

電工原理講義

第一回

50231A-1



社團法
考友社
出版發行

第一講 電學基本原理

命題重點

一、物體之本質與使用單位

(一)物質：

佔有空間具有質量，為一種或多種元素的化合物所組成，其帶電的方法有：1. 摩擦生電 2. 接觸帶電 3. 感應帶電。

(二)元素：

由相同的原子組合而成，為自然界最基本的物質結構。

(三)分子：

由相同或不同的原子組成，而以物理方式分割至最小微粒，仍然不改變原來物質的特性者。

(四)原子：

物質分解至極小微粒後，已失去原來的特性，而由電子、中子、質子三者組合而成的基本質點。

1. 原子的組成：質子、中子、電子。

當電子的數目少於質子的數目時，原子即帶正電荷；相反的，則原子帶負電荷。若兩者相等，則原子不帶電（中性）。

2. 電子軌道的排列：

電子以特定的軌道繞著原子核運動，軌道層計有（由內向外）K、L、M、N、O、P、Q等七層，每一層又有s、p、d、f副層。每一軌道層上的電子數目最多為 $2n^2$ 個，但原子最外層軌道的電子數目不得超過8個，倒數第二層不得超過18個。另外各副層軌道的電子數目為s—2、p—6、d—10、f—14個，如表1所示。

3. 自由電子：為較易脫離軌道能自由移動的電子。

4. 束縛電子：為不易脫離軌道而移動的電子。

表 1

主 層	K (n=1)	L (n=2)	M (n=3)	N (n=4)
副 層	1s ^②	2s ^② 、2p ^⑥	3s ^② 、3p ^⑥ 、3d ^⑩	4s ^② 、4p ^⑥ 、4d ^⑩ 、4f ^⑭
最大電子數目 ($2n^2$)	$2 \times 1^2 = 2$	$2 \times 2^2 = 8$	$2 \times 3^2 = 18$	$2 \times 4^2 = 32$

(五) 導體、半導體、絕緣體

1. 導體：如圖 1 (a) 所示，傳導帶與價帶相重疊，電子能輕易的由價帶進入傳導帶者，稱為導體，其電阻值約為 $10^{-6} \Omega / \text{cm}^3$ 。

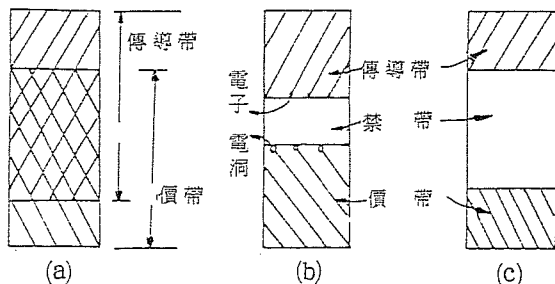


圖 1-1

2. 半導體：如圖 1 (b) 所示，電子須獲得相當的能量，才能從價帶穿越禁帶，而進入傳導帶，其電阻值約為 $10^{-1} \Omega / \text{cm}^3 \sim 10^{-5} \Omega / \text{cm}^3$ 。

3. 絕緣體：如圖 1 (c) 所示，電子不能由價帶進入傳導帶，即物質中沒有可自由移動的電子，其電阻值約為 $10^{18} \Omega / \text{cm}^3$ 。

(六) 單位：

工程中使用的單位：

1. 基本單位：為長度、質量、時間三個的單位。例如於 M. K. S. 制中的公尺、公斤、秒；於 C. G. S. 制中的公分、公克、秒。
2. 導出單位：為由長度、質量、時間三種基本單位組合而成的單位。例如面積中的平方公尺、平方公分；體積中的立方公尺、立方公分；速度中的公尺/秒、公分/秒等。

