

Keysight Technologies  
能源轉換效率量測方法

應用說明

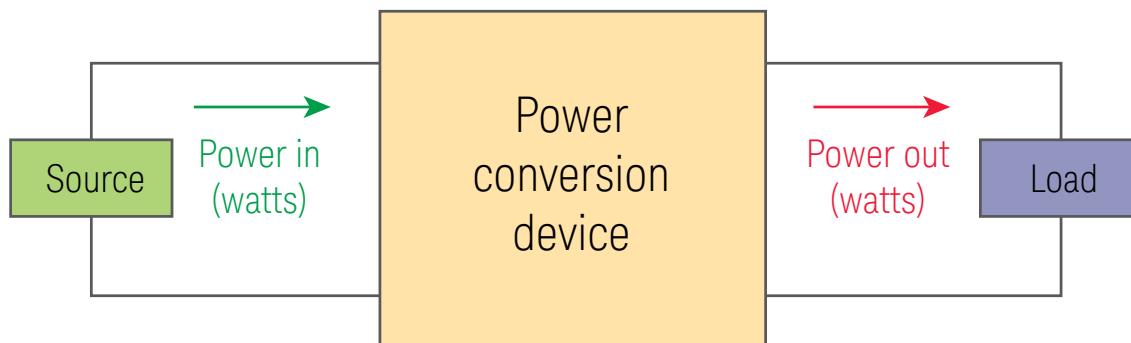
## 何謂能源轉換效率？

效率是對為完成特定任務而投入的時間和人力之有效性的評估。如果此任務是從一種形式的能量轉換為另一種能量，那麼轉換效率代表著能量轉換的實施效果。對於電力轉換流程而言，效率量測方式為輸入功率（單位為瓦特）除以輸出功率（單位為瓦特），以百分比表示。在電力電子學中，希臘字母  $\eta$  用於表示效率。請參見圖 1。

理想的電力轉換流程，其效率為 100%。但是，達到 100% 的效率不可能實現，因為所有真實的電子線路均會以熱能的形式損耗部分能量。部分輸入功率用於進行能量轉換，因此輸入功率不會完全轉換為輸出功率。如此一來，效率必定小於 100%。

## 能量轉換效率的重要性

顯而易見，能量轉換流程的效率越高，損耗的能量就越少。能量損耗會產生諸多費用：資金（需為消耗的能源付費）；時間（需更頻繁地為電池供電裝置充電）；產品尺寸（因為能量損耗而產生的熱量，必須予以適當消散）；以及環境污染（需產生更多能源以補償損耗的能量）。為了降低與能量轉換流程相關的費用，工程師需投入大量精力來盡可能提高轉換流程效率。國際標準對交流電源供電的家用電器功耗位準進行了限制。例如，美國能源部 (DOE) 已制訂電子產品必須符合的能源效率標準。此外，「能源之星」計畫，促使廠商自願遵循比 DOE 標準更為嚴苛的標準。這類計畫突顯了透過適當的設計能量轉換流程，降低能源消耗，並且大幅提高轉換效率的重要性。此外，HEV/EV（油電混合車/電動車）市場的快速發展，加深了汽車的電氣化程度，進而推動業界對可實現更高效之能量轉換技術的需求。所有這些發展趨勢，促使您需有效量測並管理您設計的功耗情況。



$$\text{Efficiency}(\%) = \eta = \frac{\text{Power out (W)}}{\text{Power in (W)}} \times 100$$

圖 1：效率 ( $\eta$ ) 是輸入功率（單位為瓦特）除以輸出功率（單位為瓦特）所得的百分比。

## 能量轉換效率的量測方式

能量轉換效率其實就是兩個功率量測值的比例，因此效率量測方式著重於功率量測方式。有效功率（量測單位為瓦特），是指確實發揮作用或產生熱量的功率。亦即能源消耗的比例。電力量測方法，取決於功率信號的形式。對於簡單的直流信號，因電壓和電流始終保持恆定，其有效功率（單位為瓦特）是測得的直流電壓與直流電流的乘積。您可使用標準萬用電錶來獲得這些量測值。但是，對於交流信號而言，電壓或電流會隨著時間而變化，使得有效功率更難以量測，因而需使用更為專業的設備進行量測。

