

本書遵照教育部專科學校課程標準編著

電 路 學

編 著 者

姚 靜 波

興業圖書股份有限公司

本書遵照教育部專科學校課程標準編著

電 路 學

編 著 者

姚靜波

興業圖書股份有限公司

中華民國六十八年修訂新版

電路學

編著者：姚 靜 波

發行人：王 志 康

登記證：局版台業字第〇四一〇號

出版者：興業圖書股份有限公司

發行所：興業圖書股份有限公司

台南市勝利路一一八號

電話：二七三二五三號

郵撥南字三一五七三號

版權
所有
翻印
必究

定價：150

編 輯 大 意

- 一、本書係依照六十五年度教育部最新頒佈工專課程標準編輯而成；除供學校教材之外，並可供電工從業人員自修與參考之用。
- 二、本書內容適合於學生具有電工原理或基本電學知識後，介紹直交流電性質，電路元件，正弦波複數運算，網路分析，暫態現象，三相電路及非正弦波分析等知識，使具備研習電機機械，電力系統等課程之基礎。
- 三、本書承蒙陳昇安、歐日晝二位先生協助整理特此感謝。

電 路 學

編 著 者：姚 靜 波

發 行 人：王 志 康

登 記 證：局版台業字第〇四一〇號

出 版 者：興業圖書股份有限公司

發 行 所：興業圖書股份有限公司

台南市勝利路一一八號

電 話：二七三二五三號

郵 撥 南 字 三 一 五 七 三 號

目 錄

第一章 正弦電壓與電流

1-1	正弦波	1
1-2	正弦電壓的產生	2
1-3	頻率及角速率	5
1-4	相角及相角差	6
1-5	平均值及有效值	8
1-6	波形因數及波峯因數	14
1-7	正弦波的加減運算	16

第二章 複數和相量

2-1	正弦波的表示法	23
2-2	複數和相量	23
2-3	複數的運算	26

第三章 電路元件

3-1	獨立電源	36
3-2	電阻器	39
3-3	電感器	44
3-4	電容器	44

第四章 正弦穩態電路

4-1	阻抗和導納	46
-----	-------------	----

4-2	串聯電路	52
4-3	並聯電路	60
4-4	串聯和並聯等值關係	63
4-5	串並聯電路	66

第五章 電功率

5-1	功率的一般式	70
5-2	電阻吸收的功率和能量	71
5-3	電感中的功率和能量	72
5-4	電容中的功率和能量	75
5-5	一般電路的功率	77
5-6	複功率	81
5-7	功率因數的提高	85
5-8	最大電功率傳輸定理	87

第六章 網路分析

6-1	電壓源及電流源的變換	100
6-2	克希荷夫定理	103
6-3	網目分析法	105
6-4	節點分析法	113
6-5	戴維寧定理	123
6-6	諾頓定理	131
6-7	重疊原理	139
6-8	倒量定理	143
	補償定理	146
	米爾曼定理	151

第七章 耦合電路

7-1	自感和互感	160
7-2	互感電路	161
7-3	互感的極性	162
7-4	耦合電路的電壓方程式	170
7-5	耦合係數	172
7-6	理想變壓器	175
7-7	耦合電路的等效電路	180
7-8	反射阻抗	183

第八章 四端網路

8-1	矩陣	189
8-2	四端網路的描述	205
8-3	T 、 π 形網路	215
8-4	實部固定的相量軌跡	218
8-5	虛部固定的相量軌跡	221
8-6	直線對原點的倒轉	222
8-7	圓對原點的倒轉	224
8-8	四端網路的互聯	225
8-9	四端網路的軌跡	229

第九章 諧振電路

9-1	串聯諧振	236
9-2	並聯諧振	239
9-3	Q 值和網路函數	244
9-4	選擇性、半功率點及頻率帶寬	252

第十章 對稱平衡多相電路

10-1 多相電路	258
10-2 對稱平衡多相系統	263
10-3 Y型連接三相電路	265
10-4 Δ 型連接三相電路	268
10-5 三相電路的功率和量度	275

