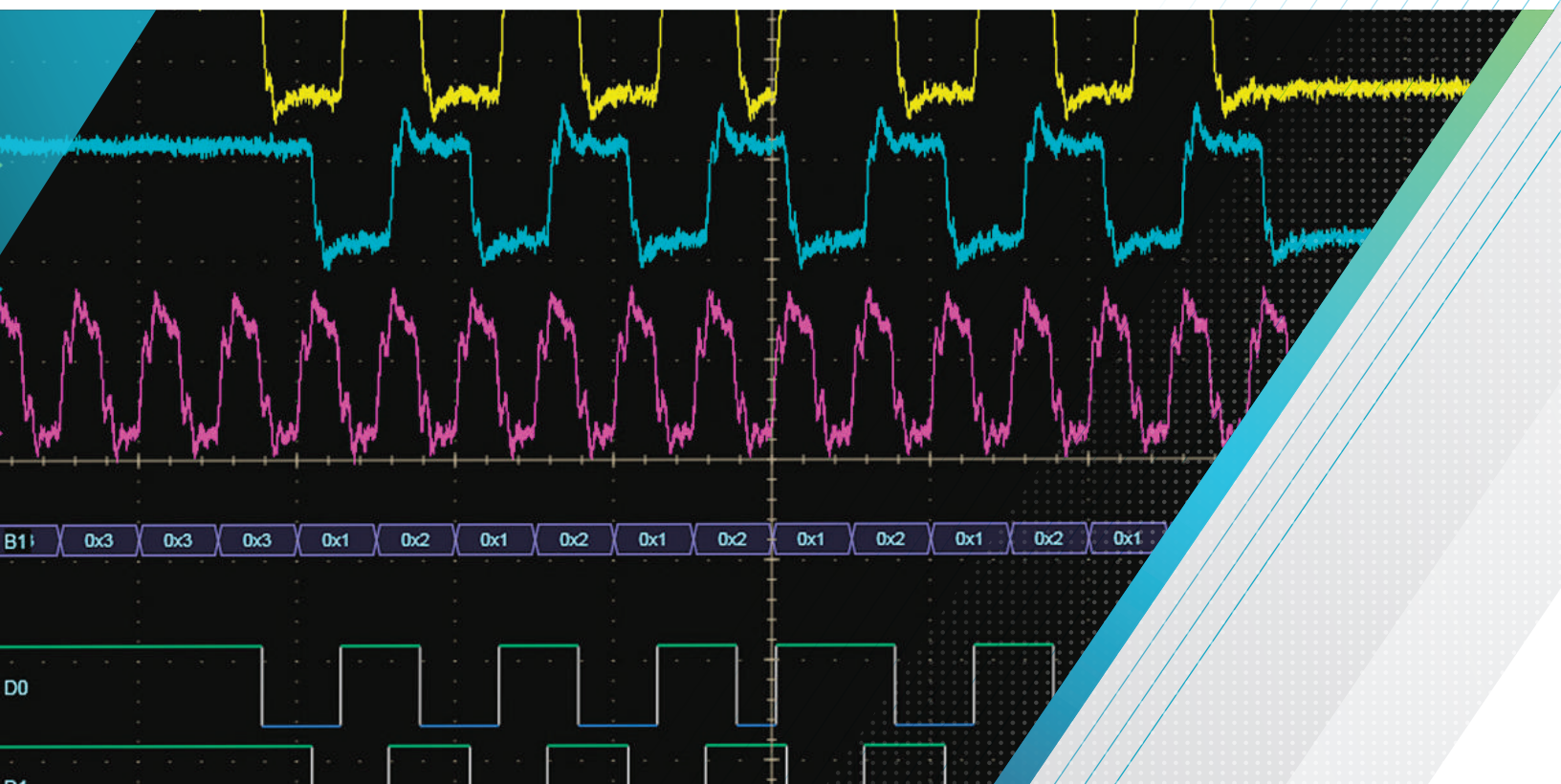


深入瞭解示波器

入門手冊



目錄

| | | | |
|---------------------|-------|-----------------------------|-------|
| 前言..... | 4 | 示波器的系統和控制功能 | 19–32 |
| 訊號完整性..... | 5–6 | 垂直系統和控制功能 | 20 |
| 訊號完整性的意義..... | 5 | 位置和伏特/格..... | 20 |
| 為什麼訊號完整性是一個問題？..... | 5 | 輸入耦合..... | 20 |
| 觀察數位訊號的類比信號源 | 6 | 頻寬限制..... | 20 |
| 示波器 | 7–12 | 頻寬增強..... | 21 |
| 瞭解波形和波形量測..... | 7 | 水平系統和控制功能 | 21 |
| 波的類型 | 8 | 擷取控制功能..... | 21 |
| 正弦波 | 9 | 擷取模式..... | 21 |
| 方波和矩形波 | 9 | 常用的水平控制功能..... | 21 |
| 鋸齒波和三角波..... | 9 | 擷取模式的類型..... | 22 |
| 階梯波和脈衝形狀..... | 9 | 啟動和停止擷取系統..... | 22 |
| 週期訊號和非週期訊號..... | 9 | 取樣..... | 23 |
| 同步訊號和非同步訊號..... | 9 | 取樣控制功能..... | 23 |
| 複合波 | 10 | 即時取樣方法..... | 23 |
| 波形量測 | 11 | 等時取樣方法..... | 25 |
| 頻率和週期..... | 11 | 位置和秒/格..... | 27 |
| 電壓..... | 11 | 時基選擇..... | 27 |
| 振幅..... | 11 | 縮放/捲動..... | 27 |
| 相位..... | 11 | 搜尋..... | 27 |
| 使用數位示波器進行波形量測..... | 12 | XY 模式..... | 27 |
| 示波器的類型 | 13–18 | Z 軸..... | 27 |
| 數位儲存示波器 | 13 | XYZ 模式及 DPO 和 XYZ 記錄顯示..... | 27 |
| 數位螢光示波器 | 15 | 觸發系統和控制功能 | 28 |
| 混合域示波器..... | 17 | 觸發位置..... | 30 |
| 混合訊號示波器..... | 17 | 觸發位準和斜率..... | 30 |
| 數位取樣示波器 | 18 | 觸發模式..... | 31 |
| | | 觸發耦合..... | 31 |
| | | 觸發延遲..... | 31 |
| | | 顯示系統和控制功能 | 32 |
| | | 其他示波器控制功能 | 32 |
| | | 數學運算和量測運算..... | 32 |
| | | 數位時序和狀態擷取..... | 32 |

| | | | |
|-----------------------|--------------|---------------------|--------------|
| 完整的量測系統..... | 33–36 | 操作示波器..... | 44–45 |
| 探棒..... | 33 | 正確接地..... | 44 |
| 被動式探棒..... | 34 | 設定控制功能..... | 44 |
| 主動式探棒和差動式探棒..... | 35 | 校驗儀器..... | 45 |
| 邏輯探棒..... | 35 | 連接探棒..... | 45 |
| 專用探棒..... | 36 | 補償探棒..... | 45 |
| 探棒配件..... | 36 | 示波器量測技術..... | 47–48 |
| 效能術語和考慮因素..... | 36–43 | 電壓量測..... | 47 |
| 頻寬..... | 36 | 時間和頻率量測..... | 48 |
| 上升時間..... | 37 | 脈波寬度和上升時間量測..... | 48 |
| 取樣率..... | 38 | 相位偏移量測..... | 49 |
| 波形擷取速率..... | 39 | 其他量測技術..... | 49 |
| 記錄長度..... | 39 | 書面練習..... | 50–55 |
| 觸發功能..... | 40 | 第一部分 | |
| 有效位元..... | 40 | A：辭彙練習..... | 50 |
| 頻率響應..... | 40 | B：應用練習..... | 51 |
| 垂直靈敏度..... | 40 | 第二部分 | |
| 掃描速度..... | 40 | A：辭彙練習..... | 52 |
| 增益準確度..... | 40 | B：應用練習..... | 53 |
| 水平準確度 (時基)..... | 40 | 參考答案..... | 55 |
| 垂直解析度 (類比轉數位轉換器)..... | 40 | 術語表..... | 56–59 |
| 時序解析度 (MSO)..... | 41 | | |
| 連接能力..... | 41 | | |
| 擴展能力..... | 42 | | |
| 簡便易用..... | 43 | | |

前言

不管是海浪、地震、音爆、爆炸、聲音通過空氣傳播、還是人體運動的自然頻率，自然界都以正弦波的形式運動。能量、振動粒子及其他看不見的力分散在我們的物理空間中。即使是光線（部分是粒子、部分是波）也有基礎頻率，可以作為色彩進行觀察。

感測器可以將這些力轉換成電訊號，然後可以使用示波器觀察和分析這些訊號。透過使用示波器，科學家、工程師、教育工作者等等可以「看到」隨時間變化的事件。

對設計、製造或維修電子設備的任何人來說，示波器都是一種不可或缺的工具。在目前快節奏的世界中，工程師需要最優秀的工具，來迅速準確地解決面臨的量測挑戰。作為工程師的眼睛，示波器在迎接目前棘手的量測挑戰方面至關重要。

示波器的用途並不僅限於電子領域。在安裝適當的感測器時，示波器可以量測各類現象。感測器是一種針對物理激勵產生電訊號的裝置，如聲音、機械壓力、壓力、光或熱。麥克風就是一種感測器，它將聲音轉換成電訊號。圖 1 說明了示波器可以蒐集的科學資料實例。

從物理學家到維修技師，每個人都離不開示波器。汽車工程師使用示波器，將來自感測器的類比資料與來自引擎控制單元的串列資料關聯起來。醫學研究人員使用示波器量測腦電波。示波器的用途可以說是無窮無盡的。

