

AC INPUT Ch3			GROUP C Ch4		
Vrms	256.49	V	Vrms	21.559	mV
Arms	172.26	mA	Arms	3.1420	mA
Watt	23.683	W	Watt	-7.9248	uW
VA	0.0000	Wh	VA	67.738	uVA
Freq	0.0000	Hz	Freq	0.0000	Hz
PF	44.183	VA	PF	-0.1170	

交流電功率量測基本知識

應用摘要

功率分析涉及的某些量測、術語和計算，對新入門的工程師和技術人員而言，可能是全新的資訊因而會感到困擾。且現今的功率轉換設備通常會產生複雜的電壓和電流波形，相較於簡單正弦波單次應用，可能會需要多種不同的方法。本應用摘要將簡介功率量測的基本概念，以及釐清下列主要術語的定義，例如：

- 均方根 (Root mean square)
- 實功率 (Real power)
- 視在功率 (Apparent power)
- 功率因數 (Power factor)
- 波峰因數 (Crest factor)
- 諧波失真 (Harmonic Distortion)

在更瞭解這些量測術語和概念，及其之間的關聯後，讓您在測試設計時，能更精確地解釋所得的量測結果。

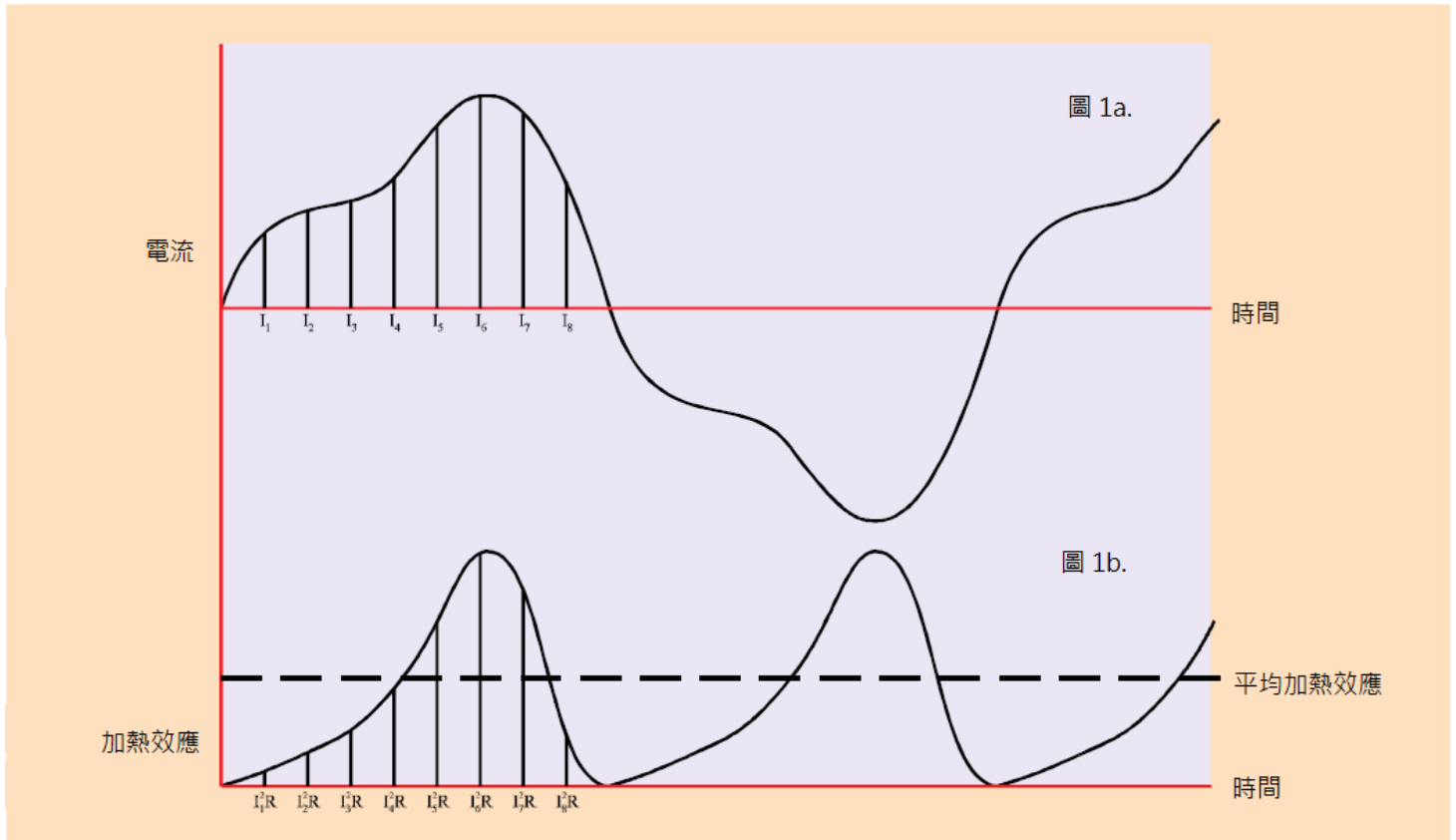


圖 1.

RMS (均方根值)

在指示交流電壓和電流時，RMS 值是最常用也十分實用的工具。交流電波形的 RMS 值會指示從該波形可提供的功率等級，這是任何交流電源最重要的屬性之一。

計算 RMS 值時應考量交流電流波形及其相關的熱效應，才能得到精確的結果，如上圖 1a 中所示。

若認為該電流流經電阻，即可利用下列公式算出在任何時刻的熱效應：

$$W = I^2 R$$

若將等間隔的座標除以電流週期，即可判定隨時間變化的熱效應，如圖 1b 所示。

平均熱效應 (功率) 為：

$$W = \frac{I_1^2 R + I_2^2 R + I_3^2 R \dots + I_n^2 R}{n}$$

若要找出可產生如上所示平均熱效應值的等同電流值，則適用下列公式：

$$I^2 R = \frac{I_1^2 R + I_2^2 R + I_3^2 R \dots + I_n^2 R}{n}$$

因此：

$$I = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 \dots + I_n^2}{n}}$$

- = 電流平方後、取平均值，再開根號
- = 電流的 RMS 值。

此值通常可視為交流電波形的有效值，因為這等同在阻性負載中產生相同熱效應 (功率) 的直流電流。

請注意，正弦波波形：

$$RMS \text{ 值} = \frac{\text{峰值}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{即 } RMS = 0.707 \times \text{峰值}$$

