

Keysight Technologies

使用數位萬用電錶

執行高效交流均方根量測

應用說明





簡介

如果您使用數位萬用電錶（DMM）量測交流電壓，就必須了解電錶提供的讀值類型，以正確解讀量測結果。您的儀錶提供的是峰值、均值、均方根（RMS）值，還是其他類型數值？如果答案是「其他類型數值」，那麼您可能遇到麻煩了，而且問題通常出在交流均方根量測。本應用說明將幫助您了解量測均方根值時，DMM 採用的各種技術、信號如何影響量測品質，以及如何避免常見的量測錯誤。

量測交流均方根

乍看之下，交流均方根值量測相當複雜。既然如此複雜，我們為什麼還要量測呢？這是因為真均方根是唯一不受信號形狀影響的交流電壓讀值。通常是最實用的真實波形量測方式。

均方根通常用來量測等效熱值，與等效直流值驅動的電阻負載功耗有關。例如， $1V_{pk}$ 正弦波為電阻負載提供的功率與 $0.707V_{dc}$ 信號相同。可靠的信號均方根讀值可讓您更了解信號對電路所造成之影響。

圖 1 為四個常見的電壓參數。峰值電壓 (V_{pk}) 和峰對峰值電壓 (V_{pk-pk}) 很簡單。 V_{avg} 是指一個完整波形週期中所有瞬間值的平均。下方則向您說明我們是如何計算 V_{rms} 的。

對正弦波來說，波形的負半波會與正半波相互抵消，經過一個週期後平均值為零。這類平均值無法提供太多關於信號有效振幅的詳細資訊，因此大多數儀錶會根據波形的絕對值來計算 V_{avg} 。正弦波的絕對值為 $V_{pk} \times 0.637$ (圖 2)。

您可先計算波形中每個點的平方值，然後計算這些平方值的平均值，最後計算平均值的平方根，由此計算出 V_{rms} 。如果是純正弦波，則有幾個捷徑可行：只需將 $V_{pk} \times 0.707$ 或 $V_{avg} \times 1.11$ 即可。平價峰值響應或平均響應電錶便是依據這些縮放係數而運作。

縮放係數僅適用純正弦波。若為其他類型的信號，使用此方法會得到錯誤的答案。如果您使用的儀錶並非設計來執行此任務，便很可能會得到嚴重錯誤的結果—視儀錶和信號而定，誤差可達 40% 或更高。

V_{pk} 與 V_{rms} 的比率稱為波峰因數，是決定量測準確度的重要因素。波峰因數可以衡量波形峰值相對於其 RMS 值的高度。波峰因數越高，要進行精確的交流量測就越困難。

有兩個量測挑戰與高波峰因數有關。第一個挑戰涉及輸入範圍。請想像一個信號週期非常低，但峰值振幅相對較高的脈衝序列。這樣的信號會使儀錶同時量測高峯值和低很多的均方根值，可能會在較高的一端造成過載問題，並在較低的一端產生解析度問題。

