



直流電路實作

學習大綱

- 3-1 電阻串並聯電路
- 3-2 惠斯登電橋
- 3-3 重疊定理
- 3-4 戴維寧及諾頓定理
- 3-5 最大功率轉移
- 3-6 本章摘要

學習目標

1. 能計算串並聯電路的電壓、電流與總電阻。
2. 能理解惠斯登電橋原理，與由惠斯登電橋計算未知電阻。
3. 能理解重疊定理原理，並由重疊定理計算負載電流。
4. 能理解戴維寧及諾頓定理，並由解戴維寧及諾頓定理計算負載電流。
5. 能理解最大功率轉移定理，並由最大功率轉移定理設計負載的大小，可得到最大功率轉移。



► 表 3a 本章零件表

編號	零件名稱	數量	備註
1	1k Ω (1/2W)	10	
2	2k Ω (1/2W)	10	
3	3k Ω (1/2W)	10	
4	10k Ω (1/2W)	3	
5	1k 半可變電阻	5	
6	10k 半可變電阻	5	

前面第 2 章已經介紹電阻、電壓、電流、電源供應器，本章則要進入直流電主題，電阻的串並聯電路、惠斯登電橋、重疊定理、戴維寧及諾頓定理、最大功率轉移等定理。

3-1 電阻串並聯電路

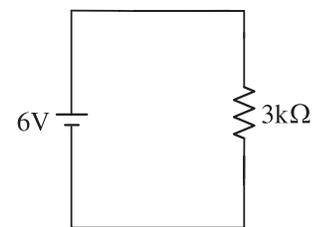
歐姆定律

科學家歐姆經由不斷實驗，發現任一元件可流過的電流大小與其端電壓成正比，與其電阻成反比，以數學式表示如下，我們稱此為歐姆定律 (Ohm's law)。

$$I = \frac{V}{R} \quad (V \text{ 單位 } V, R \text{ 單位 } \Omega, I \text{ 單位 } A)$$

範例 3-1a

電路如圖 (1)，請計算與量測電流。



★ 圖 (1)

實習目的

1. 驗證歐姆定律。

操作步驟

1. 計算電流理論值。依據歐姆定律 $I = V/R = 6/3k = 2mA$ 。
2. 量測電流。同範例 2-3h，焊接電路，量測電流，寫出此電流_____。
請問此量測值，是否與第 1 點的理論值接近？_____

自我練習

1. 同範例 3-1a，電壓分別調整 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10V，如下表，請計算電流理論值，量測電流實際值，取 x 軸為 V ， y 軸為 I ，繪出 $V-I$ 曲線圖。

V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I理論值										
I測量值										

2. 同範例 3-1a，電壓為 10V，電阻改為 10k 可變電阻，電阻分別調整 1k,2k,3k,4k,5k,6k,7k,8k,9k,10k，如下表，請計算電流理論值，量測電流實際值，取 x 軸為電阻， y 軸為 I ，繪出 $R-I$ 曲線圖。

R	1k	2k	3k	4k	5k	6k	7k	8k	9k	10k
I理論值										
I測量值										

3. 若有一實驗，實驗結果如下表，請繪出其曲線圖，並以數學式推測其關係。

A	10	20	30	40	50	60	70
B	0.11	0.19	0.33	0.4	0.51	0.6	0.69

4. 若有一實驗，實驗結果如下表，請繪出其曲線圖，並以數學式推測其關係。

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B	60	30	20	15	12	10	8.5	7.5	6.7	6

電阻串聯電路

電阻串聯電路 (serial circuit) 如範例 3-1b 圖 (1)，所有電阻沿單一路徑頭尾相接。

☞ 克希荷夫電壓定律(Kirchhoff's voltage law)

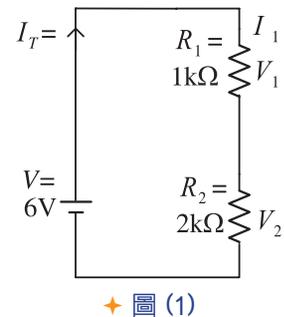
任意封閉迴路的電壓升等於電壓降。例如，範例 3-1b 圖 (1)，電源是電壓升，所有電阻都是電壓降，所以 $V = V_1 + V_2$ 。以下範例 3-1b 將驗證克希荷夫電壓定律。

☞ 克希荷夫電流定律(Kirchhoff's current law)

對於任意節點，流進的電流和等於流出的電流和。例如，範例 3-1c 圖 (1)，對於 a 節點，電源電流 I_T 是流進 a 節點， I_1 與 I_2 都是流出 a 節點，所以 $I_T = I_1 + I_2$ 。範例 3-1c 將驗證克希荷夫電流定律。

範例 3-1b

電路如圖 (1)，請計算與量測 R_T 、 I 、 V_1 、 V_2 。

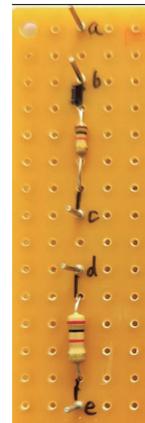


實習目的

1. 驗證串聯電路總電阻等於所有元件電阻的總和。
2. 驗證串聯電路所有元件的電流都相等，且等於總電流。
3. 驗證克希荷夫電壓定律—封閉迴路的電壓升等於電壓降。

操作步驟

1. 電路板製作如圖 (2)， (a,b) 、 (c,d) 接線柱下面是斷路，用於量測電流，電路板黑線條表示電路焊接面有銅線連接。



2. 計算總電阻 R_T 理論值。

(1) 依據克希荷夫電壓定律——任意封閉迴路電壓升等於電壓降 $V = V_1 + V_2$

(2) 依據歐姆定律 $I = \frac{V}{R}$

$$I_T R_T = I_1 R_1 + I_2 R_2 \quad (2)$$

(3) 依據克希荷夫電流定律——對於任意節點，流進的電流和等於流出的電流和，所以串聯電路 $I_T = I_1 = I_2$ ，既然電流都相同，所以 (2) 式可以簡化如下：

$$R_T = R_1 + R_2 = 1k + 2k = 3k \Omega$$

3. 測量總電阻_____ (請於 b, e 兩點量測總電阻，且 (c, d) 要用鱷魚夾線短路)，以上測量值是否與理論值相同呢？_____

4. 計算電路總電流 I 理論值， $I = V/R_T =$ _____

5. 電源供應器調 6V，且電源正極接上頁圖 2 的 a 點，負極接 e 點。

6. 量測 $I_1 =$ _____。三用電表測試紅棒夾 a 點，測試黑棒夾 b 點， (c, d) 接線柱要用鱷魚夾線短路。

7. 量測 $I_2 =$ _____。三用電表測試紅棒夾 c 點，測試黑棒夾 d 點， (a, b) 接線柱要用鱷魚夾線短路。

8. 計算 V_1 理論值， $V_1 = I * R_1 =$ _____，量測 V_1 _____。((a, b) 、 (c, d) 接線柱要用鱷魚夾線短路)

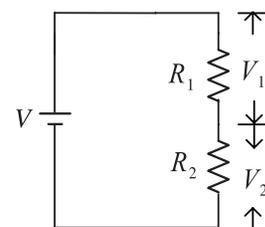
9. 計算 V_2 理論值， $V_2 = I * R_2 =$ _____，量測 V_2 _____。((a, b) 、 (c, d) 接線柱要用鱷魚夾線短路)

10. 以上 V_1 、 V_2 量測值相加等於_____，是否等於電源 6V 呢？_____

11. 電壓分配定則：

由克希荷夫電壓定律，串聯電路的電流都相同，所以各元件所分配的分壓也是與自己的電阻成正比。例如，兩個電阻 R_1, R_2 串聯，接在電源電壓 V ，則 R_1 的分壓 V_1 是

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



R_2 的分壓 V_2 是

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

自我練習

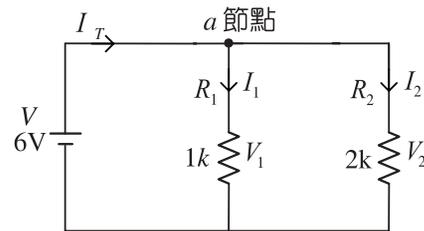
1. 同範例 3-1b，電源改為 12V，並重新計算 R_T 、 I 、 V_1 、 V_2 與驗證。
2. 同範例 3-1b，但再串聯一個電阻 $R_3 = 3k\Omega$ ，電源改為 12V，並重新計算 R_T 、 I 、 V_1 、 V_2 、 V_3 與驗證。

電阻並聯電路

電阻並聯 (parall) 電路如範例 3-1c 圖 (1)，所有電阻頭與頭，尾與尾互相連接，形成多個電流迴路，以下範例 3-1c 將驗證並聯電路特性。

範例 3-1c

電阻並聯電路如圖 (1)，請計算總電阻 R_T 、總電流 I_T 、各分支電流 I_1 、 I_2 。



★ 圖 (1) 電路圖

實習目的

1. 驗證克希荷夫電流定律—對於任意節點，流進的電流和等於流出的電流和。
2. 驗證串聯電路總電阻的倒數 $1/R_T$ 等於所有元件電阻倒數的總和 $1/R_1 + 1/R_2$ 。
3. 驗證串聯電路所有元件的電壓 V 都等於總電壓 V 。

