PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

Keysight Technologies
示波器基本原理

應用說明

本應用手冊會簡單介紹示波器的基本原理，讓您瞭解什麼是示波器，以及如何操作示波器。我們會探討示波器的應用，並概述基本的量測與效能特性。我們也會介紹不同類型的探棒，並討論其優缺點。

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

如有任何問題,請洽keysight 正式授權經銷商
品勛科技股份有限公司
www.pinsyun.com.tw
02-2278-9886 | 03-668-1808 | 06-230-0896

序言

電子科技充斥我們的生活，每天都有數百萬人使用電子裝置，例如行動手、電視和電腦。隨著電子科技的進步，這些裝置的操作速度也變得更快。如今大多數的裝置都採用高速數位技術。

工程人員需要可以準確設計與測試他們在高速數位裝置中所使用的元件的能力。他們用來設計與測試元件的儀器，必須特別適合處理高速與高頻的特性才行，而示波器正好是這樣的一種儀器。

示波器是一種功能強大的工具，在電子裝置的設計與測試上很有用。它們在您決定系統元件正常與否方面扮演極為重要的角色，而且還能幫助您確定新設計的元件是否如您預期的方式運作。示波器的功能遠比萬用電錶更為強大，因為它們可以讓您觀察電子信號實際的樣貌。

示波器的使用範圍非常廣泛，從汽車工業到大學的研究實驗室及航太 / 國防產業等等。許多公司都依賴示波器來發現瑕疵，以便製造能夠正常運作的產品。示波器在滿足客戶生產新穎且更優質的電子產品的需求上，是絕對不可或缺的工具。

目錄

序言 2
電子信號 3
- 波形的特性 3
- 波形 4
- 類比 vs. 數位信號 5

什麼是示波器，
又為何您需要使用示波器？ 6
- 信號完整性 6
- 示波器的外觀 7
- 示波器的用途 8
- 示波器的類型 9
- 示波器的使用範圍 12

基本的示波器控制與量測 12
- 基本的面板控制 12
- 軟鍵 15
- 基本的量測 16
- 基本的數學運算功能 17

重要的示波器效能特性 18
- 頻寬 18
- 通道 18
- 取樣率 19
- 記憶體深度 20
- 更新速率 21
- 示波器連接 21

示波器探棒 22
- 負載 22
- 被動式探棒 22
- 主動式探棒 22
- 電流探棒 23
- 探棒配件 23

結語 23

電子信號

示波器的主要用途在於顯示電子信號。藉由觀察示波器上顯示的信號，您便可以確定電子系統的某個元件是否正常運作。因此，為了瞭解示波器的運作方式，有必要先認識信號的基本原理。

波形的特性

電子信號會以波形或脈衝的形式表現。波形的基本特性包括：

振幅

在工程應用上經常使用的振幅定義主要有兩種。第一種通常稱為峰值振幅（peak amplitude），其定義為干擾信號的最大位移量。第二種是均方根（RMS）振幅。要計算波形的 RMS 電壓，必須將波形值平方並求出平均電壓，然後再求平方根。

以正弦波來說，RMS 振幅等於峰值振幅的 0.707 倍。

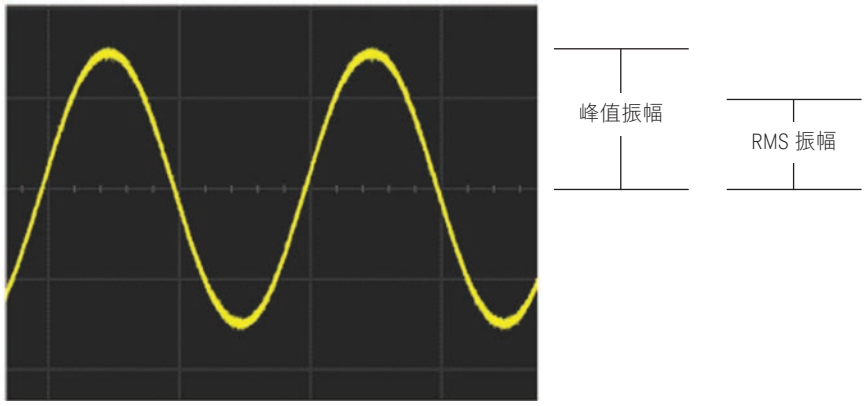

圖 1. 正弦波的峰值振幅與 RMS 振幅

相位差

相位差（phase shift）是指兩個其他條件皆相同的波形之間的水平平移量，以度或弧度為量測單位。就正弦波來說，一個週期以 360 度來表示。因此，如果兩個正弦波相差半個週期，它們的相對相位差就是 180 度。

週期

波形的週期（period）是指波形重複出現一次所花的時間，以秒為量測單位。

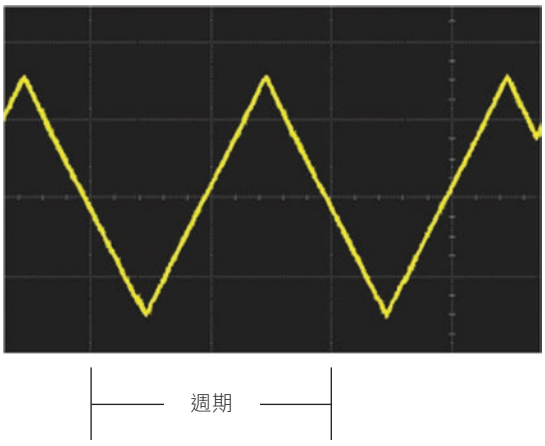

圖 2. 三角波的週期

頻率

每個週期性波形都有一個頻率。頻率是指波形在一秒內重複出現的次數（如果您使用 Hz 為單位的話）。頻率與週期互為倒數。

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

電子信號（續）

波形

波形是指波的形狀或圖形再現（representation）。波形可提供許多有關信號的資訊，舉例來說，它可以透露出電壓是否突然改變、呈線性變化、或維持不變。標準的波形有很多種，本節只會介紹您最常碰到的幾種。

正弦波

正弦波通常與交流電流（AC）源有關，例如您屋內的電源插座。正弦波的峰值振幅並非永遠固定，如果峰值振幅會隨著時間不斷地下降，我們就稱這種波形為阻尼正弦波（damped sinewave）。

方波 / 矩形波

方波（square wave）會在兩個不同的值之間週期性地跳動，因此在高點和低點部分的長度會相等。矩形波（rectangular wave）不同的地方在於高、低點部分的長度並不相等。

