

电 工 学

(下 册)

謝 处 方 編 著
毛 良 楨 王 祖 佑 校 閱

科 技 卫 生 出 版 社

內 容 提 要

本書分为上下兩册,下册專述交流电工,亦分为兩編,第一編为交流电路,由向量运算开始,次及各种簡單电路与复雜电路的計算、能量功率与損失的意义,三相电路內各相間的关系等。最后并介紹交流电工所用电工的原理及其一般量法。第二編为交流电机,包括同步电机、变压器、感应电动机、單相电动机、同步换流机等の簡單工作原理运用情况,启动控制与并行工作的方法等。本書適合于一般高級工業学校采作教本之用。

電 工 學 (下 册)

謝 处 方 編 著

毛 良 楨 王 祖 佑 校 閱

科技卫生出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海大东集成联合印刷厂印刷 新华书店上海发行所总經售

开本 787×1092 1/27 印張 9 1/27 字數 180,000

(原大东,科技版共印 9500 册)

1958年10月新1版 1958年11月新1版第2次印刷

印數 1501—3000

統一書号: 15119·298

定价: (10) 1.30 元

目 錄

第三編 交流電路

第十二章 簡單交流電路

(12.1) 交變電動勢.....	1
(12.2) 正弦形的交變應電勢.....	3
(12.3) 正弦波的向量表示法.....	4
(12.4) 正弦波的相加.....	6
(12.5) 向量的直角坐標表示法.....	7
(12.6) 直角坐標向量的運算法.....	10
(12.7) 向量的極坐標表示法.....	12
(12.8) 極坐標向量的運算法.....	14
(12.9) 正弦波的平均值.....	18
(12.10) 正弦波的實效值.....	18
(12.11) 純電阻負載.....	20
(12.12) 純電感負載.....	21
(12.13) 純電容負載.....	25

第十三章 組合交流電路

(13.1) 串聯電路.....	28
(13.2) 電阻與電感串聯的電路.....	28
(13.3) 電阻與電容串聯的電路.....	31
(13.4) 電阻電感與電容相串聯的電路.....	33

(13.5) 電阻電感與電容相並聯的電路.....	36
(13.6) 混聯電路.....	41
(13.7) 混聯電路示例之一.....	42
(13.8) 混聯電路示例之二.....	44
(13.9) 總結.....	46

第十四章 交流電路裏的電能

(14.1) 純電阻的電功率.....	48
(14.2) 無功功率.....	50
(14.3) 功率因數與視在功率.....	51
(14.4) 電功率的計算示例.....	54
(14.5) 磁滯損失與渦流損失.....	57
(14.6) 電壓磁通與電流間的相位關係.....	59

第十五章 多相交流電

(15.1) 三相交流電.....	61
(15.2) Y形聯接法.....	62
(15.3) Δ 形聯接法.....	64
(15.4) 三相四線制.....	68
(15.5) 二相制、四相制及六相制.....	69

第十六章 交流電工儀器及量法

(16.1) 整流式電表.....	72
(16.2) 示頻器.....	73
(16.3) 功率因數指示器.....	74
(16.4) 單相電功率的量法.....	76

(16.5) 三相電功率的量法	77
(16.6) 三相電功率的量法——二瓦特計法	79
(16.7) 三相電功率的量法——三相瓦特計	85
(16.8) 交流電能的量法	86

第四編 交流電機

第十七章 交流發電機

(17.1) 以磁極作轉子	89
(17.2) 交流發電機的繞組	90
(17.3) 交流發電機的構造	95
(17.4) 交流發電機的頻率	98
(17.5) 應電勢	98
(17.6) 帶帽因數與節距因數	100
(17.7) 旋轉磁場	104
(17.8) 漏抗及電樞反應	106
(17.9) 向量圖	109
(17.10) 電壓調整百分數	110
(17.11) 電壓調整百分數的實驗求法	112
(17.12) 自動調壓器	118
(17.13) 效率	119
(17.14) 定額	121
(17.15) 並行工作	121

第十八章 變壓器

(18.1) 感應電勢	129
-------------	-----

(18.2) 變壓器裏的電壓關係	131
(18.3) 漏磁、等值電路及向量圖	132
(18.4) 電壓調整率	134
(18.5) 等係電阻及電抗	135
(18.6) 短路試驗	140
(18.7) 斷路試驗	142
(18.8) 效率及定額	143
(18.9) 變壓器的構造及其冷卻	145
(18.10) 儀用變壓器	150
(18.11) 自耦變壓器	152
(18.12) 恆流變壓器	154
(18.13) 感應調壓器	155
(18.14) 變壓器的聯接	157

