科學圖書大庫

遵照教育部頒布最新課程標準編著

五 專 教 科 書

電 工 原 理

編者 李森源 彭雲將

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

遵照教育部頒布最新課程標準編著

五　專　教　科　書

電　工　原　理

編者　李森源　彭雲將

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認爲若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧鏗氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大衆閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，賡續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會　敬啓

中華民國六十四年九月

編輯大意

1．本書係遵照教育部於民國六五年頒布之五年制工業專科學校電機工程科二年級上、下學期電工原理課程標準的編輯，其目的在使學生對電工原理之基本概念有所了解。

2．本書重要名詞，均以教育部業經公布者為標準，並附英文，以資對照。

3．本書之編寫，力求文字淺顯通順，盡量避免應用艱深之數學，而以挿圖及例題輔助講解，以使學生易於領悟。

4．本書計分六章，爲每週三小時一學期之教材，每章附習題約十則，概括全章內容，學生逐一練習後對於學習將有甚大裨益。

5．本書之編校多利用公餘課畢之暇，雖力求謹慎，但疏漏之處在所難免，尚祈先進不吝賜教，以便再版時修正。

李森源
彭寶將　謹識

民國六十六年十月

目　錄

習　題

第一章 概　　論

1－1 電學發展簡史

電學之研究始於西元前600年希臘Miletus地方之先賢Thales因摩擦琥珀(Ambere)而發現靜電吸引力。西元1600年英國Sir William Gilbert發表了De Magnete一書，假設地球爲一大磁場、南北並有兩大磁極，從此正式掀起了電磁學研究之序幕。

1660年德國O. Von. Guericke研製摩擦起電機並作靜電特性之研究。

1773年法國Charles DuFay發現電有正負之分。

1745－1746年間德國E. G. Van Kleist及P. Van Musschenbrock分別發明來頓瓶(Leyden jar)，用以儲存電荷。

1785年法國A. de Coulomb發表庫倫靜電力定律(Colomb's law of electric force)。庫倫靜電力定律謂：兩電荷間靜電作用力大小與兩電荷間距離平方成反比，而與兩電荷電量之乘積成正比。

1799年意大利A. Volta發明伏打電池(Voltaic cells)，提供了靜電實驗所需之電源。

1820年丹麥H.C. Oersted發現電流之磁效應。即當電流流經任意導體，位於導體旁之磁針便發生偏轉現象。換言之，携有電流之導體周圍已有磁場存在。同年，法國A. M. Amper'e發表了有關導體四周磁場存在之安培定律，說明電流與磁場兩者間量的關係。

1826年德國G.S. Ohm根據實驗所得，發表了歐姆定律(Ohm's Law)，用來說明流經導體之電流，跨越導體之電壓及代表導體本身特性之電阻間的關係。

1831年英國M. Faraday發現電磁感應現象。並發表了法拉第感應定律(Faraday's law of Induction)，說明了線圈由感應電動勢大小與通過線圈磁通量時變率間之關係。

1833年M. Faraday又發表了電解定律(Law of Electroysis)。

說明電解時析出之物質與流入之電量間存在的關係。

1841年英國J.P. Joule發現電流的熱效應。並發表了焦耳定律(Joule's Law),說明電流通過任意導體時所產生之熱量與電流、導體之電阻及歷經之時間間之關係。

1843年德國H.F.E. Lenz研究電磁感應現象而發表楞次定律(Lenz's Law),說明感應電流之方向。

1849年德國G.R. Kirchhoff發表了克希荷夫定律(Kirchhoff's Law)。

1864年英國J.C. Maxwell發表了電磁場著名的Maxwell方程式並預測電磁波之存在。

1883年美國Thomas A. Edison發現愛迪生效應(Edison's effect)。

1888年德國H.R. Herty於實驗室中證實電磁波的確存在。

1895年英國G. Marconi及蘇俄A.S. Popov完成無線電通信之實驗。

1897年英國J. J. Thomson藉實驗測得電子的電荷量與其質量之比值。因而,發現電子的存在。

1901年英國G. Marconi完成大西洋越洋通信實驗。

1904年英國J.A. Fleming發明了二極真空管。

1907年美國Lee de Forest發明了三極真空管。

1909年美國密立根(R.A. Millikan)利用油滴實驗測得電子之電荷量。

1920年美國A.W. Hull發明四極真空管。稍後經改良而發展成為五極真空管。

1939年德國W. Schottky及英國D. Mott發表了半導體之整流理論。

1948年美國J. Bardeen, W.H. Brattain及W. Shockley發明電晶體。

自此而後,電學的發展更是風起雲湧、變化萬千而邁入今日固態(Solid state)的半導體世界。

1 2 單位和因次

凡有大小多少可得而計量者稱為量(Quantity)。量若用於物理中稱為物理量(Physical quantity)。一切物理現象莫不藉物質以表現,且不能超越空間及時間。物質可由質量決定,空間可由長度決定。故長度、質量