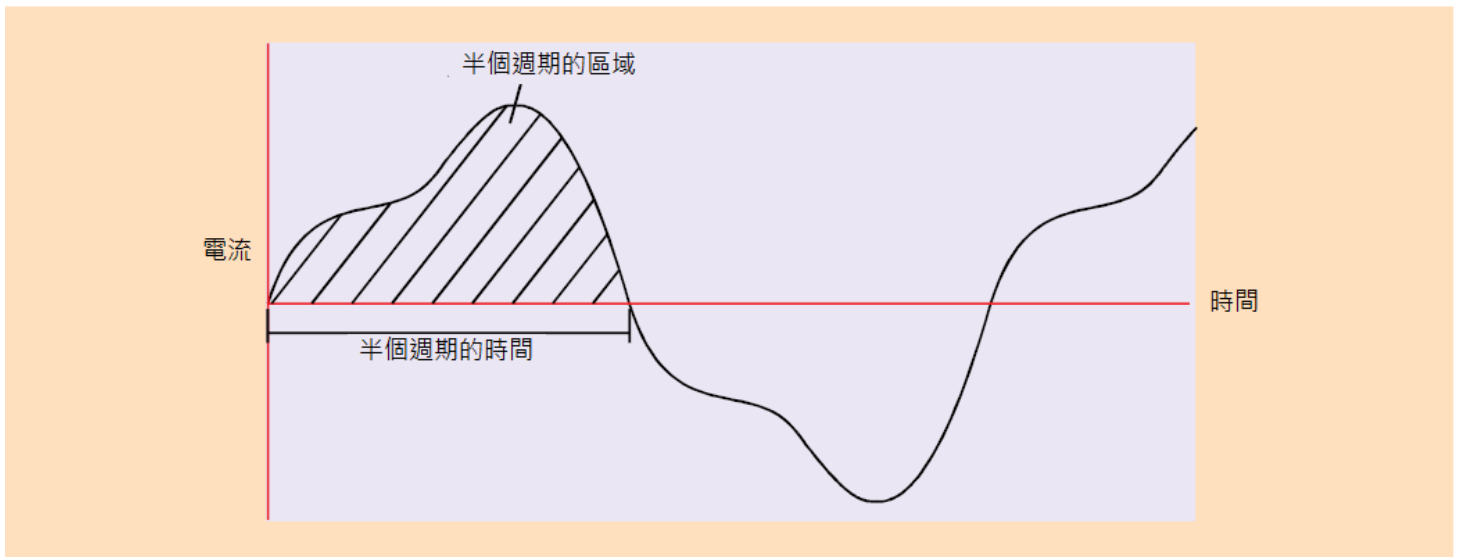


圖 2.

平均值

波形的平均值 (如圖 2 所示) 為：

$$\text{平均值} = \frac{\text{半個週期所包圍的區域}}{\text{半個週期的長度}}$$

請注意，平均值只有在超過半個波形週期時才具有真正的意義，因為對於一個對稱的波形而言，完整週期的平均值是零。大多數簡單的萬用電錶會先由 AC 波形全波整流來判斷 AC 值，然後再計算平均值。