第十一章 不平衡三相電路

11-1 不對稱電源和不平衡負載	289
11-2 不平衡三相電路的網目解法	296
11-3 對稱分量	299
11-4 對稱分量的應用	305

第十二章 電路的暫態

12-1 電阻—電感電路的暫態現象	314
12-2 電阻—電容電路的暫態現象	325
12-3 R—L—C電路的暫態現象	334

第十三章 非正弦波的分析

13-1 基波和諧波	343
13-2 對稱及非對稱波	344
13-3 傅氏級數	350
13-4 非正弦波的數學分析	353
13-5 非正弦波的有效值	357
13-6 非正弦波所產生的功率和功率因數	363

附錄一 習題答案	373
----------------	-----

附錄二 常用金屬及合金之電阻係數及溫度係數表	373
------------------------------	-----

附錄三 三角函數表	374
-----------------	-----

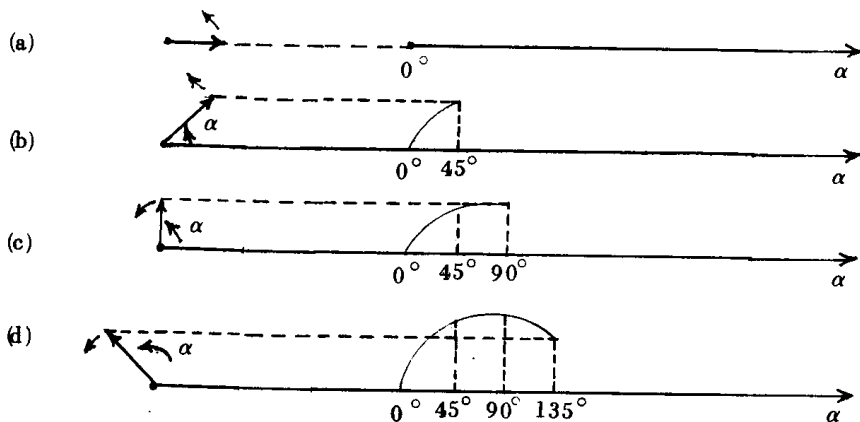
第一章 正弦電壓與電流

概說

目前商用電能多用交流方式產生而輸送。雖需用直流之處，往往亦以交流電供給再轉變為直流，其主要原因為交流電可以高壓方式產生，並可以最經濟最便捷之方法將其昇高或降低，但直流電則不能。在輸電時可利用高電壓低電流方式以減低輸電損失，使遠距離供電得以經濟。