為測得有效功率（單位為瓦特），必須將某個時間點的暫態電壓  $v(t)$  與某個時間點的暫態電流  $i(t)$  相乘，以獲得某個時刻的暫態功率  $p(t)$ 。由於此暫態功率會隨時間變化，您必須計算平均值，方法如下：對整數個週期內的功率進行積分運算，再將該值除以總積分時間。計算後可得出元件在電路中（電壓為  $v(t)$  且電流為  $i(t)$  時）所消耗的瓦特數。假定電壓和電流均是週期  $T$  內的週期波形，根據週期  $T$  內週期波形對功率進行嚴格數學計算的方式如下：

$$\text{Average power in watts} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) * i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

以下章節更詳細地說明了這些量測值以及用於獲得這些量測值的設備。

### 用於功率以及效率量測的萬用電錶

上述平均功率（單位為瓦特）等式的特殊之處在於，電壓和電流為直流形式，代表電壓和電流不會隨時間而變化。只有在這種情況下，才可使用萬用電錶提供量測值，以便計算有效功率（單位為瓦特）。萬用電錶適合用於獲得基本的單量測值（例如交流或直流電壓、交流或直流電流或者電阻），但是並不具備直接功率量測功能。量測功率需同時量測電壓和電流，而常見的萬用電錶一次只能量測一個參數。因此，如果使用萬用電錶量測功率，那麼您必須使用兩個不同的萬用電錶（一個用來量測電壓；一個用來量測電流），或者您可使用同一個萬用電錶，但分成兩次來量測兩個參數。如果電壓和電流均為純直流形式（不會隨時間變化），那麼分成不同數量量測電壓和電流，是可行的；按照定義，它們不會發生變化。雖然這種情況比較少見，但是還是可能出現，重申一下，只有在這種情況下，才可使用萬用電錶提供量測值，以便計算功率。

如果電壓或者電流信號為交流形式（隨時間而變化），則不可使用萬用電錶提供的量測值來計算功率（單位為瓦特）。萬用電錶的交流電壓以及交流電流功能可量測 RMS（均方根）值，將兩者相乘後，得到的是視在功率（單位為伏安），而非有效功率（單位為瓦特）。有效功率（單位為瓦特）是計算效率時需要用到的重要功率量測值。

### 功率以及效率量測用示波器

平均功率（單位為瓦特）的量測涉及同時獲得一段時間內的電壓和電流值，而示波器是完成此一任務的理想儀器。藉由使用合適的電壓和電流探棒，示波器可輕鬆擷取電壓-時間以及電流-時間波形。但是，使用這些波形來獲得功率量測值（單位為瓦特），更具挑戰性。基本型示波器功能有限，無法幫您完成此任務。不過很多示波器都具備數學函數功能，方便您將這兩個波形進行相乘處理。如果使用此功能將電壓波形與電流波形相乘，即可得到暫態功率波形。此波形為暫態伏安而非所需的功率，因此您需使用示波器的其他量測功能來獲得功率值。例如，如果您的示波器具有內建量測函數功能，可計算波形的平均值，那麼您可暫態功率波形中套用此量測函數，以獲得功率值。請務必以精確的整數個週期為基礎來執行此一操作，以獲得準確的結果。為獲得能量轉換元件的效率值，您需使用四個通道來完成此任務：兩個用於量測電壓與電流，以獲得輸入功率，另外兩個用於量測電壓與電流，以獲得輸出功率。之後，將輸入功率（單位為瓦特）除以輸出功率（單位為瓦特），即可計算出效率。圖 2 與圖 3 為示波器功率量測範例，測試對象為微型逆變器，其輸入端（約 31 V，絕大部分為直流形式）連接太陽能電池陣列模擬器，輸出端（約 240 V，交流）連接交流電網。輸入功率的量測值為 238.245 W，輸出功率的量測值為 230.814 W，計算所得的效率為 96.88%。

