

高等學校教學用書

電工原理

中 冊

K. A. КРУГ 主編

東北工學院電工原理教研組周孔章等譯

龍 門 聯 合 書 局

本書係根據蘇聯國營動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1952 年出版的“電工原理” (Основы электротехники) 譯出的。原書是榮獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院的電工原理教研室的教師們的集體著作，是在電工原理教研室主任克魯格 (К. А. Круг) 教授主編之下寫成的，並經蘇聯高等教育部審定為動力工程學院及電工學院和動力工程系及電工系的教學參考書。

本書中討論了直流和交流的線性和非線性的電路，靜電電路和磁路，具有分佈參數的電路，瞬變過程，以及靜電場、磁場、導電媒介質中的電場和電磁場。

本書的中譯本分三冊出版，上冊包括直流電路、磁路、靜電電路和正弦交流電路。中冊包括非正弦交流電路和電路的瞬變過程。下冊為電磁場。

中冊的翻譯工作由東北工學院機電系電工原理教研組擔任：第十四章、第十五章和第十六章由沈慶堉同志翻譯；第十七章和第十八章的前半 (18-1 到 18-19) 由湯肇善同志翻譯；第十八章的後半 (18-20 到 18-32)、第十九章和第二十章由周孔章同志翻譯。

中冊的譯稿並經周崇綏和李華天同志校閱。

電 工 原 理

中 冊

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

К. А. К Р У Г 主編

東北工學院 周孔章 等譯
電工原理教研組

★版權所有★

龍門聯合書局出版

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

上海茂名北路 300 弄 3 號

新華書店總經理

廣華印刷廠印刷

上海大連路 19 弄 16 號

開本：787×1092 1/25 印數：6001—7500冊

印張：9^{23/25}

1954 年 9 月重譯第一版

字數：207,000

1955 年 7 月第三次印刷

定價：(8) 一元二角

目 錄

第三編 在非正弦電流和非正弦電 壓下電路的性質及其計算方法

第十四章 非正弦電流	329
14-1. 非正弦電勢和非正弦電流	329
14-2. 週期性非正弦曲線分解成三角級數	329
14-3. 非正弦週期性電勢和電流的極大值、有效值及平均值	334
14-4. 表明非正弦週期性曲線形狀的係數	336
14-5. 具有週期性包線的非正弦曲線	337
a) 拍	337
b) 調波	338
14-6. 具有非正弦電勢和非正弦電流的電路之計算	340
14-7. 在非正弦電勢及非正弦電流下的諧振現象	343
14-8. 週期性非正弦電流的功率	345
14-9. 三相制中的高次諧波	347
第十五章 濾波器	351
15-1. 濾波器	351
15-2. 單環節濾波器的頻率特性曲線及計算原理	353

第十六章 鐵心線圈和鐵心變壓器	363
16-1. 鐵心線圈裏的現象	363
16-2. 具有鐵心的線圈裏的電流曲線和電壓曲線	364
16-3. 鐵裏的磁滯損耗	367
16-4. 鐵裏的渦流損耗	369
16-5. 鐵的往復磁化的總損耗	372
16-6. 鐵心抗流線圈	374
16-7. 具有鐵心的變壓器	376
第十七章 非線性交流電路	382
17-1. 非線性交流電路的一般特性	382
17-2. 具有單一電源的電路	384
17-3. 在具有單向電阻的電路中電流曲線的形狀	385
17-4. 最簡單的整流器	387
17-5. 在具有非線性電抗的電路中電流和電壓曲線的形狀	390
17-6. 頻率三倍器	393
17-7. 在具有熱電阻的電路中電流和電壓曲線的形狀	396
17-8. 鐵磁諧振現象	397
17-9. 電壓鐵磁諧振	398
17-10. 電流鐵磁諧振	400
17-11. 電壓穩定器	402
17-12. 具有非單一電源的電路	403
17-13. 在具有直流電勢源和交流電勢源的非線性電路中電流和 電壓曲線的形狀	404
17-14. 在具有交流和直流兩種電勢的電路中的整流器	410
17-15. 頻率二倍器	412
17-16. 直流分量對交流分量數值的影響	415
17-17. 鐵磁功率放大器	419
17-18. 調幅的原理	422

