

電 工 學 講 義

第 一 回

502300-1



社團法 人 考友社 出版發行

第一講 緒 論

◎ 命 題 重 點 ◎

壹、電機工程與電機工程師

電機工程係將能量由其他形式轉換成爲電能，予以控制，並再轉換爲有用能量形式之一種工程。

目前電機工程師可分爲電子、電力與通信工程師等，不論何種工程師，其天職均在造福人類。一般電機工程師之主要貢獻爲：對能量與資訊之轉換，處理及傳輸提供有效、方便與可靠之方法。

電機工程師不僅須應用科學定律，製造各種電機或電子裝置，並須推廣自然定律之範圍，造福人類，同時需能運用電機裝置以服務人類。

貳、電荷與電之產生

根據盧瑟福之原子論，原子(atom)係由電子(electron)與原子核(nucleus)所構成；電子之質量遠小於原子核，且環繞原子核進行，如同行星繞著太陽運行；原子核包括質子(proton)與中子(neutron)。由於電荷間之作用力，可能爲排斥力，亦可能爲吸引力，故知電荷(electric charge)有兩種，一般視電子爲負電荷，質子爲正電荷，而電子與質子之電量相等，因此當物質中電子與質子數相等時，爲電中性；若有多餘之電子，則帶負電；若不足電子，則帶正電，根據密立根之油滴實驗知電子爲基本電荷，其電量爲

$$\frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} = 6.24 \times 10^{18} \text{ 個電子。}$$

當某物質帶 Q_1 庫侖之電量，另一物質帶 Q_2 庫侖之電量，庫侖以實驗發現，當 Q_1 與 Q_2 之電性相同時，兩物質相互排斥，當兩電荷相反時，彼此相互吸引；兩者間之作用力與兩電荷之乘積成正比，與兩者間之距離平方成反比，以公式表之即爲

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \quad (1.1)$$

上式中， F 為帶電體間之作用力， d 為兩者間之距離。若以等式表示，則為

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \quad (1.2)$$

其中 k 為比例常數，其值於 MKS 系統中為 $\frac{1}{4\pi\epsilon}$ ， ϵ 表兩帶電體間物質（介質）之介電常數，若電荷以庫侖為單位，距離之單位為公尺（米），則作用力之單位為牛頓，當介質為真空時，其介電常數以 ϵ_0 表示，其值為 8.85×10^{-12} 法拉/米，故 $k = 9 \times 10^9$ 米/法拉。

式（1.2）稱為庫侖定律，其應用範圍甚廣，即使距離短至原子內之電子與電子間，或電子與原子核間亦適用，然而却不適用於原子核內。大體言，當兩電荷之距離小於 10^{-12} 厘米，則庫侖定律不適用。

【例題1】設圖1.1中 $Q_1 = 4 \times 10^{-5}$ 庫侖， Q_2 為右邊球喪失 6.25×10^{13} 個電子所得之電荷，且兩電荷間之距離為2米，試求其作用力。

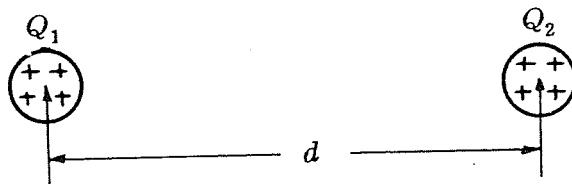


圖 1-1

【解】： $Q_2 = 6.25 \times 10^{13} \times 1.6 \times 10^{-19} = 10^{-5}$ 庫侖
應用式（1.2）得：

$$F = (9 \times 10^9) \times \frac{Q_1 Q_2}{d^2} = \frac{(9 \times 10^9) (4 \times 10^{-5}) (10^{-5})}{2^2}$$

$$F = 0.9 \text{ 牛頓}$$

【註】：若 Q_1 係帶負電，則 Q_1 以負值代入上式，所得 F 為負值。故 F 之正值表排斥力，負值表吸引力。

當兩物質互相摩擦，則其中之一物質中受原子核吸引力較小之電子，將移至另一物質中，而帶正電，使獲得電子之物質帶負電，此乃摩擦生電，產生靜電之原理。

此外諸如石英，酒石酸鈉鉀塩等材料受壓力之作用，即能產生電；此乃由壓電效應產生電，在電唱機之唱頭即利用此等壓電材料，由壓力產生電之實例。

根據愛因斯坦之光電理論，當光照在鹼金屬材料上，則受原子核吸引力最弱之電子，將吸收光能而離開材料本身，使物質帶電。

此外利用化學作用，亦能產生電，如乾電池及蓄電池等皆是。

參、電動勢電位差與電壓

當物體由較低處搬至較高處，則為克服地心引力，必須對物體作功；所作之功儲存於物體中而變為位能，可見較高處物體所具之位能比較低者為高，而有位能差。

同理根據庫侖定律，當有正電荷 Q_1 由無窮遠處移近於某一正電荷 Q_2 ，則必須由外界對 Q_1 作功，以克服其排斥力。當 Q_1 由無窮遠處移至離 Q_2 之距離 r_1 時，所需之功為：

$$W_1 = \int_{\infty}^{r_1} F dr = \int_{\infty}^{r_1} \frac{Q_1 Q_2}{4 \pi \epsilon r^2} dr \quad (1.3)$$

