

二氧化碳半自動電銲能力本位訓練教材 瞭解基本電學

編號：PFG-PFW0102

編著者：古錦松

審稿者：田振榮、陳燦錫

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

單元 PFG-PFW0102 學習指引

當你學習本單元前，你必須瞭解有關於電的現象，也就是現今一般人都將電敘述為，帶負電荷的電子往帶有正電荷的質子方向移動時所產生的一種現象，換句話說，電就是電荷的流動所產生的現象。假如你能瞭解上述電學基本觀念，請翻到第 2 頁開始學習本單元，假如自認無法瞭勝任，則請按下列之指示進行學習：

- (1)你全部無法瞭解上列之電學基本觀念，請將本教材放回原位後請教你的老師。
- (2)閱讀 基本電學(上) 王乃仁編著 全華圖書出版 P.25。

引言

本學習單元主要在於使你能夠具備基礎電學的基本觀念，養成觀念性的理解，進而能融會貫通，而應用於日常生活上或銲接設備上，並且使你能擁有吸收更多廣泛基礎能力的科技新知識。

定義

電動勢：為電源驅使電荷移動的原動力。

電位差：為電路中任何兩點間電位之差。

電壓：常用來指伏特的數值。

熱功當量：每產生一單位熱量所需要的能量或功的比值。

學習目標

- 一、你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出常用基本電學單位及符號。
- 二、你能夠在不使用參考書籍下，正確地區別基本電學常用單位之定義。
- 三、你能夠在不使用參考書籍下，正確地區別歐姆定律及焦耳定律。
- 四、你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出基本電學重要公式定律及常數。

假如你認為能夠勝任學習目標一.的能力，請翻至第 13 頁做學習評量。

假如你認為能夠勝任學習目標二.的能力，請翻至第 27 頁做學習評量。

假如你認為能夠勝任學習目標三.的能力，請翻至第 35 頁做學習評量。

假如你認為能夠勝任學習目標四.的能力，請翻至第 47 頁做學習評量。

假如你需要更多學習的話，請翻至下一頁。

學習活動

本單元之學習活動為瞭解基本電學，而我們學習與基本電學有關之知識，你可以由下列兩條途徑中選擇其一途徑去學習。

- 一、閱讀本教材之第 5 頁至第 49 頁。
- 二、閱讀基本電學(上) 王乃仁編著 全華圖書出版 P.1-64。

本單元的第一個學習目標：

你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出常用基本電學單位及符號。

一、電的基本認識

在我們平時的生活裏，電是重要且不可或缺的能源，它藉著不同的方式產生熱、光及動力...等，提供舒適的環境供我們使用。例如，

光能：日光燈、水銀燈、霓虹燈、閃光燈及鈉氣燈等照明器具，應用廣泛，克服了黑夜及自然光不足夠的困難，使我們在家裏、工廠、教室、辦公室及隧道裏都能安全舒適的工作與生活。

熱能：電銲手把、電烙鐵、電鍋、電熱水器、電熨斗、暖氣機及烤麵包機等電熱器具，使我們在寒冬裏能獲得溫暖，或方便得到熱飲熱食的食物。

磁能：電鈴、電鎖、消磁器及按摩器等電磁器具，可供大家使用。

聲能：電話、揚聲器、音響、電視、無限通信及有限通信等，滿足我們對聲感的享受。

化學能：電鍍、電刻、電解、乾電池及電池，提供我們在重要工程上及一般實際的使用。

機械能：利用電能產生機械能的動力機器，在日常及工程上應用廣泛，如家庭用器具有電冰箱、洗衣機、電扇、果汁機、除濕機、吸塵器、吹風機、排油煙機...等；在交通工具使用方面有電動火車、電動機車及電動汽車...等；工具使用上有電鑽、電動起子、鐵捲門、自動門等。

由以上不勝枚舉的例子可知，邁入 21 世紀時代，電的拓展到前所未有的新境界，無論通信衛星、太空梭，甚至國際網際網路，使得人們的生活模式及內容，充滿了無比璀璨的遠景，所以簡易的基礎電學，是吸收科技新知的入門，希望你能充份利用它。表 1 為由電源中取得電能而轉換成所需能量各種日常器具。

表 1 各種能量的轉換

元件	能量轉換
電燈	電能→光能
電爐	電能→熱能
喇叭	電能→聲能
麥克風	聲能→電能
電池放電	化學能→電能
電池充電	電能→化學能
發電機	機械能→電能
電動機	電能→機械能

在電的另外一個概念裏，如果一個物質能包含自由電子由一個原子移動到另一個原子裏，其具有良好的導電性，則稱為導體 (Conductor)，多數的金屬材料都具有導電特性。不含有自由電子及不容易自一原子內移去電子之物質稱為絕緣體 (insulator)。然而導電性介於導體與絕緣體之間者稱為半導體 (semiconductors)，材料即不具有良好的導電性，也不具有良好的絕緣性，這些材料卻是目前台灣高科技行業——半導體之主要製造元件。表 2 為導體、半導體、絕緣體之例子，由表中可知金屬大部份為導體，其中以銀的導電性最佳，銅其次，而最佳絕緣體為乾燥空氣。

表 2 導體、半導體、絕緣體之例子

導體	銀、銅、鋁、鎢、鐵、鎳、鉛、濕土、人體等
半導體	鍺、矽...
絕緣體	空氣、石英晶體、玻璃、雲母、橡膠、木材、油等

二、電的性質

凡是具有質量而且佔有空間的都稱為物質，一切物質都是由很多微小的原子所構成，因其體積非常小，除非用電子顯微鏡，否則無法看清其原貌。原子由質子、中子、電子三者所構成，任何物質的原子皆為此三者組織而成的。原子的中心稱為原子核，而原子核內有帶正電荷並且有質量的質子，及沒有電荷只有質量的中子所組成。原子核外圍有帶負電荷之電子依一定軌道繞著原子核運轉，其質量非常小，僅為質子的 $1/1840$ ，如表 3 所示。由表 3 資料可知，質子與電子所帶之電量相等極性卻相反。

表 3 原子之組成

名稱	電量(庫侖)	質量 (克)
質子	$+1.602 \times 10^{-19}$	1.6729×10^{-19}
中子	0	1.6751×10^{-24}
電子	-1.602×10^{-19}	9.107×10^{-28}

在正常狀態下，原子核內的質子與在核外繞行的電子數相等，因為質子與電子間具有吸引力，而繞行原子核會形成離心力，當吸引力與離心力兩力平衡時，便可將軌道上的電子拘束在一定的軌道內運行，使原子在正常狀態下呈現中性或稱為未帶電，如圖 1 所示。



圖 1 原子結構

電子的軌道結構由內往外共有七層，其最外層的電子稱為價電子，此決定了該原子的電性及化學特性。因為最外層軌道上的電子，受原子核之吸引力較弱，易受外界能量如光能、熱能或摩擦等影響，而脫離該原子而成為自由電子，自由漫遊其他原子之間，而這些移動的自由電子便呈現出電流來。若是外層軌道的電子數愈少，表示該原子有愈容易失去電子傾向，也就是一個平衡狀態的原子，若因外力失去一電子後，則失去平衡狀態，即多出帶正電荷的質子，這時候原子就變成為正離子或稱陽離子。反之，若一原子增多一電子後，則變成為負離子或稱陰離子，如圖 2 所示。