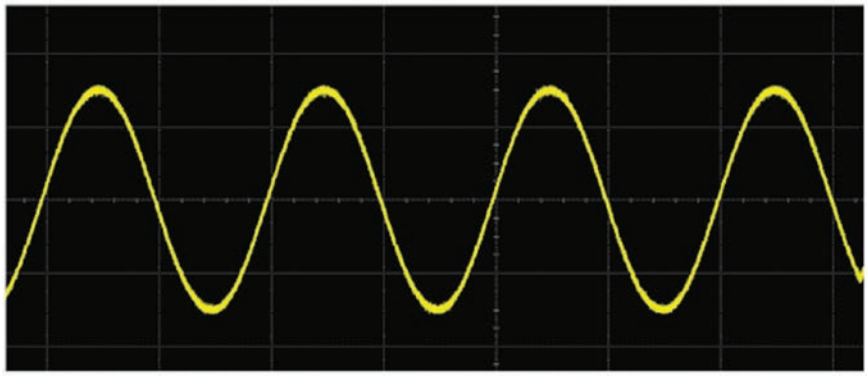

圖 3. 正弦波

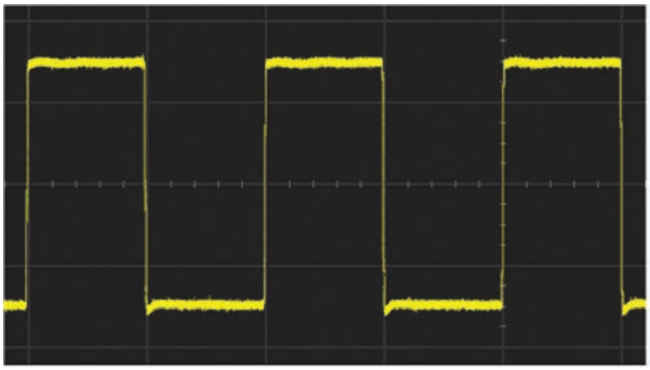

圖 4. 方波

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

電子信號（續）

三角波 / 鋸齒波

在三角波（triangular wave）中，電壓會隨著時間呈線性變化。它的信號緣稱為斜波（ramp），因為波形不是斜升就是斜降到某個電壓。鋸齒波（sawtoothwave）看起來跟三角波很像，因為它前面或後面的信號緣會隨著時間產生線性的電壓響應，但對面的信號緣幾乎是直接往下掉。

脈衝

脈衝是指固定電壓中突然出現的一個干擾。您可以想像在一個房間中拍打開關將電燈打開，然後迅速將其關閉的情形。一連串的脈衝稱為脈衝串（pulse train），延續前面的比喻，這就好比不斷重複快速開燈與關燈的動作一樣。脈衝是信號中常見的突波或錯誤波形。如果信號只帶有一個資訊，脈衝也可以是一個波形。

複合波

波形也可以是以上各種波形的混合。它們不一定要具備週期性，而且可以是非常複雜的波形。

類比 vs. 數位信號

類比信號可以代表某個範圍內的任何值。您不妨想像一下類比時鐘，時針每 12 個小時繞行鐘面一周，在這段期間時針會持續移動，並不會出現讀值跳動或不連續的情形。現在將它與數位時鐘比較一下。數位時鐘只會顯示小時和分鐘，因此是以分鐘作為間隔時間，它會一下子突然從 11:54 跳到 11:55。數位信號同樣具備非連續與數值化的特性。通常非連續信號會有兩個可能的值（高或低，1 或 0 等），因此信號會在這兩個可能的值之間來回跳動。

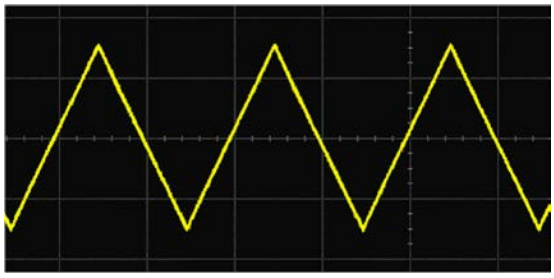

圖 5. 三角波

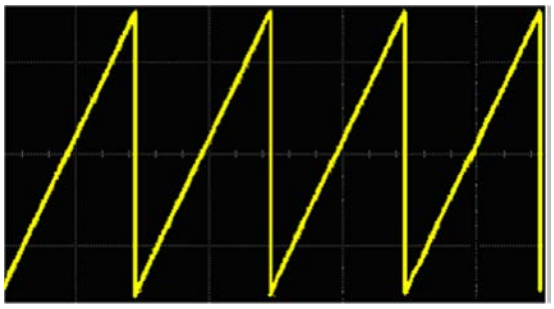

圖 6. 鋸齒波

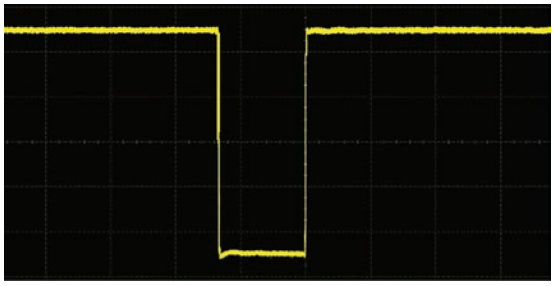

圖 7. 脈衝

什麼是示波器，又為何您需要使用示波器？

信號完整性

示波器主要的用途在於準確地再現電氣信號，因此信號完整性顯得非常重要。信號完整性是指示波器重建波形，準確再現原始信號的能力。信號完整性很低的示波器是沒有價值的，因為當示波器波形的形狀或特性與真正的信號不一樣時，執行測試便毫無意義。

但請記得，不論示波器的品質有多好，也無法完全再現真正的信號。這是因為當您將示波器連接到電路時，示波器就會變成電路的一部分。換言之，會有一些負載效應產生。儀器製造商雖然很努力要將負載效應減到最小，但就某種程度而言它們一直都存在。

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

什麼是示波器，又為何您需要使用示波器？（續）

示波器的外觀

一般來說，最新型的數位示波器的外觀就如圖 8 所示。示波器的種類繁多，您的示波器看起來或許截然不同，但儘管如此，大部分的示波器都具有一些基本的特性。示波器的面板上大致可以分成幾個區塊： 通道輸入、顯示器、水平控制、垂直控制、以及觸發控制。如果您的示波器未配備 Microsoft Windows 作業系統，很可能還會提供一組軟鍵讓您控制螢幕上的功能表。

您可以將探棒插入通道輸入接頭，把信號傳到示波器。顯示器是用來顯示這些信號的螢幕。水平與垂直控制區塊包含了一些旋鈕與按鍵，可用來控制顯示器上的信號的水平軸（通常代表時間）和垂直軸（代表電壓）。透過觸發控制，您可以指示示波器在何種條件下讓時基開始進行掃描（sweep）。

示波器的背板就如圖 9 所示。

如您所見，許多示波器都具備個人電腦的連接功能，包括 CD-ROM 光碟機、CD-RW 光碟機、DVD-RW 光碟機、USB 埠、串列埠，以及外接式監視器、滑鼠與鍵盤輸入等。