第二個挑戰是信號中的高頻能量量。一般而言，高波峰因數代表諧波較多，會對所有儀錶造成問題。嘗試量測均方根峰值和平均響應電錶更是困難重重。

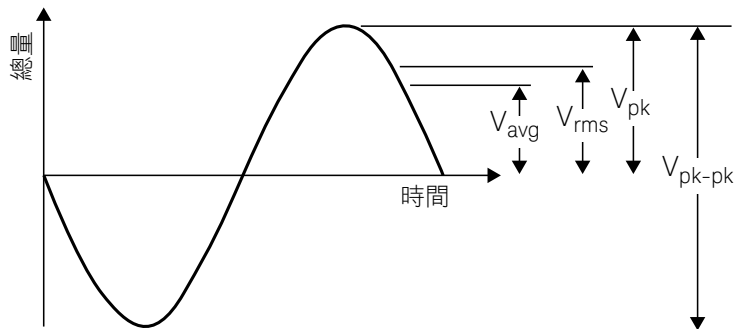


圖 1：常見電壓參數

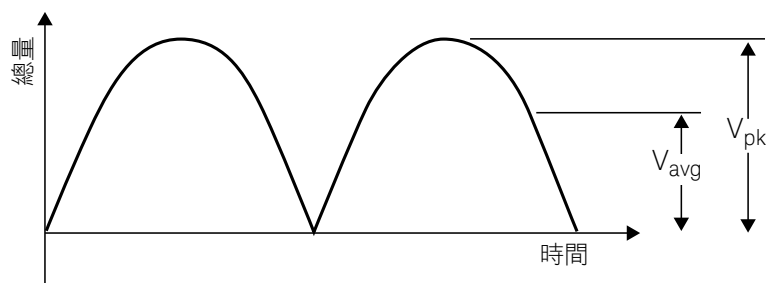


圖 2： V_{avg} 是根據波形絕對值計算而得。

改善交流均方根量測的秘訣

若考慮量測均方根的重要性和難度，進行日常量測任務的最佳方式為何？下列秘訣將幫助您獲得更好的量測結果。

秘訣 1： 了解您的數位萬用電錶如何量測均方根。

在量測均方根值方面，不同的萬用電錶各有所長。大致了解萬用電錶在量測均方根時所採用的技術，可幫助您判斷其是否符合需求。這裡簡要說明了四種常見萬用電錶技術在操作上的優缺點。前三種透過將交流轉換為直流來進行量測；最後一種則將類比輸入信號數位化，再計算均方根。

熱交流轉直流轉換器

這種舊均方根量測技術採用等效熱值法。交流信號會使熱電耦溫度上升，電錶的直流部分便可讀取熱電耦輸出。此方法的優點包括頻寬較寬和能夠處理極高波峰因數的能力，代表其可為各種真實信號提供真均方根。

等效熱值法的缺點是成本較高，且在量測速度與低頻準確度之間進行取捨時缺乏靈活性。基於這些原因，最新一代的數位萬用電錶並未採用這項技術。

如果您需量測高頻寬和高波峰因數信號，並得到不錯的準確度，可以搜尋這類熱模型。如果高準確度對您而言非常重要，則可以考慮採用數位取樣法的萬用電錶。

峰值和平均值交流轉直流轉換器

平價電錶（特別是平價手持式電錶）通常會從峰值或平均值來得到均方根位準。這類電錶僅可為未失真的純正弦波計算真均方根。如果您需要量測真實信號的真均方根，這類電錶並不適合。

類比交流轉直流轉換器

很多中階數位萬用電錶使用一系列類比電路來計算平方值，再計算其平均值，最後計算平均值的平方根，可為幾乎所有信號類型計算真均方根。

數位取樣

最後一個方法採用與數位示波器類似的取樣技術，來產生一套透過均方根演算法傳送的資料點。同步取樣使用多個通路來擷取信號，如圖 3 所示。每個後續通路都稍有延遲，當通路足夠時，信號便能以非常高的解析度進行數位化。

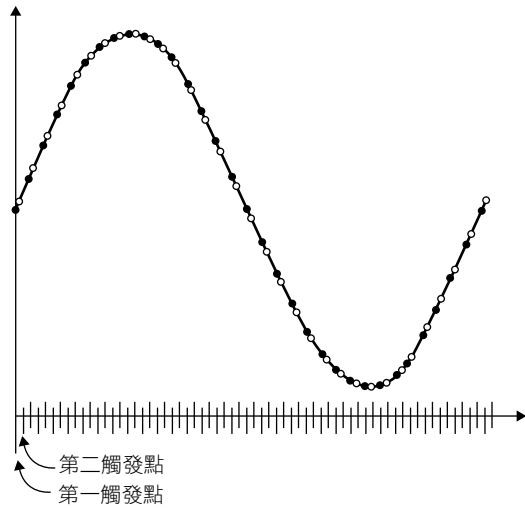


圖 3：數位取樣

此技術具有以下幾個優點：可為多種信號提供真均方根，並具備高準確度，此外即使使用較慢的類比數位轉換器，也能夠實現非常快速有效的取樣率和較寬頻寬。但是這種方法僅適用重複信號。

如果您著重準確的均方根量測，並且可能需要量測脈衝串列和其他複雜信號，那麼真均方根電錶將是您唯一的解決方案。而在另一方面，使用峰值或平均響應電錶則可為您節省資金。選擇時只要記得這些電錶可達到哪些功能，又有哪些無法達成即可。