待測元件：  
微型逆變器

兩個差動  
電壓探棒

兩個電流探棒

示波器

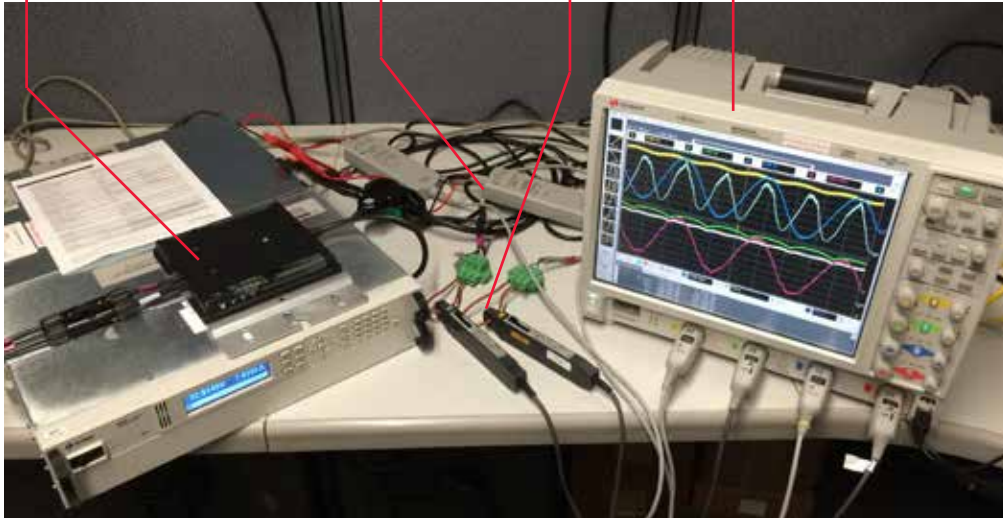


圖 2：是德科技四通道示波器利用數學函數功能，從電壓與電流波形得出微型逆變器的輸入與輸出功率波形。然後，功率波形平均量測值可得到功率值，再從功率值計算出效率。

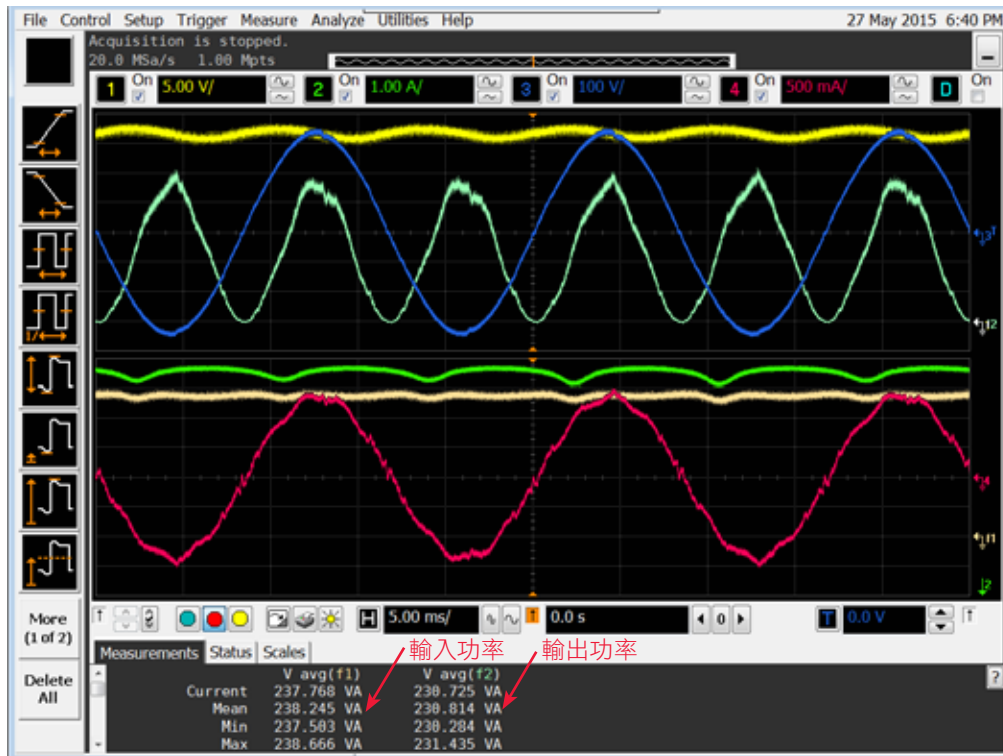


圖 3：示波器螢幕擷取畫面的特寫顯示數學功率結果。平均輸入功率為 238.245 W，平均輸出功率為 230.814 W，此微型逆變器在特定運作條件下，計算所得的效率為 96.88%。