定義在 r_1 點之電位 (electric potential) 為：

$$V_1 = \frac{W_1}{Q_1} = \int_{\infty}^{r_1} \frac{Q_2}{4 \pi \epsilon r^2} dr \quad (1.4)$$

亦即在 r_1 之電位為將單位正電荷由無窮遠移至 r_1 距離所需作之功。同理當將 Q_1 由無窮遠移至 r_2 處所需之功為

$$W_2 = \int_{\infty}^{r_2} \frac{Q_1 Q_2}{4 \pi \epsilon r^2} dr \quad (1.5)$$

故在 r_2 之電位爲

$$V_2 = \frac{W_2}{Q_1} = \int_{\infty}^{r_2} \frac{Q_2}{4 \pi \epsilon r^2} dr \quad (1.6)$$

如圖 1.2 所示在 a 點之電位爲 V_1 ，在 b 點之電位爲 V_2 ，亦即在 a 與 b 兩點間有電位差 (potential difference) $V_{ab} = V_1 - V_2$ ；當 $V_1 > V_2$ 時， V_{ab} 爲正，即將正電荷由 V_1 移至 V_2 時，電荷必須對外界作功，使電位降低，故 V_{ab} 爲正表 a 點之電位較 b 爲大；若 $V_1 < V_2$ ，則 V_{ab} 爲負，表 a 點之電位較 b 點爲低，將正電荷由 a 點移至 b 點須對電荷作功，以提高其電位。電位差爲：

$$\begin{aligned} V_{ab} &= \int_{\infty}^{r_1} \frac{Q_2}{4 \pi \epsilon r^2} dr - \int_{\infty}^{r_2} \frac{Q_2}{4 \pi \epsilon r^2} dr \\ &= \int_{r_2}^{r_1} \frac{Q_2}{4 \pi \epsilon r^2} dr \end{aligned} \quad (1.7)$$

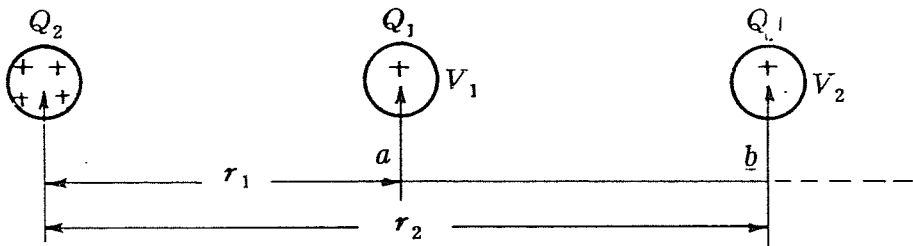


圖 1-2

電位差之單位爲伏特 (Volt) 簡寫伏 (V)，其定義爲：當 1 庫倫之電荷由電路中之某一點移至另一點所損失或獲得之功爲 1 焦耳時，則此兩點之電位差爲 1 伏特。以公式表示，即爲

$$V_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1.8)$$

電位差亦稱為電壓 (voltage)，按原文即以伏特表電位差值之意也。「電壓」一詞實翻譯不當，易令人誤解，惟已沿用多年，姑且從俗。

通常以+表高電位，-表低電位，此處之+與-號稱為電位之極性符號，當正電荷由高電位移至低電位時，必須對外界作功，此種作功能力稱為電能 (electric energy)。而同一電位諸點所構成之平面稱為等電位面 (equipotential surface)。

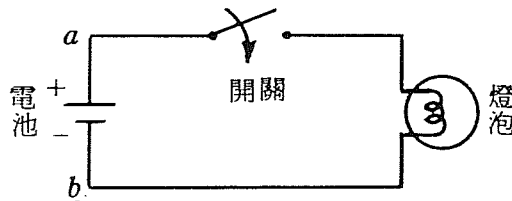


圖 1-3

圖 1.3 為一簡單電路，左端之電池符號係以二平行線中較長細者表電池之正端，較短粗者表電池之負端，電池、開關、燈泡等以導線串聯連接，形成電路。當開關啓開 (off) 時，構成斷路 (open circuit)，電荷無通路可流動；當開關閉閉 (on) 時，電池中之化學能將負端之正電荷推動至正端，即將化學能變成電能，使正電荷獲得電能由低電位提昇至高電位，而於電路中流動；電荷之流動即構成電流，電流之單位為安培 (Ampere)，簡寫安 (Amp)；1 安培表在單位時間 1 秒內流過 1 庫侖之電量，以公式表示為 $I = \frac{dQ}{dt} =$