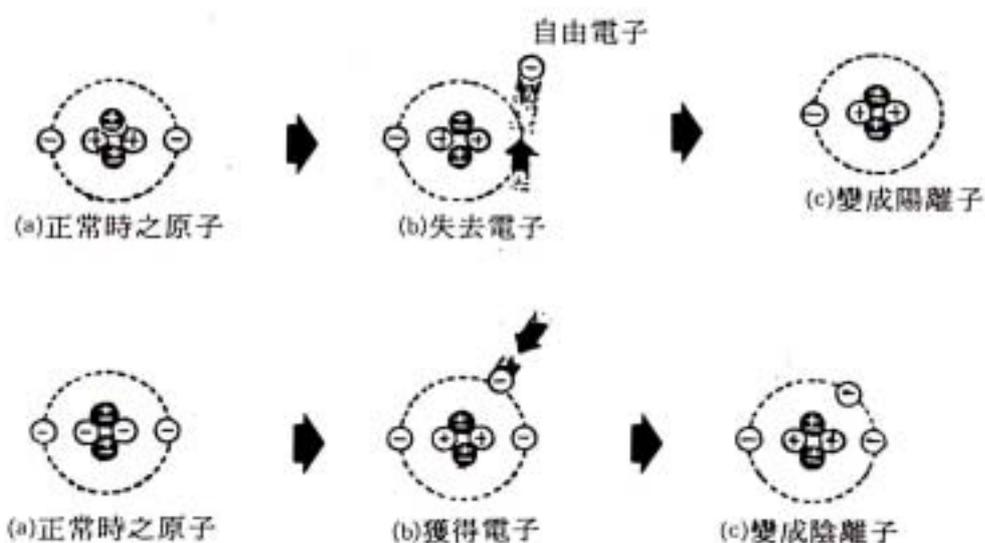


圖 2 陽離子與陰離子 (1)

二、基本電學常用單位與符號

(一) 物理量的單位

在科學及工程上常用的單位可以概分為基本單位和導出單位兩種，其基本單位的簡述如下：

長度：由地球北極至赤道通過巴黎子午線之千萬分之一，定義為 1 公尺。

質量：是一立方公分之蒸餾水，在 4°C 及 760mmHg 之氣壓下的重量，定義為一克。

時間：為一個太陽平均日之 86400 分之一，定義為一秒。

現今各國所統一使用的基本單位系統為 MKS 制 (Meter, Kilogram, second)，本教材亦然，若無特別說明，皆以 MKS 制為主。然而尚有 CGS 制及英制的 FPS 制 (Foot, pound, second)，如表 3 所示。

表 3 常用的基本單位

單位制度		長 度	質 量	時 間
公 制	M. K. S 制	公尺 (m)	公斤 (kg)	秒 (s)
	C. G. S 制	公分 (cm)	克 (g)	秒 (s)
英制	E. P. S 制	呎 (ft)	磅 (Lb)	秒 (s)

註：1m=100cm=3.3ft，1kg=1000g=2.2Lb

至於導出單位為上述三種基本單位所導出的單位，例如面積的單位為平方公尺，體積的單位為立方公分，密度的單位為克/立方公分，速度的單位為公尺/秒。表 4 為 M. K. S. 與 C. G. S. 的基本單位及其導出單位。除上述三種基本單位長度、質量、時間屬於物理學之力學外，在物理學中之其他科學基本單位，如電學之基本單位—安培，光學基本單位—燭光，熱學之基本單位—愷氏等。

表4 M. K. S. 與 C. G. S. 制及其導出單位

名稱	M. K. S. 制	簡寫符號	C. G. S. 制	簡寫符號
長度	公尺	m	公分	cm
質量	公斤	Kg	克	g
時間	秒	sec	秒	Sec
面積	平方公尺	m ²	平方公分	cm ²
體積	立方公尺	m ³	立方公分	Cm ³
速度	公尺/秒	m/sec	公分/秒	cm/sec
密度	公斤/立方公尺	kg/m ³	克/立方公分	g/cm ³

(二) 常用單位與符號

基本電學上的單位，都是以物理現象發明者來命名，而常用之基本電學單位與符號如表5所示。然而在工程上的應用，有些單位以 M. K. S. 制表示時，忽大忽小，為了適用關係，常在原有單位前加一字母來表示不同的量，其符號全名及縮寫如表6所示。

表 5 基本電學單位名稱及符號

電量名稱	電量符號	單位名稱(M. K. S.)	單位符號
電流 (Current)	I	安培 (Ampere)	A
電壓、電動勢 (electromotive force)	V, E	伏特 (Volt)	V
電荷 (electric charge)	Q	庫侖 (Coulomb)	C
電能 (electric energy)	W	焦耳 (joule)	J
電阻 (resistance)	R	歐姆 (ohm)	Ω
電導 (conductance)	G	姆歐 (mho)	υ
電感 (inductance)	L	亨利 (henry)	H
電功率 (power)	P	瓦特 (Watt)	W
磁通 (magnetic flux)	ϕ	韋伯 (Weber)	Wb
磁通密度 (magnetic flux density)	B	韋伯/米 ² (Weber/m ²)	Wb/m ²
頻率 (frequency)	f	赫芝 (hertz)	Hz
電容 (capacitance)	C	法拉 (farad)	F

表 6 電學單位常用的字首

符號全名	縮寫	+ 的乘冪
兆 (Tera)	T	10^{12}
十億 (Giga)	G	10^9
百萬 (Mega)	M	10^6
仟 (Kilo)	K	10^3
厘 (Centi)	C	10^{-2}
毫 (milli)	m	10^{-3}
微 (micro)	μ	10^{-6}
毫微 (nano)	n	10^{-9}
微微 (pico)	p	10^{-12}

例：1. $3\text{KV}=3\times 10^3\text{V}=3000\text{V}$ 。

2. $6\text{M}\Omega=6\times 10^6=6000000$ 。

3. $5\text{mA}=5\times 10^{-3}\text{A}=0.005\text{A}$ 。

學習評量一：

請不要參考資料或書籍下，把正確的答案寫在下列各空格內。

一、在下列材料中：橡膠、銅、空氣、矽、鋁、鍺、銀、玻璃

1. 何者為導體：_____。

2. 何者為半導體：_____。

3. 何者為絕緣體：_____。

二、任何物質的原子皆由 _____、 _____、 _____ 三者所構成。

三、原子中容易脫離的電子稱為 _____。

四、M. K. S. 制三個基本單位為 _____、 _____、 _____。

五、電流的單位名稱為 _____，單位符號為 _____。

六、電壓的單位名稱為 _____，單位符號為 _____。

學習評量一答案：

一、1. 銀、銅、鋁。

2. 矽、鍺。

3. 空氣、橡膠、玻璃。

二、質子、中子、電子。

三、自由電子。

四、長度 (公尺)、質量 (公斤)、時間 (秒)。

五、安培，A。

六、伏特，V。

假如你的答案與上述之重點相符，請翻到第 15 頁，假如你的答案不與上述之重點相符，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 6 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 13 頁上的錯誤改正，然後翻至下一頁。

本單元的第二個學習目標是：

你能夠在不使用參考書籍下，正確地區別基本電學常用單位之定義。

一、電流

(一) 電流的定義

在第一個學習的單元裏曾經提過，一切物質是由原子所構成。若正常狀態下原子本身是不會呈帶電狀態，但在外層軌道上的電子因受到光、熱或其他能量的作用，使得價電子脫離軌道而變作自由電子，此時，若外加一適當能量，使自由電子如同水在水管中依照方向流動，此自由電子為負電荷，在導體內部移動而形成電，所以電荷的移動即為電流。電流定義為在單位時間內，通過一截面之電荷量。根據上述定義，所謂一安培的電流表示在一秒內有一庫侖的電荷量流到某一截面積之導體。電流通常以 I 來表示，其單位為安培(A)，若以公式來表示即為：

$$I(\text{安培}) = \frac{Q(\text{庫侖})}{t(\text{秒})}$$

例 1：某線圈，其每分鐘有 2.4 庫侖的電量通過，則流經線圈的電量為多少？

$$\text{解：} 1 \text{ 分} = 60 \text{ 秒，所以 } I = \frac{Q}{t} = \frac{2.4}{60} = 0.04(\text{A}) = 40\text{mA}$$