3. 電學中使用的單位：

- (1) C. G. S. 靜電單位：係根據靜電學中的庫倫定律導算而得，於各單位名稱前冠以“Stat”字樣，例如靜電伏特 (Stat-volt)、靜電安培 (Stat-ampere) 等。
- (2) C. G. S. 電磁單位：係根據電磁學中的庫倫定律導算而得，於各單位名稱前冠以“Ab”字樣，例如電磁伏特 (Ab-volt)、電磁安培 (Ab-ampere) 等。
- (3) 實用單位：前述的靜電單位與電磁單位於應用上，計量不是過大就是太小，因此於 1901 年發表 M. K. S. A. 制，再於 1958 年獲得國際間的承認使用，稱為國際實用單位 (S. I. units)。

實用單位與電磁單位及靜電單位間的關係如下表所示：

表 2 實用單位與 C. G. S 電磁單位及 C. G. S 靜電單位的關係

名稱	代號	符號	實用單位	電磁單位等效值	靜電單位等效值
電壓	E	V	伏特 (Volt)	10^8 Ab-V	$\frac{1}{3} \times 10^{-2} \text{ Stat-V}$
電流	I	A	安培 (Ampere)	10^{-1} Ab-A	$3 \times 10^9 \text{ Stat-A}$
電阻	R	Ω	歐姆 (Ohm)	$10^9 \text{ Ab-}\Omega$	$\frac{1}{9} \times 10^{-11} \text{ Stat-}\Omega$
電荷	Q	C	庫倫 (Coulomb)	10^{-1} Ab-C	$3 \times 10^9 \text{ Stat-C}$
電功率	P	W	瓦特 (Watt)	10^7 erg/sec	10^7 erg/sec
電感	L	H	亨利 (Henry)	10^9 Ab-H	$\frac{1}{9} \times 10^{-11} \text{ Stat-H}$
電容	C	Fd	法拉 (Farad)	10^{-9} Ab-Fd	$9 \times 10^{11} \text{ Stat-Fd}$
磁通	ϕ	Wb	韋伯 (Weber)	10^8 Ab-Wb	$\frac{1}{3} \times 10^{-2} \text{ Stat-Wb}$

電學單位中常用的字首與 10 的幕次值。

表 3 電學的公制字首及相對數值

名稱	符號	相對數值
Tera (兆)	T	10^{12}
Giga (十億)	G	10^9
Mega (百萬)	M	10^6
Kilo (仟)	K	10^3
hecto (百)	h	10^2
deca (拾)	da	10
deci (拾分之一)	d	10^{-1}
Centi (厘)	C	10^{-2}
milli (毫)	m	10^{-3}
micro (微)	μ	10^{-6}
nano (毫微)	n	10^{-9}
Pico (微微)	P	10^{-12}

二、能量

- (一)可使物質作功的能力即為能量，例如動能、位能、光能、熱能、化學能、電能等。
- (二)電能可經由各類型態的能量，如位能、核能、光能（太陽能）轉換為動能，以動能推動發電機運轉而產生電能。
- 或者由化學能轉換為電能的器具—電池，其優點為設備低廉、使用輕便、維修容易，缺點為電量太小。
- (三)電能的使用須靠完整的電路才可達成，完整的電路應具備電源、負載、控制元件、導線等四部份，如圖 1 - 2 所示。

四) 電源：

1. 電源分為電壓電源與電流電源。
2. 若電源的電壓數值不受其所供應負載電流大小的影響，仍可維持固定數值的，即

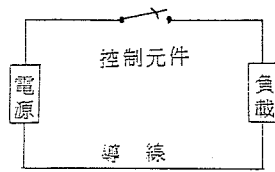


圖 1-2

為電壓電源。

3. 若電源的電流數值不受其所供應負載電壓高低的影響，仍可保持固定數值的，即為電流電源。

五) 電壓電源：

1. 如圖 1 - 3 所示，電壓電源可視為一電動勢與一內電阻串聯而成。
2. 數個電壓電源以相同的極性串聯時，可增加輸出的電動勢。
3. 若電壓電源串聯的極性相反，則輸出電動勢將減少。
4. 相等數值端電壓的電壓電源並聯使用後，可供應較大的輸出電流。
5. 不相等數值端電壓的電壓電源不可並聯使用。