在瞭解本入門手冊中介紹的概念後，您可以初步瞭解示波器基礎知識和工作原理。

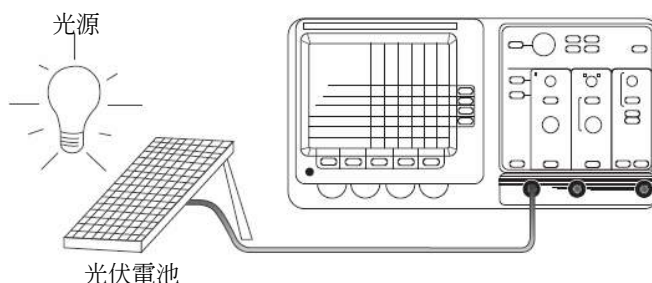


圖 1. 示波器蒐集的科學資料實例。

本入門手冊後面的術語表提供使用者不熟悉的術語定義。另外，還提供與示波器原理和控制功能有關的辭彙表和多項可選的書面練習題，可以作為實用的教學輔助資料使用。閱讀本入門手冊的讀者不需有數學或電子知識。

在閱讀本入門手冊之後，您將能夠：

- 描述示波器的工作方式
- 描述各種示波器之間的差異
- 描述電氣波形類型
- 瞭解基本示波器控制功能
- 進行簡單的量測

示波器隨附的手冊將提供如何在工作中使用示波器有關的更詳盡資訊。部分示波器製造商還提供大量的應用指南，協助您在專用量測中優化示波器。

如果您需要進一步協助，或與本入門手冊中資料有關的建議或問題，請與 Tektronix 代表聯絡，或造訪 www.tektronix.com.tw。

訊號完整性

訊號完整性的意義

對任何優秀的示波器系統來說，準確重建波形的能力都是關鍵，這種能力稱為訊號完整性。示波器類似於一台攝影機，它捕獲訊號影像，然後可以觀察和解釋訊號影像。訊號完整性的核心有兩個關鍵問題：

- 在拍攝時，拍到的是不是實際發生事件的準確影像？
- 影像清楚還是模糊？
- 每秒可以拍攝多少張這麼準確的圖片？

示波器不同的系統和效能功能結合在一起，影響著其提供最高訊號完整性的能力。探棒也影響著量測系統的訊號完整性。

訊號完整性影響著許多電子設計學科。但直到幾年前，它對數位設計人員來說還不是什麼大問題。設計人員可以依賴邏輯電路，像布林電路一樣操作。當時，有雜訊的、不確定的訊號發生在高速電路中，RF 設計人員還不用擔心這些問題。數位系統切換速度慢，訊號以可預測的方式穩定。

此後，處理器的時脈速率提高了幾個量級。三個維度影像、視訊和伺服器 I/O 等電腦應用需要大量的頻寬。目前大部分電訊設備都以數位方式為基礎，同樣要求大規模的頻寬。數位高畫質電視也不例外。新一代微處理器裝置以高達 2 GS/s、3 GS/s、甚至 5 GS/s (千兆樣點/秒) 的速率處理資料，某些 DDR3 儲存設備則使用 2 GHz 以上的時脈及上升時間為 35 ps 的資料訊號。

重要的是，汽車、消費電子、機械控制裝置及各類常使用 IC 裝置的應用對速度的要求愈來愈高。

在以 20 MHz 時脈速率運行的處理器中，訊號的上升時間與 800 MHz 處理器中的訊號類似。設計人員已經超越了效能門檻，事實上，幾乎每種設計都是高速設計。

如果沒有某些預防性措施，高速問題可能會鑽進其他傳統數位設計中。如果電路經歷間歇性故障，或在極端電壓和溫度時遇到錯誤，那麼可能存在某些隱藏的訊號完整性問題。這些問題會影響產品開發週期、產品可靠性、EMI 合規性、等等。這些高速問題還可能會影響系統中串列資料串流的完整性，要求某種方法，將資料中的特定碼型與高速波形中觀察到的特性關聯起來。

為什麼訊號完整性是一個問題？

讓我們看一下目前數位設計中訊號劣化的部分具體成因。為什麼現在這些問題比過去幾年盛行得多了呢？

答案是速度。在「低速的舊時代」，保持可以接受的數位訊號完整性只需注意細節就可以了，例如時脈分配、訊號路徑設計、雜訊容許度、負載影響、傳輸線效應、匯流排終端、解耦和配電。所有這些規則仍然適用，但是.....

今天，匯流排週期時間比 20 年前快了 1000 倍！過去需要幾微秒的異動處理現在只需要幾納秒。為實現這種改進，邊緣速度也已經加快，其比 20 年前快了 100 倍。

這一切還好。然而，某些實際物理狀況使得電路板技術不能跟上發展步伐。晶片間匯流排的傳播時間在過去幾十年中幾乎一直沒有變化。當然，其尺寸已經縮小，但仍需要為 IC 裝置、連接器、被動式裝置、當然還有匯流排軌跡本身提供電路板空間。這些空間匯聚成距離，而距離則意味著時間，這正是速度的天敵。

必需指出的是，數位訊號的邊緣速度 – 上升時間承載的頻率成分可以高於其重複速率表示的頻率。基於這一原因，某些設計人員故意尋求上升時間相對「較慢」的 IC 裝置。

集總電路模型一直是預測電路中訊號特性使用的大多數計算的依據。但是，在邊緣速度比訊號路徑延遲快 4–6 倍時，簡單的集總模型將不再適用。

在使用邊緣速率不到 4–6 納秒的訊號驅動時，不管週期速率是多少，長僅 6 英寸的電路板軌跡變成了傳輸線。事實上，其建立了新的訊號路徑。這些無形連接並沒有畫在示意圖上，然而卻為訊號提供了以不可預測的方式相互影響的手段。

有時候，即使是探棒/儀器組合引入的錯誤也可能會為待測訊號帶來重大影響。但是，透過對實測值應用「平方和的均方根」公式，可以確定待測裝置是否接近上升時間/下降時間故障。此外，最新的示波器工具採用專用濾波技術，去嵌入量測系統對訊號的影響，顯示邊緣時間及其他訊號特性。

同時，預計的訊號路徑並沒有以預計的方式工作。地平面和電壓層 (如上述訊號軌跡) 變成電感，工作方式類似於傳輸線，電源解耦的效果大大降低。EMI 上升，因為邊緣速度越快，相對於匯流排長度產生的波長越短，串音越高。

此外，快速邊緣速度需要整體產生更高的電流。更高的電流一般會導致地電平彈跳，特別是在一次切換多個訊號的寬匯流排上。而且，更高的電流會提高輻射的磁能量及串音。

觀察數位訊號的類比信號源

這些特性有哪些共同點呢？它們都是典型的類比現象。為解決訊號完整性問題，數位設計人員需要步入類比領域。為邁出這一步，他們需要能夠顯示數位訊號和類比訊號如何相互影響的工具。

數位錯誤通常源於類比訊號完整性問題。為追蹤數位問題的成因，通常必須打開示波器，示波器可以顯示波形細節、邊緣和雜訊，可以偵測和顯示暫態訊號，可以協助您準確量測时序關係，如建立和保持時間。透過觸發並列或串列資料串流中的具體碼型，顯示在時間上與特定事件對應的類比訊號，現代示波器可以協助簡化除錯過程。

瞭解示波器內部的每個系統及如何應用這些系統，有助於有效地應用示波器，處理具體的量測挑戰。

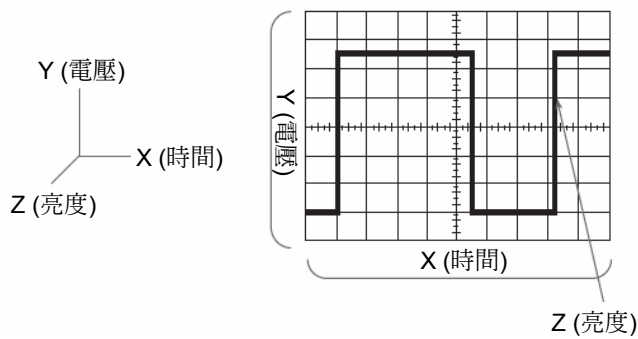


圖 2. 顯示的波形的 X、Y 和 Z 成分。

示波器

什麼是示波器？示波器如何工作？本節將解答這些基本問題。

示波器基本上是一種圖形顯示設備，它繪製一個電訊號的圖形。在大多數應用中，這個圖形顯示訊號如何隨時間變化，其中縱軸 (Y) 表示電壓，橫軸 (X) 表示時間。顯示亮度或強度有時稱為 Z 軸，如圖 2 所示。在 DPO 示波器中，Z 軸可以用顯示顏色等級表示，如圖 3 所示。

這個簡單的圖形可以告訴您與訊號有關的許多東西，如：

- 訊號的時間值和電壓值
- 振盪訊號的頻率
- 訊號表示電路的「移動部分」
- 訊號特定部分相對於其他部分發生的頻率
- 有故障的元件是否會使訊號失真
- 多少訊號是直流 (DC)？多少訊號是交流 (AC)？
- 多少訊號是雜訊？雜訊是否隨時間變化？

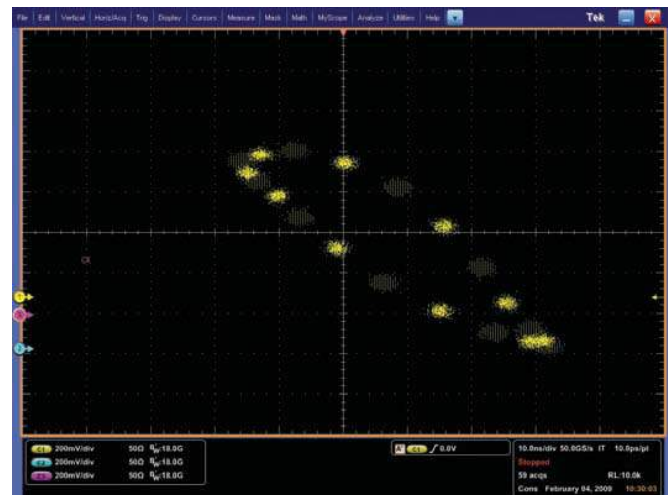


圖 3. 兩個偏移時脈碼型，支援 Z 軸亮度階層。

瞭解波形和波形量測

波是隨時間推移重複出現的碼型的通用術語，例如聲波、腦電波、海浪和電壓波都是重複的碼型。示波器量測電壓波。如前所述，感測器可以將物理現象 (如振動或溫度) 或電氣現象 (如電流或功率) 轉換成電壓。波的一個週期是重複波的組成部分。波形是波的圖形表示。電壓波形在橫軸上顯示時間，在縱軸上顯示電壓。