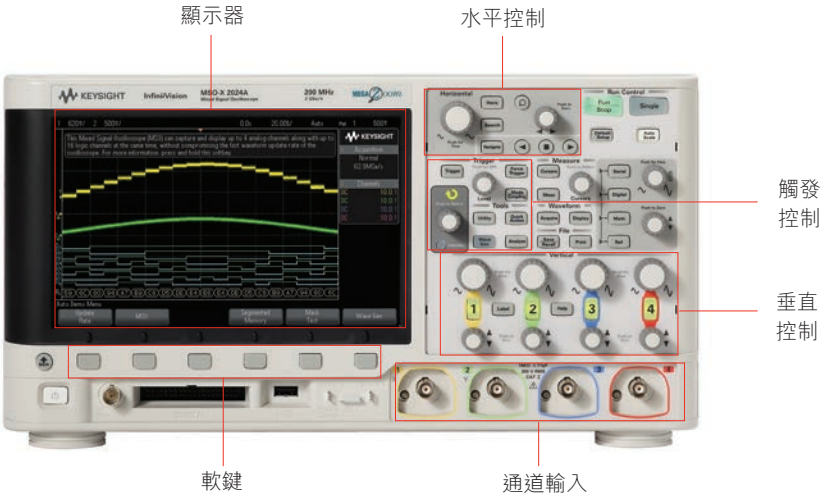

圖 8. Keysight InfniiVision 2000 X 系列示波器的面板

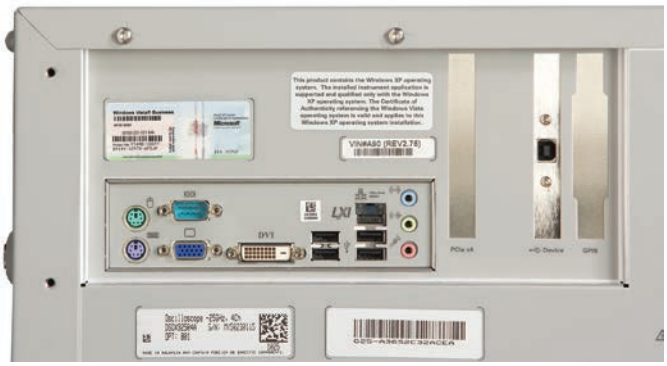

圖 9. Infiniium 9000 系列示波器的背板

什麼是示波器，又為何您需要使用示波器？（續）

示波器的用途

示波器是一種量測與測試儀器，可以顯示某個變數為另一個變數的函數之關係。舉例來說，它可以在顯示器上繪製一個電壓（y 軸）vs 時間（x 軸）的圖表，圖 10 便是這類圖表的一個例子。如果您想測試某個電子元件是否正常運作，這項功能會很有用。倘若您知道移除元件之後應該會出現何種信號波形，就可以使用示波器來查看元件是否真的輸出正確的信號。請注意，x 和 y 軸會以格線劃成一些格子。您可以利用這些格線來進行手動量測，但最新的示波器都能自行執行大部分的量測。

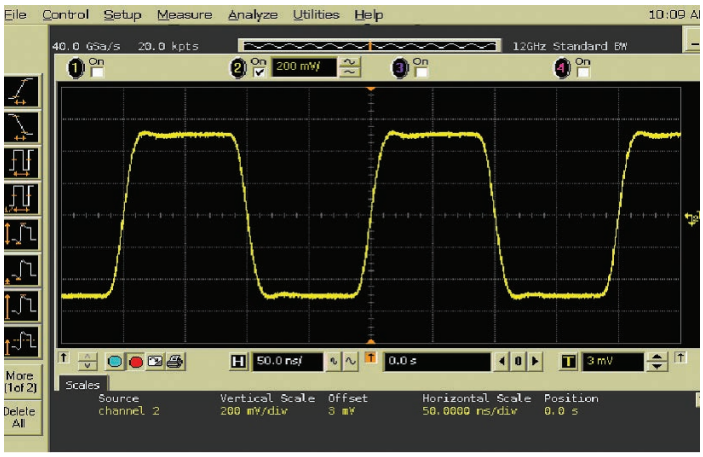

圖 10. 示波器顯示一個方波的電壓 vs. 時間圖

示波器的功用不只是繪製電壓 vs. 時間圖而已。示波器提供多個稱為通道的輸入，每個通道都可以獨立運作。因此，您可以將通道 1 連接到某個裝置，將通道 2 連接到另一個，如此示波器便能繪出通道 1 測得的電壓與通道 2 測得的電壓之間的比較圖。此模式稱為示波器的 XY 模式，在繪製 I-V 圖或 Lissajous 圖時很有用，從 Lissajous 圖的形狀可以得知兩個信號之間的相位差與頻率比。圖 11 為 Lissajous 圖及它們所代表的相位差和頻率

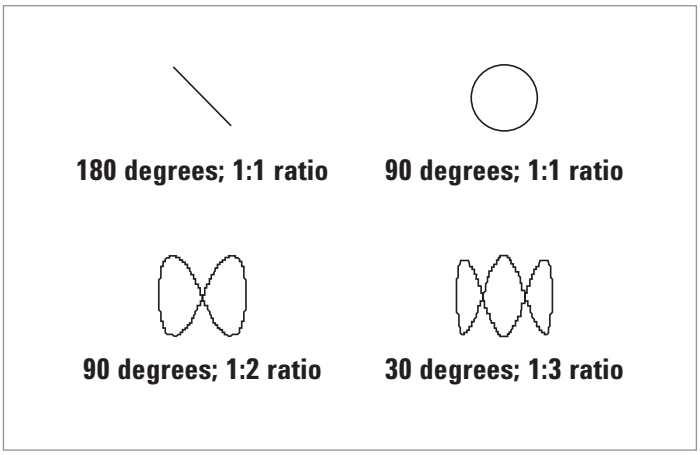

圖 11. Lissajous 圖

什麼是示波器，又為何您需要使用示波器？（續）

示波器的類型

類比示波器

第一種是類比示波器，其使用陰極射線管來顯示波形。電子束在閘極開啟和關閉時，會沿著水平線方向掃描。螢幕塗有螢光物質，只要被電子束擊中就會發光，當連續的螢光點亮起時，您便可以看到信號的再現圖形。為了讓示波器穩定地顯示波形，必須使用觸發。當顯示器上的整個波形軌跡完成時，示波器會等到特定的事件發生（例如越過某個電壓值的上升緣）後才再開始顯示軌跡。未經觸發的顯示畫面是沒有用處的，因為顯示的波形並不穩定（對 DSO 和 MSO 示波器來說的確是如此，這部分稍後會加以討論）。

類比示波器很有用，因為螢光點會繼續發光一段時間而不會馬上消失。從幾個彼此重疊的示波器軌跡，可以看到信號的突波或不規則性。由於當電子束擊中螢幕時波形便會顯示，所以顯示信號的亮度與實際信號的亮度有關。這使得顯示器就像一個 3D 圖一樣（換言之，x 軸代表時間，y 軸代表電壓，z 軸則是亮度）。

類比示波器的缺點是顯示畫面無法固定不動，好讓波形停留較長的時間。當螢光物質不再發光，該部分的信號也會跟著消失，再者您也無法自動執行波形量測。相反地，您必須使用顯示器上的格線，以手動方式來進行量測。類比示波器可以顯示的信號類型也很有限，因為電子束執行水平與垂直掃描的速度設有上限。雖然目前還是有很多人在使用類比示波器，但這類產品在市場上並不多見，反之數位示波器成了廣受歡迎的最新工具。

數位儲存示波器（DSO）

數位儲存示波器（通常稱為 DSO）是為了改正類比示波器的許多缺點而發明的。DSO 的輸入信號必須利用類比數位轉換器來進行數位轉換。圖 12 為是德科技數位示波器所採用的 DSO 結構個一個例子。