第十九章 多相感應電動機

(19.1) 感應電動機的旋轉原理	166
(19.2) 同步速率與轉差率	168
(19.3) 轉子的頻率及感應的電勢	168
(19.4) 向量圖	169
(19.5) 轉矩	172
(19.6) 等值電路圖	172
(19.7) 停頓轉矩	173
(19.8) 感應電動機的分類	176
(19.9) 無載試驗及堵轉試驗	178
(19.10) 圓圖	180

(19.11) 感應電動機的啓動	184
(19.12) 感應電動機的速率控制	187
(19.13) 感應發電機	190

第二十章 同步電動機

(20.1) 同步電動機的工作原理	192
(20.2) 任載時的同步電動機	193
(20.3) 改變場激的影響	194
(20.4) V形曲線	196
(20.5) 同步電動機的啓動方法	198
(20.6) 高啓動轉矩的同步電動機	200
(20.7) 超等同步電動機	201
(20.8) 同步電動機改進功率因數	201
(20.9) 同步電動機	205

第二十一章 單相電動機

(21.1) 串激電動機	206
(21.2) 通用電動機	209
(21.3) 推拒式電動機	209
(21.4) 單相感應電動機	212
(21.5) 單相感應電動機的啓動方法	213

第二十二章 同步換流機

(22.1) 工作原理	218
(22.2) 單相換流機	219
(22.3) 多相換流機	221

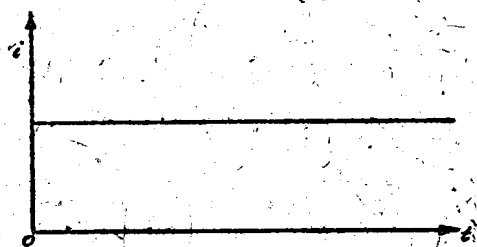
(22.4)發熱及定額	223
(22.5)換流機的聯接法	226
(22.6)電壓控制	228
(22.7)啓動方法	230
(22.8)換流機的並行方法	232
(22.9)逆換流機	233

第三編 交流電路

第十二章 簡單交流電路

(12.1) 交變電勢

在第一編裏我們所討論的電流都是直流的，所謂直流電流是說它的大小與方向不隨時間改變，如圖 12.1 (a) 所示。現在我們討論一種交變的電流（簡稱爲交流）。交變的電流是說電流的方向時刻交換而大小則時刻變化，如圖 12.1 (b) 所示。這種交變的電流是由交變的電



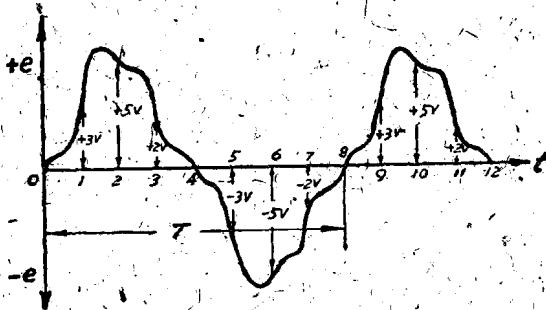
(a)



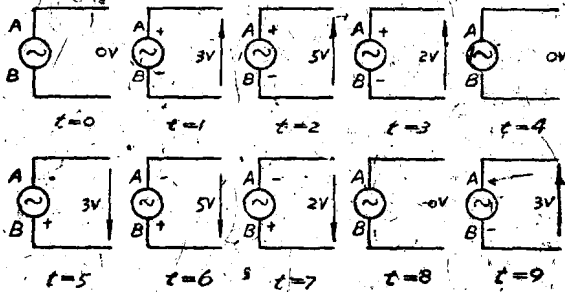
(b)

圖 12.1

勢產生的。在電工裏所產生的交變電勢都是週期性的，所謂週期性，是說電勢的大小與方向在相隔一定時間之後重復出現。例如，在圖 12.2 裏，當時間 t 自 0 漸次增大到 1 時，電勢的瞬時值 e 自 0 增大到 $+3v$ ， $t=2$ 時， $e=+5v$ ， $t=3$ 時， $e=+2v$ ， $t=4$ 時， e 由 $+2v$ 減為 0， $t=5$ 時， e 由 0 向反方向增大到 $-3v$ [參看 (b) 圖]，如此