部分示波器具備非常獨特的功率量測選項，可大幅簡化獲得量測值的流程。例如，Keysight InfiniiVision 4000 與 6000 X 系列示波器的功率量測應用軟體（DSOX4PWR 和 DSOX6PWR），可在示波器的四個通道上進行功率和效率計算，進而直接量測效率。示波器可針對能量轉換元件，提供可接受的功率以及效率類型量測功能，如用於探索能量轉換元件的功率波形，而非在元件外部以端對端方式進行評估時，其真正的功率量測優勢可被突顯出來。是德科技示波器的功率應用軟體可幫助您分析切換式以及線性電源的可靠性、效率及效能，尤其是瞭解能量轉換電路和元件的高頻切換損耗。

雖然示波器可提供卓越的頻寬功能，但是其電壓量測準確度並不出色，因為其典型設計僅提供 8 位元垂直解析度。此外，大多數示波器採用接地參考輸入端，因此需使用差動探棒，這會提高設定複雜度並增加量測誤差。電流探棒的準確度只有百分之幾，而其偏移情況更是眾所周知，因此您務必經常進行消磁以及歸零處理。為獲得準確的功率量測值，必須同時獲得電壓和電流波形。如果涉及高頻波形，您必須補償任何因電壓與電流探棒量測路徑中存在的信號傳播延遲之差而出現的時滯。較低的頻率，比如交流線路電壓頻率，則不存在上述問題。

## 功率以及效率量測用功率分析儀

許多功率分析儀器專為提供簡易且準確的效率量測而設計。這類儀器通常具有多個隔離輸入端，以便同時量測能量轉換元件的輸入電壓與電流，以及輸出電壓與電流。分析儀會將電壓信號與電流信號相乘，並對合成功率波形執行積分運算，以精準得出功率量測值（直接以瓦特表示）。之後，將輸入功率除以輸出功率，即可直接顯示效率。雖然其頻帶寬無法與示波器媲美，但已足以擷取許多應用中出現的波形類型，在分析 50 或 60Hz 的電路（包含諧波）時尤其如此。功率分析儀具備高達 16 位元的垂直解析度，量測準確度比解析度僅 8 位元的示波器要高很多。

例如，Keysight PA2201A IntegraVision 功率分析儀具備精準且便捷顯示效率量測值所需的所有功能。這兩個通道均可擷取電壓、電流以及功率波形，方便您同時查看這六個波形。IntegraVision 具備每秒 5 百萬次取樣、16 位元數位化的特性，可即時擷取波形，頻寬高達 2-MHz，可提供 0.05% 的基本準確度。電壓和電流輸入可浮動至 1,000 V 以上或接地位準以下，因此無需使用差動電壓探棒，並可消除相關的設定複雜性以及量測誤差。每個通道均擁有電壓輸入端、兩個電流分流器輸入端（2 Arms 和 50 Arms）以及電流探棒輸入端，可提供最佳靈活性，讓您能以偏好的方式來執行精準且可靠的電流量測。

圖 4 和圖 5 顯示使用 IntegraVision 功率分析儀進行效率量測的範例，量測對象為先前提及的同一微型逆變器。由於輸入端採用浮動形式，而且這類功率分析儀可直接透過內部分流器精準量測電流，因此無需使用差動電壓探棒或電流探棒。IntegraVision 螢幕擷取畫面可同時顯示微型逆變器輸入端與輸出端的電壓、電流以及功率波形，無需像示波器一樣設定波形數學函數。它可透過這些波形直接計算效率，此處顯示為 96.05%。



