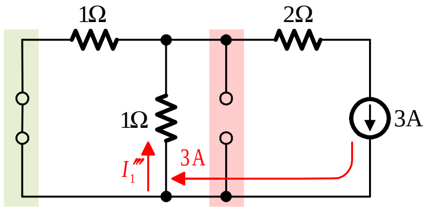
$$I_1' = \frac{20\text{V}}{1\Omega + 1\Omega} = 10\text{ A}（\downarrow）$$

(2) 考慮 5A 電流源的效應，將 20V 電壓源（短路）及 3A 電流源移開（斷路），如右圖所示：



$$I_1'' = \frac{1\Omega}{1\Omega + 1\Omega}(5\text{A}) = 2.5\text{ A}（\downarrow）$$

(3) 考慮 3A 電流源的效應，將 20V 電壓源（短路）及 5A 電流源移開（斷路），如右圖所示：



$$I_1''' = \frac{1\Omega}{1\Omega + 1\Omega}(3\text{A}) = 1.5\text{ A}（\uparrow）$$

(4) 根據重疊定理：

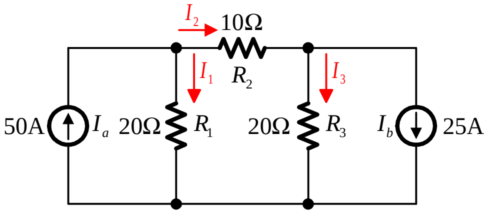
$$I_1 = I_1' + I_1'' - I_1''' = 10\text{A} + 2.5\text{A} - 1.5\text{A} = 11\text{ A}$$（以題示之 $I_1 \downarrow$ 方向為正）

馬上練習　承上題，試利用重疊定理求電流 I_2 為多少？

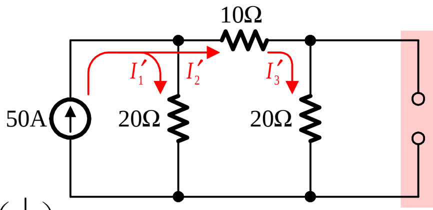
【答】$I_2 = 9\text{ A}$。

範例 4-4

如下圖所示電路，試利用重疊定理求各分路的電流？



【解】(1) 考慮 50A 電流源的效應，將 25A 電流源移開（斷路），如右圖所示。利用分流法可得：

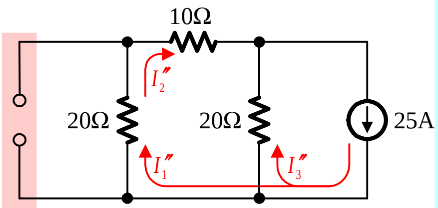


$$I_1' = \frac{(10\Omega + 20\Omega)}{20\Omega + (10+20)\Omega}(50\text{A}) = 30\text{ A}（\downarrow）$$

$$I_2' = \frac{20\Omega}{20\Omega + (10+20)\Omega}(50\text{A}) = 20\text{ A}（\rightarrow）$$

$$I_3' = I_2' = 20\text{ A}（\downarrow）$$

(2) 考慮 25A 電流源的效應，將 50A 電流源移開（斷路），如右圖所示。利用分流法可得：



$$I_1'' = \frac{20\Omega}{20\Omega + (20+10)\Omega}(25\text{A}) = 10\text{ A}（\uparrow）$$

$$I_2'' = I_1'' = 10\text{ A}（\rightarrow）$$

$$I_3'' = \frac{20\Omega + 10\Omega}{20\Omega + (20+10)\Omega}(25\text{A}) = 15\text{ A}（\uparrow）$$

(3) 根據重疊定理：

$I_1 = I_1' - I_1'' = 30\text{A} - 10\text{A} = 20\text{ A}$（以題示之 $I_1\downarrow$ 方向為正）

$I_2 = I_2' + I_2'' = 20\text{A} + 10\text{A} = 30\text{ A}$（以題示之 $I_2\rightarrow$ 方向為正）

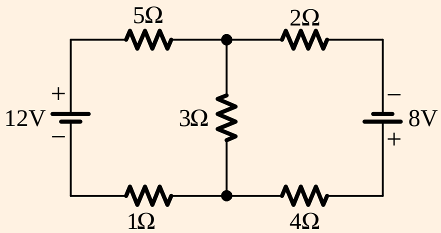
$I_3 = I_3' - I_3'' = 20\text{A} - 15\text{A} = 5\text{ A}$（以題示之 $I_3\downarrow$ 方向為正）

馬上練習 承上題所示電路，若 $I_a = 12\text{A}$、$I_b = 6\text{A}$、$R_1 = 3\Omega$、$R_2 = 3\Omega$、$R_3 = 6\Omega$，試利用重疊定理求電流 I_2 為多少？

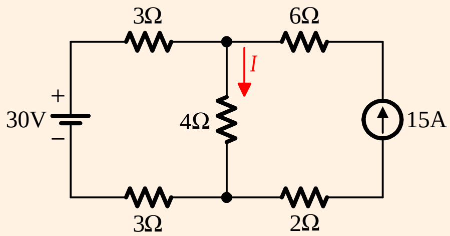
【答】$I_2 = 6\text{ A}$。

單元練習

1. 如圖(1)所示電路，試利用重疊定理求 3Ω 電阻器之端電壓為 ________ V。
2. 如圖(2)所示電路，試利用重疊定理求流過 4Ω 電阻器的電流為 ________ A。

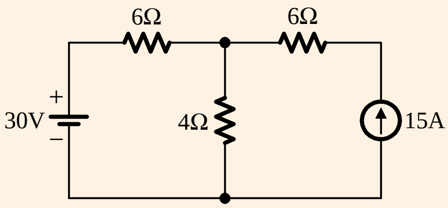


圖(1)

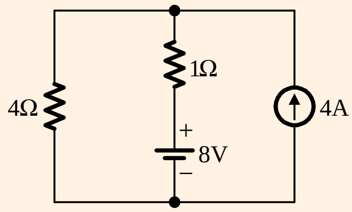


圖(2)

3. 如圖(3)所示電路，試利用重疊定理求流過 4Ω 電阻器的電流為 ________ A。
4. 如圖(4)所示電路，試利用重疊定理求 4Ω 電阻器之端電壓為 ________ V。

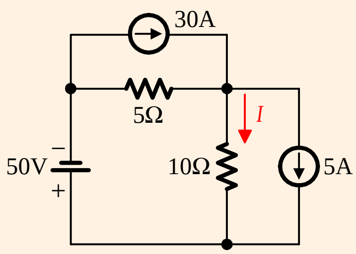


圖(3)



圖(4)

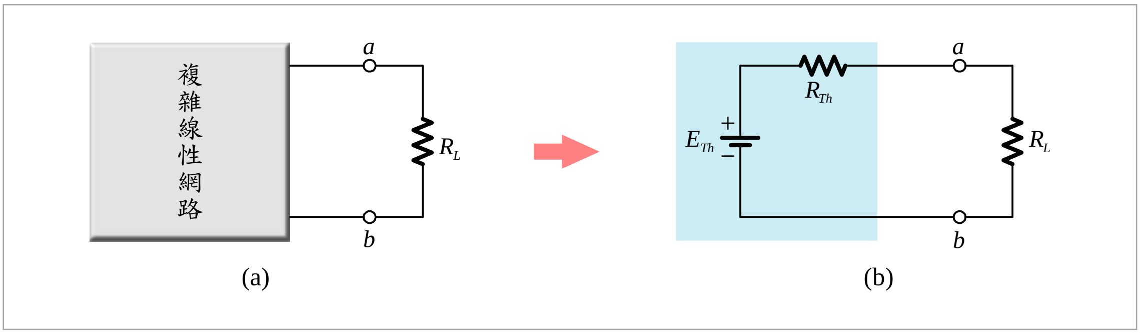
5. 如圖(5)所示電路，試利用重疊定理求電流 I = ________ A。



圖(5)

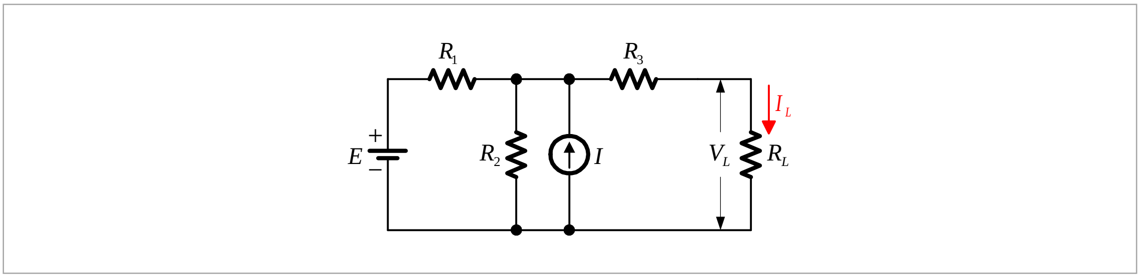
4-2　戴維寧定理

戴維寧定理（Thevenin's theorem）可以讓我們在分析複雜的網路時，以一個簡單又容易計算的電路來取代，方便我們得到電路的各項性質。這個定理告訴我們：**對於任何複雜的線性網路系統，都可以用單一的等效電壓源 E_{Th} 串聯一個等效電阻器 R_{Th} 來表示**，如圖 4-2 所示。



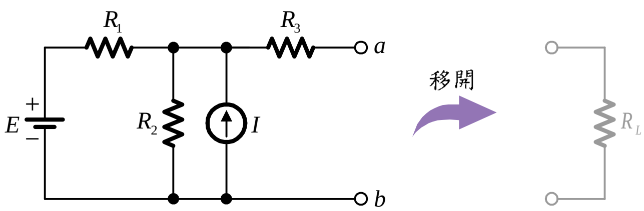
▲ **圖 4-2　戴維寧等效電路圖示**　任何複雜的線性網路，均可用一等效的電壓源 E_{Th} 串聯電阻 R_{Th} 來表示。

實例解析：以戴維寧定理分析圖 4-3 所示電路的負載電流 I_L 及電壓 V_L。

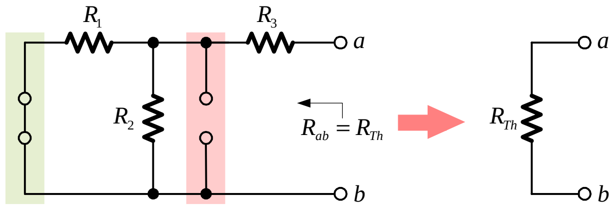


▲ **圖 4-3　戴維寧定理示範電路圖**

Step 1　**選取戴維寧等效電路的範圍**：欲求網路中任意二點間的戴維寧等效電路時，先移去此二點內的電路元件（並將此二端點標記為 a、b）

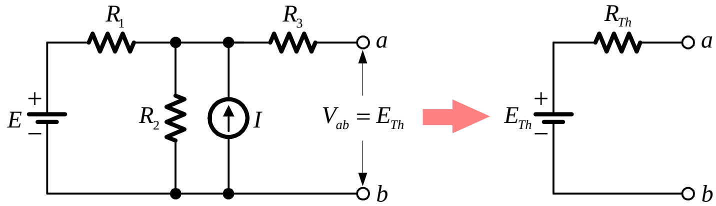


Step 2 計算**戴維寧等效電阻** R_{Th}：將原來網路中所有的**電壓源短路**、**電流源斷路**；若考慮電壓源或電流源的內電阻時，則須將內電阻保留在原電路。戴維寧等效電阻 R_{Th} 即為 a、b 二端點間的等效電阻值



$$R_{Th} = R_{ab} = (R_1 // R_2) + R_3 = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

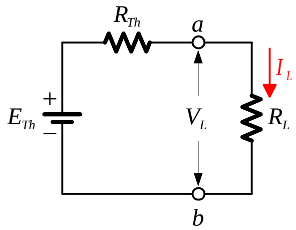
Step 3 計算**戴維寧等效電壓** E_{Th}：戴維寧等效電壓 E_{Th} 即為 a、b 二點間的開路電壓。對於較複雜的網路，我們可以利用串並聯電路及重疊定理等方法來求 E_{Th}



$$E_{Th} = V_{ab} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}E + I(R_1 // R_2)$$

（利用重疊定理求 V_{ab}）

Step 4 a、b 二點間的複雜網路可用電壓 E_{Th} 串聯電阻 R_{Th} 來取代，並將移去之元件接回 a、b 二端點，然後計算負載電流 I_L 及電壓 V_L

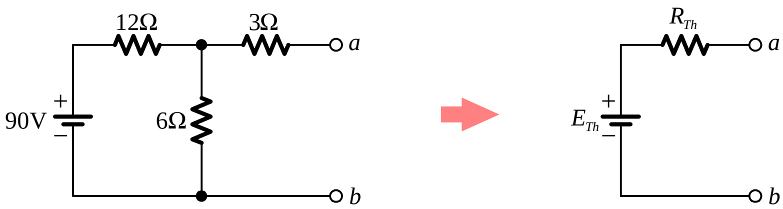


$$I_L = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L}$$

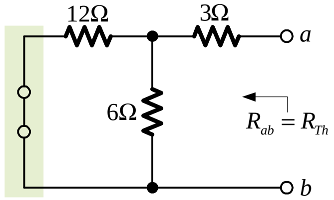
$$V_L = \frac{R_L}{R_{Th} + R_L}E_{Th}$$

範例 4-5

如下圖所示電路，試求其 a、b 端的戴維寧等效電路為何？

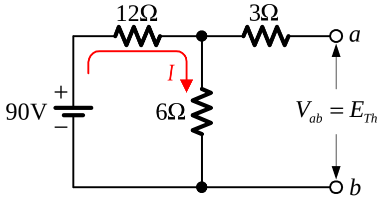


【解】(1) 將 90V 電壓源短路，如右圖所示，a 、 b 間的電阻值即為戴維寧等效電阻，則：



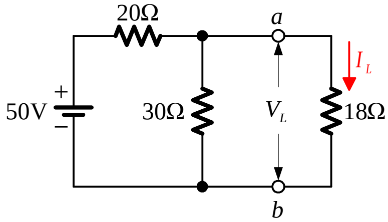
$$R_{Th} = 3\Omega + (12\Omega // 6\Omega)$$
$$= 3\Omega + \frac{(12\Omega)(6\Omega)}{12\Omega + 6\Omega} = 7\ \Omega$$

(2) a 、 b 間的開路電壓即為戴維寧等效電壓，如右圖所示，則：



$$E_{Th} = V_{6\Omega} = \frac{6\Omega}{12\Omega + 6\Omega}(90\text{V}) = 30\ \text{V}$$

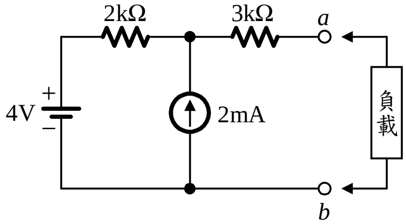
馬上練習 如右圖所示電路，將 a 、 b 二端點間電路化成戴維寧等效電路，試求通過負載的電流 I_L 及電壓 V_L 為多少？



【答】$I_L = 1\text{ A}$, $V_L = 18\text{ V}$ 。

範例 4-6

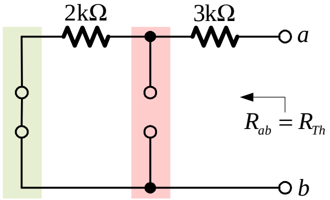
如下圖所示電路，有一獨立電壓源 4V ，一獨立電流源 2mA ，試求其戴維寧等效電路為何？



【解】(1) 求 R_{Th} ：

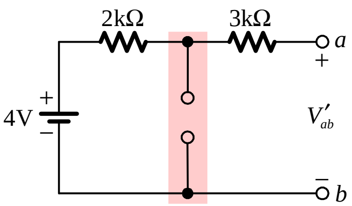
如下圖，分別將電壓源短路、電流源斷路，則 a 、 b 間等效電阻為兩電阻串聯，即：

$$R_{Th} = 2\text{k}\Omega + 3\text{k}\Omega = 5\text{ k}\Omega$$

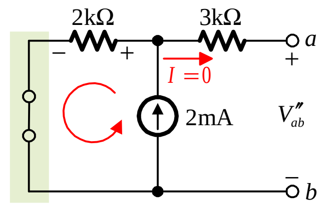


(2) 求 E_{Th} ：

如下圖所示，利用重疊定理求得：



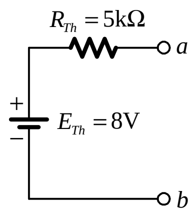
$V'_{ab} = 4\text{ V}$



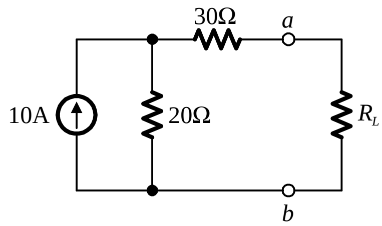
$V''_{ab} = (2\text{mA})(2\text{k}\Omega) = 4\text{ V}$

$\therefore E_{Th} = V_{ab} = V'_{ab} + V''_{ab} = 4\text{V} + 4\text{V} = 8\text{ V}$

(3) 由上述可知戴維寧等效電路如下圖所示。



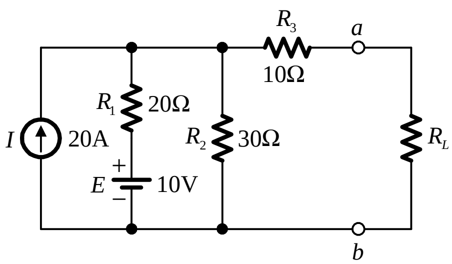
馬上練習　如右圖所示電路，試將 a 、 b 二點間電路化成戴維寧等效電路，則其戴維寧等效電阻 R_{Th} 及電壓 E_{Th} 為多少？