不過，此類電錶將以 RMS 校準且將使用 RMS 與平均正弦波形之間的已知關聯，即

$$RMS = 1.1 \times \text{平均值}$$

但波形若不是純正弦波形時，此類電錶上的讀數即屬無效。基於此，示波器、電源分析儀和高品質萬用電錶是直接量測 RMS 值，而不是根據整流波形來推斷這些值。

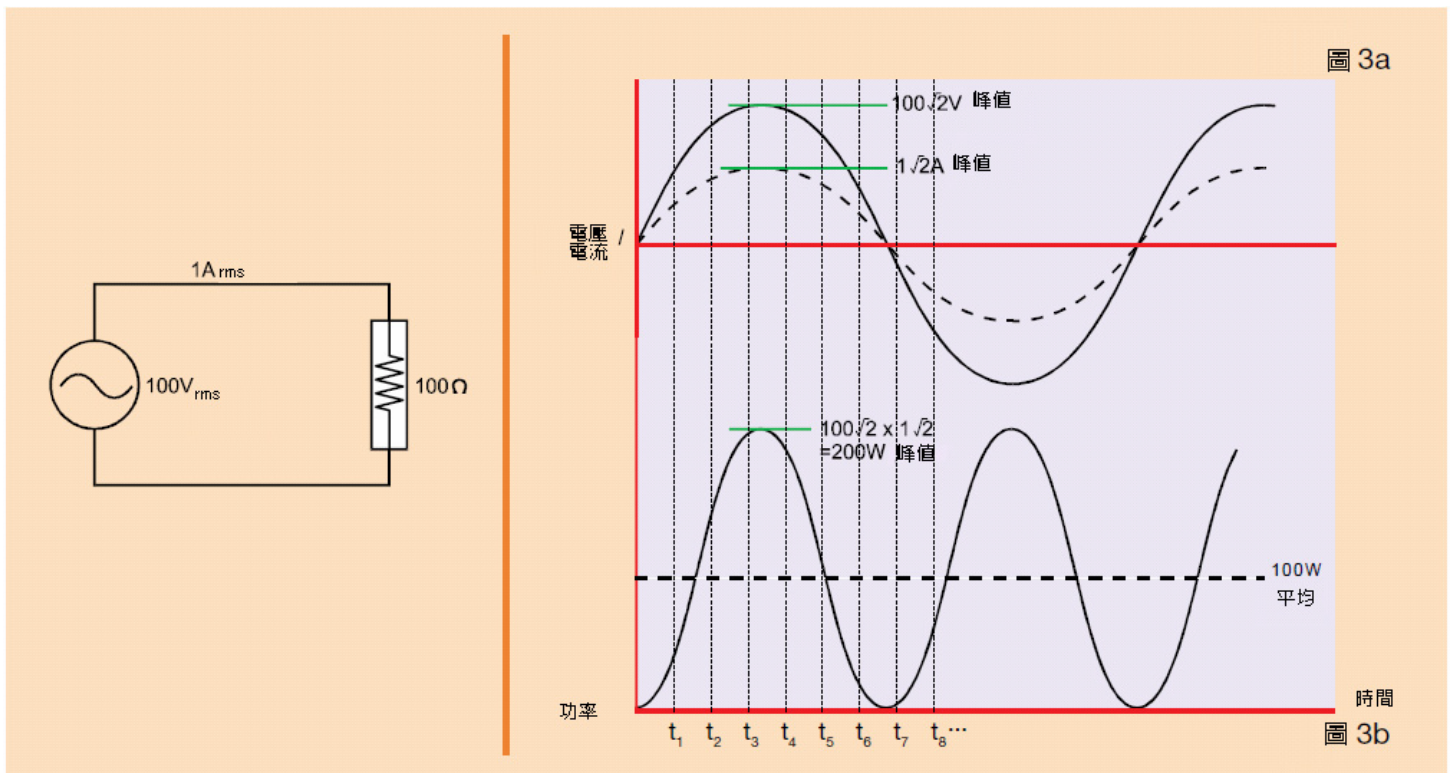


圖 3.

實功率與視在功率 (W 與 VA)

若 $100V_{rms}$ 的正弦電壓源連接到若為 100Ω 的阻性負載，則電壓和電流即如圖 3a 所示，並視為「同相」。

於任何時刻從電源流到負載的功率，其值是為該時刻電壓和電流的乘積，如圖 3b 所示。

請注意，功率在 0 和 200W 之間流入負載波動（為電源頻率的兩倍），且傳遞到負載的平均功率等於 100W。平均的瞬時功率值是「實功率」（有時稱為「有功功率」）。這是讓負載能實際作用的功率，單位是瓦特。請注意，為純阻性負載時，即可將 RMS 電壓 ($100V_{rms}$) 乘以 RMS 電流 ($1A_{rms}$)，得到實功率 (100W)。