秘訣 2：

了解信號對量測品質有何影響。

讓我們看看幾個不同的信號，首先是正弦波。純正弦波的波峰因數為 1.414，峰值響應電錶只需要調整 V_{pk} 值即可計算出準確的均方根。若 V_{pk} 值為 500 mV，我們可以預期均方根值約為 350 至 357 mV（此範圍考慮了所使用信號產生器的誤差）。果然，真均方根電錶的信號讀值確實為 353.53 mV。價格較低的平均響應電錶之信號讀值則為 351 mV。

和純正弦波不同，圖 4 中的三角波有一些較高頻能量，因此波峰因數為 1.732 也就不足為奇。將峰值除以波峰因數，得到的均方根預計約為 290 mV。現在，平均響應電錶開始出現問題，其信號讀值為 276 mV，與真均方根電錶的讀值 288.68 mV 相比，存在 4% 的誤差。

讓我們來看一下脈衝序列，此處的波峰因數取決於信號週期。您可透過下列公式得出波峰因數的近似值：

$$CF = \sqrt{\frac{T}{t}}$$

其中：

CF = 波峰因數

T = 波形週期

t = 週期中有信號的部分

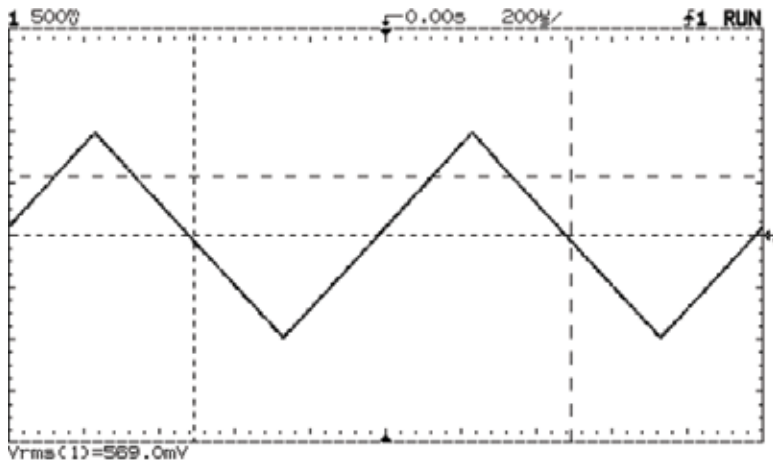


圖 4：量測三角波的 RMS

此數值也等於信號週期倒數的平方根。以圖 5 中的脈衝序列為例，其信號週期為 2%，波峰因數則為 50 的平方根，即 7.071。

正弦波和三角波的均方根值計算非常簡單，均方根值為 V_{pk} 除以波峰因數。但計算脈衝序列的交流均方根值較為複雜：

$$V_{rms} = \frac{V_{pk}}{CF} \times \sqrt{\left(1 - \frac{1}{CF}\right)^2}$$

使用此公式，圖 5 中信號週期為 2% 的 $2 \cdot V_{pk}$ 脈衝序列理論均方根值約為 280 mV。即使在這種已經超出指定效能範圍的情況下，真均方根電錶的讀值仍為 275.9 mV。另一方面，平均響應電錶的讀值為 73 mV，誤差已達 74%。這是一個極端的例子，但能幫助您了解高波峰因數對量測帶來的影響。

讓我們再看看另一種波形，也就是圖 6 中含有雜訊的雜亂正弦波。真均方根電錶的讀值為 348.99 mV，與數位示波器的量測值 345 mV 相當接近。平均響應電錶的量測值為 273 mV，誤差超過 20%。此誤差是由平均響應電錶的有限頻寬所致。信號含有平均響應電錶未考慮在內的高頻能量。