衰減器會調整波形。垂直放大器會在波形傳到類比 / 數位轉換器（ADC）之前做進一步的調整。接著 ADC 會對收到的信號進行取樣及數位轉換，然後將資料儲存到記憶體中。觸發會找尋觸發事件，而時基則會調整示波器的時間顯示。當微處理器系統完成您指定的後處理作業之後，信號便會在示波器上顯示。

以數位方式來顯示資料，可讓示波器執行各種波形量測。信號可以無限期地存放在記憶體中，也可以列印出來或透過隨身碟、LAN 或 DVD-RW 傳到電腦。事實上，現在您還可以透過軟體提供的虛擬面板，從電腦來控制與監看您的示波器。

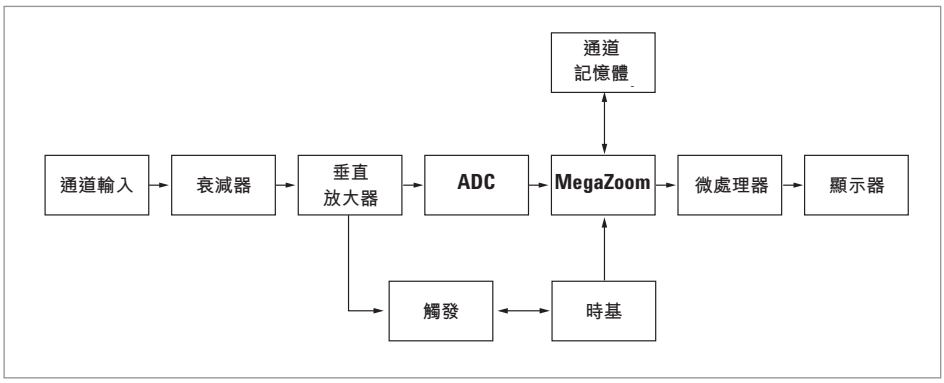

圖 12. 數位示波器的結構

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勤科技股份有限公司

什麼是示波器，又為何您需要使用示波器？（續）

MSO 混合信號示波器

DSO 的輸入信號屬於類比性質，必須透過數位類比轉換器來進行數位轉換。隨著數位電子技術的蓬勃發展，同時監測類比與數位信號的必要性愈來愈高。有鑑於此，示波器廠商開始生產能夠觸發及顯示類比與數位信號的混合信號示波器。這類儀器通常會提供少數幾個類比通道（2 或 4 個）及較多的數位通道（詳見圖 13）。

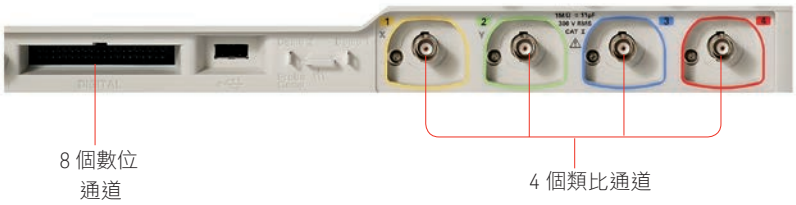

圖 13. MSO 混和信號示波器的面板輸入包括 4 個類比通道和八個數位通道

混合信號示波器的優點是可以在類比與數位信號組合上進行觸發，並顯示以相同時基產生關聯的所有這些信號。

可攜式 / 手持式示波器

顧名思義，可攜式示波器因為體積夠小而可以帶著到處跑。如果您必須在許多不同的地點或實驗室中的不同工作台之間搬動示波器，那麼可攜式示波器便很適合您使用。圖 14 是 Keysight InfiniiVisionX 系列示波器。

圖 14. Keysight InfiniiVisionX 系列可攜帶式示波器

可攜式示波器的優點是輕便易攜，可以快速開啟和關閉，而且很容易使用。它們的效能通常比不上大型的示波器，但安捷倫 InfiniiVision 2000 和 3000 X 系列改變了這個事實。這些示波器提供可攜式示波器常見的便攜與容易操作特性，並且具備強大的性能，可因應當今高達 6 GHz 的除錯需求。

Keysight InfiniiVisionX 系列可攜帶式示波器規格介紹
4000X系列
http://www.pinsyun.com.tw/products-112.html
3000T系列
http://www.pinsyun.com.tw/products-113.html
2000X系列
http://www.pinsyun.com.tw/products-113.html

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勤科技股份有限公司

什麼是示波器，又為何您需要使用示波器？（續）

示波器的類型

經濟型示波器

經濟型示波器的價格不貴，但效能比不上高效能示波器。這些示波器通常可在大學的實驗室裡看到，其主要優點就是低價。您可以用相當合理的價格，買到非常實用的示波器。

高效能示波器

高效能示波器可提供最佳的效能。凡是需要高頻寬、快速的取樣率和更新速率、較大的記憶體深度、以及廣泛的量測功能者，都會選用這種示波器。圖 15 的 Keysight Infiniium 90000A 系列示波器就是高效能示波器的一個例子。

高效能示波器主要的優點是可以讓您正確分析廣泛的信號，並且提供許多應用軟體和工具，使現有技術的分析變得更簡單而快速。價格昂貴且體積較大，是高效能示波器最大的缺點。

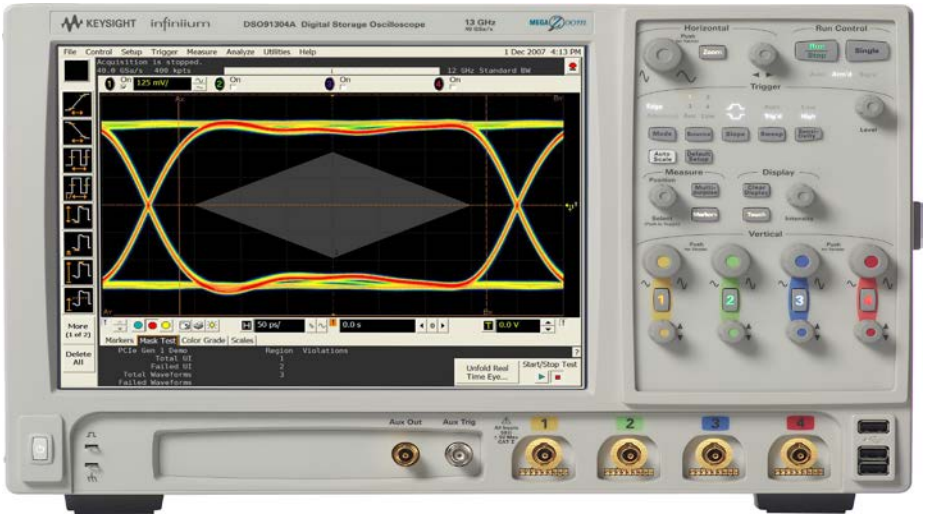

圖 15. Keysight Infiniium 90000A 系列示波器

示波器的使用範圍

需要測試或使用電子信號的公司，幾乎都會用到示波器，也因此示波器的使用範圍相當廣泛：

- 汽車技術人員可以使用示波器來診斷汽車的電氣問題。
- 大學實驗室可以使用示波器來教導學生有關電子的知識。
- 全球各大研究團體都有示波器可隨他們使用。
- 行動手機製造商可以使用示波器來測試信號的完整性。
- 軍事與航空產業可以使用示波器來測試雷達通訊系統。
- 研發工程師可以使用示波器來測試及設計新的技術。
- 示波器也可以用於認證測試。例如用來確保 USB 和 HDMI 的輸出達到某些標準。