1-1 正弦波

圖 1-1-1，稱為正弦波，若矢量繼續旋轉，正弦波即隨矢量每旋轉 360° 重覆一次。



2 電路學

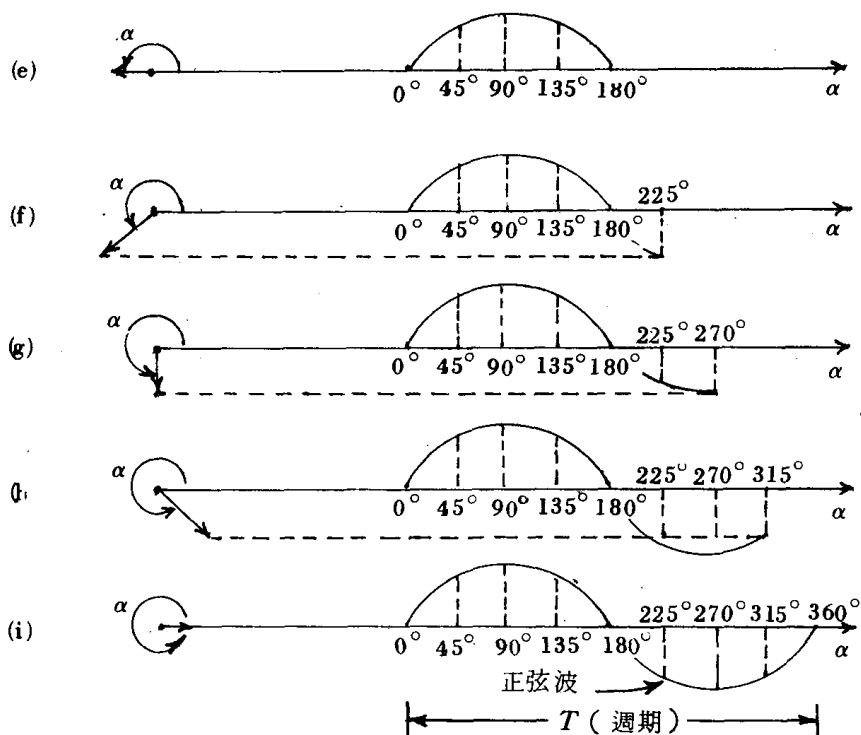


圖 1-1-1

1-2 正弦電壓的產生

正弦的交流電壓，係利用電磁感應原理而產生。

圖 1-2-1 為基本交流發機，有一圈導體在永久磁鐵的磁場中旋轉，此旋轉的導體稱為電樞。磁極部分為固定不動者，稱為定子。當電樞由外力旋轉，割切磁通線時，在 $a-b$ 兩端即產生感應電動勢。在各瞬時感應電動勢的方向，可由“橡皮帶”方法決定。此方法係用橡皮帶喻磁通線，例如圖 1-2-1，旋轉的線圈在 a 及 b 正在壓迫磁通線（橡皮帶），若將右手握移動的導線，四指代表壓迫磁通線的方向，姆指則為感應電動勢的方向。此時 $a-b$ 間若有負載，電流將依姆指方向在線圈內流通。

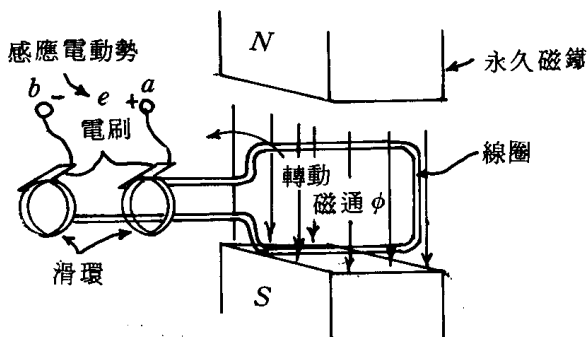


圖 1-2-1

圖 1-2-2 爲利用此方法決在位置 a 的感應電動勢方向。圖 1-2-2(c)，爲位置 a 及 b 所感應電動勢的方向，其間連有負載，電流從 a 經負載流至 b 。事實上，所有此種交流發電機在接有負載時，電流均從發電機爲正的一端流出。

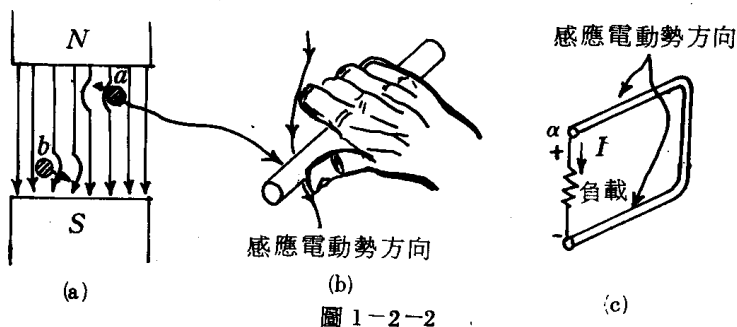


圖 1-2-2

接著，再考慮 a 及 b 的極性，以及在 ab 間感應電動勢的大小。圖 1-2-3 中，顯示線圈三個不同的位置， ab 間並接有負載。當線圈在位置 1 時，如圖(a)，此時導體運動方向與磁通線平行，未割切磁通線。若依法拉第定律，因爲 $\Delta \phi = 0$ ，所以此瞬時的感應電動勢爲零， a 或 b 均無極性顯示。

