

基本電學之理論

國立勤益科技大學資工系

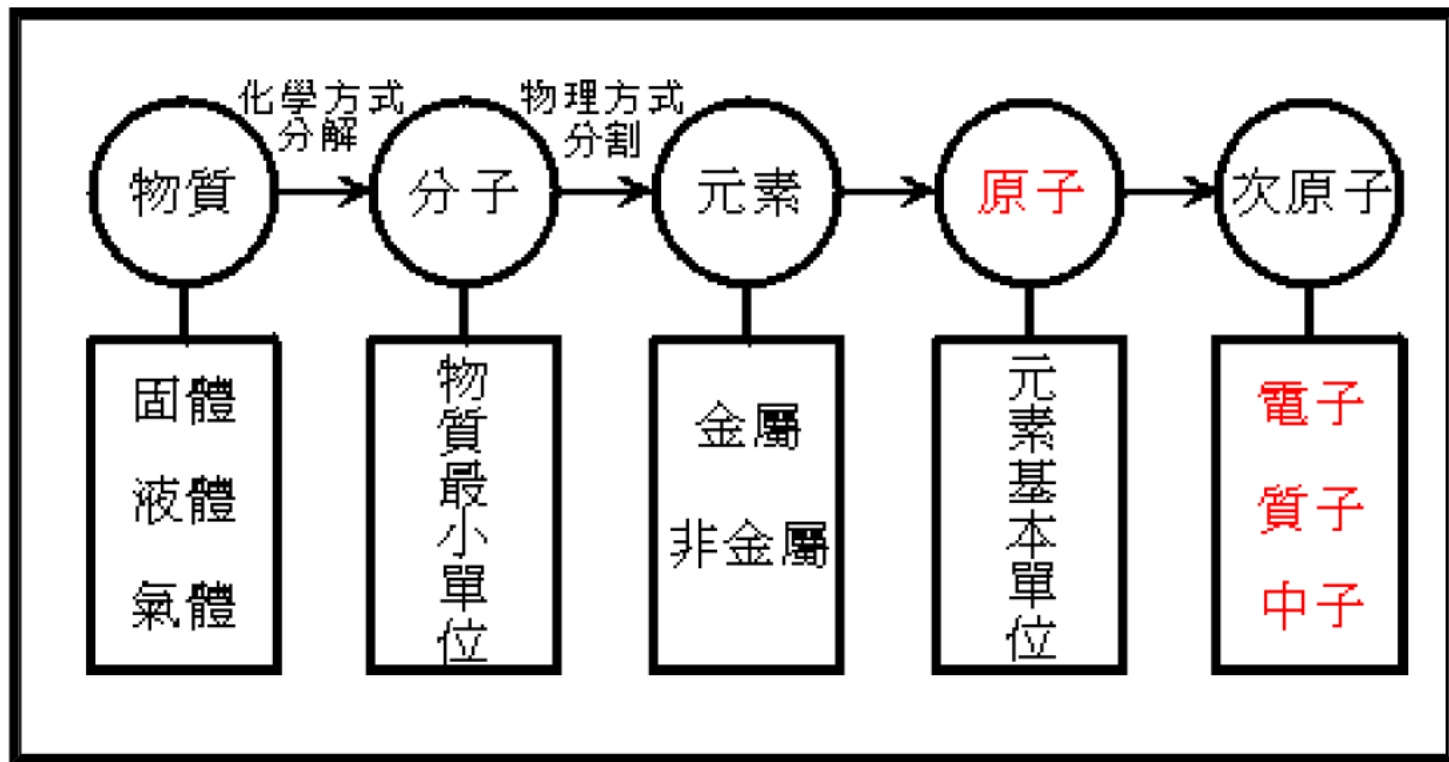
游正義

【E424研究室】

youjy@ncut.edu.tw

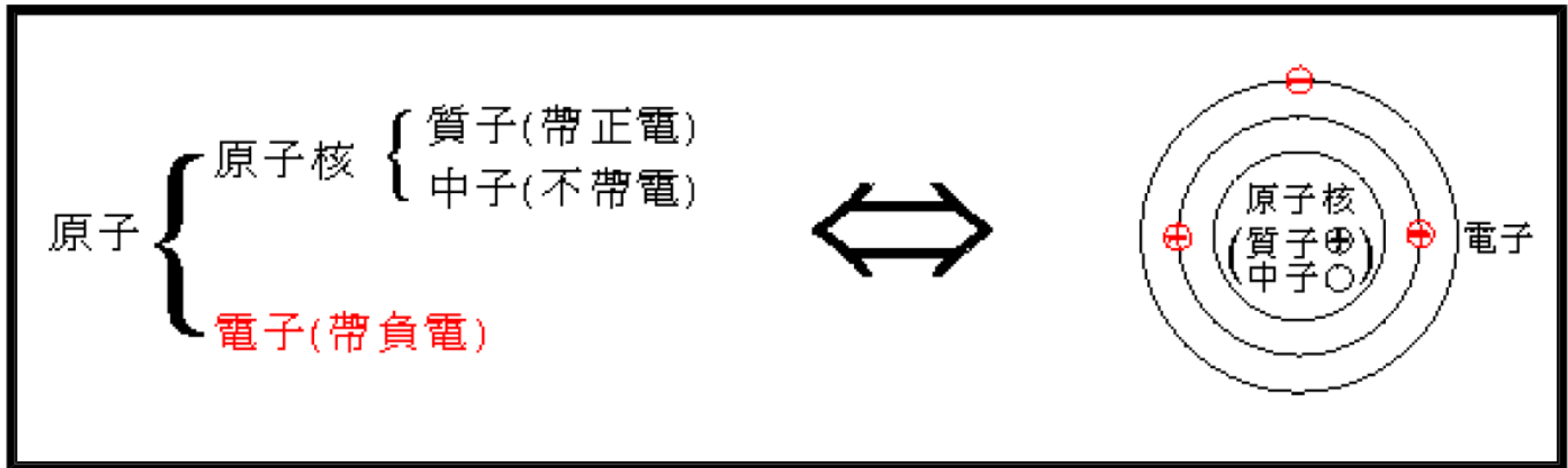
基本概念

- 本性：欲瞭解電的本性,應從物質結構開始。
- 物質組成：



原子結構

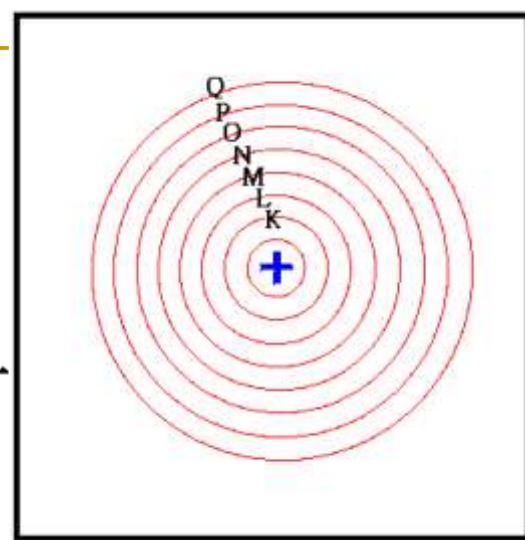
- 任何物質之電性決定在原子結構的變化。
- 組成：



帶電量與質量

名稱	電量(庫侖)	質量(仟克)
質子	$+1.602 \times 10^{-19}$	1.6729×10^{-27}
中子	0	1.6751×10^{-27}
電子	-1.602×10^{-19}	9.107×10^{-31}

電子能圈(1)



- 主能圈：由低能層到高能層依序有K,L,M,N,O,P,Q等七層。
- 副能圈：有s,p,d,f等四層。
- 主能圈容納最大電子數： $(2n^2)$ ， n 為層次

能圈	K	L	M	N	O	P	Q
最大電子數 ($2n^2$)	2	8	18	32	8或18	8或18	8

電子能圈(2)

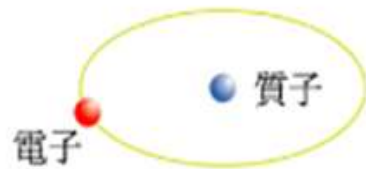
- 副能圈容納最大電子數： $2+4(m-1)$ ， m 為層次。
- 原子序=電子數=質子數。

副圈	S	P	d	f
最大電子數 〔 $2+4(m-1)$ 〕	2	6	10	14

電子能圈(3)

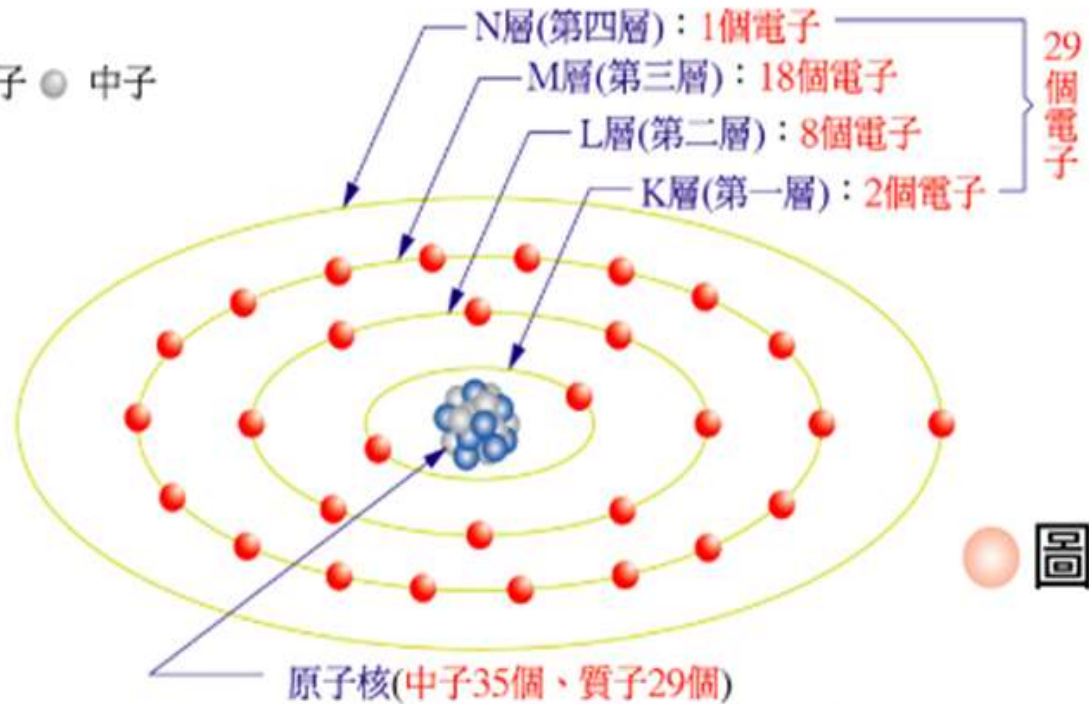
主能圈:	副能圈
K=2	S=2
L=8	S=2, P=6
M=18	S=2, P=6, d=10
N=1	S=1

● 電子 ● 質子 ● 中子



(a) 氫原子

註：氫的原子序為1，氫是唯一沒有中子的原子

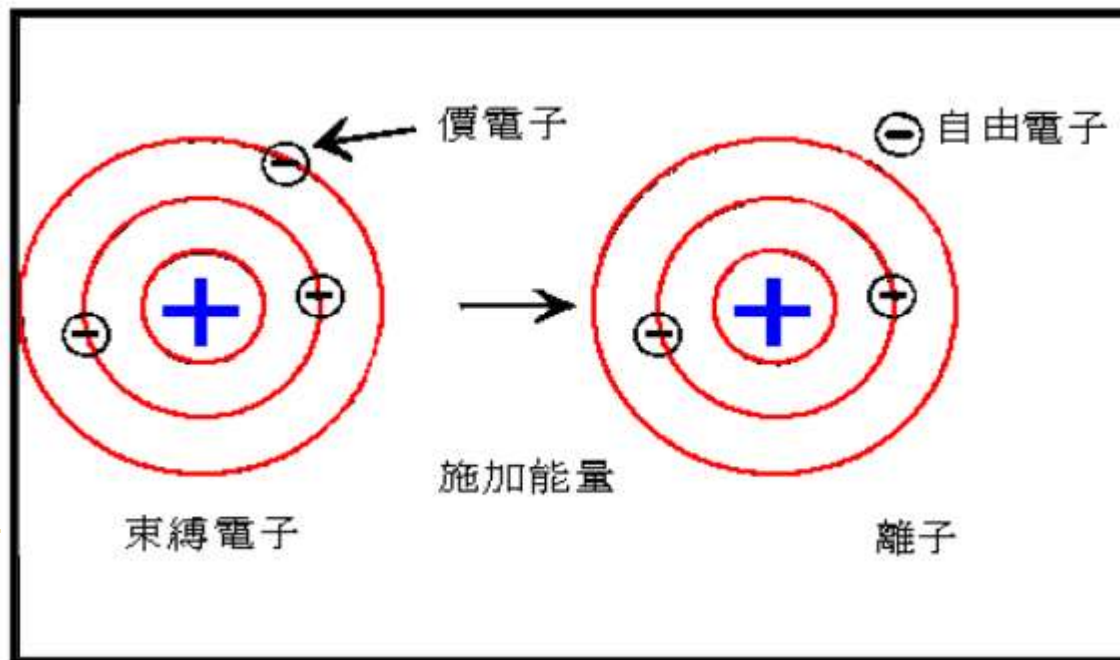


(B) 銅原子

註：銅的原子序為29，有35個中子、29個質子及29個電子

物質帶電的過程(1)