示波器的應用廣泛，以上只是其中的幾種。示波器確實是一種多樣化且功能強大的儀器。

Keysight Infiniium S系列示波器(高解析度示波器)
http://www.pinsyun.com.tw/products-110.html

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

基本的示波器控制與量測

基本的面板控制

通常您必須使用面板上的旋鈕與按鍵來操作示波器。除了面板上所提供的控制功能外，許多高階示波器現在也配備作業系統，因此可以像電腦一樣來操作。您可以為示波器接上滑鼠和鍵盤，並使用滑鼠經由顯示器上的下拉式功能表和按鍵來調整控制。此外，有些示波器還備配觸控式螢幕，只要透過觸控筆或指尖就能叫出功能表。

開始之前…

當您第一次使用示波器時，請先檢查您要使用的輸入通道是否已經開啟。然後找到並按下 [Default Settings] 鍵，使示波器回復到原來的預設狀態。接著再按 [Autoscale] 鍵，這麼做可自動設定垂直和水平刻度，以便在顯示器上完美地呈現波形。以此作為起點，然後再做必要的調整。如果您無法追蹤到波形或在顯示波形上出現困難，請重複以上的步驟來改善情況。大部分示波器的面板上至少都會包含四大區塊： 垂直和水平控制、觸發控制、以及輸入控制。

垂直控制

示波器的垂直控制通常會自成一個區塊並標示 Vertical 字樣，這些控制可以讓您調整顯示器的垂直刻度。舉例來說，其中有一個控制可以指定 y 軸的每格電壓（刻度）。您可以縮小每格電壓來放大顯示波形，或提高每格電壓來縮小顯示波形。另外還有一個控制可以調整波形的垂直偏移，它可以讓整個波形在顯示器上往上或往下平移。圖 16 是 Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器的垂直控制區塊。

水平控制

示波器的水平控制通常會在面板上自成一個區塊並標示 Horizontal 字樣，這些控制可以讓您調整顯示器的水平刻度。其中有一個控制可以指定 x 軸的每格時間。同樣地，只要縮小每格時間您就可以在較窄的時間範圍內放大顯示波形。另外還有一個控制可調整水平延遲（偏移），它可以讓您掃描一個時間範圍。圖 17 是 Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器的水平控制區塊。

圖 16. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器面板上的垂直控制區塊

圖 17. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器面板上的水平控制區塊

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

基本的示波器控制與量測（續）

觸發控制

如同稍早所提到的，在您的信號上觸發有助於顯示一個穩定、可用的波形，並可讓您查看感興趣的波形部分。觸發控制可以讓您選擇垂直觸發位準（例如您希望示波器觸發時所在的電壓）及不同的觸發功能。常見的觸發類型包括：

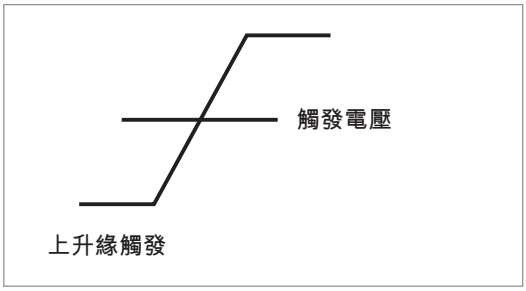

圖 18. 當您要在上升緣觸發時，只要達到臨界值示波器就會進行觸發。

信號緣觸發

信號緣觸發是最受歡迎的一種觸發模式。當電壓越過某個臨界值時，觸發就會發生。您可以選擇在上升緣或下降緣觸發。圖 18 是在上升緣觸發的例子。

突波觸發

在突波觸發模式下，當事件或脈衝寬度比指定的時間長度來得大或小時就會進行觸發。這項功能對於發現隨機突波或錯誤很有用。如果這些突波不常出現，可能會很難看到，但只要使用突波觸發您就可以擷取到許多這類錯誤。圖 19 是 Keysight InfiniiVision 6000 系列示波器所擷取到的一個突波。

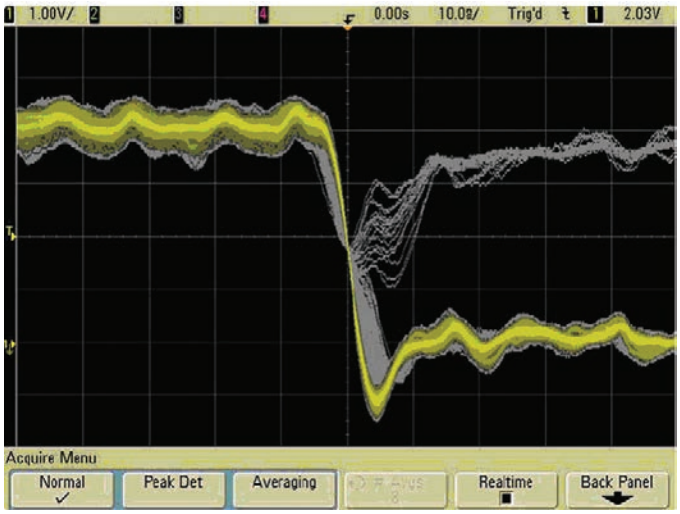

圖 19. Keysight InfiniiVision 6000 系列示波器所擷取到的一個偶發突波

Keysight InfiniiVision 6000 系列示波器
http://www.pinsyun.com.tw/products-111.html

基本的示波器控制與量測（續）

脈衝寬度觸發

當您要找尋特定的脈衝寬度時，脈衝寬度觸發就很類似於突波觸發。但這項觸發功能更普遍，因為您可以在任何指定寬度的脈衝上觸發，並可選擇要在脈衝的哪個極性（負或正）上觸發。您也可以設定觸發的水平位置，以觀察觸發前後所發生的事。舉例來說，您可以執行突波觸發來找出錯誤，然後查看觸發前的信號以瞭解造成突波的原因。如果將水平延遲設定為 0，您的觸發事件將會出現在螢幕中間的水平方向。緊跟在觸發之前發生的事件會出現在螢幕的左邊，在觸發之後立即發生的事件會出現在右邊。您也可以設定觸發耦合，以及您想要觸發的輸入信號源。您不一定非得在您的信號上觸發不可，相反地您可以在相關的信號上觸發。圖 20 是示波器面板的觸發控制區塊。

輸入控制

示波器一般會提供 2 或 4 個類比通道。這些通道會加以編號，而且每個通道通常會對應一個相關的按鍵，供您開啟或關閉通道使用。另外您也可以選擇指定 AC 或 DC 耦合。如果選擇 DC 耦合，整個信號都是輸入。反之，AC 耦合會阻隔 DC 成分，並將波形的中心設在大約 0V （接地）。此外，您還可以透過選取鍵來為每個通道指定探棒阻抗。輸入控制也可以讓您選擇取樣的類型。信號的取樣有兩種基本的方法：