電流通過任一截面積的導體，其傳導的電量會與電流之大小成正比，且時間愈長，所傳導的電量也會因此而愈多，亦即

$$Q(\text{庫侖}) = I(\text{安培}) \cdot t(\text{秒})$$

例 2：有一蓄電池以 5A 的電流充電 2 小時，則電池內部增加多少電量？

$$\text{解：} 2 \text{ 小時} = 2 \times 60 \times 60 = 7200 \text{ 秒，}$$

$$\text{所以 } Q = I \cdot t = 5 \times 7200 = 36000(\text{C}) = 36 \times 10^3(\text{C})$$

(二) 電流的產生方式

1. 光 能：將光束照射在感光靈敏的物質上(如鎘、矽、鎢或抽真空時用的石英管)，就容易導電及產生電荷，促使自由電子移動而產生電流。
2. 熱 能：將兩種不同金屬就其接合處加熱，便可產生熱電流，此種方式結合稱為熱電偶。
3. 磁 能：利用動能促使導體在磁場中運動可產生電流。
4. 機械能：加壓力在於某些晶體物質上，就可產生電流，反之可將電能轉換為機械能(壓力)。
5. 化學能：如蓄電池或乾電池的化學作用可使電子移動而產生電流。

(三) 電流的種類

電流主要分為直流與交流兩大類。若再細談尚包括脈動電流及脈衝電流，其簡述如下：

1. 直流 (Direct Current, 簡稱 D. C)：在任何時間內，其電流量與方向是固定而不隨時間改變。圖 1(a)所示，例如蓄電池、乾電池、整流器及直流發電機。
2. 交流 (Alternating Current, 簡稱 A. C)：電流量之大小與方向隨著時間作規則週期性改變。圖 1(b)所示，例如電力公司送至我們家中的電、交流發電機及電子儀器。
3. 脈動電流：屬於直流，其電流量有週期性之變化，但方向不變，如圖 1(c)所示。
4. 脈衝電流：波動高平均值小，主要為電流的停留時間短促，有週期性的變化且方向不變的一種直流電，適合做控制的信號，如圖 1(d)所示。

二、電壓

(一) 電壓的定義

當原子受到外力的作用後而形成帶電體 (不論是正電荷或負電荷), 表示已儲存著能量, 這種能量可使電荷移動, 我們稱為電動勢 (Electromotive force), 通常稱之為電壓, 其以 E 來做表示, 單位為伏特 (V)。電壓的定義為, 1 庫侖的電荷由電路的一點 (a) 移到另一點 (b) 時, 所得到或釋出的能量為 1 焦耳時, 這兩點之間的電位差為 1 伏特, 所以就說這兩點之間具有 1 伏特的電壓, 公式表示如下:

$$E = V_{ab} = V_a - V_b = \frac{W(\text{焦耳})}{Q(\text{庫侖})}$$

例 1: 假設有 6 庫侖的電荷由 a 點移至 b 點時, 須做功為 300 焦耳, 則 a, b 之間電位差為多少?

$$\text{解: } V_{ab} = \frac{W}{Q} = \frac{300}{6} = 50(\text{V})$$

(二) 電壓與電流的關係

其實電壓是相對的, 它只是用來比較兩電荷之電位差, 就如同台電送至家中的 110V 電源, 一條接地處理 (地線), 另一為火線, 而地線火線二線之間的電位差為 110V。若觸摸到地線並不會使我們有觸電的感覺, 原因為地線與人體乃是屬同位, 也就是電位差為零。反之觸摸到火線時, 會遭到觸電, 因火線與人體之間有 110V 的電位差。

電壓是促使電子流動, 更是產生電流的原動力, 就如以前小時候做實驗, 水的流動需要水壓的道理, 如圖 2 所示, 水位 V_a 高於 V_b , 當閘門打開時, 原為水位差 (水壓) 的關係, 使得水由 A 槽流到 B 槽, 經過一消一升, 變為兩者的水位一樣高, 亦即 $V_a = V_b$, 則此時水位差已為零 ($V_{ab} = V_a - V_b$), 同理, 將高電位電流流向低電位電流, 直至電荷相等, 並無電位差時 (電壓為 0), 則電流就停止。

電壓是電動勢、電位、電位差、端電壓及電壓降之通稱, 其單位皆為伏特 (V)。

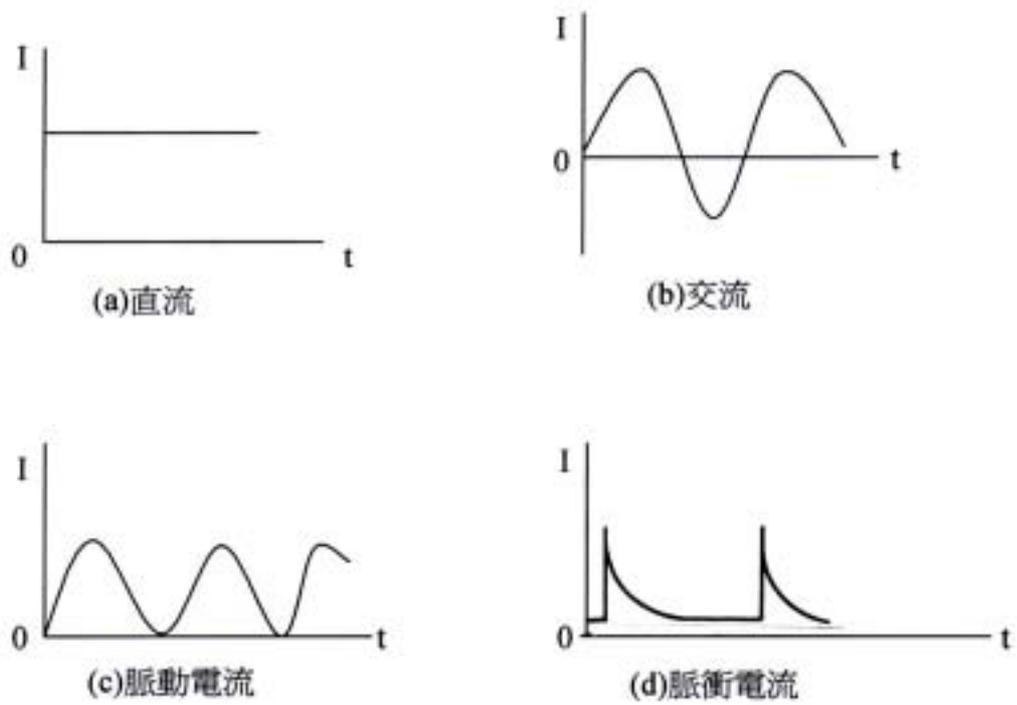


圖 1 電流的種類

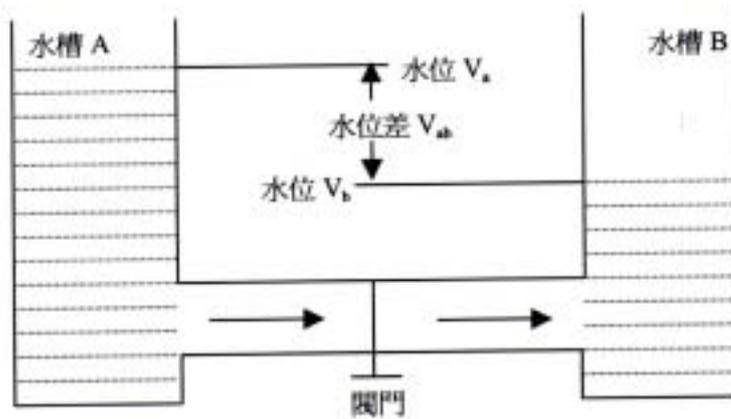


圖 2 水位與水位差

三、電荷

(一) 電荷特性

電荷是最基本的電量。從第一單元學習電的性質中可知，在物質之原子中，質子是帶正電荷，而電子是帶負電荷的。質子與中子所帶的電量相等，但極性卻相反，而帶電的電荷具有下列的特性：