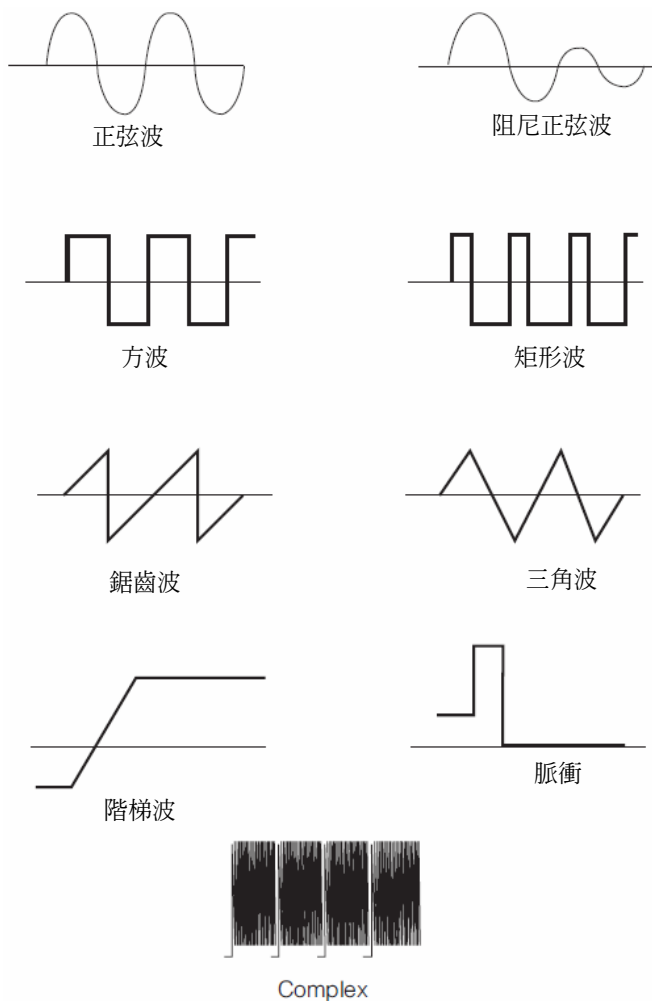


圖 4. 常見的波形。

波形形狀揭示了訊號的大量資訊。在任何時候，在您看到波形高度變化時，您就知道電壓已經變化。在任何時候，在有一條平坦的橫線時，您就知道在這段時間內沒有任何變化。平直的對角線表示線性變化，表示電壓以穩定的速率上升或下降。波形上的銳角表明突然變化。圖 4 顯示常見的波形，圖 5 顯示常見波形的來源。

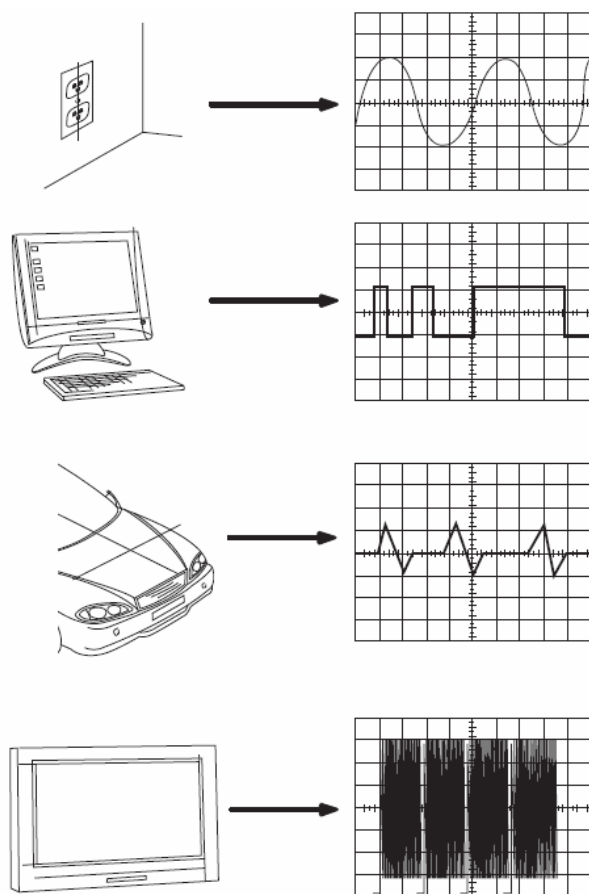


圖 5. 常見波形的來源。

波的類型

您可以將大多數波分成下面幾類：

- 正弦波
- 方波和矩形波
- 鋸齒波和三角波
- 階梯波和脈衝形狀
- 週期訊號和非週期訊號
- 同步訊號和非同步訊號
- 複合波

正弦波

基於多種原因，正弦波是基礎波形。它擁有和諧的數學特性，在三角形教學中，您可能已經學過同樣的正弦形狀。牆上插座中的電壓以正弦波形式變化。訊號產生器的振盪器電路產生的訊號通常是正弦波。大多數 AC 電源產生正弦波。(AC 表示交流，當然電壓也會交替。DC 表示直流，意味著穩定的電流和電壓，如電池產生的電流和電壓。)

阻尼正弦波是電路中可能會看到的一個特例，它會振盪，但隨著時間推移而逐漸減小。

方波和矩形波

方波是另一種常見的波形。基本上，方波是一種以定期間隔開關 (或變高和變低) 的電壓。它是放大器測試使用的標準波，好的放大器會以最小的失真提高方波的振幅。電視、廣播和電腦電路通常在時序訊號中使用方波。

矩形波與方波類似，但高低的時間間隔長度不等。在分析數位電路時，矩形波特別重要。

鋸齒波和三角波

鋸齒波和三角波來自為線性控制電壓設計的電路，如類比示波器的水平掃描或電視的光柵掃描。這些波電壓位準之間的轉態會以恆定速率變化。這些轉態稱為斜波。

階梯波和脈衝形狀

發生很少或非定期發生的訊號 (如階梯波和脈衝) 稱為單次訊號或暫態訊號。階梯波表示電壓突然變化，與打開電源開關時看到的電壓變化類似。

脈衝表示電壓突然變化，與打開電源開關、然後再關上電源開關時看到的電壓變化類似。脈衝可能表示經過電腦電路傳送的一位元資訊，也可能是電路中的一個突波或缺陷。一起傳送的脈衝集合會構成一個脈衝串。電腦中的數位裝置使用脈衝互相通訊。這些脈衝可以採取串列資料串的形式，也可以使用多條訊號線，表示並列資料匯流排中的值。脈衝在 X 射線、雷達和通訊設備中也十分常見。

週期訊號和非週期訊號

重複的訊號稱為週期訊號，一直變化的訊號則稱為非週期訊號。靜態照片可以比作週期訊號，而動畫則相當於非週期訊號。

同步訊號和非同步訊號

在兩個訊號之間存在時序關係時，這些訊號稱為同步訊號。電腦內部的時脈、資料和位址訊號都是同步訊號。

非同步訊號用來描述之間不存在時序關係的訊號。由於觸摸電腦鍵盤上的鍵這種操作與電腦內部的時脈之間沒有時間相關，因此這些操作被視為非同步訊號。

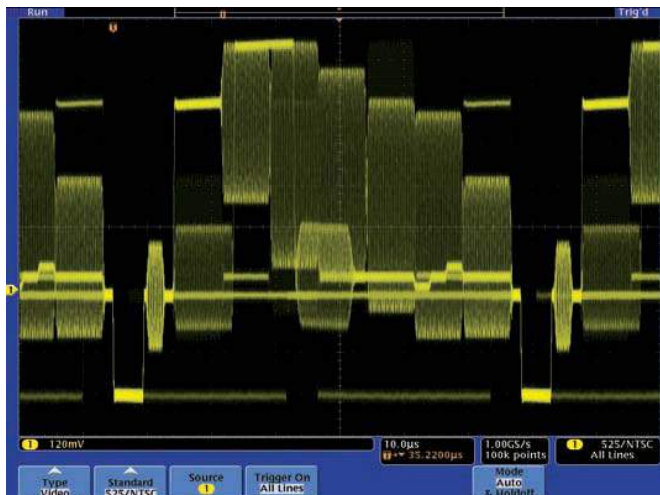


圖 6. NTSC 合成視訊訊號是一種複合波實例。

複合波

某些波形將正弦波、方波、階梯波和脈衝的特性結合在一起，得到複雜的波形。訊號資訊嵌入的形式可以是振幅、相位和 (或) 頻率變化。例如，儘管圖 6 中的訊號是普通的合成視訊訊號，但它由嵌入到低頻包封中的多個高頻波形週期組成。

在這個實例中，通常最為重要的是要瞭解階梯波之間的相對位準和時序關係。為觀察這個訊號，您需要一台示波器，擷取低頻包封，採取亮度階層方式混合到高頻波中，從而可以作為目視解釋的圖像，看到整體組合。數位螢光示波器最適合觀察複合波，如視訊訊號，如圖 6 所示。其顯示畫面提供必要發生的頻率資訊或亮度階層，這對瞭解波形實際操作至關重要。

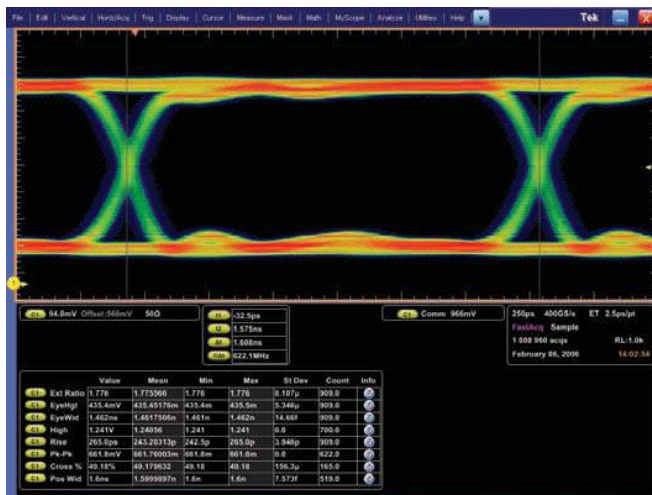


圖 7. 822 Mb/s 串列資料眼狀圖。

某些示波器允許以特定方式顯示特定的複合波形類型。例如，電訊資料可以顯示為眼狀圖或星座圖。

電訊數位資料訊號可以在示波器上顯示為特殊類型的波形，稱為眼狀圖。眼狀圖這一名稱源於波形類似於一串眼睛，如圖 7 所示。在來自接收器的數位資料被取樣，並應用到垂直輸入時，會產生眼狀圖，同時資料速率用來觸發水平掃描。眼狀圖顯示一個位元或一個單位間隔的資料，所有可能的邊緣轉態和狀態都疊加在一個全面的視圖中。星座圖表示數位調變方案調變的訊號，如正交振幅調變或相移按鍵。