即時取樣

即時取樣會對波形進行頻繁的取樣，因此在每次掃描時都能擷取到完整的波形影像。現在某些高效能型示波器可使用即時取樣技術，單次擷取到高達 32-GHz 頻寬的信號。

等效時間取樣

等效時間取樣必須歷經好幾次的掃描才能建立波形。它會在第一次掃描時取樣信號的某個部分，在第二次掃描時取樣另一個部分，依此類推。接著它會將所有的資訊結合在一起，以便重建波形。等效時間取樣在高頻信號的取樣上很有用，對即時取樣來說這些信號的速度太快了 (>32 GHz)。

圖 20. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器面板的觸發控制區塊

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勤科技股份有限公司

基本的示波器控制與量測（續）

軟鍵

在未配備 Windows 作業系統的示波器上可以找到一些軟鍵（如圖 8 所示），您可以利用這些軟鍵來導覽示波器顯示器上的功能表系統。圖 21 是按下軟鍵時會出現的快顯功能表，圖中顯示的功能表是在選擇觸發模式後出現的。您可以不斷地按軟鍵以切換不同的選項，或利用面板上的旋鈕轉到您要的選項。

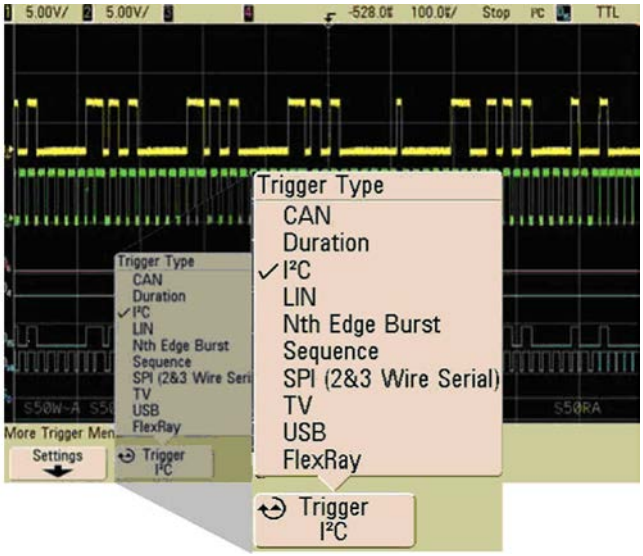

圖 21. 當您按下觸發功能表底下的軟鍵時，Trigger Type 功能表就會出現。

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

基本的示波器控制與量測（續）

基本量測

數位示波器可以讓您執行廣泛的波形量測，量測的複雜度與範圍取決於示波器的功能組。圖 22 是 keysight 8000 系列示波器的空白畫面。請注意，在螢幕的最左邊有一排量測按鍵 / 圖示，使用滑鼠將這些圖示拖曳到波形上，便可開始執行量測。這些圖示一看就知道是哪一種量測運算，使用上非常方便。

許多示波器都會提供以下的基本量測：

峰對峰電壓

這項量測會計算在波形循環的高、低電壓之間的電壓差。

RMS 電壓

這項量測會計算波形的 RMS 電壓，該值可進一步用來計算功率。

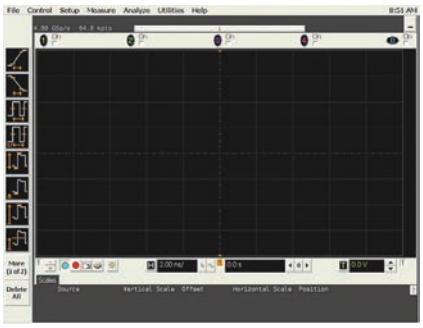

圖 22. Keysight 示波器的空白畫面

上升時間

這項量測會計算信號從低電壓到高電壓所花的時間。通常會計算從峰對峰電壓的 10% 到 90% 所花的時間。

脈衝寬度

正脈衝寬度量測計算脈衝寬度的方法是，計算波形從峰對峰電壓的 50% 升到最大電壓再回落到 50% 所花的時間。負脈衝寬度量測則是計算波形從峰對峰電壓的 50% 降到最小電壓再回升到 50% 所花的時間。

週期

這項量測會計算波形的週期。

頻率

這樣量測會計算波形的頻率。

以上是許多示波器都會提供的量測項目，但大多數示波器所能執行的量測並不僅止於此。

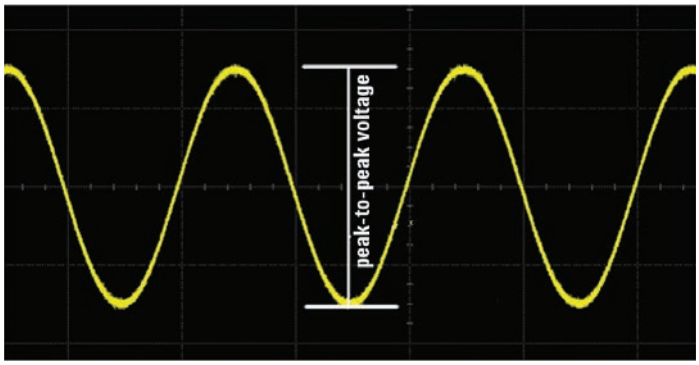

圖 23. 峰對峰電壓

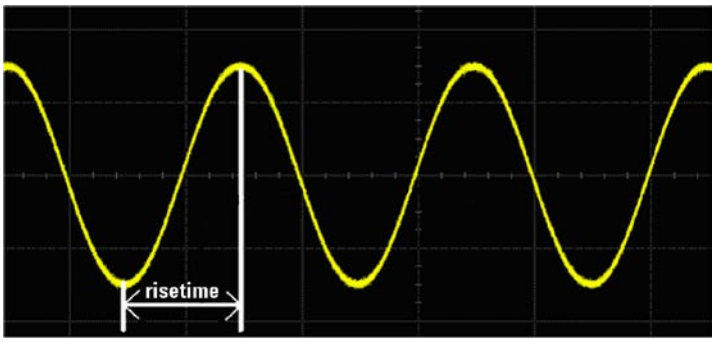

圖 24. 上升時間範例（此圖顯示從峰對峰電壓的 0% 到 100% 所花的時間，而非通常設定的 10% 到 90%）

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

基本的示波器控制與量測（續）

基本的數學運算功能

除了前面討論的量測功能之外，您還可以針對波形執行許多數學運算，包括：

傅立葉轉換

經由傅立葉轉換，可以知道信號是由哪些頻率所組成。

絕對值

這項數學運算功能可以顯示您的波形的絕對值（以電壓值表示）。

積分

這個數學運算功能可以計算波形的積分。

加減運算

您可以利用加減運算將多個波形相加或相減，並顯示結果所產生的信號。

再次強調，以上只是示波器所提供的一小部分量測與數學運算功能而已。

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

重要的示波器效能特性

示波器的許多特性都會明顯影響儀器的效能，進而決定您準確測試裝置的能力。本節會介紹這些最基本的特性，也會幫助您熟悉示波器的術語，並說明如何明智地挑選最符合您需求的示波器。

頻寬

頻寬是示波器最重要的一項特性，因為它是示波器頻域範圍的一個指標。換言之，頻寬決定了您能夠準確顯示與測試的信號範圍（以頻率表示）。頻寬以 Hertz 為量測單位。沒有足夠的頻寬，您的示波器將無法準確再現真實的信號，比方說，您可能會發現信號的振幅是錯的、信號緣並不穩定、或有波形細節遺失。示波器頻寬是指信號被衰減 3 dB 時的最低頻率。我們也可以從另外一個角度來解釋頻寬：如果您在示波器中輸入一個純正弦波，當顯示的振幅達到真實信號振幅的 70.7% 時的最小頻率即為頻寬。

有關示波器頻寬的細節，請參考應用手冊 *Evaluating Oscilloscope Bandwidths for Your Applications*.