1. 異性電荷互相吸引，同性電荷互相排斥。
2. 帶正電荷者為因失去電子的緣故，帶負電荷者為因獲得電子的緣故，至於呈中性者，係因正電荷及負電荷之數量相等，並不是沒有電荷。
3. 自由電子之移動速度很慢。

(三) 庫侖定律

異性電荷互相吸引，同性電荷互相排斥，其作用力有多大呢？科學家庫侖於 1785 年起作了一連串實驗，從實驗中發現了兩電荷之間作用力大小與兩電荷之電量的乘積成正比，但與兩電荷之間的距離平方成反比。這種關係為庫侖定律，其公式表示如下。另外各符號所代表之單位及意義如表 1 所示。

$$F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

表 1 庫侖定律中各符號所代表之單位及意義

符號名稱 單位制度	F (作用力)	K (常數)	Q (電量)	d (距離)
M. K. S.	牛頓 (nt)	9×10^9	庫侖 (C)	公尺 (m)
C. G. S.	達因 (dyne)	1	靜庫 (SC)	公分 (cm)

註：(1) 1 牛頓 = 10^5 達因

(2) 1 庫侖 = 3×10^9 靜庫

(3) F 正號時表示斥力，F 負號時表示吸力

四、電能與電功率

(一) 電能與電功率的定義

在電路中若兩點間之電位差為 E 伏特，則 Q 庫倫的電荷量從一點移動到另外一點時，所消耗的或所作功的電能為 W 焦耳。這為電能的定義，通常以 W 來表示，其單位為焦耳 (J)，以公式表示則為：

$$W(\text{焦耳}) = Q(\text{庫倫}) \cdot E(\text{伏特})$$

依電流公式裏的換算可得知 $Q = I \cdot t$ ，而在上述 $W = Q \cdot E$ 的公式中， Q 可以用 $I \cdot t$ 代替，所以 $W(\text{焦耳}) = I(\text{安培}) \cdot t(\text{秒}) \cdot E(\text{伏特})$ ，亦是電能為電流，時間與電壓的乘積。

至於電功率的定義為，在單位的時間內所作的功或所消耗掉的電能，通常以 P 來表示，其單位為瓦特 (W)，以公式表示則為：

$$P(\text{瓦特}) = \frac{W(\text{焦耳})}{t(\text{秒})} = \frac{I \cdot t \cdot E}{t} = I \cdot E$$

1 瓦特的電功率就有每秒所作功率為 1 焦耳，也可說 1 伏特的電位差流過 1 安培的電容就可產生 1 瓦特的電功率。

例 1：若有一電熱器使用 110V 的電壓後，測其電流為 20A，請問電熱器的電功率為多少？

解：已知 $E=110\text{V}$ ， $I=20\text{A}$ ，

由公式得 $P = I \cdot E = 20 \times 110 = 2200(\text{W}) = 2.2(\text{kw})$

(二) 家庭用電量的計算

一般家用電器都有額定電壓 (如 110V 及 220V), 同時也有輸出功率, 這些我們統稱為額定容量, 通常以瓦特數表示, 倘若將所謂的額定容量乘以所使用的時間, 就表示該電器所用的電量, 若以公式來表示即為:

$$W (\text{焦耳}) = P (\text{瓦特}) \cdot t (\text{秒})$$

目前電力公司的計費標準是以仟瓦-小時來收費, 俗稱 1 度電。而我們一般所稱電能的實用單位為焦耳或瓦特-秒, 其換算如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 度電} &= 1 \text{ 仟瓦} \cdot 1 \text{ 小時} (1\text{KWH}) \\ &= 1000 (\text{W}) \cdot 3600 (\text{s}) \\ &= 3.6 \times 10^6 (\text{J}) \end{aligned}$$

例 1: 高雄某用戶, 其家中有電視機耗電 200W, 電冰箱耗電 300W, 冷氣機耗電 500W, 洗衣機耗電 200W, 若每日使用 3 小時, 而電費每度為 5 元, 則每個月 (30 天) 需付多少電費?

解: $P=200+300+500+200=1200\text{W}=1.2\text{KW}$

$$t = 3 \text{ 小時}$$

$$W=P \cdot t = 1.2 \times 3 = 3.6 (\text{KW-H})$$

故需付電費為: $3.6 \times 5 \times 30 = 540 \text{ 元}$

五、電阻

(一) 電阻的定義

電流、電壓、電能及電功率等，都是最重要的電之數量，而電阻可用來限制電流量，也可用來調整電壓，所以電阻也不可忽視。一般電子在導體中流動時，會與其他電子或振動中之原子核發生相碰撞，形成電子流動時的阻力，這種阻力，通常稱為電阻，其以 R 來表示，單位為歐姆 (Ω)。

電路中電流的大小，不僅與電路上之電壓有關，更因電路中電阻大小而定。導體中的電阻就如一般水管管路上之水流動時的阻力，水管管徑愈大長度愈短時，其水流動阻力會愈小，反之，當水管管徑愈小長度愈長時，則水流動阻力就愈大。同樣的理論，導體的電阻與導體長度成正比，但與截面積卻成反比，以公式表示則為：

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

R = 物體之電阻，單位為歐姆 (Ω)

L = 物體長度 (沿電流方向)，單位為公尺 (m)

A = 物體截面積 (與電流方向垂直)，單位為平方公尺 (m^2)

ρ = 材料之電阻係數 (讀作 rho)，單位為歐姆—公尺 ($\Omega \cdot m$)

在上述的電阻係數是用來表示各種不同材料的導電特性，凡電阻係數較大者，表示此材料為不良導體，也就是絕緣體，反之，當電阻係數愈小時，表示此材料為導體，其導電性會因電阻係數愈小愈佳。常用材料在 20°C 時的電阻係數，如表 2 所示。

例 1：有一鐵棒，長度為 2.0 公尺，截面積為 2×2 平方公分，試問在 20°C 時之電阻值為多少？

解：由表 2 得知鐵的電阻係數為 9.0×10^{-8}

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} = 9.0 \times 10^{-8} \times \frac{2.0}{2 \times 2 \times 10^{-4}} = 9.0 \times 10^{-8} \times 0.5 \times 10^{-4} = 4.5 \times 10^{-4} (\Omega)$$

表2 常用材料在 20°C 時之電阻係數

材料名稱	電阻係數 (ρ) (歐姆 - 公尺)
銀	1.6×10^{-8}
銅	1.7×10^{-8}
金	2.4×10^{-8}
鋁	2.8×10^{-8}
鎂	4.6×10^{-8}
鋅	6.0×10^{-8}
鎳	7.8×10^{-8}
鐵	9.0×10^{-8}
鈷	9.7×10^{-8}
鉑	10.0×10^{-8}
錫	11.5×10^{-8}
鍺	4.5×10^{-1}
矽	2.0×10^3
玻璃	1.0×10^{14}
琥珀	5.0×10^{14}
雲母	1.0×10^{15}
石英	7.0×10^{17}

(二) 電阻的種類

1. 各種物質的電阻：各種材料均有大小不同之電阻值，因電阻不同可區分為導體、絕緣體及半導體等。
2. 絕緣電阻：主要阻止漏電流通過，電阻值愈大愈好，但絕緣電阻會因塵埃、水滴、表面附著之有機物、材質劣化等阻止能力減弱。
3. 接地電阻：將銅棒或銅板埋入大地內（接地），若加上電壓後其電流會往大地內流動，這也意謂地球是一個大導體，大地間與銅棒或銅板的電阻就稱為接地電阻。
4. 接觸電阻：電路之開關若刀片及夾片無法完全密合時，其操作過後會有接觸電阻存在，若接觸電阻愈大時，電流通不易，接觸部份比較容易發熱而引起故障。
5. 電解液電阻：在一容器中注入蒸餾水，電極導板接上直流電源時，幾乎沒有電流流過。若在蒸餾水中加入少許的食鹽，就有電流；其原因食鹽濃度愈高電流量就愈大，而溶液中之食鹽 (NaCl) 會因電解而分解成鈉離 (Na^+) 及氯離子 (Cl^-)，食鹽能分解成離子稱為電解質，則此狀態之溶液稱為電解液。