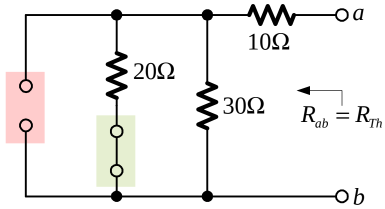
【答】 $R_{Th} = 50\ \Omega$, $E_{Th} = 200\text{ V}$ 。

範例 4-7

如下圖所示電路，試求其 a 、 b 端的戴維寧等效電路為何？



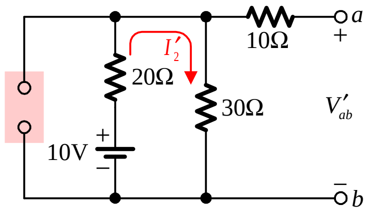
【解】(1) 移去負載電阻 R_L ，將電壓源短路、電流源斷路，如右圖所示， a 、 b 間電阻即為戴維寧等效電阻 R_{Th} ：

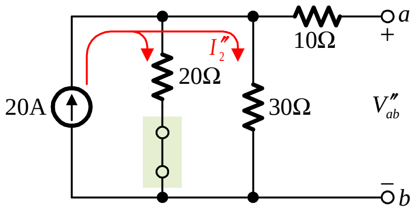


$$R_{Th} = R_{ab} = 10\Omega + (20\Omega // 30\Omega)$$

$$= 10\Omega + \frac{(20\Omega)(30\Omega)}{20\Omega + 30\Omega} = 10\Omega + 12\Omega = 22\ \Omega$$

(2) 如下圖所示，利用重疊定理可求得戴維寧等效電壓 V_{Th} ：





由分壓定則可得：

$$V_{ab}' = V_{30\Omega} = \frac{30\Omega}{20\Omega + 30\Omega}(10\text{V}) = 6\ \text{V}$$

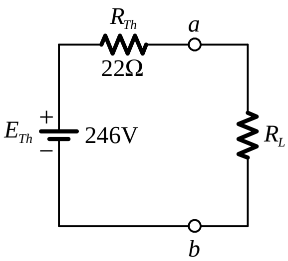
由分流定則可得：

$$I_2'' = \frac{20\Omega}{20\Omega + 30\Omega}(20\text{A}) = 8\ \text{A}$$

$$V_{ab}'' = I_2'' R_{30\Omega} = (8\text{A})(30\Omega) = 240\ \text{V}$$

$$E_{Th} = V_{ab} = V_{ab}' + V_{ab}'' = 6\text{V} + 240\text{V} = 246\ \text{V}$$

(3) 戴維寧等效電路如下圖所示：

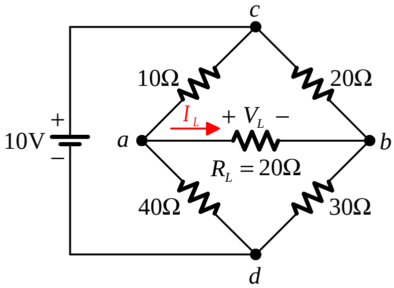


馬上練習 承上題所示電路，若 $I = 6\text{A}$ 、 $E = 36\text{V}$ ， $R_1 = 12\Omega$ 、 $R_2 = 6\Omega$ 、 $R_3 = 3\Omega$ ，試求戴維寧等效電阻 R_{Th} 及電壓 V_{Th} 為多少？

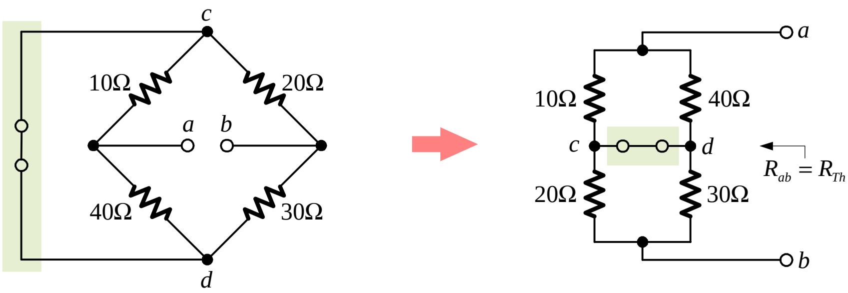
【答】 $R_{Th} = 7\ \Omega$, $E_{Th} = 36\ \text{V}$ 。

範例 4-8

如下圖所示電路，試求流經負載電阻之電流 I_L 及兩端電壓 V_L 為多少？



【解】(1) 移去負載電阻 R_L，將電壓源短路，如下圖所示，則 a 、 b 間電阻即為戴維寧等效電阻 R_{Th} ：



$$R_{Th} = R_{ab} = (10Ω // 40Ω) + (20Ω // 30Ω)$$

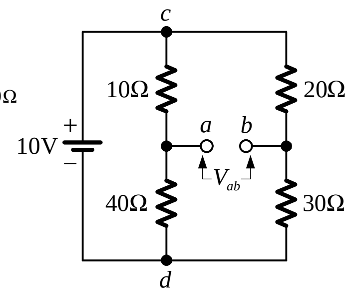
$$= \frac{(10Ω)(40Ω)}{10Ω + 40Ω} + \frac{(20Ω)(30Ω)}{20Ω + 30Ω} = 8Ω + 12Ω = 20\ Ω$$

(2) 如右圖所示，可求得戴維寧等效電壓 E_{Th} ：

$$E_{Th} = V_{ab} = V_a - V_b = V_{ad} - V_{bd} = V_{40Ω} - V_{30Ω}$$

$$= \frac{40Ω}{10Ω + 40Ω}(10V) - \frac{30Ω}{20Ω + 30Ω}(10V)$$

$$= 8V - 6V = 2\ V$$

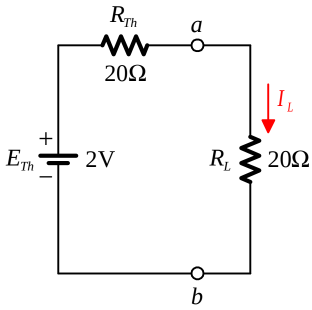


注意：開路時（移去負載）的 V_{ab} 與接上負載時的 V_{ab} 不相等。

(3) 戴維寧等效電路如右圖所示，則負載電流為：

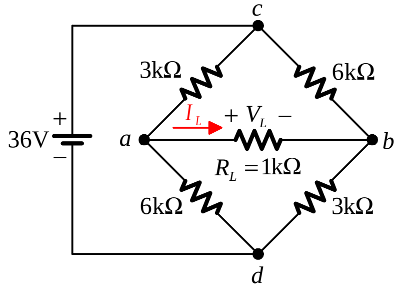
$$I_L = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{2V}{20Ω + 20Ω} = 0.05\ A$$

$$V_L = I_L R_L = (0.05A)(20Ω) = 1\ V$$



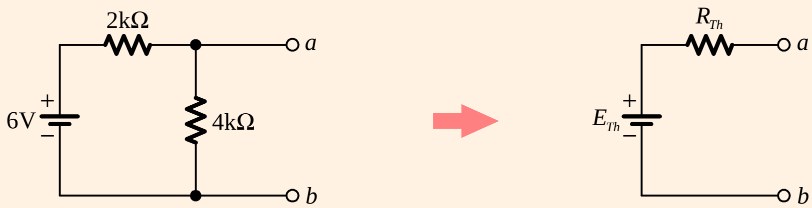
馬上練習 如右圖所示電路，試求流經負載電阻之電流 I_L 及兩端電壓 V_L 為多少？

【答】$I_L = 2.4$ mA , $V_L = 2.4$ V。



單元評量

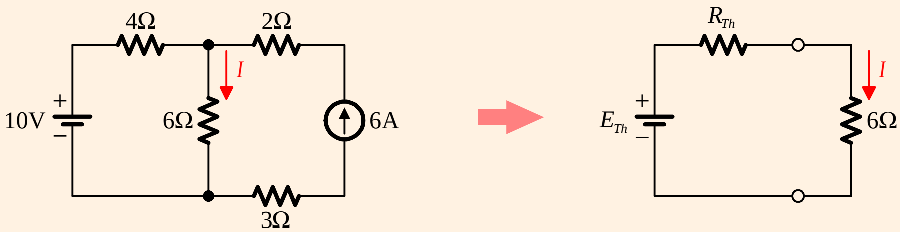
1. 如圖(1)所示電路，(b)圖為(a)圖的戴維寧等效電路，則其等效電壓 E_{Th} = ________ V，等效電阻 R_{Th} = ________ Ω。



(a) (b)

圖(1)

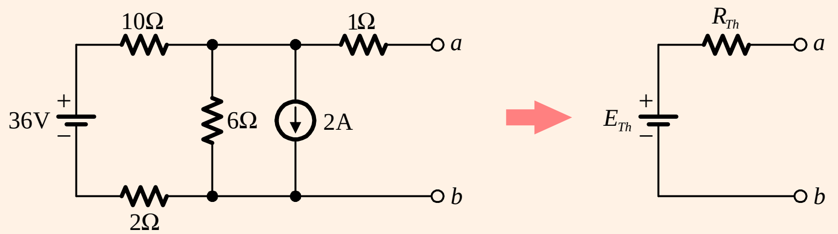
2. 如圖(2)所示電路，試求 6Ω 電阻之戴維寧等效電路：
E_{Th} = ________ V，R_{Th} = ________ Ω 及 I = ________ A。



(a) (b)

圖(2)

3.　如圖(3)所示電路，試求 E_{Th} = ________ V，R_{Th} = ________ Ω。

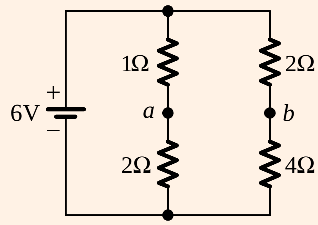


(a)　　(b)

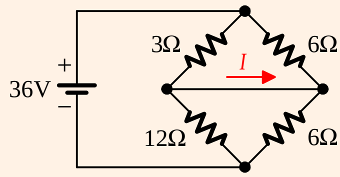
圖(3)

4.　如圖(4)所示電路，試求 a、b 兩端之電壓為 ________ V。

5.　如圖(5)所示電路，試求 I = ________ A。（請用戴維寧定理求之）



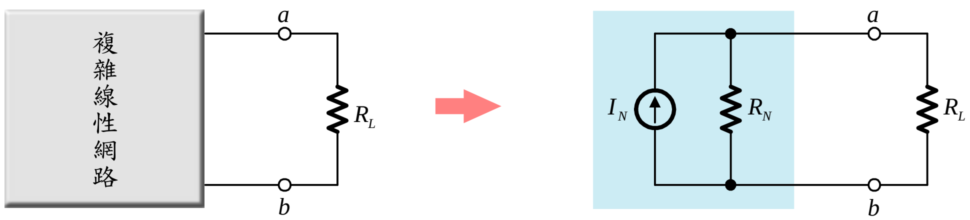
圖(4)



圖(5)

4-3　諾頓定理

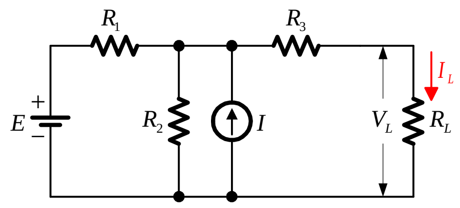
諾頓定理（Norton's theorem）是一個類似戴維寧定理的網路分析法。這個定理告訴我們：在任何一個包含電源的網路系統，其中任意兩端點的網路，都可以用單一的等效電流源 I_N 並聯一個等效電阻器 R_N 來取代，如圖 4-4 所示。



(a)　　(b)

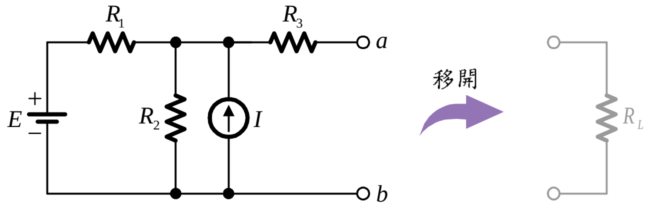
▲ **圖 4-4　諾頓等效電路圖示**　任何複雜的線性網路，均可用一等效的電流源 I_N 並聯電阻 R_N 來表示。

實例解析：以諾頓定理分析圖 4-5 所示電路的負載電流 I_L 及電壓 V_L。

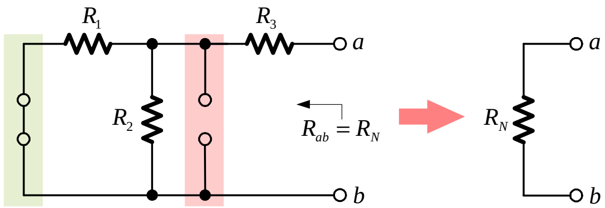


▲ 圖 4-5　諾頓定理示範電路圖

Step 1　選取**諾頓等效電路**的範圍：欲求網路中任意二點間的諾頓等效電路時，先移去此二點內的電路元件（並將此二端點標記為 a、b）

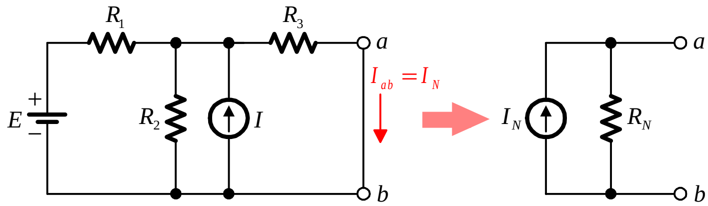


Step 2　計算**諾頓等效電阻** R_N：將原來網路中所有的**電壓源短路**、**電流源斷路**；若考慮電壓源或電流源的內電阻時，則須將內電阻保留在原電路。諾頓等效電阻 R_N 即為 a、b 二端點間的等效電阻值



$$R_N = R_{ab} = (R_1 // R_2) + R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

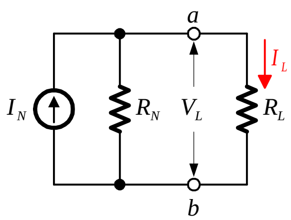
Step 3　計算**諾頓等效電流** I_N：將網路中的電壓源與電流源接回，並將 a、b 二端點短路。諾頓等效電流 I_N 即為 a、b 二點間的短路電流。對於較複雜的網路，我們可以利用串並聯電路及重疊定理等方法來求 I_N



$$I_N = I_{ab} = \frac{R_2}{R_2 + R_3}\,\frac{E}{R_1 + (R_2 // R_3)} + \frac{R_1 // R_2}{R_3 + (R_1 // R_2)} I$$

（利用重疊定理求 I_{ab}）

Step 4　a、b 二點間的複雜網路可用電流 I_N 並聯電阻 R_N 來取代，並將移去之元件接回 a、b 二端點，然後計算負載電流 I_L 及電壓 V_L

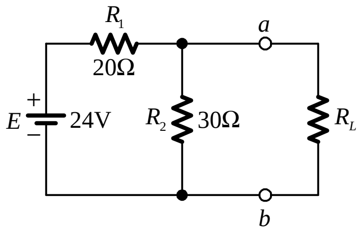


$$I_L = \frac{R_N}{R_N + R_L} I_N$$

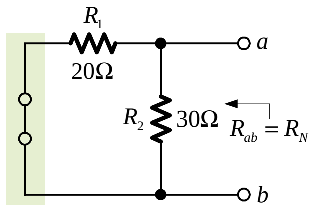
$$V_L = I_L R_L = \left(\frac{R_N}{R_N + R_L} I_N\right) R_L$$

範例 4-9

如下圖所示電路，試求其 a 、 b 端的諾頓等效電路為何？

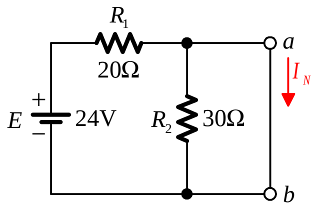


【解】(1) 移去負載電阻 R_L，並將 24V 電壓源短路，如右上圖所示，則 a 、 b 間的電阻值即為諾頓等效電阻，即：



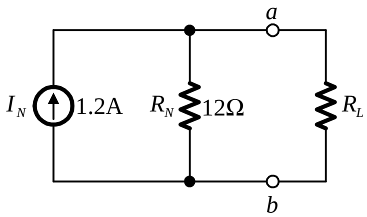
$$R_N = 20\Omega // 30\Omega = \frac{(20\Omega)(30\Omega)}{20\Omega + 30\Omega} = 12\ \Omega$$

(2) a 、 b 間的短路電流即為諾頓等效電流，如右圖所示，由於 a 、 b 間短路，故無電流通過 R_2，則：



$$I_N = \frac{E}{R_1} = \frac{24\text{V}}{20\Omega} = 1.2\ \text{A}$$

(3) 諾頓等效電路如下圖所示：

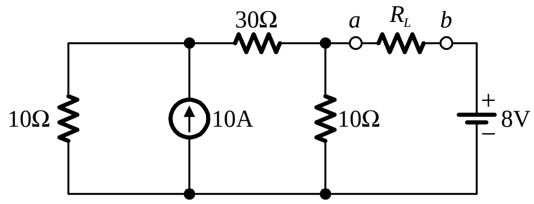


馬上練習 承上題所示電路，若 $E = 9\text{V}$ 、 $R_1 = 3\Omega$ 、 $R_2 = 6\Omega$ 、 $R_L = 10\Omega$ ，試將 a 、 b 二端點間電路化成諾頓等效電路，並求通過負載電阻 R_L 的電流 I_L 及電壓 V_L 為多少？