第四編 電路中的瞬變過程 及其計算方法

第十八章 具有集中參數的電路中的瞬變過程	425
18-1. 在電路中瞬變過程的發生和開閉定律	425
18-2. 在電路中的瞬變、強制和自由狀態	426
18-3. 具有電阻和電感的電路的短接	429
18-4. r, L 電路接通到直流電壓源	432
18-5. 在 r, L 電路中電阻的改變	433
18-6. r, L 電路接通到正弦電壓源	434
18-7. 具有電阻和電容的電路的短接	436
18-8. r, C 電路接通到直流電壓源	438
18-9. r, C 電路接通到正弦電壓源	440
18-10. 在無分支的 r, L, C 電路中的瞬變過程	442
18-11. 電容器的非週期性放電	443
18-12. 電容器非週期性放電的臨界情形	447
18-13. 電容器的週期性(振盪)放電	447
18-14. 非週期的 r, L, C 電路接通到直流電壓源	453
18-15. 振盪的 r, L, C 電路接通到直流電壓源	454
18-16. 非週期的 r, L, C 電路接通到正弦電壓源	455
18-17. 振盪的 r, L, C 電路接通到正弦電壓源	458
18-18. 在有分支電路中用經典法計算瞬變過程的一般情形	465
18-19. 具有互感的電路的接通	470
18-20. 電路接通到連續變化的電壓源(丟阿蔑爾積分)	477
18-21. 丟阿蔑爾積分的其他形式	479
18-22. 電路接通到任意形式的電壓源	480
18-23. 運算法的基本原理	484
18-24. 最簡單的函數變換式	486

18-25. 函數的微商和積分的變換式	488
18-26. 分解定理	490
18-27. 歐姆定律和克希荷夫定律的運算形式	492
18-28. 指數電壓接通的公式	499
18-29. 直流電壓接通的公式	501
18-30. 正弦電壓接通的公式	501
18-31. 瞬變過程的計算歸結成爲零值初具條件	502
18-32. 依據變換式求自由電流法	505
第十九章 具有分佈參數的電路中的瞬變過程	507
19-1. 在具有分佈參數的電路中瞬變過程的發生	507
19-2. 均勻長線中的波	507
19-3. 有矩形波前的波	510
19-4. 終端開路的線的接通	512
19-5. 終端短接的線的接通	515
19-6. 接於電阻的線的接通	517
19-7. 以電阻接向有負載的線	519
19-8. 終端有負載的長線的扳斷	520
19-9. 已充電的線接於電阻	522
19-10. 雜散波	524
19-11. 決定反射波電壓和電流的普遍方法	526
19-12. 波從某一線進入到另一線的情形	528
19-13. 具有電感性負載的線的接通	529
19-14. 當兩線接點處接有電容時，波從某一線進入到另一線的情形	532
19-15. 矩形脈衝通過電感的情形	534
19-16. 在含有集中電容和電感的線中，瞬變過程的定性研究	535
第二十章 非線性電路中的瞬變過程	538
20-1. 非線性電路中瞬變過程的一般特性	538

20-2. 在非線性電路中瞬變過程的計算方法.....	539
20-3. 鐵心線圈接通到直流電壓源.....	540
20-4. 電容器經非線性電阻充電.....	549
20-5. 鐵心線圈接通到正弦電壓源.....	551
20-6. 有電容負載的整流器接通到正弦電壓源.....	556
20-7. 具有電弧、電感和電阻的電路接通到正弦電壓源	558
中俄文對照索引.....	1

第三編 在非正弦電流和非正弦電壓下電路的性質及其計算方法

第十四章 非正弦電流

14-1. 非正弦電勢和非正弦電流

在以前數章裏，研究了在正弦變化的電源電勢作用下，具有恆定參數 r , L 及 C 的線性電路中所產生的交變電流。但在實際上，電勢及電流的曲線常常與正弦波形多少有些不同。

