同濟高工技術叢書

電工學

下册

謝處方 編著

歸紹升
毛艮楨 校閱

大東書局出版

電工學

下冊

同濟高工技術叢書

電工學

（下　冊）

謝處方編著
毛良楨
王祖佑　校閱
同濟高工技術叢書編審委員會主編

大東書局出版

一九五三年三月初版

同濟高工技術叢書 電工學（下）

定價人民幣：19000元

主編者 同濟高工技術叢書編審委員會
編著者 謝處方
校閱者 毛良楨 王祖佑
出版發行者 大東書局 上海福州路310號
印刷者 導文印刷所 上海威海衛路357弄

書號：5083（0001——5000）

目　　錄

第三編　交流電路

第十二章　簡單交流電路

第十三章　組合交流電路

第十四章 交流電路裏的電能

第十五章 多相交流電

第十六章 交流電工儀器及量法

第四編　交流電機

第十七章　交流發電機

第十八章　變壓器

第二十章　同步電動機

第二十一章　單相電動機

第二十二章　同步換流機

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

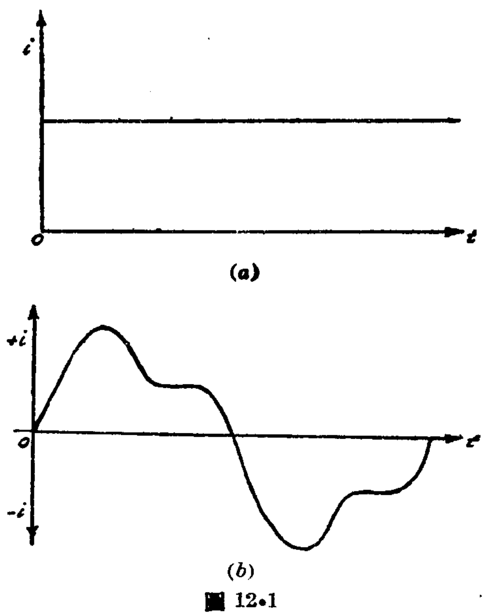
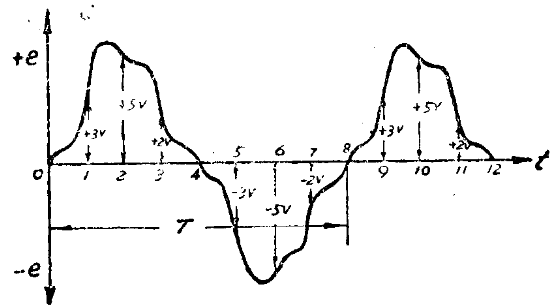
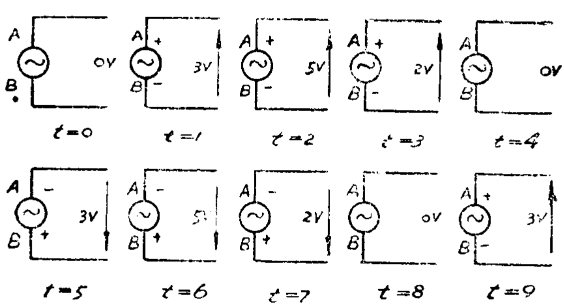


圖 12·1

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 $+2v$ 減爲 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 又減爲 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 的部份稱爲一個週波。相應於一個週波的時間(圖中的 T)稱爲週期，週期的單位是秒。每秒鐘裏的週波數稱爲頻

率或週率。 頻率的通用符號是f，它與週期間的關係是

$$f=\frac{1}{T} \tag{12.1}$$

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

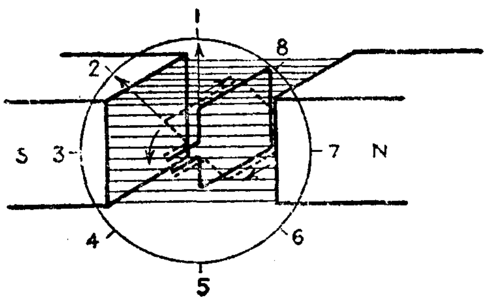
在第二編第6.1節裏我們說過，在磁場裏旋轉的線圈，可以在線圈的兩端產生一正弦形的交變應電勢。

我們知道，在正弦函數$\sin\alpha$內，自變數α代表一角度，但由圖12.3所得到的正弦波，它的變數是時間。因此，相當於每一時間t應有一相應的角度α。若以ω代表線圈旋轉的角速度，則

