

Keysight Technologies

# 如何有效克服 USB Type-C™ 發射器與接收器的測試挑戰

Keysight Type-C 解決方案：更快完成相符性測試的捷徑

應用說明



## 概述

USB Type-C™ 是一種突破性的連接標準，專為更小型、更輕薄的新一代電腦和裝置而設計，可因應高速資料傳輸、高電力傳輸的技術需求，並提供更高的靈活性。USB Type-C 的主要目標是在裝置之間建立高速連接、實現出色的電力管理，並確保有效的資料傳輸。USB Type-C 連接介面提供下列功能：

- 支援 USB 2.0 和其他協定的動態電力和資料傳輸
- 符合新一代和未來裝置的重要介面規格
- 具備向後相容性
- 正反可插，方便易用

隨著 USB Type-C 的問世，設計和測試工程師面臨了形形色色的挑戰，不僅要將 USB Type-C 與他們的產品整合，同時還要確保其互通性與測試相容性。近來，有越來越多的 USB Type-C 相符性測試標準相繼公布；不僅如此，使用者對資料傳輸速度和電力傳輸的需求也不斷攀升，加上其他功能的推陳出新，使得整體測試作業變得極端複雜，因此工程師需仰賴精準且符合標準的測試儀器、軟體和測試夾具，來確保成功的測試。

是德科技針對 USB Type-C 設計與測試挑戰和解決方案提供五個系列的應用說明，本文為其中之一，主要探討以下主題：

- 傳輸線和連接器
- 電力傳輸
- 發射 / 接收
- 模擬和量測之間的關聯性
- 交替 (ALT) 模式 (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

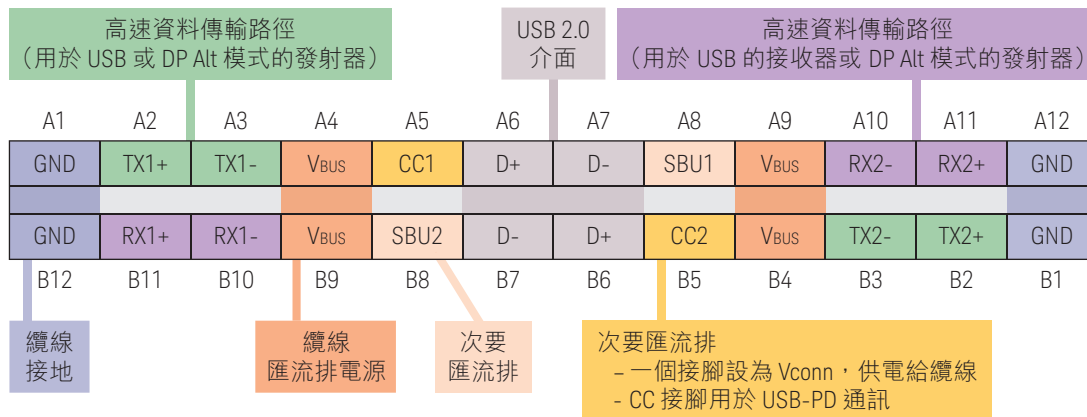


圖 1：USB Type-C 接腳圖。注意，此對稱介面為可正反插拔的結構。

## USB Type-C 發射器 / 接收器要求

USB 早已從用於電力和資料傳輸的簡單 4 接腳連接器，轉變成對稱、可翻轉、多功能的 24 接腳連接器。USB Type-C 連接介面讓製造商能夠更靈活地設計 USB 裝置的發射與接收特性，並提供 4 組成對的發射器和接收器 (Tx/Rx)，因此使用者可隨時使用 1 個、2 個，或同時使用 4 個通道進行資料傳輸。它還可透過兩種不同通訊協定同時進行主動發送或接收，或利用單一協定以雙倍的發射與接收速度進行傳輸，最高資料傳輸速率可達 20 G，未來速度還會加快。其增強型電力傳輸特性支援高達 20 V、5 A 及 100 W 的雙向充電。這些 Type-C 特性和增強效能，使得工程師面臨更嚴峻的 USB Tx/Rx 相符性測試挑戰。深入了解 USB Type-C 和 USB 3.1 的發射器和接收器測試挑戰，有助於確保裝置順利完成 USB Type-C 整合並通過測試。