在交流發電機裏，由於沿氣隙的磁感應分佈曲線與正弦波形有差別，在繞組裏所感生的電勢曲線就與正弦波形有差別。在含有非線性電阻、電感和電容的電路裏（例如，整流器、電弧、鐵心線圈），即使在正弦電勢的電源下，也產生非正弦電流和非正弦電壓。例如，整流後的電壓曲線就與正弦波形有顯著的差別（表 14-1）。無線電話和無線電報信號的曲線與正弦波形也有顯著的差別，它們不但是非正弦波，並且是非週期性的。

在本章裏研究線性電路的計算方法，在線性電路裏所作用的非正弦電勢、電流和電壓都可被分解成爲諧波的分量。

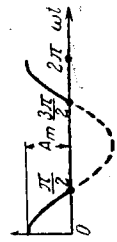
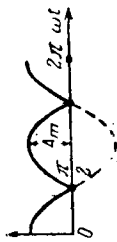
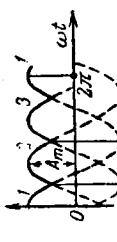
14-2. 週期性非正弦曲線分解成三角級數

如果將電勢或電流的曲線分解成尤拉-富理哀三角級數，對於發生在具有週期性而非正弦的電勢或電流的電路裏的現象，研究起來便很簡單了。

表 14-1

號次	$f(\omega t)$ 的圖形	$f(\omega t)$ 分解成級數	A	A_{ep}	k_{ϕ}	k_a	k_u
1		$f(\omega t) = A_m \sin \omega t$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2A_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$	1
2		$f(\omega t) = \frac{4a_{max}}{\pi} \left(\sin \alpha \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \cdot \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \cdot \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{k^2} \sin k\alpha \sin k\omega t + \dots \right)$	$a_{max} \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}$	$a_{max} \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right)$	$\sqrt{\frac{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}{1 - \frac{\alpha}{\pi}}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$	$\frac{2\sqrt{2} \sin \alpha}{\alpha\pi \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$
3		$f(\omega t) = \frac{8a_{max}}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \dots + (-1)^{\frac{k-1}{2}} \frac{k-1}{k^2} \sin k\omega t + \dots \right)$	$\frac{a_{max}}{\sqrt{3}}$	$\frac{a_{max}}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	$\frac{4\sqrt{6}}{\pi^2}$
4		$f(\omega t) = \frac{4a_{max}}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{k} \sin k\omega t + \dots \right)$	a_{max}	a_{max}	1	1	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$

續表 14-1

號次	$f(\omega t)$ 的圖形	$f(\omega t)$ 分解成級數	A	A_{cp}	k_{ϕ}	k_a	k_u
5		$f(\omega t) = \frac{2Am}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t \right. \\ \left. + \frac{1}{1.8} \cos 2\omega t - \frac{1}{3.5} \cos 4\omega t \right. \\ \left. + \frac{1}{5.7} \cos 6\omega t + \dots \right)$	$\frac{Am}{2}$	$\frac{Am}{\pi}$	$\frac{\pi}{2}$	2	—
6		$f(\omega t) = \frac{4Am}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1.8} \cos 2\omega t \right. \\ \left. - \frac{1}{3.5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5.7} \cos 6\omega t \cdot \right. \\ \left. - \dots \right)$	$\frac{Am}{\sqrt{2}}$	$\frac{2Am}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$	—
7		$f(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}Am}{\pi} \left(\frac{1}{2} \right. \\ \left. + \frac{1}{2.4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5.7} \cos 6\omega t \right. \\ \left. + \frac{1}{8.10} \cos 9\omega t - \dots \right)$	$Am\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}$	$\frac{3\sqrt{3}Am}{2\pi}$	$\pi\sqrt{\frac{2}{27} + \frac{1}{3\pi\sqrt{3}}}$	$2\sqrt{\frac{2+3\sqrt{3}}{\pi}}$	—

大家都知道，在一週期內含有有限個數的第一種間斷和有限個數的極大值與極小值的一切週期函數，都能夠分解成三角級數：

$$\begin{aligned} f(\omega t) &= A_0 + A_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + A_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k). \end{aligned} \quad (14-1)$$