通道

通道是指示波器的獨立輸入。示波器通道的數量介於 2 到 20 個之間，通常是 2 或 4 個。通道所傳送的信號類型也不盡相同。有些示波器只提供類比通道（這些儀器稱為 DSO – 數位信號示波器），MSOs 混合信號示波器則同時提供類比與數位通道。舉例來說，Keysight InfiniiVision 系列 MSOs 提供了 20 個通道，其中 16 個是數位通道，4 個是類比通道。

請確定您的應用有足夠的通道可以使用。如果只有兩個通道，但卻必須同時顯示 4 個信號，顯然會出問題。

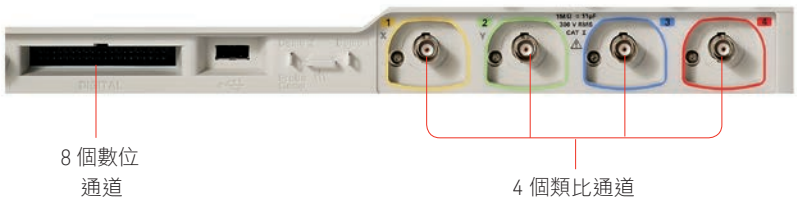

圖 25. Keysight MSO 2000 X 系列示波器上的類比與數位通道

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勤科技股份有限公司

重要的示波器效能特性（續）

取樣率

示波器的取樣率是指每秒可擷取的取樣數量。建議您選擇取樣率至少比頻寬大 2.5 倍的示波器，但理想上取樣率應為頻寬的 3 倍以上。

在評估示波器製造商所宣傳的取樣率規格時必須很小心，廠商通常會列出示波器可達到的最大取樣率，但這樣的取樣率通常是在只使用一個通道的情況下才能達到，如果同時使用多個通道，取樣率就會下降。因此，請確認在使用多少個通道的情況下，仍可維持廠商所聲稱的最大取樣率。如果示波器的取樣率太低，您在示波器上所看到的信號可能不是很準確。舉例來說，假設您想查看一個波形，但示波器的取樣率每個週期只能產生兩個資料點（圖 26）。

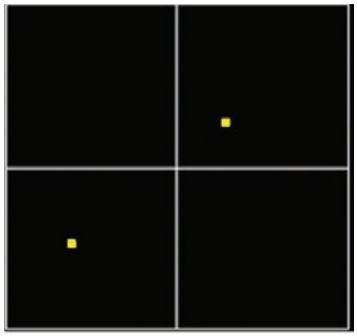

圖 26. 每個週期產生 2 個資料點的波形取樣率

現在請想一下，如果將取樣率提高為每個週期取樣 7 次，描繪出來的波形會是什麼樣子（圖 27）。

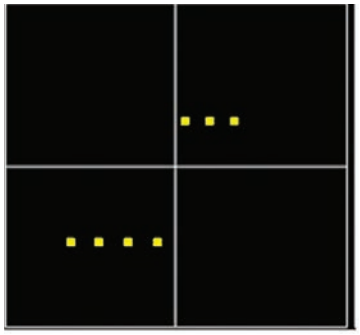

圖 27. 每個週期產生 7 個資料點的波形取樣率

顯然每秒的取樣愈多，顯示的波形就愈清楚且準確。如果針對以上的例子持續提高波形的取樣率，則取樣到的資料點最後看起來幾乎是連續的。事實上，示波器會使用 sin(x)/x 內插法來填滿取樣資料點之間的空間。

有關示波器取樣率的更詳細資訊，請參考應用手冊 *Evaluating Oscilloscope Sample Rates vs. Sampling Fidelity: How to Make the Most Accurate Digital Measurements*

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

重要的示波器效能特性（續）

記憶體深度

如同稍早所提到的，數位示波器會使用 A/D （類比 / 數位）轉換器對輸入的波形進行數位轉換，經數位轉換的資料則會存放到示波器的高速記憶體中。記憶體深度是指可以儲存的記錄數量，也就是資料的儲存時間。

記憶體深度在示波器的取樣率上，扮演著相當重要的角色。理想上，不論示波器的設定為何，取樣率都應該維持不變。但這樣的示波器在很小的每格時間（time/division）設定下需要用到相當龐大的記憶體，而其售價將會超出許多客戶所能負擔的範圍。實際上，只要增加時間範圍，取樣率便會下降。記憶體深度至關重要，因為當示波器的記憶體深度愈大，您以最高取樣速度來擷取波形的時間就可以維持得愈久。我們可以用數學式子來表示：

記憶體深度 = (取樣率) (顯示器的時間設定範圍)

因此，如果想在較長的時間範圍內顯示高解析度資料點，那麼就需要使用深度記憶體。確認示波器在最深的記憶體深度設定下的效能也很重要。在此模式下示波器的效能通常會急劇下降，因此許多工程師只有在必要的時候才會使用深度記憶體。

如想進一步認識示波器的記憶體深度，請參考應用手冊 *Demystifying Deep Memory Oscilloscopes*.

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

重要的示波器效能特性（續）

更新速率

更新速率是指示波器擷取及更新波形顯示畫面的速率。雖然從肉眼上好像可以看到示波器正在顯示“作用中”的波形，但那是因為更新的速度太快，以致肉眼無法察覺到變化。事實上在各次擷取之間都會出現一段停滯時間（詳見圖 28），此時波形的某個部分並不會顯示在示波器上。因此，如果在這段時間出現一些偶發事件或突波，您是不會看見的。

快速的更新速率的重要性，其實並不難理解。更新速率愈快，代表停滯時間愈短，可擷取到偶發事件或突波的機率就愈高。

比方說您顯示的信號中有一個突波是每 50,000 個週期就會出現一次，如果您的示波器的更新速率是每秒 100,000 個波形，那麼平均每秒鐘可擷取到這個突波兩次。但如果示波器的更新速率是每秒 800 個波形，那麼平均要花一分鐘才能擷取到突波，如此將必須等待較長的時間。

在比較不同示波器的更新速率規格時必須很謹慎。有些製造商在廣告中所聲稱的更新速率，其實必須在特殊的擷取模式下才能達到。這些擷取模式可能會嚴重限制示波器的效能，例如記憶體深度、取樣率與波形的重建。因此，最好能確認示波器在最大更新速率下顯示波形時的效能。

示波器連接

示波器提供了各種連接功能。有些示波器會配備 USB 埠、DVD-RW 光碟機、外接式硬碟和外接式監視器連接埠。以上所有的功能都可以幫助您更容易地使用示波器及傳輸資料。有些示波器也會配備作業系統，讓您的示波器如同個人電腦般的運作。只要搭配外接式監視器、滑鼠與鍵盤使用，您就可以將示波器視為嵌入 PC 中一般來查看示波器的顯示畫面及控制其操作。在許多情況下，您也可以透過 USB 或 LAN 連接介面，將資料從示波器傳到 PC。