【答】 $I_L = 0.5\ \text{A}$, $V_L = 5\ \text{V}$ 。

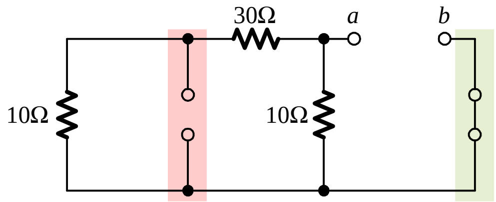
範例 4-10

如下圖所示電路，試將 a 、 b 二端點間電路化成諾頓等效電路；如果負載電阻 $R_L=12\Omega$ 時，試求通過 R_L 的電流與電壓為多少？



【解】(1) 求 R_N ：

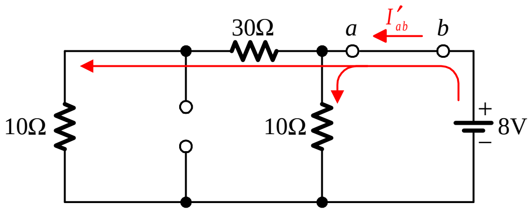
如右圖，移開負載電阻 R_L ，分別將電壓源短路、電流源斷路，則 a 、 b 間的等效電阻為：

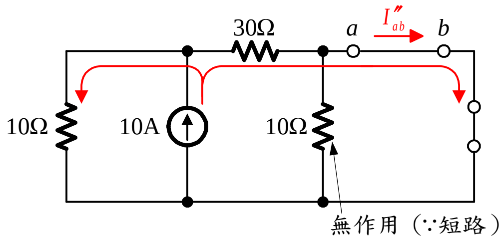


$$R_N = (30\Omega+10\Omega)//10\Omega = \frac{(30\Omega+10\Omega)(10\Omega)}{(30\Omega+10\Omega)+10\Omega} = 8\,\Omega$$

(2) 求 I_N ：

將 a 、 b 間短路，如下圖所示，利用重疊定理求得：



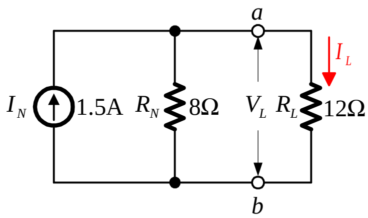


$$I'_{ab} = \frac{8\text{V}}{(30\Omega+10\Omega)//10\Omega} = \frac{8\text{V}}{8\Omega} = 1\text{ A}（\leftarrow） \qquad I''_{ab} = \frac{10\Omega}{10\Omega+30\Omega}(10\text{A}) = 2.5\text{ A}（\rightarrow）$$

考慮電流的方向後，可得：

$$I_N = I_{ab} = I'_{ab}+I''_{ab} = (-1\text{A})+2.5\text{A} = 1.5\text{ A}（\rightarrow）$$

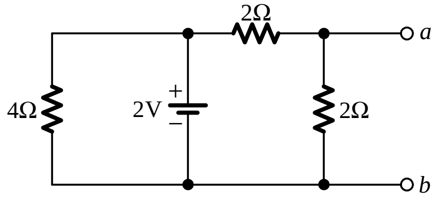
(3) 由上述可知諾頓等效電路如右圖所示，接回負載電阻 R_L ，則：



$$I_L = \frac{R_N}{R_N+R_L}I_N = \frac{8\Omega}{8\Omega+12\Omega}(1.5\text{A}) = 0.6\text{ A}$$

$$V_L = I_L R_L = (0.6\text{A})(12\Omega) = 7.2\text{ V}$$

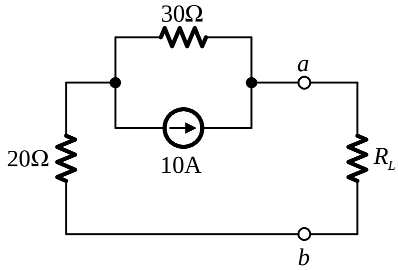
馬上練習 如下圖所示電路，試將 a 、 b 二點間電路化成諾頓等效電路，則其諾頓等效電阻 R_N 及電流 I_N 為多少？



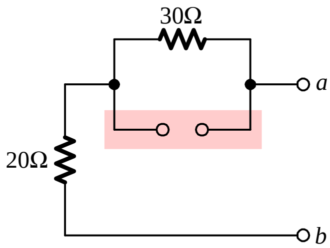
【答】$R_N = 1\Omega$, $I_N = 1\text{A}$。

範例 4-11

如下圖所示電路，試求其 a 、 b 端的諾頓等效電路為何？



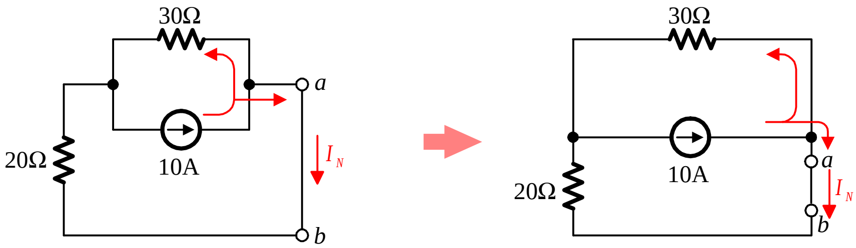
【解】(1) 移去負載電阻 R_L ，將電流源斷路，如右圖所示，則 a 、 b 間電阻即為諾頓等效電阻 R_N ：



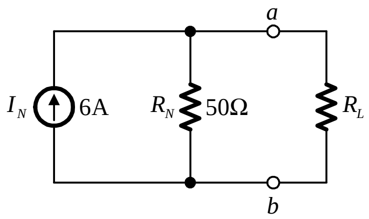
$$R_N = R_{ab} = 30\Omega + 20\Omega = 50\ \Omega$$

(2) 將 a 、 b 間短路，如下圖所示，利用分流法可求得諾頓等效電流 I_N ：

$$I_N = \frac{30\Omega}{20\Omega + 30\Omega}(10\text{A}) = 6\ \text{A}$$

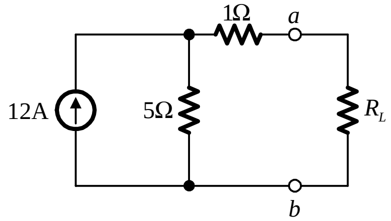


(3) 將求得的諾頓等效電阻 R_N 與等效電流源 I_N 並聯，並將移去的負載接回，如右圖所示。



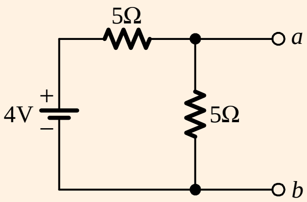
馬上練習 如右圖所示電路，試求其 a 、 b 端的諾頓等效電路為何？

【答】$R_N = 6\,\Omega$, $I_N = 10$ A。

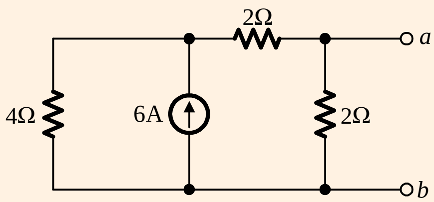


單元評量

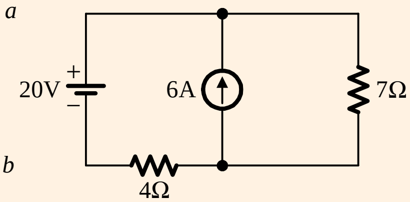
1. 如圖(1)所示電路，試求其諾頓等效電路之等效電流 I_N = ______ A，等效電阻 R_N = ______ Ω。
2. 如圖(2)所示電路，試求其諾頓等效電路之等效電流 I_N = ______ A，等效電阻 R_N = ______ Ω。
3. 如圖(3)所示電路，試利用諾頓等效電路，找出流經 7Ω 之電流 I = ______ A。



圖(1)

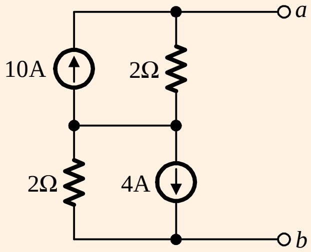


圖(2)

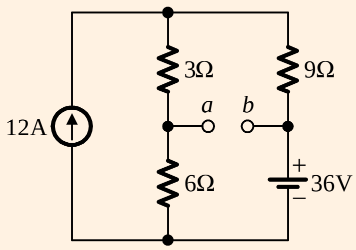


圖(3)

4. 如圖(4)所示電路，試求其諾頓等效電路之等效電流 I_N = ______ A，等效電阻 R_N = ______ Ω。
5. 如圖(5)所示電路，試求其諾頓等效電路之等效電流 I_N = ______ A，等效電阻 R_N = ______ Ω。



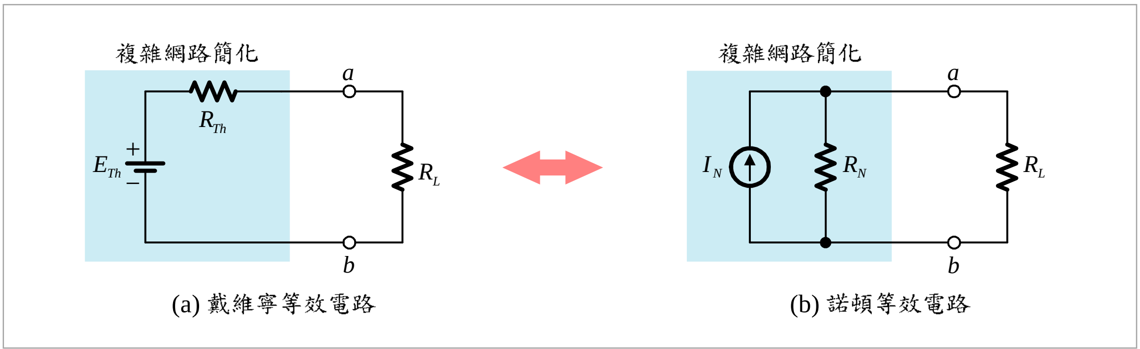
圖(4)



圖(5)

※ 4-4　戴維寧與諾頓等效電路之轉換

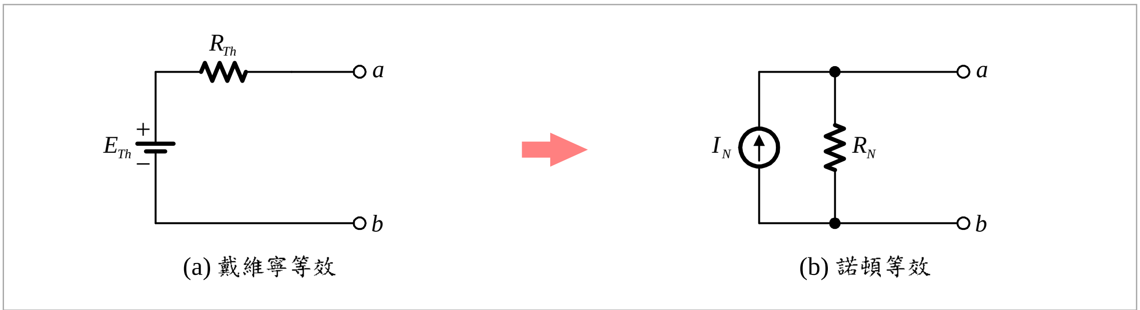
在複雜網路的分析中，可以透過戴維寧定理或是諾頓定理將電路簡化，以等效電路取代。如果同一個網路分別用戴維寧定理與諾頓定理表示成等效電路，則這個網路的戴維寧等效電路與諾頓等效電路，對於同樣的負載都應該有相同的效應。也就是說，戴維寧等效電路與諾頓等效電路間應該存在某些關係，如圖 4-6 所示電路。



▲ 圖 4-6　**戴維寧定理與諾頓定理的關係**　同一個網路可分別用戴維寧與諾頓等效電路來取代，因此其間存在某一轉換關係。

轉換關係

1. 戴維寧等效電路轉換成諾頓等效電路（如圖 4-7）：

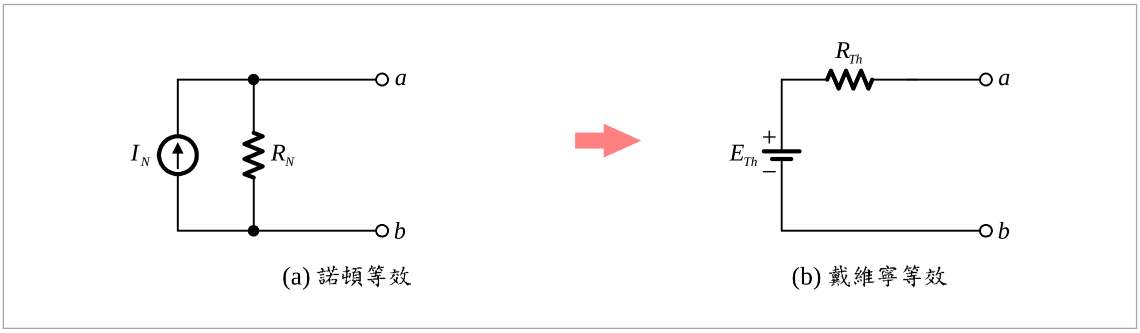


▲ 圖 4-7　**戴維寧等效電路轉換成諾頓等效電路**

Σ 重要公式

$$I_N = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} \qquad R_N = R_{Th}$$

2. 諾頓等效電路轉換成戴維寧等效電路（如圖 4-8）：

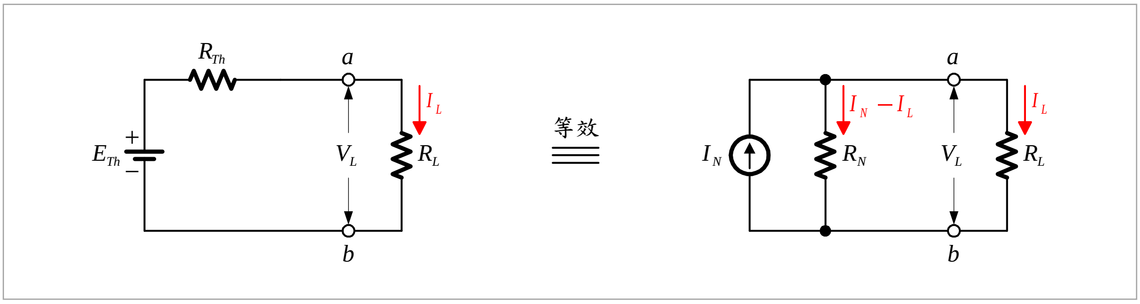


▲ 圖 4-8 諾頓等效電路轉換成戴維寧等效電路

Σ 重要公式

$$E_{Th} = I_N R_N \qquad\qquad R_{Th} = R_N$$

※證明



▲ 圖 4-9 戴維寧電路與諾頓電路的轉換關係

考慮同一網路分別化成戴維寧等效電路與諾頓等效電路的情況，如圖 4-9 所示，則通過負載 R_L 兩端的電壓降 V_L 分別為：

$$\text{戴維寧等效電路：} V_L = E_{Th} - I_L R_{Th}$$
$$\text{諾頓等效電路：} V_L = R_N(I_N - I_L)$$

對於一個相同的網路而言，不管是化成戴維寧等效電路或是諾頓等效電路，都應該有相同的效應，且電路外接的負載相同，所以上兩式應有相同的

電壓值，即：

$$V_L = E_{Th} - I_L R_{Th} = R_N (I_N - I_L) \quad (4\text{-}4\text{-}1)$$

由於戴維寧等效電阻 R_{Th} 與諾頓等效電阻 R_N 的求法完全相同，所以我們可以將等效電阻表示成：

$$R_{Th} = R_N \quad (4\text{-}4\text{-}2)$$

將(4-4-2)式代入(4-4-1)式，整理後得戴維寧等效電壓為：

$$E_{Th} = I_N R_N \quad (4\text{-}4\text{-}3)$$

或是將諾頓等效電流表示成：

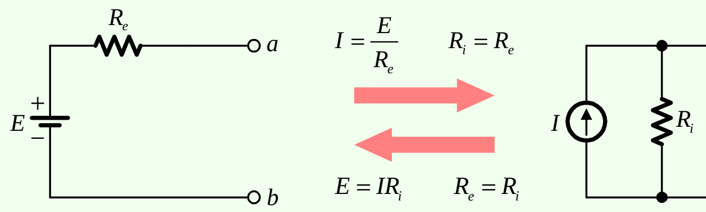
$$I_N = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} \quad (4\text{-}4\text{-}4)$$

如果要將諾頓等效電路轉換成戴維寧等效電路，可以利用(4-4-2)式及(4-4-3)求得戴維寧等效電阻與電壓；如果要將戴維寧等效電路轉換成諾頓等效電路，則可以利用(4-4-2)式及(4-4-4)求得諾頓等效電阻與電流。

知識充電

- **電壓源與電流源互換：** 在網路的分析中，也可以利用戴維寧與諾頓之轉換方法，將電壓源與電流源互換，以利複雜網路的簡化。其規則如下：

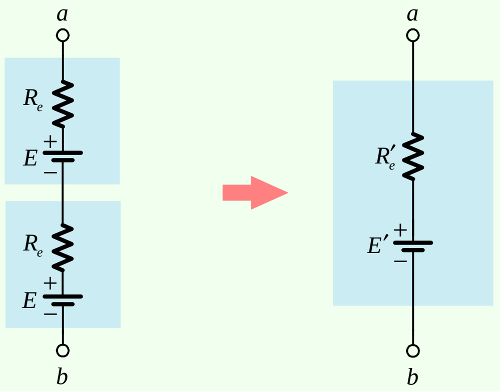
1. 電壓源須串聯一電阻；電流源須並聯一電阻
2. 電壓源串聯電阻＝電流源並聯電阻（ $R_e = R_i$ ）
3. 轉換後的電壓源 $E = IR_i$ ；轉換後的電流源 $I = \dfrac{E}{R_e}$
4. 電流源箭號所指的方向為電壓源之正極所對應的方向