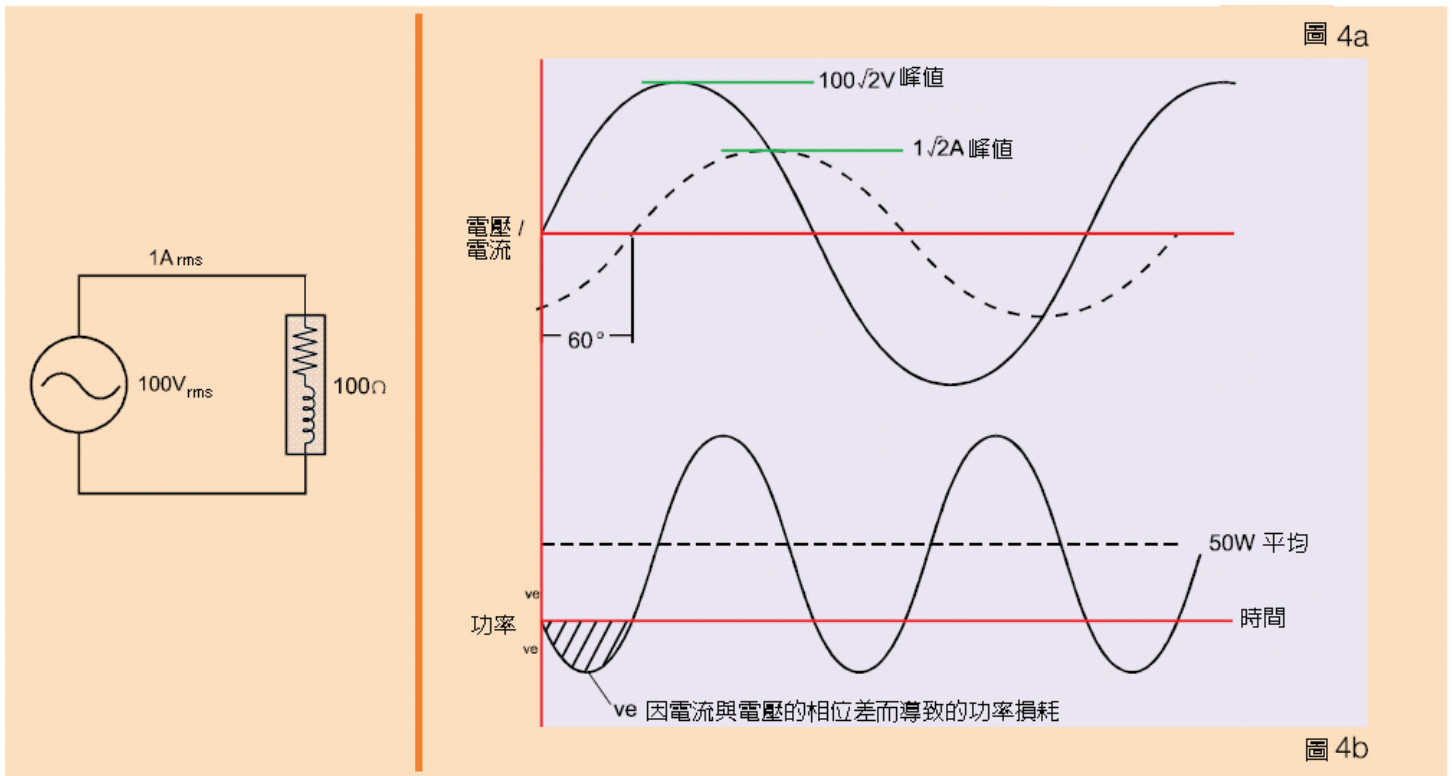


圖 4.

現在考慮一個更真實的負載。真實世界中的負載是無功負載，也就是有一定的電感、電容和電阻。例如，假設有一個具阻力和主導電感的負載，結合形成一個 100Ω 的阻抗。電流的流動仍會是 $1A_{rms}$ ，但不再與電壓同相位。如圖 4a 所示，電流滯後於電壓 60° 。

雖然電源以兩倍的電源頻率繼續波動，於每半個週期部分期間，是從電源流向負載；於其餘部分期間，實際上是從負載流到電源。因此，負載的平均淨流入遠小於在一個阻性負載的情況下（如圖 4b 所示），只有 $50W$ 的有用功率（即實功率）流到電感負載。

應用摘要

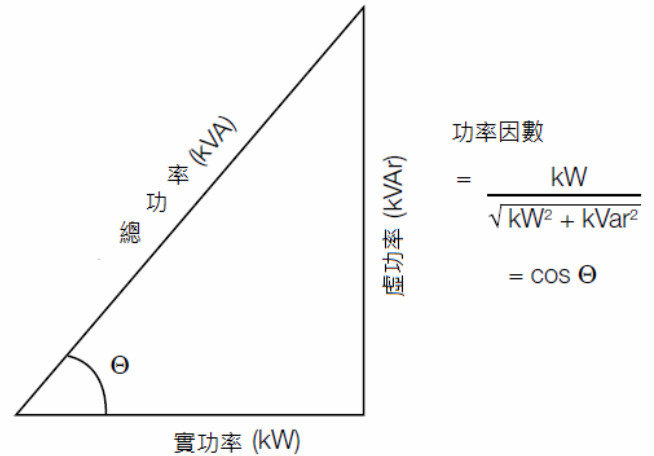
我們使用第一個範例中的相同技術來判斷實功率。在波形的同時點上量測電壓和電流、相乘，再取平均值。無論何種相位偏移或波形，這個計算實功率的方法均有效。