進行測試時，特別是資料傳輸速率提高時，測試夾具和纜線效應可能造成極大的信號損耗，並且嚴重影響裝置效能量測結果。如需在高速相符性測試中執行準確的信號特性分析，工程師需使用解嵌入技術來去除測試夾具對量測的影響，以測得真實的裝置效能。在執行解嵌入之前量測用於測試夾具特性分析的 S 參數時，使用具高信號完整性的測試夾具來降低通道損耗至關重要。

發射器和接收器相符性測試需使用相符性測試碼型。工程師可在相符性測試過程中產生各種不同的信號碼型，並利用 SigTest 軟體工具來獲得量測結果。如需要更多關於 SigTest 軟體的資訊，請瀏覽：<http://www.usb.org/developers/tools/>。

## USB 3.1 與 Type-C 發射器測試挑戰

進行發射器相符性測試時，工程師需克服 USB 3.1 和 Type-C 這兩種不同的挑戰。為了設計出具更多通道數、靈活配置性，而且可正反插拔的連接器，工程師面臨一個重大的挑戰，就是必須執行極其繁雜而大量的相符性測試。USB-IF 相符性測試要求 USB 裝置須滿足各種不同的負載和充電條件，因此測試工程師須針對所有裝置逐一進行配置並執行所有測試，包括：

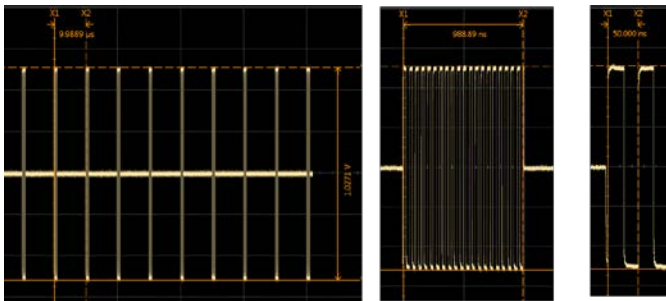
- USB 3.1 Gen 1 發射器眼圖測試
- 低頻週期信號 (LFPS) 時序
- 發射展頻時脈 (SSC) 的傳輸特性
- 全新 USB 3.1 Gen 2 測試：
  - SuperSpeedPlus 功能聲明 (SCD)
  - 基於低頻週期信號 (LFPS) 之脈衝寬度調變訊息 (LBPM)
  - 信號解加強 (De-emphasis)
  - 信號預擊 (Pre-shoot)

### 發射器眼圖測試

發射器眼圖測試可驗證所產生的信號是否滿足眼高和眼寬要求，並符合確定性抖動和隨機抖動規範。進行相符性測試時，待測裝置需發送測試碼型。高速示波器可擷取這些測試碼型，並量測眼圖規格。

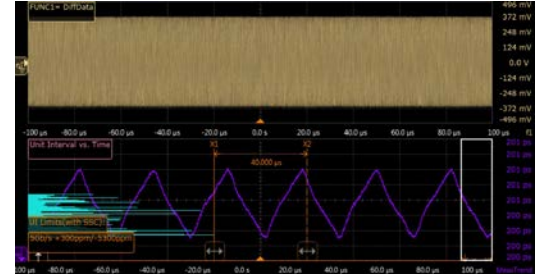
### 低頻週期信號 (LFPS)

LFPS 是在固定時間間隔下產生的一系列脈衝。LFPS 信號測試可確保信號品質和正確的信號特性，以進行鏈路協商和訓練，最終獲致正確的資料速率。此測試加入邊帶通訊，以透過一般的 SuperSpeed 資料傳輸線發送低頻 (10-50 MHz 而非 5 Gbps) 信號。邊帶通訊有助於在兩個連接埠之間建立連結，以便在匯流排提供信號啟動管理並實現低功耗管理。