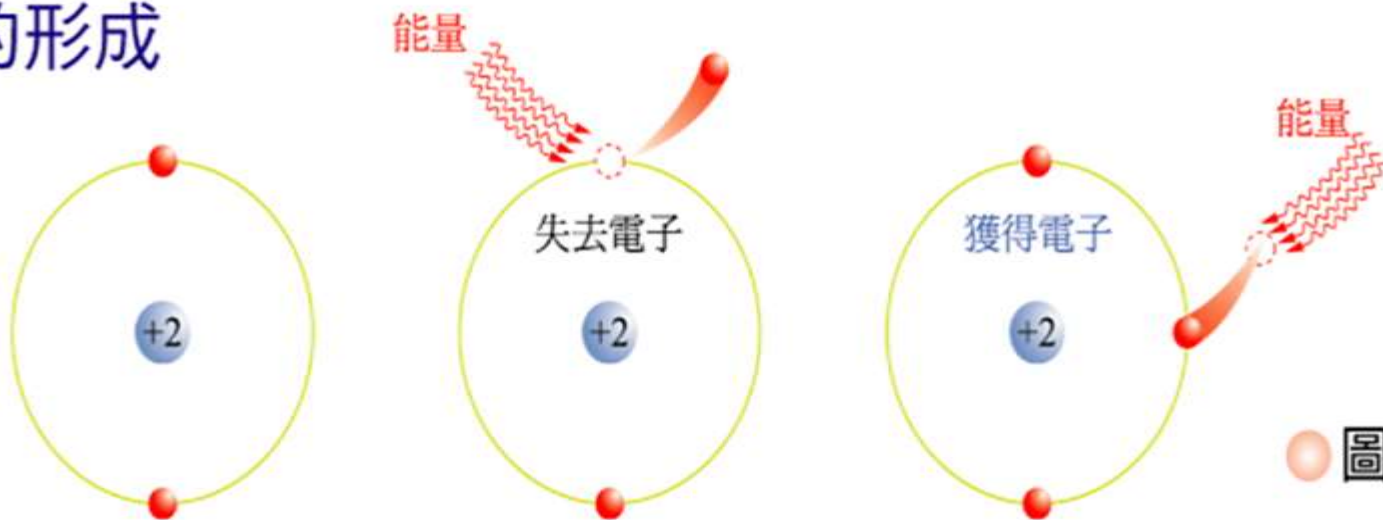
- 任何物質之本質均為**電中性**。
- 價電子：原子最外層能圈之電子數。
- 束縛電子：受原子核約束，無法離開能圈之電子。
- 自由電子：已離開原子核束縛，可自由移動之電子。



物質帶電的過程(2)

- 游離：原子失去電子或獲得電子的現象。
- 離子：產生游離的原子。
 - 正離子：失去電子而帶正電之原子。
 - 負離子：獲得電子而帶負電之原子。

◆ 離子的形成



(a) 正常時，不帶電

(b) 失去電子，形成正離子

(c) 獲得電子，形成負離子

導體、半導體、絕緣體

- 導體：導電性極佳的物質，平常即有大量自由電子存在。價電子通常少於4個，如銀,銅,金,鐵,硫酸,食鹽水....等。
- 半導體：低溫時，導電性不佳。高溫時，導電性良好之物質。價電子通常等於4個，如鍺，矽。
- 絕緣體：導電性極差的物質，一般難以使其產生自由電子。其價電子通常多於4個，如雲母,陶瓷、塑膠、玻璃、純水、乾燥空氣...等。

單位(1)

- 表示量度值之性質及大小的基本量，分為基本單位及導出單位兩種。
- 常用單位制有三種：

單位制	長度	質量	時間
C.G.S制	厘米(cm)	公克(g)	秒(sec)
M.K.S制	米(m)	公斤(kg)	秒(sec)
F.P.S制	呎(ft)	磅(lb)	秒(sec)

單位(2)

- 國際單位制(簡稱**SI**)之基本單位有下列七種：

長度	質量	時間	電流	熱動溫度	物質量	光度
米(m)	公斤(kg)	秒(sec)	安培(A)	凱(°K)	莫耳 (mole)	燭光(cd)

單位(3)

- 電工單位制有下列四種：
- CGS靜電制：如靜伏特(stat-V)，靜安培(stat-A)....等。
- CGS電磁制：如絕對伏特(ab-V)，絕對安培(ab-A)....等。
- 實用單位制：如伏特(V)，安培(A)....等，為目前使用之單位制。
- 國際電工單位：利用國際原器所表示之電量單位。

常用電工單位制之轉換

名稱	實用單位	CGS靜電單位	CGS電磁單位
電荷	庫侖(C)	3×10^9 (stat-C)	10^{-1} (ab-C)
電流	安培(A)	3×10^9 (stat-A)	10^{-1} (ab-A)
電壓	伏特(V)	$1/3 \times 10^{-2}$ (stat-V)	10^8 (ab-V)
電阻	歐姆(Ω)	$1/9 \times 10^{-1}$ (stat- Ω)	10^9 (ab- Ω)
電功率	瓦特(W)	10^7 (stat-W)	10^7 (ab-W)
電能	焦耳(J)	10^7 (erg)	10^7 (erg)

常用之十進數值表示法

中文名稱	十進數值	英文代號
兆	10^{12}	T(Tera)
十億	10^9	G(Giga)
百萬	10^6	M(Mega)
仟	10^3	K(Kilo)
分	10^{-1}	d(deci)
厘	10^{-2}	c(centi)
毫	10^{-3}	m(milli)
微	10^{-6}	u(micro)
毫微(塵)	10^{-9}	n(nano)
微微(莫)	10^{-12}	P(pico)

能量(1)

1焦耳= 10^7 爾格

1牛頓= 10^5 達因

- 物質作功的能力，其所呈現的形式有電能、熱能、機械能、化學能、輻射能....等。
- 能量的運算：
 - 以一作用力移動某物體所需的能量： $W=F \times d$

名稱	單位	
	MKS制	CGS制
W(能量)	焦耳(J)	爾格(erg)
F(作用力)	牛頓(N)	達因(dyn)
d(移動距離)	公尺(m)	公分(cm)

能量(2)

- 電荷在電場中移動所需的能量： $W=Q \times V$

名稱	單位	
	MKS制	CGS制
W(能量)	焦耳(J)	爾格(erg)
Q(電量)	庫侖(C)	靜庫(stat-c)
V(電位)	伏特(V)	靜伏(stat-v)

1庫侖= 3×10^9 靜庫

1伏特= $1/3 \times 10^{-2}$ 靜伏

能量(3)

- 通有電流載體所產生的能量: $W = I \times V \times t = P \times t$

名稱	單位
W(能量)	焦耳(J)
I(電流)	安培(A)
V(電壓)	伏特(V)
P(電功率)	瓦特(W)
t(時間)	秒(sec)

能量單位換算

- $1\text{焦耳}=1\text{牛頓}\cdot\text{公尺}=1\text{庫倫}\cdot\text{伏特}=1\text{瓦特}\cdot\text{秒}=10^7\text{爾格}$
- $1\text{ev(電子伏特)}=1.6\times 10^{-19}\text{焦耳}$
- $1\text{度電}=1\text{仟瓦}\cdot\text{小時}=3.6\times 10^6\text{焦耳}$

效率

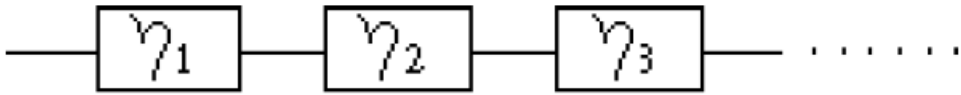
- 各種能量形式是可以相互轉換的，但轉換間必有所損失，損失愈大則其效率愈低。

- 定義：

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出能量}}{\text{輸入能量}} \times 100\% \quad (\eta = \frac{W_o}{W_i} \times 100\%)$$

$$\text{輸出能量} = \text{輸入能量} - \text{損失能量} (W_o = W_i - W_l)$$

- 串級系統之總效率：


$$\eta_T = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$$

電荷

- 帶電體最基本粒子，有**正電荷**及**負電荷**兩種；其產生方式可由感應、摩擦、傳導、輻射、施加能量....等，又稱靜電荷。
- 靜電荷的特性：
 - **異性電荷相互吸引，同性電荷相互排斥。**
 - **電荷可感應產生異性電荷於相鄰物體近端。**
 - **絕緣體上之電荷不易任意移動。**
 - **孤立導體之電荷分佈於表面，且曲度愈大，密度愈高。**

庫侖靜電定律(1)

- 兩帶電體間之作用力與其帶電量乘積成正比，而與距離平方成反比。即：

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \quad (K = \frac{1}{4\pi\epsilon}, \epsilon: \text{介電係數})$$

庫侖靜電定律(2)

- 介質為真空(或空氣)：

名稱	單位	
	MKS制	CGS制
Q_1Q_2 (帶電量)	庫侖(C)	靜庫(stat-c)
d(距離)	公尺(m)	公分(cm)
K(常數)	9×10^9	1
F(作用力)	牛頓(N) $(9 \times 10^9 \frac{Q_1Q_2}{d^2})$	達因(dyn) $(\frac{Q_1Q_2}{d^2})$

庫侖靜電定律(3)

- 介質為其它：

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{d^2}, \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

ϵ_0 (真空或空氣介電係數) = 8.84×10^{-12} 法拉／米
 ϵ_r (相對介電係數)

例題：

- 例：如下圖三個帶電球體,求各球體之靜電力大小及方向。

$$Q_1=9\text{靜庫} \quad Q_2=6\text{靜庫} \quad Q_3=-9\text{靜庫}$$



例題：

a. Q_1 之靜電力:

$$F_{12} = 1 \frac{9 \times 6}{3^2} = 6 \text{ 達因 (斥力向左)}$$

$$F_{13} = 1 \frac{9 \times 9}{9^2} = 1 \text{ 達因 (吸力向右)}$$

$$\text{所以 } F_1 = F_{12} - F_{13} = 6 - 1 = 5 \text{ 達因 (向左)}$$

b. Q_2 之靜電力:

$$F_{21} = F_{12} = 6 \text{ 達因 (斥力向右)}$$

$$F_{23} = 1 \frac{6 \times 9}{6^2} = \frac{3}{2} \text{ 達因 (吸力向右)}$$

$$F_2 = F_{21} + F_{23} = 6 + \frac{3}{2} = \frac{15}{2} \text{ 達因 (向右)}$$

例題：

c. Q_3 之靜電力:

$$F_{31}=F_{13}=1 \text{ 達因(吸力向左)}$$

$$F_{32}=F_{23}=\frac{3}{2} \text{ 達因(吸力向左)}$$

$$F_3=F_{31}+F_{32}=1+\frac{3}{2}=\frac{5}{2} \text{ 達因(向左)}$$

電壓(1)