(a)



(b)

圖 12.2

繼續改變下去，至 $t=8$ 時， e 又減為 0，此後 e 隨 t 的變化與在開始點的情形一樣，即在 $t=9$ 時的 e 與 $t=1$ 時的完全一樣， $t=10$ 時的 e 與 $t=2$ 時的完全一樣，餘類推；所謂完全一樣，是大小相等，方向相同。在圖 12.2 裏，從 0 到 8 的部份稱為一個週波。相應於一個週波的時間(圖中的 T)稱為週期，週期的單位是秒。每秒鐘裏的週波數稱為頻

率或週率。頻率的通用符號是 f ，它與週期間的關係是

$$f = \frac{1}{T} \quad (12.1)$$

爲統一起見，電力工程裏應用的頻率，除特殊應用者外，各國均有規定。歐洲國家多半用 50 週，美國和日本則用 60 週，我國規定的標準頻率是每秒 50 週。

(12.2) 正弦形的交變應電勢

在第二編第 6.1 節裏我們說過，在磁場裏旋轉的線圈，可以在線圈的兩端產生一正弦形的交變應電勢；應電勢的瞬時值視線圈的位置而決定。現在我們將圖 6.1 重繪在圖 12.3 內。感應電勢的曲線(圖(b))可以用下式來表示：

$$e = E_m \sin \alpha \quad (12.2)$$

式中 e 代表應電勢的瞬時值， E_m 代表應電勢的最大值(有時稱爲正弦波的顛值或振幅)， α 代表線圈平面離開原始平面(通過位置、的垂直

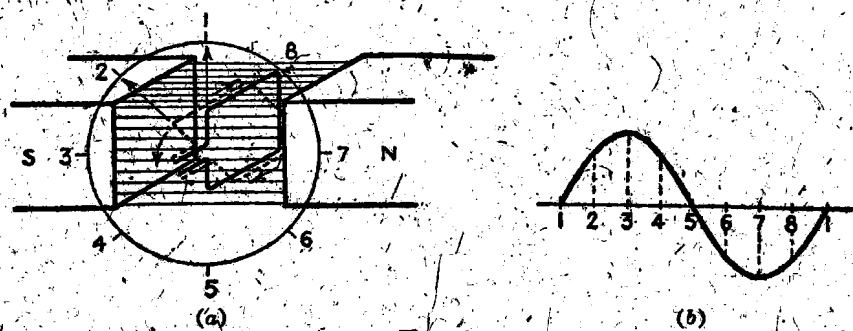


圖 12.3

面)的夾角。(12.2)式的正確性是很容易看出來的，因爲當 $\alpha = 0^\circ$ 時，線圈平面與原始平面合一，即線圈在 1 的位置，感應電勢應爲零；當線圈轉到 3 的位置， $\alpha = 90^\circ$ ， $e = E_m$ ，感應電勢最大；餘可類推。假使我們用 ω 代表線圈旋轉的角速度，則顯然的

$$\alpha = \omega t \quad (12.3)$$

於是(12.2)式可寫成 $e = E_m \sin \alpha = E_m \sin \omega t$ (12.2 a)

在 $\alpha = \omega t$ 式內，當 t 等於一個週期 T 時， α 應等於 360° ，即 2π 弧度。

所以 $2\pi = \omega T$

由此 $\omega = \frac{2\pi}{T}$

以(12.1)式代入，可得 $\omega = 2\pi f$ (12.4)

因此 ω 是 2π 秒裏的週波數，稱為圓頻率。

(12.3) 正弦波的向量表示法

假設有一向量 E_m 繞一定點 o 以均勻的角速度 ω 反時鐘方向旋轉，如圖 12.4 所示，當時間 $t=0$ 時， E_m 在 oX 方向，當時間為 t 時， E_m 與 oX 間的弧角是 $\alpha = \omega t$ ，此時 E_m 在 $Y Y'$ 軸上的投影是 $e = E_m \sin \omega t$ ，這是一時間的正弦函數，所以一個正弦的瞬時值 e 可以用一個旋