$\frac{Q}{t}$ ；電流將經燈泡而損失其電能，並降低其電位，回至電池之負端。

燈泡所消耗之電能轉變為光與熱，使燈泡發光。電池之此種使電荷流動之能力稱為電動勢 (electromotive force)，簡稱電勢 (emf)。電動勢既使電荷之電位提高，故電動勢之大小亦以其電位差表之，單位為伏特。事實上在電路中流動之電荷為電子，然而一般以正電荷之流動方向訂為電流之方向，故電子流動之方向與電流相反。

吾人尚需強調者爲：即使無電流通時，電池中仍有電動勢存在；常有電流時，電池僅對電荷提供電能，並非產生電荷。因電池爲電能之來源，故稱電源（source），除電池外還有其他電源，如發電機等。電源之電能係來自其他能源，如化學能、熱能、光能、位能（水力）及核能等。

肆、電壓與電流之參考方向

圖 1.4 示任一電路元件（circuit element），例如前述之燈泡、電池等，其兩端爲 AB ，不管元件爲何物，爲便於表示其廣泛性，茲稱此兩端元件爲分支（branch），分支兩端之電壓稱爲分支電壓，流經分支之電流稱爲分支電流，電機工程師對於分支電壓及分支電流之參考方向（reference direction）必須有明確認識。電壓之參考方向，係在 A 與 B 端附近以正負號表示，而電流之參考方向，則以箭號表示。

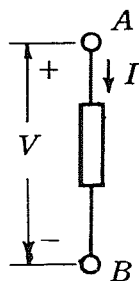


圖 1-4 電壓 V 與電流 I 之參考方向

由圖 1.4 所示之電壓參考方向，凡 A 端之電位較 B 端之電位爲高者，則分支電壓爲正（ $V > 0$ ），若 A 端之電位較 B 端爲低，則分支電壓爲負（ $V < 0$ ），若 A 與 B 端之電位分別爲 V_A 及 V_B ，則分支電壓爲：

$$V = V_A - V_B \quad (1.9)$$

其次按電流之參考方向，設有正電荷由 A 端流入，由 B 端離去，則分支電流 I 爲正（ $I > 0$ ），反之 I 爲負（ $I < 0$ ）。

一般所選用之電壓與電流之參考方向為當電流由標為+之正端流入，由標為-之負端離去，則電流為正。若 VI 為正值，則表輸送至分支上之功率，亦即分支所散逸之功率；若 VI 為負值，則表分支往外供給功率。

陸、功 率

所謂功率係單位時間內所作之功，亦即作功速率，以公式表之為：

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{W}{t} \text{ 焦耳/秒} \quad (1.10)$$

功率之單位為瓦特 (watt)，簡寫瓦 (W)，1 瓦特 = 1 焦耳 / 秒；由式 (1.8) 知 $W = VQ$ ，根據電流之定義知 $Q = It$ ，因此 $W = VIt$ ，故

$$P = \frac{VIt}{t} = VI \quad (1.11)$$

此與上文之敘述符合。商用之電功率，均以瓦特為單位，然而有時此單位太小，因此在大電功率上，往往以仟瓦 (kilowatt) 為單位，縮寫為 kw，有時亦以機械功率表示電功率之單位。

$$1 \text{ 馬力 (} Hp \text{)} = 746 \text{ 瓦特} = 0.746 \text{ 仟瓦}$$

$$1 \text{ 馬力} = 550 \text{ 呎-磅 / 秒}$$

$$1 \text{ 瓦特} = 0.737 \text{ 呎磅 / 秒}$$

伍、效 率

任一將某種能量形式變換成另一能量形式之裝置得以圖 1.5 所示之“黑箱”表示。

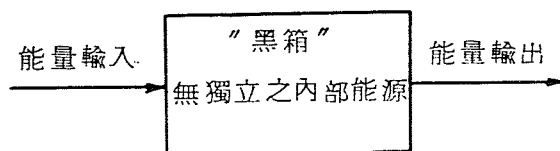


圖 1-5

502300-1 (1/2)