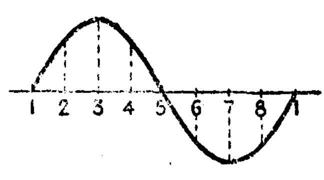
$$\alpha=\omega t \tag{12.2}$$

於是圖12.3的正弦曲線可以用下面的方程式來表示：

$$e=E_m\sin\alpha=E_m\sin\omega t \tag{12.3}$$



(a)



(b)

圖 12.3

式中e代表應電勢的瞬時值，E_m代表應電勢的最大值(有時稱爲巔值或振幅)。

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

$$\omega = 2\pi f \qquad (12\cdot4)$$

因此 ω 是 2π 秒裏的週波數，稱爲圓頻率。藉圓頻率的幫助，我們可以將時間表成弧角。

(12·3)正弦波的向量表示法

假設有一向量Em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，Em 在 oX 方向，當時間爲 t 時，Em 與 oX 間的弧角是 $\alpha=\omega t$，此時 Em 在 YY' 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 YY' 軸上的投影的變化爲一時間的正弦函數，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。

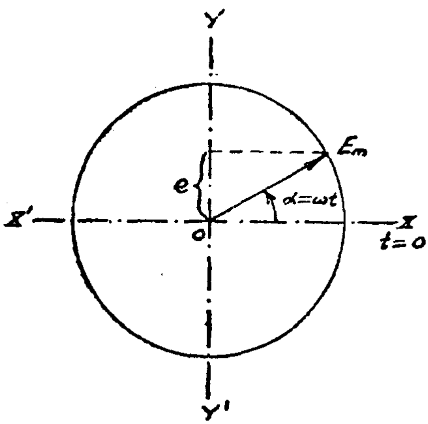
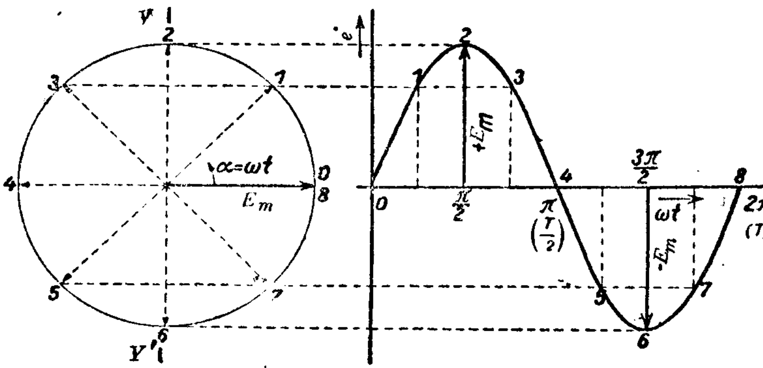


圖 12·4

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 Em 旋轉到 1 的位置時，向量的相位是 45°；當 Em 旋轉到 2 的位置時，向量的相位是 90° 等等。



(a)　　圖 12•5　　(b)

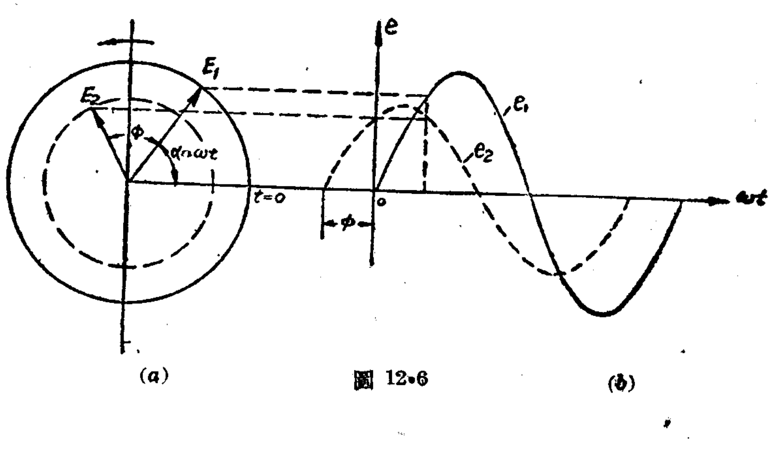
在圖 12•6 (b) 裏面，e_1 與 e_2 分別代表兩正弦波，這兩正弦波在時間的起點 ($t=0$) 有一相位差 φ。假使兩波的頻率一樣，則它們以後將永遠相差一 φ 角，亦即在圖 12•6 (a) 裏面若 E_1 E_2 兩向量以相等的角速度反時鐘方向旋轉時，它們之間的夾角永遠不變。