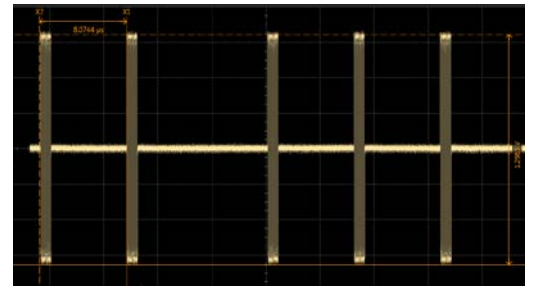
## 展頻時脈 (SSC) 調變信號

SSC 調變信號是 USB 3.1 Gen 1 與 Gen 2 的必要測試規格，其目標是降低電磁干擾 (EMI)，並確保裝置能夠發送接收器可處理的準確訊息。USB 裝置初始化之後，隨即進入 SSC 模式。如何控制 EMI 的影響，是發射器測試的最大挑戰，因為 EMI 可能導致載波頻率上出現高振幅峰值，而且諧波可能超出指定的限制值。為了避免這個問題，可以用 SSC 來展開頻譜能量，使其保持在測試限制值內。由於本地時脈與對內資料之間存在極大的低頻差異，使得時脈與資料回復電路 (CDR) 成為 SSC 測試挑戰。USB 規格有助於減輕 SSC 對 CDR 的影響，但工程師仍需分析 SSC 效應，以解決系統的互通性問題。



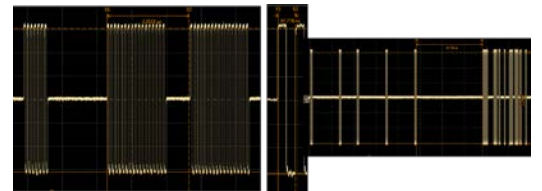
## SuperSpeed 功能聲明 (SCD)

SCD 是鏈路訓練狀態機 (LTSSM) 序列的一部分，同時也是 USB 3.1 Gen 2 鏈路層的核心，負責定義鏈路連結和鏈路電源管理狀態與轉換。這些協定和時序要求極高的信號品質。DUT 必須產生 SCD 1 和 SCD 2 信號，並驗證信號品質量測 (週期、上升和下降時間、電壓等)，以確保裝置能夠順利進行協商，並提供正確的鏈路連接 (Gen 1 或 Gen 2)。



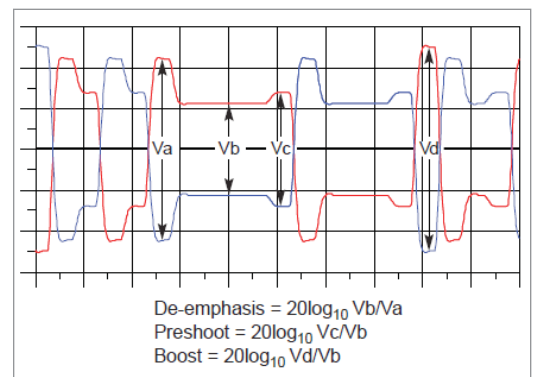
## 基於 LFPS 的脈衝寬度調變訊息 (LBPM)

LBPM 是一種可在裝置之間的鏈路進行協商的協定，最高支援 Gen 2 協商。信號品質測試可確保裝置能夠支援 USB 3.1 Gen 2 協商。



## 信號解加強 (衰減) 與預擊

解加強 (衰減) 和預擊皆是信號等化技術，用於降低通道損耗效應。在碼型產生器 (發射器) 和分析儀 (接收器) 之間的測試夾具 (包括 USB 參考通道和傳輸線) 會導致頻率相依損耗，進行導致符間干擾 (ISI) 或眼圖閉合。為了降低損耗，工程師需對發射器進行解加強，以增強信號的高頻分量，並張開接收器的眼圖。USB-IF 要求信號品質量測，以確保發射信號符合規格，使得產生的信號通過高損耗傳輸線後，仍能以最佳狀態到達接收器。



進行發射器測試時，工程師可使用高速示波器來量測信號品質，確保波形碼型符合相符性測試規範。示波器可將抖動分解成隨機抖動（RJ）、確定性抖動（DJ）和總抖動（TJ）並進行分析，以確定導致抖動的原因並測試抖動容許度。

眼圖遮罩測試可快速界定出禁止傳送信號的主要區域。如果信號出現在所定義的區域中，裝置將無法通過驗證。對於 USB 3.1 和 Type-C 裝置，要將發射信號維持在眼高 / 遮罩極限值內極為困難，因此遮罩測試的品質至關重要。對於 E<sup>6</sup>，經過等化後希望將眼高限制於 70 mV，所以 E<sup>12</sup> 的眼高目標是 30 mV。經過等化處理後，E<sup>6</sup> 的眼寬是 47 ps，這是很難達成的目標。