五、電導

(一) 電導的定義

電導為電阻的倒數，係指電路或導體具有容許電流傳導之能力，其值愈大，表示電流愈容易通過，通常以 G 來做表示，單位為姆歐（ Ω^{-1} ），公式表示如下：

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{A}{L} = r \cdot \frac{A}{L}$$

$$\text{即 } r = G \cdot \frac{L}{A}$$

G = 電導，單位為姆歐，以 Ω^{-1} 表示。

$$r = \frac{1}{\rho} \quad \text{電導係數（讀作 Gamma），單位為姆歐/公尺。}$$

為便於實際上記錄及比較，常採用百分率電導係數（簡稱電導率）來表示導電性的好壞。其電導率是以國際標準軟銅之電導係數為 100%，而其他材料電導係數與銅之比值，就為該材料之導電率，如表 3 所示。

表 3 各種材料之導電率

材料	百分率電導係數
銀	105%
銅	100%
金	71.6%
鋁	61%
矽銅	45%
鎢	32%
鐵	17.2%
鉑	16.4%
錫	15.1%
鋼	8.4%
水銀	1.8%
鎳鉻合金	1.6%
碳	0.04%

學習評量二：

你能夠在不翻閱參考資料或書籍的情況下，把正確的答案寫在下列各空格內。

1. 一秒鐘通過一庫侖電荷為 _____ 安培。
2. 單位時間內，流過一截面之電荷量稱為 _____。
3. 電流主要分為 _____ 與 _____ 兩大類。
4. _____ 是電動勢、電位、電位差、端電壓及電壓降之通稱，其單位皆為伏特。
5. 物質之原子，質子是帶 _____ 電荷，電子是帶 _____ 電荷。
6. 兩電荷間之作用力大小與電量之乘積成 _____ 比，與距離之平方成 _____ 比。
7. 電能為電流、_____ 與電壓的乘積。
8. 1KWH 代表意義為 _____。
9. 電阻之單位為 _____，其倒數為 _____，單位為 _____。
10. 導體的電阻與長度成 _____ 比，與截面積成 _____ 比。

學習評量二答案：

1. 1 安培。
2. 電流。
3. 直流 (D. C) , 交流 (A. C)。
4. 電壓。
5. 正電荷, 負電荷。
6. 正比, 反比。
7. 時間。
8. 一度電。
9. 歐姆, 電導, 姆歐。
10. 正比, 反比。

假如你的答案與上述之重點相符, 請翻至第 29 頁, 假如你的答案不與上述之重點相符, 則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍, 或請翻至第 16 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處, 並將第 27 頁上的錯誤改正, 然後翻至下一頁。

本單元的第三個學習目標是：

你能夠在不使用參考書籍下，正確地區別歐姆定律及焦耳定律。

一、歐姆定律

歐姆定律是電學中最基本的定律，為德國物理學家歐姆在西元 1827 年所發表的重要定律，其內容為“在固定電壓下，電阻愈高時，則電流愈小。反之電阻愈小時，則電流愈大”。若電流以 I 表示，電壓以 V 表示（或電動勢以 E 表示），電阻以 R 表，其歐姆定律之公式表示為：

$$I = \frac{V}{R}$$

1. 因此歐姆定律一般可寫成以下三種表示方法：

$$V = IR, \quad I = \frac{V}{R}, \quad R = \frac{V}{I}$$

2. 歐姆定律與電功率之關係式可以改寫成為：

已知電功率可根據電壓及電流，求得為 $P = VI$

$$\text{則 } P = V \cdot I = (IR) \cdot I = I^2 R$$

$$\text{或 } P = V \cdot I = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$$

因此可根據電流與電阻或電壓與電阻兩者來求得電路之電功率。

歐姆定律可應用於完整之電路，也可應用於電路中的任何一般元件上，如圖 1 為一個完整電路，其中可利用公式 $I = \frac{V}{R}$ 。如圖 2 為電路中之一小段元件，其中可利用公式 $V = IR$ 。

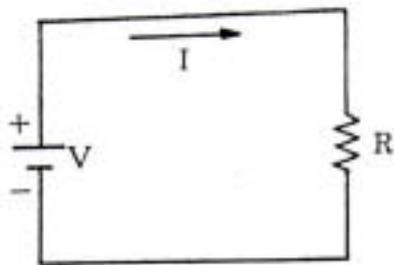


圖 1 完整電路圖

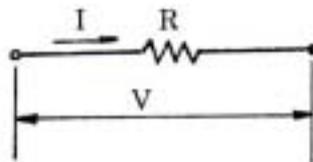
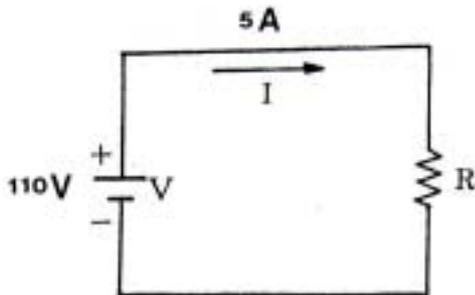


圖 2 電路中任一段元件圖

例 1：有一 20 的電阻器，跨接於 220V 的電源時，試求流過該電器之電流為多少？

解：依公式 $I = \frac{V}{R}$ ，得知 $I = \frac{220}{20} = 11(A)$

例 2：如下列電路圖所示電阻器 R 應為多少歐姆？



解：依公式 $R = \frac{V}{I} = \frac{110}{5} = 22$ 歐姆

例 3：某一電阻器的電阻為 $5K\Omega$ ，流過的電流為 $15mA$ ，則該電阻器兩端之電壓為多少？

解：已知

$$R = 5K\Omega = 5 \times 10^3 \Omega, \quad I = 15mA = 15 \times 10^{-3} A$$

$$\text{依公式 } V=IR \text{ 得知 } V = 15 \times 10^{-3} \cdot 5 \times 10^3 = 75V$$

二、焦耳定律

當電流通過電阻（例如電鍋之電熱體）時，由於電子的碰撞結果，將電能轉變為熱能，也就是電流流過導體和電阻時，便產生了熱，而在電阻較小的導體中其發熱量較小，所以散熱容易，且不易被察覺。電阻中所消耗的電能都轉為熱量而飄散於空中，提供特定用途之用，此轉換現象稱為電流的熱效應。在西元 1841 年由義大利的物理學家焦耳，將電流通過導體時所產生的熱量，經過實驗證明後，發現熱量(H)與電流(I)之平方成正比，及導體之電阻(R)及電流所通過的時間 (t) 三者之乘積都成正比，此謂焦耳定律，若以公式表示則為：

$$H = I^2 \cdot R \cdot t$$

常用熱的單位分為兩種：一為公制熱量單位稱為克卡，簡稱為卡，另一種為英制熱量單位，概略介紹如下：

(一) 公制熱單位(C. G. S unit)

為 1 克的水，由溫度 14.5°C 升至 15.5°C 所需要的熱量，也就是表示使 1 克的水升高 1°C 所需要之熱量為 1 卡路里 (Calorie, 簡寫為 Cal 或稱卡)，而熱功當量即焦耳的關係為：

$$1 \text{ 焦耳(J)} = 0.24 \text{ 卡(Cal)} \quad \text{或} \quad 1 \text{ 卡(Cal)} = 4.186 \text{ 焦耳(J)}$$

1. 在焦耳定律之關係式中可以改寫成：

$$H = 0.24I^2 \cdot R \cdot t \quad (\text{Cal})$$

H：熱量；I：電流；R：電阻；t：時間(秒)

