

Keysight Technologies

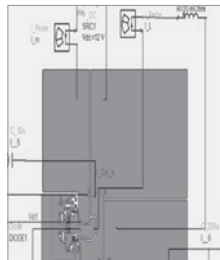
提高下一代電源轉換器可靠度和效率的設計 (第一篇)

功率裝置與元件評估

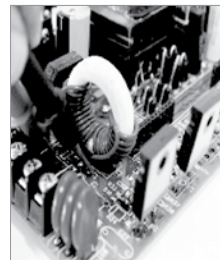
應用說明



Power Device
and Component
Evaluation



Electronic
Design
Automation



Hardware
Design and
Debug



Design
Validation/
Certification

簡介

減少能源消耗以及CO₂排放量的需求，帶動了功率電子和電源轉換器技術的進步。在汽車電氣化以及家庭能源管理系統領域中，可再生能源的使用變得日益盛行，其蓬勃發展進一步強化了相關需求。轉換效率的增加以及更高的可靠度，是兩個主要的電源轉換器設計驅動力。在太陽能等綠色能源應用中，平準能源成本 (LCOE) 是客戶在安裝太陽能設備時，決定選用何種太陽能逆變器的主要因素。效率和可靠度是LCOE演算法中兩個最主要的變數，決定了貴公司是否能夠得到逆變器訂單。油電混合車 (HEV) 和電動車 (EV) 的可靠度攸關汽車製造商的聲譽，同時和人身安全與保護緊密相連。因此，在設計和測試階段對汽車的不同電氣子系統進行完整EV測試，至關重要。

對許多使用以矽功率元件的電源轉換器應用而言，這些驅動力已快達到設計極限。基於碳化矽 (SiC) 以及氮化鎵 (GaN) 的寬能隙 (WBG) 功率裝置的出現，為提高這類設計驅動力的極限帶來了曙光。WBG元件具有快速切換的能力，可處理更高的電壓，並具備更大的溫度範圍，以提高電源轉換器的效率和可靠度，並縮減下一代設計的外觀尺寸。但在基於WBG功率元件的電源轉換器設計成為主流之前，我們需充份瞭解並克服在設計和測試上的挑戰，才能發揮它們最大的效能。

此應用說明四部曲將討論電源轉換器設計週期的各個階段，本文是整個系列的第一篇。我們將在每一篇中探討下一代電源轉換器的設計與測試挑戰，並介紹可協助您克服這些挑戰的軟硬體工具。我們將重點放在先前所述的設計驅動力：提升效率、增進可靠度，以及縮小外觀尺寸。同時，我們也將闡述WBG元件對電源轉換器設計週期所帶來的設計和測試挑戰。本系列應用說明的每一篇將分別探討下列的設計週期：

1. 功率裝置與元件的評估
2. 設計軟體模擬
3. 硬體設計和除錯
4. 設計驗證和認證

功率裝置與元件的評估

在這個設計階段，工程師想要評估使用於下一代電源轉換器設計上的最新功率元件（MOSFET和IGBT），確保它們能提供具有市場競爭力的設計。隨著如碳化矽（SiC）和氮化鎵（GaN）等寬能隙（WBG）元件的出現，評估功率元件變得更加具有挑戰性。WBG元件具備諸多卓越功能，相較於基於矽的元件，可透過更快的轉換速率來加快切換，可因應更高的電壓，而且溫度範圍更廣。這些特性都有助於讓電源轉換器設計的效率增加，並縮小外觀尺寸。但是，正是這些優勢，使得對其進行評估並將其整合至未來的設計變得更具挑戰性，我們會在接下來的章節討論這些挑戰。瞭解功率半導體元件的效能規格與可靠度，是設計成功的重要關鍵，因為它們的效能決定了整個電源轉換器電路的效率和可靠度。遺憾的是，功率元件製造商所提供的技術資料資訊通常不足以滿足需求。他們的產品規格書中所列的狀況往往與實際使用情形不同，而且所提供的資訊都較含糊，對於元件的變異則幾乎隻字未提。若只憑藉裝置和元件製造商所提供的資訊，要設計出可靠且高效率的電路，非常困難。對於WBG元件而言更是如此，因為製造商對於產品規格書中所需要或是不需包括的產品規格，並沒有一致的想法。