操作步驟

1. 計算總電阻 R_T 理論值。
(1) 於圖 (1)，對於節點 a ，依據克希荷夫電流定律：

$$I_T = I_1 + I_2$$

(2) 依據歐姆定律：

$$\frac{V}{R_T} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \quad (2)$$

(3) 依據克荷夫電壓定律，所以 $V_1 = V_2 = V$ ，既然電壓都相等所以 (2) 式可以化簡如下：

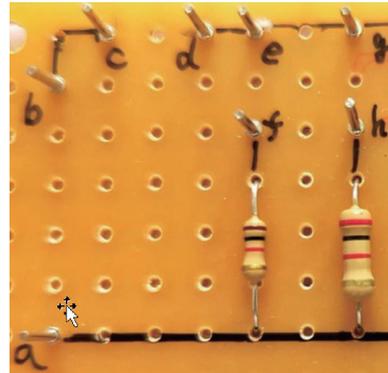
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1k} + \frac{1}{2k} = \frac{2}{2k} + \frac{1}{2k} = \frac{3}{2k}$$

$$R_T = \frac{2k}{3} = 0.67k\Omega$$

(4) 以上兩個電阻並聯的計算較耗時，我們通常簡化如下：兩個電阻相乘除以相加的結果。

$$R_T = \frac{1k \cdot 2k}{(1k + 2k)} = \frac{1 \cdot 2k^2}{1 + 2k} = 0.67k\Omega$$

2. 電路板製作如圖 (2)，(c,d)、(e,f)、(g,h) 接線柱下面是斷路，用於量測電流，黑色線條表示電路板焊接面有銅線連接。
3. 測量總電阻_____ (請於 d,a 兩點量測總電阻，且 (e,f)、(g,h) 要用鱷魚夾線短路)，是否與第 1 點理論值相同呢？_____



★ 圖 (2) 焊接電路板

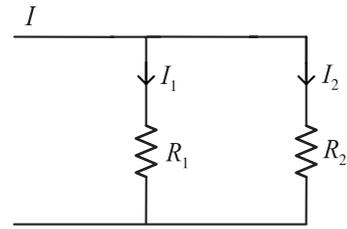
4. 電源供應器調 6V，且電源正極接 b 點，負極接 a 點。
5. 計算電路總電流 I 理論值， $I = V/R_T =$ _____
6. 量測 $I =$ _____。三用電表測試紅棒夾 c 點，測試黑棒夾 d 點，(e,f)、(g,h) 接線柱要用鱷魚夾短路。
7. 量測 $I_1 =$ _____。三用電表測試紅棒夾 e 點，測試黑棒夾 f 點，(c,d)、(g,h) 接線柱要用鱷魚夾短路。
8. 量測 $I_2 =$ _____。三用電表測試紅棒夾 g 點，測試黑棒夾 h 點，(c,d)、(e,f) 接線柱要用鱷魚夾短路。
9. 以上量測值 $I_1 + I_2 =$ _____，是否與 I 相同呢？_____

10. 計算 V_1 理論值， $V_1 = I_1 * R_1 =$ _____，量測 V_1 _____ ((c,d)、(e,f)、(g,h) 接線柱要用鱷魚夾短路)， V_1 是否等於 V ? _____
11. 計算 V_2 理論值， $V_2 = I_2 * R_2 =$ _____，量測 V_2 _____。((c,d)、(e,f)、(g,h) 接線柱要用鱷魚夾短路)， V_2 是否等於 V ? _____
12. 並聯電路電流分配定則：

並聯電路因為電壓都相同，而電流與電阻成反比，所以若有電流 I 進入 R_1 與 R_2 並聯的節點，如圖 (3)，則

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

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

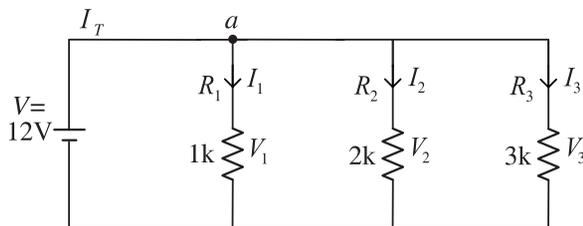


★ 圖 (3)

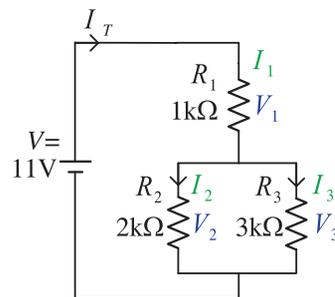
以上稱為電流分配定則。這些電壓、電流分配定則都要記起來，後面章節計算才能省事。

自我練習

1. 同以上範例 3-1c，但是電源改為 12V，並重新計算與驗證。
2. 同以上範例 3-1c，但是新增並聯 $R_3 = 3k\Omega$ ，電源改為 12V，如圖 (4)，並重新計算與驗證。
3. 假設有電路如圖 (5)，請計算 R_T 、 I_T 、 I_1 、 I_2 、 V_1 、 V_2 、 V_3 理論值，並焊接此電路、量測以上實際值。



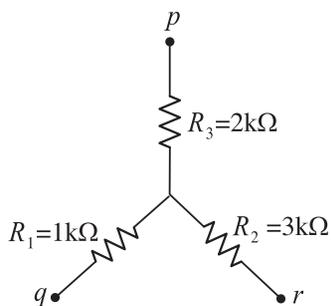
★ 圖 (4)



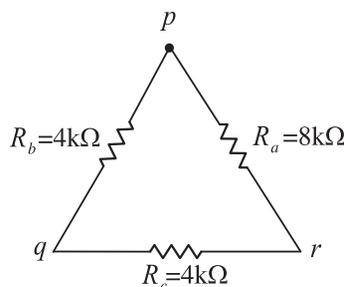
★ 圖 (5)

Y型(y branch)電路轉△電路(delta branch)

以下圖 3-1a，稱為 Y 型電路，圖 3-1b 稱為△型電路。



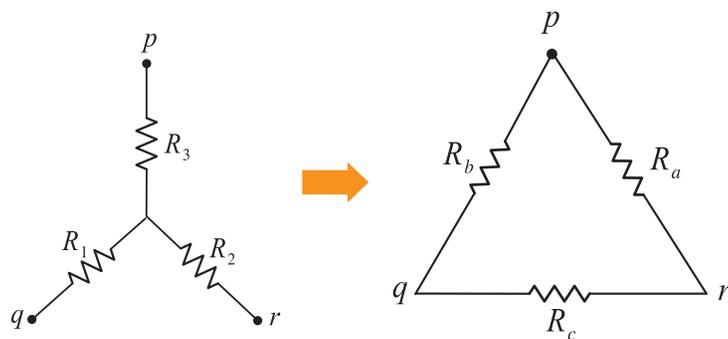
★ 圖 3-1a Y 型電路



★ 圖 3-1b △型電路

經由串並聯計算，我們發現兩個電路的 R_{pq} 、 R_{qr} 、 R_{pr} 都相等，所以我們稱此兩個電路等效，既然等效，表示可以替換，而不影響原電路特性，以上 Y 型轉△型或△型轉 Y 型是一個解電路的技巧，因為有些電路經由此種方式轉換後，會變得比較簡單，請看本章習題第 23 題。

Y 轉△的公式如下：



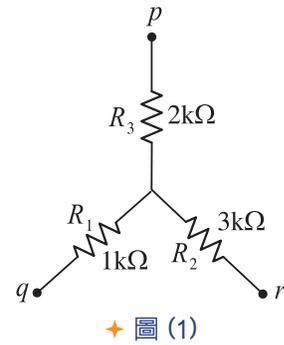
$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} = R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}, R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$$

以上公式可以用電路形狀來幫助記憶，簡單的說，Y 轉△，先有 Y，請留意 Y 下面有一直線，所以分母選對面的電阻，分子是三個電阻兩兩相乘之總和。而且此轉換公式，分子一定是兩個相乘，單位是 Ω^2 ，分母則是一個 Ω ，兩個相除，單位才會是 Ω ，而且分母只有一個電阻，樣式很簡單，分子就會比較複雜。（此公式「分母較簡單」這句話，請看以下△電路轉 Y 型電路，就會明白）

$$R_a = \frac{\text{電阻兩兩相乘之總和}}{R_o \text{對面的電阻}} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$$

範例 3-1d

Y 型電路如圖 (1)，請焊接此電路，轉換此電路為 Δ 電路，焊接此 Δ 電路，如圖 (2)，分別計算與量測 Y 型電路與 Δ 電路中的 R_{pq} 、 R_{qr} 、 R_{rq} 是否相等。



實習目的

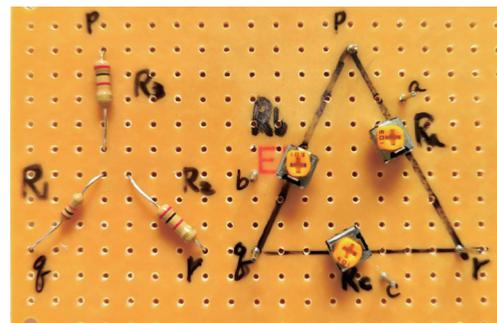
1. 驗證 Y 型電路轉為 Δ 電路的公式。

操作步驟

1. 將 Y 型電路轉為 Δ 電路的公式以 Python 程式完成，求出 R_a 、 R_b 、 R_c 分別為 $8\text{k}\Omega$ 、 $4\text{k}\Omega$ 、 $4\text{k}\Omega$ 。

```
k=1000
R1=1*k
R2=2*k
R3=2*k
RR=R1*R2+R2*R3+R3*R1
Ra=RR/R1
Rb=RR/R2
Rc=RR/R3
print(Ra,Rb,Rc) #8000,4000,4000
```