(a) 電壓源　　(b) 電流源

電壓源與電流源的並串聯組合：我們將相同之電壓源與電流源在串聯或並聯組合後的等效電路整理如下：

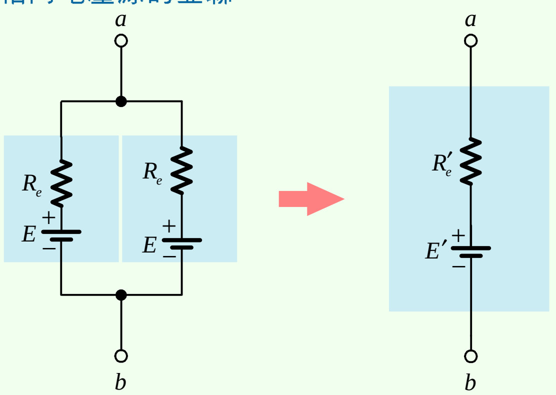
1. 相同電壓源的串聯



$$E' = E + E = 2E$$

$$R_e' = R_e + R_e = 2R_e$$

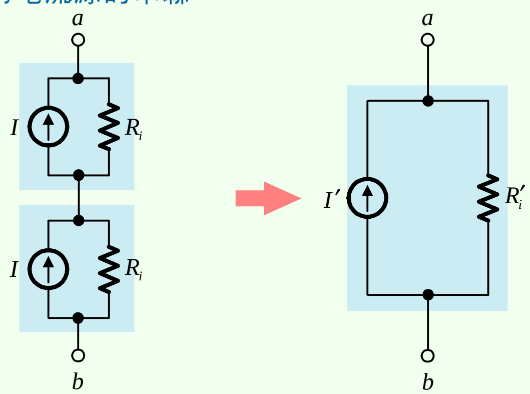
2. 相同電壓源的並聯



$$E' = E$$

$$R_e' = R_e // R_e = \frac{R_e}{2}$$

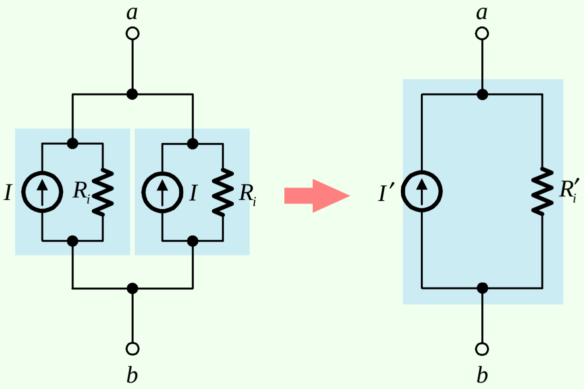
3. 相同電流源的串聯



$$I' = I$$

$$R_i' = R_i + R_i = 2R_i$$

4. 相同電流源的並聯



$$I' = I + I = 2I$$

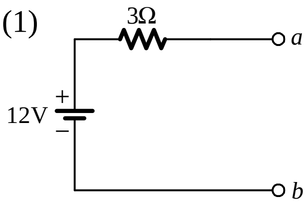
$$R_i' = R_i // R_i = \frac{R_i}{2}$$

上述內容的詳細說明，請參閱附錄 B 。

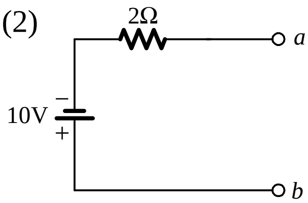
範例 4-12

如下圖所示電路，試化成諾頓等效電路為何？

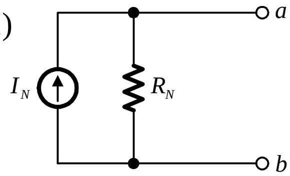
(1)



(2)



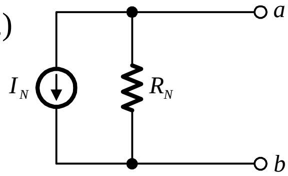
【解】(1)



$I_N = \dfrac{12\text{V}}{3\Omega} = 4\text{ A}$（方向向上）

$R_N = 3\,\Omega$

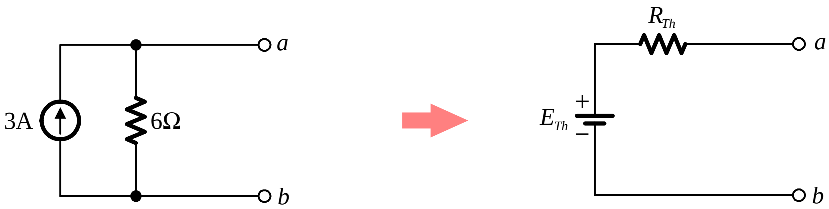
(2)



$I_N = \dfrac{10\text{V}}{2\Omega} = 5\text{ A}$（方向向下）

$R_N = 2\,\Omega$

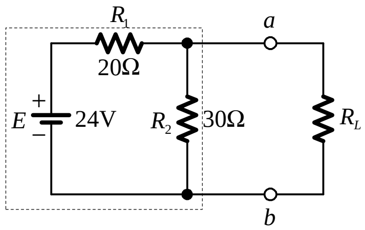
馬上練習　如下圖所示電路，試化成戴維寧等效電路為何？



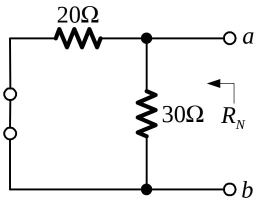
【答】$E_{Th} = 18\text{ V}$，$R_{Th} = 6\,\Omega$。

範例 4-13

如下圖所示電路，試將電路中的電壓源化為電流源。

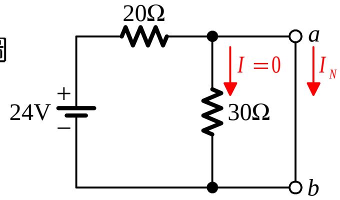


【解】(1) 移去負載電阻 R_L，將電壓源短路，如右圖所示，則：



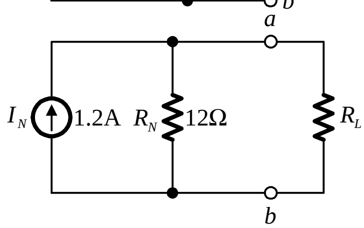
$$R_N = (20\Omega // 30\Omega) = \frac{(20\Omega)(30\Omega)}{20\Omega + 30\Omega} = 12\ \Omega$$

(2) 將電壓源放回，並將 a、b 端短路，如右圖所示，則通過 30Ω 電阻的電流為零，故

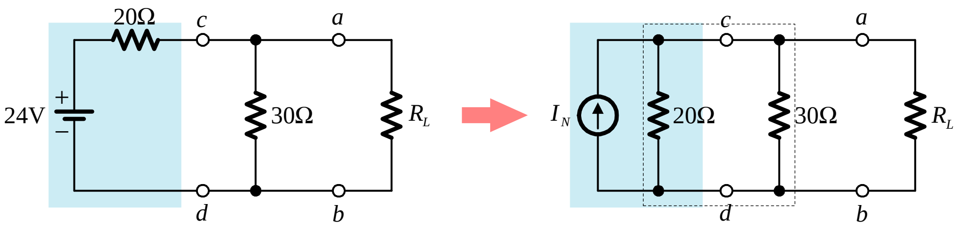


$$I_N = \frac{24\text{V}}{20\Omega} = 1.2\ \text{A}$$

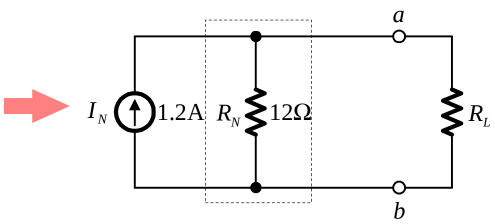
(3) 將負載接回 a、b 端，則諾頓等效電路如右圖所示。



【另解】 直接將串聯電阻之電壓源轉換成並聯電阻之電流源，如下圖所示：



$$I_N = \frac{24\text{V}}{20\Omega} = 1.2\ \text{A}$$



$$R_N = 20\Omega // 30\Omega = \frac{(20\Omega)(30\Omega)}{20\Omega + 30\Omega}$$

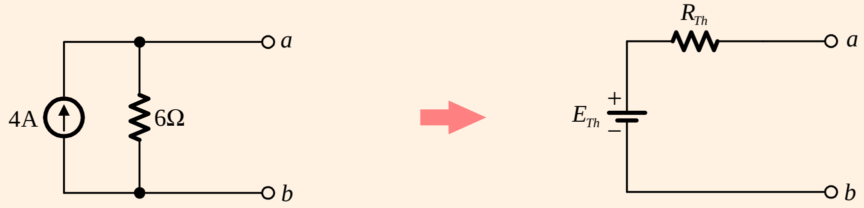
$$= 12\ \Omega$$

馬上練習 承上題所示電路，若 $E=9\text{V}$、$R_1=3\Omega$、$R_2=6\Omega$、$R_L=10\Omega$，試求諾頓等效電流為若干？

【答】$I_N = 3\text{A}$。

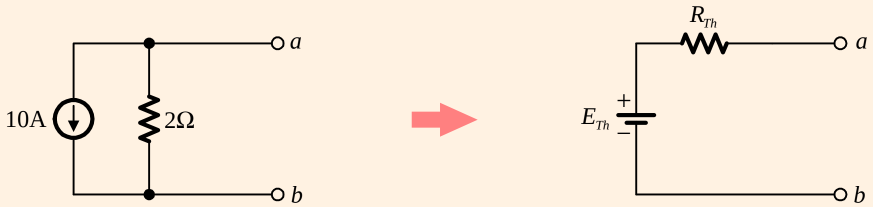
單元評量

1. 若將圖(1)的諾頓等效電路轉換成戴維寧等效電路，則
$E_{Th}=$ ______ V，$R_{Th}=$ ______ Ω。



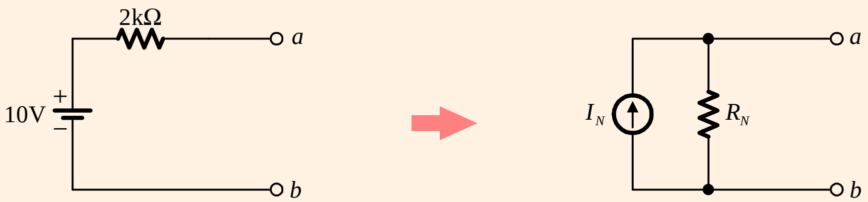
圖(1)

2. 若將圖(2)的諾頓等效電路轉換成戴維寧等效電路，則
$E_{Th}=$ ______ V，$R_{Th}=$ ______ Ω。



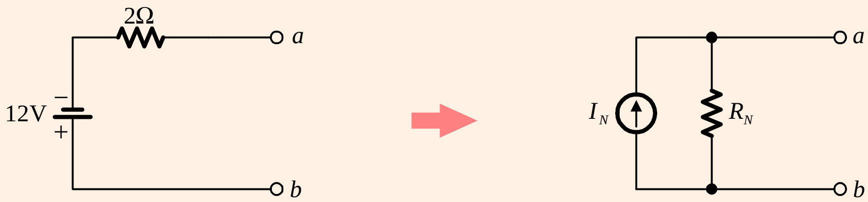
圖(2)

3. 若將圖(3)的戴維寧等效電路轉換成諾頓等效電路，則
$I_N=$ ______ mA，$R_N=$ ______ Ω。



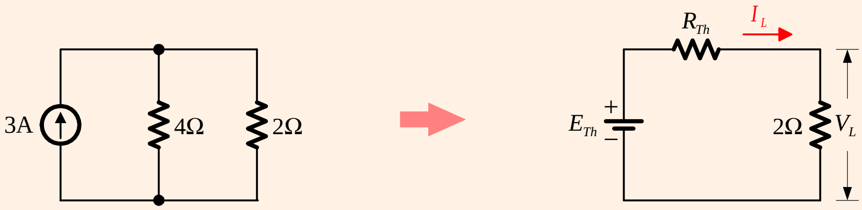
圖(3)

4. 若將圖(4)的戴維寧等效電路轉換成諾頓等效電路，則
I_N = ______ A，R_N = ______ Ω。



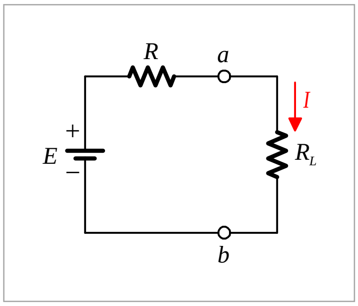
圖(4)

5. 若將圖(5)的諾頓等效電路轉換成戴維寧等效電路，則
E_{Th} = ______ V，R_{Th} = ______ Ω，I_L = ______ A，V_L = ______ V。



圖(5)

4-5 最大功率轉換



▲ 圖 4-10 戴維寧電路外接負載的情況

由 4-2 節中所介紹的戴維寧定理可知：任何一個複雜的網路，都可以用一個等效電壓源串聯一個等效電阻取代。當我們考慮一複雜網路或一實際電壓源（含內電阻）在外接負載的情況時，其等效電路如圖 4-10 所示，電壓源輸出的功率必定有一部份消耗在電阻 R 上，然後才輸送到負載電阻 R_L 上。在一般的情況下，我們希望負載能從網路或電壓源中獲得最大的功率；在本節中，我們便是來探討如何才能使負載獲得最大的功率轉移。

由圖 4-10 所示電路可知，通過負載 R_L 上的電流 $I=\dfrac{E}{R+R_L}$，所以負載所獲得的功率為：

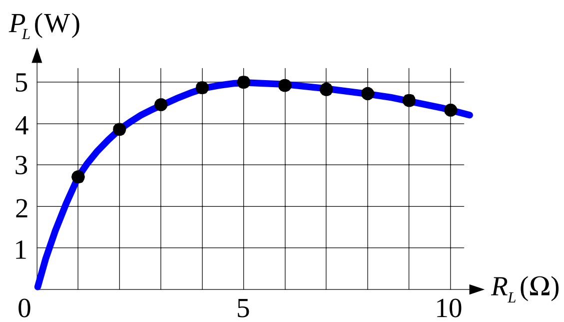
$$P_L = I^2R_L = \left(\frac{E}{R+R_L}\right)^2 R_L \qquad (4\text{-}5\text{-}1)$$

由上式可以看出負載所獲得的功率與負載電阻有關。如果在 $E=10\text{V}$、$R=5\Omega$ 的情況下，我們改變負載電阻的大小，則經由表 4-1 的數值分析可以看出功率隨負載變化的情形。利用表 4-1 中的數據，我們可以繪出一個功率 P_L 與負載 R_L 的曲線圖，如圖 4-11 所示。由圖中看出，功率 P_L 的曲線是一個二次曲線，而且有一個最大值。

▼ 表 4-1　負載所獲得功率與負載電阻的關係

R_L	P_L	R_L	P_L
1Ω	2.778W	6Ω	4.959W
2Ω	4.082W	7Ω	4.861W
3Ω	4.688W	8Ω	4.734W
4Ω	4.938W	9Ω	4.592W
5Ω	5.0　W	10Ω	4.444W

註：$E=10\text{V}$, $R=5\Omega$。



▲ 圖 4-11　功率 P_L 與負載 R_L 的曲線圖　在負載 $R_L=5\Omega$ 時，有最大功率 $P_{L\max}=5\text{W}$。

由表 4-1 及圖 4-11 得知：當負載 $R_L=R$ 時，其功率 P_L 達到最大值，即：

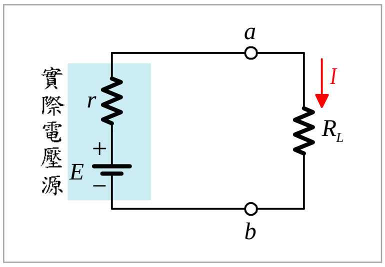
Σ 重要公式

$$P_L = I^2R_L = \left(\frac{E}{R+R_L}\right)^2 R_L = \frac{E^2}{4R} = \frac{E^2}{4R_L} = P_{L\max} \qquad (4\text{-}5\text{-}2)$$

有關上述公式的說明如下：

1. 對於實際電壓源（如圖 4-12 所示）而言，**當負載電阻等於電源裝置的內電阻時，負載自電源獲得的功率最大**，即當 $R_L = r$ 時，R_L 可獲得最大功率為：

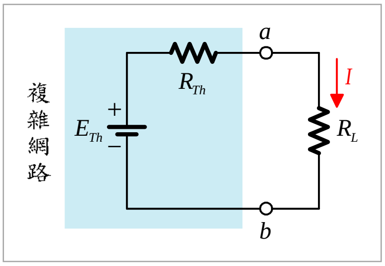
$$P_{L\max} = \left(\frac{E}{r+R_L}\right)^2 R_L = \frac{E^2}{4r} = \frac{E^2}{4R_L}$$



▲ 圖 4-12 實際電壓源的最大功率轉換

2. 對於複雜的網路（如圖 4-13 所示）而言，**當負載電阻等於網路的戴維寧等效電阻時，負載自網路獲得的功率最大**，即當 $R_L = R_{Th}$ 時，R_L 可獲得最大功率為：

$$P_{L\max} = \left(\frac{E_{Th}}{R_{Th}+R_L}\right)^2 R_L = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}} = \frac{E_{Th}^2}{4R_L}$$



▲ 圖 4-13 複雜網路的最大功率轉換

知識充電

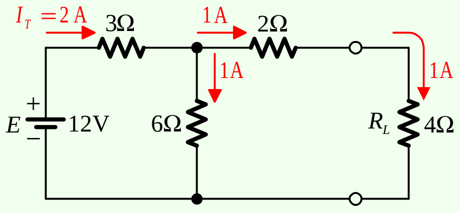
- **能量的轉換效率**：當實際電壓源提供負載獲得最大功率時，能量轉移的效率並非最大，此時的效率 $\eta = 50\%$（負載與內阻獲得相同功率），如右表所列（延伸表 4-1 的數據）。

此外，在負載小於電壓源內阻的情況下，不僅功率的轉換效率低，且在電壓源的內阻上會消耗大量的功率，可能使電壓源產生高熱，甚至燒毀。此種狀況即稱為**過載**（overload）。