在上述的兩種情況中，RMS 電壓是 $100V_{rms}$ 、電流是 $1A_{rms}$ 。然而，在無功負載的情況下，實功率不等於 $V_{rms} \times I_{rms}$ 。即，執行工作時可用負載只有 50W 而非 100W。不幸的是，即使沒有用，電力系統中仍需運載全部的 100W。RMS 電壓和 RMS 電流所產生結果的單位是伏安 (VA)，並定義如下：

$$\text{視在功率} = V_{rms} \times I_{rms}$$

有時考量視在功率與實功率之間的差異是有助益的。視在功率與實功率之間的向量差異稱為虛功率，其單位是伏安、虛功率 (Var)。虛功率測量假設，從視在功率為最長邊 (斜邊) 的正三角形來看視在功率、實功率和虛功率。因此：

$$\text{虛功率} = \sqrt{\text{視在功率}^2 - \text{實功率}^2}$$



然而，這種關聯只適用於正弦波形，這在現今電力電子裝置中已越來越少見。

輸出的實功率取決於負載的性質。無法從已知 RMS 電壓和電流來確定實功率的值。這只能利用具計算瞬時電壓和電流值所產生結果，以及顯示結果平均值能力的真正交流電電錶 (或示波器) 得知 (如，評估熱損失或效率)。