2. 焊接圖 (1) 的 Y 型電路，如圖 (2)。
3. 分別以 3 個 $10\text{k}\Omega$ 半可變電阻焊接圖 3-1c Δ 電路，如圖 (3)，調整 R_a 、 R_b 、 R_c 分別為 $8\text{k}\Omega$ 、 $4\text{k}\Omega$ 、 $4\text{k}\Omega$ 。
(本例，使用接線柱 a, b, c 接出電阻，也就是使用 a, r 兩點調整 R_a ，



★ 圖 (2)

★ 圖 (3)

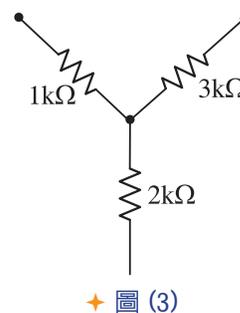
使用 p, b 兩點調整 R_b ，使用 q, c 兩點調整 R_c ，調整完，請將 (a, p) ， (b, q) ， (c, r) 使用鱷魚夾線短路

4. 分別計算、量測 Y 型電路與 Δ 電路兩邊 R_{pq} 、 R_{qr} 、 R_{rp} 的值，填入下表：

	Y 型電路		Δ 型電路		Y 型與 Δ 型比較
	理論值	測量值	理論值	測量值	是否相符？
R_{pq}	$R_1 + R_3 =$		$R_b // (R_a + R_c) =$		
R_{qr}	$R_1 + R_2 =$		$R_c // (R_a + R_b) =$		
R_{rp}	$R_2 + R_3 =$		$R_d // (R_b + R_c) =$		

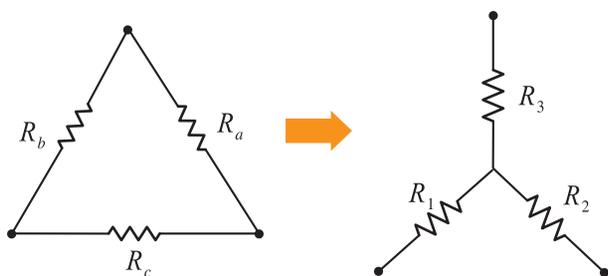
自我練習

- 假設有 Y 型電路如圖 (3)，請繪出其等效 Δ 電路，且使用範例 3-1d 的可變電阻調整出此 Δ 電路。



Δ 電路轉 Y 型電路

Δ 轉 Y 的公式如下：



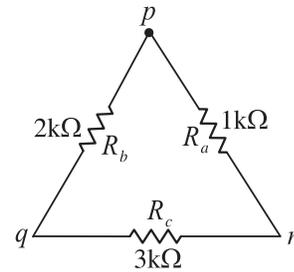
$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c}, \quad R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}, \quad R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$$

以上公式可以用電路形狀來幫助記憶，簡單的說， Δ 轉 Y，先有 Δ ，所以分母選三個電阻相加，分子是對應電阻兩旁的電阻乘積。而且分子一定是兩個相乘，單位是 Ω^2 ，分母則是一個 Ω ，那兩個相除，單位才會是 Ω ，而且分母複雜（分母簡單這句話，請對照 Y 轉 Δ ），分子就簡單，所以選 R_1 旁邊電阻相乘就可以。

$$R_1 = \frac{\text{原本三角型中，相同位置兩邊電阻相乘}}{\text{三個電阻總和}} = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

範例 3-1e

電路如圖 (1)，請焊接此 Δ 電路，轉換此電路為 Y 型電路，焊接此 Y 型電路，分別計算與量測 Y 型電路與 Δ 電路中的 R_{pq} 、 R_{qr} 、 R_{rq} 是否相等。



★ 圖 (1)

實習目的

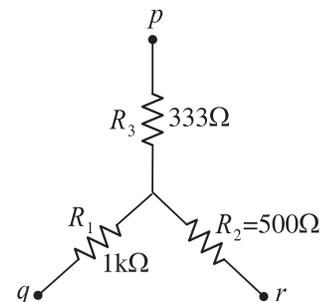
1. 驗證 Δ 電路轉為 Y 型電路的公式。

操作步驟

1. 焊接此 Δ 電路。
2. 將 Δ 電路轉為 Y 型電路的公式以 Python 程式完成，求出 R_1 、 R_2 、 R_3 分別為 $1\text{k}\Omega$ 、 500Ω 、 333Ω 。

```
k=1000
Ra=1*k
Rb=2*k
Rc=3*k
RR=Ra+Rb+Rc
R1=(Rb*Rc)/RR
R2=(Ra*Rc)/RR
R3=(Ra*Rb)/RR
print(R1,R2,R3)#1000 500 333
```

3. 使用三個 1k 半可變電阻，焊接如圖 (2) 的 Y 型電路，並分別將 R_1 、 R_2 、 R_3 調整為 1000Ω 、 500Ω 、 333Ω 。
4. 分別計算、量測 Δ 電路與 Y 型電路兩邊 R_{pq} 、 R_{qr} 、 R_{rq} 的值，填入下表：

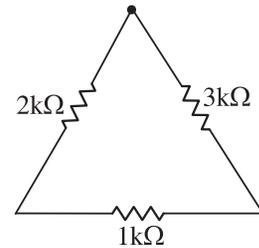


★ 圖 (2)

	△型電路		Y型電路		Y型與△型比較
	理論值	測量值	理論值	測量值	是否相符？
R_{pq}	$R_b // (R_a + R_c) =$		$R_1 + R_3 =$		
R_{qr}					
R_{rq}					

自我練習

1. 假設有△型電路如圖(3)，請繪出其等效Y型電路，且使用範例 3-1e 的可變電阻調整出此電路。



★ 圖(3)

補充說明

以上 Y 型與△型電路互轉公式的推導如下：

$$1. R_{pq} = R_b // (R_a + R_c) = R_1 + R_3 \Rightarrow \frac{R_a R_b + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_1 + R_3 \quad (1)$$

$$2. R_{qr} = R_c // (R_a + R_b) = R_1 + R_2 \Rightarrow \frac{R_a R_c + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_1 + R_2 \quad (2)$$

$$3. R_{pr} = R_a // (R_b + R_c) = R_3 + R_2 \Rightarrow \frac{R_a R_b + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_3 + R_2 \quad (3)$$

4. 將以上①②③三式，等號兩邊全部相加得到

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

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

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

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

8. 將⑤⑥⑦兩邊兩兩相乘再相加，也就是⑤⑥ + ⑥⑦ + ⑤⑦得到

$$R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_1 = \frac{R_c(R_a R_b R_c) + R_a(R_a R_b R_c) + R_b(R_a R_b R_c)}{(R_a + R_b + R_c)^2}$$

$$= \frac{R_a R_b R_c (R_a + R_b + R_c)}{(R_a + R_b + R_c)^2} = \frac{R_a R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (8)$$

3-14 基本電學實習

9. 將⑧ / ⑤得到 $R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$ (此為 Y 型轉 Δ 型公式)

10. 將⑧ / ⑥得到 $R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}$ (此為 Y 型轉 Δ 型公式)

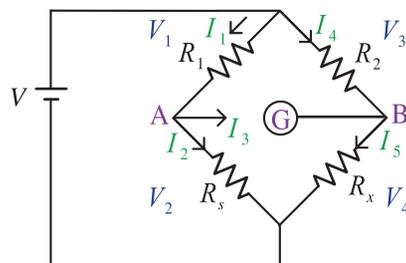
11. 將⑧ / ⑦得到 $R_c = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3}$ (此為 Y 型轉 Δ 型公式)

3-2 惠斯登電橋

惠斯登電橋 (wheatstone bridge) 電路如圖 3-2a， R_1 和 R_2 稱為電橋的比例臂， R_s 為調整臂，待測電阻為 R_x ，其功用可用來量測未知電阻 R_x 的值。依據歐姆定律得到：

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

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



★ 圖 3-2a 惠斯登電橋

調整 R_s 的電阻值，使流過檢流計的電流 $I_3 = 0$ ，代表電橋平衡，流過檢流計的電流為零，即電橋 A、B 兩點的電位相同，此時

$$V_A = V_B, \quad I_2 = I_1, \quad I_5 = I_4, \quad V_2 = V_4, \quad V_1 = V_3$$

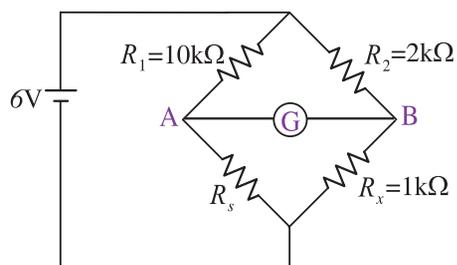
$$\text{由 } V_2 = V_4 \text{ 得到 } I_2 \cdot R_s = I_5 R_x \quad (1)$$

$$\text{由 } V_1 = V_3 \text{ 得到 } I_1 \cdot R_1 = I_4 R_2 \quad (2)$$

$$\text{將以上 (1)/(2) 得到 } \frac{R_s}{R_1} = \frac{R_x}{R_2} \Rightarrow R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s$$

範例 3-2a

電路如圖 (1)，假設 R_x 為未知電阻，本例使用 $1\text{k}\Omega$ 電阻， R_s 為 $10\text{k}\Omega$ 精密可變電阻，調整 R_s 電阻，使得檢流計電流為 0，請量測 R_s 電阻值，並由 R_s 電阻值計算 R_x 電阻值。



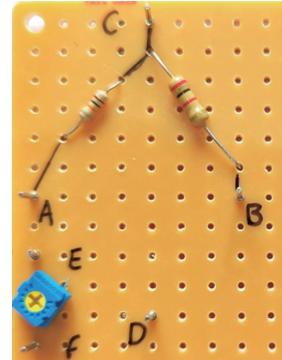
★ 圖 (1)