在位置 2 時，如圖(b)，由“橡皮帶”方法決定 a 爲正， b 爲負。在位置 3 時，如圖(c)， ab 間的感應電動勢最大，其極性與位置 2 時相同。

4 電路學

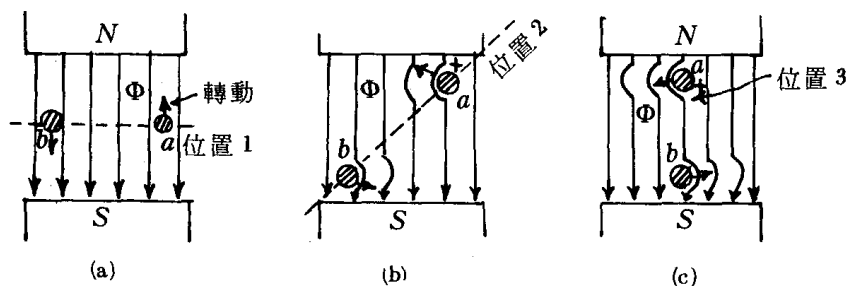


圖 1-2-3

當線圈繼續旋轉，因在每一瞬時所割切磁通線數減少，故感應電動勢變小了。然而， a 及 b 的極性仍未改變，直到位置 4 時，感應電動勢遂降為零。當線圈經過位置 4， a 及 b 的極性乃行反向。當線圈正在位置 4 時，其與在位置 1 時情況相同， a 及 b 無極性顯示。線圈繼續旋轉，因在每一瞬時割切磁通線的數量增多，所以感應電動勢即再度增大。在位置 5 時與在位置 2 時的感應電動勢大小相同，但 a 及 b 的極性相反。在位置 6 時，如圖 1-2-4，感應電動勢又達最大，而線圈繼續旋轉，電動勢又形減小，如位置 3 及 4 的情況。直到位置 1，感應電動勢再度為零，若再繼續旋轉，第 2 圈經歷的情況與第 1 圈情況完全相同。

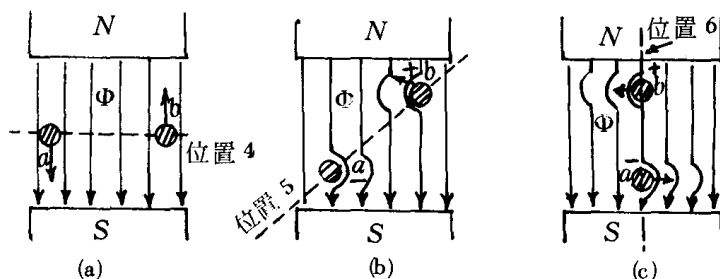


圖 1-2-4

圖 1-2-5 為旋轉的線圈在 a 及 b 兩點間感應電動勢的變化，注意此曲線，每經過位置 1，即重覆一次。事實上，每經過位置 4 及位

置 6，或沿水平軸任何位置，皆為重複變化，各相同位置電動勢的極性及大小皆相同。

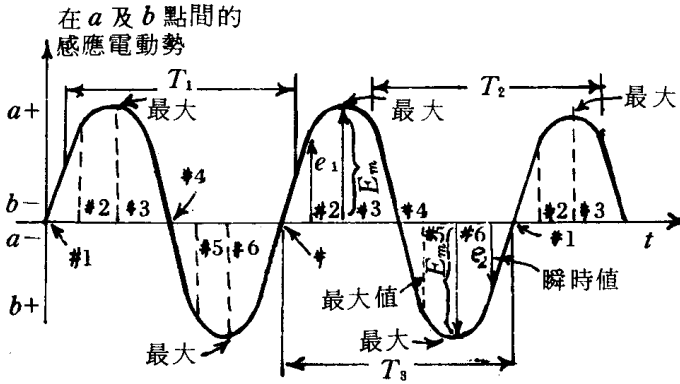


圖 1-2-5

1-3 頻率及角速率

為便於以後分析，需一以頻率或週期表示圖 1-1-1 中旋轉半徑矢量的角速度關係式，因其旋轉一週所需時間，等於圖 1-1-1 (i) 的波形週期，所以角速度可以下式表示：