負載 R_L	負載功率 P_L	內阻功率 P_{loss}	轉換效率 η
1Ω	2.778 W	13.889 W	16.7%
2Ω	4.082 W	10.204 W	28.6%
3Ω	4.688 W	7.813 W	37.5%
4Ω	4.938 W	6.173 W	44.4%
5Ω	**5.0 W**	**5.0 W**	**50.0%**
6Ω	4.959 W	4.132 W	54.5%
7Ω	4.861 W	3.472 W	58.3%
8Ω	4.734 W	2.959 W	61.5%
9Ω	4.592 W	2.551 W	64.3%
10Ω	4.444 W	2.222 W	66.7%

註：轉換效率 $\eta = \dfrac{\text{負載功率 } P_L}{\text{負載功率 } P_L + \text{內阻功率 } P_{loss}} \times 100\%$

- **複雜網路的電源功率計算：** 欲求複雜網路中電源所提供的功率時，不可用戴維寧等效電路來計算，說明如下圖所示：

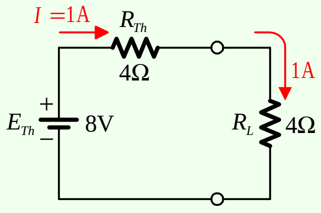


(a)

化為戴維寧等效電路

$$R_{Th} = 2+(3//6) = 4\,\Omega$$

$$E_{Th} = \frac{6}{3+6}\times 12 = 8\text{ V}$$

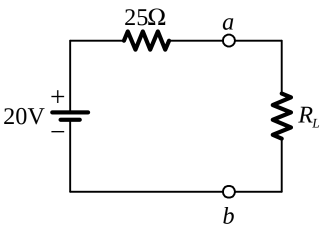


(b)

實際電源提供之功率：$P_i = EI_T = 12\times 2 = 24$ W（正確）
戴維寧電路提供之功率：$P_i = E_{Th}I = 8\times 1 = 8$ W（無法求得實際電源所提供之功率）

範例 4-14

如下圖所示電路，試求當負載電阻 R_L 為多少時可以獲得最大的功率？並求最大功率為多少？



【解】本電路為一電阻串聯一個電壓源組成，當負載電阻為戴維寧電阻值時，負載電阻可以獲得最大輸出功率，即：

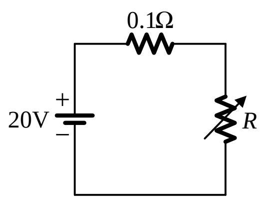
$$R_L = R = 25\,\Omega$$

此時負載電阻可以獲得的最大輸出功率為：

$$P_{L\max} = \frac{E^2}{4R} = \frac{(20\text{V})^2}{4\times(25\Omega)} = 4\text{ W}$$

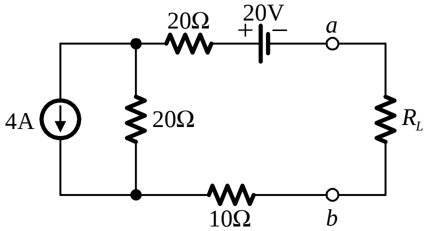
馬上練習　如右圖所示電路，設 R 為可變，則 R 中之最大功率為多少？

【答】$P_{L\max} = 1000$ W。

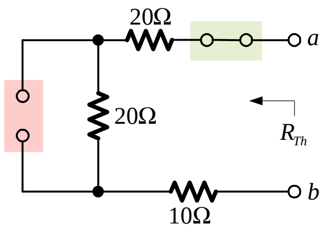


範例 4-15

如下圖所示電路，試求當負載電阻 R_L 為多少時可以獲得最大的功率？並求最大功率為多少？



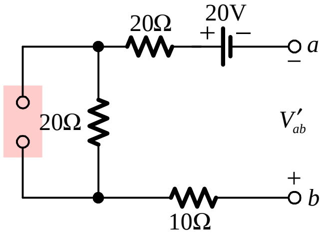
【解】(1) 移去負載電阻 R_L，將電壓源短路、電流源斷路，如右圖所示，則：

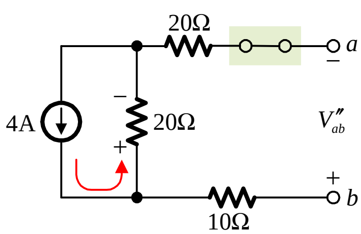


$R_{Th} = 20\Omega + 20\Omega + 10\Omega = 50\ \Omega$

當 $R_L = R_{Th} = 50\ \Omega$ 時可得最大功率。

(2) 如下圖，利用重疊定理可得：



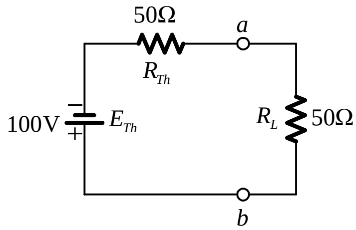


$V'_{ab} = -20\ \text{V}$　　　$V''_{ab} = (-4\text{A})(20\Omega) = -80\ \text{V}$

$E_{Th} = V'_{ab} + V''_{ab} = (-20\text{V}) + (-80\text{V}) = -100\ \text{V}$

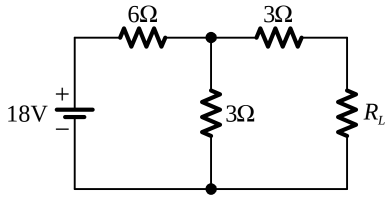
(3) 如右圖，負載獲得最大功率為：

$$P_{L\max} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}} = \frac{(-100\text{V})^2}{4(50\Omega)} = 50\ \text{W}$$



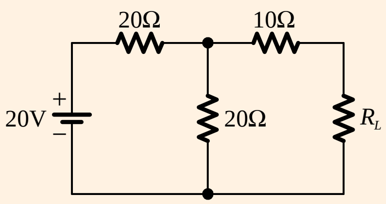
馬上練習 如右圖所示電路，試求當負載電阻 R_L 可獲得最大的功率為多少？

【答】$P_{L\max} = 1.8\ \text{W}$。

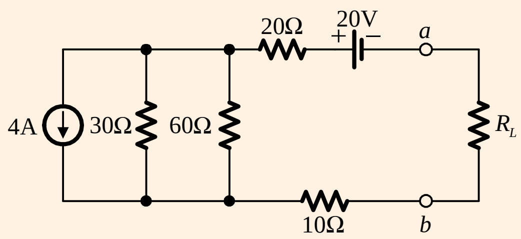


單元評量

1. 如圖(1)所示電路，試求當負載電阻 R_L 為 ________ Ω 時，可以獲得最大的功率為 ________ W。
2. 如圖(2)所示電路，試求當負載電阻 R_L 為 ________ Ω 時，可以獲得最大的功率為 ________ W。

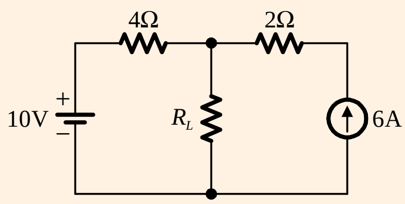


圖(1)

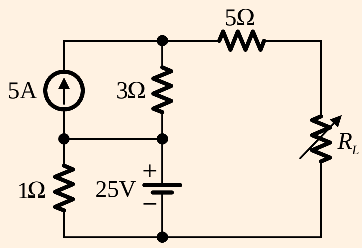


圖(2)

3. 如圖(3)所示電路，如果欲使 R_L 可獲得最大功率，則 R_L 應為 ________ Ω。
4. 如圖(4)所示電路，純電阻負載 R_L 之最大消耗功率為 ________ W。

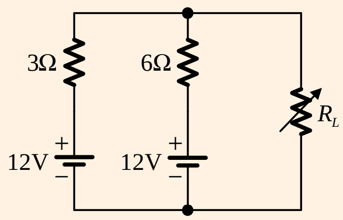


圖(3)



圖(4)

5. 如圖(5)所示電路，負載電阻 R_L 的最大消耗功率為 ________ W。

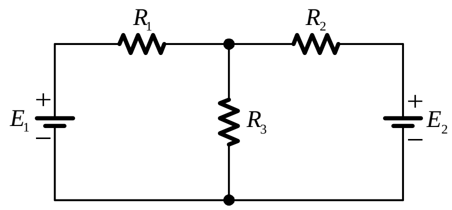


圖(5)

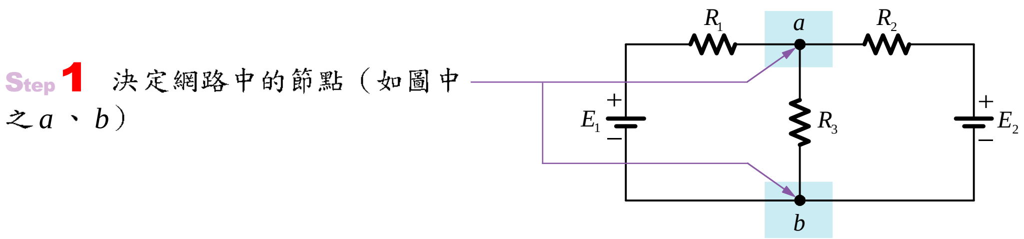
4-6 節點電壓法

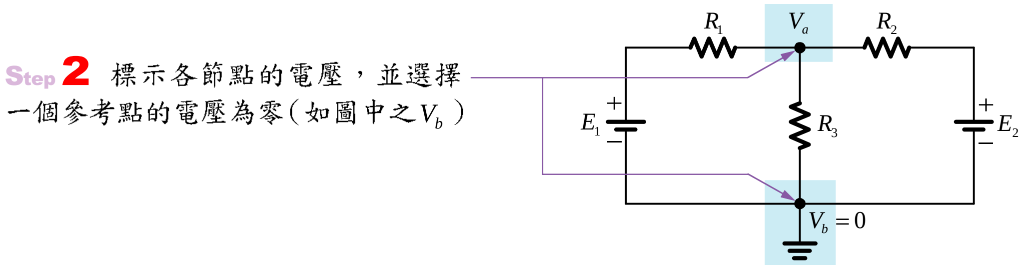
節點電壓法（node voltage method）是分析網路各分路電流的一種簡便方法。節點是兩條或兩條以上電路分支的共同交點，節點電壓法選擇網路中的一個節點作爲電壓參考點，而其餘節點相對於參考點便有一相對電壓存在，利用歐姆定律寫出各分路電流的算式，再根據克希荷夫電流定律，便可列出各節點的電流方程式（N 個節點可得出 $N-1$ 個方程式），聯立解方程式後可求出各節點的電壓，並得出各分路的電流。（註：分支亦稱分路或支路。）

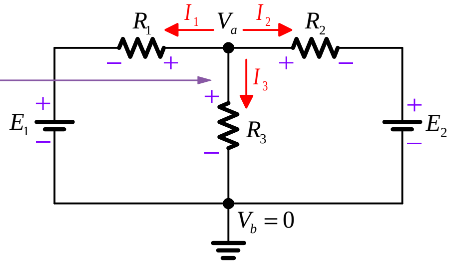
實例解析：以節點電壓法分析圖 4-14 所示電路中流經各電阻的電流。



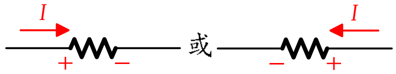
▲ 圖 4-14　節點電壓法示範電路圖



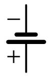


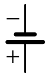


Step 3 假定各節點分路電流的方向，並作標示（I_1、I_2、I_3）；依電流方向標定各電阻端電壓之＋－

（）

Step 4 利用歐姆定律（$I = \frac{V}{R}$）及電位差公式寫出各分路電流的算式

註：若 E_1 為 ，則 $I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{V_a + E_1}{R_1}$

若 E_2 為 ，則 $I_2 = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_a + E_2}{R_2}$

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{V_a - E_1}{R_1} \quad \cdots\cdots ①$$

$$I_2 = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_a - E_2}{R_2} \quad \cdots\cdots ②$$

$$I_3 = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{V_a - V_b}{R_3} = \frac{V_a}{R_3} \quad (\because V_b = 0) \cdots ③$$

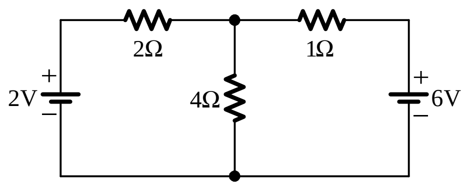
Step 5 利用克希荷夫電流定律（KCL）寫出各節點的電流方程式（$\sum I_{in} = \sum I_{out}$）。將各分路電流的算式（如①②③式）代入解方程式，求出各節點之電壓（如 V_a），再將各節點電壓代回各分路電流之算式，求出各分路電流之值

$$\because I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

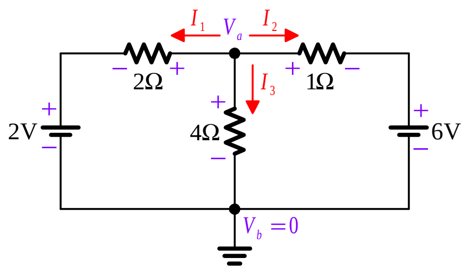
$$\therefore \frac{V_a - E_1}{R_1} + \frac{V_a - E_2}{R_2} + \frac{V_a}{R_3} = 0 \quad \cdots\cdots ④$$

範例 4-16

如右圖所示電路，試利用節點電壓法求各分路的電流？



【解】(1) 標示節點 a、b 的電壓 V_a、V_b，選擇 b 點為零電位，並假定各分路電流的方向，如右下圖所示。



(2) 各分路電流的算式為：

$$I_1 = \frac{V_{2\Omega}}{R_{2\Omega}} = \frac{V_a - 2V}{2\Omega} \quad \cdots\cdots ①$$

$$I_2 = \frac{V_{1\Omega}}{R_{1\Omega}} = \frac{V_a - 6V}{1\Omega} \quad \cdots\cdots ②$$

$$I_3 = \frac{V_{4\Omega}}{R_{4\Omega}} = \frac{V_a - 0}{4\Omega} = \frac{V_a}{4\Omega} \text{ .....③}$$

(3) 根據克希荷夫電流定律，可得：

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \Rightarrow \frac{V_a - 2\text{V}}{2\Omega} + \frac{V_a - 6\text{V}}{1\Omega} + \frac{V_a}{4\Omega} = 0$$

$$2(V_a - 2\text{V}) + 4(V_a - 6\text{V}) + V_a = 0 \qquad \therefore V_a = 4\text{ V}$$

(4) 將 V_a 帶入①②③式，可得：

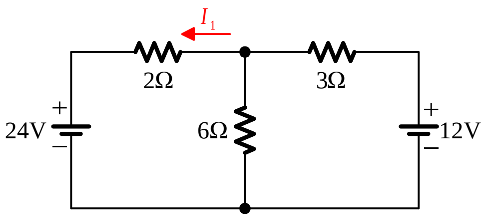
$$I_1 = \frac{V_a - 2\text{V}}{2\Omega} = \frac{4\text{V} - 2\text{V}}{2\Omega} = 1\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V_a - 6\text{V}}{1\Omega} = \frac{4\text{V} - 6\text{V}}{1\Omega} = -2\text{ A}$$ （負號表示電流方向與假設相反）

$$I_3 = \frac{V_a}{4\Omega} = \frac{4\text{V}}{4\Omega} = 1\text{ A}$$

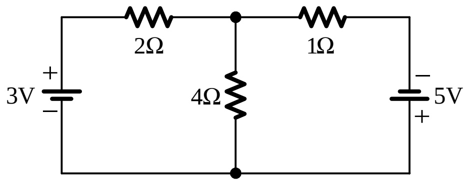
馬上練習 如右圖所示電路，試利用節點電壓法求電流 I_1 為多少？

【答】$I_1 = -4$ A。

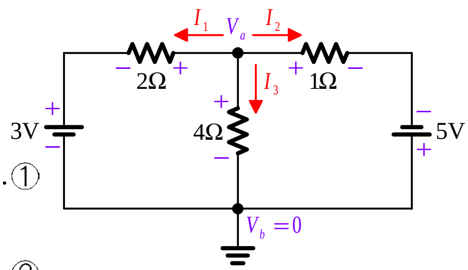


範例 4-17

如右圖所示電路，試利用節點電壓法求各分路的電流？



【解】(1) 標示節點 a、b 的電壓 V_a、V_b，選擇 b 點為零電位，並假定各分路電流的方向，如右下圖所示。



(2) 各分路電流的算式為：

$$I_1 = \frac{V_{2\Omega}}{R_{2\Omega}} = \frac{V_a - 3\text{V}}{2\Omega} \text{ ....①}$$

$$I_2 = \frac{V_{1\Omega}}{R_{1\Omega}} = \frac{V_a - (-5\text{V})}{1\Omega} = \frac{V_a + 5\text{V}}{1\Omega} \text{ ..②}$$

$$I_3 = \frac{V_{4\Omega}}{R_{4\Omega}} = \frac{V_a - 0}{4\Omega} = \frac{V_a}{4\Omega} \text{ ....③}$$

(3) 根據克希荷夫電流定律，可得：

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \Rightarrow \frac{V_a - 2\text{V}}{2\Omega} + \frac{V_a + 5\text{V}}{1\Omega} + \frac{V_a}{4\Omega} = 0$$

$$2(V_a - 3\text{V}) + 4(V_a + 5\text{V}) + V_a = 0 \qquad \therefore V_a = -2\text{ V}$$

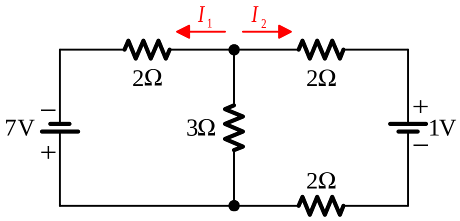
(4) 將 V_a 帶入①②③式，可得：

$$I_1 = \frac{V_a - 3\text{V}}{2} = \frac{-2\text{V} - 3\text{V}}{2} = -2.5\text{ A}$$（負號表示電流方向與假設相反）

$$I_2 = \frac{V_a + 5\text{V}}{1\Omega} = \frac{-2\text{V} + 5\text{V}}{1\Omega} = 3\text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_a}{4\Omega} = \frac{-2\text{V}}{4\Omega} = -0.5\text{ A}$$（負號表示電流方向與假設相反）