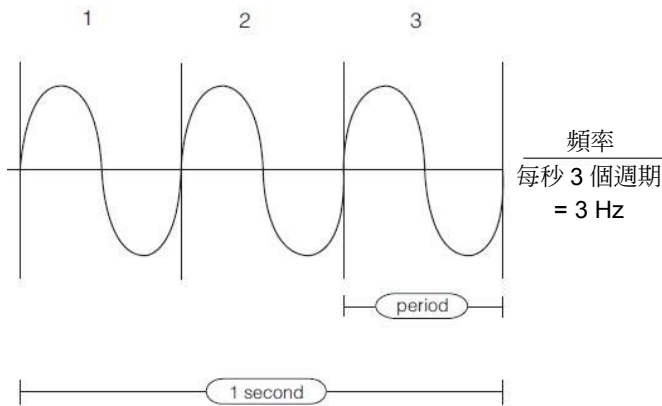


圖 8. 正弦波的頻率和週期。

波形量測

許多術語用來描述使用示波器可以進行的量測類型。本節介紹部分最常用的量測和術語。

頻率和週期

如果訊號重複，那麼它就有頻率。頻率用赫茲 (Hz) 表示，等於訊號本身在一秒鐘內重複的次數，稱為每秒週期數。重複的訊號還有週期，即訊號完成一個週期所需的時間。週期和頻率是倒數關係，因此 $\text{頻率} = 1/\text{週期}$ ， $\text{週期} = 1/\text{頻率}$ 。例如，圖 8 中的正弦波的頻率是 3 Hz，週期是 1/3 秒。

電壓

電壓是電路中兩點之間的電位量或訊號強度。通常情況下，其中一個點是接地或零伏特，但並非一直是。您可能要量測波形從最大峰值到最小峰值的電壓，這稱為峰對峰值電壓。

振幅

振幅指電路中兩點之間的電壓量。振幅通常指從接地或零伏特測得的訊號的最大電壓。圖 9 所示的波形的振幅為 1 V，峰對峰值電壓為 2 V。

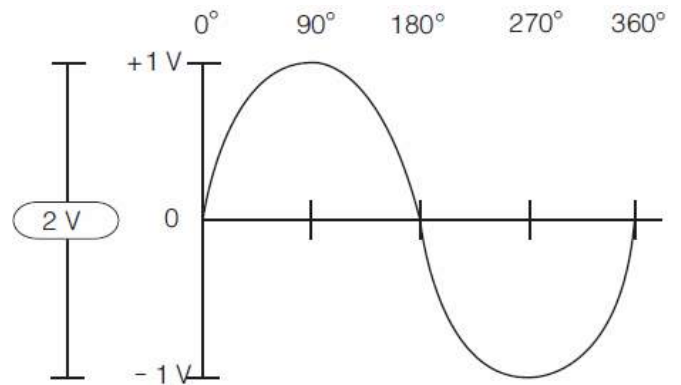


圖 9. 正弦波的振幅和度。

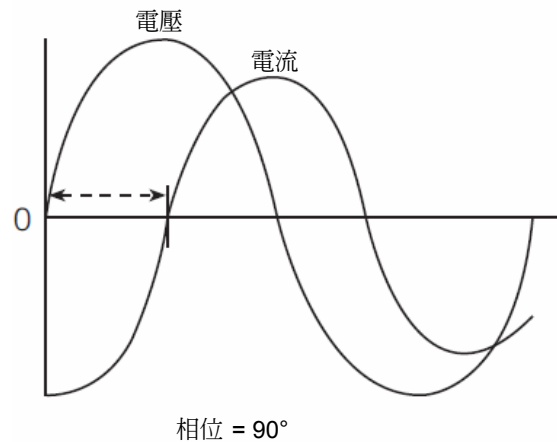


圖 10. 相移。

相位

觀察正弦波最適合解釋相位。正弦波的電壓位準以圓形運動為基礎。由於一個圓有 360°，所以一個正弦波的週期有 360°，如圖 9 所示。在想描述週期經過多少量時，您可以使用度描述正弦波的相角。

相移描述了兩個類似訊號之間的時序差。圖 10 中標為「current」(電流) 的波形與標為「voltage」(電壓) 的波形異相 90°，因為這兩個波在週期中到達類似點相距一個週期的 1/4 ($360^\circ/4 = 90^\circ$)。相移在電子裝置中十分常用。

使用數位示波器進行波形量測

現代數位示波器擁有多種功能，可以更簡便地進行波形量測。它們有前面板按鈕和 (或) 以螢幕為基礎的功能表，您可以使用這些按鈕或功能表，選擇全自動量測，包括振幅、週期、上升/下降時間等等。許多數位儀器還提供中間值和 RMS 計算、工作週期 (duty cycle) 和其他數學運算。自動量測作為螢幕上字母數字讀數顯示。一般來說，這些讀數要比直接格線解釋獲得的資料更準確。

全自動波形量測實例：

| | | |
|---------|----------------------|---------|
| ■ 週期 | ■ 正工作週期 (duty cycle) | ■ 高 |
| ■ 頻率 | ■ 負工作週期 (duty cycle) | ■ 低 |
| ■ 正脈波寬度 | ■ 延遲 | ■ 最小 |
| ■ 負脈波寬度 | ■ 相位 | ■ 最大 |
| ■ 上升時間 | ■ 資料組 (burst) 寬度 | ■ 正過激量 |
| ■ 下降時間 | ■ 峰對峰值 | ■ 負過激量 |
| ■ 振幅 | ■ 平均值 | ■ RMS |
| ■ 消光比 | ■ 週期平均值 | ■ 週期RMS |
| ■ 平均光功率 | ■ 週期面積 | ■ 抖動 |

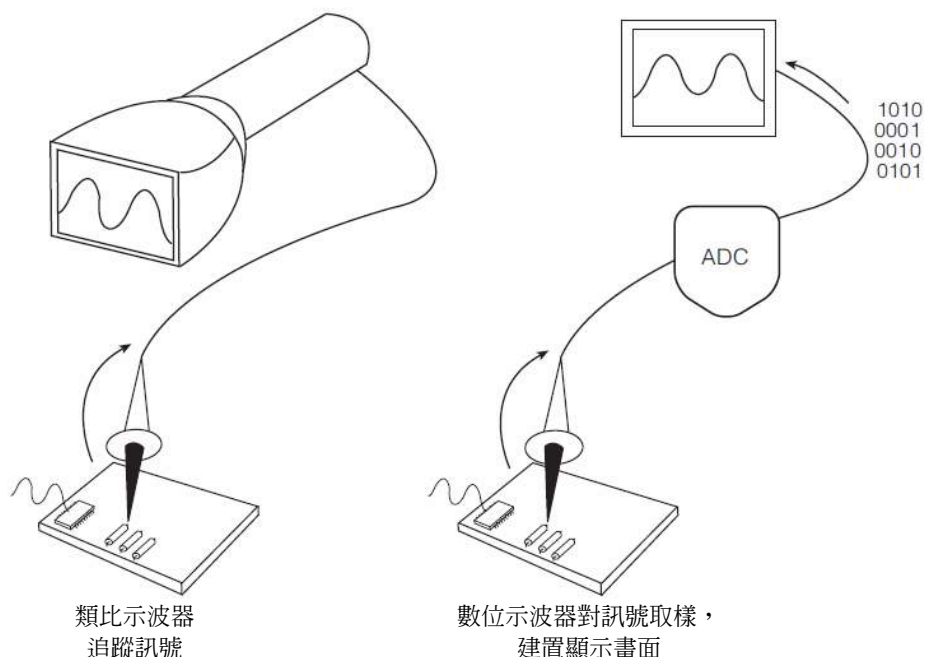


圖 11. 類比示波器追蹤訊號，數位示波器對訊號取樣，建置顯示畫面。

示波器的類型

電子裝置可以分成兩類：類比裝置和數位裝置。類比裝置適用於連續變化的電壓，數位裝置則適用於表示電壓樣點的離散二進位數字。傳統留聲機是一種類比裝置，而唱片播放機則是一種數位裝置。

示波器可以按類似方式分類，分成類比示波器和數位示波器。與類比示波器相比較，數位示波器採用類比轉數位轉換器 (ADC)，將測得的電壓轉換成數位資訊。它作為一串樣點擷取波形，然後儲存這些樣點，直到累積足夠的樣點，描述波形。然後，數位示波器會重組波形，顯示在螢幕上，如圖 11 所示。

數位示波器可以分成數位儲存示波器 (DSO)、數位螢光示波器 (DPO)、混合訊號示波器 (MSO) 和數位取樣示波器。

數位方法意味著示波器可以相對穩定性、亮度和清晰度來顯示範圍內的任何頻率。對重複的訊號，數位示波器的頻寬與示波器前端裝置的類比頻寬有關，通常稱為 -3 dB

點。對單次和暫態事件 (如脈衝和階梯波)，頻寬會受到示波器的取樣率限制。如需詳細資訊，請參閱「效能術語和考慮因素」下的取樣率部分。

數位儲存示波器

傳統數位示波器稱為數位儲存示波器 (DSO)。其顯示一般依賴光柵類螢幕，而不是舊式類比示波器中的發光螢光。

數位儲存示波器 (DSO) 可以擷取和觀察可能只發生一次的事件，稱為暫態訊號。由於波形資訊以數位形式存在，作為一串儲存的二進位值，因此可以在示波器內部或使用外部電腦分析、歸檔、列印及以其他方式處理這些波形資訊。波形不需要是連續的；在訊號消失時，甚至可以顯示這些波形。與類比示波器不同，數位儲存示波器提供永久的訊號儲存功能及全面的波形處理功能。然而，DSO 一般沒有即時亮度階層，因此，它們不能表示即時訊號中變化的亮度。