六) 電流電源：

1. 如圖 1 - 4 所示，電流電源可視為一理想電流源與一內電阻並聯而成。

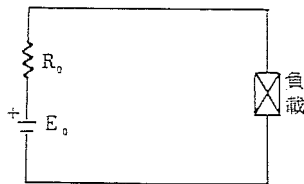


圖 1-3

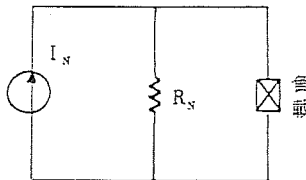


圖 1-4

2. 不相等電流值的電流電源不能串聯使用。
3. 數個電流電源以相同的極性並聯時，可供應較大的輸出電流。
4. 若電流電源並聯的極性相反，則輸出電流值將減少。

(七) 電壓電源與電流電源的等效互換：

1. 電動勢為 E_0 ，串聯內電阻為 R_0 的電壓電源，可等效化成理想電流值為 $\frac{E_0}{R_0}$ ，並聯內電阻為 R_0 的電流電源，如圖 1-5 所示。
2. 理想電流為 I_N ，並聯內電阻為 R_N 的電流電源，可等效化成電動勢為 $I_N R_N$ ，串聯內電阻為 R_N 的電壓電源，如圖 1-6 所示。

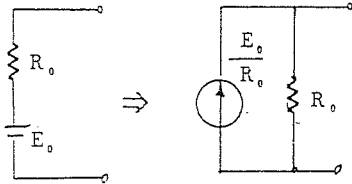


圖 1-5

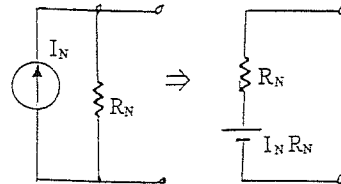


圖 1-6

3. 兩者在互換時，應注意電動勢與電流源的極性。
4. 兩者互換前後，電源本身的功率並不一定相等。

(八) 複合電源的等效合併：

1. 複合電源就是電路內同時存在電壓電源與電流電源。
2. 合併時將與電壓電源並聯的元件斷路，而將與電流電源串聯的元件短路。
3. 串聯電路應先將各電源統一化成電壓電源，若為並聯電路則先將各電源統一化成電流電源。然後順向合併時相加，反向則相減。
4. 電壓電源與其他電源並聯時，應先將其化成等效電壓電源後再合併。

(九) 電源與負載的判別：

1. 以元件的電流流動方向與端點極性來決定。
2. 電流由元件的“+”端流出，即為電源。如圖 1-7 所示。
3. 電流由元件的“+”端流入，即為負載。如圖 1-8 所示。

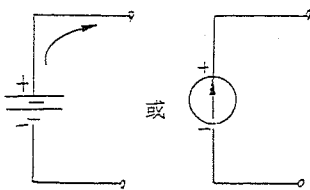


圖 1-7

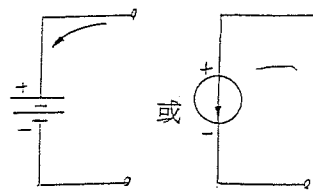


圖 1-8

(十) 導線：

1. 導線的粗細，各國均有特定的線規加以分類，若標上數目，此即線號。
2. 常用的線規有：中國線規 (C.W.G.)、美國線規 (A.W.G.)、英國線規 (S.W.G.) 等。
3. C.W.G. 線規中單線以直徑毫米 (mm) 表示，絞線以截面積平方毫米 (mm²) 表示。
4. A.W.G. 線規以直徑 0.460 吋的導線訂為 0000 號，直徑 0.003145 吋的導線訂