實習目的

1. 驗證惠斯登電橋。

操作步驟

1. 焊接以上電路，如圖 (2)。本例實驗時 (A,E) 與 (F,D) 兩點，請使用鱷魚夾線使其短路（等一下實驗完成，可將短路線移除，才能量測半可變電阻的電阻值）。D,B 兩點，用來夾未知電阻。
2. 三用電表撥「NULL DCV 5」，調整可變電阻 R_s ，使得 A,B 兩點電壓為 0。
3. 三用電表請撥電流檔，量測 A,B 兩點電流=_____。
4. 移除電源，移除 (A,E) 與 (F,D) 的短路線，使用三用電表量測 R_s 電阻，即 (E,F) 兩點的電阻=_____。
5. 此時待測電阻 $R_x = R_2 * R_s / R_1 =$ _____，請問是否與本例 1k Ω 相近。



✦ 圖 (2)

自我練習

1. 同範例 3-2a，請更換未知電阻為 1.5k Ω ，並重新進行實驗。

3-3 重疊定理

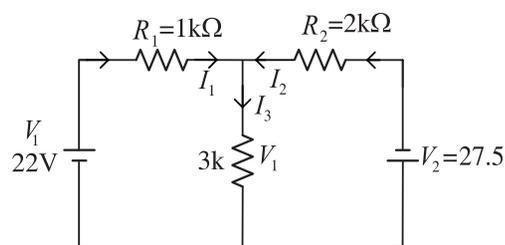
重疊定理

在含有數個獨立電源同時存在的電路中，各元件上的電流或電壓，為各電源單獨作用時，所產生的電流或電壓的代數和，此稱為重疊定理 (superposition theorem)。大意是說，當電源有很多個時，可以分開一個一個獨立計算，最後再加起來，這樣可以簡化問題。但因為電源有可能是電壓源或電流源，若是被忽略的是電壓源，則將其短路，被忽略的是電流源則將其開路。其解題步驟如下：

1. 考慮第 1 個電源對負載的貢獻，且忽略其它電源，被忽略的若是電壓源，則將其短路，被忽略的若是電流源，則將其開路。
2. 重複步驟 1，直到所有電源都被計算。
3. 加總所有電源對此負載的貢獻，但要考慮電流方向。

範例 3-3a

電路如圖 (1)，請計算 I_3 理論值與量測值。



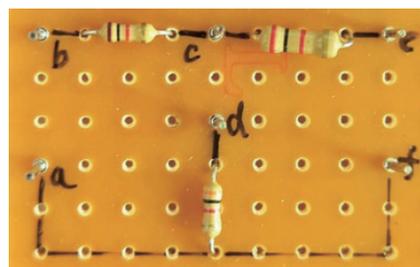
✦ 圖 (1)

實習目的

1. 驗證重疊定理。

操作步驟

1. 電路焊接如圖 (2)。
2. 計算 I_3 理論值。



✦ 圖 (2)

(1) 先計算 V_1 對 I_3 的貢獻。

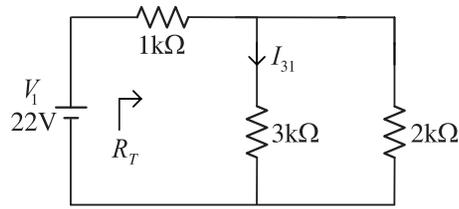
a. 將 V_2 短路，如圖 (3)。

b. 計算總電阻

$$R_T = 1k + (3k//2k) = 2.2k \Omega。$$

c. 計算總電流 $I_T = \frac{22}{2.2k} = 10mA。$

d. 使用分流定則計算 $I_{31} = 10m \cdot \frac{2}{3+2} = 4mA。$ (向下)



✦ 圖 (3)

(2) 計算 V_2 對 I_3 的貢獻。

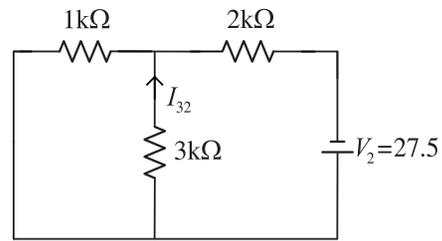
a. 將 V_1 短路，如圖 (4)。

b. 計算總電阻

$$R_T = 2k + (1k//3k) = 2.75k \Omega。$$

c. 計算總電流 $I = \frac{27.5}{2.75} = 10mA。$

d. 使用分流定則計算 $I_{32} = 10m \cdot \frac{1}{3+1} = 2.5mA。$ (向上)



✦ 圖 (4)

(3) 累加以上電源對 I_3 的貢獻。

$$I_3 = I_{31} + I_{32} = 4m \text{ (向下)} + 2.5m \text{ (向上)} = 1.5mA \text{ 向下}$$

- 僅 V_1 供電 (V_2 不能供電，且要短路)，量測 $I_3 =$ _____。
(請寫出方向)
- 僅 V_2 供電 (V_1 不能供電，且要短路)，量測 $I_3 =$ _____。
(請寫出方向)
- 累加以上兩個 $I_3 =$ _____。(請留意以上兩個電流的方向，同向相加，異向相減)
- V_1 、 V_2 同時供電，量測 $I_3 =$ _____，是否與第 5 點的電流和相同呢？
_____。

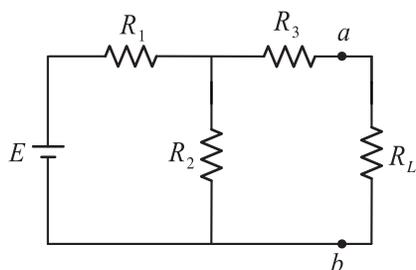
自我練習

- 電路同範例 3-3a，但是 V_2 反向，也就是正極在上面。
- 電路同範例 3-3a，但是負載換為 R_1 ，求流經 R_1 的電流。

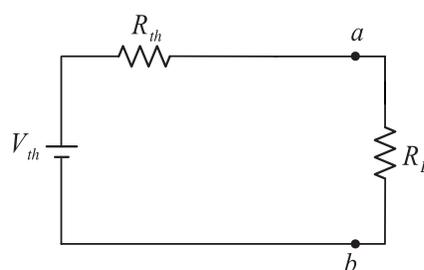
3-4 戴維寧及諾頓定理

戴維寧定理

戴維寧定理 (Thevenin's theorem) 是一個電路簡化技巧，用來求任一複雜的線性網路 (如圖 3-4a) 中某一負載 (如圖 3-4a 中的 R_L) 的電流與電壓，因為抽離此負載後，剩下的電路 (圖 3-4a, a,b 兩點左邊) 可以化簡為一電壓源 (V_{th}) 與一電阻 (R_{th}) 串聯的等效電路；其中電壓源 V_{th} 稱爲此一複雜線性網路的「戴維寧等效電壓」，電阻 R_{th} 則稱爲「戴維寧等效電阻」，如圖 3-4b。戴維寧定理的解題步驟如下：



★ 圖 3-4a 任一複雜的線性網路

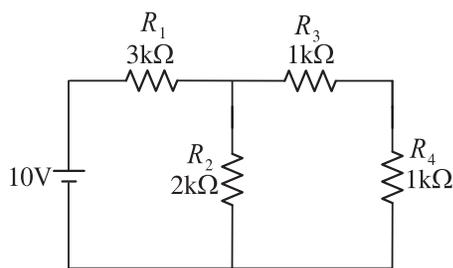


★ 圖 3-4b 任一複雜的線性網路

1. 抽離負載 (要求解電流或電壓的元件稱爲負載)
2. 求 V_{th} 。
抽離負載後，從負載端量測的電壓即爲 V_{th} 。
3. 求 R_{th}
 - (1) 若有電壓源，將電壓源短路。
 - (2) 若有電流源，將電流源開路。
 - (3) 從負載端量測的電阻即爲 R_{th} 。以下我們以範例實作以上戴維寧定理。

範例 3-4a

電路如圖 (1)，請計算 R_4 電流理論值與量測值。



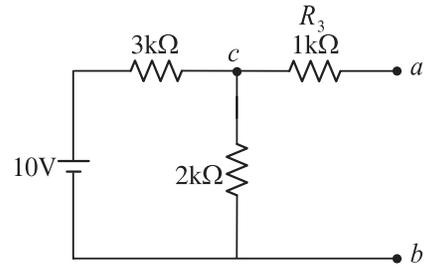
★ 圖 (1)

實習目的

1. 驗證戴維寧定理。

操作步驟

1. 要求 R_4 電流， R_4 就是負載，抽離負載 R_4 ，並在抽離處標示 a, b 兩點，電路如圖 (2)。



✦ 圖 (2)

2. 求 V_{th} 。

如圖 (2)， a, b 兩點的電壓即為 V_{th} ，現在開路了， R_3 沒電流，所以 a, c 兩點等電位，此時 c 點電壓，即為 V_{th}

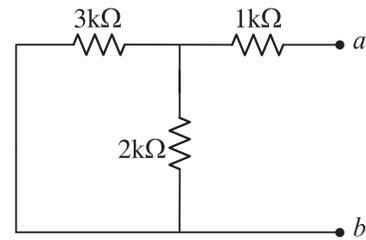
$$V_{th} = (10 / (3k + 2k)) * 2k = 4V$$

3. 求 R_{th} 。

(1) 將電壓源短路，如圖 (3)。

(2) 從負載端 a, b 兩點量測的電阻，即為 R_{th} 。

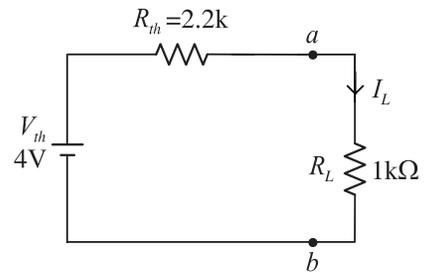
$$R_{th} = (3k // 2k) + 1k = 1.2k + 1k = 2.2k$$