其中當 $k=0$ 時

$$A_{km} = A_0, \text{ 而 } \psi_k = \psi_0 = \frac{\pi}{2}.$$

級數的第一項 A_0 稱做直流分量，第二項 $A_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$ 稱做基波或一次諧波，而其餘各項 $A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k)$ 當 $k > 1$ 時稱做高次諧波。

將各次諧波的兩角之和的正弦展開以後，三角級數可以寫成另一種形式：

$$\begin{aligned} f(\omega t) &= A_0 + B_{1m} \sin \omega t + B_{2m} \sin 2\omega t + \dots + B_{km} \sin k\omega t + \dots \\ &\quad + C_{1m} \cos \omega t + C_{2m} \cos 2\omega t + \dots + C_{km} \cos k\omega t + \dots; \end{aligned} \quad (14-2)$$

其中

$$\begin{aligned} B_{km} &= A_{km} \cos \psi_k; \\ C_{km} &= A_{km} \sin \psi_k. \end{aligned}$$

如果函數 $f(\omega t)$ 已經解析地給出，則級數的係數 A_0 , B_{km} 及 C_{km} 就能利用下列積分式算出：

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t), \\ B_{km} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin k\omega t d(\omega t), \\ C_{km} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos k\omega t d(\omega t). \end{aligned} \right\} \quad (14-3)$$

知道了公式 (14-2) 級數的係數，並算出

$$A_{km} = \sqrt{B_{km}^2 + C_{km}^2} \quad \text{及} \quad \psi_k = \arctg \frac{C_{km}}{B_{km}}$$

就很容易地寫出(14-1)式。

將已給定的週期性曲線分解成諧波的方法是很多的。將週期性函數分解成三角級數的方法則在數學課程裏研究。

在交流電技術上最常遇到的許多週期性時間函數都滿足下列條件(圖 14-1, a):

$$f(\omega t) = -f(\omega t + \pi). \quad (14-4)$$

滿足(14-4)式條件的函數稱做依橫軸對稱的函數。

在這種情況下,級數就不含偶次諧波

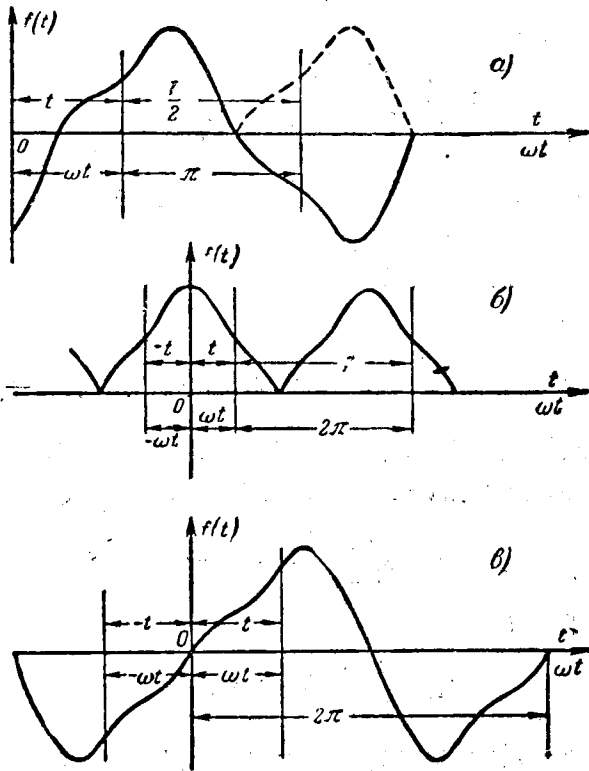


圖 14-1

$$f(\omega t) = A_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + A_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + A_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5) + \dots \quad (14-5)$$

在交流電流或交流電壓整流時，常常會遇到一種函數(圖 14-1, δ)，當適當地選定坐標原點時，這種函數滿足下列條件：

$$f(\omega t) = f(-\omega t). \quad (14-6)$$

這種函數稱做依縱軸對稱的函數。

在這種情況之下，級數就不含奇函數(正弦)

$$f(\omega t) = A_0 + A_{1m} \cos \omega t + A_{2m} \cos 2\omega t + A_{3m} \cos 3\omega t + \dots \quad (14-7)$$