圖 12. 數位儲存示波器 (DSO) 的串列處理架構。

構成 DSO 的部分子系統與類比示波器中類似。但是，DSO 包含額外的資料處理子系統，用來收集和顯示整個波形的資料。DSO 採用串列處理架構，在螢幕上擷取和顯示訊號，如圖 12 所示。下面介紹一下這種串列處理架構。

串列處理架構

與類比示波器類似，DSO 的第一個 (輸入) 階段是垂直放大器。垂直控制功能允許在這個階段調整振幅和位置範圍。然後，水平系統中的類比轉數位轉換器 (ADC) 在離散的時點上對訊號取樣，將這些時點上的電壓轉換成數位值，稱為樣點。這個過程稱為訊號數位化。

水平系統的取樣時脈決定著 ACD 取樣的頻次。這一速率稱為取樣率，用每秒樣點數 (S/s) 表示。來自 ADC 的樣點作為波形點儲存在擷取記憶體中。多個樣點可能會構成一個波形點。多個波形點結合在一起，構成一條波形記錄。建立波形記錄使用的波形點數量稱為記錄長度。觸發系統決定著記錄的開始點和結束點。

DSO 的訊號路徑包括一個微處理器，實測訊號經過這個微處理器傳送到顯示器上。這個微處理器處理訊號，協調顯示活動，管理前面板控制功能等等。然後訊號傳送透過顯示記憶體，顯示在示波器螢幕上。

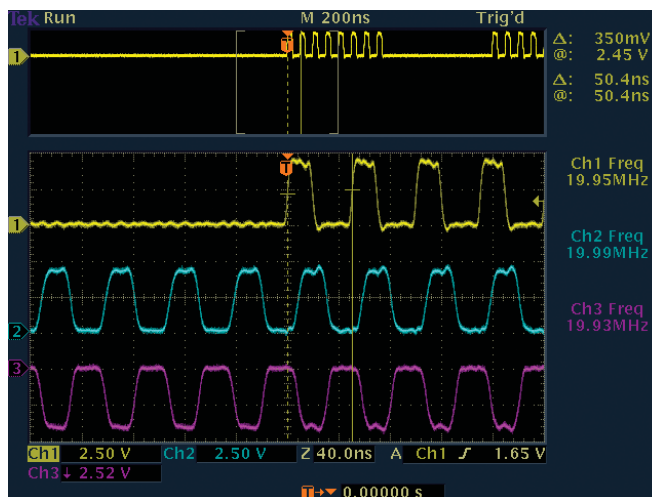


圖 13. 數位儲存示波器在多個通道中提供高速單次擷取功能，提高了擷取難以捉摸的突波和暫態事件的可能性。

視示波器的功能，可能會對樣點進行額外的處理，增強顯示。還可能會提供預觸發功能，可以看到觸發點前面的事件。目前大多數數位示波器還可以選擇自動參數量測，簡化了量測過程。

如圖 13 所示，DSO 在單次多通道儀器中提供了非常高的效能。DSO 特別適合重複率低的應用或單次高速多通道設計應用。在實際數位設計環境中，工程師通常同時檢視四個或四個以上的訊號，使得 DSO 成為關鍵儀器。

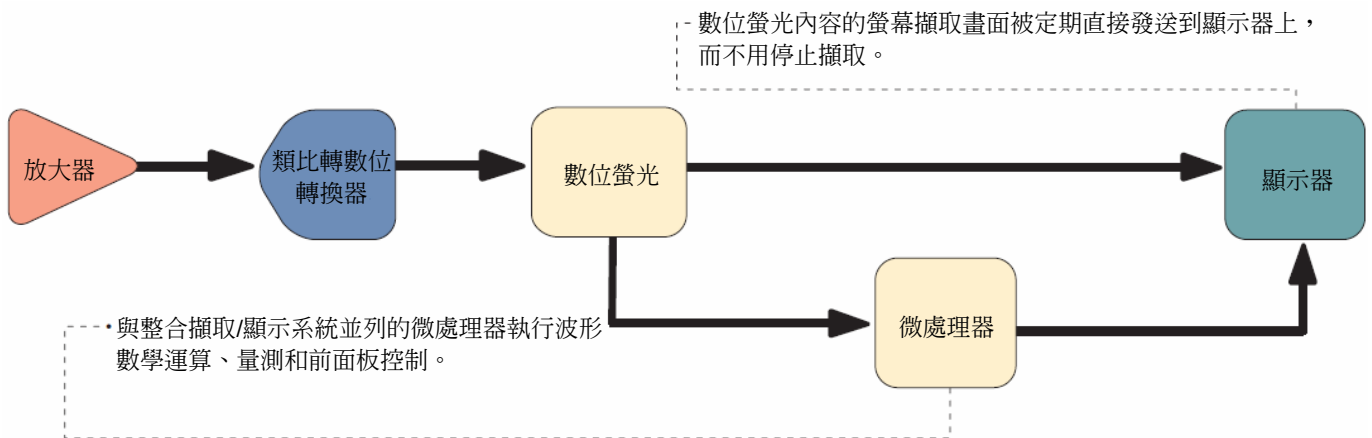


圖 14. 數位螢光示波器 (DPO) 的並列處理架構。

數位螢光示波器

數位螢光示波器 (DPO) 提供一種新的示波器架構方法。透過這種架構，DPO 可以提供獨特的擷取和顯示功能，準確地重建訊號。

DSO 採用串列處理架構擷取、顯示和分析訊號，DPO 則採用並列處理架構執行這些功能，如圖 14 所示。DPO 架構要求使用獨特的 ASIC 硬體擷取波形影像，提供高波形擷取速率，達成更高的訊號檢視水準。這種效能提高了看到數位系統中發生暫態事件的機率，如矮波、突波和轉態錯誤，實現了進一步的分析功能。下面介紹了這種並列處理架構。

並列處理架構

DPO 的第一個 (輸入) 階段與類比示波器類似，也是垂直放大器，第二個階段與 DSO 類似，是一個 ADC。但是，在類比轉數位之後，DPO 與前幾代產品有著明顯的差別。對任何示波器來說，不管是類比示波器、DSO 還是 DPO，總有一個觸發延遲時間，在這段時間內，儀器處理最新擷取資料，重定系統，等待下一個觸發事件。在這段時間內，示波器看不見所有訊號活動。看到偶發事件或低重複率事件的機率會隨著觸發延遲的時間提高而下降。

值得一提的是，只看顯示更新速率，是不可能確定擷取機率的。如果您只依賴更新速率，那麼很容易誤認為示波器正在擷取與波形有關的所有資訊，但事實上卻沒有。

數位儲存示波器以串列方式處理擷取的波形。在這個過程中，微處理器的速度是瓶頸，因為它限制著波形擷取速率。DPO 將數位化的波形資料光柵化到數位螢光資料庫中。每 1/30 秒 (大約和人眼能夠感受到的速度一樣)，儲存在資料庫中的訊號影像螢幕擷取畫面，會透過管線直接傳送到顯示系統。這種波形資料直接光柵化及從資料庫直接拷貝到顯示記憶體，消除了其他架構中固有的資料處理瓶頸。其結果，增強「即時」顯示更新功能。它即時擷取訊號細節、間歇性事件及訊號的動態特性。DPO 的微處理器與這個整合擷取系統並列工作，實現顯示管理、量測自動化和儀器控制，從而不會影響示波器的擷取速度。

DPO 忠實地模擬類比示波器的最佳顯示屬性，用三個維度顯示訊號：時間、振幅和振幅在時間上的分佈，而且所有資訊都是即時顯示的。

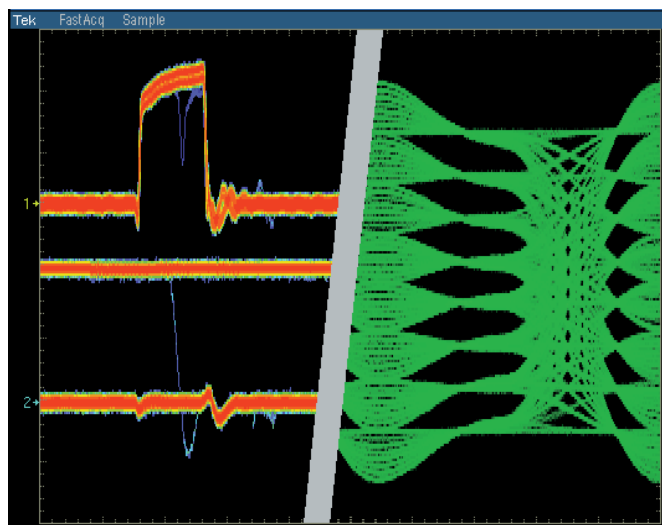


圖 15. 某些 DPO 可以在幾秒鐘內擷取數百萬個波形，明顯提高擷取間歇性難以捉摸事件的機率，揭示動態訊號特性。

與類比示波器依賴化學螢光不同，DPO 採用純電子數位螢光，其實際上是一個連續更新的資料庫。對示波器顯示畫面中的每一個圖元，這個資料庫有一個單獨的資訊「單元」。每次在擷取波形時，換句話說，每次在示波器觸發時，它都映射到數位螢光資料庫的單元中。表示螢幕位置、波形接觸的每個單元都會使用亮度資訊加強，而其他單元則不會。這樣，亮度資訊會在波形最經常傳送的單元中累積。

在數位螢光資料庫輸送到示波器的顯示器時，顯示器會揭示加強的波形區域，且與每個點上的訊號發生頻率成比例，這和類比示波器的亮度階層特性很類似。DPO 還允許作為對比顏色在顯示器上顯示發生頻率變化的資訊，這一點不同於類比示波器。在 DPO 中，可以很容易看到幾乎每次觸發都發生的波形與每 100 次觸發才發生一次的波形之間的差別。

數位螢光示波器 (DPOs) 清除了類比示波器技術與數位示波器技術之間的障礙。它們都同樣適合即時觀察高頻和低頻、重複波形、暫態訊號及訊號變化。只有 DPO 即時提供了 Z (亮度) 軸，而傳統 DSO 中則沒有這個軸。