待測元件：  
微型逆變器

Keysight IntegraVision  
功率分析儀

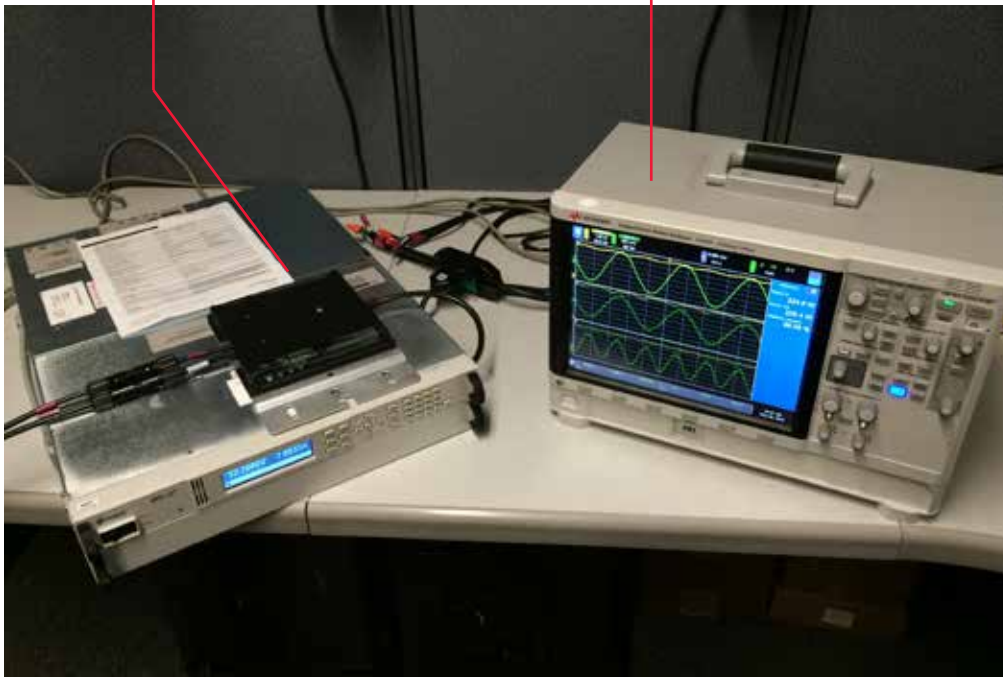
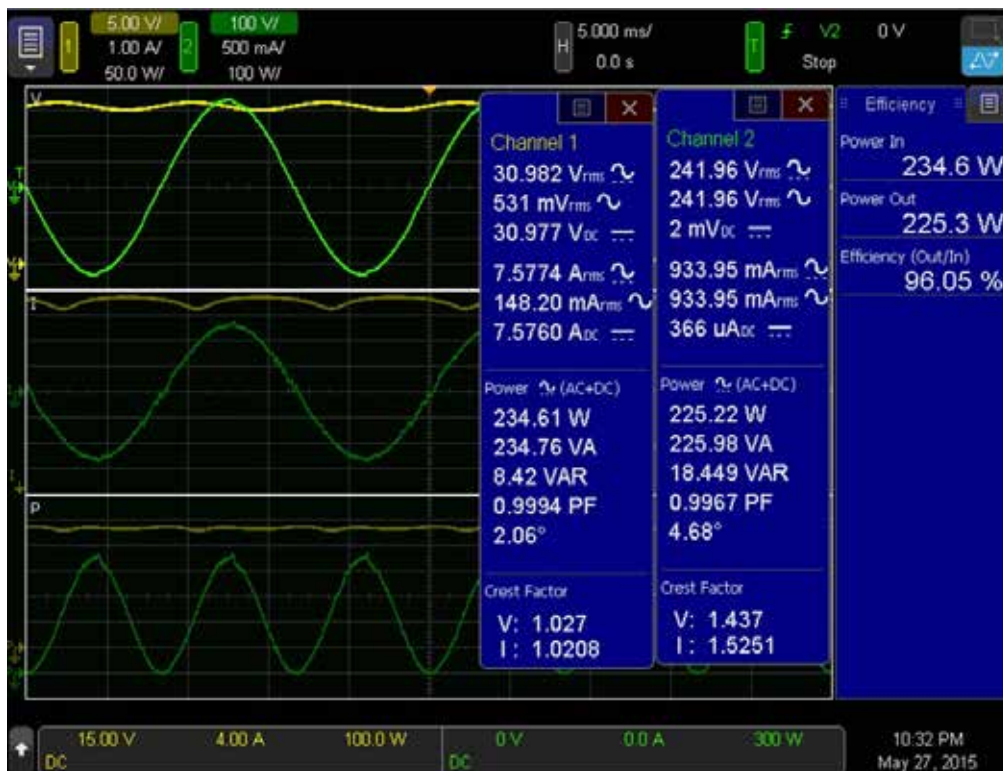