進行相符性測試時，工程師需使用頻寬達 25 GHz（Thunderbolt 為 30GHz）的示波器。如需更貼近接收器晶片進行量測，則需更大的頻寬。所有信號皆需進行眼高、眼寬、信號振幅、抖動分析，平均資料速率，和上升 / 下降時間量測。另外，由於 Type-C 連接介面可正反插，所以需對所有發射 / 接收通道進行測試。傳輸時會用到的所有協定也都需要進行測試。

## USB 3.1 與 Type-C 接收器測試挑戰

使用驗證後的 Tx 信號進行 Tx/Rx 鏈路測試，其困難處在於我們無法查看接收器內發射鏈路末端的狀況。即便發射信號看起來沒有問題，但是接收器眼圖可能已經閉合。壓力眼圖校驗須對測試夾具和傳輸線施加各式各樣的抖動和串擾，以執行壓力測試。用來產生碼型的測試儀器應提供兩種功能：增加信號壓力和進行信號分析，包括抖動和眼圖量測。

完成壓力眼圖校驗之後，便可開始測試接收器。USB 3.1 接收器相符性測試使用最差狀況信號條件（壓力眼圖校驗）作為輸入，然後注入更高頻率的額外正弦抖動（Sj）。在多個不同頻率上執行測試，可確保接收器能夠正常運作。執行接收器測試時，工程師需使用許多所產生的相符性測試碼型來進行校驗。接收器測試有助於分析 USB 裝置在各種不同振幅和抖動條件下的效能。USB 3.1 抖動測試要求執行誤碼率（BER）測試，這是一種抖動容忍度測試。工程師需將一系列 Sj 頻率和振幅注入接收器，以便測試壓力眼圖的變化，而誤碼檢測器則可監測接收器中的錯誤或誤碼，進而計算 BER。此測試配置需用到碼型產生器，以提供種不同的條件，例如針對目標 BER 產生真實隨機抖動。

在 BER 誤碼檢測器上執行非同步測試也是一項挑戰，其目標是檢驗發射與接收系統是否能夠正確無誤地傳遞位元資料。然而，隨著 USB 3.1 頻寬不斷增加，編碼複雜度也隨之升高，使得建立複雜協定變得不易實現。一般而言，發射器和接收器可能分別位於略有不同的時脈頻率上；因此所收到的資料流之回復時脈，跟發射器的時脈頻率可能不盡相同。當接收器在回環模式（loopback mode）下，這種頻率差異會給待測裝置帶來問題，因為位元資料的接收速度可能高於或低於其回傳速度。您可使用時脈補償字符來解決頻率不匹配的問題，然後在資料從接收器回送到發射器時，將這些字符刪除，或者插入到資料流中。測試配置中的儀器必須能夠處理對內資料流中這種數量不確定的時脈補償字符，又稱為非同步 BER 測試。在計算誤碼數量時，分析儀必須能夠過濾掉長度可改變的 128/132 位元編碼跳序集。



相符性測試可確定接收器偵測數位信號資料內容的能力，即使是最差狀況下的缺損輸入信號。如欲模擬在系統中傳輸的最差資料信號，包括相符性測試規範（CTS）中規定的缺損信號，BER 測試儀的碼型產生器（BERT PG）是最理想的選擇。在模擬處於測試模式下的接收器，並且接收校驗測試信號時，BERT 可根據目標 BER 來偵測數位資料內容並監測效能。BERT 包含碼型產生器和信號分析功能，並可提供經過校驗的壓力條件，例如 SSC、SJ、RJ、解加強和 ISI，是執行接收器測試的首選儀器。

## 發射器測試解決方案

執行 USB 3.1、DisplayPort 1.3、Thunderbolt 3 和 MHL 等技術的接收器相符性測試時，建議您將 N7015A 和 N7016A Type-C 測試夾具，與 Keysight Infiniium 示波器搭配使用。這是業界最高信號完整性的解決方案，支援 20 GHz 的頻寬效能（-3 dB），並能對高達 30 GHz 的信號進行解嵌入處理。它包括一個 Type-C 連接介面夾具，支援插頭正反插，並提供測試接點，讓工程師能使用探棒快速進行信號探測，進而完成發射器和電力傳輸量測。