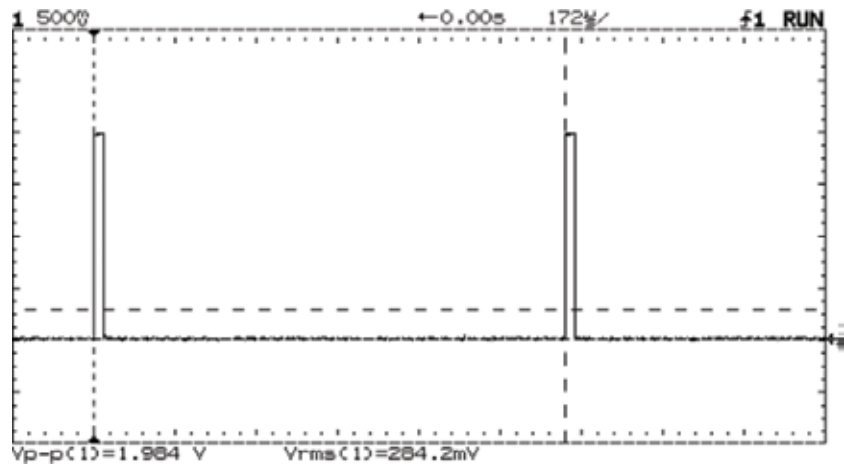


圖 5：量測低信號週期脈衝序列的均方根

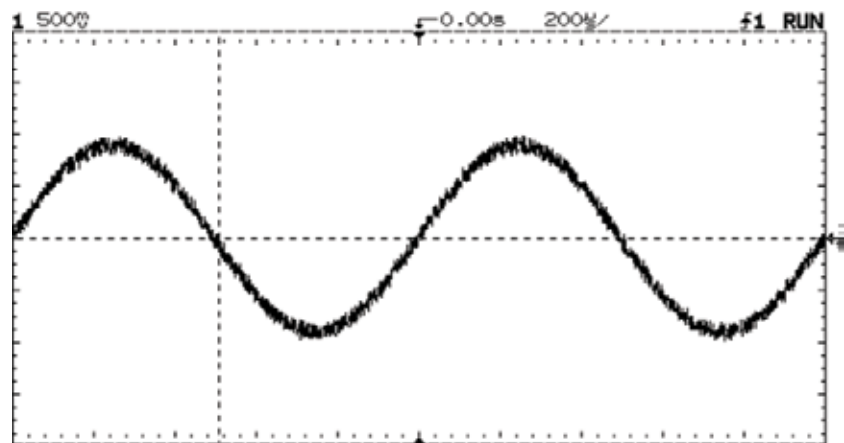


圖 6：量測含雜訊正弦波的均方根

秘訣 3： 避免常見的量測陷阱。

如果交流均方根讀值不合理，請勿自動假設電路有問題—問題可能在於您的量測方式。下方列出一些可能會影響均方根量測的常見陷阱。其中有一些我們已經討論過，您之前可能也已遇過當中許多陷阱。

低於全刻度的量測

大多數儀錶規定交流輸入最低需為全刻度的 5% 或 10%（部分可低至全刻度的 1%）。為了達到最大準確度，量測應盡量接近全刻度。某些情況下，如果手動設定可以讓輸入範圍達到最大，您可能需關閉自動範圍調整功能。

交流和直流耦合

匆忙之下很容易會忽略這個簡單問題。如果您的電錶為交流耦合（或具有可選的交流耦合），便會以與輸入信號串聯的方式插入一個電容器，電容器會封鎖信號中的直流成分。此舉可能是您想要的，也可能適得其反，全視信號和您嘗試想達到的結果而定。

如果您想要納入直流成分，但電錶為交流耦合，那麼量測的結果可能會大錯特錯。另請注意，如果您需要在大直流偏移上量測小交流信號，但您的電錶並無法直接提供交流+直流，您可使用交流耦合量測交流成分，並另外量測直流成分。之後再使用均方根加法將二者加總：

$$AC + DC = \sqrt{(AC_{rms})^2 + DC^2}$$

高波峰因數信號的飽和問題

高波峰因數信號除了會導致高頻成分問題，還會破壞輸入範圍。請回想一下信號週期為 2% 的脈衝序列。其超過 7 的波峰因數代表峰值比均方根值高出七倍以上。表示您的儀錶需為低均方根值提供足夠的振幅解析度，且需避免高峰值達到飽和。