在倍頻器的圖形裏，當選定坐標的原點在函數為零之點時，所遇到的函數滿足下列條件(圖 14-1, ϵ)：

$$f(\omega t) = -f(-\omega t). \quad (14-8)$$

這種函數稱做依坐標原點對稱的函數。

在這種情況下分解成的級數不含偶函數(餘弦)

$$f(\omega t) = A_{1m} \sin \omega t + A_{2m} \sin 2\omega t + A_{3m} \sin 3\omega t + \dots \quad (14-9)$$

表 14-1 中所列的是電工方面最常遇到的一些曲線分解成級數的例子。

14-3. 非正弦週期性電勢和電流的極大值、有效值及平均值

週期性變化的非正弦量 $f(\omega t)$ 可以用三個數值來說明它的特徵：一週期內的極大值 a_{max} ，一週期內的均方根值或有效值

$$A = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(\omega t) dt} \quad (14-10)$$

及整流後的平均值

$$A_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T |f(\omega t)| dt. \quad (14-11)$$

如果曲線 $f(\omega t)$ 依橫軸對稱，且在半週期內函數 $f(\omega t)$ 並沒有改變符號，則整流後的平均值等於半週期內的平均值

$$A_{cp} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} f(\omega t) dt, \quad (14-12)$$

並且在上列表達式中計算時間的起始點必須與 $f(0) = 0$ 相符合。

在非正弦週期性過程中，和正弦的一樣，電勢、電流或電壓的數值通常是指有效值而言。

如果週期性變量的曲線分解成爲三角級數，那末有效值可以用下列方法求得：

$$\begin{aligned} A^2 &= \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_{k=0}^{\infty} A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) \right]^2 dt \\ &= \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{\infty} \int_0^T A_{km}^2 \sin^2(k\omega t + \psi_k) dt \\ &+ \sum_{\substack{i=0 \\ k=0 \\ i \neq k}}^{\infty} \frac{1}{T} \int_0^T A_{im} A_{km} \sin(i\omega t + \psi_i) \sin(k\omega t + \psi_k) dt. \end{aligned} \quad (14-13)$$

因爲兩不同頻率正弦乘積的平均值等於零，也就是說，各不同次諧波瞬時值乘積在一週期內的平均值等於零，所以在最後的總和裏，每項積分都等於零。

算出最後的等式，得到有效值的簡單表達式：

$$\begin{aligned} A^2 &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{T} \int_0^T A_{km}^2 \sin^2(k\omega t + \psi_k) dt \\ &= A_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{A_{km}^2}{2} = A_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k^2 = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^2 \end{aligned} \quad (14-14)$$

及

$$A = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} A_k^2}. \quad (14-15)$$

因此，非正弦量的有效值與非正弦量諧波的有效值有關，而與它

們的相位 ψ_k 無關。

例如，假使電壓 u 是由 U_0, u_1, u_2 等等一系列諧波所組成，這些諧波的有效值為 U_0, U_1, U_2 等等，則電壓的有效值為

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots} \quad (14-16)$$

同樣地，電流 i 的有效值為：

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots} \quad (14-17)$$

14-4. 表明非正弦週期性曲線形狀的係數

通常利用曲線的波形係數 k_ϕ ，振幅係數 k_a 及畸變係數 k_u 來判別非正弦週期性曲線的形狀。

波形係數決定於有效值對整流後的平均值之比：

$$k_\phi = \frac{A}{A_{cp}} \quad (14-18)$$

對於正弦波而言

$$k_\phi = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11.$$

振幅係數決定於極大值對有效值之比：

$$k_a = \frac{a_{max}}{A} \quad (14-19)$$

對於正弦波而言

$$k_a = \sqrt{2} = 1.41.$$

畸變係數決定於基波有效值對整個曲線的有效值之比：

$$k_u = \frac{A_1}{A} \quad (14-20)$$

對於正弦波而言

$$k_u = 1,$$

工業用電的電壓曲線通常不同於理想的正弦波形。在實際中是引用實際上是正弦曲線的概念。

依據標準，如果實際曲線和它基波二者任何相對應縱坐標之差不過基波振幅的 5%，這種工業用電的電壓可認為實際上是正弦波形。這種曲線的畸變係數等於 1，其準確度在千分之幾以內。