、時間爲表示此三基本概念之量，並爲由其所導出的其他各量之基礎。三者各自獨立，不相關聯，故稱爲基本量（ Fundamental quantity ）或獨立量（ Independent quantity）。電流、溫度、及光度（ Candela ）與前述三者亦互不相關，故亦可視爲基本量。我們如把長度、質量、時間、電流、溫度及光度當做六個基本量，而稱它爲基本因次（ Fundamental dimensions ），那麼其他的物理量由基本量誘導而出，依基本量而決定者，稱爲導出量（ Derived quantity ）或依賴量（ Dependent quantity ）。基本量之單位稱爲基本單位（ Fundamental unit ），導出量之單位稱爲導出單位（Derived unit ）。導出量既然是由基本量推導而得、故導出單位亦視基本單位而定。常用的單位制（ System of unit ）有三種，卽爲厘米、克、秒制（ C.G.S.System ），米、仟克、秒（M.K.S.System ），及呎、磅、秒制。茲將此三種單位制的基本因次列表如表 1-1 所示，並於表 1-2 列出一些由基本因次推導而得導出單位之物理量。

表 1 - 1 單位的基本因次

量	符 號	單位名稱		
		米 制	厘米制	英 制
長 度	l	米	厘 米	呎
質 量	m	仟 克	克	司拉 (slug)
時 間	t	秒	秒	秒
電 流	A	安 培	—	—
溫 度	K	愷爾文	—	—
光 度	cd	燭 光	—	—

表 1 - 2 常用物理量之因次表

量	符 號	定 義	米制單位	因 次
速 度	v	單位時間內之位移	米每秒	l/t
加速度	a	單位時間內速度之變化率	米每秒每秒	l/t^2
力	F	質量×加速度	牛 頓	$m\cdot l/t^2$
功	W	力×距離	牛頓・米	ml^2/t^2
電 位	V	移動單位電荷所做之功	伏 特	$ml^2/A\cdot t$
電 流	I	電荷之流動率	安 培	A

1-3 十的乘冪表示法

任意數若用 $p\times10^n$，$1.0\leqq p<10$ 表示，在計數時甚爲方便。根據指數法則得知，若原數爲大於 10 之任意數，則在 10^n 次方中之 n 爲正數。反之，若原數爲小於 1 之任意數，則在 10^n 次方中之 n 爲負數。今舉數例說明於後：

例題 1.1　原數若爲大於 10 之任意數

(a)　$510=(5.1)(100)=5.1\times10^2$

(b)　$6900=(6.9)(1000)=6.9\times10^3$

原數若爲小於 1 之任意數

(c)　$0.02=(2.0)\left(\dfrac{1}{100}\right)=2.0\times15^2$

(d)　$0.0051=(5.1)\left(\dfrac{1}{1000}\right)=5.1\times10^{-3}$

從前述例數可得一計數原則：

(1)　若原數爲大於 10 之任意數，小數點自個位數向左移 n 位，再乘以 10^n 次方。(2)　若原數爲小於 1 之任意數，小數點向右移 n 位，再乘以 10^{-n} 次方。

若以 10^n 或 10^{-n} 次方表示物理量之單位倍數時，通常均以字首或前標（Prefix）代表，參閱表 1-3。

例題 1-2

$0.000005\,f=5\times10^{-6}f=5\,\mu f$

$5000000\,\Omega=5\times10^6\,\Omega=5\,M\Omega$

$3000\,m=3\times10^3\,m=3\,Km$

0.005 sec. $=5\times10^{-3}$ sec. $=5\,m$sec.