此外，WBG功率元件快速的轉換率產生的高頻成分，會在週邊電路上激發諧振電路，迫使電力工程師需以射頻工程師的思維進行思考。這意味著除了評估功率元件之外，同時也要確保這些「支援性」元件以及新功率元件週邊的PCB設計，都能夠支援WBG功率元件增進的效能和能力。一旦完成評估，具有準確的功率元件概觀和支援性元件的規格與參數是非常重要的，以確保在將它們置入下一階段的設計過程時，具有準確的軟體模型和電源轉換電路模擬。

在接下來的章節，我們將探討評估WBG功率元件所需的測試。為了簡化起見，我們會將功率元件測試分為兩大類：靜態測試，以及動態或雙脈衝測試。在第三節中，我們將討論如何對基於WBG功率元件之設計的支援性元件進行評估和特性分析。

靜態測試：

功率元件的靜態測試可用來瞭解功率元件的效能，包含以下參數：

- 電流電壓參數 (Ron、BV、Leakage、Vth、Vsat等)
- 輸入、輸出和反向轉換電容 (Ciss、Coss、Crss、Cies、Coes、Cres) 及Rg

量測這些參數時通常需要數個儀器，包含曲線追蹤儀和LCR錶。但即使具備所需的儀器，準確度往往因為測試夾具而不夠理想，而且這些參數通常無法在預期的電壓電流位準上執行測試。當您需要在極大的工作溫度範圍下的效能時，驗證功率元件的效能時，這些挑戰將變得更加複雜。

是德科技長期以來為半導體產業提供功率元件精確度測試解決方案，為終端使用者或是電源轉換器設計工程師建構了功率元件特性分析解決方案，以滿足WBG元件的需求。這個解決方案就是Keysight B1506A功率元件分析儀。B1506A提供高精密電流電壓曲線追蹤儀，具有輸入、輸出和量測反向轉換電容 (Ciss、Coss、Crss、Cies、Coes、Cres) 的能力。它同時也提供了在功率元件實際運作位準時的量測能力，涵蓋範圍達1500A和3kV。

除了靜態電流電壓和電容量測，它還可以量測閘極電荷，並基於切換頻率對功率損耗做計算和建模，詳見下圖。



圖1：Keysight B1506A功率元件分析儀

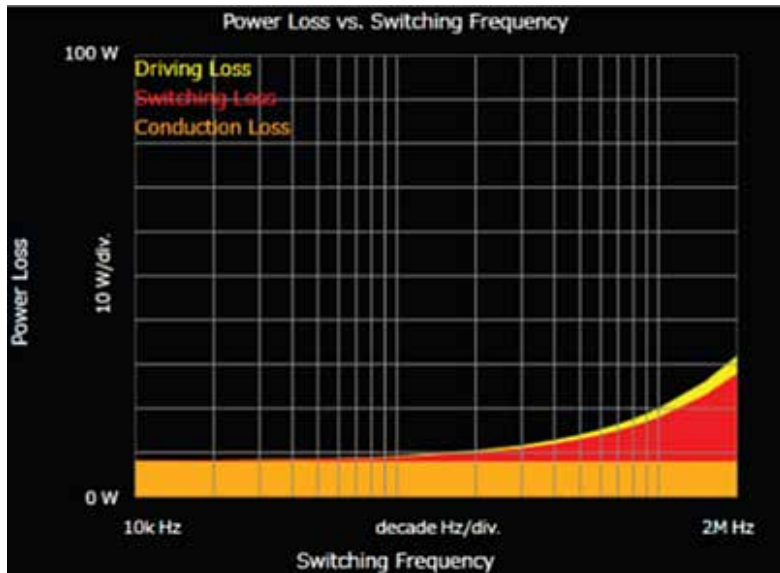


圖2：Keysight B1506A基於切換頻率的功率損耗建模 Keysight B1506A基於切換頻率的功率損耗建模

Keysight B1506A還提供選配的溫度測試功能，方便您在大溫度範圍內驗證功率元件的效能參數。這些自動化功能都包含在一個具有易用的操作介面和測試夾具的解決方案中。如果您已擁有電流電壓曲線追蹤儀，只是希望能夠量測電容、以及執行洩漏和崩潰量測，B1507A功率元件電容分析儀是您的最好選擇。更多關於是德科技功率元件分析儀的詳細資訊，請瀏覽：<http://www.keysight.com/find/B1506A>