最簡單曲線的 k_{ϕ} , k_a 及 k_n 的數值列在表 14-1 中。

比較表裏前面四種曲線的係數，就能看出：曲線愈尖， k_{ϕ} 及 k_n 的數值就愈大。

用各種不同型式的儀表來測量非正弦電流和電壓，能得到不同的結果。

電動式、電磁式和熱效式的儀表指示被測量的有效值。附有整流器的磁電式儀表指示整流後的平均值。而量振幅用的電子管伏特計指示最大值。因為通常是用這些儀表直接來測量正弦量的有效值，所以這些儀表的刻度，在附有整流器的儀表裏是 $U = 1.11U_{cp}$ ，在電子管伏特計裏是 $U = \frac{1}{\sqrt{2}}u_{max}$ 。

在非正弦電流下， U 對 U_{cp} 及 U 對 u_{max} 之比可能較係數 1.11 及 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 差得很多，因此，在測量非正弦量的有效值時，整流器式及量振幅用的電子管式儀表的讀數就可能有大的誤差。

14-5. 具有週期性包線的非正弦曲線

除了分解成由頻率為基波頻率倍數的諧波所組成的三角級數的非正弦週期量以外，在實際上還遇到具有週期性包線並可分解成非整數倍的諧波分量的非正弦曲線。

這種曲線所描述的過程的週期，通常是較其中任一分量的週期要超過許多倍。拍和調幅即屬於這種現象。

a) 拍

振幅相同而頻率 ω_1 及 ω_2 不相等但很接近 ($\omega_1 > \omega_2$) 的兩正弦波相加後所得到的曲線就是拍的最簡單的例子：

$$f(t) = A_m (\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t). \quad (14-21)$$

將正弦之和加以轉換，則得到：

$$f(t) = 2A_m \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right). \quad (14-22)$$

曲線 $f(t)$ 是角頻率為 $\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ 的正弦曲線，其振幅則按着具有很小角頻率 $\Omega = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$ 的餘弦而改變：

$$f(t) = 2A_m \cos \Omega t \sin \omega t. \quad (14-23)$$

等於單位時間內包線極大值個數的頻率 $f_\sigma = \frac{\Omega}{\pi}$ 稱做拍的頻率(圖 14-2)。

在一般情況下，拍的週期 $T_\sigma = \frac{\pi}{\Omega}$ 不等於曲線 $f(t)$ 的週期。

實際上

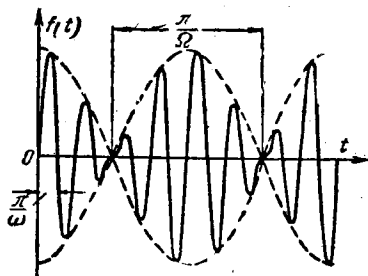


圖 14-2

$$f(t+T_\sigma) = 2A_m \cos(\Omega t + \pi) \sin\left(\omega t + \pi \frac{\omega}{\Omega}\right). \quad (14-24)$$

顯然，只有當 $\frac{\omega}{\Omega} = 2k-1$ (奇數) 時，拍的週期才與所得到振盪的週期相符合。在所有其餘的情況下，曲線 $f(t)$ 在拍的兩相鄰週期的區域內不重複，並且曲線 $f(t)$ 的週期超過拍的週期。當角頻率 ω 與 Ω 不成倍數時，嚴格的說，函數 $f(t)$ 的週期等於無窮大，因此，雖然曲線 $f(t)$ 可簡單地分解成爲兩正弦波，但它不是週期性的曲線。

6) 調波

正弦變量

$$f(t) = A_m \sin(\omega t + \psi) \quad (14-25)$$

含有三個參數：即振幅 A_m ，角頻率 ω 及相位 ψ 。到現在爲止所有這些量都假定是常數而與時間沒有關係。