✦ 圖 (3)

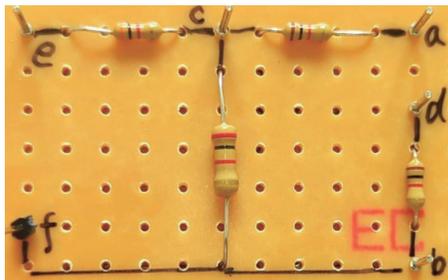
4. 畫出等效電路，如圖 (4)，計算 I_L 理論值。

$$I_L = 4 / (2.2k + 1k) = 1.25mA$$



✦ 圖 (4)

5. 焊接電路如圖 (5)。



✦ 圖 (5) 電路板照片

6. 量測 R_{th} ，電壓源短路（請將 e, f 兩點短路），量測 a, b 兩點的電阻值_____（表示負載移除），此即為 R_{th} ，請問此值是否與前面第 3 點理論值相同？_____
7. 電源由 e, f 兩點供應 10V。

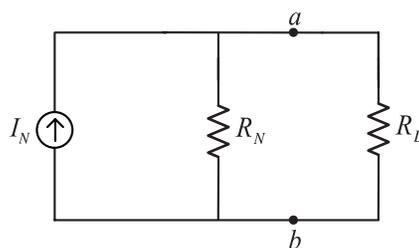
8. 量測 V_{th} 。如圖 (4)，量測 ab 兩點電壓_____，此即為 V_{th} ，請問與前面第 2 點的理論值是否相同？_____也請量測 c,b 兩點電壓，請問 c 點電壓與 a 點是否相同？_____
9. 量測 a,d 兩點的電流_____，此即為負載的電流，請問是否與第 4 點的 I_L 理論值相同？_____。

自我練習

1. 同範例 3-4a，但將負載改為 R_1 ，請先計算流經此電阻的電流，並量測 V_{th} 、 R_{th} 、 I_L 。
2. 同範例 3-4a，但將負載改為 R_2 ，請先計算流經此電阻的電流，並量測 V_{th} 、 R_{th} 、 I_L 。

諾頓定理

諾頓定理 (Norton's theorem) 也是一個類似戴維寧定理的電路簡化技巧，用來求任一複雜的線性網路（如圖 3-4a）中某一負載（如圖 3-4a 中的 R_L ）的電流與電壓，因為抽離此負載後，剩下的電路（如圖 3-4a a,b 點左邊）可以化簡為一電流源 (I_N) 與一電阻 (R_N) 並聯的等效電路，如圖 3-4c；其中電流源 I_N 稱為此一複雜線性網路的「諾頓等效電流」，電阻 R_N 則與 R_{th} 計算方式相同，但改稱為「諾頓等效電阻」，如圖 3-4c。



★ 圖 3-4c 諾頓等效電路

諾頓定理的解題步驟如下：

1. 抽離負載（要求解電流或電壓的元件稱為負載）
2. 求 I_N 。
將負載短路，流經此短路線的電流即為 I_N 。
3. 求 R_N 。求法同戴維寧定理的 R_{th} ，但在此稱為 R_N
 - (1) 若有電壓源，將電壓源短路。
 - (2) 若有電流源，將電流源開路。
 - (3) 從負載端量測的電阻即為 R_N 。以下我們以範例實作以上諾頓定理。

範例 3-4b

電路同範例 3-4a，但請以諾頓定理求解 R_4 電流 I_L 。

實習目的

1. 驗證諾頓定理。

操作步驟

1. 要求 R_4 電流， R_4 就是負載，抽離此負載，並標示 a, b 兩點，電路如圖 (1)。
2. 求 I_N 。

如圖 (2)， a, b 兩點的短路線電流即為 I_N 。

$$R_T = 3k + (1k // 2k) = 3.7k \Omega$$

$$I = \frac{10}{3.7k} = 2.7mA$$

$$I_N = \frac{2}{2+1} \cdot I = \frac{2}{3} \cdot 2.7m = 1.8m \quad (\text{分流定則，電流與電阻成反比})$$

3. 求 R_N 。(此與戴維寧定理相同)

(1) 將電壓源短路，如圖 (3)。

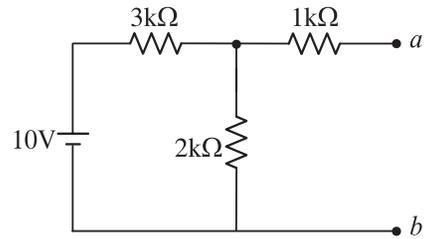
(2) 從負載端 a, b 兩點量測的電阻，即為 R_N 。

$$R_N = (3k // 2k) + 1k = 1.2k + 1k = 2.2k$$

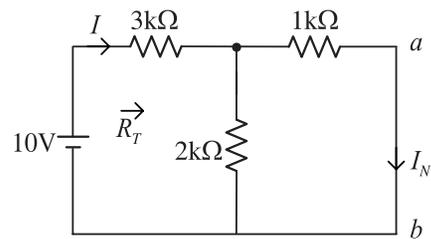
4. 畫出等效電路，如圖 (4)，計算 I_L 理論值。

$$I_L = 1.8m * 2.2k / (2.2k + 1k) = 1.23mA$$

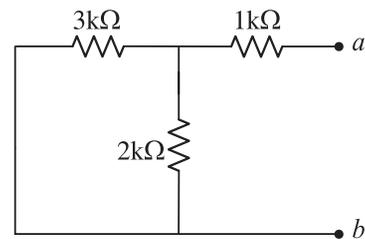
(分流定則，電流與電阻成反比)



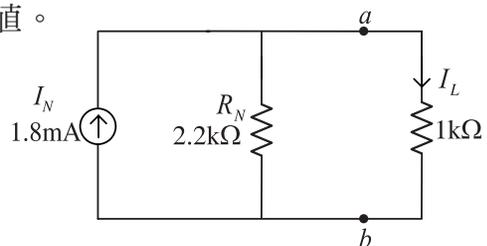
★ 圖 (1)



★ 圖 (2)



★ 圖 (3)



★ 圖 (4)

5. 焊接電路如範例 3-4a 圖 (5)。
6. 量測 R_{th} ，電壓源短路（請將 e,f 兩點短路），量測 a,b 兩點的電阻值_____，此即為 R_{th} ，請問此值是否與前面第 3 點相同。
7. 電源由 e,f 兩點供應 10V。
8. 量測 I_N 。如範例 3-4a 圖 (5)，量測 ab 兩點電流_____，此即為 I_N 。
9. 量測 a,d 兩點的電流_____，此即為負載的電流，請問是否與第 4 點的 IL 理論值相同。

自我練習

1. 同範例 3-4b，但將負載改為 R_1 ，請先計算流經此電阻的電流，並計算與量測 I_N 、 R_N 、 I_L 。
2. 同範例 3-4b，但將負載改為 R_2 ，請先計算流經此電阻的電流，並計算與量測 I_N 、 R_N 、 I_L 。

3-5 最大功率轉移

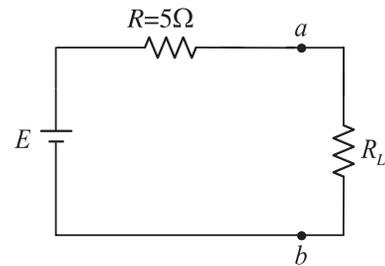
功率

電路元件作功的效率稱為功率，符號是 P ，單位是 W ，讀音瓦特或瓦。一個元件電阻 R ，端電壓 V ，通過的電流為 I ，則其功率 P

$$\begin{aligned} P &= VI \quad (V \text{ 的單位是 } V, I \text{ 的單位是 } A, P \text{ 的單位是 } W, \text{ 讀音瓦特或瓦}) \\ &= I^2 R \quad (\text{因為上式 } V = I * R, \text{ 所以功率還可寫成 } I^2 R) \\ &= V^2 / R \quad (\text{因為第 1 式 } I = V / R, \text{ 所以功率還可寫成 } V^2 / R) \end{aligned}$$

最大功率轉移

圖 3-5a 的電路是電學中常見的電路，因為若是實際電壓源， R 就是電壓源內組，於複雜電路中，此複雜電路必可用戴維寧定理化簡，得到一個戴維寧電壓與戴維寧電阻，此 R 就是戴維寧電阻，本節要探討 R_L 電阻值如何設計？可以得到最大功率，此稱為最大功率轉移定理（maximum power transfer theorem）。也就是我們要探討，我們負載的電阻值要取多少？負載功率才能最大。也就是電源的功率要盡量給負載 R_L ，而不要讓功率浪費在無關緊要的電阻 R 。由圖 3-5a 可知流過負載 R_L 的電流 $I = E / (R + R_L)$ ，所以負載的功率是