為 40 號。其間以幾何級數均分為 44 種線號。

5. A.W.G. 常以 # 10 線為基準（直徑 0.1 吋、截面積 10400 C.M.、長 1000 呎、重量為 31.416 磅、在常溫時電阻約為 1Ω ），依次可類推計算其他線號的截面積、線徑、重量及電阻值。
6. A.W.G. 線號每增加 1 號，則直徑減少約 0.123 倍、截面積減少 0.26 倍、重量減少 0.26 倍、電阻值增大 0.26 倍。
7. A.W.G. 線號每增加 3 號，則截面積減半、重量減半、電阻值增大 1 倍。
8. A.W.G. 線號每增加 10 號，則截面積與重量為原來的 $\frac{1}{10}$ ，而電阻值為原來的 10 倍。
9. S.W.G. 線規以導線直徑的密爾數（mil）來表示。1 圓密爾（C.M.）為直徑 1 密爾（ $\frac{1}{1000}$ 吋）的圓截面積，圓密爾（C.M.）亦即等於直徑密爾數的平方。
圓密爾（C.M.） $= (D \times 1000)^2$ ，D 為導線線徑（吋）。

$$\text{直徑吋數} = \frac{\sqrt{\text{C.M.}}}{1000}$$

三、電荷

(一) 定義：

1. 絕緣體上的帶電原子或與外界隔離的導體上其所分佈的電荷均為靜止不動，稱為靜電荷（電荷不流通故亦稱為靜電）。
 2. 電荷在導體中能自由流通而形成電流的，稱為動電。
- (二) 電荷分佈於孤立導體表面上，其導體內部的電荷量為零。
- (三) 孤立導體（絕緣體）表面的曲度愈大（曲率半徑愈小），則其電荷密度愈大。
- (四) 檢驗靜電荷應使用驗電器，若電荷量愈多，則驗電器上的金箔張開的角度愈大。
- (五) 失去電子的物質帶正電荷，獲得電子的物質帶負電荷。
- (六) 同性電荷互相排斥，異性電荷互相吸引。
- (七) 電荷能感應而產生異性電荷於相鄰物質的近端。
- (八) 庫倫靜電定律：

1. 電荷間相互吸引或排斥的作用力，稱為靜電力。
2. 兩帶電體的電量分別為 Q_1 與 Q_2 ，若相隔 r 距離，則兩電荷間作用力的大小，與其距離的平方成反比，而與兩電荷帶電量的乘積成正比。
3. 基本公式：

(1) 在 M. K. S. 制中

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \epsilon \cdot r^2} = 9 \times 10^9 = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\epsilon_r \cdot r^2}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \cdot \epsilon_r \doteq 8.854 \times 10^{-12} \epsilon_r$$

F：靜電作用力（牛頓。正值為排斥力，負值為相吸力）

Q_1 、 Q_2 ：帶電體的荷電量（庫倫、C）

r ：兩帶電體的中心距離（公尺、m）

ϵ_0 ：真空的介電係數（法拉／公尺）

ϵ ：介質的介電係數（法拉／公尺）

ϵ_r ：相對介電係數（ ϵ / ϵ_0 ）

(2)在C. G. S. 制中

$$f = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

f ：靜電作用力（達因）

$Q_1 \cdot Q_2$ ：帶電體的荷電量（靜庫倫）

ϵ_0 ：數值為1（靜法拉／公分）

r ：兩帶電體的中心距離（公分）

(a) 1 庫倫 = 3×10^9 靜庫倫；1 牛頓 = 10^5 達因。

$$\begin{aligned} (+) \epsilon_0 (\text{自由空間}) &= \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ 法拉／公尺} \\ &= 8.85 \times 10^{-2} \text{ 法拉／公尺} \\ &= 1 \text{ 靜法拉／公分} \end{aligned}$$

四、電壓與電流

(一)電壓定義：

1. 電動勢：電源內部促使電子流動的原動力。
2. 電壓降：電流通過元件時，順著電流的流動方向，其電位逐漸減少。
3. 電位：促使單位電荷流動的位能。
4. 電位差：單位電荷自一點移至他點所作的功。兩物體帶有不同的電荷，兩者間即有電位差。
5. 端電壓：電流通過元件時，在元件兩端所產生的電位差。
6. 絕對電位：任一點與大地間的電位差，稱為該點的絕對電位。若為正值，即為正電位；若為負值，則為負電位。
7. 電壓：電動勢、端電壓、電壓降、電位差、電位通常稱為電壓，以伏特表示。