2. 若再加入歐姆定律 ($I = \frac{V}{R}$)，則可表示為

$$\begin{aligned} H &= 0.24I^2 \cdot R \cdot t \\ &= 0.24I \cdot V \cdot t \\ &= 0.24 \cdot \frac{V^2}{R} \cdot t \end{aligned}$$

例 1：家庭用電鍋之電熱絲，其電阻為 20Ω，將電鍋接在 110V 之電源上 20 分鐘，則該電鍋將產生多少熱量？

解：依公式 $H = 0.24 \cdot \frac{V^2}{R} \cdot t$

$$\text{得知 } H = 0.24 \times \frac{110^2}{20} \times (20 \times 60 \text{秒})$$

$$= 0.24 \times 605 \times 1200$$

$$= 174240 \text{ (Cal)}$$

例 2：某家電用品之電阻為 6Ω ，當通以 $8A$ 之電流 3 分鐘時，可產生多少熱量？

解：依公式 $H = 0.24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$

$$= 0.24 \times 8^2 \times 6 \times (3 \cdot 60 \text{秒})$$

$$= 0.24 \times 64 \times 6 \times 180$$

$$= 16588.8 \text{ (Cal)}$$

(二) 英制熱單位 (British Thermal Unit, 簡寫為 B. T. U)

1 磅 (1b) 的水由溫度 63°F 升至 64°F 所需的熱量，也就是表示使 1 磅的水升高 1°F 所需要之熱量為 1 B. T. U。

$$1 \text{ B. T. U} = 1(1\text{b}) \cdot 1^\circ\text{F}$$

$$= 453.6\text{g} \times \frac{5}{9} \text{C} = 453.6\text{g} \times 5/9^\circ\text{C}$$

$$= 252 \text{ (Cal)}$$

$$= 1055 \text{ (J)}$$

英制功的單位為呎-磅 (ft-1b)， $1\text{ft-1b} \equiv 1.355\text{J}$ ，

所以 $1 \text{ BTU} = 1055/1.355 = 778 \cdot \text{ft-1b}$ ，

故英制的熱功當量值為 778 呎-磅/BTU。

由於電流通過導線時，會產生所謂電流熱效應的熱量出來，使得導線溫上升，藉熱傳導、輻射及對流等作用向周遭散熱，直到周遭的溫度與導線的溫度相等時，散熱就停止。此刻電流若增大，導致導線之熱量隨著增加，倘若四周散熱條件沒有改善，會使產生出來的熱量無法散開，如此，溫度上升至某一程度時，導線的絕緣材料會劣化，嚴重時會燒毀進而失去絕緣性能，因而造成火災的發生，所以導線所能通過的電流值，須有配套的防範條件，以其絕緣材料及周遭因素將它限定在一定範圍內，此時可送的最大電流，就稱為安全電流。至於電熱較其他熱源方式有下列優點，如效率高、使用方便、無污染、無爆炸、可獲得極高溫度、溫度調節容易、安全衛生及品質管制容易、應用廣泛及無需氧氣助燃、在真空中亦可加熱...等。

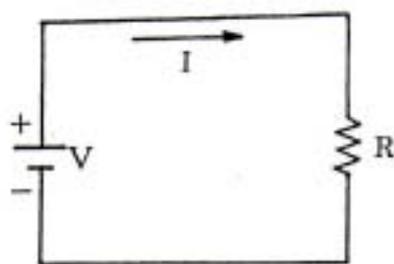
學習評量三：

請不要參考資料或翻閱書籍的情況下，把正確的答案寫在下列各空格內。

一、使 1 克的水升高 1°C 所需之熱量為 _____。

二、使 1 磅的水升高 1°F 所需之熱量為 _____。

三、請利用歐姆定律完作下列表格。



電壓	電流	電阻	電功率
12V	2A		24W
100V		10Ω	
	1mA	$15\text{K}\Omega$	0.015W
60V	50mA		
	10mA		1W

學習評量三答案：

一、1 卡。

二、1B. T. U。

三、利用電功率 $P=VI$ 公式及歐姆定律運用 $P=I^2R$ 公式，結果如下：

電壓	電流	電阻	電功率
12V	2A	6Ω	24W
100V	10A	10Ω	1000W
15V	1mA	15KΩ	0.015W
60V	50mA	1.2KΩ	3W
100V	10mA	10KΩ	1W

假如你的答案與上述之重點相符，請翻至第 37 頁，假如你的答案不與上述之重點相符，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 30 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 35 頁上的錯誤改正，然後翻至下一頁。

本單元的第四個學習目標是：

你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出基本電學重要公式定律及常數。

在前面單元學習裡，只介紹電之基本概念及電阻方面，尚有許多重要基本公式、常數及定理未介紹，再此以如下之表格化做精簡介紹。表 1 串聯電路，表 2 並聯電路，表 3 電容與靜電，表 4 電感與電磁效應，表 5 網路分析，表 6 基本交流電路等。

表 1 串聯電路 (1)

說 明	公 式	單 位
1. 電阻器串聯	(1) 總電阻 $R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_N$ (2) 線路電流 $I = \frac{E}{R_T}$ (3) 各元件端電壓 $V_1 = IR_1$ $V_2 = IR_2$ \vdots $V_N = IR_N$	R : 歐姆 I : 安培 V : 伏特
2. 分壓定理: R_1 與 R_2 串聯加以總電壓，則 R_1 、 R_2 所分配之電壓為 V_1 與 V_2 。	$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot E$ $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$	R : Ω V : 伏特 E : 伏特
3. 克希荷夫電壓定律 (KVL): 在一迴路中，電壓昇之和 (V_μ) 等於電壓降之和 (V_D)	$V_\mu = V_D$	V : 伏特

表 2 並聯電路(1)

說 明	公 式	單 位
1. 電阻器並聯	(1) 總電阻 $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$ (2) 各元件電流 $I_1 = \frac{E}{R_1}$ $I_2 = \frac{E}{R_2}$ $I_N = \frac{E}{R_N}$ (3) 總電流 $I_T = \frac{E}{R_T}$ $= I_1 + I_2 + \dots + I_N$	R：歐姆 I：安培 V：伏特
2. 兩個相等電阻器 R 並聯之等效電阻 R_T	$R_T = \frac{R}{2}$	R：歐姆
3. N 個相等電阻器 R 並聯之等效電阻 R_T	$R_T = \frac{R}{N}$	
4. 兩個不同電阻器 R_1 、 R_2 並聯	$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	
5. 分流定理： R_1 與 R_2 並聯，通以總電流 I，則各載有 I_1 及 I_2 之電流	$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I$ $I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$	R：Ω I：A
6. 克希荷夫電流定律 (KCL)：在一節點中，流入該節點之電壓流 I_i ，等於流出該節點之電流 I_o 。	$I_i + I_o$	I：安培

表3 電容與靜電(1)

說明	公式	單位
1. 電容與電荷的關係 Q：電荷量 C：電容量 V：電壓	$Q = CV$	Q：庫侖 C：法拉 V：伏特
2. 平行電容的大小 A：面積 ϵ ：介質係數 ϵ_r ：相對介質係數 ϵ_0 ：空氣介質係數 d：板間距離	$C = \epsilon \frac{A}{d} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$ $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9}$	C：法拉 A： m^2 d：m ϵ ：法拉/公尺 ϵ_0 ：法拉/公尺
3. 電容器所儲存的能量	$W = \frac{1}{2} QV$ $= \frac{1}{2} CV^2$ $= \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C}$	W：焦耳 Q：庫侖 V：伏特 C：法拉
4. 電容器串聯	(1) $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$ (2) $Q_T = C_T E$ (3) $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_T$ (4) $V_1 = \frac{Q_T}{C_1}$ $V_2 = \frac{Q_T}{C_2}$ $V_N = \frac{Q_T}{C_N}$ $E = V_1 + V_2 + \dots + V_N$	
5. 兩電容器串聯	$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$	
6. 電容器並聯	(1) $C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_N$ (2) $Q_T = C_T E$ $= Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$ (3) $E = V_1 = V_2 = \dots = V_N$ (4) $Q_1 = C_1 E$, $Q_2 = C_2 E$ $Q_N = C_N E$	