★ 圖 3-5a

$$P_L = I^2 R_L = \left(\frac{E}{R + R_L} \right)^2 R_L \quad (1)$$

現在我們假設 $E = 10V$ ， $R = 5\Omega$ ，我們 R_L 分別取 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 代入公式 (1)，將可得到 10 個功率，且以負載電阻 R_L 為 x 軸，負載功率 P_L 為 y 軸，在二維座標系統畫出以上 (R_L, P_L) 的點，以上工作的 Python 程式如下：

```
import matplotlib.pyplot as plt #載入繪圖 matplotlib.pyplot
                                模組，才能繪圖
import numpy as np #載入numpy 模組，繪圖用數值模組
E=10
R=5
```

```

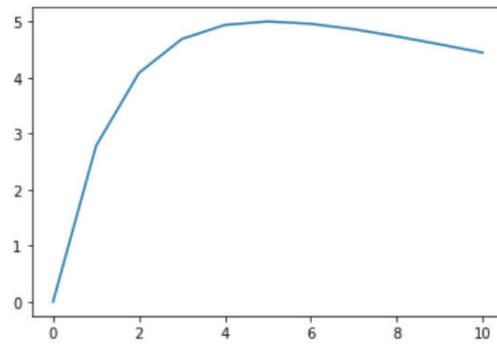
RL = np.arange(1, 10+1, 1) #產生 1到10數列
print(RL) # 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 代入
# RL 分別以 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 代入PL
# 逐一計算每一個RL的PL值
PL=(E/(R+RL))**2*RL
#分別輸出每一個RL的P值
for i in range(0,10):
    print(RL[i],end=" , ")
    print(PL[i])
plt.plot(RL,PL) #繪出每一個RL所對應PL值
plt.axhline(RL=0) #繪出x軸
plt.axvline(PL=0) #繪出y軸
plt.show() #於螢幕輸出圖形
    
```

以上程式每一個 R_L 與 P_L 的大小如圖 3-5b，圖形輸出如 3-5c。

```

[ 1  2  3  4  5  6  7  8  9 10]
1 , 2.7777777777777778
2 , 4.081632653061225
3 , 4.6875
4 , 4.938271604938272
5 , 5.0
6 , 4.958677685950413
7 , 4.8611111111111112
8 , 4.733727810650888
9 , 4.591836734693878
10 , 4.4444444444444445
    
```

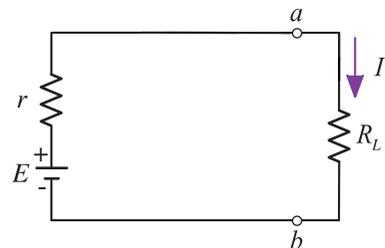
★ 圖 3-5b



★ 圖 3-5c

由上圖可知，當 $R_L = R$ 時（實際電壓源就是負載等於電壓源內阻，複雜電路就是負載等於戴維寧電阻時），負載的功率可得到最大值，即：

- 對於實際電壓源（如圖 3-5d 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：



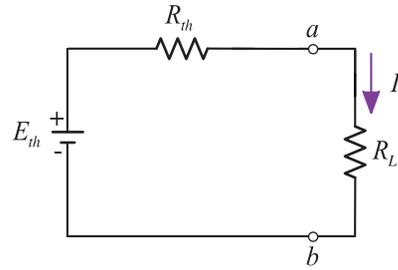
★ 圖 3-5d 實際電壓源的最大功率轉換

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

2. 對於複雜的網路——所有複雜網路都可簡化戴維寧等效電路（如圖 3-5e 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：

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

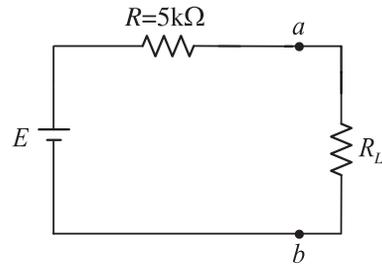
以上即為最大功率轉移定理。



★ 圖 3-5e 複雜網路的最大功率轉換

範例 3-5a

電路如圖 (1)，請調整可變電阻 $10\text{k}\Omega$ ，使得負載分別是 $1\text{k}\Omega, 2\text{k}\Omega, 3\text{k}\Omega, 4\text{k}\Omega, 5\text{k}\Omega, 6\text{k}\Omega, 7\text{k}\Omega, 8\text{k}\Omega, 9\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega$ 時，量測負載電流，計算負載功率 P ，在二維座標點出 (R_L, P_L) 位置，求出負載是多少時，此負載可得到最大功率，此功率為何？



★ 圖 (1)

實習目的

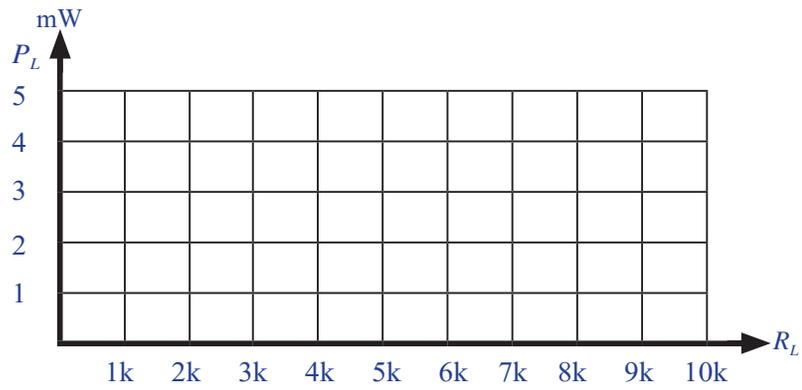
1. 驗證最大功率轉移定理。

操作步驟

1. 負載分別是 $1\text{k}\Omega, 2\text{k}\Omega, 3\text{k}\Omega, 4\text{k}\Omega, 5\text{k}\Omega, 6\text{k}\Omega, 7\text{k}\Omega, 8\text{k}\Omega, 9\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega$ 時，計算負載電流 $I = V/(R + R_L)$ ，計算負載功率 $P_L = I^2 * R_L$ ，填入表 1。
2. 焊接此電路。
3. 調整可變電阻使得負載分別是 $1\text{k}\Omega, 2\text{k}\Omega, 3\text{k}\Omega, 4\text{k}\Omega, 5\text{k}\Omega, 6\text{k}\Omega, 7\text{k}\Omega, 8\text{k}\Omega, 9\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega$ 時，量測負載電流，計算負載功率 P_L ，填入表 1。（每次調整電阻時，請先將電源供應線移除）
4. 將 R_L 當作 x 軸， P_L 當作 y 軸，請在圖 (2) 二維座標系統畫出 (R_L, P_L) 的位置（ x 軸是 R_L ， y 軸是 P_L ）。
5. 觀察 R_L 等於何值_____，功率可得到最大值，此最大值為何？

▶ 表 1

R_L	I(理論值)	$P = I^2 R$	I (測量值)	$P = I^2 R$
1 k Ω				
2 k Ω				
3 k Ω				
4 k Ω				
5 k Ω				
6 k Ω				
7 k Ω				
8 k Ω				
9 k Ω				
10 k Ω				



★ 圖 (2)

3-6 本章內容摘要

1. 歐姆定律：

$$I = \frac{V}{R} \quad (V \text{ 單位 } V, R \text{ 單位 } \Omega, I \text{ 單位 } A)$$

2. 串聯電路特性：

- (1) 串聯電路各元件的電壓降之和，等於電流源的電壓升。
- (2) 串聯總電阻等於所有串聯電阻之和 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_N$ 。
- (3) 串聯的所有元件電流都相同。
- (4) 電阻值越大，其端電壓越大，此即為電壓分配定則。
- (5) 元件位置互換，以上所有性質不變。
- (6) 任一元件斷路，則所有元件都沒有電流。

3. 並聯電路特性：

- (1) 並聯電路各元件的電壓降都相同。
- (2) 並聯總電阻的倒數等於所有並聯電阻倒數之和 $R_T = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \cdots + 1/R_N)$ 。
- (3) 並聯的所有元件流入的電流等於流出的電流之和 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_4$ 。
- (4) 電阻值越大，流過的電流越小，此為電流分配定則。
- (5) 任一元件斷路，其它元件都可正常運作，家用電器都是並聯連接，所以任意電器故障，其它電器都是正常運作。

4. 惠斯登電橋電路如圖 3-2a，其功用可用來測量未知電阻 R_x 的值，在圖 3-2a 中， R_1 和 R_2 稱為電橋的比例臂， R_s 為調整臂，待測電阻為 R_x 。

5. 重疊定理：

在含有數個獨立電源同時存在的線性電路中，各元件上的電流或電壓，為各電源單獨作用時，所產生的電流或電壓的代數和，此稱為重疊定理。

6. 戴維寧定理：

戴維寧定理是一個電路簡化技巧，任一複雜的線性網路（如圖 3-4a）中某一負載（如圖 3-4a 中的 R_L ）的電流與電壓，都可以化簡為一戴維寧等效電壓源（ V_{th} ）與一戴維寧等效電阻（ R_{th} ）串聯的等效電路，如圖 3-4b。戴維寧定理的解題步驟如下：

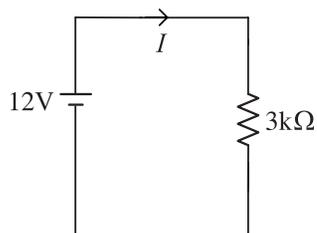
- (1) 抽離負載。
 - (2) 求 V_{th} 。抽離負載後，從負載端量測的電壓即為 V_{th} 。
 - (3) 求 R_{th} 。
 - a. 若有電壓源，將電壓源短路。
 - b. 若有電流源，將電流源開路。
 - c. 從負載端量測的電阻即為 R_{th} 。
 - (4) 畫出戴維寧等效電路。
 - (5) 求負載電流。
7. 諾頓定理：
- 諾頓定理也是一個類似戴維寧定理的電路簡化技巧，用來求任一複雜的線性網路(如圖 3-4a)中某一負載(如圖 3-4a 中的 R_L)的電流與電壓，因為抽離此元件後，剩下的電路(如圖 3-4a a,b 兩點左邊)可以化簡為一電流源(I_N)與一電阻(R_N)並聯的等效電路，如圖 3-4c；其中電流源 I_N 稱為此一複雜線性網路的「諾頓等效電流」，電阻 R_N 則與 R_{th} 計算方式相同，但改稱為「諾頓等效電阻」，如圖 3-4c。諾頓定理理解題步驟如下：
- (1) 抽離此負載。
 - (2) 求 I_N 。