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

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



(a)　　圖 12•6　　(b)

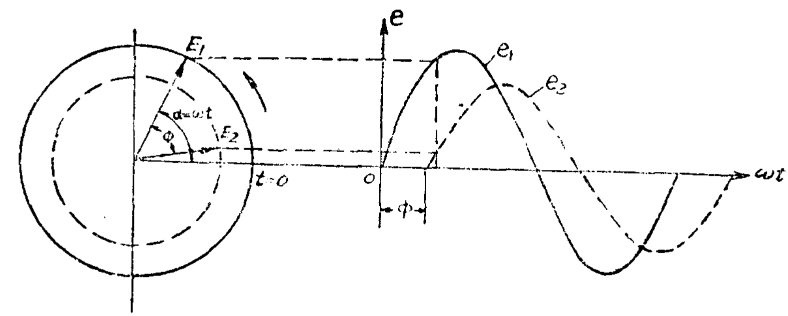
這是很容易看出來的，因爲當 $t=0$ 時，$e_1=0$ 而 $e_2=E_2\sin\phi$。在(a)圖裏，向量 $\mathbf{E}_1$ 與 $\mathbf{E}_2$ 以相等的角速度反時鐘方向旋轉，但 $\mathbf{E}_1$ 在 $\mathbf{E}_2$ 後面，因此我們說，e_1 波較 e_2 波滯後，或 e_2 波較 e_1 波越前。

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

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

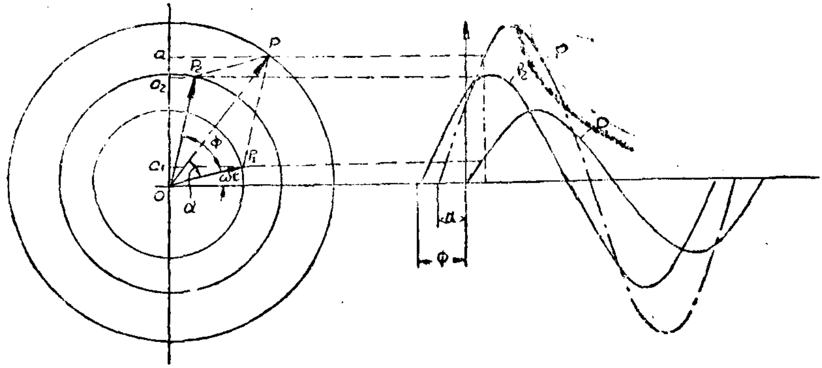


(a) 圖 12·7 (b)

(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 $\mathbf{P}_2$ 較 $\mathbf{P}_1$ 越前(圖12·8)。在圖示瞬間，$\mathbf{P}_1$ 的瞬時值是 $\overline{oa_1}$，$\mathbf{P}_2$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 $\mathbf{P}_1$ 及 $\mathbf{P}_2$ 依向量的幾何加法，求出它們的綜合向量 $\mathbf{P}$，則向量 $\mathbf{P}$ 在縱軸上的投影恰好也是 $\overline{oa}$。因爲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



(a) 圖 12·8 (b)

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卽可。 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，亦卽以(−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°，亦卽以 $+\sqrt{-1}$ 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 $-\sqrt{-1}$

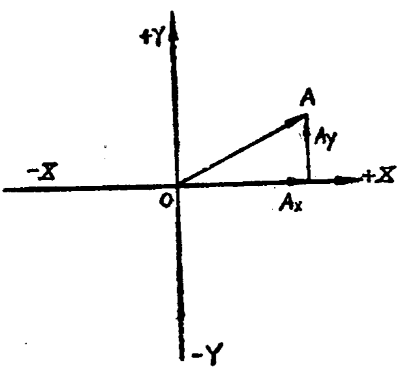


圖 12·9

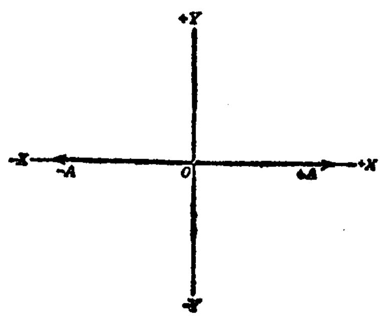


圖 12·10

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（慣例以反時鐘方向爲正的旋轉方向），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