動態測試：

功率元件的動態或雙脈衝測試，通常包含發送高電流脈衝到一個或數個功率元件上，並量測所產生的電壓和電流切換波形，以及功率元件的熱特性。電源轉換器設計工程師會使用高功率脈衝產生器，或是建造一個雙脈衝測試電路來產生脈衝。每種方法都各有其優缺點。執行測試的工程師會依自身的偏好選擇適當的方式。下圖顯示使用是德科技儀器的功率元件動態測試設定。

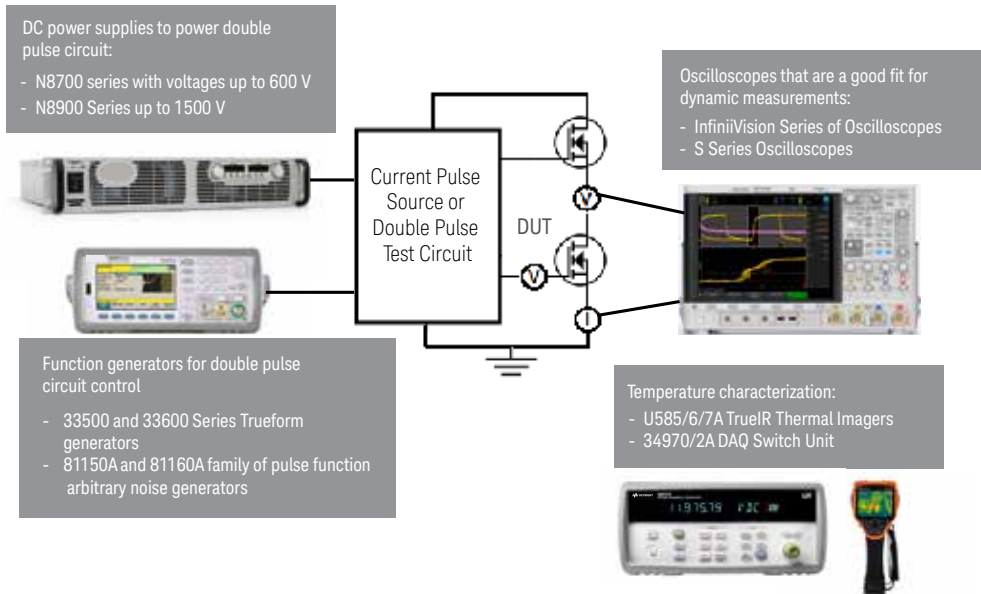


圖3：功率裝置動態或雙脈衝測試配置

執行動態測試時，工程師當前所面臨的最嚴峻考驗之一是，準確地對WBG功率元件的切換波形（電壓和電流）進行特性分析。如果我們首先考慮量測電壓波形，其中一個測試挑戰是擷取和量測切換電壓的峰對峰值，在轉換率有時會超過100V/1ns的情形下，其範圍可以廣從數百到甚至數千伏特。在如此快速的切換率下，我們必須考慮量測儀器和任何感測器的頻寬。一個用來計算上升或下降信號緣頻寬的公式為：

$$\text{頻寬} = 0.5 / \text{上升時間 (10\%至90\%)}$$

使用上列的公式，具有10ns上升時間的切換波形會有約100 MHz的頻寬。既然任何可用量測儀器的額定頻寬通常代表其頻寬滾降 (roll off) 的3 dB點，想要準確地量測如此快速的切換率，您所使用儀器的額定頻寬，需比切換波形頻寬高2到3倍。對於前面所提到的100MHz範例，您需確保儀器的頻寬至少超過200MHz。

此外，您所使用儀器的動態範圍以及量測解析度也同樣重要。例如，在存在數百V切換電壓的情況下，要準確地量測可能在數十至數百毫伏特範圍內的元件飽和電壓位準，是個艱鉅的挑戰。