DPO 特別適合需要一般性設計和除錯工具的多種應用客戶，如圖 15 所示。DPO 多用於高級分析、通訊遮罩測試、間歇性訊號的數位除錯、重複的數位設計和時序應用。

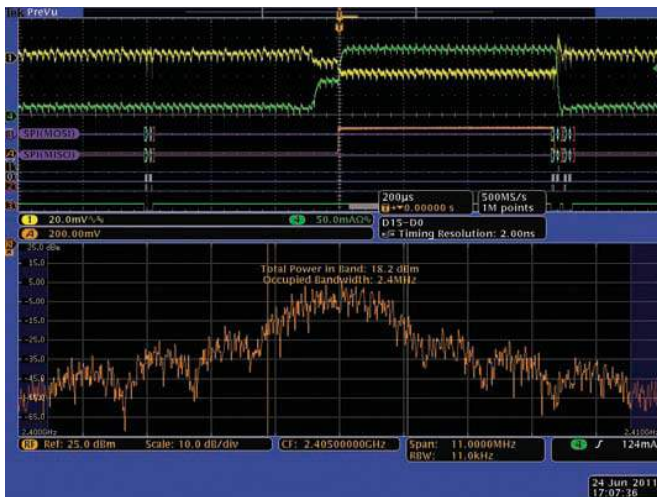


圖 16. Zigbee 無線電的微處理器 PI (MOSI) 和 (MISO) 控制線的時間相關顯示，量測到無線電 IC 的汲極電流和電壓及啟動期間的頻譜。

混合域示波器

混合域示波器 (MDO) 將 RF 頻譜分析儀與 MSO 或 DPO 結合在一起，實現從數位域、類比域到 RF 域的訊號相關視圖。例如，MDO 可以查看嵌入式設計內部協定、狀態邏輯、類比訊號和 RF 訊號的時間相關顯示，大大縮短獲得資訊所需的時間，降低跨域事件之間的量測不確定度。

瞭解嵌入式 RF 設計內部微處理器命令與 RF 事件之間的時間延遲簡化了測試設定，可以在工作台上完成複雜的量測。對嵌入式無線電，如圖 16 所示的 Zigbee 設計，您可以觸發 RF 事件啟動，觀察微處理器控制器解碼的 SPI 控制線的命令行時間延遲、啟動過程中的汲極電流和電壓以及發生的任何頻譜事件。您現在可以在一個畫面中，以時間相關的方式觀察無線電的所有域：協定 (數位)、類比和 RF。

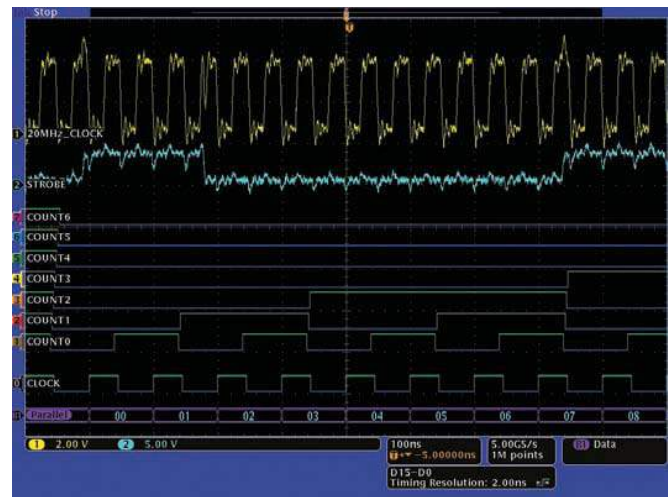


圖 17. MSO 提供 16 個整合的數位通道，能夠觀察和分析時間相關的類比訊號和數位訊號。

混合訊號示波器

混合訊號示波器 (MSO) 將 DPO 的效能與 16 通道邏輯分析儀的基本功能結合起來，包括並列/串列匯流排協定解碼和觸發。MSO 的數位通道將數位訊號視作邏輯值高或邏輯值低，就像數位電路觀察訊號一樣。也就是說，只要振鈴、過激量和接地雜訊位準 (ground bounce) 沒有導致邏輯轉態，那麼這些模擬特性對 MSO 就不成問題。與邏輯分析儀一樣，MSO 使用臨界電壓，確定訊號是邏輯值高還是邏輯值低。

在使用強大的數位觸發、高解析度擷取功能和分析工具迅速除錯數位電路方面，MSO 是首選的工具。透過分析訊號的類比和數位表示，可以更迅速地確定許多數位問題的根本原因，如圖 17 所示，使得 MSO 特別適合核對總和除錯數位電路。

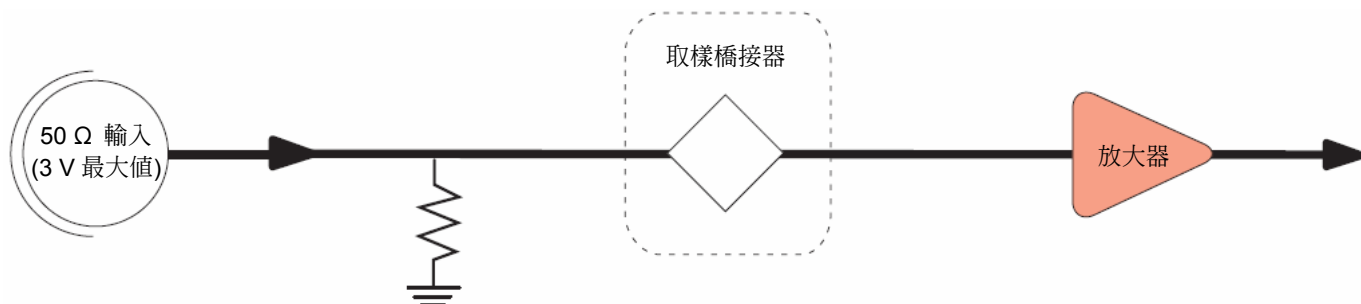


圖 18. 數位螢光示波器 (DPO) 的並列處理架構。

數位取樣示波器

與數位儲存示波器和數位螢光示波器架構相比較，在數位取樣示波器的架構中，衰減器/放大器和取樣橋接器的位置顛倒，如圖 18 所示。它先對輸入訊號取樣，然後執行衰減或放大。然後在取樣橋接器後面，可以使用低頻寬放大器，因為訊號已經被取樣轉換成較低的頻率，從而大大提高儀器頻寬。

然而，這種高頻寬的代價是取樣示波器的動態範圍有限。由於取樣閘前面沒有衰減器/放大器。因此沒有工具對輸入定標。取樣橋接器必須能夠在任何時間處理輸入的整個動態範圍。因此，大多數取樣示波器的動態範圍限定在大約 $1 V_{p-p}$ 。而數位儲存示波器和數位螢光示波器則可以處理 $50 - 100 V$ 。

此外，保護二極體不能放在取樣橋接器的前面，因為這會限制頻寬。將取樣示波器的安全輸入電壓限定在大約 $3 V$ ，相較之下，其他示波器上的安全輸入電壓為 $500 V$ 。

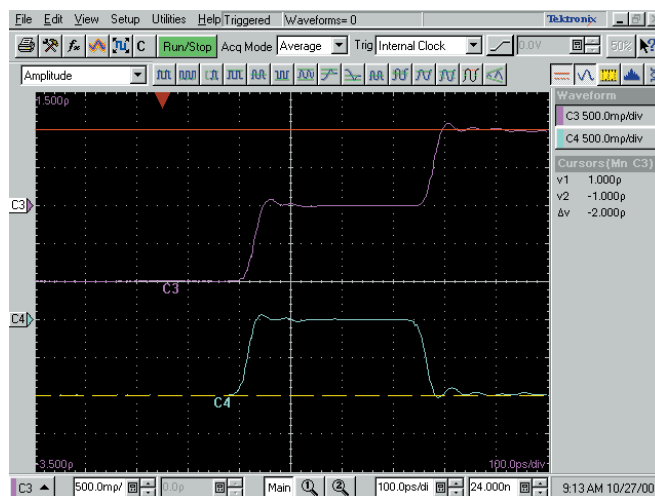


圖 19. 數位取樣示波器的時域反射儀 (TDR) 顯示。

在量測高頻訊號時，DSO 或 DPO 可能不能在一次掃描中擷取足夠的樣點。在準確地擷取頻率成分遠遠高於示波器取樣率的訊號時，數位取樣示波器提供了理想的工具，如圖 19 所示。這種示波器量測訊號的速度要比任何其他示波器快一個量級。對重複訊號，它實現的頻寬和高速時序要比其他示波器高 10 倍。市場上提供了頻寬高達 $80 GHz$ 的串列等時取樣示波器。

示波器的系統和控制功能

本節簡要介紹和數位示波器上的基本系統和控制功能。某些控制功能在和數位示波器之間是不同的，您的示波器可能擁有本文沒有提到的其他控制功能。

基本示波器由四種不同的系統組成：垂直系統、水平系統、觸發系統和顯示系統。透過瞭解每個系統，您可以有效運用示波器，處理特定的量測挑戰。回憶一下，每個系統都會影響示波器準確重建訊號的能力。

示波器的前面板分成三個主要區域，分別標為垂直、水平和觸發。您的示波器可能會有其他區域，端視示波器的型號和類型而定。在閱讀本節時，看看您是否能從圖 20 中的這些前面板區域，找到您示波器上相應的功能。

在使用示波器時，您需要調整三個基本設定，適應輸入訊號：

- 垂直：訊號的衰減或放大程度。使用伏特/格控制功能，將訊號振幅調整到所需的量程。
- 水平：時基。使用秒/格控制功能，設定螢幕中水平方向表示的每格時間數量。
- 觸發：觸發示波器。使用觸發位準穩定重複的訊號，或觸發單個事件。



圖 20. 示波器的前面板控制功能區域。

常用的垂直控制功能包括：

- 終端
 - 1M Ω
 - 50 Ω
- 耦合
 - DC
 - AC
 - GND
- 頻寬
 - 限制
 - 增強
- 位置
- 偏移
- 顛倒 – 開/關
- 刻度
 - 固定階梯波
 - 可變