更糟糕的是，您通常也不會得到波峰因數飽和的過載指示。因此檢查儀錶的最大波峰因數規格，避免超標是非常重要的。

頻寬錯誤

如果量測中沒有考量較為明顯的成分，諧波較多的信號就會產生低讀值量測結果。請查閱儀器的產品規格表，了解您需要處理多少頻寬。然後確保您的信號不會超過該頻寬。

自熱錯誤

高電壓會導致儀錶的信號調節元件溫度升高，因而造成量測值發生偏移。請留意最大輸入電壓；如果您超過最大輸入電壓，請先讓電錶冷卻一段時間，再進行下一次量測。

趨穩時間

根據定義，均方根量測需對所量測之最低頻率的多個週期計算平均時間。因此，如果您不在意特定量測中的低頻率，您的數位萬用電錶也配備可選平均濾波器，請切換到速度更快的濾波器。

結論

雖然交流均方根量測乍看之下相當複雜，但具備相關知識可幫助您因應這樣的複雜性。如果您還沒有這樣做，請確認您數位萬用電錶產品規格書所列的波峰因數、頻寬及其他極限值。請盡可能不要超過這些極限值。

在極限值內運作的高品質儀錶，可持續提供可靠的量測結果。

如需更多是德科技數位萬用電錶的相關資訊，請瀏覽

www.keysight.com/find/dmm

專有名詞

波峰因數 — 用於衡量波形峰值相對於其均方根值的高度

DMM — 數位萬用電錶

rms — 均方根（root-mean-square）的縮寫

真均方根 — 「真」均方根一詞，係用來區分實際量測均方根值的儀錶與從峰值或平均值計算均方根值的儀錶

V_{avg} — 平均電壓，使用波形的絕對值（將週期的負半波當作正半波處理）

V_{pk} — 峰值電壓

V_{pk-pk} — 峰對峰電壓

V_{rms} — 交流電壓的均方根值

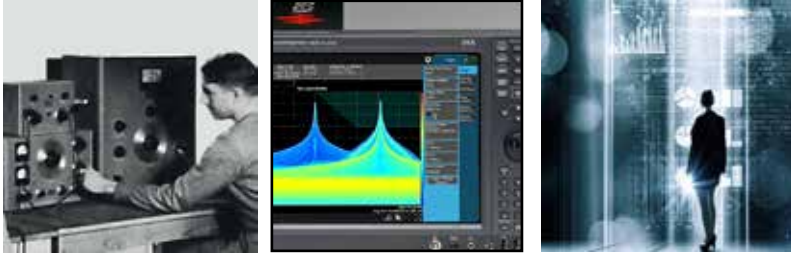
相關文件

Keysight Truevolt 系列數位萬用電錶產品規格書，文件編號 5991-1983EN

演進

是德科技獨一無二的硬體、軟體，支援及專家組合，可協助您拓展全新的局面。

讓我們是帶動前瞻技術不斷演進的推手。



薪火相傳 - 惠普將火炬傳給安捷倫，再由安捷倫交棒給是德科技

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

www.keysight.com.tw/find/contactus

台灣是德科技網站：

www.keysight.com.tw

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段 2 號 7 樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園市平鎮區高雙路 20 號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路 6 號 25 樓之 1

電話：(07) 535-5035

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊。

是德科技服務

KEYSIGHT SERVICES
Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

www.keysight.com/find/service

是德科技擁有領先業界且陣容堅強的專業人員、量測程序和測試工具，可提供一應俱全的設計、測試和量測服務。如此一來，我們協助您部署新技術，並改善量測程序，以便降低成本。



三年保固

是德科技的卓越產品與長達 3 年保固服務的完美結合，助您一臂之力達成業務目標：增強操作便利性，降低持有成本，增強量測信心。



是德科技保固保證方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans

是德科技提供長達十年保固，以避免任何意外的維修費用，確保儀器能夠在規格範圍內運作，讓您在永遠信賴儀器提供的量測準確度。

是德科技銷售夥伴

www.keysight.com/find/channelpartners

兩全其美：是德科技專業的量測技術與齊備的產品，搭配是德科技銷售夥伴的服務與彈性價格。

DEKRA Certified
ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

是德科技 -

DEKRA Certified ISO 9001:2015

品質管理系統。

本文件中的產品規格及說明如有修改，恕不另行通知。

© Keysight Technologies, 2006-2014, 2018

Published in USA, June 18, 2018

中文版：5988-6916ZHA

www.keysight.com.tw