$10000\,g=10\times10^3\,g=10\,Kg$

1-4 向量及無向量

在工程上之量度與計算中，所遭遇之物理量有兩種。如長度、能量、功率及時間等只需指明其大小，即已充分表明其意義，其加減運算可依簡單的算術方法行之。此種只有大小而不涉及方向之物理量稱爲無向量或純量（Scalar quantity）。反之，如力、速度、電場強度、磁通密度等，僅指明其大小，意猶未盡，仍需指明其方向。此種物理量亦可加減運算，惟方法不

表 1 - 3 常用的十之乘冪記數符號

10^n 或 10^{-n}	字首		符號
10^{18}	百 京	Exa	E
10^{15}	千 兆	peta	P
10^{12}	兆	tera	T
10^{9}	十 億	giga	G
10^{6}	百 萬	mega	M
10^{3}	仟	kilo	K
10^{2}	百	hecto	h
10	十	deka	da
10^{-1}	分	deci	d
10^{-2}	釐，厘	centi	c
10^{-3}	毫	milli	m
10^{-6}	微	micro	μ
10^{-9}	毫 微	nana	n
10^{-12}	微 微	pico	p 或 $\mu\mu$
10^{-15}	毫微微	temto	f
10^{-18}	微微微	atto	a

如純量之簡單。此種兼具大小及方向之物理量稱爲向量或矢量（Vector quantity）。任何向量均可用一箭矢表示。箭身之長，依一定比例，表示向量之大小；箭頭所指的方向，表示向量之方向。通常用英文字母表示向量時，多用粗體字母或在字母上加一小箭矢，而以其斜體字母表示大小。$\vec{A}$、$\vec{B}$ 二向量相等。若 $\vec{A}=\vec{B}$ 時，不但表示其大小相等，且方向亦一致（圖 1.1 之(a)）。反之，如 $\vec{A}$、$\vec{B}$ 二向量之大小相等而方向相反時，則可以方程式 $\vec{A}=-\vec{B}$ 表之（圖 1.1 之(b)）。

(a) $\vec{A}=\vec{B}$　　(b) $\vec{A}=-\vec{B}$

圖 1.1 向量之表示法。

1-4-1 向量之合成——幾何法 向量相加，其和稱爲向量和（Vactor sum）或合向量（Resultant Vactor）；原有之向量稱爲合向量之分向量（Component Vactor）。

求向量$\vec{A}$及$\vec{B}$之合向量$\vec{R}$，最簡便的方法爲平行四邊形法（parallelogram method），即以該兩向量爲相鄰之兩邊，作一平行四邊形，由其共同點所引之對角線即爲此二向量，如圖1.2所示。

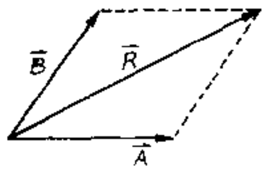

圖 1.2 二向量之合成—平行四邊形法。

由圖1.2可見，如繪出$\vec{A}$後，再自$\vec{A}$之首端繪出$\vec{B}$，則自$\vec{A}$尾端至$\vec{B}$首端之連線，即爲$\vec{A}$、$\vec{B}$之合向量$\vec{R}$，如圖1.3所示。此種方法稱爲三角形法（Triangle method）。同法，如先繪$\vec{B}$，後接$\vec{A}$，其和亦不變。換言之，數學中之交換律（Commutative law）亦可應用於向量之加法。即

$$\vec{A}+\vec{B}=\vec{B}+\vec{A}$$

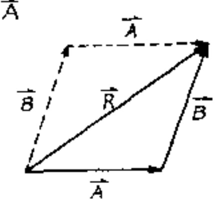

圖 1.3 二向量之合成—三角形法。

合向量$\vec{R}$之大小及方向除可自圖上利用直尺及分度規（量角器）直接量取外，亦可由其幾何關係計算而得。命$\Delta\alpha\beta r$爲$\vec{A}$、$\vec{B}$及$\vec{R}$所作成之三角形如圖1.4所示，θ爲$\vec{A}$、$\vec{B}$間之夾角，則

$$\alpha\delta^2+\delta r^2=\alpha r^2 \qquad (1.2)$$

但 $$\alpha\delta=\alpha\beta+\beta r\cos\theta \qquad (1.3)$$

$$\delta r=\beta r\sin\theta$$

故 $$\alpha r=(\alpha\beta+\beta r\cos\theta)^2+(\beta r\sin\theta)^2 \qquad (1.4)$$