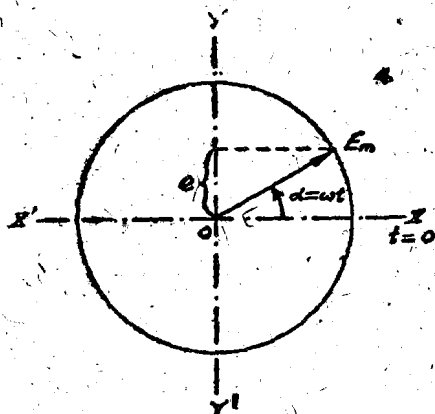


圖 12.4

轉向量的投影來代表。這個旋轉向量的長度代表正弦波的振幅，它的旋轉角速度代表正弦波的圓頻率。當旋轉向量以正弦波的圓頻率反時鐘方向旋轉時，它在 $Y Y'$ 軸上的投影的變化為一時間的正弦函數，如圖 12.5 所示。所以一個正弦波可以用一個旋轉的向量來代表，旋轉向量的某一位置，代表正弦波的某一瞬時值。

爲了表明旋轉向量的位置，我們稱 α 爲向量的相位或相角，例如，在圖 12.5 (a) 裏面，當 E_m 旋轉到 1 的位置時，向量的相位是 45° ；當 E_m 旋轉到 2 的位置時，向量的相位是 90° 等等。

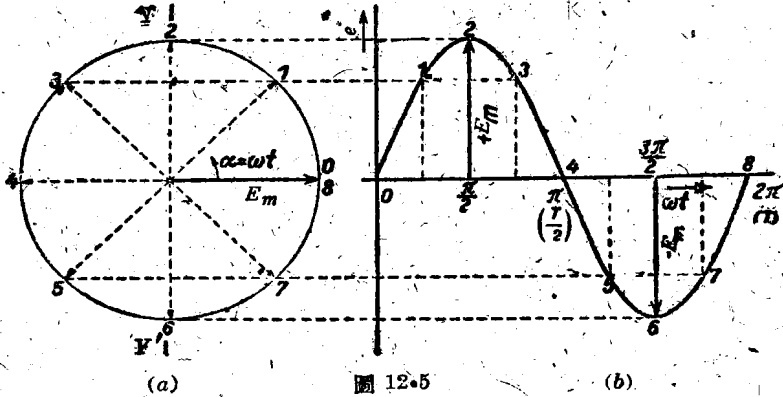


圖 12.5

在圖 12.6 (b) 裏面， e_1 與 e_2 分別代表兩正弦波，這兩正弦波在時間的起點 ($t=0$) 有一相位差 ϕ 。假使兩波的頻率一樣，則它們以後將永遠相差一 ϕ 角，亦即在圖 12.6 (a) 裏面若 E_1 E_2 兩向量以相等的角速度反時鐘方向旋轉時，它們之間的夾角永遠不變。

在圖 12.6 (b) 裏面， e_1 的方程式是

$$e_1 = E_1 \sin \omega t$$

e_2 的方程式是

$$e_2 = E_2 \sin (\omega t + \phi)$$

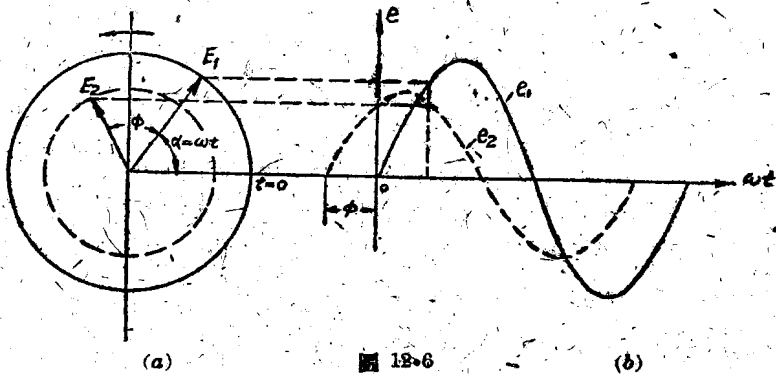


圖 12.6

這是很容易看出來的，因為當 $t=0$ 時， $e_1=0$ 而 $e_2=E_2 \sin \phi$ 。在(a)圖裏，向量 E_1 與 E_2 以相等的角速度反時鐘方向旋轉，但 E_1 在 E_2 後面，因此我們說， e_1 波較 e_2 波滯後，或 e_2 波較 e_1 波越前。