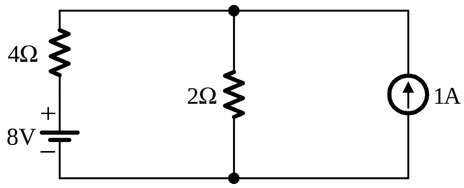
馬上練習　如右圖所示電路，試利用節點電壓法求電流 I_1 及 I_2 為多少？



【答】$I_1 = 2$ A，$I_2 = -1$ A。

範例 4-18

如右圖所示電路，試利用節點電壓法求各分路的電流？



【解】(1) 標示各節點的電壓 V_a、V_b，選擇 b 點為零電位，並假定各分路電流的方向，如右下圖所示。

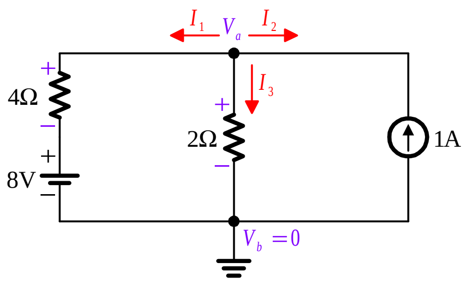
(2) 各分路電流的算式為：

$$I_1 = \frac{V_a - 8\text{V}}{4\Omega} \cdots\cdots ①$$

$$I_2 = -1\text{ A} \cdots\cdots ②$$

（與電流源方向相反）

$$I_3 = \frac{V_a - 0}{2\Omega} = \frac{V_a}{2\Omega} \cdots\cdots ③$$



(3) 根據克希荷夫電流定律，可得：

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \Rightarrow \frac{V_a - 8\text{V}}{4\Omega} + (-1\text{A}) + \frac{V_a}{2\Omega} = 0$$

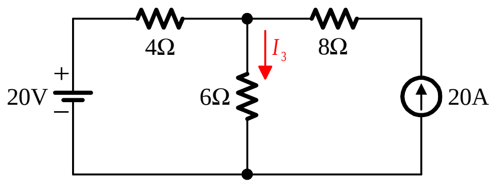
$\therefore V_a = 4\text{ V}$

(4) $I_1 = \dfrac{V_a - 8\text{V}}{4\Omega} = \dfrac{4\text{V} - 8\text{V}}{4\Omega} = -1\text{ A}$ （負號表示電流方向與假設相反）

$I_2 = -1\text{ A}$ （負號表示電流方向與假設相反）

$I_3 = \dfrac{V_a}{2\Omega} = \dfrac{4\text{V}}{2\Omega} = 2\text{ A}$

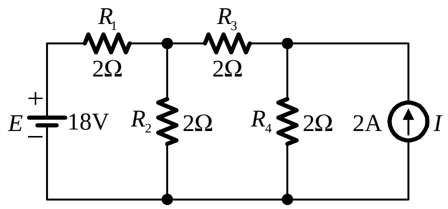
馬上練習 如右圖所示電路，試利用節點電壓法求電流 I_3 為多少？



【答】$I_3 = 10\text{ A}$。

範例 4-19

如右圖所示電路，試利用節點電壓法求各分路的電流？



【解】(1) 標示各節點的電壓 V_a、V_b、V_c，選擇 c 點為零電位，並假定各分路電流的方向，如右下圖所示。

(2) $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

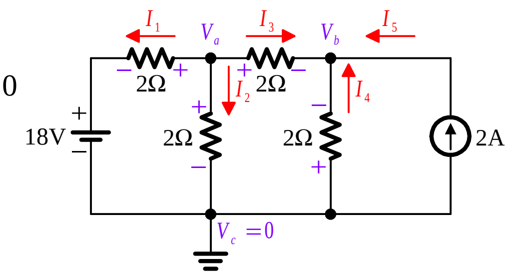
$$\Rightarrow \frac{V_a - 18\text{V}}{2\Omega} + \frac{V_a - 0}{2\Omega} + \frac{V_a - V_b}{2\Omega} = 0$$

$$\Rightarrow 3V_a - V_b = 18\text{V}$$

$I_3 + I_4 + I_5 = 0$

$$\Rightarrow \frac{V_a - V_b}{2\Omega} + \frac{0 - V_b}{2\Omega} + 2\text{A} = 0$$

$$\Rightarrow V_a - 2V_b = -4\text{V}$$



化簡後得 $\begin{cases} 3V_a - V_b = 18\text{V} \cdots\cdots ① \\ V_a - 2V_b = -4\text{V} \cdots\cdots ② \end{cases}$

解聯立方程式後得：$V_a = 8\text{ V}$，$V_b = 6\text{ V}$

(3) $I_1 = \dfrac{V_a - 18\text{V}}{2\Omega} = \dfrac{8\text{V} - 18\text{V}}{2\Omega} = -5\text{ A}$（負號表示電流方向與假設相反）

$I_2 = \dfrac{V_a - 0}{2\Omega} = \dfrac{8\text{V} - 0}{2\Omega} = 4\text{ A}$

$I_3 = \dfrac{V_a - V_b}{2\Omega} = \dfrac{8\text{V} - 6\text{V}}{2\Omega} = 1\text{ A}$

$I_4 = \dfrac{0 - V_b}{2\Omega} = \dfrac{0 - 6\text{V}}{2\Omega} = -3\text{ A}$（負號表示電流方向與假設相反）

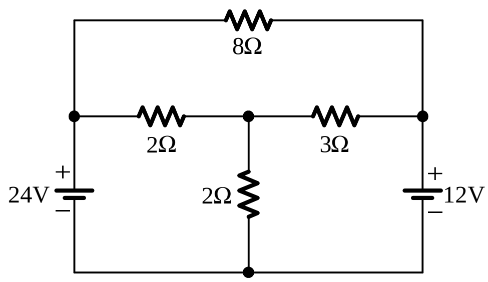
$I_5 = 2\text{ A}$

馬上練習 承上題所示電路，若 $E = 10\text{V}$、$I = 1\text{A}$、$R_1 = 10\Omega$、$R_2 = 5\Omega$、$R_3 = 20\Omega$、$R_4 = 10\Omega$，試求電阻 R_3 兩端的電壓為多少？

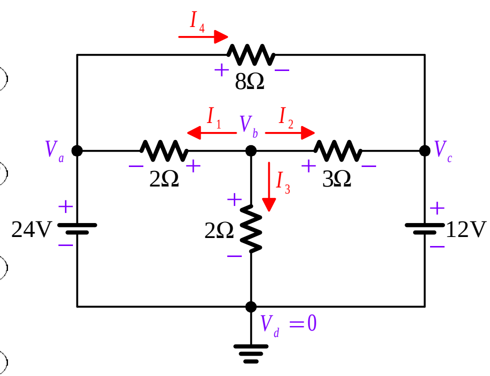
【答】$V_{R3} = 4\text{ V}$。

範例 4-20

如右圖所示電路，試利用節點電壓法求各分路的電流？



【解】(1) 標示各節點的電壓 V_a、V_b、V_c、V_d，選擇 d 點為零電位，並假定各分路電流的方向，如右下圖所示。



(2) 各分路電流的算式為：

$I_1 = \dfrac{V_b - V_a}{R_{2\Omega}} = \dfrac{V_b - 24\text{V}}{2\Omega}$ ……………………… ①

$I_2 = \dfrac{V_b - V_c}{R_{3\Omega}} = \dfrac{V_b - 12\text{V}}{3\Omega}$ ……………………… ②

$I_3 = \dfrac{V_b - 0}{R_{2\Omega}} = \dfrac{V_b}{2\Omega}$ ……………………………… ③

$I_4 = \dfrac{V_a - V_c}{R_{8\Omega}} = \dfrac{24\text{V} - 12\text{V}}{8\Omega} = 1.5\text{ A}$ ….. ④

(3) 根據克希荷夫電流定律，可得：

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \Rightarrow \frac{V_b - 24\text{V}}{2\Omega} + \frac{V_b - 12\text{V}}{3\Omega} + \frac{V_b}{2\Omega} = 0$$

$$3(V_b - 24\text{V}) + 2(V_b - 12\text{V}) + 3V_b = 0 \qquad \therefore V_b = 12\text{ V}$$

(4) 將 V_b 帶入①②③式，可得：

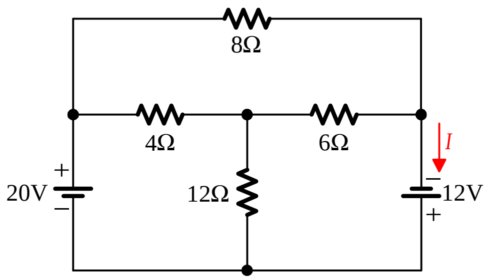
$$I_1 = \frac{V_b - 24\text{V}}{2\Omega} = \frac{12\text{V} - 24\text{V}}{2\Omega} = -6\text{ A}$$（負號表示電流方向與假設相反）

$$I_2 = \frac{V_b - 12\text{V}}{3\Omega} = \frac{12\text{V} - 12\text{V}}{3\Omega} = 0\text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_b}{2\Omega} = \frac{12\text{V}}{2\Omega} = 6\text{ A}$$

馬上練習 如右圖所示電路，試利用節點電壓法求電流 I 為多少？

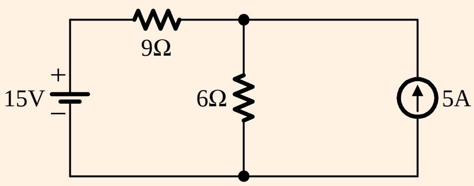
【答】$I = 7$ A。



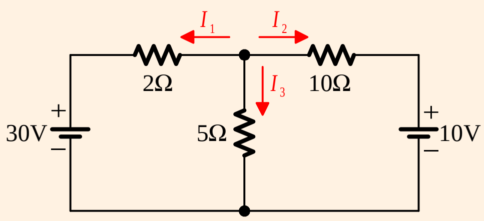
單元評量

1. 如圖(1)所示電路，試求流過 6Ω 電阻器的電流為 ________ A，6Ω 電阻器所消耗的功率為 ________ W。

2. 如圖(2)所示電路，試求分路電流 I_1 = ________ A，I_2 = ________ A，I_3 = ________ A。



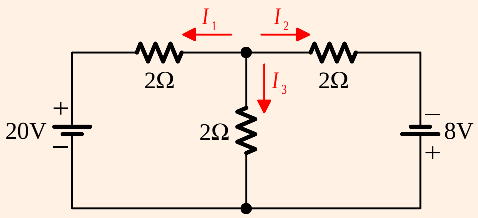
圖(1)



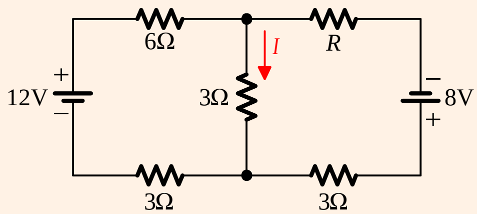
圖(2)

3. 如圖(3)所示電路，試求分路電流 I_1 = ________ A，I_2 = ________ A，I_3 = ________ A。

4. 如圖(4)所示電路，若 $I = 0$，則 R 為 ________ Ω。

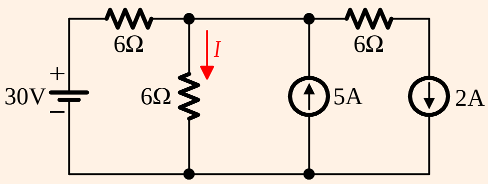


圖(3)



圖(4)

5. 如圖(5)所示電路，試求 I = ________ A。

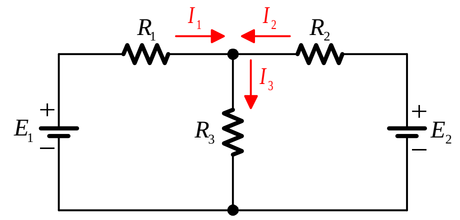


圖(5)

4-7　迴路電流法

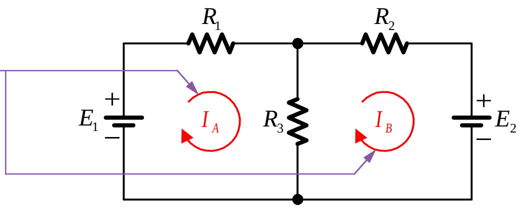
在網路分析中，**迴路電流法**（loop current method）是一種常用的分析工具。我們選定網路中的迴路，根據歐姆定律及克希荷夫電壓定律，可列出相關迴路的電壓方程式，將方程式聯立，最後解出相關的分路電流值。迴路電流法是一種較簡單的網路分析，如果迴路的數目在三個以下，迴路電流法不失為一種方便好用的方法。

實例解析：以迴路電流法分析圖 4-15 所示電路中流經各電阻的電流。

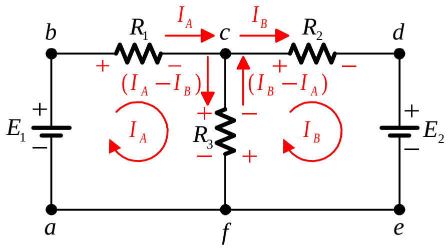


▲ 圖 4-15　迴路電流法示範電路圖

Step 1　於網路中選定迴路，並設定迴路電流的方向，一般習慣以順時鐘方向為迴路電流的方向（如圖中 I_A、I_B）



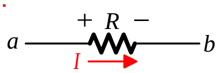
Step 2　根據迴路電流的方向來決定各電阻端電壓之＋－



Step 3　利用歐姆定律（$V=IR$）及克希荷夫電壓定律（KVL）寫出各迴路的電壓方程式（$\sum(E\text{及}V)=0$）

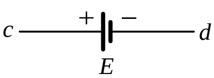
註：

1\.



由 a 至 b（＋→－）：電壓為 $-IR$（電壓降）
由 b 至 a（－→＋）：電壓為 $+IR$（電壓昇）

2\.



由 c 至 d（＋→－）：電壓為 $-E$（電壓降）
由 d 至 c（－→＋）：電壓為 $+E$（電壓昇）

(1) 於 $abcfa$ 迴路中：

$$E_1-I_AR_1-(I_A-I_B)R_3=0$$
$$\Rightarrow (R_1+R_3)I_A-R_3I_B=E_1 \cdots\cdots ①$$

(2) 於 $fcdef$ 迴路中：

$$-(I_B-I_A)R_3-I_BR_2-E_2=0$$
$$\Rightarrow R_3I_A-(R_2+R_3)I_B=E_2 \cdots\cdots ②$$

註：若有相鄰迴路共用電阻時，則須考慮相鄰迴路電流的效應（同方向相加，反方向相減）。

Step 4 聯立解各迴路之電壓方程式，求出各迴路之電流（如 I_A、I_B），再代入各分路電流之算式(如③④⑤式），求出各分路電流之值（可利用行列式法或一般代數的方法解聯立方程式）

註 1： 若所得電流數值為負時，則表示電流實際的方向與設定的方向相反。

註 2： 利用行列式解聯立方程式的方法請參見附錄 D 。

$$\Delta = \begin{vmatrix} (R_1+R_3) & -R_3 \\ R_3 & -(R_2+R_3) \end{vmatrix}$$
$$= -(R_1+R_3)(R_2+R_3)+R_3R_3$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_1 & -R_3 \\ E_2 & -(R_2+R_3) \end{vmatrix}$$
$$= -E_1(R_2+R_3)+R_3E_2$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} (R_1+R_3) & E_1 \\ R_3 & E_2 \end{vmatrix}$$
$$= E_2(R_1+R_3)-R_3E_1$$

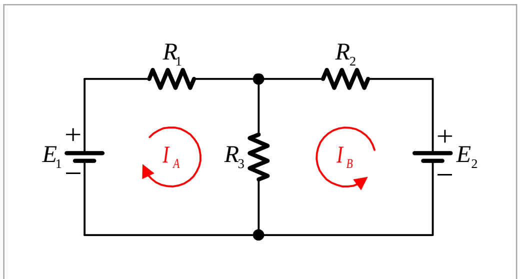
$$\Rightarrow I_A = \frac{\Delta_1}{\Delta}，I_B = \frac{\Delta_2}{\Delta}$$

$\therefore I_1 = I_A$ ....③（流經 R_1 之電流）

$I_2 = -I_B$ ....④（流經 R_2 之電流）

$I_3 = I_A - I_B$ ...⑤（流經 R_3 之電流）

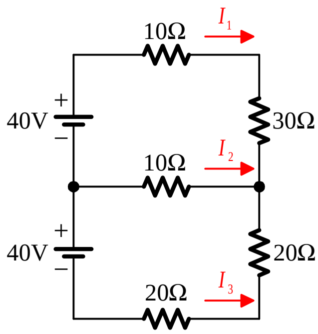
迴路的方向是自由選定，我們也可以讓迴路電流一起流入共同電阻 R_3 中，如圖 4-16 所示，其計算結果也會一致，請同學自行驗證看看，或參見範例 4-21 之解。