(二) 1 伏特：使 1 庫倫電荷完成 1 焦耳作功所須的電位差。

$$\text{公式：} V = \frac{W}{Q} = K \frac{Q}{r}$$

Q ：電荷的電量（C. G. S. 中為靜庫，M. K. S. 中為庫倫）。

W ：作功（C. G. S. 中為爾格，M. K. S. 中為焦耳）。

r ：移動距離（C. G. S. 中為公分，M. K. S. 中為公尺）。

K ：常數（C. G. S. 中為 1，M. K. S. 中為 9×10^9 ）。

V ：電位差（C. G. S. 中靜伏，M. K. S. 中為伏特）。

1 庫倫 = 3×10^9 靜庫；1 伏特 = 1 / 300 靜伏。

(三)電流定義：單位時間流通導體截面積的電量。

$$\text{公式： } I = \frac{Q}{t} = nev A$$

Q：電量（庫倫）

t：流通的時間（秒）

n：每單位體積的電子數

e：每一電子帶電量（庫倫）

v：電子移動的速率（m/sec）

A：導體的截面積（mm²）

(四)電子在導體中的移動速率：

$$\text{公式： } V = \frac{1}{ne} \cdot \frac{Q}{A t} = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I}{A} = K \cdot \frac{I}{A}$$

$$K \text{ 值視導線材料而定，若為銅線則 } K = \frac{1}{13600} \doteq 7.353 \times 10^{-5}$$

$$\text{金或銀線的 } K = \frac{1}{9300} \doteq 10.753 \times 10^{-5}$$

$$\text{鋁線的 } K = \frac{1}{27900} \doteq 3.584 \times 10^{-5}$$

1.電的能量傳遞速率約與光速相等，為 3×10^8 m/sec。

2.實際上電子在導體中的移動速率極低，約為數吋/sec。

3.電流流動的方向為正電荷流動的方向，而電子流動的方向恰為相反。

五、功率

(一)功與功率：

1.電壓促使電荷在電路中由某一點移至另一點的能力，稱為作功（W）。

2.單位時間內所作的功，稱為電功率（P）。

$$\text{公式： } P = \frac{W}{t}$$

P：電功率（瓦特）

W：功（焦耳）

t：時間（秒）

(二)電功率：

$$1. P = E I$$

(1)適用於求解電壓源與電流源的電功率。

(2)當 E 與 I 為電路的總電壓與總電流時，即可得總功率。

$$2. P = I^2 R$$

(1)適用於串聯電路的功率計算或比較。

(2)當 R 不變時，則 P 與 I 的平方成正比。

第三講 電容器與靜電場

● 命 題 重 點 ●

一、電容器之電容量

(一)電容器：

兩導體中間若隔有絕緣的物質，則具有儲存電能或電荷的功用，稱為電容器或容電器。

(二)電容量：

電容器所帶電荷 Q 與其兩端建立的電位差 V 之比值，稱為該電容器的電容量。

$$\text{公式：} C = \frac{Q}{V}$$

Q ：電荷量（庫倫）， V ：電位差（伏特）， C ：電容量（法拉）。

(三)電容器的電容量與金屬板的截面積 A ，板與板的間隔 d ，介質常數 ϵ_r 有關。

$$\text{公式：} C = \epsilon \frac{A}{d} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