(a) 平行四邊形法

或 $R^2 = A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta$ （ 1.5 ）

設R與A間之夾角爲ϕ，則

(b) 三角形法

$$\tan\phi = \frac{\beta r\ \sin\theta}{\alpha\beta + \beta r\ \cos\theta} \quad (1.6)$$

或(c)由幾何關係求合向量

$$\tan\phi = \frac{B\ \sin\theta}{A + B\ \cos\theta} \quad (1.7)$$

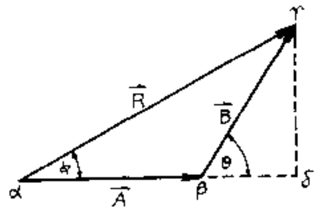

圖 1.4 由幾何關係求合向量。

前述之向量加法，稍加修正，即可用於向量之減法。其法爲將欲減去之向量，掉轉其方向，再與第一向量相加。圖 1.5 及圖 1.6 所示者，即爲$\vec{A} - \vec{B} = \vec{D}$之幾何作圖法。

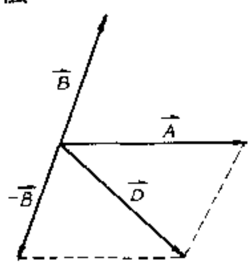

圖 1.5 向量之減法 -- 平行四邊形法。

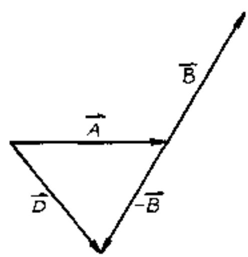

圖 1.6 向量之減法 — 三角形法

欲求兩個以上向量之合成向量時，可將平行四邊形法連續使用，即先求第一、二向量之合向量，然後再與第三向量相加，如此依次合成，則得最後之合向量，如圖 1.7 所示。惟此法遠不如多邊形法（ polygon method ）簡單。多邊形法亦只不過是三角形法之連續使用，即自第一向量之首端繪出第二向

量，再自第二向量之首端繪出第三向量，依次下接，最後自第一向量之尾端至最後向量之首端連成一線，此線即爲所求之合向量，如圖 1.8 所示。由圖得知；數學中之結合律（ Associative law ）在向量加法中亦可應用，即

$$\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}+\vec{D}=(\vec{A}+\vec{B})+(\vec{C}+\vec{D})=(\vec{A}+\vec{B}+\vec{C})+\vec{D}=\vec{R} \tag{1.8}$$

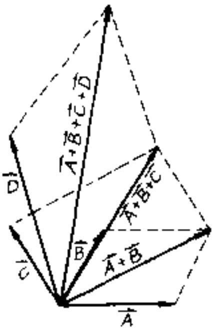

圖 1.7 二個以上向量之合成——連續使用平行四邊形法。

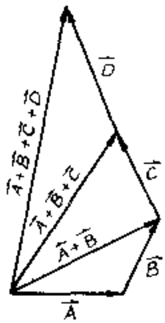

圖 1.8 二個以上向量之合成——多邊形法。

1-4-2 向量之分解 若干向量只可合成一合向量，但一向量却可分解爲任何數目之分向量，且分解爲同一數目之分向量時，又有無數的分解方式。故言向量分解而不指明其分解方向，實毫無意義。所謂一向量在某一方向之分向量，乃該向量在某一方向之正投影。實用上常將一向量分解爲互相垂直之二分向量。若取 xoy 直角坐標軸，命向量 $\vec{A}$ 與 ox 軸成 θ 角度，如圖 1.9 所示。則向量 $\vec{A}$ 在 ox，oy 軸上之分向量 A_x，A_y 之值分別爲

$$\begin{aligned} A_x &= A\cos\theta \\ A_y &= A\sin\theta \\ \tan\theta &= \frac{A_y}{A_x} \end{aligned} \tag{1.9}$$