$$\text{角速度 } (\omega) = \frac{\text{距離 (徑)}}{\text{時間 (秒)}} = \frac{2\pi}{T} \text{ 徑/秒}$$

$$2\pi \text{ 徑} = 360^\circ \quad 1 \text{ 徑} = 57.3^\circ$$

但因 $f = 1/T$ ，上式可改為：

$$\omega = 2\pi f \text{ 徑/秒}$$

例 1. 求每秒 60 週正弦波的角速度。

解： $\omega = 2\pi f = (6.28)(60)$

$$= 377 \text{ 徑/秒}$$

例 2. 求角速度為 314 徑/秒正弦波的頻率及週期。

解：依公式 (12.4)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \therefore T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{6.28}{314} = 0.02 \text{ 秒}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ 週/秒}$$

1-4 相角 (phase angle) 及相差 (phase Difference)

單個正弦波之相角為波形值為零之點到 $t=0$ 間之角度，如圖 1-4-1 所示， θ 即為相角，(a) 圖中波形經過水平軸時，其斜率為正，且在 $t=0$ 時間之前，則波形以 $i = I_m \sin(\omega t + \theta)$ 表示之，如 (b) 圖中波形經過水平軸時，其斜率亦為正，但在 $t=0$ 時間之後，則波形以 $i = I_m \sin(\omega t - \theta)$ 表示之。

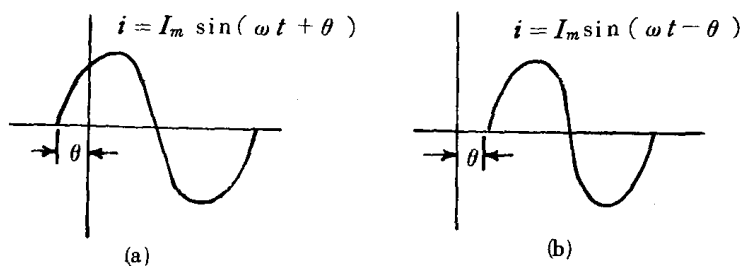


圖 1-4-1

所謂相差即兩個正弦波相角之差，如圖 1-4-2 所示為兩正弦波 i 及 v 兩者相角差為 θ ，因電流波 i 較電壓波 v 先達到波形正向之最大值，吾人謂電流領前 (leading) 電壓 θ 角度，或電壓落後 (lagging) 電流 θ 角度。

若 $\theta = 45^\circ$ 時，圖 1-4-2 中電流及電壓波形之方程式為

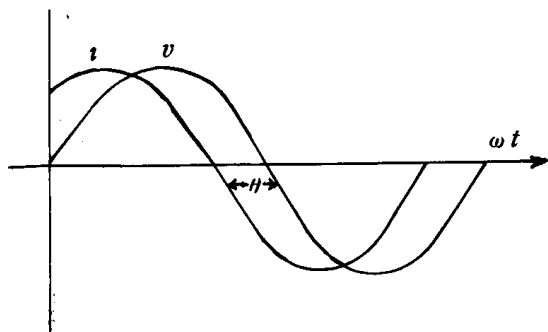


圖 1-4-2 電流與電壓波之相角差

$$v = V_m \sin \omega t \quad (1-4-1)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + 45^\circ)$$