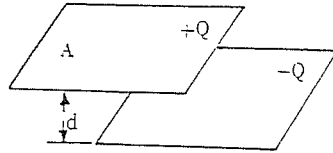


圖 3-1

A ：金屬板截面積（ m^2 ）。

d ：板與板的間隔（ m ）。

ϵ ：介質介電係數（ F/m ）。

ϵ_0 ：真空（空氣）的介電係數（ F/m ）。

ϵ_r ：相對介電係數（ ϵ / ϵ_0 ）。

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

(四)介質常數（即 ϵ_r ，相對介電係數）

若電容器用絕緣材料為介質時的電容量 C ，而空氣或真空為介質時的電容量 C_0 ，則比值稱為介質常數。

$$\text{公式：} \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{C}{C_0} = \frac{V_0}{V} \text{ (} \epsilon_r \geq 1 \text{)}。$$

1. 電容量為空氣介質的 ϵ_r 倍，即為加大電容量。

2. 兩端電位差為空氣介質的 $1 / \epsilon_r$ 倍，則使電位差降低。

(五)孤立球體的電容量：如圖 3-2

設球半徑為 R （ m ），帶電之電荷量為 Q （庫倫）

$$\therefore \text{球面電位 } V = 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{\epsilon_r R} \text{ (V)}$$

$$\therefore C = \frac{Q}{V} = \frac{1}{9} \times 10^{-9} \times \epsilon_r R \text{ (F)}$$

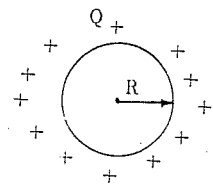


圖 3-2

(六)同心球體的電容量：如圖 3-3

設球體之內層半徑為 r_a (m)，外層半徑為 r_b (m)，電荷量為 Q (庫倫)。

$$\begin{aligned} \therefore \text{球面電位差 } V &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \\ &= 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{\epsilon_r} \left(\frac{r_b - r_a}{r_a r_b} \right) \text{ (V)} \\ \therefore C = \frac{Q}{V} &= \frac{1}{9} \times 10^{-9} \times \epsilon_r \left(\frac{r_a r_b}{r_b - r_a} \right) \end{aligned}$$

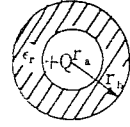


圖 3-3

(七)平行板夾層的電容量：

1. 如圖 3-4 所示：

設二平行板面截面積 A (m^2)，有二介質 ϵ_1 與 ϵ_2 厚度各為 d_1 (cm) 及 d_2 (cm)，荷電量各為 Q_1 (庫倫) 及 Q_2 (庫倫)，則：

$$V_1 = \frac{Q_1 d_1}{\epsilon_0 \epsilon_1 A}, \quad V_2 = \frac{Q_2 d_2}{\epsilon_0 \epsilon_2 A}$$

$$\therefore Q_T = Q_1 = Q_2$$

$$\text{且 } V_T = V_1 + V_2 = \frac{Q_T}{\epsilon_0 A} \left(\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} \right)$$

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{A}{d_1}, \quad C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{A}{d_2}$$

$$\therefore C_T = \frac{Q_T}{V_T} = \epsilon_0 A / \left(\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} \right) = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 A}{d_1 \epsilon_1 + d_2 \epsilon_1} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$\text{即 } C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \text{ (F)}$$

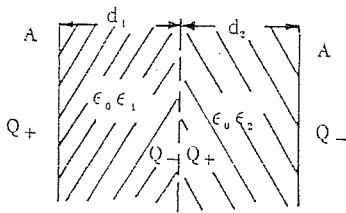


圖 3-4

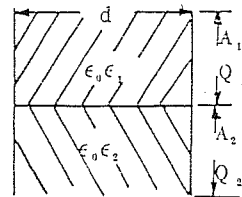


圖 3-5

2. 如圖 3-5 所示：

設介質 ϵ_1 與 ϵ_2 的板面截面積各為 A_1 (m^2) 及 A_2 (m^2)，荷電量各為 Q_1 (庫倫) 及 Q_2 (庫倫)，厚度同為 d (m)，則：

$$V_1 = \frac{Q_1 d}{\epsilon_0 \epsilon_1 A_1}, \quad V_2 = \frac{Q_2 d}{\epsilon_0 \epsilon_2 A_2}$$

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{A_1}{d}, \quad C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{A_2}{d}$$