好的連接功能可以為您節省許多寶貴的時間，並能協助您更容易地完成工作。舉例來說，您可以迅速而完整地將資料傳到膝上型電腦，或與分散在不同地點的同事分享資料。此外您也可以使用 PC，從遠端來控制示波器。很多情況下都要求有效率地傳輸資料，因此購買具備優質連接功能的示波器才是正確的投資。

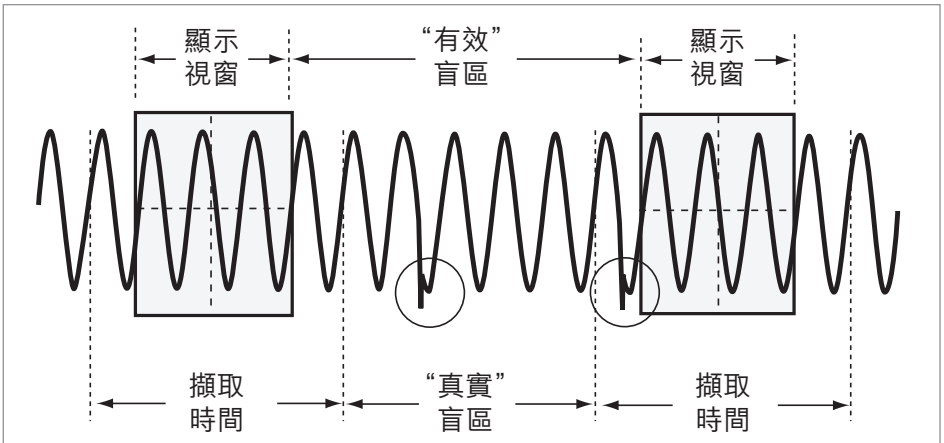

圖 28. 停滯時間示意圖。畫圈處指出這兩個偶發事件並不會顯示。

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

示波器探棒

示波器可以決定您顯示及分析信號的準確程度，但用來連接示波器與待測裝置（DUT）的探棒則與信號完整性息息相關。如果您使用的是 1 GHz 示波器，但探棒卻只支援 500 MHz 的頻寬，那麼您將無法充分利用示波器的頻寬。本節會討論探棒的類型及每一種探棒適合的應用。

負載

沒有一根探棒能夠完美複製您的信號，因為當您將探棒連接到電路時，探棒就會變成該電路的一部分。電路中有部分的電能流經探棒的現象稱為負載。負載共有三種，包括： 電阻性、電容性與電感性。

電阻性負載

會造成顯示的信號出現錯誤的振幅，也可能在連接上探棒時導致故障的電路開始發生作用。探棒的電阻最好比信號源電阻大 10 倍以上，以便使振幅的縮小幅度低於 10%。

電容性負載

會導致上升時間變慢，並使頻寬變小。為減少電容性負載，探棒的頻寬最好比信號頻寬至少大上 5 倍。

電感性負載

在您的信號中會以振鈴的形式出現。它是由探棒接地導線的電感效應所引起，因此請盡可能選用最短的導線。

被動式探棒

被動式探棒只包含被動元件，不需要使用電源供應器就可運作。這類探棒在探測頻寬小於 600 MHz 的信號時會很有用，一旦超過這個頻率，就需改用不同的探棒（主動式探棒）。

被動式探棒通常不貴，並具備容易操作與堅固耐用的特性。它們是一種多功能且準確的探棒。被動式探棒的種類包括低阻抗電阻分壓器探棒、補償式探棒、高電阻分壓器探棒及高電壓探棒。

被動式探棒通常會產生高電容性負載和低電阻性負載。

主動式探棒

使用主動式探棒時，必須透過電源供應器來供電。因此，電源供應器有時支援 USB 連接，有時則是由示波器主機本身來供電。主動式探棒使用主動元件來放大或調節信號。主動式探棒可以支援很大的信號頻寬，因此很適合高效能的應用。

主動式探棒的價格比被動式探棒高出許多，不但耐用性差，探針頭也比較重。但這類探棒可以提供最佳的電阻性和電容性負載組合，並可讓您測試更高頻率的信號。

Keysight InfiniiMax 系列探棒屬於高效能探棒。它們在探針頭使用一個阻尼電阻器，可以大幅減少負載效應。此外，這些探棒也提供相當大的頻寬。

圖 29. 被動式探棒

圖 30. 主動式探棒

Keysight 探棒介紹
http://www.pinsyun.com.tw/products-39.html

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

示波器探棒（續）

電流探棒

電流探棒可用來量測流經電路的電流，它們通常具有較大的體積，頻寬也比較有限（100 MHz）。

探棒配件

探棒還提供各種不同的探針頭，從可以包覆纜線的笨重型探針頭，到只有幾根頭髮細的探針頭應有盡有。有了這些探針頭，您就可以更容易地接觸測試電路或待測裝置的各個部分。

圖 31. 電流探棒

結語

在當今的科技領域中，示波器是一種功能非常強大的工具，它們適用於各種不同的領域，並提供勝過其他量測與測試設備的許多優點。閱讀完本應用手冊之後，您對於示波器的基本原理應該已經有所瞭解。請善加運用這些知識並繼續閱讀其他進階的主題，讓您在使用示波器時變得更有效率。

更多關於是德科技示波器的資訊，請瀏覽：www.keysight.com/find/scopes

是德科技示波器

20 MHz 到 > 90 GHz 等不同頻寬的機型 | 領先產業的規格 | 強大的應用軟體

PINSYUN Technologies CO.,LTD.
品勛科技股份有限公司

如有任何問題,請洽keysight 正式授權經銷商
品勛科技股份有限公司
www.pinsyun.com.tw
02-2278-9886 | 03-668-1808 | 06-230-0896

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight
透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊

www.axiestandard.org
AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基於 dvancedTCA 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。是德科技之前身安捷倫 EMG 是 LXI 聯盟的創始會員。

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。是德科技之前身安捷倫 EMG 是 LXI 聯盟的創始會員。

www.pxisa.org
PCI eXtensions for Instrumentation (PXI) 模組化儀器提供堅固耐用的 PC 式高效能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。

五年保固延長計劃

www.keysight.com/find/AssurancePlans
是德科技提供經濟實惠的五年保固保證，確保儀器的運作達到規格要求，您可持續信賴儀器的量測準確度。

www.keysight.com/quality
是德科技—DEKRA Certified ISO 9001:2008 品質管理系統。

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。

www.keysight.com/find/scopes

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 桃園縣平鎮市高雙路 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

如有任何問題,請洽keysight 正式授權經銷商
品勛科技股份有限公司
www.pinsyun.com.tw
02-2278-9886 | 03-668-1808 | 06-230-0896

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

PINSYUN Technologies CO.,LTD. 品勛科技股份有限公司

本文件中的產品規格及說明如有修改，恕不另行通知。
© Keysight Technologies, 2014 - 2017
Published in USA, December 1, 2017
5989-8064ZHA
www.keysight.com.tw