圖 4：由於每個通道均可同時量測電壓與電流，因此 Keysight PA2201A IntegraVision 功率分析儀僅透過兩個通道即可顯示微型逆變器的輸入與輸出電壓、電流和功率波形。此外，它還可提供內建功率與效率量測值，這些量測值比使用示波器計算值要精準得多。



輸入功率  
輸出功率  
效率

圖 5：IntegraVision 功率分析儀螢幕擷取畫面的特寫，顯示此微型逆變器在特定工作條件下的六個波形，以及合成功率與效率量測值。此外，您還可選擇顯示許多其他量測參數。

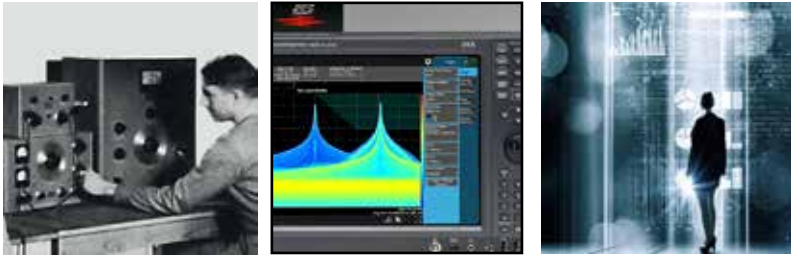
除可獲得精準效率量測值外，Keysight IntegraVision 功率分析儀還可協助您準確量測功率、VA、VAR、功率因數、波峰因數、瓦時、安培小時以及諧波。圖 5 顯示這些量測值的一部分。功率分析儀還具備動態量測能力，可直接即時顯示電壓、電流以及功率波形，讓您能夠擷取功率干擾波形（例如功率突增和電壓暫降）、斷電以及湧入電流。

## 結語

隨著全球越來越關注能源議題，工程師必須盡力降低產品功耗並改善產品整體效率。這一點不僅適用於傳統家用電器，同時還適用於對太陽能電網以及汽車電氣化系統提供支援的高功率元件。因此，準確量測能量轉換效率，對於降低能耗，至關重要。您可以使用不同方法來評估能量轉換效率，每種方法均有其優缺點。您可使用萬用電錶，但是此儀器僅適用於直流信號，無法提供直接功率量測功能。示波器可憑藉卓越的頻寬特性擷取波形，但其垂直準確度有限，並採用接地參考，不具備直接電流量測功能。具備內建效率量測功能的功率分析儀是便捷、精準評估功耗的最佳工具。利用功率分析儀，設計工程師可有效降低產品的能耗，進而改善環境。Keysight PA2201A IntegraVision 等功率分析儀可便捷量測能量轉換效率。此外，它們還可提供動態量測能力，以擷取並顯示暫態電壓、電流以及功率波形，進而讓您能夠透過一台儀器獲得所有關鍵功率量測值。

## 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

### myKeysight

#### myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊。

### KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.  
Lower costs.

#### 是德科技服務

[www.keysight.com/find/service](http://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](http://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，讓您能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](http://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。

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](http://www.keysight.com.tw/find/contactus)

台灣是德科技網站：

[www.keysight.com.tw](http://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

DEKRA Certified  
ISO 9001 Quality Management System

[www.keysight.com/go/quality](http://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, April 9, 2018

中文版：5992-0840ZHA

[www.keysight.com.tw](http://www.keysight.com.tw)