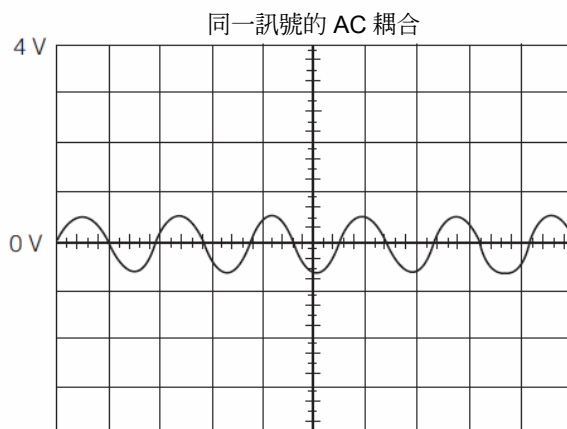
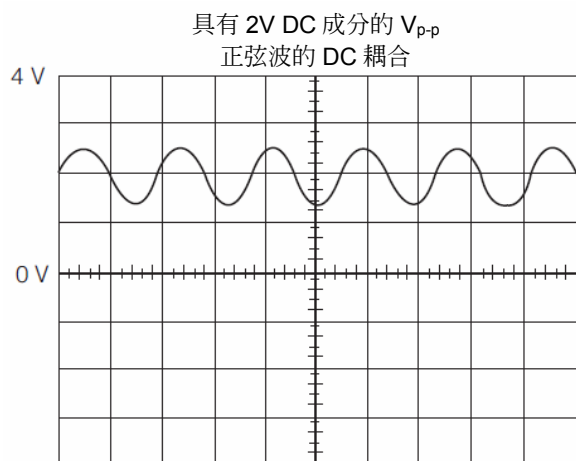


圖 21. AC 和 DC 輸入耦合。

垂直系統和控制功能

可以使用垂直控制功能，在垂直方向定位和定標波形，設定輸入耦合，調整其他訊號條件。

位置和伏特/格

垂直位置控制功能允許在螢幕上想要的具體位置上下移動波形。

伏特/格設定 (通常寫作 **volts/div**) 是一個在螢幕上改變波形尺寸的刻度因數。如果 **volts/div** 設定為 5 V，那麼每 8 個垂直格線表示 5 V，整個螢幕從下到上能夠顯示 40 V，其中假設一個格線有 8 個大格。如果設定是 0.5 **volts/div**，那麼螢幕從下到上能夠顯示 4 V，依此類推。在螢幕上可以顯示的最大電壓是 **volts/div** 設定乘以垂直格線數量。注意，使用的探棒 (1X 或 10X) 也會影響刻度因數。如果示波器沒有這種運算功能，那麼必須將 **volts/div** 刻度除以探棒的衰減因數。

通常情況下，**volts/div** 刻度擁有可變增益或精細增益控制功能，將顯示的訊號定標為特定數量的格。可以使用這個控制功能，協助進行上升時間量測。

輸入耦合

耦合指將電訊號從一條電路連接到另一條電路使用的方法。在這種情況下，輸入耦合是從測試電路到示波器的連接。耦合可以設定成 DC、AC 或接地。DC 耦合顯示輸入訊號的所有資訊。AC 耦合封鎖訊號的 DC 成分，因此可以看到以零伏特為中心的波形。圖 21 說明了這種差異。AC 耦合設定適合用於整個訊號 (AC+DC) 對 **volts/div** 設定太大的情況。

接地設定將輸入訊號從垂直系統斷開，讓您看到零伏特位於螢幕上哪個地方。在接地輸入耦合和自動觸發模式下，您在螢幕上會看到一條橫線，這條橫線表示零伏特。從 DC 切換到接地、然後再切換回去，增益可以方便地量測相對於接地的訊號電壓位準。

頻寬限制

大多數示波器有一條電路，限制示波器的頻寬。透過限制頻寬，可以降低顯示的波形上有時出現的雜訊，得到更乾淨的訊號畫面。注意，在消除雜訊的同時，頻寬限制還會降低或消除高頻訊號成分。

頻寬增強

某些示波器可能會提供 DSP 任意平衡濾波器，可以用來改善示波器通道回應。這個濾波器擴展了頻寬，使示波器通道頻率響應平坦化，改善相位線性度，在通道之間提供更好的匹配度。它還會降低上升時間，改善時域階梯波回應。

水平系統和控制功能

示波器的水平系統與輸入訊號擷取關係最為密切，這裡要考慮的因素包括取樣率和記錄長度。水平控制功能用來在水平方向定位和定標波形。

擷取控制功能

數位示波器擁有設定功能，允許控制擷取系統如何處理訊號。在閱讀本說明時，看一下數位示波器上的擷取選項。圖 22 顯示了擷取功能表實例。

擷取模式

擷取模式控制著如何從樣點中產生波形點。樣點是直接從類比轉數位轉換器 (ADC) 中導出的數位值。取樣間隔指這些樣點之間的時間。波形點是記憶體中儲存的、顯示建構波形的數位值。波形點之間的時間值差稱為波形間隔。

常用的水平控制功能包括：

- | | |
|--------|---------|
| ■ 時基 | ■ 解析度 |
| ■ XY | ■ 取樣率 |
| ■ 刻度 | ■ 觸發位置 |
| ■ 軌跡分隔 | ■ 縮放/捲動 |
| ■ 記錄長度 | ■ 搜尋 |

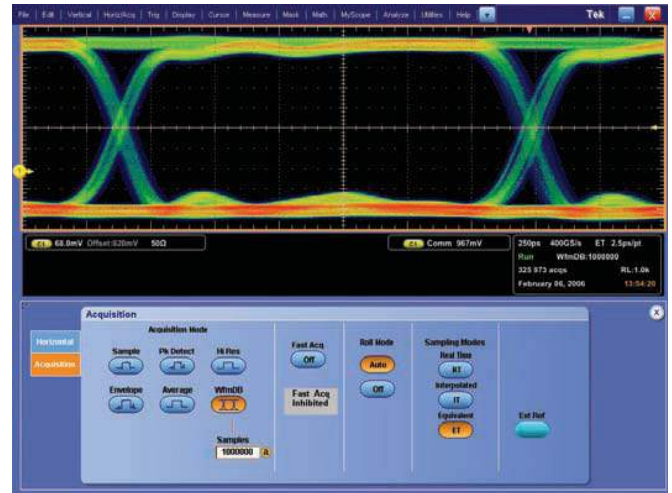


圖 22. 擷取功能表實例。

取樣間隔和波形間隔可以相同，也可以不同。因此存在著多種不同的擷取模式，其中一個波形點由多個順序擷取的樣點組成。

此外，可以從多次擷取獲得的複合樣點中建立波形點，這提供了另一套擷取模式。下面介紹了最常用的擷取模式。

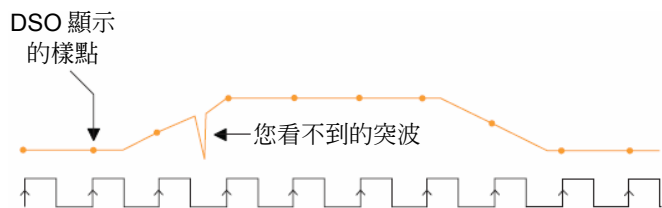


圖 23. 取樣率隨時基變化：時基設定越慢，取樣率越慢。某些數位示波器提供峰值偵測模式，以較低的掃描速度擷取快速暫態訊號。

擷取模式的類型

- 取樣模式：這是最簡單的擷取模式。透過在每個波形間隔期間保存一個樣點，示波器產生一個波形點。
- 峰值偵測模式：示波器保存兩個波形間隔期間獲得的最小值樣點和最大值樣點，使用這些樣點作為兩個對應的波形點。即使在時基設定非常低（低速時基設定意味著長波形間隔）時，峰值偵測模式的數位示波器仍很快的取樣率運行 ADC，能夠擷取取樣模式下波形點之間發生的快速訊號變化，如圖 23 所示。峰值偵測模式特別適合觀察時間上相距很遠的窄脈衝，如圖 24 所示。
- 高解析度模式：與峰值偵測一樣，在 ADC 的取樣率超過時基設定要求時，高解析度模式可以獲得更多的資訊。在這種情況下，在一個波形間隔內部獲得的多個樣點被平均，產生一個波形點。其結果，可以降低雜訊，改善低速訊號的解析度。高解析度模式較平均模式的優勢在於，即使在單次事件上，仍可以使用高解析度模式。
- 包封模式：包封模式與峰值偵測模式類似。但是，在包封模式下，來自多個擷取的最小波形點和最大波形點結合在一起，構成一個波形，顯示 min/max 隨時間累積情況。峰值偵測模式通常用來擷取組合構成包封波形的記錄。



圖 24. 峰值偵測模式使得示波器能夠擷取非常短的暫態異常訊號。

- 平均模式：在平均模式下，示波器像取樣模式一樣，在每個波形間隔期間保存一個樣點。但是，它平均來自多個連續擷取的波形點，產生最後顯示的波形。平均模式可以降低雜訊，而又不會損失頻寬，但要求重複的訊號。
- 波形資料庫模式：在波形資料庫模式下，示波器累積一個波形資料庫，波形資料庫提供由振幅、時間和數量組成的三個維度陣列。

啟動和停止擷取系統

數位示波器最大的優勢之一是能夠儲存波形，以後再查看波形。為此，前面板上通常有一個或多個按鈕，可以啟動和停止擷取系統，從而可以在方便時分析波形。此外，您可能希望示波器在一個擷取完成後或在一個記錄集合已經轉換成包封或平均波形後自動停止擷取。這一功能通常稱為單一掃描或單一序列，其控制功能通常會和其他擷取控制功能或觸發控制功能一起提供。