說 明	公 式	單 位
7. 電場強度	$E = \frac{F}{Q}$	(1)MKS 制 F：牛頓 Q：庫侖 E：牛頓 / 庫侖 (2) CGS 制 F：達因 Q：靜庫 E：達因 / 靜庫
8. 帶電荷外的電場強度	$E = \frac{Q}{4\pi \epsilon_r r^2}$ $= \frac{Q}{4\pi \epsilon_r \epsilon_0 r^2}$ 在空氣中 $E = 9 \times 10^9 \frac{Q}{r^2}$	Q：庫侖 r：公尺 E：牛頓 / 庫侖 ϵ ：法拉 / 公尺
9. 電位	$V = \frac{W}{Q}$	V：伏特 W：焦耳 Q：庫侖
10. 帶電荷外的電位	$V = \frac{Q}{4\pi \epsilon r}$ $= \frac{Q}{4\pi \epsilon_r \epsilon_0 r}$ 在空氣中 $V = 9 \times 10^9 \frac{Q}{r}$	Q：庫侖 r：公尺 V：伏特 ϵ_0 ：法拉 / 公尺

表 4 電感與電磁效應 (1)

說 明	公 式	單 位
1. 導磁係數 μ : 導磁係數 μ_r : 相對導磁係數 μ_0 : 空氣導磁係數	$\mu = \mu_r \mu_0$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$	μ : Wb / A-m μ_0 : Wb / A-m
2. 法拉第感應定律 e : 感應電勢 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$: 磁通變化率	$e = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$	e : 伏特 ϕ ; 韋伯
3. 楞次定律	$e = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$	
4. 自感量 L : 自感量 N : 匝數 ϕ : 磁通	$L = \frac{N\phi}{I}$ $= \frac{N^2 \mu A}{L}$	L : 亨利 ϕ : 韋伯 I : 安培
5. 互感量 M : 互感量 K : 耦合係數	$M = \frac{N_B \phi_{AB}}{I_A}$ $= \frac{N_A \phi_{BA}}{I_B}$ $= K \sqrt{L_A L_B}$	M : 亨利
6. 電感器所儲存的能量	$W = \frac{1}{2} LI^2$	W : 焦耳 L : 亨利 I : 安培
7. 無互感電感器串聯	$L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_N$	
8. 無互感電感器並聯	$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N}$	
9. 串聯互助	$L_T = L_1 + L_2 + 2M$	
10. 串聯互消	$L_T = L_1 + L_2 - 2M$	
11. 導體在磁場中運動之感應電勢 e : 感應電勢 ℓ : 有效長度 B : 磁通密度 v : 運動速度 θ : 運動方向與磁場之夾角	$e = B\ell v \sin \theta$	E : 伏特 B : Wb / m ² ℓ : 公尺 v : 公尺/秒
12. 通用以電流之導體在磁場中的作用力	$F = BIl \sin \theta$	

表 5 網路分析(1)

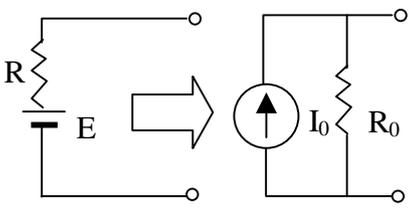
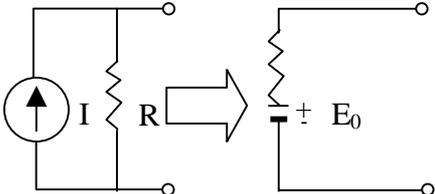
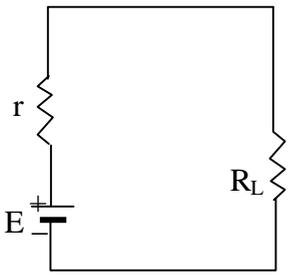
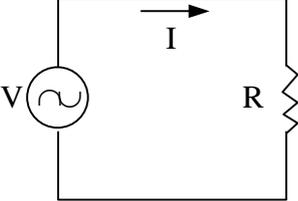
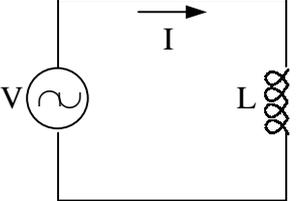
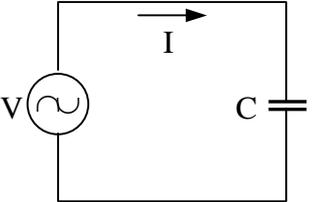
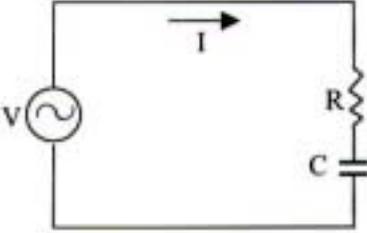
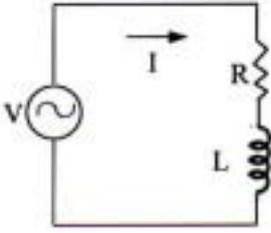
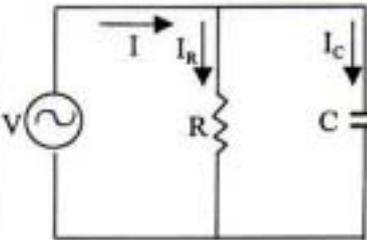
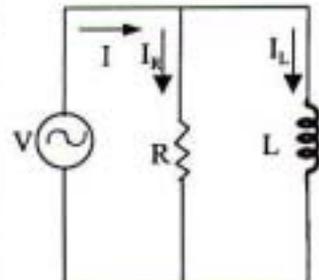
說 明	公 式	單 位
<p>1. 電壓源換成電流源</p> 	$R_0 = R$ $I_0 = \frac{E}{R}$	
<p>2. 電流源換成電壓源</p> 	$R_0 = R$ $E_0 = IR$	
<p>3. Y 轉換成Δ</p>	$R_{\Delta} = \frac{\text{Y形中兩兩電阻相乘之和}}{\text{欲求}\Delta\text{電阻所對應Y之電阻}}$	
<p>4. Δ轉換成 Y</p>	$R_Y = \frac{\text{欲求Y形電阻將其夾住兩電阻之乘積}}{\Delta\text{形中三電阻之和}}$	
<p>5. 最大功率之轉移;當 $R_L = \gamma$ 時可獲得最大功率</p> 	$R_L = \gamma$ $P_{\max} = \frac{\left(\frac{E}{2}\right)^2}{R_L}$	<p>R : Ω γ : Ω E : 伏特 P : 瓦特</p>

表 6 基本交流電路(2)

說 明	公 式	單 位
1. 純電阻電路 	(1) $Z = R$ (2) $PF = 1$ (3) $\theta = 0^\circ$ (4) $I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{R}$ (5) $S = VI$ (6) $P = VI \cos\theta = VI = I^2R$ (7) $Q = 0$	V : 伏特 I : 安培 R : 歐姆 θ : 角度 S : 伏安 P : 瓦特 Q : 乏
2. 純電感電路 	(1) $\bar{X}_L = j\omega L = j2\pi fL$ $= X_L \angle 90^\circ$ (2) $\bar{Z} = \bar{X}_L = j2\pi fL$ (3) $\bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}} = \frac{\bar{V}}{X_L \angle 90^\circ}$ (4) $\theta = 90^\circ$ (5) $PF = 0$ (6) $S = VI$ (7) $P = 0$ (8) $Q = VI \sin\theta$ $= VI = I^2X_L$	$X_L : \Omega$ $Z : \Omega$
3. 純電容電路 	(1) $\bar{X}_c = -j \frac{1}{\omega C}$ $= -j \frac{1}{2\pi fC}$ $= X_c \angle -90^\circ$ (2) $\bar{Z} = \bar{X}_c$ $= -j \frac{1}{\omega C}$ (3) $\bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}} = \frac{\bar{V}}{X_c \angle -90^\circ}$ (4) $\theta = 90^\circ$ (5) $PF = 0$ (6) $S = VI$ (7) $P = 0$ (8) $Q = VI \sin\theta$ $= VI = I^2X_c$	$X_c : \Omega$ $Z : \Omega$