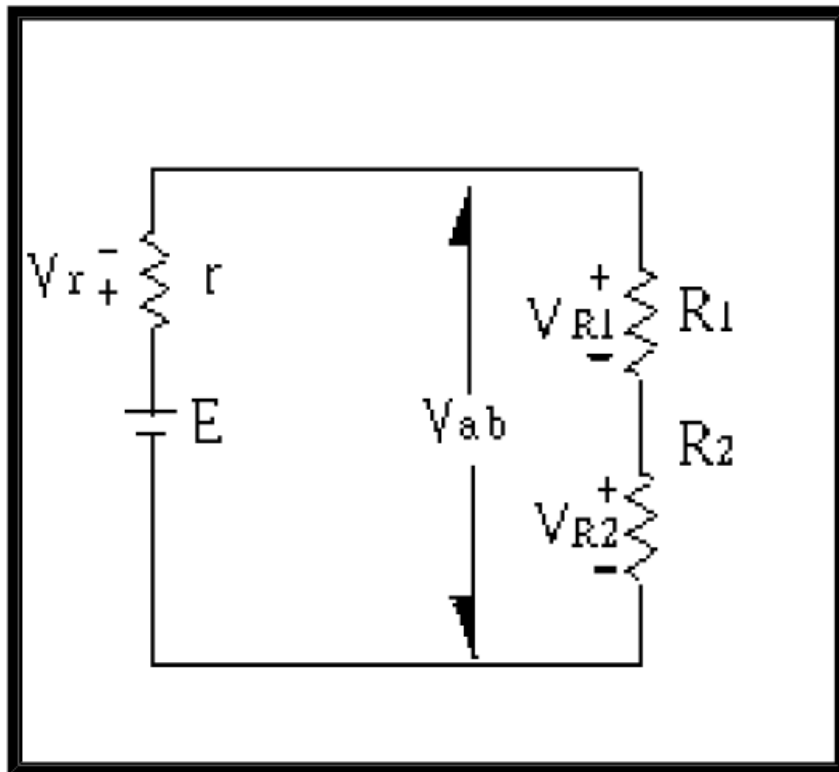
- 電壓：單位電荷由大地電通位移至另一位置所作的功，稱為該位置的電位。即： $V = \frac{W}{Q}$
- 電位：乃是電位，電位差，電動勢，端電壓及電壓降的通稱，實用單位為伏特。

名稱	單位
V(電位)	伏特(V)
W(功)	焦耳(J)
Q(電量)	庫侖(C)

電壓(2)

- 電位差：簡言之，就是任二點的電位差值，或單位電荷由大地移至二不同點所作功的差值稱為該兩位置的電位差。即：
$$V_{ab} = \frac{W_a - W_b}{Q}$$
- 電動勢：驅使電子移動的動力源，即電源的電壓。
- 端電壓：電源加上負載後輸出端的電壓，電動勢稍大於端電壓。
- 電壓降：電源加上負載後，電源內阻及負載上的電壓，均稱為電壓降。

電壓(3)



E :電動勢

V_{ab} :端電壓

V_r, V_{R1}, V_{R2} :電壓降

電流(1)

- 電子在導體內流動即形成電流，其產生的方式有物理能作用、化學能作用、光能作用、熱能作用或壓電效應作用....等，實用單位為安培(A)。
- 定義：單位時間流過某導體之電量，即：

$$I = \frac{Q}{t} \text{ 或 } = neAV$$

名稱	單位
I(電流)	安培(A)
Q(電量)	庫侖(C)
t(時間)	秒(S) 或 $I=neAV$

名稱	單位
I(電流)	安培(A)
n(單位體積電數)	電子數/m ³
A(導體截面積)	m ²
e(電子帶電量)	1.6 10 ⁻¹⁹ 庫侖
V(電子移動速率)	m/sec

電流(2)

- 電流的方向：
 - 電子的移動稱為電子流，而電流的方向定義為電子流反方向。
 - 電子流由電源負極出，外部路徑電路回到電源正極。
 - 而電流則由電源正極出，經外部路徑電路回到電源負極。

電流(3)

- 電流速率：電流速率約等於光速($C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)，但電子移動的速度卻非常慢。



例1:有一長1Km,截面積 1cm^2 的銅線,若通過1A電流

則電子移動1Km需時多久?

(註:銅之電子密度為 8.54×10^{28} 個/ m^3)

解: $I = neAV$

$$V = \frac{1}{8.54 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-4}} = 0.72 \times 10^{-6} (\text{m/s})$$

故移動1km需時

$$T = \frac{1000}{0.72 \times 10^{-6}} = 1.37 \times 10^9$$

=43年 由此可見電子移動速率極慢

功率(1)

- 電功率：單位時間所消耗的電能，實用單位為瓦特(W)，即： $P = \frac{W}{t}$

名稱	單位
P(電功率)	瓦特(W)
W(電能)	焦耳(J)
T(時間)	秒(S)

- 機械功率：以馬力(Hp)為單位，1馬力=550呎-磅/秒=746瓦特。

功率(2)

- 效率：定義為輸出功率與輸入功率的比值，即
： $\eta = \frac{P_o}{P_i}$ ，而 $P_o = P_i - P_l$ (P_l ：功率損失)

電阻與電導(1)

- 電阻：電子在導體中移動時，導體具有阻止其流動的趨勢，且能使電能轉換成熱能之性質者。
。以 R 表示，單位為歐姆(Ω)。
- 導體電阻大小之相關因素：
 - 導體的電阻係數(ρ)： ρ 與 R 成正比。
 - 導體的長度(l)： l 與 R 成正比。
 - 導體的截面積(A)： A 與 R 成反比。
 - 導體的溫度(T)： T 愈大則 R 愈大。

電阻與電導(2)

- 在溫度(T)不變條件下，導體電阻大小與其長度成正比，而與截面積成反比。即： $R = \rho \frac{l}{A}$

名稱	單位		
	MKS制	CGS制	英制
R(電阻)	歐姆(Ω)	歐姆(Ω)	歐姆(Ω)
l(長度)	公尺(m)	公分(cm)	呎(ft)
A(截面積)	平方公尺(m^2)	平方公分(cm^2)	圓密爾(CM)
p(電阻係數)	歐姆-公尺($\Omega \cdot m$)	歐姆-公分($\Omega \cdot cm$)	歐姆-圓密爾/呎($\Omega \cdot CM / ft$)

電阻與電導(3)

- 將導線拉長 N 倍後，電阻變為原來 N^2 倍，即 $R = N^2 R_0$ ，（因拉長 N 倍，截面積將縮小 N 倍）
- 將導線拉長使其直徑(或半徑)為原來 $\frac{1}{N}$ 倍，則電阻變為原來的 N^4 倍，即 $R = N^4 R_0$ (因 $A = \pi r^2$ ，故直徑或半徑縮小為 $\frac{1}{N}$ 倍，截面積縮小 N^2 倍，即將導線拉長 N^2 倍)

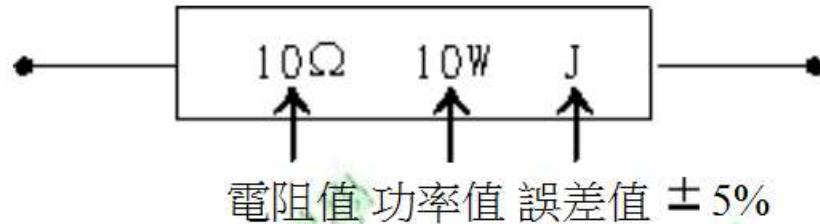
電阻與電導(4)

- 電導：電阻的倒數，以**G**表示，單位為姆歐()或西門子(S)。
- $G = \frac{1}{R}$ 電阻愈小，電導愈大，導體導電性愈好。
- $G = \frac{1}{\rho} \frac{A}{l}$
- 常見金屬導電率大小分別為：銀>銅>金>鋁>鎢>鐵>鉑>錫>鋼。

名稱	單位
G(電導)	姆歐(Ω)
A(截面積)	平方公尺(m ²)
l(長度)	公尺(m)
(電導係數)	姆歐/公尺(Ω/m)

電阻器阻值規格(1)

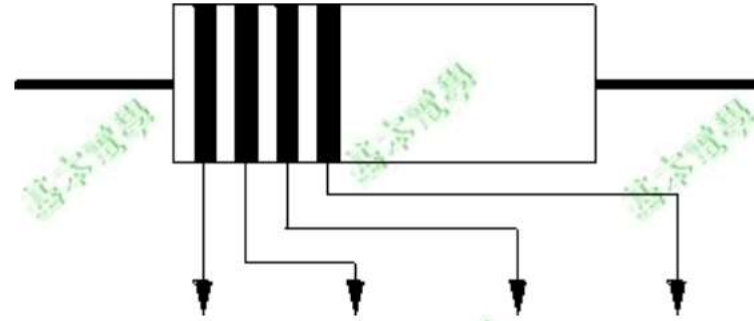
- 電阻器的重要額定：電阻值、功率值及誤差值。
- 直接標示電阻器之識別：



代號	B	C	D	E	G	J	K	M
誤差值%	± 0.1	±0.25	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20

電阻器阻值規格(2)

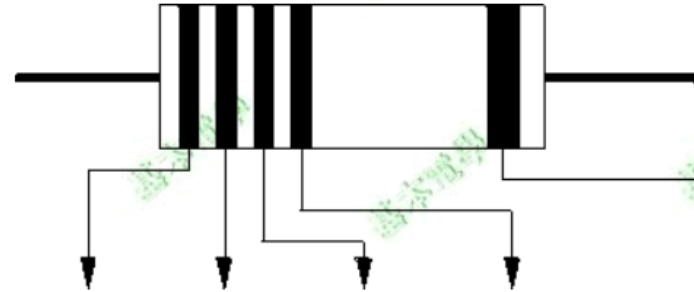
- 色碼標示電阻器之識別：
 - 四碼：色碼以顏色標示



黑		0	0	10^0	-1
棕		1	1	10^1	$\pm 1\%$
紅		2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙		3	3	10^3	$\pm 3\%$
黃		4	4	10^4	$\pm 4\%$
綠		5	5	10^5	-
藍		6	6	10^6	-
紫		7	7	10^7	-
灰		8	8	-	-
白		9	9	-	-
金		-	-	10^1	$\pm 5\%$
銀		-	-	10^2	$\pm 10\%$
無色		-	-	-	$\pm 20\%$

電阻器阻值規格(3)

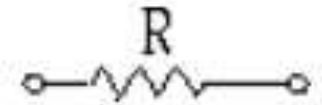
□ 五碼：



色碼	第一位數	第二位數	第三位數	倍數	容許誤差
黑 	0	0	0	10^0	-
棕 	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
紅 	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙 	3	3	3	10^3	-
黃 	4	4	4	10^4	-
綠 	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
藍 	6	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫 	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰 	8	8	8	10^8	$\pm 0.05\%$
白 	9	9	9	10^9	-
金 	-	-	-	0.1	$\pm 5\%$
銀 	-	-	-	0.01	$\pm 10\%$

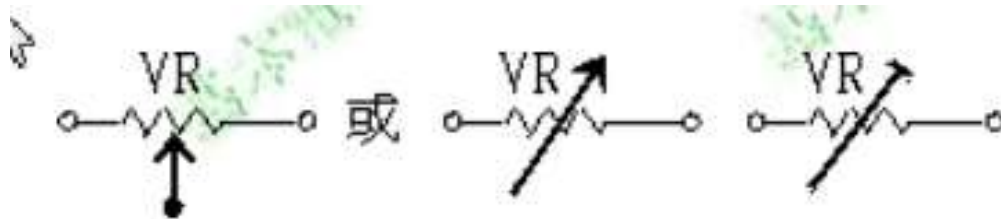
常用電阻器

- 固定電阻器(Fixed resistor)：電阻值無法調整的電阻器，電路符號如圖所示：



固定電阻器

- 可變電阻器(variable resistor)：電阻調整方式有轉動、滑動、插梢等方式，電路符號如圖所示：



可變電阻器

半可變電阻器

歐姆定律

- 電路中電流大小與加於該電路之電動勢成正比，而與該電路的總電阻成反比。即： $I = \frac{V}{R}$ or $V = I \cdot R$ or $R = \frac{V}{I}$ 。

名稱	單位
I(電流)	安培(A)
V(電壓)	伏特(V)
R(電阻)	歐姆(Ω)

例 1

- 有一內阻 $1K\Omega$ 的燈泡，加上 $100V$ 的電壓，則其電流為多少安培？
- 解：
- $I = \frac{V}{R} = \frac{100}{1K\Omega} = 0.1(A)$ 安培

例 2

- 一個 $\frac{1}{2}$ 瓦200歐姆的電阻，其所能流過的最大電流值為多少？
- 解: $P=IV$, $V=IR$
- $\therefore P = I^2 R$ 即 $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$
- $\gg I_{max} = \sqrt{\frac{\frac{1}{2}}{200}} = \sqrt{\frac{1}{400}} = \frac{1}{20}(\text{A})$

電阻溫度係數

- 電阻大小與溫度的關係：
 - **正電阻**溫度係數：電阻值隨溫度的增加而增大，如金屬材料。
 - **負電阻**溫度係數：電阻值隨溫度的增加而下降，如半導體、絕緣體及其它非金屬材料。

串聯電路(1)

- 節點：表兩個或兩個以上元件連接的點，如圖一中 **a**、**b**、**c**等。
- 支路：於電路中，存在於兩節點間的部分電路，如圖一中**a-R1-b**部分。
- 迴路：兩個以上元件所組成的一個閉合電路，如圖一即為一個迴路。