如欲量測元件的切換電流，可使用傳統的霍爾效應電流探棒。但同軸分流器或電流變壓器，被視為是需要低電感和高頻寬量測電流應用的首選方法。

我們通常使用示波器來準確擷取WBG元件切換波形電壓和電流。在量測功率元件的切換特性時，示波器是非常好用的工具，因為它們可提供廣泛的量測頻寬，且具有多個通道（需要電流和電壓），此外只要使用正確的電壓與電流探棒／感測器，它們可處理大電壓及電流值。在接下來各章節中，我們將介紹幾款在動態測試WBG元件上具有領先業界實力的是德科技示波器。

Keysight InfiniiVision 3000、4000及6000 X系列示波器

Keysight InfiniiVision X系列示波器的效能同級產品中無可匹敵，其操作介面簡單易用，並配備大尺寸觸控顯示器，方便您檢視並分析切換波形。此外，InfiniiVision示波器具有選配的內建函數／任意波形產生器。透過此產生器，您只需單一儀器即可控制雙脈衝測試電路，並量測所產生的切換波形。集示波器與產生器於一機的設計，可以減少測試設定的複雜度。Keysight InfiniiVision X系列示波器標配廣泛的進階觸發功能、進階波形數學函數，以及自動波形特性量測。它還提供選配的功率量測應用程式，可用於分析電源切換電路，具備自動安裝以及量測功能，包括切換損耗及導通電阻。我們將在此系列應用說明的第三部中，討論此功率量測應用程式如何協助您將功率轉換器設計最佳化，並加快設計流程。

Keysight Infiniium S系列示波器

Keysight Infiniium S系列示波器具有領先業界的量測技術，提供評估功率元件時量測切換波形所需的高解析度和動態範圍。S系列示波器提供10位元的量測解析度、極大的擷取記憶體、以及高達8 GHz的量測頻寬。雖然市面上已有示波器可提供12位元ADC解析度，但這基本上只是標稱規格，實際上並無高解析度所應有的量測準確度。這就好像賣了一輛時速表可達每小時120英哩、但傳動系統只能達到每小時80英哩的車子一樣。為了達到領先業界的量測效能，S系列不僅採用高效能ADC，同時也採用低雜訊輸入信號調節，以及精密的20 GSa/s即時取樣，以全面發揮ADC10位元效能。S系列提供同級示波器中最高的有效位元數（ENOB）解析度，甚至比擁有12位元解析度的示波器還要高。

示波器探棒

量測動態切換波形時，示波器只是其中的一塊拚圖。探棒是另一個關鍵元件。是德科技針對不同的電壓範圍和頻寬，提供各種不同的差動電壓和單端探棒。舉例而言，Keysight 10076C單端探棒適合WBG電壓量測，可處理高達4 kV的電壓位準和500MHz的頻寬。此探頭成本較低，可在其範圍內提供充足的電壓與頻寬緩衝效能。在電流量測上，很多設計工程師使用可以被高頻寬單端或差動電壓探棒量測的同軸分流器，以及內建數學函數的示波器。此外，是德科技還提供一系列探棒配件，確保良好的連接並減少寄生效應，以提供精確的量測結果。如需更多關於是德科技示波器探量解決方案的資訊，請上網至：www.keysight.com/find/scopes-power，然後點擊「查看量測選項和探量解決方案」。

功率元件的熱特性分析

在測試過程中對WBG功率元件的溫度分佈進行特性分析，對確保未來設計的效能以及長期可靠性，同樣至關重要。是德科技提供多種選項以滿足您的特定需求。執行和記錄多通道直接溫度量測時，Keysight 34970A及34972A DAQ量測單元是電力電子產業公認的高品質設備。它們採用模組化多通道溫度量測方法，並可執行其他常見的電壓電流量測。此外，還免費提供量測記錄軟體，本系列的第四部有更詳細的介紹。

是德科技還提供Keysight U5855/6/7A系列熱影像儀，可對功率元件的溫度特性進行即時分析與趨勢分析。這套隨附的分析軟體提供報告功能，例如點與線分析、趨勢圖表繪製，以及調色盤變更功能。這個便利的工具補足並加速了功率元件的熱特性分析。