圖 12.7 表示 e_1 波較 e_2 波越前，或 e_2 波較 e_1 波滯後的情形。 e_1 的方程式是

$$e_1 = E_1 \sin \omega t$$

e_2 的方程式是

$$e_2 = E_2 \sin (\omega t - \phi)$$

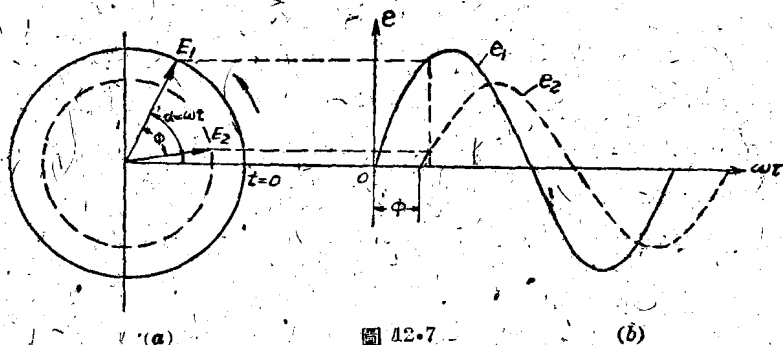


圖 12.7

(12.4) 正弦波的相加

在直流電路裏面假使有兩個電源串聯在一起，則它們的綜合電勢，可以由直接的代數加法求得，但在交流電路裏面却不能這樣做，一則它們的瞬時值都是時刻變化的，其次它們之間可能還有相位差。

假使現在有兩個正弦波，它們的相位差是 ϕ ，向量 P_2 較 P_1 越前 (圖 12.8)。在圖示瞬間， P_1 的瞬時值是 $\overline{oa_1}$ ， P_2 的瞬時值是 $\overline{oa_2}$ ，在這一瞬間的綜合值是 $\overline{oa_1} + \overline{oa_2} = \overline{oa}$ 。但假使我們將 P_1 及 P_2 依向量的幾何加法，求出它們的綜合向量 P ，則向量 P 在縱軸上的投影恰好也是 \overline{oa} 。因為兩個向量在縱軸上的投影的和等於此兩向量的綜合向量在縱

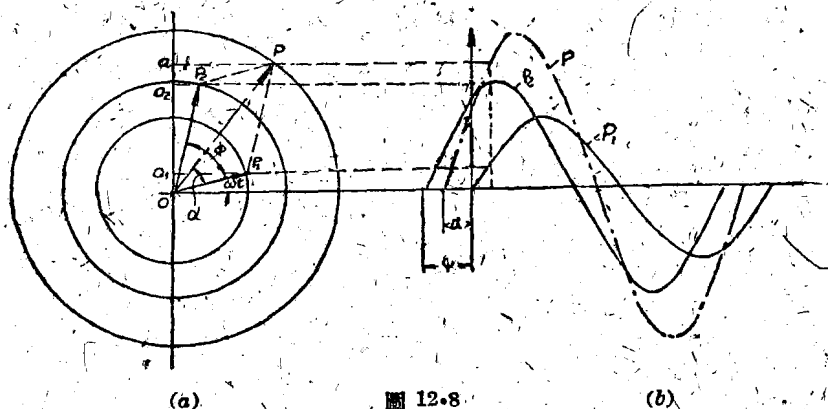


圖 12.8

軸上的投影，所以假使欲求 P_1 及 P_2 在其餘瞬間的綜合瞬時值，祇須求該瞬間的綜合向量在縱軸上的投影即可。當 P_1 及 P_2 以角速度 ω 反時鐘方向旋轉時，平行四邊形 OP_1PP_2 亦將以 ω 的角速度繞 O 點旋轉，所以綜合向量 P 也是一個旋轉向量，它也代表一個正弦波。現在我們可以總結了：

1. 兩個正弦波相加的結果仍然得一個正弦波。
2. 綜合正弦波的頻率與原來兩個正弦波的一樣。
3. 綜合正弦波的振幅及相位可以由代表它的向量 P 的長短與相位求得，這個綜合向量 P 則由代表兩個正弦波的向量 P_1 及 P_2 依向量的幾何加法求得。

以上的討論，我們是將縱軸（亦稱時間軸）繪經 O 點，但若我們將它平行向左移離 O 點，甚至將它移出書外，對於向量在縱軸上的投影的長短並不生影響，所以在以後的向量圖裏，我們有時乾脆將時間軸取消，而在看圖的時候假想有一縱軸存在。

(12.5) 向量的直角坐標表示法

現在我們已經知道以向量來表示正弦波了，關於交流電機與交流

電路的原理，若用向量來討論，可以得到極其明晰的概念，但在計算時，若每次用作圖來求解，有時仍感不便，因此我們便想到再用其他的方法來表示向量，藉這些方法，我們可以無需作圖，而由純粹的演算得到需要的結果。