功率因數

現在應該清楚明白，轉輸的交流電電源與直流電系統正好相反（純阻性負載除外），不只是 RMS 電壓和 RMS 電流值的乘積。其中一種表示視在功率與實功率之間關聯的方式，是先前已討論過的虛功率的概念。然而，在大多數的應用中，更易於掌握和應用實功率與視在功率之間的簡單比率。這比率稱為功率因數，其定義如下：

$$\text{功率因數} = \frac{\text{實功率}}{\text{視在功率}}$$

在前例中，有用的功率 (50 W) 正好是視在功率 (100 VA) 的一半，因此，我們說功率因數是 0.5 或 50% (請注意，功率因數的單位是無因次的)。

在正弦波電壓和電流的情況時，功率因數實際是等於電壓和電流波形間相位角 (θ) 的餘弦值。例如，前文所述的電感性負載，讓電流滯後於電壓 60° 。

因此：

$$PF = \cos\theta = \cos 60^\circ = 0.5$$

這就是為什麼功率因數經常稱為 $\cos\theta$ 的原因。但是請務必記住，這只是在電壓和電流均為正弦波時的情況 [圖 5 (I_1 和 I_2)]；且在其他任何情況時，功率因數不等於 $\cos\theta$ [圖 5 (I_3)]。當使用功率因數錶讀到 $\cos\theta$ 時，必須記住此點，因為除非是純正弦波電壓和電流波形，否則無效。實功率因數錶會如上文所述地計算實功率與視在功率的比率。

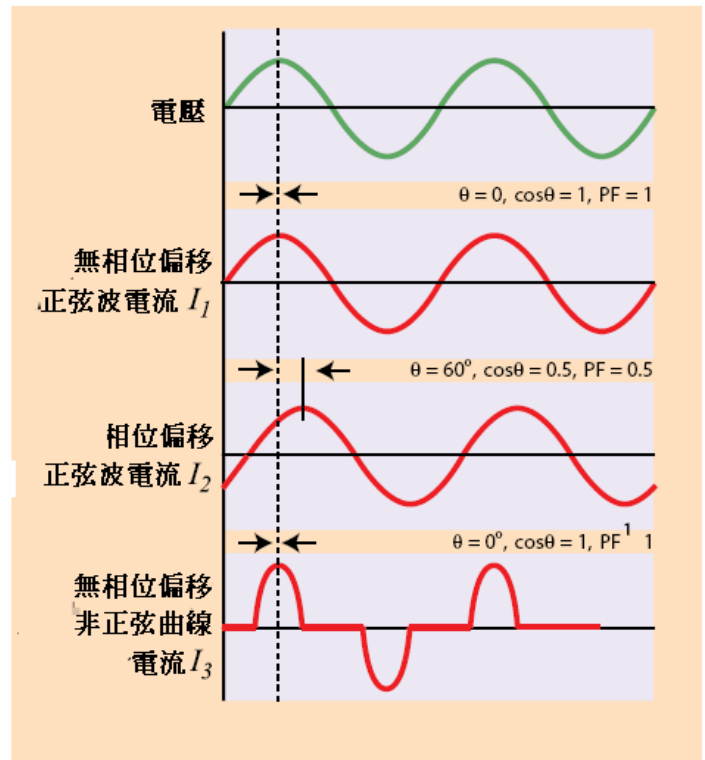


圖 5.

波峰因數

若為正弦波波形，已證明：

$$\text{峰值} = \text{RMS} \times \sqrt{2}$$

峰值與 RMS 之間的關聯稱為波峰因數，且定義為：

$$\text{波峰因數} = \frac{\text{峰值}}{\text{RMS 值}}$$

因此，若為正弦：

$$\text{波峰因數} = \sqrt{2} \cong 1.41$$

許多連接到交流電源的現代化設備項目是採用非正弦電流波形，包括：電源供應器、燈調光器，甚至是日光燈。

典型的交換式電源 (SMPS) 將從交流電源取得電流，如圖 6 所示。明顯可看出描繪電流波形的波峰因數遠大於 1.414；的確，大多數交換式電源和馬達速度控制器的電流波峰因數均大於或等於 3。因此，當供應此類負載的設備必須能供給與失真波形相關的大峰值電流時，大電流波峰因數必須針對設備加上額外的壓力。特別重要的是，將由有限制的阻抗電源（如備用的逆變器）供給負載。由此可見，若使用交流電設備時，請務必瞭解汲取電流的波峰因數及其 RMS 電流。