說 明	公 式	單 位
<p>4. R-C 串聯電路</p> 	<p>(1) $\bar{Z} = R - jX_c$ $= \sqrt{R^2 + X_c^2} \angle -\tan^{-1} \frac{X_c}{R}$</p> <p>(2) $I = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}$</p> <p>(3) $\bar{V}_R = \bar{I}R$ $\bar{V}_C = \bar{I}X_c$</p> <p>(4) $\bar{V} = \bar{V}_R + \bar{V}_C$ $= \bar{V}_R - j\bar{V}_C$ $\bar{V} = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$</p> <p>(5) $\theta = -\tan^{-1} \frac{X_c}{R}$ $= -\tan^{-1} \frac{V_C}{V_R}$</p> <p>(6) $PF = \cos \theta = \frac{R}{Z}$ $= \frac{V_R}{V}$</p> <p>(7) $S = IV = I^2 Z$ $= \frac{E^2}{Z}$</p> <p>(8) $P = VI \cos \theta$ $= I^2 R$</p> <p>(9) $Q = VI \sin \theta$ $= I^2 X_c$</p>	
<p>5. R-L 串聯電路</p> 	<p>(1) $\bar{Z} = R + jX$ $= \sqrt{R^2 + X_c^2} \angle \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$</p> <p>(2) $I = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}$</p> <p>(3) $\bar{V}_R = \bar{I}R$ $\bar{V}_L = \bar{I}X_L$</p> <p>(4) $\bar{V} = \bar{V}_R + \bar{V}_L$ $\bar{V} = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$</p> <p>(5) $\theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$ $= \tan^{-1} \frac{V_L}{V_R}$</p> <p>(6) $PF = \cos \theta = \frac{R}{Z} = \frac{V_R}{V}$</p> <p>(7) $S = IV = I^2 Z$ $= \frac{V^2}{Z}$</p> <p>(8) $P = VI \cos \theta$ $= I^2 R$</p> <p>(9) $Q = VI \sin \theta$ $= I^2 X_L$</p>	

說 明	公 式	單 位
<p>6. R-C 並聯電路</p> 	<p>(1) $\bar{Y} = \bar{G} + j\bar{B}_C$ $= \sqrt{\bar{G}^2 + \bar{B}_C^2} \angle \tan^{-1} \sqrt{\frac{\bar{B}_C}{\bar{G}}}$</p> <p>(2) $I_R = \frac{V}{R} = V\bar{G}$ $\hat{i}_c = \frac{\bar{V}}{X_c} = \bar{V} \bar{B}_c$</p> <p>(3) $\hat{i} = \bar{V} \bar{Y} = \hat{i}_R + j\hat{i}_C$</p> <p>(4) $\theta = \tan^{-1} \frac{B_c}{G}$ $= \tan^{-1} \frac{I_c}{I_R}$</p> <p>(5) $PF = \cos \theta = \frac{G}{Y} = \frac{I_R}{I}$</p> <p>(6) $S = VI = V^2 Y = \frac{I^2}{Y} = \frac{I_R}{I}$</p> <p>(7) $P = VI \cos \theta$ $= I_R^2 R = \frac{I_R^2}{G}$ $= V^2 G$</p>	<p>Y : \bar{U} G : \bar{U} B_c : \bar{U}</p>
<p>7. R-L 並聯電路</p> 	<p>(1) $\bar{Y} = \bar{G} - j\bar{B}_L$ $= \sqrt{\bar{G}^2 + \bar{B}_L^2} \angle -\tan^{-1} \frac{\bar{B}_L}{\bar{G}}$</p> <p>(2) $I_R = \frac{V}{R} = V\bar{G}$ $\hat{i}_L = \frac{\bar{V}}{X_L} = \bar{V} \bar{B}_L$</p> <p>(3) $\hat{i} = \bar{V} \bar{Y} = \hat{i}_R - j\hat{i}_L$ $\hat{i} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$</p> <p>(4) $\theta = -\tan^{-1} \frac{B_L}{G}$ $= -\tan^{-1} \frac{I_L}{I_R}$</p> <p>(5) $PF = \cos \theta = \frac{G}{Y}$ $= \frac{I_R}{I}$</p> <p>(6) $S = VI = V^2 Y$ $= \frac{I^2}{Y}$</p> <p>(7) $P = VI \cos \theta$ $= I_R^2 R = \frac{I_R^2}{G}$ $= V^2 G$</p> <p>(8) $Q = VI \sin \theta$ $= I_L^2 X_L = \frac{I_L^2}{B_L}$ $= V^2 B_L$</p>	<p>B_L : \bar{U}</p>

學習評量四：

你能在不翻閱參考資料或書籍的情況下，正確地寫出串聯電路及並聯電路的總電阻公式。

學習評量四答案：

串聯總電阻公式： $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$

並聯總電阻公式： $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$

假如你的答案與上述之重點相符，請翻至第 50 頁做學習後總評量，假如你的答案不與上述之重點相符，則請讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 38 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 47 頁上錯誤改正，然後翻至第 50 頁，做基本電學學後評量。

現在你已瞭解基本電學知識，假如你仍未完全熟悉，請重覆學習本教材第 5 頁到第 38 頁，直到熟悉為止，若有困難去請教你的老師，直至完全熟悉到你能勝任學習目標所列之能力為止。

假如你能勝任學習目標所列之能力，請準備參加學後評量。

學後評量

一、你在不翻閱參考資料或書籍下，正確地說明直流電與交流電之定義。

二、選擇題

請不要參閱資料或書籍，在下列各題之括弧內，寫出正確的答案。

- () 下列何者帶負電 (1) 原子 (2) 質子 (3) 中子 (4) 電子
- () 下列何種物質是屬於半導體 (1) 銀 (2) 矽 (3) 磷 (4) 銅
- () 下列何種單位為導出單位 (1) 公斤 (2) 秒 (3) 公尺 (4) 牛頓
- () 在 6 秒鐘內通過 3 庫侖之電量，其電流 (1) 0.5 (2) 1.8 (3) 2 (4) 5 安培
- () 下列何種元件是將電能轉換成機械能 (1) 電爐 (2) 喇叭 (3) 電動機 (4) 發電機
- () 下列何種金屬導電率最大 (1) 金 (2) 銀 (3) 銅 (4) 鋁
- ()  為何者元件之符號 (1) 電壓 (2) 電流 (3) 電阻 (4) 電導
- () 設一電鍋之電阻為 10Ω ，通以 10A 之電流，則電鍋 10 秒所產生的熱量為多少卡 (1) 240 (2) 2400 (3) 100 (4) 1000
- () 1000W 燈泡，使用 6 小時，用電 (1) 0.6 (2) 6 (3) 60 (4) 600 度。
- () 台北某用戶，其家中有電視機耗電 200W，電冰箱耗電 300W，冷氣機耗電 500W，洗衣機耗電 200W，若每日使用 3 小時，而電費每度 10 元，則每個月(30 天)需付多少電費 (1)540 (2) 1080 (3) 1620 (4)2160 元。

參考文獻

1. 高工補校基本電學（上），黃國藩編著，科友圖書有限公司，p.169-p.175。
2. 高工補校基本電學（下），黃國藩編著，科友圖書有限公司，p.190-p.193。