確定一個向量的位置有許多方法，最普通的方法是採用直角坐標系。例如，在圖 12.9 裏面，任何一個向量 A 可以用它在 X 及 Y 軸上的兩個分量 A_x 與 A_y 來表示。

假使向量 A 在 $+X$ 軸上，如圖 12.10 所示，若將此向量乘以 (-1) ，則所得的 $-A$ 向量應繪在 $-X$ 軸上，意即將一個向量乘以 (-1) 可以得到一個反方向的向量，亦即以 (-1) 乘一個向量可以使這個向量旋轉 180° 。但 $-1 = (\pm\sqrt{-1})^2$ ，所以，以 $(\pm\sqrt{-1})^2$ 乘一個向量可以使這個向量旋轉 180° ，亦即以 $+\sqrt{-1}$ 或 $-\sqrt{-1}$ 乘一個向量兩次，可使這個向量旋轉 180° 。因此我們便這樣規定：以 $+\sqrt{-1}$ 或 $-\sqrt{-1}$

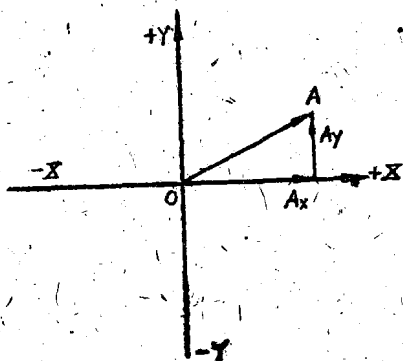


圖 12.9

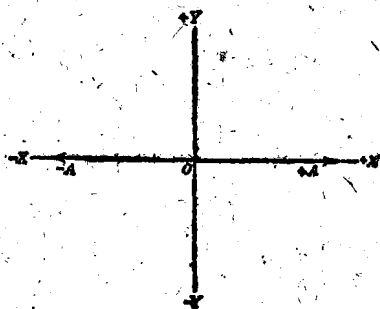


圖 12.10

乘向量一次，可以使向量旋轉 90° ；正的 $\sqrt{-1}$ 表示向正方向旋轉（慣例以反時鐘方向為正的旋轉方向），負的 $\sqrt{-1}$ 表示向負方向旋轉。我們知道 $\sqrt{-1}$ 是一個虛數，它並不代表實在的數值，我們以 $\sqrt{-1}$ 來

乘一個向量，祇不過表示將這個向量旋轉 90° 。普通我們稱 $\sqrt{-1}$ 為一算子，在電工裏用 j 來代表它，即 $j = \sqrt{-1}$ 。

在代數裏面我們知道 $j = \sqrt{-1}$

$$j^2 = -1$$

$$j^3 = -j$$

$$j^4 = +1$$

(12.5)

(12.5)式雖然是一種代數的運算，但它的幾何意義也是對的。例如，

$j^3 = -j$ 的幾何意義是將一個向量向正方向旋轉 90° 三次（即 270° ）應等於將這個向量向負方面旋轉一次。 $j^4 = +1$ 的幾何意義是將一個向量向正方向旋轉 90° 四次（即 360° ）等於原來的向量。

我們說過，任何一向量可以分成 X 與 Y 軸上的兩個分量。在圖 12.11 裏面，向量 A 的 X 方向分量長是 a_1 ， Y 方向分量長是 a_2 。現在假使我們將 X 軸上的分量單以 a_1 來表示，而將 Y 軸上的分量在 a_2 前加上 j 的符號以表示它在垂直的方向，則任何一個向量 A 便可用一極其方便的簡單式子寫出來：

$$A = a_1 + j a_2$$

(12.6)

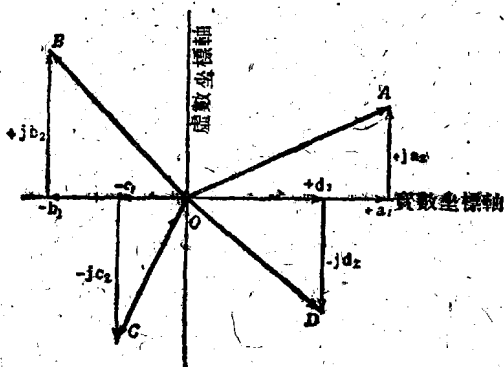


圖 12.11