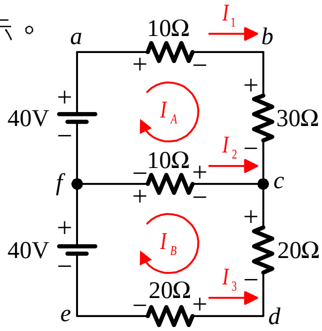
▲ 圖 4-16　選擇不同迴路的分析法

範例 4-21

如下圖所示電路，試利用迴路電流法求各分路的電流？



【解】(1) 假定迴路電流的方向為順時鐘方向，如右圖所示。



(2) 列出迴路的電壓方程式為：

於 $fabcf$ 迴路中：

$$40\text{V} - I_A(10\Omega) - I_A(30\Omega) - (I_A - I_B)(10\Omega) = 0$$

於 $efcde$ 迴路中：

$$40\text{V} - (I_B - I_A)(10\Omega) - I_B(20\Omega) - I_B(20\Omega) = 0$$

(3) 整理後得：

$$(10+30+10)I_A - 10I_B = 40 \text{ .... ①}$$

$$10I_A - (10+20+20)I_B = -40 \text{ .... ②}$$

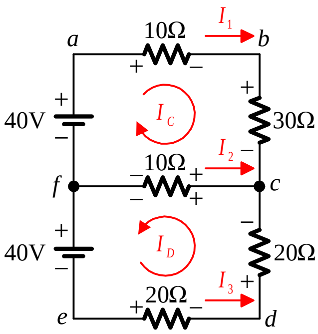
解①②聯立方程式後得：

$I_A = 1\text{ A} \qquad I_B = 1\text{ A}$

$\therefore\ I_1 = I_A = 1\text{ A} \qquad I_2 = I_B - I_A = 0\text{ A} \qquad I_3 = -I_B = -1\text{ A}$

【另解】

(1) 假設迴路電流的方向如右圖所示。



(2) 列出迴路的電壓方程式為：

於 $fabcf$ 迴路中：

$$40\text{V} - I_C(10\Omega) - I_C(30\Omega) - (I_C + I_D)(10\Omega) = 0$$

於 $efcde$ 迴路中：

$$40\text{V} + (I_D + I_C)(10\Omega) + I_D(20\Omega) + I_D(20\Omega) = 0$$

(3) 整理後得：

$$(10+30+10)I_C + 10I_D = 40 \text{ .... ③}$$

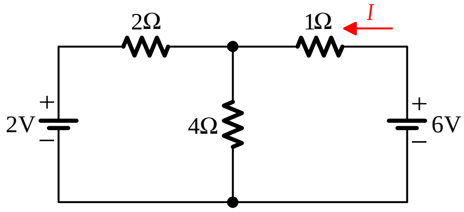
$$10I_C + (10+20+20)I_D = -40 \text{ .... ④}$$

解③④聯立方程式後得：

$I_C = 1\text{ A} \qquad I_D = -1\text{ A}$

$\therefore\ I_1 = I_C = 1\text{ A} \qquad I_2 = -(I_C + I_D) = 0\text{ A} \qquad I_3 = I_D = -1\text{ A}$

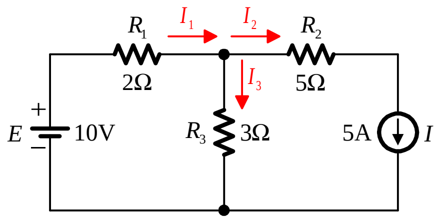
馬上練習 如右圖所示電路，試利用迴路電流法求電流 I 為多少？



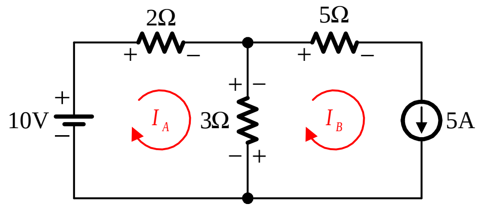
【答】$I = 2\text{ A}$。

範例 4-22

如右圖所示電路，試利用迴路電流法求各分路的電流？



【解】(1) 假定迴路電流的方向為順時鐘方向，如右下圖所示。



(2) 列出迴路的電壓方程式為：

$10\text{V} - I_A(2\Omega) - (I_A - I_B)(3\Omega) = 0$

$I_B = 5\text{ A}$

(3) 化簡後得：$I_A = 5\text{ A}$，$I_B = 5\text{ A}$

$\therefore I_1 = I_A = 5\text{ A}$

$I_2 = I_B = 5\text{ A}$

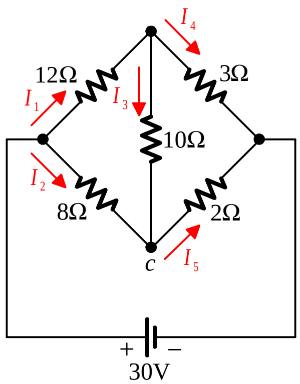
$I_3 = I_A - I_B = 5\text{A} - 5\text{A} = 0\text{ A}$

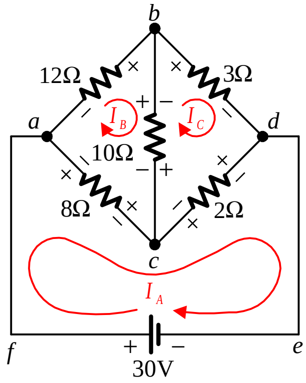
馬上練習　承上題所示電路，若 $E = 9\text{V}$、$I = 6\text{A}$、$R_1 = 6\Omega$、$R_2 = 2\Omega$、$R_3 = 3\Omega$，試利用迴路電流法求電流 I_3 為多少？

【答】$I_3 = -3\text{ A}$。

範例 4-23

如下圖所示電路，試利用迴路電流法求各分路的電流？





【解】(1) 選定如右圖所示的三個迴路，並假定迴路電流的方向為順時鐘方向。

(2) 列出迴路的電壓方程式為：

於 *acdefa* 迴路中：

$$30\text{V} - (I_A - I_B)(8\Omega) - (I_A - I_C)(2\Omega) = 0$$

於 *abca* 迴路中：

$$-I_B(12\Omega) - (I_B - I_C)(10\Omega) - (I_B - I_A)(8\Omega) = 0$$

於 *cbdc* 迴路中：

$$-(I_C - I_B)(10\Omega) - I_C(3\Omega) - (I_C - I_A)(2\Omega) = 0$$

化簡後得：

$$\begin{cases} 10I_A - 8I_B - 2I_C = 30 \\ 8I_A - 30I_B + 10I_C = 0 \\ 2I_A + 10I_B - 15I_C = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 5I_A - 4I_B - 2I_C = 15 \quad \cdots\cdots ① \\ 4I_A - 15I_B + 5I_C = 0 \quad \cdots\cdots ② \\ 2I_A + 10I_B - 15I_C = 0 \quad \cdots\cdots ③ \end{cases}$$

(3) 將①②③式聯立，利用行列式求解（參見附錄 D），得各迴路電流為：

$$設\ \Delta = \begin{vmatrix} 5 & -4 & -1 \\ 4 & -15 & 5 \\ 2 & 10 & -15 \end{vmatrix} = 525 \qquad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 15 & -4 & -1 \\ 0 & -15 & 5 \\ 0 & 10 & -15 \end{vmatrix} = 2625$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 5 & 15 & -1 \\ 4 & 0 & 5 \\ 2 & 0 & -15 \end{vmatrix} = 1050 \qquad \Delta_3 = \begin{vmatrix} 5 & -4 & 15 \\ 4 & -15 & 0 \\ 2 & 10 & 0 \end{vmatrix} = 1050$$

$$\therefore I_A = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{2625}{525} = 5\text{ A}$$

$$I_B = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1050}{525} = 2\text{ A}$$

$$I_C = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{1050}{525} = 2\text{ A}$$

(4) 各分路電流為：

$I_1 = I_B = 2\text{ A}$ $\qquad I_2 = I_A - I_B = 5\text{A} - 2\text{A} = 3\text{ A}$

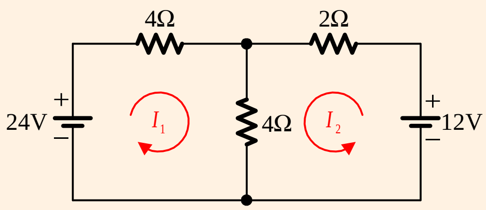
$I_3 = I_B - I_C = 2\text{A} - 2\text{A} = 0\text{ A}$ $\qquad I_4 = I_C = 2\text{ A}$

$I_5 = I_A - I_C = 5\text{A} - 2\text{A} = 3\text{ A}$

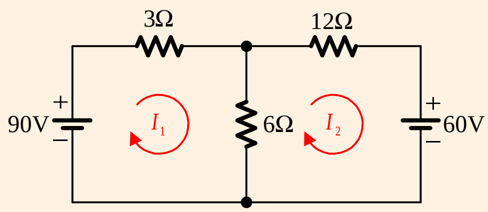
單元評量

1. 如圖(1)所示電路，則 I_1 = ______ A，I_2 = ______ A。

2. 如圖(2)所示電路，試求各迴路之電壓方程式為何？
   I_1 之迴路方程式：________________。
   I_2 之迴路方程式：________________。



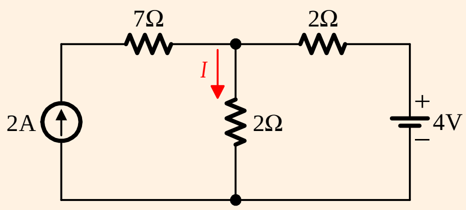
圖(1)



圖(2)

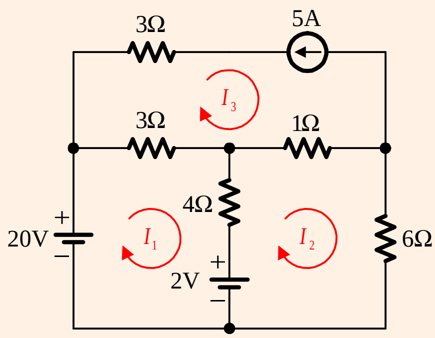
3. 如圖(3)所示電路，試以迴路電流法求電流 I = ______ A。

4. 如圖(4)所示電路，試求各網目之電壓方程式為何？
   I_1 之迴路方程式：________________。
   I_2 之迴路方程式：________________。
   I_3 之迴路方程式：________________。
   註：迴路中不含其他迴路者稱為網目（mesh）。

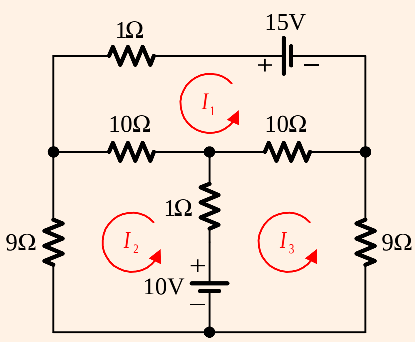


圖(3)

5. 如圖(5)所示電路，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 $a_{11} + a_{22} + a_{33}$ = ________。



圖(4)



圖(5)

重點摘要

1. 重疊原理的分析步驟：

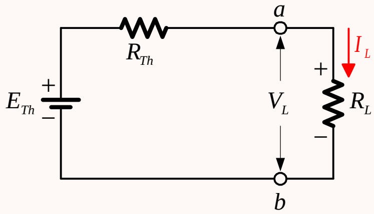
   (1) 使網路只保留其中一個電源，而將其它的電源移開。（移開電壓源時，將兩端視為短路；移開電流源時，將兩端視為斷路）

   (2) 分別畫出單一電源作用於電路時之電路圖。（若網路中有兩個電源，就須畫出兩個單一電源的電路圖）

   (3) 以串並聯方式解各單一電源之電路圖，並將得到的電壓或電流值重疊（相加減）即為所求。（電流方向相同者相加，相反者相減；電壓極性相同者相加，相反者相減）

2. 戴維寧定理：
   對於任何複雜的線性網路系統，都可以用單一的等效電壓源 E_{Th} 串聯一個等效電阻器 R_{Th} 來表示。

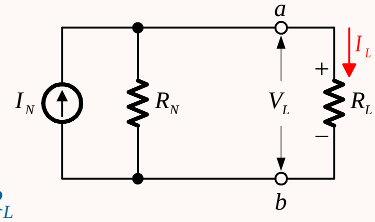
3. 戴維寧等效電路外接負載：
   將求得的戴維寧等效電阻 R_{Th} 與等效電壓 E_{Th} 串聯後，外接一個負載 R_L，利用歐姆定律求得通過負載的電流 I_L 與電壓 V_L 分別為：



$$I_L = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} \qquad V_L = \frac{R_L}{R_{Th} + R_L} E_{Th}$$

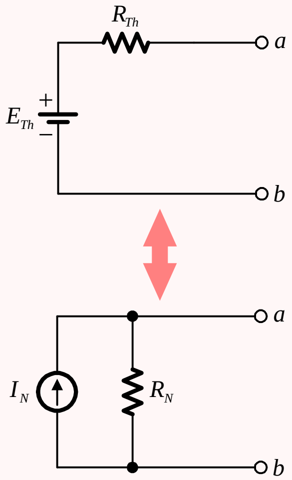
4. 諾頓定理：
   在任何一個包含電源的網路系統，其中任意兩端點的網路，都可以用單一的等效電流源 I_N 並聯一個等效電阻器 R_N 來取代。

5. 諾頓等效電路外接負載：
   將求得的諾頓等效電阻 R_N 與等效電流 I_N 並聯後，外接一個負載 R_L，利用歐姆定律求得通過負載的電流 I_L 與電壓 V_L 分別為：



$$I_L = \frac{R_N}{R_N + R_L} I_N \qquad V_L = I_L R_L = \frac{R_N}{R_N + R_L} I_N R_L$$

6. 戴維寧等效電路與諾頓等效電路的轉換：
戴維寧等效電阻 R_{Th} 與諾頓等效電阻 R_N 完全相同：
$R_{Th} = R_N$
戴維寧等效電壓為：$E_{Th} = I_N R_N$
諾頓等效電流為：$I_N = \dfrac{E_{Th}}{R_{Th}}$



7. 最大功率轉移 $P_{L\,\max}$：
戴維寧等效電路中，當負載 $R_L = R_{Th}$ 時，功率 P_L 有
最大值為：$P_{L\,\max} = \dfrac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$

※8. 欲求複雜網路中電源所提供的功率時，不可用戴維寧等效電路或諾頓等效電路來計算。

9. 節點電壓法的分析步驟：
(1) 決定網路中的節點。
(2) 標示各節點的電壓，並選擇一個參考點的電壓為零。
(3) 假定各節點分路電流的方向並作標示；依電流方向標定各電阻端電壓之＋－。
(4) 利用歐姆定律與克希荷夫電流定律寫出各節點的電流方程式。
(5) 聯立各節點之電流方程式，解出各節點電壓值，並利用各節點電壓的相對關係，求出各分路的電流值。

10. 迴路電流法的分析步驟：
(1) 於網路中選定迴路，並設定迴路電流的方向。（一般習慣以順時鐘方向為迴路電流的方向）
(2) 利用歐姆定律與克希荷夫電壓定律寫出各迴路的電壓方程式。（若有相鄰迴路共用電阻時，則須考慮相鄰迴路電流的效應：同方向相加，反方向相減）
(3) 聯立各迴路之電壓方程式，解出每個迴路電流，並依迴路電流與各分路電流的關係，求出各分路的電流值。

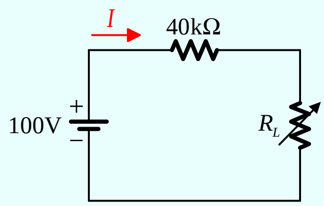
學後評量

一、選擇題

(　)1. 應用戴維寧定理求等效電阻時 (A)所有獨立電壓源短路，所有獨立電流源開路 (B)所有獨立電壓源開路，所有獨立電流源短路 (C)所有電源均短路 (D)所有電源均開路

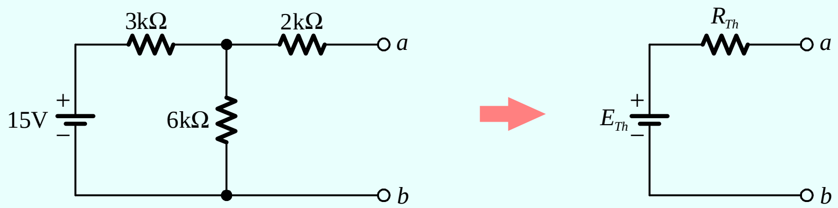
(　)2. 下列關於基本電路定理的敘述，何者正確？
(A)在應用重疊定理時，移去的電壓源兩端以開路取代
(B)根據戴維寧定理，可將一複雜的網路以一個等效電壓源及一個等效電阻串聯來取代
(C)節點電壓法是應用克希荷夫電壓定律，求出每個節點電壓
(D)迴路電流法是應用克希荷夫電流定律，求出每個迴路電流

(　)3. 如圖(1)的電路中，可變電阻器 R_L 調整範圍是 30kΩ 到 60kΩ，當可變電阻調整到跨於 R_L 兩端的功率為最大值時，電流 I 等於多少？ (A)1mA (B)1.25mA (C)1.42mA (D)2.5mA



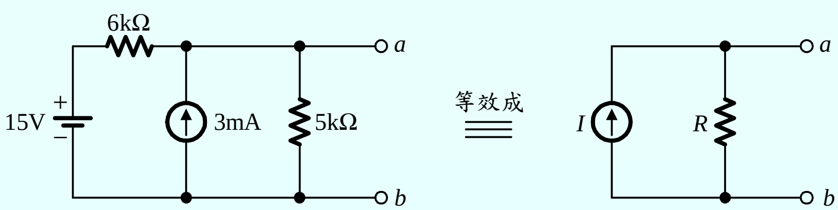
圖(1)

(　)4. 如圖(2)電路中之戴維寧等效電阻 R_{Th} 與戴維寧等效電壓 E_{Th} 各為多少？ (A)8kΩ、10V (B)8kΩ、5V (C)4kΩ、10V (D)4kΩ、5V



圖(2)

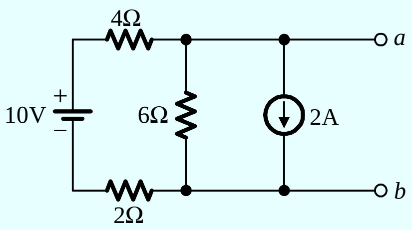
(　)5. 如圖(3)所示電路，求 I = ？ (A)5.5mA (B)7.5mA (C)10mA (D)12.5mA