若 $v = 100 \sin(\omega t + 45^\circ)$ $i = 10 \sin(\omega t - 15^\circ)$

則 v 及 i 之相差為 $45^\circ - (-15^\circ) = 60^\circ$

在比較兩波形之相角差時，下列三角函數之性質甚為重要

$$\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$$

$$\cos(-\alpha) = \cos \alpha$$

$$-\sin(\alpha) = \sin(\alpha \pm 180^\circ)$$

$$-\cos(\alpha) = \cos(\alpha \pm 180^\circ)$$

例 1. 若 $v = 10 \sin(\omega t + 30^\circ)$

$$i = 5 \sin(\omega t + 70^\circ)$$

試說明兩波形之相位關係

解：電流領前電壓 $70^\circ - 30^\circ = 40^\circ$

電壓落後電流 $70^\circ - 30^\circ = 40^\circ$

例 2. 若 $i = 15 \sin(\omega t + 60^\circ)$

$$v = 10 \sin(\omega t - 30^\circ)$$

8 電路學

試說明兩波形之相位關係

解： $60^\circ - (30^\circ) = 90^\circ$

電流領前電壓 90° 或電壓落後電流 90°

例 3. 若 $v = 3 \sin(\omega t - 70^\circ)$

$$i = 2 \sin(\omega t - 50^\circ)$$

說明兩兩波形之相位關係

解： $70^\circ - 50^\circ = 20^\circ$

電流領前電壓 20° 或電壓落後電流 20°

例 4. 若 $i = 2 \cos(\omega t + 20^\circ)$

$$v = 3 \sin(\omega t - 10^\circ)$$

試說明兩波形之相位關係

解： 先將電流波 i 化成正弦函數

$$i = 2 \cos(\omega t + 20^\circ) = 2 \sin(\omega t + 20 + 90^\circ)$$

$$= 2 \sin(\omega t + 110^\circ)$$

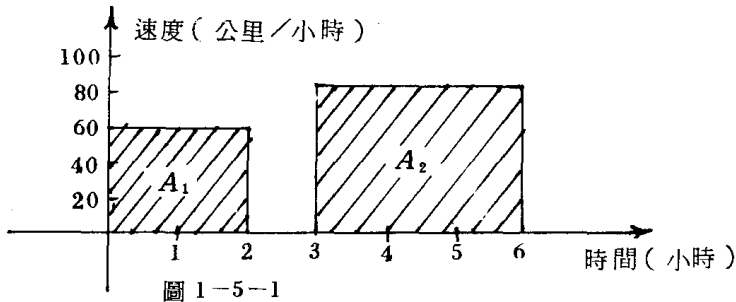
$$110 - (-10) = 120$$

電流領前電壓 120° 或電壓落後電流 120°

1-5 平均值 (Average Value)

若有一部計程車從台南開到台北需六小時，共走了 360 公里，則該車之平均速度為 $360/6 = 60$ 公里/小時，若司機以每小時 60 公里開行 2 小時到彰化，休息一小時吃午飯，然後再以每小時 80 公里開行 3 小時到台北，整個行程如圖 1-5-1 所示，其平均速度可用下式求之，即

$$\text{平均速度} = \frac{\text{曲線下之面積}}{\text{曲線之長度}} \quad (1-5-1)$$



即 平均速度 = $\frac{A_1 + A_2}{6} = \frac{60 \times 2 + 80 \times 3}{6} = \frac{360}{6}$
 $= 60 \text{ 公里/小時}$

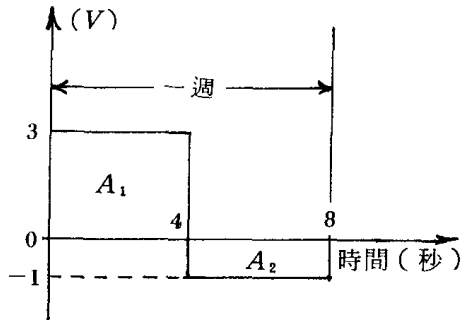
(1-5-1) 式亦可用於求電壓及電流之平均值。

例 1. 如圖 3-15 所示之電壓波形，求其一週之平均值。

解：電壓平均值

$$V_{avg} = \frac{A_1 + (-A_2)}{8 - 0}$$

$$= \frac{(3 \times 4) + (-1)(4)}{8} = 1 \text{ 伏}$$



若電流或電壓波形不是方波及鋸齒波等，而是正弦波或其他形式波形時，則其面積之計算必須用積分方法，如圖 1-5-3 所示之波形，若其函數為 $f(t)$ ，則由 t_1 開始曲線一週期之面積為

$$\int_{t_1}^{t_1+T} f(t) dt$$

其平均值為