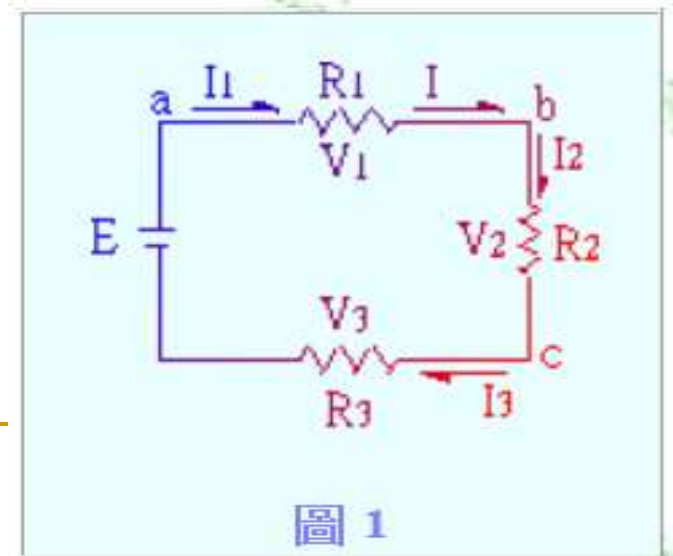
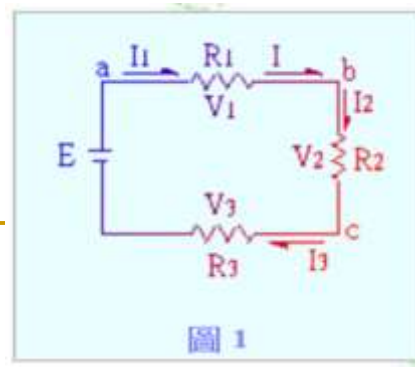


圖 1

串聯電路(2)

- 電壓源：可以維持定值大小的電壓且不受負載變動的影響。
- 電流源：可以維持定值大小的電流且不受負載變動的影響。
- 串聯電路定義：串聯電路即有加電源的單一迴路，其電源一端接元件的頭，元件的尾再接另一元件的頭，如此形成單一閉合電路，如圖一所示。



串連電路的特性(1)

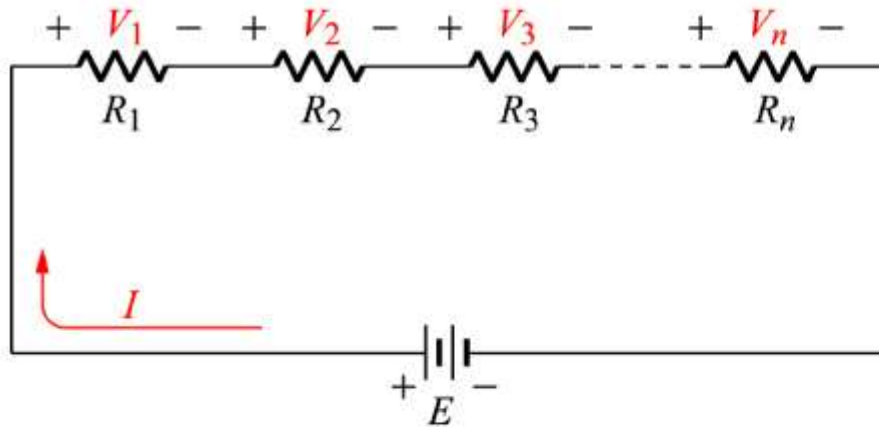
■ 由圖一所示來說明：

- 電流相等；即流過每一元件的電流皆相同，即 $I_1 = I_2 = I_3 = I$
- 各元件的電壓降與其電阻值成正比：即電阻大者，其電壓降就大。
- 總電壓等於各元件電壓降之和，即 $E = V_1 + V_2 + V_3$
- 總電阻等於各電阻之和，即 $R = R_1 + R_2 + R_3$ 。
- 總功率等於各元件的消耗功率，即 $P_T = P_1 + P_2 + P_3$ ； $P_T = E \times I$ ； $P_1 = I_1 \times R_1$ ； $P_2 = I_2 \times R_2$ ； $P_3 = I_3 \times R_3$ 。

串連電路的特性(2)

- 若有一個元件斷路時，則整個電路即形成斷路。
- 各元件之位置可任意互換，並不影響電路的性能。
- 欲獲得更大的電壓，則電壓源可採串聯連接(正接負)；若採串聯反接，則總電壓會減少。

串連電路的特性(3)



● 圖3-5 n 個電阻的串聯電路

(1) 流經各電阻的電流均相同：

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n$$

(2) 電阻愈大，電壓降愈大。

(3) 外加電壓等於各電阻電壓降之和：

$$E = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$$

(4) 總電阻為各電阻之和：

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

(5) 流經各電阻的電流相同

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n}$$

(6) 總功率為各電阻功率之和；即

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

$$\begin{aligned}
 P_T &= I^2 \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n) \\
 &= I^2 \cdot R_T
 \end{aligned}$$

克希荷夫定律

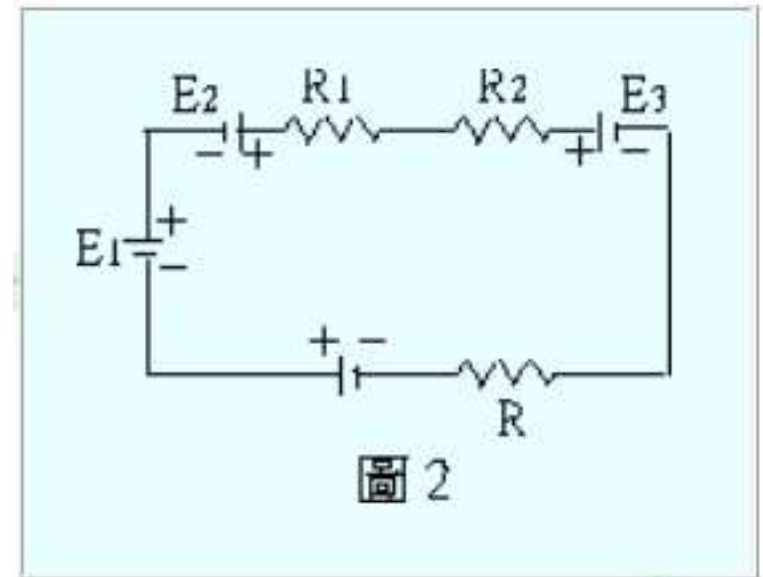
- 克希荷夫(Gustav Robert Kirchhoff, 1824-1887)是德國物理學家，在電學方面發表了電壓及電流兩領域，即克希荷夫電壓定律(KVL)及克希荷夫電流定律(KCL)。

克希荷夫電壓定律

- 定義：在任何一個閉合迴路中，電源的電動勢代數和等於各元件電壓降的代數和。

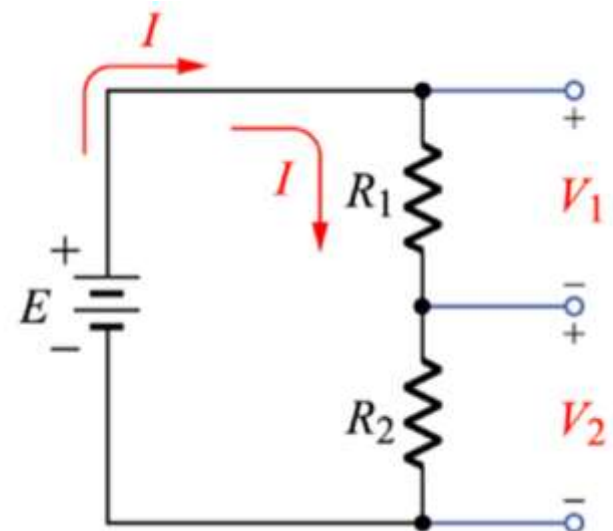
$$\begin{aligned} & E_1 + E_2 - E_3 + E_4 \\ &= IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4 \\ &= I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \\ &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \end{aligned}$$

$$I = \frac{E_1 + E_2 - E_3 + E_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$



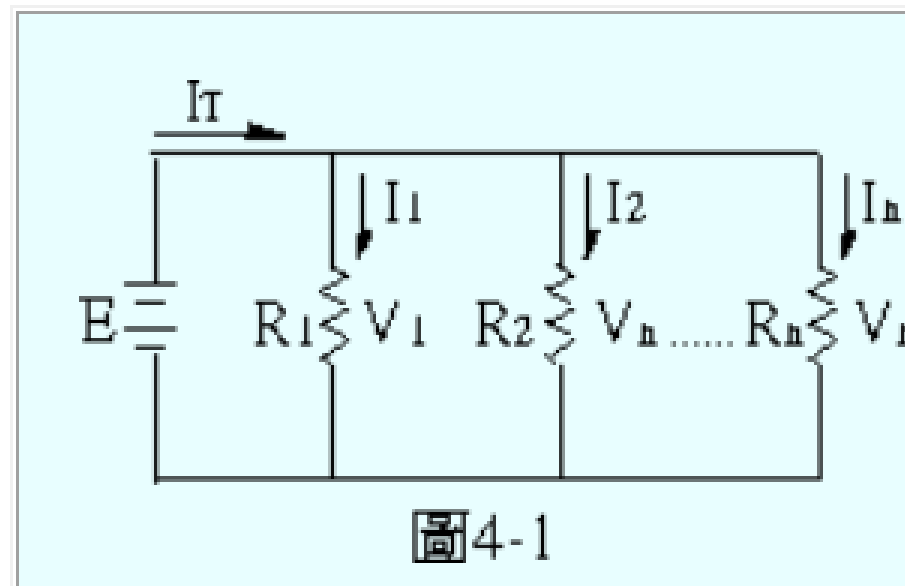
電壓分壓定律

- 如圖三所示，流過各元件之電流相等，但各元件壓降卻不相等。
- $V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$, $R_T = R_1 + R_2$
- 依歐姆定律可知： $I = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_2}$
- $\therefore V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$, $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$



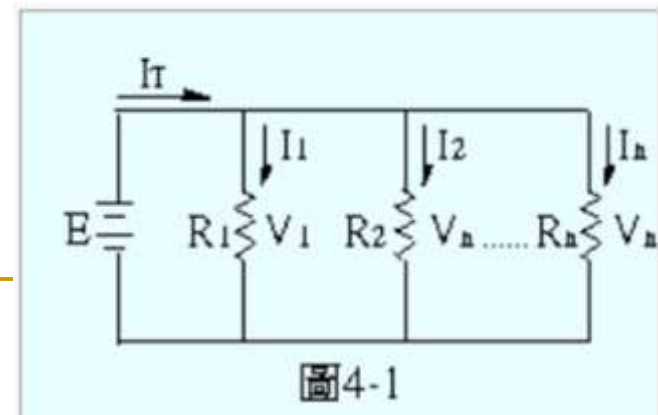
並聯電路

- 定義：電路中將兩個或兩個以上的元件之一端相接於一處，另一端亦均接於另一處，此種接法稱為並聯電路。



並聯電路特性(1)

- 並聯電路中各元件的電壓降恆相等，如圖4-1中 $V_1 = V_2 = V_n = E$ 。
- 並聯電路中各元件有個別的電流，且不一定相等，如圖4-1中，電阻器 R_1 、 R_2 、 R_n 的電流分別為： $I_1 = \frac{E}{R_1}$ ， $I_2 = \frac{E}{R_2}$ ， $I_n = \frac{E}{R_n}$ 。
- 總電流為各支路電流之和，如圖4-1中，總電流為： $I_T = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$ 。

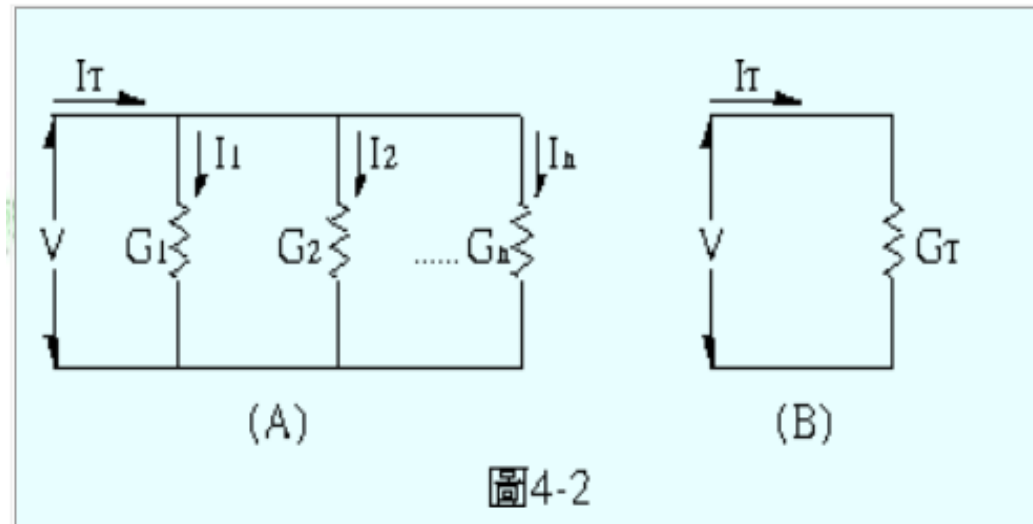


並聯電路特性(2)