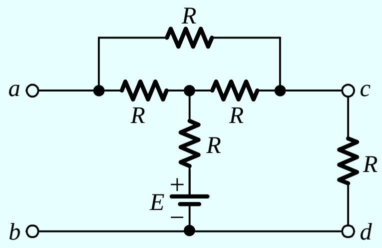
圖(3)

(　)6. 如圖(4)所示電路，a、b 兩端之戴維寧等效電壓為多少？ (A)−12V (B)−1V (C)5V (D)12V

(　)7. 如圖(5)所示電路，a、b 兩端點間的戴維寧等效電阻為 (A)1R (B)2R (C)3R (D)4R



圖(4)

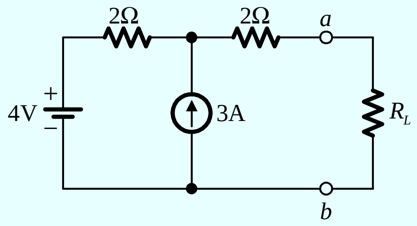


圖(5)

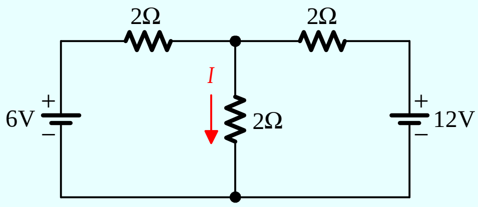
(　)8. 如圖(6)所示電路，為使負載 R_L 可吸收最大功率，則負載 R_L 的電阻值為 (A)1Ω (B)2Ω (C)3Ω (D)4Ω

(　)9. 如圖(6)所示電路，負載 R_L 可吸收的最大功率為 (A)$\frac{25}{2}$W (B)$\frac{25}{4}$W (C)$\frac{25}{6}$W (D)$\frac{25}{8}$W

(　)10. 如圖(7)所示，電路中央之 2Ω 電阻所消耗的功率為 (A)12W (B)14W (C)18W (D)36W



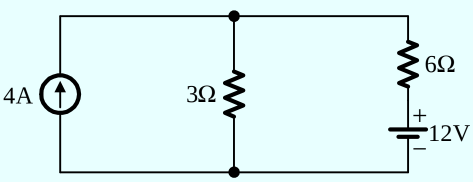
圖(6)



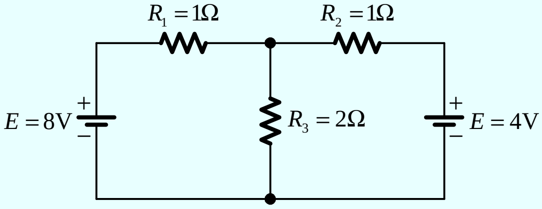
圖(7)

(　)11. 如圖(8)所示之電路，電流源所供給之功率為多少瓦特？ (A)12 (B)24 (C)48 (D)72

(　)12. 如圖(9)所示經由 R_1 的電流為 (A)0.8A (B)2.4A (C)3.2A (D)5.6A

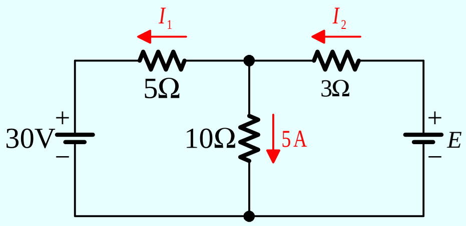


圖(8)

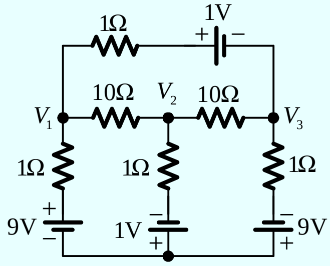


圖(9)

( )13. 如圖(10)所示電路，則電壓 E 的值為 (A)23V (B)42V (C)73V (D)77V



圖(10)



圖(11)

( )14. 用節點電壓法分析電路，是依據 (A)戴維寧定理 (B)諾頓定理 (C)克希荷夫電壓定律 (D)克希荷夫電流定律

( )15. 某甲以節點電壓法解圖(11)之直流電路時，列出之方程式如下：

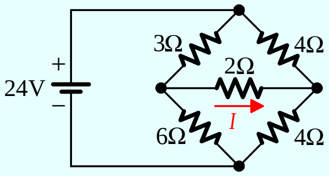
$\frac{21}{10}V_1-\frac{1}{10}V_2-V_3=I_1$、$-\frac{1}{10}V_1+\frac{12}{10}V_2-\frac{1}{10}V_3=I_2$、

$-V_1-\frac{1}{10}V_2+\frac{21}{10}V_3=I_3$，則下列何者正確？

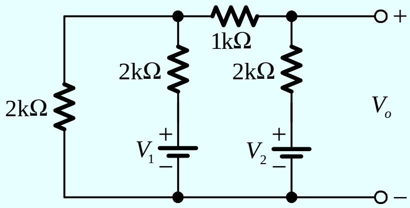
(A) $I_1=-10\text{A}$ (B) $I_2=1\text{A}$ (C) $I_3=10\text{A}$ (D) $I_1+I_2+I_3=-1\text{A}$

( )16. 如圖(12)所示，其流經 2Ω 電阻之電流為 (A)0A (B)$\frac{1}{3}$A (C)$\frac{2}{3}$A (D)1A

※( )17. 某信號傳輸電路如圖(13)所示，其輸入電壓（V_1及V_2）與輸出電壓（V_o）關係表示為$V_o=aV_1+bV_2$，則： (A) $a=1/8$ (B) $b=1/4$ (C) $a+b=3/4$ (D) $a+b=3/8$

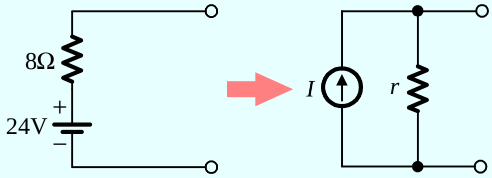


圖(12)



圖(13)

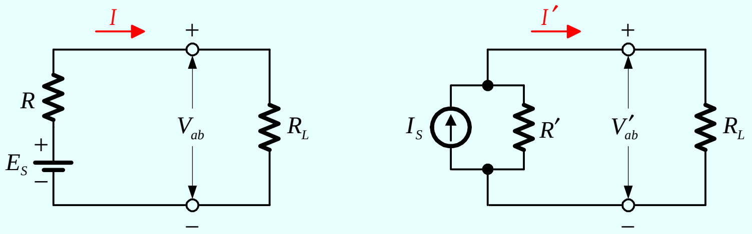
※( )18. 如圖(14)所示，將電壓源電路變換為電流源電路時，其電流 I 應為 (A)24A (B)12A (C)8A (D)3A



圖(14)

※(　)19. 10 個電池並聯，若每個電池之電動勢同為 20V，內阻同為 10Ω，且於此並聯電池組的兩端接上一個 39Ω 的負載電阻，則其總電流值為 (A)0.408A (B)0.5A (C)1A (D)1.439A

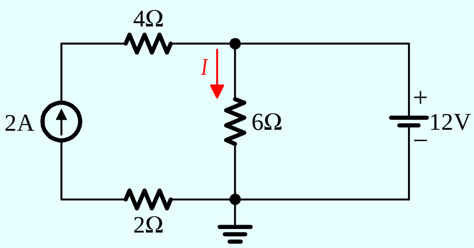
※(　)20. 圖(15)所示兩電路中之電源為等效電源，則下列敘述何者正確？ (A)電壓 $V_{ab}=V'_{ab}$ (B)電流 $I=I'$ (C)電阻 $R=R'$ (D)電阻 R_L 消耗之功率一定相等 (E)電阻 R 與 R' 消耗之功率一定相等（複選）



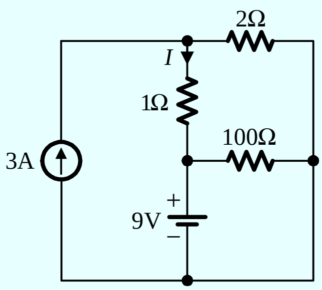
圖(15)

二、計算題

1. 如圖(16)電路，電流 I 為多少安培？
2. 如圖(17)之直流電路，求其中電流 I 為多少？

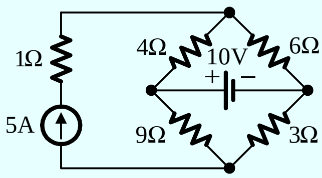


圖(16)

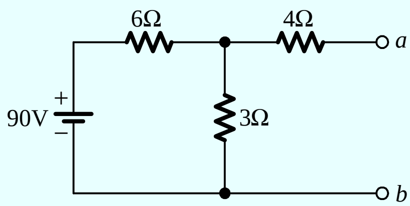


圖(17)

3. 如圖(18)所示，求 6Ω 電阻所消耗的功率為多少？
4. 如圖(19)所示電路，試將電路化成戴維寧等效電路。



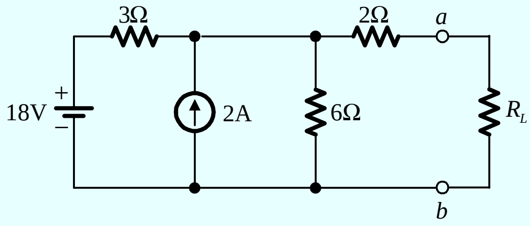
圖(18)



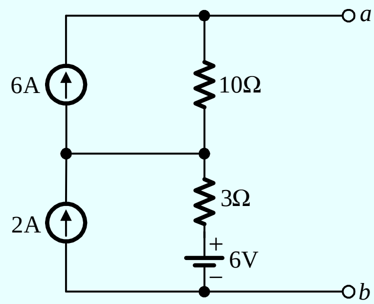
圖(19)

5. 如圖(20)所示電路，試將電路化成諾頓等效電路。

6. 如圖(21)所示電路，試求 a 、 b 兩端點間的戴維寧等效電壓及等效電阻各為多少？



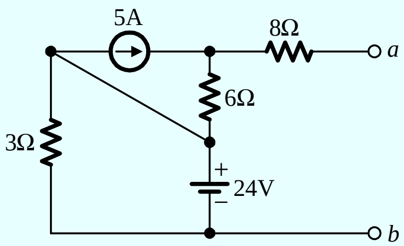
圖(20)



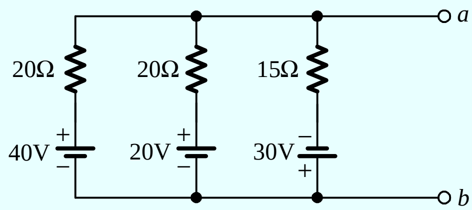
圖(21)

7. 如圖(22)所示電路，試求電路的戴維寧等效電壓為多少伏特？

8. 如圖(23)所示電路，將電路化成諾頓等效電路，試求諾頓等效電流為多少？



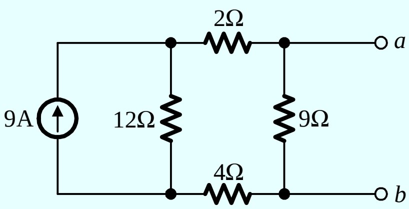
圖(22)



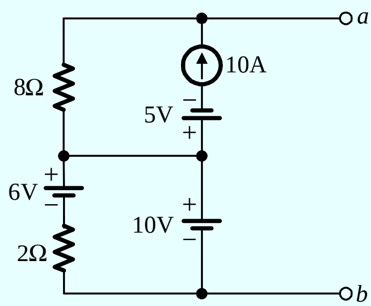
圖(23)

9. 如圖(24)所示電路， a 、 b 兩端點間的諾頓等效電阻與諾頓等效電流分別為多少？

10. 如圖(25)所示電路， a 、 b 兩端點間的諾頓等效電流及等效電阻分別為多少？



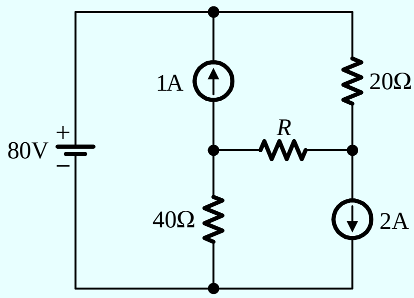
圖(24)



圖(25)

11. 如圖(26)所示電路，如果電阻 R 可以獲得最大功率輸出，則 R 電阻值為多少？電阻 R 獲得的最大功率為多少？

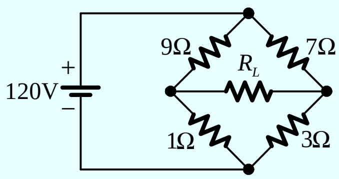
12. 有一內含直流電源及純電阻之兩端點電路，已知兩端點 a 、 b 間之開路電壓 $V_{ab}=30\text{V}$ ；當 a 、 b 兩端點接至一 20Ω 之電阻，此時電壓 $V_{ab}=20\text{V}$ ；則此電路之 a 、 b 兩端需要連接多大之電阻方能得到最大功率輸出？此電路最大之功率輸出為多少？



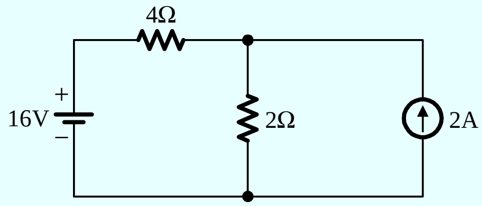
圖(26)

13. 如圖(27)所示電路，求電阻 R_L 可獲得最大功率時的電阻值？

14. 如圖(28)所示電路，其中 2Ω 電阻之消耗功率為多少

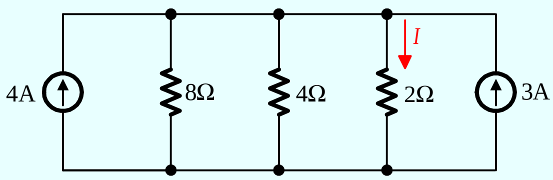


圖(27)



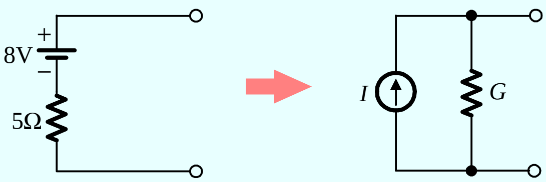
圖(28)

15. 如圖(29)所示電路，求流經 2Ω 電阻的電流 I 為多少？



圖(29)

※16. 如圖(30)所示之等效電路中，試求：(1)電流 $I=$ ？ (2)電導 $G=$ ？



圖(30)

※17. 有 24 只電池，以 6 只串聯成一組，再以此 4 組並聯。若每一電池之電動勢為 1.5V ，內電阻為 0.1Ω ，試求此一電池組之總電動勢與總內電阻為多少？

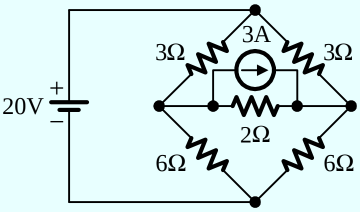
※18. 有 2 個電動勢為 14V 、內電阻為 4Ω 的電池。試求：

(1) 若 2 個電池串聯後接 12Ω 電阻，則流過 12Ω 之電流為多少安培？

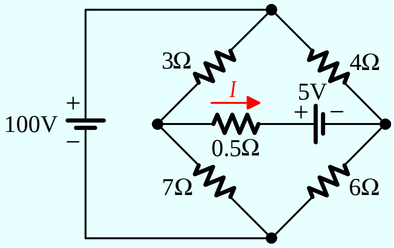
(2) 若 2 個電池並聯後接 12Ω 電阻，則流過 12Ω 之電流為多少安培？

※ 19. 如圖(31)所示電路，試求流過 2Ω 電阻器的電流為若干？

※ 20. 如圖(32)所示電路，試求電路中電流 I 為多少？



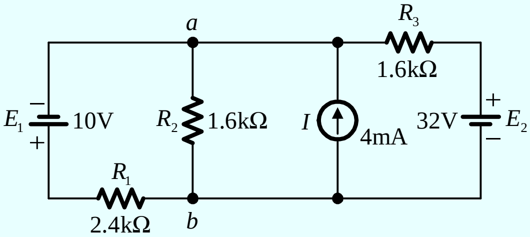
圖(31)



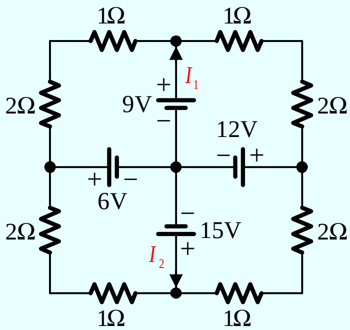
圖(32)

※ 21. 如圖(33)所示電路，試求在 R_2 上所產生之壓降為多少？

※ 22. 如圖(34)之直流電路，試求其中電流 $I_1 + I_2$ 為多少？



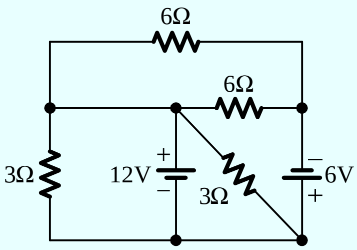
圖(33)



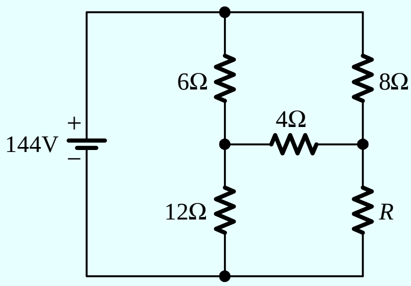
圖(34)

※ 23. 如圖(35)之直流電路，試求其中 12V 電源供給之電功率 P 為多少？

※ 24. 如圖(36)所示電路，如果要使電阻 R 獲得最大功率輸出，試求電阻 R 值為若干？並求電阻 R 所得的最大功率為若干？



圖(35)



圖(36)