- **Keysight N7015A Type-C 高速測試夾具** 提供高達 30 GHz 的解嵌入頻寬，以協助工程師執行 USB 3.1 Gen 2、DisplayPort 1.3 及 Thunderbolt 3 等 Type-C 設計的信號驗證和除錯。此夾具分隔出 4 個高速信號通道，可用於信號量測或注入，並且讓工程師能存取信號、探量 USB 3.1 裝置、主機和上行與下行埠。
- **Keysight N7016A Type-C 低速測試夾具支援信號存取與控制**，以便管理 N7015A Type-C 高速測試夾具的電力傳輸線和控制線，進而支援端接要求和測試配置，並且連接到電力傳輸控制器。透過 N7016A，工程師可存取 USB 3.1 信號，例如 CC1、CC2、VBUS 及接地信號，以便進行系統控制和診斷。它可同時以電子方式切換連接（以便改變主動式 USB 3.1 高速通訊埠），並可分隔 VBUS 信號，以便驅動電力傳輸控制器或外部電源。它還可載入 VConn 以模擬系統環境。
- **Keysight U7243B USB 發射器相符性測試應用軟體** 和 Keysight Infiniium 示波器，可協助工程師執行發射器相符性測試和驗證，以符合 USB 3.1 的規範。Infiniium V 系列示波器提供業界最低的雜訊位準，非常適合用於 USB 3.1 高速串列信號，並可支援因為高速所導致的邊限縮減。

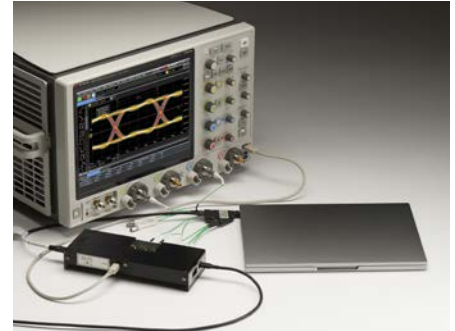


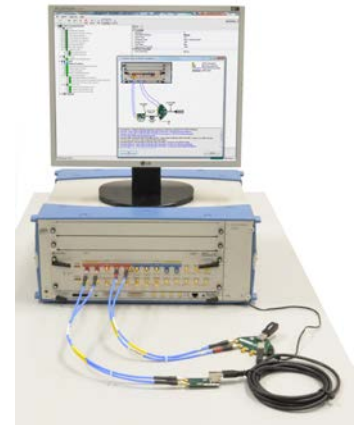
圖 2：Keysight N7015A/N7016A Type-C 測試夾具

## 接收器測試解決方案

Keysight M8020A J-BERT 高效能型 16-Gb/s BERT 內建您需要的所有功能（解加強、碼型產生、連續時間線性等化 (CTLE)，判定反饋等化 (DFE)、建立各式碼型結構，以及重新排序）。利用 Keysight USB 3.1 接收器測試解決方案，工程師可使用 M8020A J-BERT 內建的校驗後抖動信號源（隨機抖動、週期抖動、SSC），精準地模擬前游標和後游標解加強，以及符間干擾（ISI）軌跡，以獲得準確且可重複的接收器測試結果。

## 主要功能：

- 分析經過編碼且重新計時的資料
- 支援符元率（非位元率），以提供 128b/130b、8b/10b 碼型解碼與硬體加擾能力
- 藉由即時過濾 USB 3.1 專屬的 128/132 位元編碼跳序集（長度會隨碼型流而改變）來計算誤碼數
- 針對 Rx 測試產生校驗後的加壓條件（SSC、SJ、RJ、解加強、ISI）
- 使用內建的電氣閒置功能進行回環訓練並透過通道，來模擬 LFPS 3 位準信號
- 包含整合式鏈路訓練、接收器等化處理、雜訊缺損、可變的 ISI、接收端等化器 / 眼圖開啟器
- 透過放大器產生共模信號，以便降低複雜度
- 內建時脈回復功能



## 克服接收器測試挑戰：

- 接收器壓力測試校驗：使用示波器內建的 CDR 和等化器模擬功能來量測眼高和眼寬
- 實現 BERT 誤碼檢測器上的非同步測試：適用於 M8020A J-BERT OS2 的 SKP 和 SKP OS 過濾選項可計算 USB 3.x 誤碼數量
- 讓 DUT 進入個別測試模式：結合使用 M8020 強大的 J-BERT 碼型定序器和 BitifEye 鏈路訓練套件