- 總電導為各支路電導之和。如圖4-2中， $G_T = G_1 + G_2 + \dots + G_n$ 。
- 總電阻的倒數等於各支路電阻的倒數和。

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

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



並聯電路特性(3)

- 若僅有兩個電阻器並聯時，總電阻為：

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad \circ$$

- 若 $R_1 = NR_2$ 時，總電阻為： $R_T = \frac{R_1}{N+1} \quad \circ$

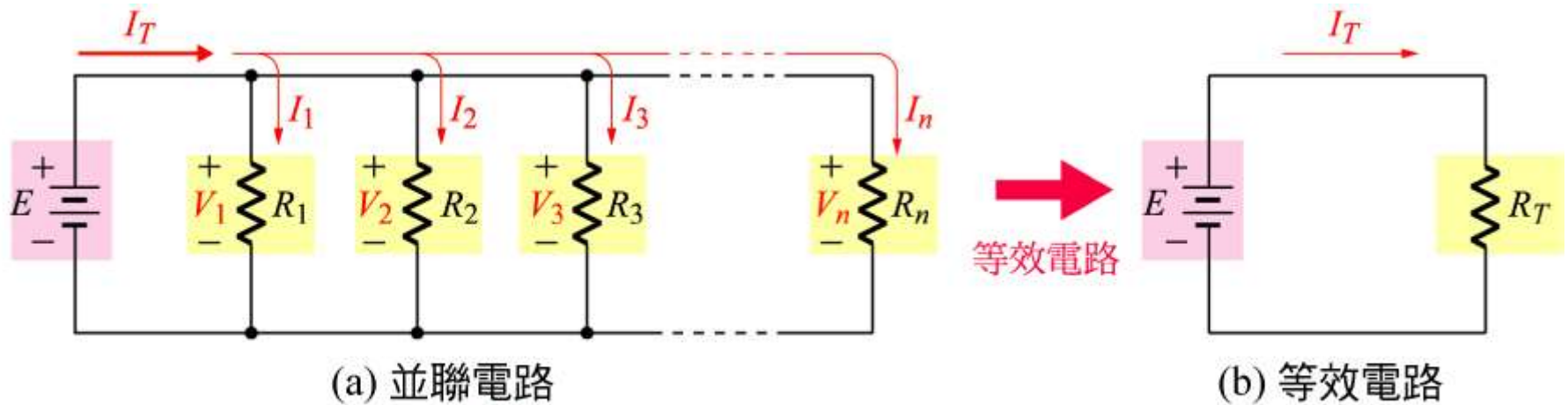
- 若 N 個等值電阻器並聯時，總電阻為： $R_T = \frac{R_1}{N}$

- 總功率為各元件功率的和，總能量為各元件能量的和。

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

$$W_T = W_1 + W_2 + \cdots + W_n$$

並聯電路特性(4)



● 圖4-3 n 個電阻的並聯電路

(1) 並聯中各電阻的端電壓均相同，且等於電源電壓，即

$$E = V_1 = V_2 = \cdots = V_n$$

(2) 電阻愈大，電流愈小。

$$I_n = \frac{E}{R_n} = G_n E$$

並聯電路特性(5)

(3) 總電流等於各支路電流之和：

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

(4) 總電導為各支路電導之和

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

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

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

(5) 只有兩個電阻的並聯電路，
總電阻

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

(6) n 個相同電阻值的電阻並聯，
總電阻

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

(7) 總功率為各電阻功率之和：

$$P_n = \frac{E^2}{R_n} = G_n E^2$$

$$\begin{aligned} P_T &= E^2 \cdot (G_1 + G_2 + G_3 + \cdots + G_n) \\ &= E^2 \cdot G_T \end{aligned}$$

範例



(範例 4-1)

在圖4-3中,設, $R_1 = 9\Omega$, $R_2 = 18\Omega$, $I_T = 6A$

試求(1.)總電阻 (2.) I_1 及 I_2 (3.) R_1 及 R_2 兩端的電壓。

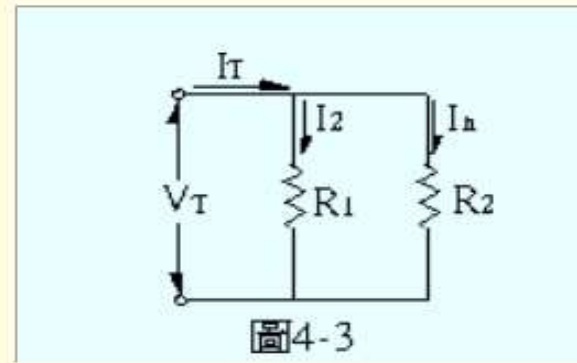
解:

$$(1) R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 6 (\Omega)$$

$$(2) V_T = I_T R_T = 6 \times 6 = 36(V)$$

$$I_1 = \frac{V_T}{R_1} = \frac{36}{9} = 4(A)$$

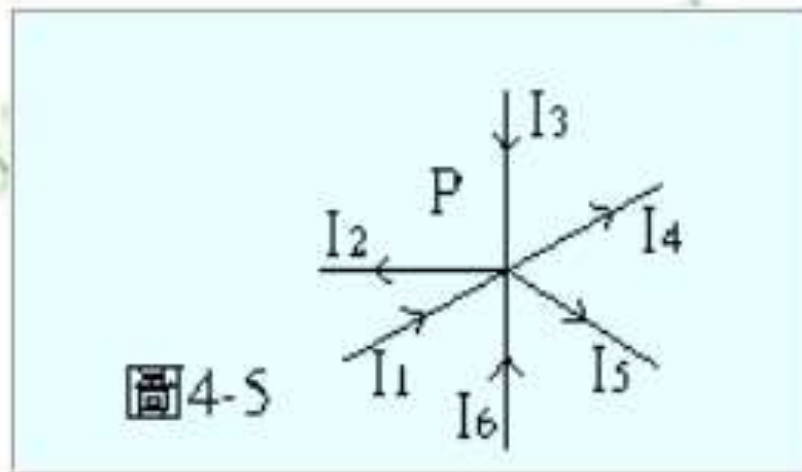
$$I_2 = \frac{V_T}{R_2} = \frac{36}{18} = 2(A)$$



$$(3) V_1 = V_2 = V_T = 36(V)$$

克希荷夫電流定律

- 定義：在任何一個電路中，流入某一節點(網目)的電流之和恆等於流出該節點(網目)的電流之和，亦即某一節點(網目)的電流代數和為零。
- 如圖4-5所示， $I_1 + I_3 + I_6 = I_2 + I_4 + I_5$ 或 $I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 + I_6 = 0$ 。

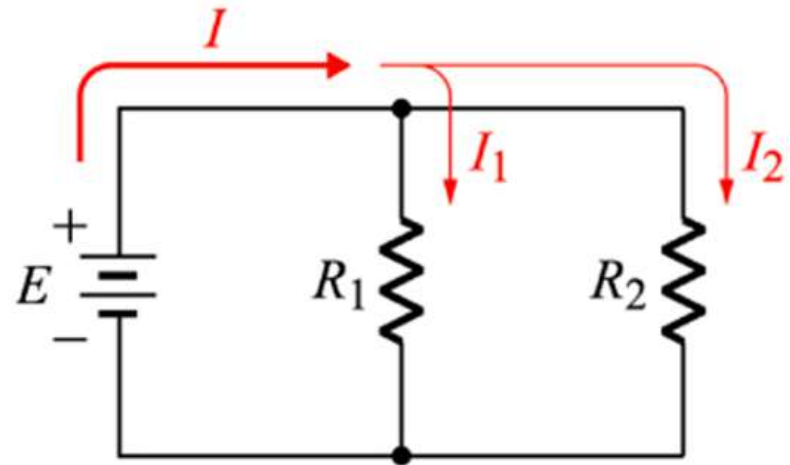


電流分流定律(1)

- 並聯電路中，各元件的端電壓相同，但電流卻不一定相同，總電流依照各電阻值的大小(反比例)分配於各電阻。
- 兩電阻並聯：

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

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



電流分流定律(2)

■ 三電阻並聯 (如圖4-9)

$$I_1 = I_T \frac{G_1}{G_T} = I_T \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

$$I_2 = I_T \frac{G_2}{G_T} = I_T \frac{R_1 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

$$I_3 = I_T \frac{G_3}{G_T} = I_T \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

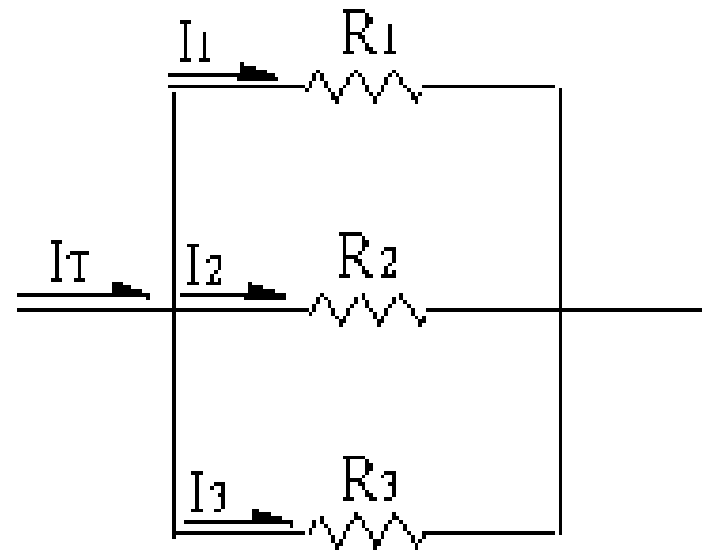


圖4-9

Y-D互換(1)

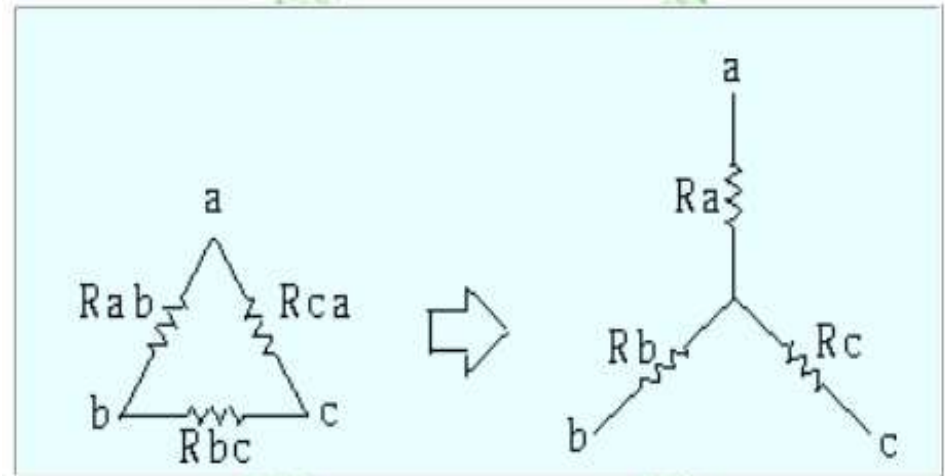
■ D→Y(阻值變小)

$$R_a = \frac{R_{ab} * R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

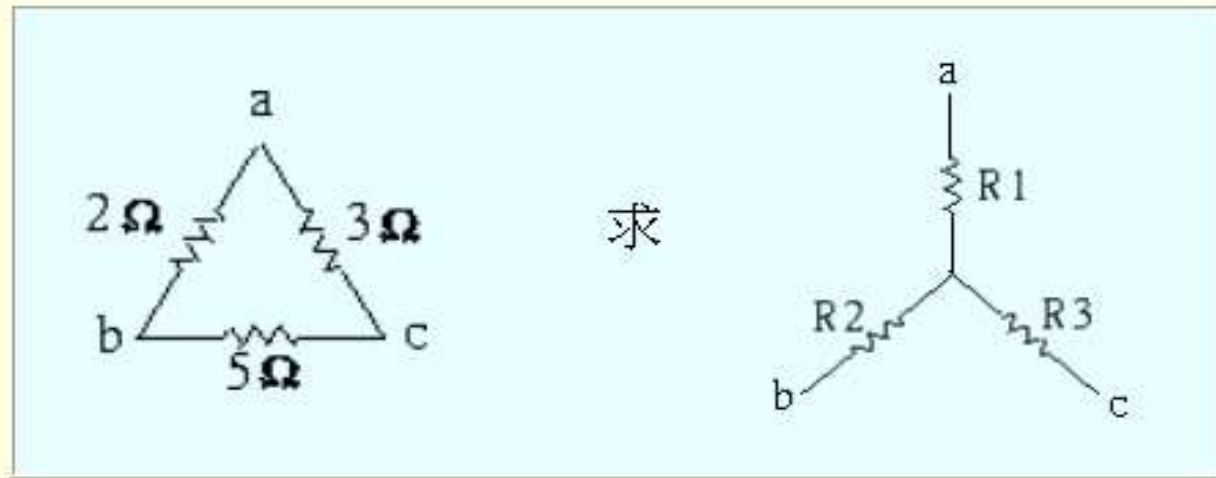
$$R_b = \frac{R_{ab} * R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

$$R_c = \frac{R_{bc} * R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

口訣： $R_{Yn} = \frac{\text{中夾} R_{Yn} \text{兩邊電阻相乘}}{\text{中各電阻之和}}$



範例



解: $R_1 = \frac{2 \times 3}{2 + 3 + 5} = \frac{6}{10} = 0.6 (\Omega)$

$$R_2 = \frac{2 \times 5}{2 + 3 + 5} = \frac{10}{10} = 1 (\Omega)$$

$$R_3 = \frac{2 \times 1 + 1 \times 5 + 5 \times 2}{2} = \frac{2 + 5 + 10}{2} = 8.5 (\Omega)$$