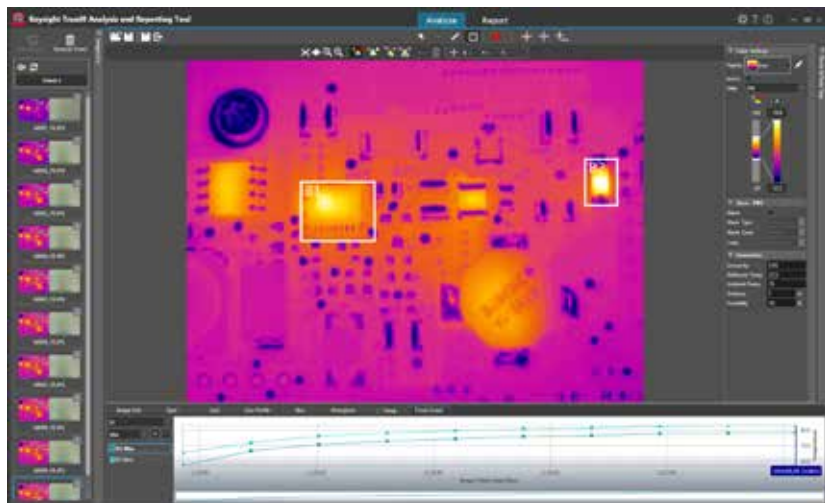


圖4：使用Keysight U5855/6/7A分析軟體，對電路板關鍵元件熱趨勢執行特性分析時所產生的熱影像。影像底部的圖表顯示是圖中兩個選定點的溫度趨勢

針對雙脈衝電路的供電與控制，是德科技提供多元的高效能直流電源供應器和函數／任意波形產生器，適用於電力電子和電源轉換器設計。我們將於第三部更深入地討論這個議題，您也可以從圖3中找到我們所推薦的型號。

評估支援性元件：

除了評估功率元件外，您還需對「支援用」元件進行評估與特性分析，這些元件包括連接器、電感器、二極體，甚至於PCB設計。這一點在以下方面均至關重要：驗證元件在各種條件下的效能、確保可靠性，並建立更準確的軟體模擬，藉以來降低成本和時間。在靜態測試章節中詳細討論的Keysight B1506A功率元件分析儀，除了是這個領域的理想工具，也可廣泛用於下列應用：

- 在大範圍電壓和電流下進行精密的電流電壓分析
- 高電壓位元準的電容量測
- 具有高電流偏移的電感直流電阻量測
- 在大溫度範圍內驗證支援元件的效能

是德科技全系列LCR錶可用來對支援元件進行準確的阻抗量測。是德科技LCR錶憑藉一流的準確度以及在各種阻抗量測中的可重測性，被視為是產業標準儀器。

評估WBG元件的近射頻效應

由於控制迴路更為密集，切換速度更快，電路中導入的WBG元件之上升和下降轉換率較快，會產生高頻成分，導致功率轉換設計變得日益複雜，因此我們需要更複雜的阻抗分析工具。我們不能再以一個簡單的集總電路來建立電力電子電路模型，並將此集總電路套用於所有的條件。反之，電路必須被分析和建模，以瞭解阻抗如何隨著大頻率範圍而變化。是德科技兩大領先業界的產品線提供精湛的洞察力：

- E4990A阻抗分析儀
 - 頻率範圍：20Hz至10/20/30/50/120 MHz
 - 阻抗範圍（10%的準確度）：25 Ω 到40 Ω
- E4991B阻抗分析儀
 - 頻率範圍：1 MHz至500 MHz/1 GHz/3 GHz
 - 阻抗範圍（10%的準確度）：120 Ω 到52k Ω



圖5：是德科技阻抗分析產品組合

Keysight E4990A系列採用自動平衡電橋法來量測阻抗，而E4991B系列則採用射頻IV法來量測阻抗。自動平衡電橋法和射頻IV法基於由歐姆定律所推導出的電壓電流比與阻抗的線性關係。理論上，阻抗量測的靈敏度是個常數，而與基於網路分析儀的方法相比，它在高阻抗範圍中有較高準確度。Keysight E4990A/E4991B阻抗分析儀出色的量測穩定度，可利用將漂移誤差最佳化的接收器來實現。這使得準確的長期特性分析變得可能。是德科技還提供E5061B ENA系列網路分析儀（配備選項3L5/005），此款分析儀可支援網路分析、