輸入能量 = 輸出能量 + 能量損失或儲存於“黑箱”中之能量，

$$\text{即 } W_{in} = W_{out} + W_{loss}$$

兩端除以 t 得

$$\frac{W_{in}}{t} = \frac{W_{out}}{t} + \frac{W_{loss}}{t}$$

由於 $P = \frac{W}{t}$ ，故

功率輸入 = 功率輸出 + 功率損失或儲存於“黑箱”之功率，

$$\text{即 } P_{in} = P_{out} + P_{loss}$$

由是知“黑箱”內部之裝置效率 (efficiency) 爲：

$$\begin{aligned} \text{效率}(\eta) &= \frac{\text{功率輸出}}{\text{功率輸入}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \\ &= \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \end{aligned} \quad (1.12)$$

以百分率表爲：

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1.13)$$

亦能表爲：

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\% \quad (1.14)$$

就具不等或相等效率之串接系統而言，其總效率爲其個別效率之乘積，如在圖 1.6 之串接系統，

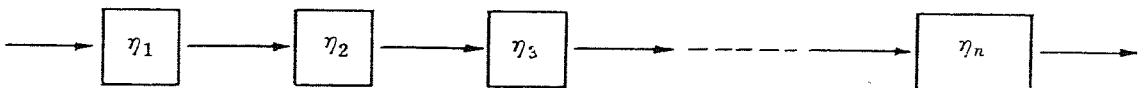


圖 1-6

其總效率爲：

$$\eta_r = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n \quad (1.15)$$

柒、單位系統

於科學與工程上有甚多之單位系統，其中之一單位系統爲厘米—克—秒（cgs）系統，此系統以厘米、克與秒分別爲長度、質量與時間之基本單位。

於1901年義大利科學家Giorgi提出以米，公斤及秒爲基本單位之mks系統；於此系統中，長度單位爲米，質量單位爲公斤，時間單位爲秒；力之單位爲牛頓（newton），1牛頓爲質量1公斤之物體產生1每秒每秒米加速度所需之力。功（或能）之單位爲力之單位乘以長度之單位，因此能之單位爲牛頓—米，此與電能之瓦特—秒或焦耳（joule）相同。功率爲單位時間所作之功，其單位爲瓦特，1瓦特=1焦耳/秒。在商用上之電能單位爲仟瓦—小時（kw—hr），仟瓦—小時與瓦特—秒間之關係爲：

$$\begin{aligned} 1 (kw - hr) &= 1 (1000 \text{ 瓦特} \times 3600 \text{ 秒}) \\ &= 3,600,000 \text{ 瓦特} \cdot \text{秒} \quad (1.16) \end{aligned}$$

茲以表1.1摘列能量單位之轉換表。

被 乘 以 數 得	電子伏特 (Electron volts)	耳格 (Erg)	Joules (Watt- sec 或 newton- meters)	Foot- poun- ds (ft- lb)	Gram- calor- ies (g- cal)	英制熱 單位 (Btu)	Kilo- watt- hours (kw-hr)
Electron Volts	1	6.25×10^{11}	6.25×10^{18}	8.475×10^{18}	26.16×10^{18}	6594×10^{18}	2.25×10^{25}
Ergs	16×10^{-12}	1	10^7	1.356×10^7	4.186×10^7	1055×10^7	3.6×10^{13}

Joules	1.6×10^{-19}	10^{-7}	1	1.356	4.186	1055	3.6×10^6
Foot-pounds	1.18×10^{-19}	7.376×10^{-8}	0.7376	1	3.087	778	2.655×10^6
Gram-calories	3.82×10^{-20}	2.388×10^{-8}	0.2388	0.3239	1	252	8.60×10^5
英制熱單位	1.516×10^{-22}	9.48×10^{-11}	9.48×10^{-4}	1.285×10^{-3}	3.97×10^{-3}	1	3413
Kilo-watt-hours	4.44×10^{-26}	2.778×10^{-14}	2.778×10^{-7}	3.766×10^{-7}	1.163×10^{-6}	2.93×10^{-4}	1

有時認為電流之單位安培 (Amp)，電荷之單位庫侖 (Coul)，電壓之單位伏特 (V)……等等之單位太大或太小，因此往往在此等單位前冠以一字首，以表較大或較小之單位，避免在小數點前或後書寫甚多個零，此等字首如表 1.2 所示。

表 1.2 單位所用之字首

值	字首	符號	中文名稱	值	字首	符號	中文名稱
10^1	deka	da或dk	什	10^{-1}	deci	d	分
10^2	hecto	h	佰	10^{-2}	centi	c	厘
10^3	kilo	K或k	仟	10^{-3}	milli	m	毫
10^4			萬	10^{-4}			絲
10^5			十萬	10^{-5}			忽
10^6	mega	M	百萬	10^{-6}	micro	μ	微
10^8			億	10^{-7}			纖
10^9	giga	G	十億	10^{-8}			沙
10^{12}	tera	T	兆	10^{-9}	nano	n	塵
10^{16}			京	10^{-10}	angstrom	\AA	埃

~10~