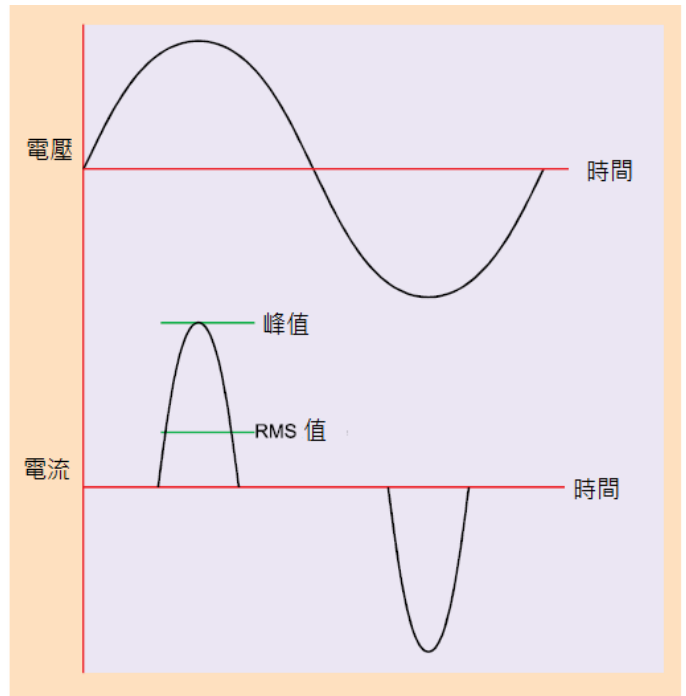


圖 6.

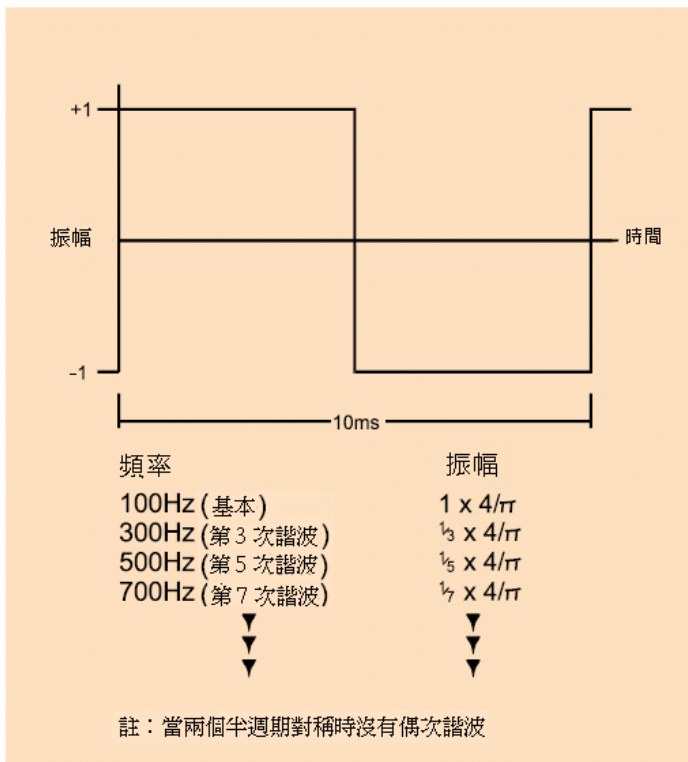


圖 7.