將負載短路的電流即為 I_N 。
 - (3) 求 R_N 。(此步驟與 R_{th} 相同)
 - (4) 畫出諾頓等效電路。
 - (5) 求負載電流。
8. 定律 (law)：在自然界中，通過大量具體的實驗與驗證，所累積歸納而成的結論。例如，牛頓萬有引力定律、克希荷夫電壓定律、克希荷夫電流定律。
9. 定理 (theorem)：物理、電學、數學上的公式或規則，已證明為真實，稱為「定理」，例如，畢氏定理、戴維寧、諾頓定理。定理比定律適用範圍較窄，通常先要有一些前提，例如，畢氏定理的條件是要有一個直角。戴維寧、諾頓定理也是，僅適用特定的電路，不像克希荷夫電壓、電流定律，是所有電路都適用。

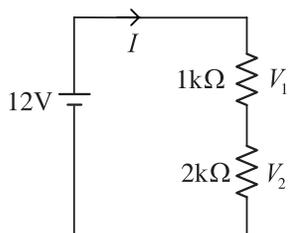
10. 定則 (rule)：定則是一種特定的方法用於解決或計算問題的數學方法，有時也稱作**法則**，例如，依據克希荷夫電壓定律可以導出電壓分配分配定則，依據克希荷夫電流定律，可導出電流分配定則，將此公式與定則記起來，可以減少計算時間。
11. 公式 (formula)：公式是由定律、定理或定則整理出來的數學式，這樣以後遇到類似的問題，直接計算比較快。例如，串聯電路總電阻為所有電阻的和；並聯電路總電阻為所有電阻倒數和相加再倒數。
12. 性質 (property) 與特性 (attribute)：性質與特性通常用來描述某一定律的現象。例如，依據克希荷夫電壓定律，可以得到以下串聯電路性質：
 - (1) 串聯電路的所有元件的電流一定相同。
 - (2) 任一元件燒毀，電流就中斷。
 - (3) 任意元件都可互換位置，不影響總電流。

3-7 課後習題

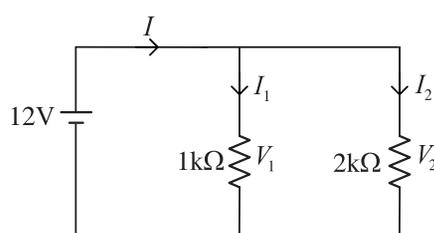
1. 電路如圖 (1)，試求電流 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
2. 電路如圖 (2)，試求電流 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
3. 電路如圖 (3)，試求電流 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



✦ 圖 (1)

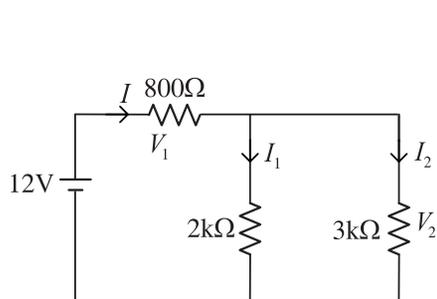


✦ 圖 (2)

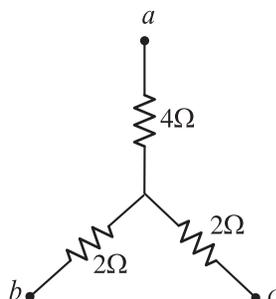


✦ 圖 (3)

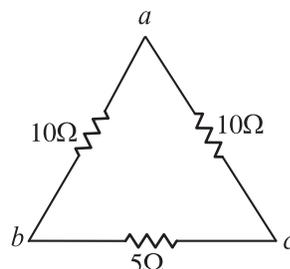
4. 電路如圖 (4)，試求電流 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
5. 電路如圖 (5)，求 $R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $R_{ac} = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $R_{bc} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
6. 電路如圖 (6)，求 $R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $R_{ac} = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $R_{bc} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。請問圖 (5) 與圖 (6) 的電路是否等效？



✦ 圖 (4)

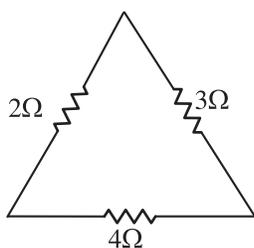


✦ 圖 (5)

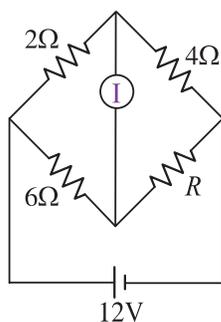


✦ 圖 (6)

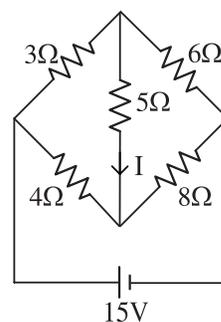
7. 電路如圖 (7)，請求其 Y 型等效電路。_____。
8. 電路如圖 (8)，若檢流計電流為 0，試求 $R = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
9. 電路如圖 (9)，求電流 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



✦ 圖 (7)

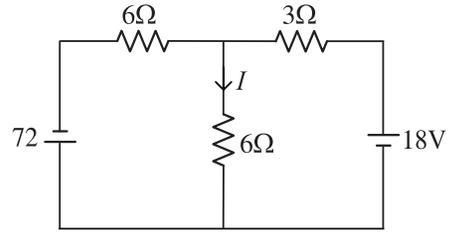


✦ 圖 (8)

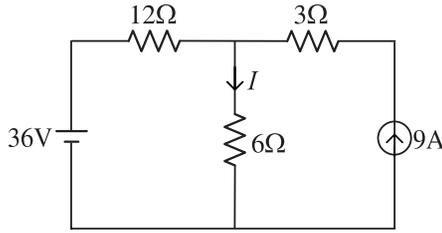


✦ 圖 (9)

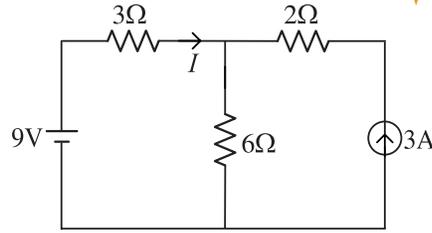
10. 電路如圖 (10)，求電流 $I =$ _____。
11. 電路如圖 (11)，求電流 $I =$ _____。
12. 電路如圖 (12)，求電流 $I =$ _____。



✦ 圖 (10)

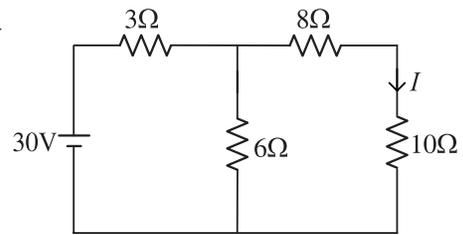


✦ 圖 (11)



✦ 圖 (12)

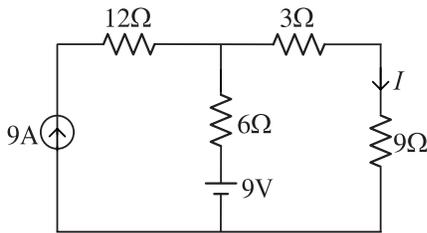
13. 電路如圖 (13)，請以戴維寧定理求 10Ω 電阻的電流， $V_{th} =$ _____, $R_{th} =$ _____, 畫出戴維寧等效電路，求出 10Ω 電阻的電流 = _____。



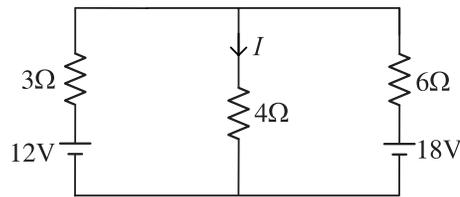
✦ 圖 (13)

14. 電路如圖 (14)，請以戴維寧定理求 9Ω 電阻的電流， $V_{th} =$ _____, $R_{th} =$ _____, 畫出戴維寧等效電路，求出 10Ω 電阻的電流 = _____。(本例 V_{th} 還要使用重疊定理)

15. 電路如圖 (15)，請以諾頓定理求 4Ω 電阻的電流， $I_N =$ _____, $R_N =$ _____, 畫出諾頓等效電路，求出 4Ω 電阻的電流 = _____。

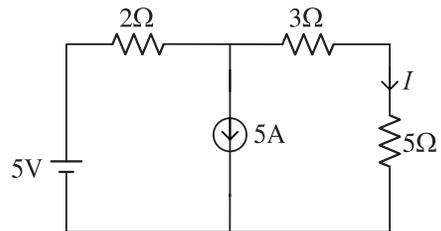


✦ 圖 (14)



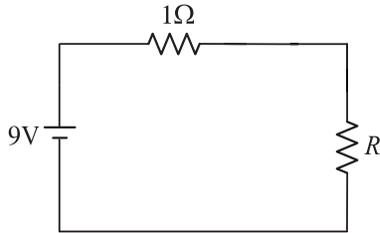
✦ 圖 (15)