Keysight M8020A J-BERT 碼型產生器提供準確且可重複的接收器測試，讓您能模擬鏈路訓練序列，以便將主機或裝置設成回環模式。有了 M8020A，即便沒有外部信號源，工程師也能模擬各種壓力狀況，包括超出邊限的狀況。利用內建的校驗後信號源，工程師可繪製正弦抖動（SJ）、隨機抖動（RJ）、符間干擾（ISI）軌跡，並模擬通道效應。M8020A 還可模擬展頻時脈（SSC），並提供可調式解加強功能。

Keysight M8020A 可簡化接收器測試配置，方便工程師分析 USB 裝置的重新計時和編碼資料。M8020A J-BERT 分析選項可過濾 SKIP/ALIGN 符號以便消除盲區（dead time），同時還可自動處理運行不一致的編碼碼型，並且顯示符元錯誤率（SER）或計算出的 BER。

## 結語

USB 3.1 和 Type-C 規格帶來了許多前所未有的 USB 發射器和接收器測試挑戰。快速而準確地量測重要特性，包括發射器眼圖、LFPS 和 LBPM 時序、發射器 SSC 曲線、SCD 信號，並執行解加強和預擊，將是確保發射器通過測試的關鍵因素。靈活的信號產生和誤碼檢測功能則是接收器測試驗證的重點。

Keysight Type-C 解決方案內含軟體、儀器和測試夾具，是專為此通用介面之標準測試而量身打造的完備解決方案。無論您專精於設計或是驗證領域，我們的解決方案都可協助您加速完成除錯、特性分析，及最後的相符性測試。



## 下載軟體， 獲得前瞻洞察力

是德科技軟體讓專業技術觸手可得。從第一次模擬，到第一次出貨，我們在整個流程中提供一應俱全的量測工具，以加速您獲得量測資料、解析重要資訊，並制訂執行方案。

- 電子設計自動化軟體（EDA）
- 應用軟體
- 程式設計環境
- 提昇效率的軟體

了解詳情：

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

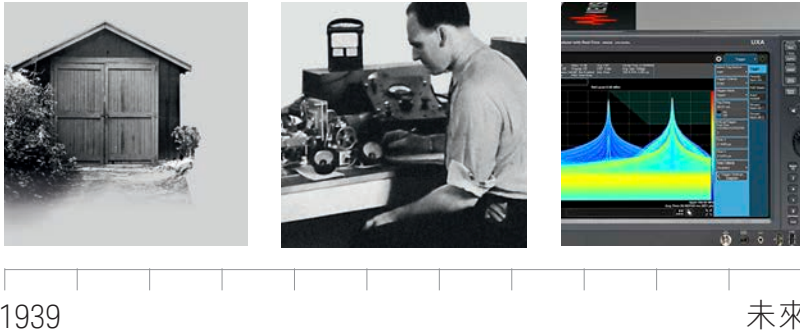
立即獲得 30 天免費試用版：

[www.keysight.com/find/free\\_trials](http://www.keysight.com/find/free_trials)

## 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

75 年來，我們始終如一地為您提供精湛的量測洞察力。我們獨一無二的硬體、軟體及專家組合，可協助您拓展全新的局面。

我們自 1939 年開始致力於解開量測世界的所有難題。



**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



[www.axistandard.org](http://www.axistandard.org)  
AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基於 AdvancedTCA 標準的開放標準，將 AdvancedTCA 標準延伸到通用測試和半導體測試領域。是德科技為 AXI 聯盟的創始會員。ATCA®、AdvancedTCA® 和 ATCA 商標為 PCI 工業電腦製造商協會在美國的註冊商標。



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)  
LXI 是繼 GPIB 之後推出的區域網路 (LAN) 標準，可提供更快速、更有效率的網路連結方式。是德科技為 LXI 聯盟的創始會員。



[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)  
PCI eXtensions for Instrumentation (PXI) 模組化儀器提供堅固耐用的 PC 式高能量量測儀器與自動化系統。



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。

USB Type-C™ 和 USB-C™ 均為 USB 開發者論壇的註冊商標。

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

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



[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/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, 2017  
Published in USA, December 1, 2017  
中文版：5992-1392ZHA  
[www.keysight.com.tw](http://www.keysight.com.tw)