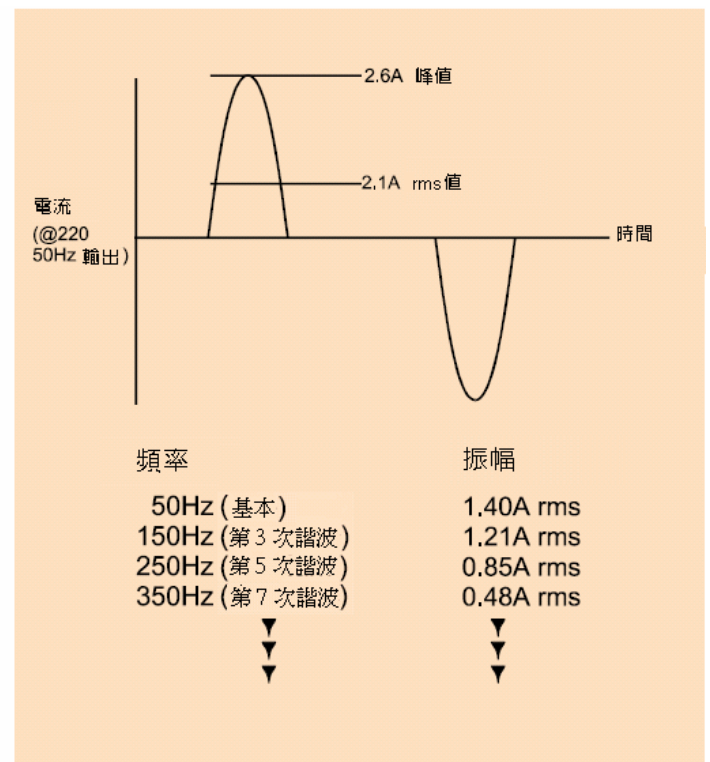


圖 8.

諧波失真

若負載引出電流波形的失真，這是有用的，除了能知道波峰因數外，還可以量化波形形狀的失真。示波器會指示失真，但是不會指示失真的程度。

藉由傅立葉 (Fourier) 分析可以顯示，非正弦電流波形包括在電源頻率的基本元件和一系列的諧波 (即在頻率的元件是電源頻率的整倍數)。例如，100Hz 的方波是由圖 7 所示的元件組成。方波相較於純正弦波，顯然非常失真。然而，由如以 SMPS、燈調光器或甚至是速度控制的洗衣機馬達所繪製的電流波形，都可以包含更顯著的諧波。圖 8 顯示由常用 SMPS 模型所繪製的諧波以及該電流的諧波內容。

額外的諧波電流不僅流過電源本身，還流過所有與電源相關的配電電纜、變壓器和開關，進而導致額外的損失。

限制設備產生諧波程度的需求與日俱增。許多地區已有此類控制，對某些類型負載的諧波電流程度提出強制性限制。在利用國際公認的標準 (如 EN61000-3) 下，此類的監管措施越來越普遍。因此，產品設計者更加需要瞭解產品是否會產生諧波及其程度為何。

交流電參數的量測

在此應用摘要中，已涵蓋大部份的基本交流電功率參數。還有許多其他的專門參數，但通常是用於評估交流電系統。瞭解這些基本參數後，即可理解在實驗室測試自己的系統過程期間所看到的量測。

Tektronix 聯絡方式：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900
奧地利 00800 2255 4835*
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777
比利時 00800 2255 4835*
巴西 +55 (11) 37597600
加拿大 1 800 833 9200
中東歐、烏克蘭及波羅的海諸國 +41 52 675 3777
中歐與希臘 +41 52 675 3777
丹麥 +45 80 88 1401
芬蘭 +41 52 675 3777
法國 00800 2255 4835*
德國 00800 2255 4835*
香港 400 820 5835
印度 000 800 650 1835
義大利 00800 2255 4835*
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 (52) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777
荷蘭 00800 2255 4835*
挪威 800 16098
中國 400 820 5835
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
南韓 001 800 8255 2835
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
南非 +41 52 675 3777
西班牙 00800 2255 4835*
瑞典 00800 2255 4835*
瑞士 00800 2255 4835*
台灣 886 (2) 26566688
英國與愛爾蘭 00800 2255 4835*
美國 1 800 833 9200
* 歐洲免付費電話，若沒接通，請撥：+41 52 675 3777
最後更新日 2011 年 2 月 10 日

若需進一步資訊，Tektronix 維護完善的一套應用指南、技術簡介和其他資源，並不斷擴大，幫助工程師處理尖端技術。請造訪 www.tektronix.com.tw



Copyright © Tektronix, Inc. 版權所有。Tektronix 產品受到已經簽發及正在申請的美國和國外專利的保護。本文中的資訊代替以前出版的所有資料。技術規格和價格如有變更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc 的註冊商標。本文提到的所有其他商標均為各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

2013 年 4 月 13 日

55T-28941-0

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 台北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-1158

太克網站：www.tektronix.com.tw

Tektronix[®]