16. 電路如圖 (16)，請以諾頓定理求流過 5Ω 電阻的電流， $I_N =$ _____, $R_N =$ _____, 畫出諾頓等效電路，求出流過 5Ω 電阻的電流 $I =$ _____。

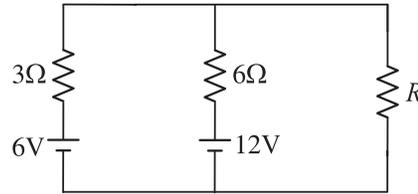


✦ 圖 (16)

17. 電路如圖 (17)，求 R 為多少，可得最大功率_____，最大功率是多少_____。
18. 電路如圖 (18)，求 R 為多少，可得最大功率_____，最大功率是多少_____。

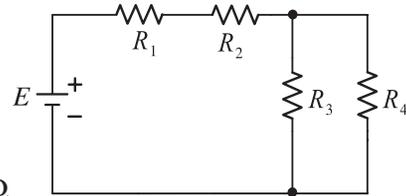


✦ 圖 (17)



✦ 圖 (18)

19. 如圖 (19) 所示，若已知 $R_1 = 20\Omega$ ， R_1 消耗功率為 $180W$ ， R_2 消耗功率為 $360W$ ， $R_3 = 60\Omega$ ， R_3 消耗功率為 $60W$ ，則下列何者正確？ 統測 111



- (A) $E = 120V$ ， $R_4 = 60\Omega$ (B) $E = 120V$ ， $R_4 = 30\Omega$
 (C) $E = 240V$ ， $R_4 = 60\Omega$ (D) $E = 240V$ ， $R_4 = 30\Omega$

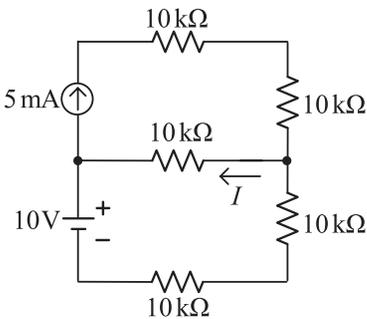
✦ 圖 (19)

20. 有一額定為直流 $120V$ ， $600W$ 的電熱線，若修剪掉 $\frac{1}{3}$ 長度並將剩下的 $\frac{2}{3}$ 長度兩端接於 $48V$ 直流電壓，則剩下 $\frac{2}{3}$ 長度的電熱線消耗功率為何？ 統測 111
- (A) $80W$ (B) $100W$ (C) $144W$ (D) $173W$

21. 如圖 (20) 所示電路，電流 I 為何？

統測 111

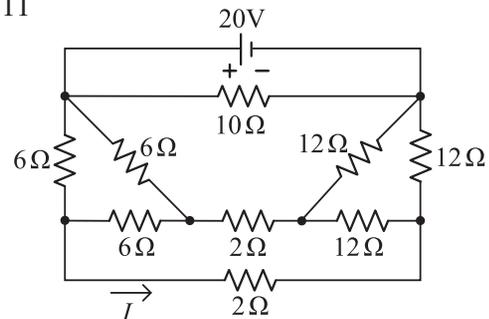
- (A) 1 mA
 (B) 3 mA
 (C) 5 mA
 (D) 6 mA



✦ 圖 (20)

22. 如圖 (21) 所示電路，電流 I 為何？ 統測 111

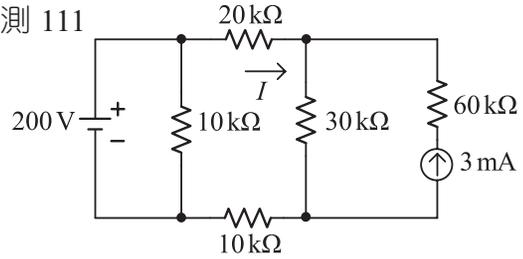
- (A) $0.5A$
 (B) $1A$
 (C) $1.5A$
 (D) $2A$



✦ 圖 (21)

23. 如圖 (22) 所示電路，電流 I 約為何？統測 111

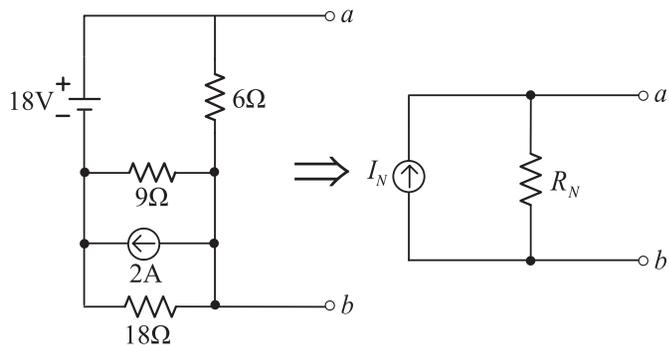
- (A) 0.1mA
- (B) 0.9mA
- (C) 1.8mA
- (D) 3.6mA



★ 圖 (22)

24. 如圖 (23) 所示電路，由 a 、 b 兩端看入之諾頓等效電流源 I_N 及等效電阻 R_N 分別為何？統測 111

- (A) $I_N = 5\text{ A}$ ， $R_N = 3\Omega$
- (B) $I_N = 5\text{ A}$ ， $R_N = 6\Omega$
- (C) $I_N = 2\text{ A}$ ， $R_N = 3\Omega$
- (D) $I_N = 2\text{ A}$ ， $R_N = 6\Omega$



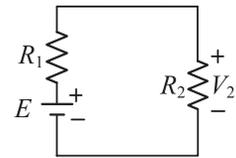
★ 圖 (23)

25. 若將平板電容器極板面積減少為原來的一半，並將極板間的距離改變為原來的 2 倍，且介電係數不變，則改變後的電容器之電容值為原來的幾倍？統測 111

(A) 4 倍 (B) 2 倍 (C) 0.5 倍 (D) 0.25 倍

26. 如圖 (24) 所示電路，若 E 及 R_1 為固定值，且當 $R_2 = 2\Omega$ 時， $V_2 = 10\text{V}$ ；當 $R_2 = 8\Omega$ 時， $V_2 = 16\text{V}$ 。當 $R_2 = 18\Omega$ 時，則 V_2 為何？統測 112

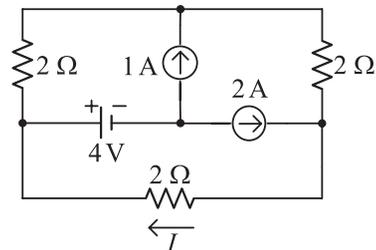
- (A) 20V (B) 19V (C) 18V (D) 17V



★ 圖 (24)

27. 如圖 (25) 所示電路，電流 I 約為何？統測 112

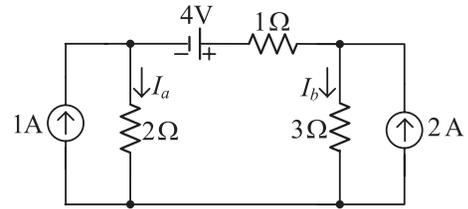
- (A) - 2.33A
- (B) - 1.24A
- (C) 1.67A
- (D) 2.33A



★ 圖 (25)

28. 如圖 (26) 所示電路，電流 I_a 與 I_b 分別為何？ 統測 112

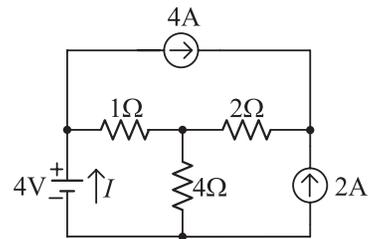
- (A) $I_a = 1\text{A}$ 、 $I_b = 2\text{A}$
- (B) $I_a = 2\text{A}$ 、 $I_b = 1\text{A}$
- (C) $I_a = 0\text{A}$ 、 $I_b = 2\text{A}$
- (D) $I_a = 1\text{A}$ 、 $I_b = 0\text{A}$



★ 圖 (26)

29. 如圖 (27) 所示電路，電流 I 為何？ 統測 112

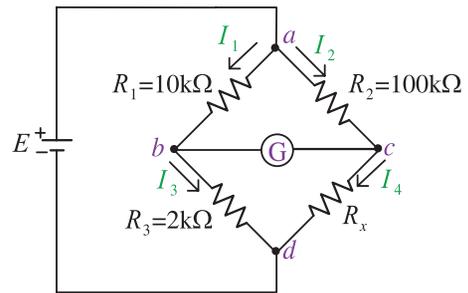
- (A) 3A
- (B) 2A
- (C) 1A
- (D) 0A



★ 圖 (27)

30. 如圖 (28) 所示為惠斯登電橋等效電路， R_x 為待測電阻，若檢流計 ⓐ 電流 I_G 為零，則下列何者正確？ 統測 111

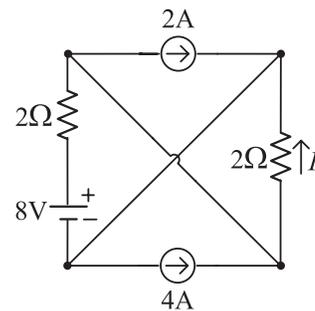
- (A) $R_x = 20\text{k}\Omega$
- (B) $R_x = 200\text{k}\Omega$
- (C) $I_1 = I_2$
- (D) $I_1 = I_4$



★ 圖 (28)

31. 如圖 (29) 所示電路，電流 I 為何？ 統測 112

- (A) - 3A
- (B) - 2A
- (C) 2A
- (D) 3A



★ 圖 (29)

MEMO