Y-D互換(2)

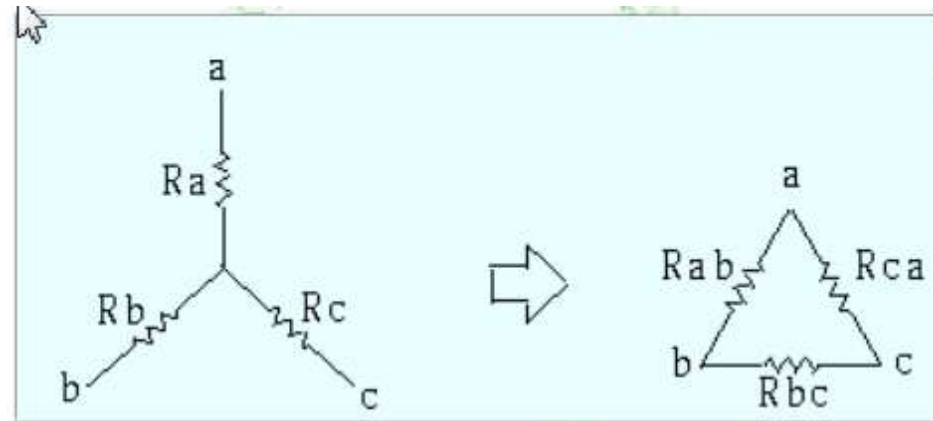
■ Y→Δ(阻值變大)

$$R_{ab} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c}$$

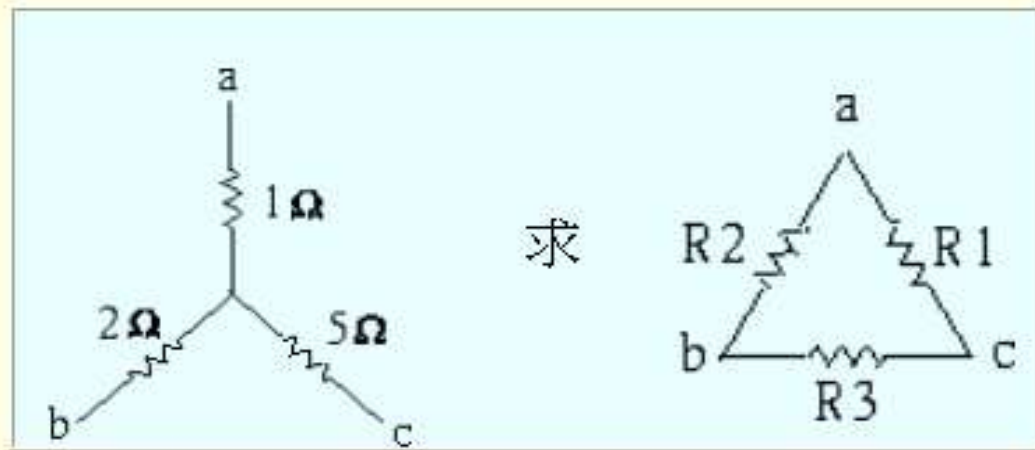
$$R_{bc} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a}$$

$$R_{ca} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b}$$

口訣： $R_{\Delta n} = \frac{\text{Y中兩兩電阻相乘之和}}{\text{Y中不與}R_{\Delta n}\text{相接之電阻}}$



範例



求

解:

$$R_1 = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 5 \cdot 2}{2} = \frac{2 + 5 + 10}{2} = 8.5 (\Omega)$$

$$R_2 = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 5 \cdot 2}{5} = \frac{2 + 5 + 10}{2} = 3.4 (\Omega)$$

$$R_3 = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 5 \cdot 2}{1} = \frac{2 + 5 + 10}{1} = 17 (\Omega)$$

特例

- 若Y型三邊之電阻均相同，則 $R_{\Delta} = 3R_Y$ 。
- 若 Δ 型三邊之電阻均相同，則 $R_Y = \frac{1}{3}R_{\Delta}$ 。
- T型電路可以改成Y型電路。
- 兀型電路可以改成 Δ 型電路。

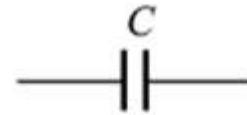
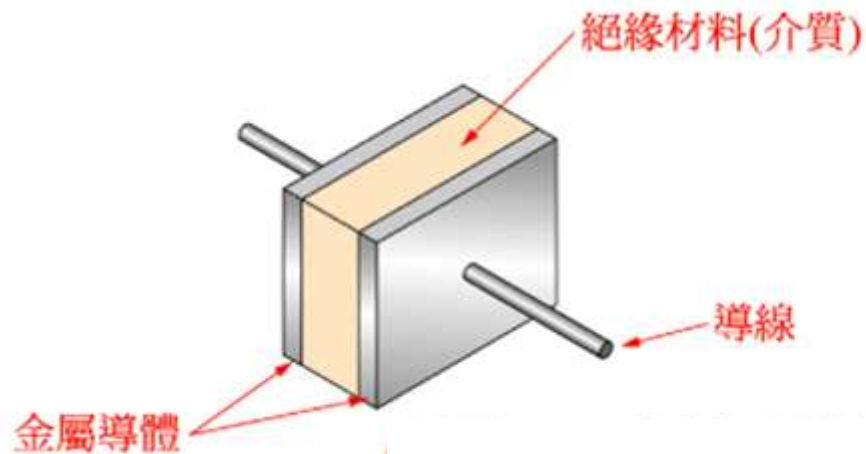
重疊定理

■ 步驟：

- 先考慮第一個電源，移走其他電源，也就是將其他電源中之電壓源短路，電流源斷路。
- 求出該電源對元件的效應(指電壓或電流而言)。
- 對電路中的每一個電源，重覆步驟**a**及**b**來處理。
- 電源分別計算完後，將所有求出之效應(指電壓或電流而言)作相加減，極性方向相同為加否則為減，其所得的結果即為全部電源對此元件的總效應。

電容器(1)

- 電容器：兩電極板間隔以絕緣物質，使能達到儲存電荷能力的元件稱之。



電容器(2)

◆ 電容量的定義

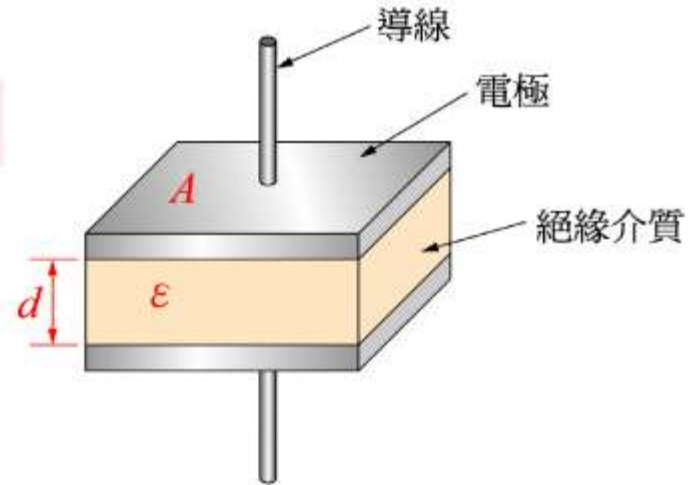
$$C = \frac{Q}{V} \quad (\text{法拉, F}) \quad Q = CV (\text{庫倫})$$

◆ 影響電容量大小的因數

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36 \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\epsilon_r = \frac{\text{任一物質的介電係數}}{\text{空氣的介電係數}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$



● 圖7-7 影響電容量大小的因數

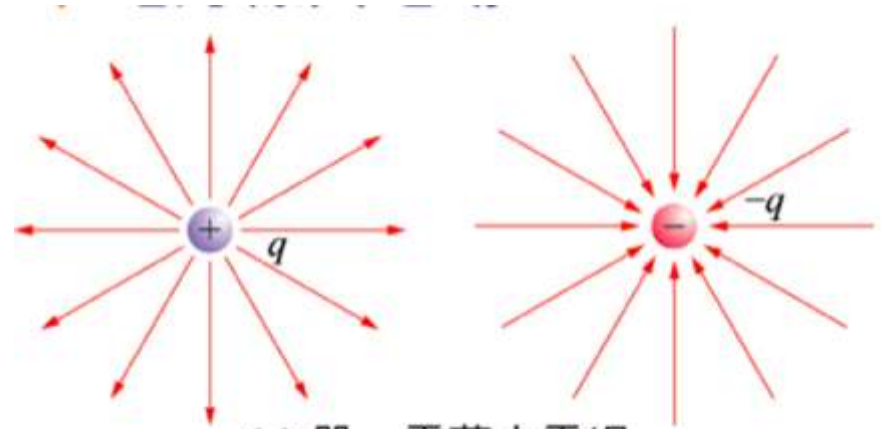
常見物質的相對介電係數 ϵ_r

介質名稱	空氣	蠟紙	塑膠	絕緣油	雲母	瓷	電木	玻璃
相對介電係數 ϵ_r	1	2.5	3.5	4	5	6	7	7.5

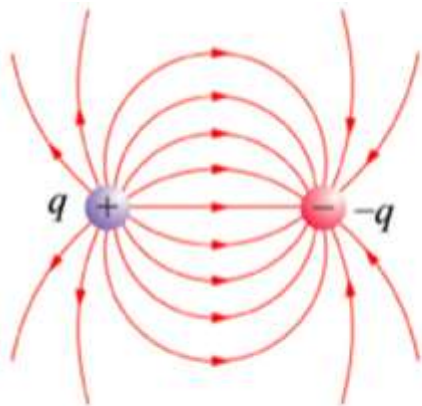
電容器的儲能

◆ 電容器的儲存能量

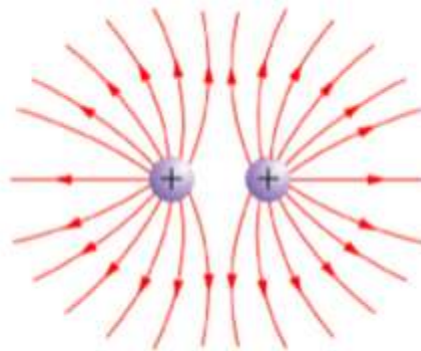
$$W = \frac{1}{2} QV$$
$$= \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$



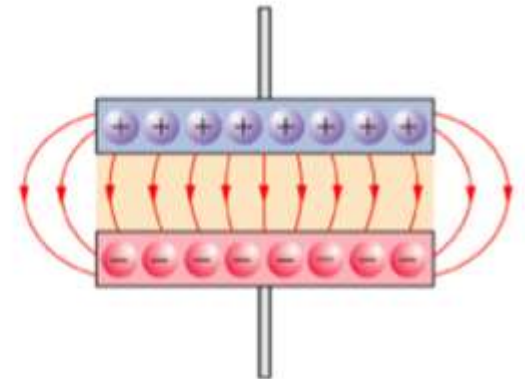
(a) 單一電荷之電場



(b) 兩相異電荷之電場



(c) 兩相同電荷之電場



(d) 平行板電容器之電場

電容器的重要規格(1)