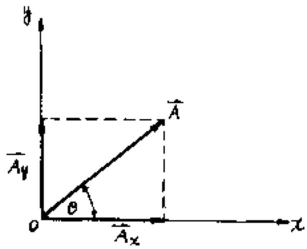

圖 1.9 向量之分解。

1-4-3 向量之合成——解析法 求多個向量之合向量時，用前述的方法雖較簡單，但不如用解析法（Analytical method ）之精確。例如，欲求向量$\vec{A}$、$\vec{B}$及$\vec{C}$之合向量$\vec{R}$時，可先選取一適當之直交坐標xoy，並令各分向量與ox 軸間之夾角為θ_1，θ_2，及θ_3，合向量與ox 軸之夾角為φ，如圖1.10所示。則各向量在ox 軸及oy 軸上之分向量為

$$\begin{aligned} A_x &= A\cos\theta_1 \\ A_y &= A\sin\theta_1 \\ B_x &= B\cos\theta_2 \\ B_y &= B\sin\theta_2 \\ C_x &= C\cos\theta_3 \\ C_y &= C\sin\theta_3 \end{aligned} \tag{1.10}$$

因在兩軸上各分向量均在同一直線上，故可依代數法相加，其和即為合向量在各該軸上之分向量，即

$$\begin{aligned} R_x &= A_x + B_x + C_x = A\cos\theta_1 + B\cos\theta_2 + C\cos\theta_3 \\ R_y &= A_y + B_y + C_y = A\sin\theta_1 + B\sin\theta_2 + C\sin\theta_3 \\ \tan\varphi &= \frac{R_y}{R_x} \end{aligned} \tag{1.11}$$

上述結果，可推廣於任何數目之向量。由（1.11）式即可求出合向量之大小及方向。

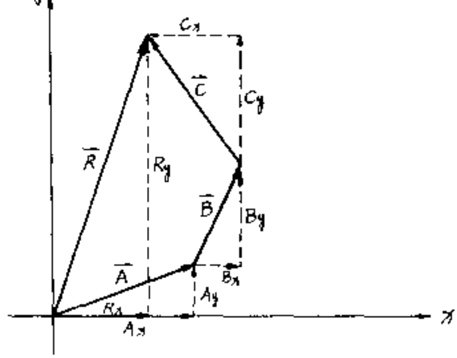

圖 1.10 向量之合成—解析法。

1-4-4 向量之乘積 向量之乘積有兩種，即純量積（ scalar product）及向量積（ Vector product ）。純量積又稱爲內量（ Inner product ）表示兩向量相乘的結果爲一純量。向量積又稱爲外積（ outer product ）表示兩向量相乘後之結果仍爲一向量。今將向量 $\vec{A}$ 及 $\vec{B}$ 乘積之定義分述如下：

(1) 若兩向量 $\vec{A}$ 及 $\vec{B}$ 作外積，則其大小等於兩向量絕對值乘以其間夾角之正弦，而其方向則爲右手四指自 $\vec{A}$ 轉向 $\vec{B}$，垂直於 $\vec{A}$、$\vec{B}$ 平面的姆指指向。

$$|\vec{A}\times\vec{B}| = |\vec{A}|\,|\vec{B}|\sin\theta \qquad (1.12)$$

$|\vec{A}|\,|\vec{B}|\sin\theta$ 正等於以向量 $\vec{A}$ 及 $\vec{B}$ 爲相鄰兩邊之平行四邊形的面積，亦即代表向量 $\vec{A}$ 及 $\vec{B}$ 向量積之絕對值大小，如圖 1.11 所示。

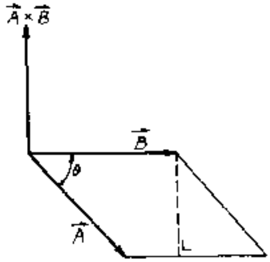

圖 1.11 兩向量 $\vec{A}$、$\vec{B}$ 之向量積。

(2) 若兩向量 $\vec{A}$ 及 $\vec{B}$ 作內積，則其大小等於兩向量的絕對值乘以其間夾角的餘弦。即

$$\begin{aligned} A\cdot B &= |\vec{A}|\,|\vec{B}|\cos\theta \\ &= |\vec{A}|\,(\,|\vec{B}|\cos\theta\,) \\ &= (\,|\vec{A}|\cos\theta\,)\,|\vec{B}| \end{aligned}$$

兩向量之內積等其中任一向量之長度乘以另一向量在其同一方向的正投影，如圖 1.12 所示。

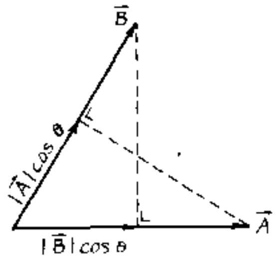

圖 1.12 兩向量之純量積。