阻抗分析以及增益/相位分析。雖然它無法提供Keysight E4990A和E4991B所能提供的阻抗分析準確度或穩定性，但它確實是一款真正通用的分析工具選項。以下圖表顯示Keysight E4990A、E4991B和E5061B的準確度與頻率比較：

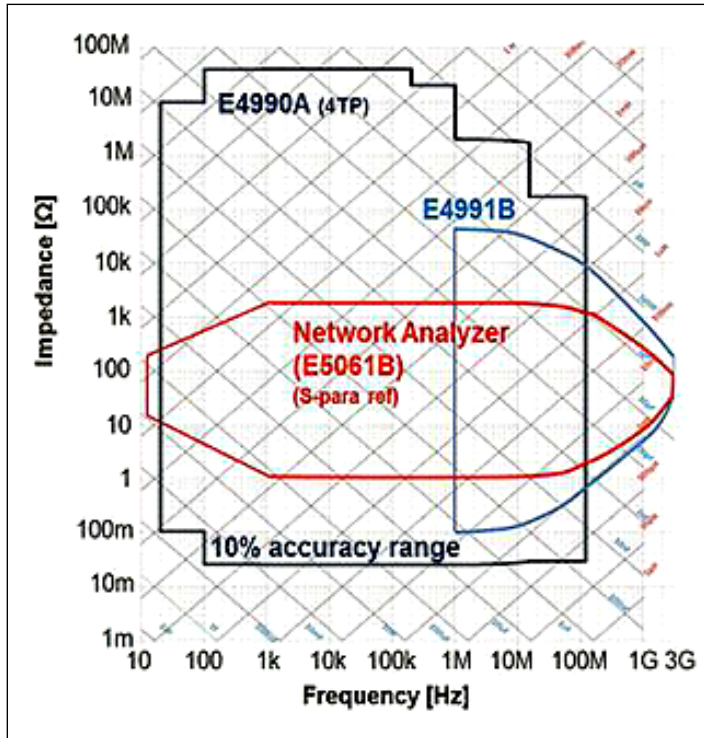


圖6：Keysight E4990A、E4991B和E5061B具備10%的阻抗準確度範圍

如需更多關於是德科技LCR錶以及阻抗分析儀的資訊，請瀏覽：

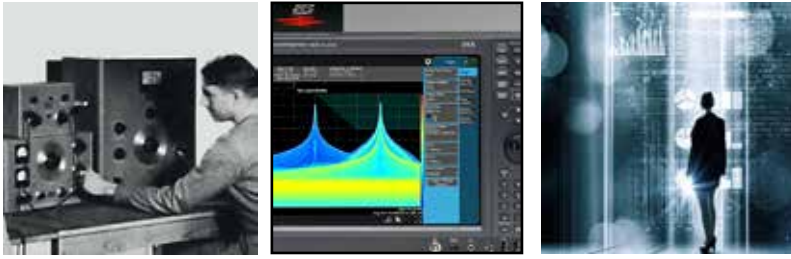
<http://www.keysight.com/find/impedance>

結語

在此應用說明中，我們檢視了電力電子工程師在設計下一代電源轉換器時，所面臨的挑戰，亦即寬能隙元件之評估、特性分析、以及建模。本文討論了是德科技如何提供工具、解決方案和專業知識，來幫助您因應寬能隙裝置的評估和設計挑戰。例如，Keysight B1506A功率元件分析儀提供了完整解決方案，以便評估功率元件的IV、CV和閘極電荷等特性。是德科技領先業界的阻抗分析儀系列，可讓您在低頻率範圍中對寬能隙元件週邊的電路元件進行特性分析，因此您可針對寬能隙元件的近RF效應進行妥善規劃。是德科技領先業界的阻抗分析儀系列，可讓您在低頻率範圍中對寬能隙元件週邊的電路元件進行特性分析，因此您可針對寬能隙元件的近RF效應進行妥善規劃。

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

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

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

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

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

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, March 21, 2018

中文版：5992-1166ZHA

www.keysight.com.tw