- 電容量：電容器儲存電荷的能力，以法拉(F)為單位，常用則以微法拉(uF)，微微法拉(PF)為主。
- 使用電壓：有工作電壓(WV)，突波電壓(SV)或峰值電壓(PV)。
- 電容量誤差值：通常以%來表示，如 $100\mu\text{F} \pm 5\%$ 。
- 使用溫度：通常以°C表示。
- 絕緣電阻值：電容器直流測試電阻值，此值通常都很高。

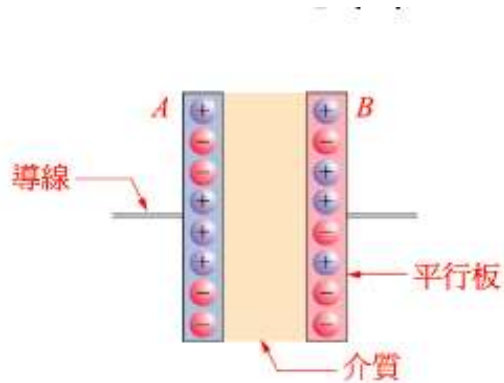
電容器的重要規格(2)

- 直流漏電電流值：電容器絕緣電阻愈高，則漏電流就愈小。
- 容許漣波電流值：非直流電中的交流成分。
- 衝擊電流或電壓：短時間變動之大電流或高電壓。
- 介質材料：電容器填充介質材料的不同，直接影響電容器的特性。如體積、耐壓、漏電流、穩定度....等。

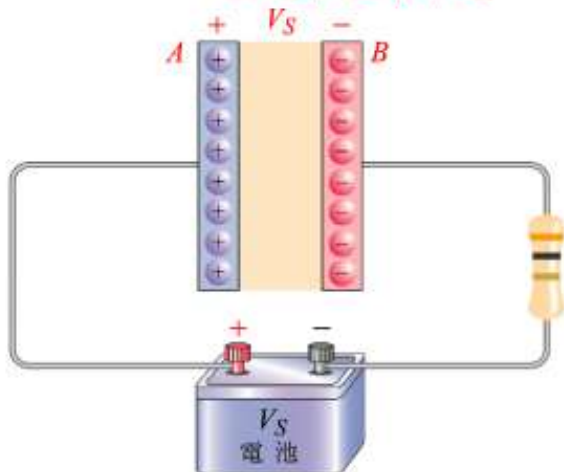
電容器的充、放電(1)

- 由於電容器中有絕緣的電介質阻隔，電子很難直接穿過電容器。
- 簡單來說，當直流電流流過電容器時，電容器的一端會累積電子，另一端會流失電子，電容器則維持電中性，這樣的過程稱為充電。

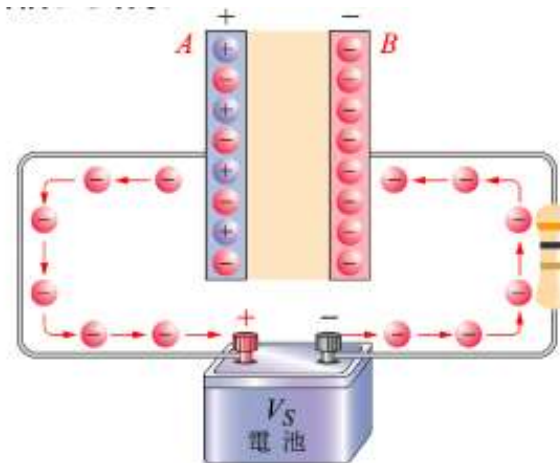
電容器的充、放電(2)



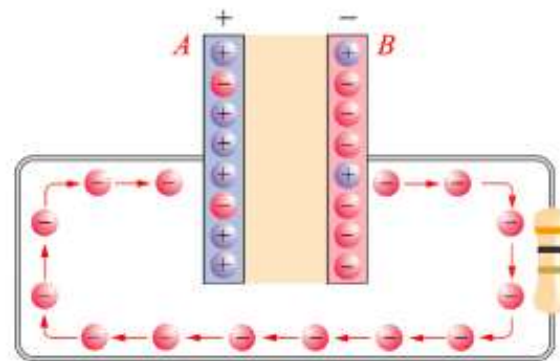
- (a) 充電前
- 電荷為不規則擺置
 - 呈現中性不帶電



- (a) 充滿電
- A極板：帶正電
 - B極板：帶負電



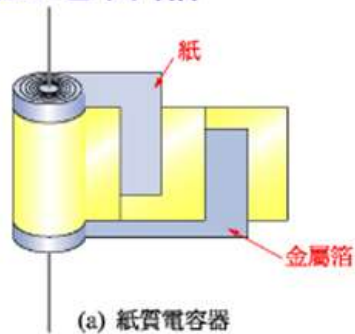
- (b) 充電中
- A極板：電子被吸離
 - B極板：加入更多電子



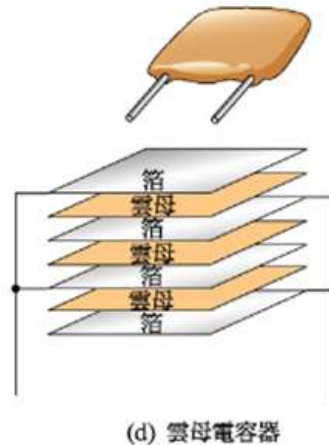
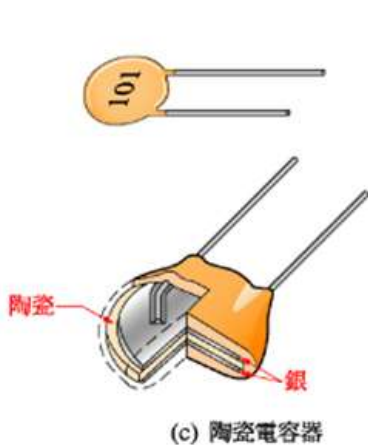
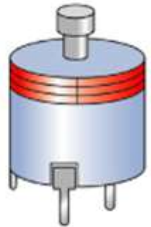
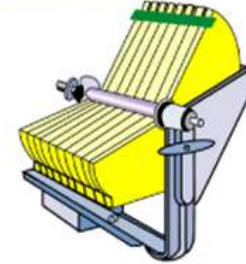
- (b) 開始放電—B極板電子回到A極板

電容器的種類：依使用功能



● 固定值電容器

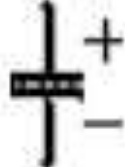



● 可變值電容器

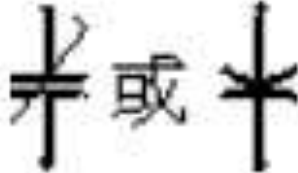



電容器的電路符號

(1) 固定電容器:  或 

(2) 電解質電容器: 

(3) 可變電容器: 

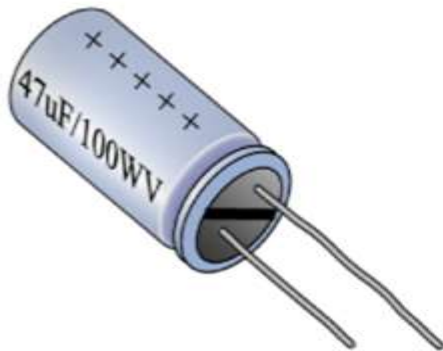
(4) 半可變電容器:  或 

電容器的容量標示

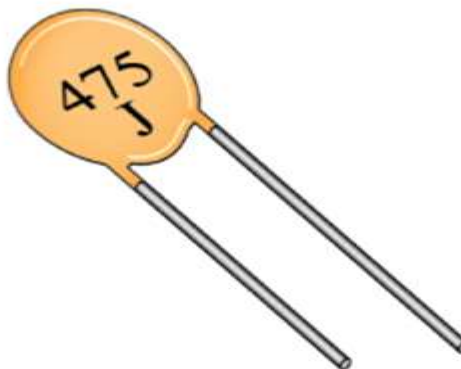
● 電容量的標示方式

- (1) 直接標示法
- (2) 數碼標示法
- (3) 色碼標示法

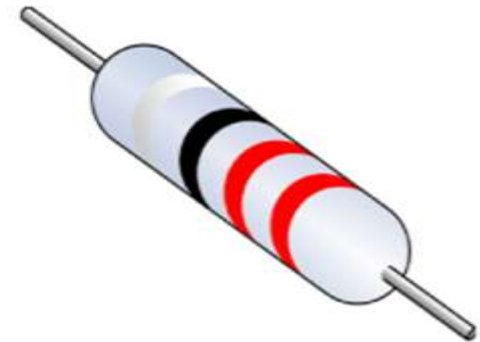
符號	B	C	D	F	G	J	K	M	N
誤差	0.1%	0.25%	0.5%	1%	2%	5%	10%	20%	30%



(a) 直接標示法



(b) 數碼標示法



(c) 色碼標示法

電容器的串聯

◆ 電容器的串聯

(1) 各串聯電容的充電電量均相同

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$$

(2) 總電壓等於各元件電壓降之和。

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

(3) 總電容為各電容倒數和之倒數

$$\text{即 } \frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

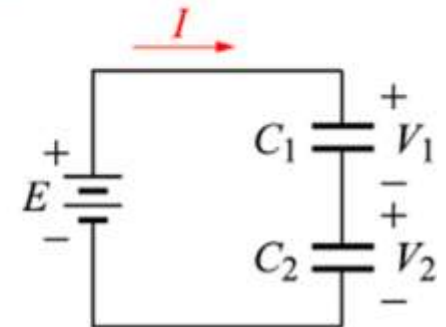
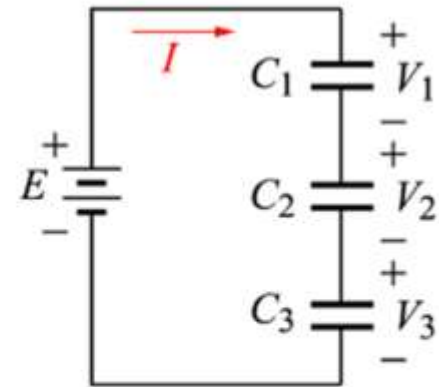
$$\text{或 } C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

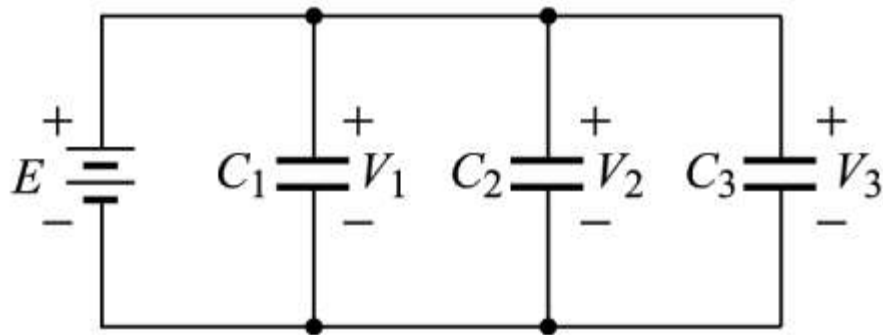
(4) 串聯電容電路，各電容的分壓定則：

$$V_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot E$$

$$V_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot E$$



電容器的並聯



(1) 各並聯電容的充電電壓均相同

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

(2) 各電容的電荷量等於該電容之電容量與電壓的乘積。

$$Q_1 = C_1 V_1 = C_1 E$$

$$Q_2 = C_2 V_2 = C_2 E$$

$$Q_3 = C_3 V_3 = C_3 E$$

(3) 總電荷等於總電容乘以端電壓。

$$Q_T = C_T E$$

(4) 總電流等於各分路電流之和。

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

(5) 總電荷等於各電荷之和

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 E + C_2 E + C_3 E = (C_1 + C_2 + C_3) E$$

(6) 並聯總電容量為各電容量之和

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

電容器的電流與電壓的關係

- 由於電容器的總電場，在電容器兩端會出現電壓。電壓 V 和電容器一端的絕對電荷量 Q 成正比。
- 而 Q 是流過電容器的電流對時間的積分。其數學式如下：

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

I 是流過電容器的電流，單位為安培。

$\frac{dV}{dt}$ 是電壓對時間的微分，單位是伏特/秒。

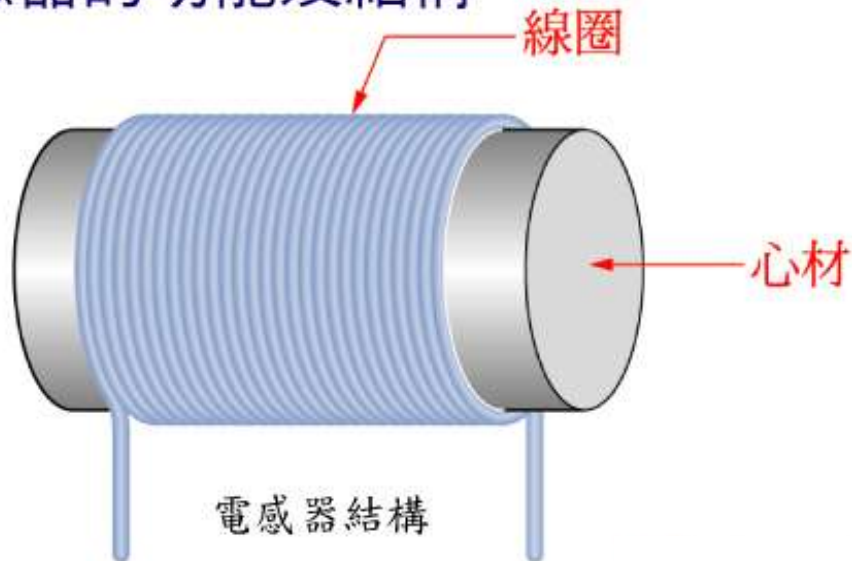
C 是電容器件的電容值，單位是法拉。

電感器(1)

- 用導線繞成線圈狀具有電感性質的元件，稱為電感器。通常只有單一線圈者，具有自感作用；而一個以上的線圈線成者，具有互感作用。電感量的符號為 L ，單位亨利(H)。

電感器(2)

● 電感器的功能及結構



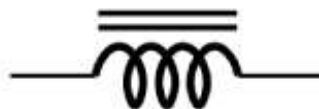
電感器符號

● 電阻的規格

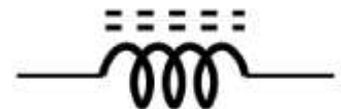
(1) 空心電感器



(2) 鐵心電感器

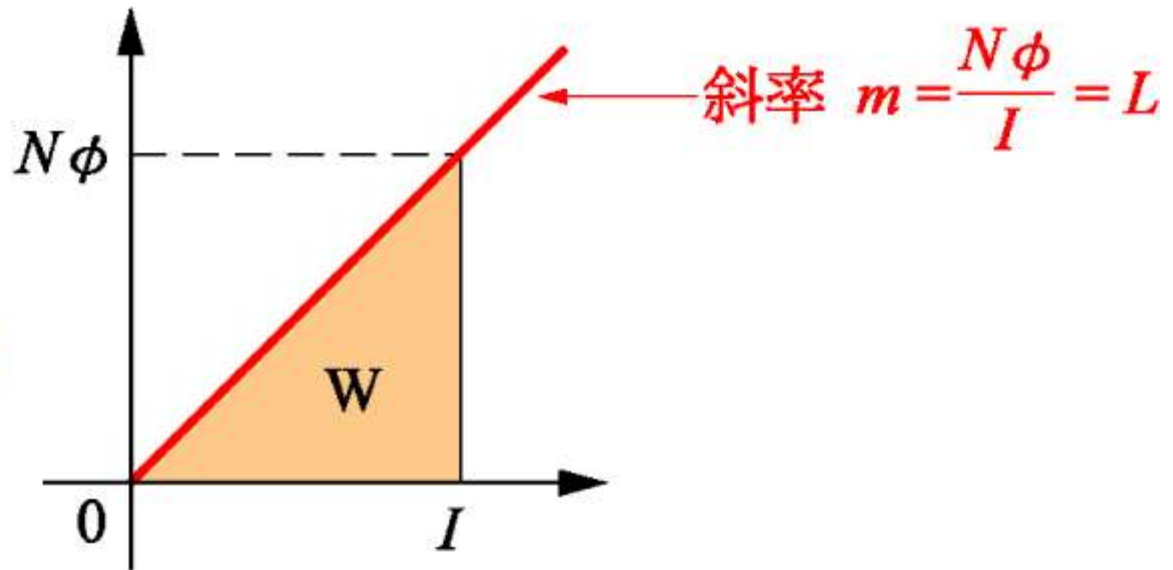
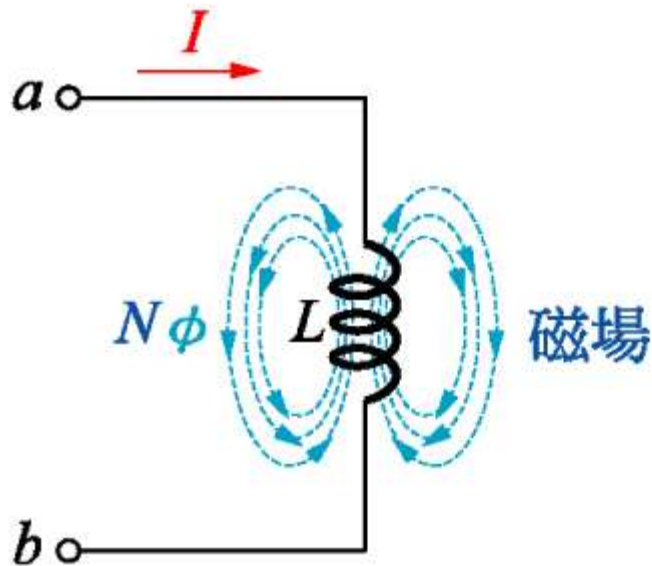


(3) 磁心電感器



電感器的儲能

$$W = \frac{1}{2} N \phi \cdot I = \frac{1}{2} L I^2 \quad (\text{焦耳})$$



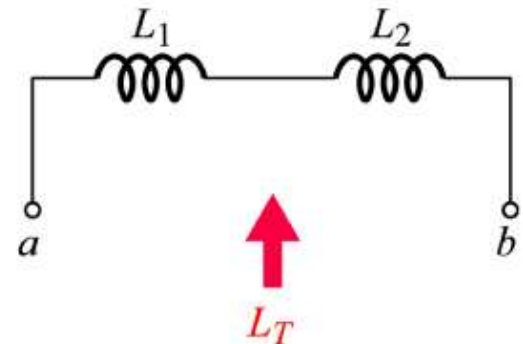
$$W = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 \pm M I_1 I_2 \quad (\text{焦耳})$$

電感器的串聯

◆ 電感器的串聯

1. 無互感的電感器串聯

無互感的串聯總電感： $L_T = L_1 + L_2$ (亨利)

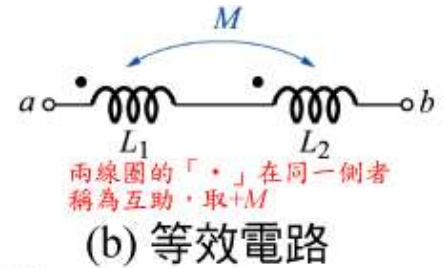
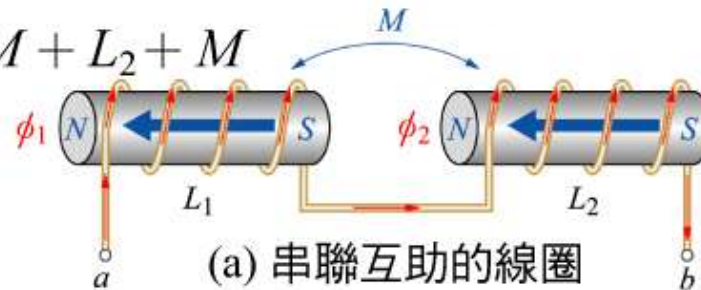


2. 有互感的電感器串聯

串聯互助：兩串聯線圈的磁場方向相同者

串聯互助的總電感為：

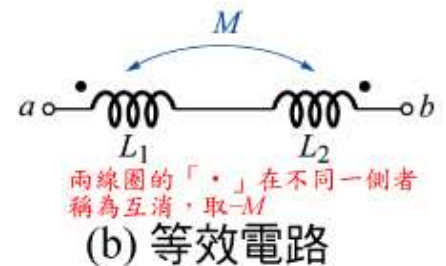
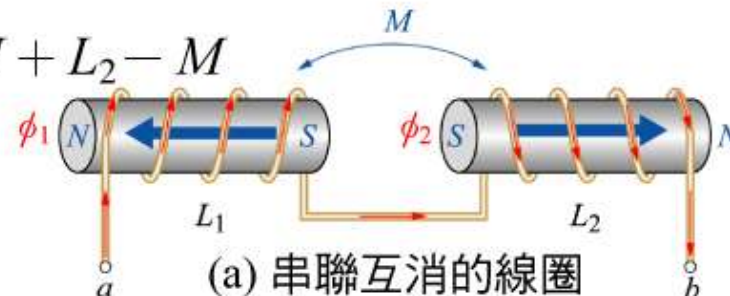
$$\begin{aligned}
 L_T &= L'_1 + L'_2 = L_1 + M + L_2 + M \\
 &= L_1 + L_2 + 2M
 \end{aligned}$$



串聯互消：兩串聯線圈的磁場方向相反者

串聯互消的總電感為：

$$\begin{aligned}
 L &= L'_1 + L'_2 = L_1 - M + L_2 - M \\
 &= L_1 + L_2 - 2M
 \end{aligned}$$



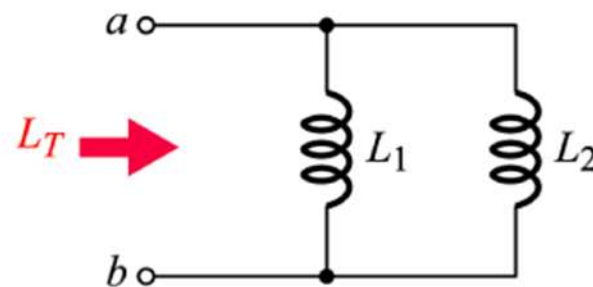
電感器的並聯

◆ 電感器的並聯

1. 無互感的電感器並聯

無互感的總電感： $\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$

或 $L_T = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$ (亨利)

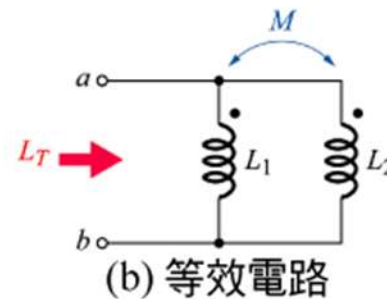
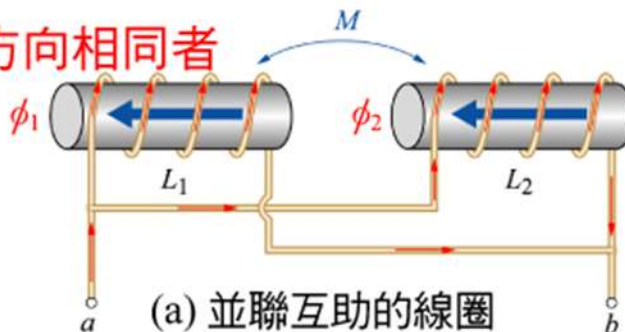


2. 有互感的電感器並聯

並聯互助：兩並聯線圈的磁場方向相同者

並聯互助的總電感為：

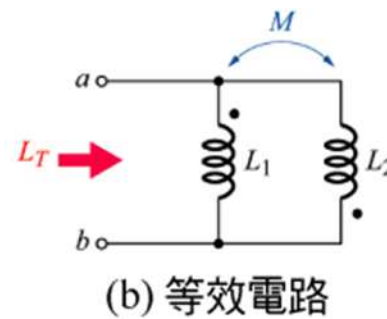
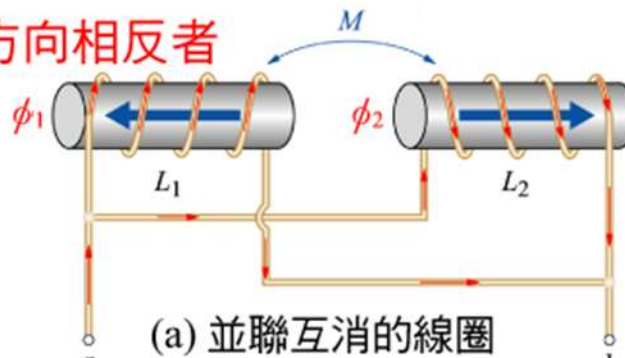
$$L_T = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M} \text{ (亨利)}$$



並聯互消：兩並聯線圈的磁場方向相反者

並聯互消的總電感為：

$$L_T = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M} \text{ (亨利)}$$



電感器的電流與電壓的關係

- 像電容元件反抗電壓的變化一樣，電感元件有反抗電流的變化。
- 一般來說，隨時間變化的電壓 $v(t)$ 與隨時間變化的電流 $i(t)$ 在一個電感為 L 的電感元件上呈現的關係可以用微分方程來表示：

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

討論