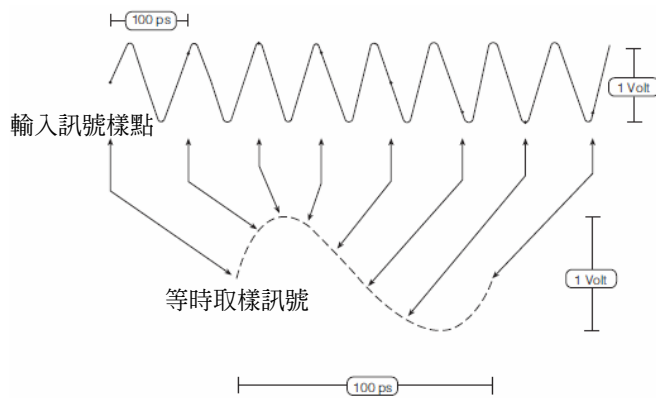


圖 25. 基本取樣，顯示了內插法將樣點連接起來，產生一個連續的波形。

取樣

取樣是將輸入的一個部分轉換成許多離散的電氣值，以進行儲存、處理和 (或) 顯示的過程。每個樣點的振幅等於訊號取樣時點上輸入訊號的振幅。取樣類似於拍照。每個螢幕擷取畫面都對應波形上的某個時點。然後，可以按相應的順序排列這些螢幕擷取畫面，以重建輸入訊號。

在數位示波器中，在顯示畫面上重建由樣點組成的陣列，其中縱軸是實測振幅，橫軸是時間，如圖 25 所示。

圖 25 中的輸入波形在螢幕上表現為一串點。如果這些點相距很大，很難理解為一個波形，可以使用稱為內插法的過程將這些點連接起來。使用直線或向量將點連接起來。有大量的內插法方法，可以用來準確地表示連續的輸入訊號。

取樣控制功能

某些數位示波器可以選擇取樣方法：即時取樣或等時取樣。這些示波器提供的擷取控制功能可以選擇擷取訊號使用的取樣方法。注意，這一選擇與低速時基設定沒有關係，只在 ADC 不能以足夠快的速度取樣，用一遍中的波形點填充記錄時，才會有影響。視進行的量測類型，每種取樣方法不同優勢。

現代示波器一般提供控制功能，使用者可以選擇三種水平時基工作模式。如果您只是探測訊號，想與即時訊號交互，您可以使用自動或交互預設模式，這種模式提供了即時程度最高的顯示更新速率。如果您想實現準確量測和最高的即時取樣率，為您提供最高的量測準確度，那麼您可以使用恆定取樣率模式。這種模式將保持最高取樣率，提供好的即時解析度。最後一種模式稱為手動模式，因為它保證直接獨立控制取樣率和記錄長度。

即時取樣方法

即時取樣特別適合頻率範圍不到示波器最大取樣率一半的訊號。這裡，示波器可以在波形一次「掃描」中擷取超過足夠量的點，建構準確的畫面，如圖 26 所示。即時取樣是使用示波器擷取快速、單次、暫態訊號的唯一方式。

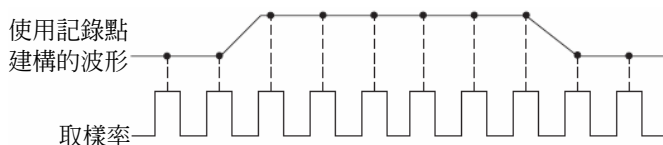


圖 26. 即時取樣方法。

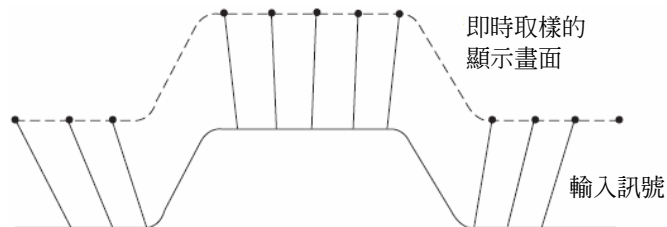


圖 27. 為即時擷取這個 10 ns 脈衝，取樣率必須足夠高，以準確地定義邊緣。

即時取樣為數位示波器帶來了最大的挑戰，因為需要取樣率，準確地數位化高頻暫態事件，如圖 27 所示。這些事件只發生一次，必須在發生的同一時段取樣。

如果取樣率沒有足夠快，高頻成分會「向下折疊到」較低頻率中，在顯示畫面中引起假訊號，如圖 28 所示。此外，在數位化後，儲存波形要求的高速記憶體進一步提高了即時取樣的複雜程度。如需準確驗證高頻成分所需取樣率和記錄長度的相關資訊，請參閱「效能術語和考慮因素」中的「取樣率和記錄長度」一節。

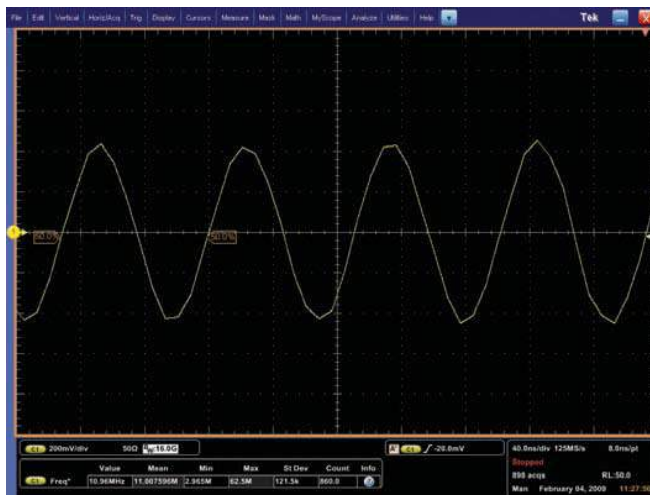


圖 28. 100 MHz 正弦波取樣不足引發假訊號效應。

支援即時取樣和內插法技術的數位示波器獲得可以顯示的離散訊號樣點。但是，很難觀察用點表示的訊號，特別是可能只有幾個點表示訊號的高頻部分。為協助觀察訊號，數位示波器一般提供內插法顯示模式。

簡而言之，內插法「將多個點連接起來」，因此能夠準確顯示每個週期只取樣幾次的訊號。透過使用即時取樣及內插法技術，示波器在即時模式下將一遍中訊號的多個樣點連接起來，使用內插法填充空白。內插法是以少量點為基礎估計波形形狀的一種處理技術。

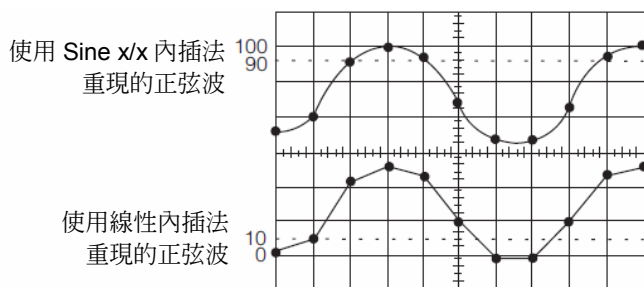


圖 29. 線性內插法和 $\sin x/x$ 內插法。

線性內插法使用直線連接樣點。這種方法限於重建直邊訊號，如圖 29 所示，其更適宜於方波。

$\sin x/x$ 內插法用途更加廣泛，用曲線連接樣點，如圖 29 所示。 $\sin x/x$ 內插法是一種數學運算過程，在這個過程中，其計算樣點，填充實際樣點之間的時間。這種內插法形式更適宜於曲線的、不規則的訊號形狀，這些訊號形狀在實際世界中要遠比純粹的方波和脈衝常見得多。因此，在取樣率是系統頻寬 3-5 倍的應用中，首選方法是 $\sin x/x$ 內插法。

等時取樣方法

在量測高頻訊號時，示波器可能會在一次掃描中蒐集足夠的樣點。可以使用等時取樣，準確地擷取頻率超過示波器頻率一半的訊號，如圖 30 所示。

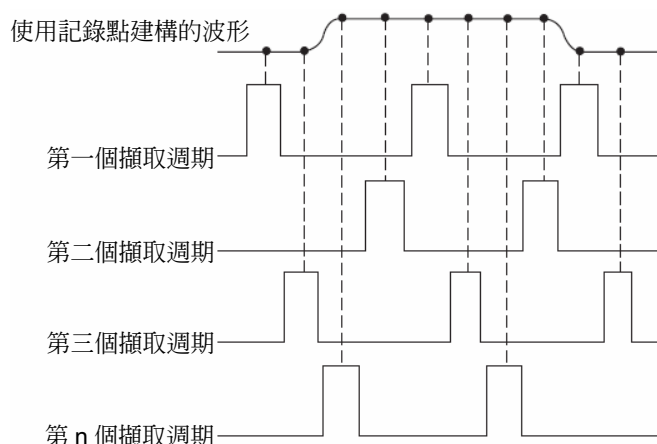


圖 30. 某些示波器使用等時取樣技術，擷取和顯示非常快的重複訊號。

等時數位器 (取樣器) 基於這樣的事實，大多數自然發生的事件和人為事件都是重複的。等時取樣從每次重複中擷取少量資訊，建構重複的訊號畫面。波形像一串燈一直慢慢匯聚，一個接一個地亮起。這允許示波器準確地擷取其頻率成分遠遠高於示波器取樣率的訊號。

等時取樣方法有兩種：隨機方法和順序方法。每種方法都有自己的優點。隨機等時取樣允許顯示觸發點前面的輸入訊號，而不用使用延遲線路。順序等時取樣提供的時間解析度和準確度則要高得多。這兩種方法都要求輸入訊號是重複的。

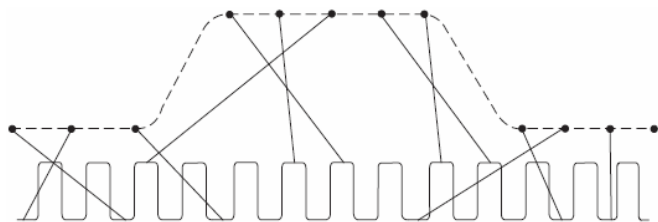


圖 31. 在隨機等時取樣中，取樣時脈與輸入訊號和觸發非同步運行。

隨機等時取樣

隨機等時數位器 (取樣器) 採用內部時脈，內部時脈相對於輸入訊號和訊號觸發非同步運行，如圖 31 所示。它連續擷取樣點，與觸發位置無關，並以取樣和觸發之間的時間差為基礎顯示樣點。儘管樣點在時間上是順序擷取的，但它們相對於觸發是隨機的，因此稱為「隨機」等時取樣。在示波器螢幕上顯示時，樣點沿著波形隨機出現。

能夠擷取和顯示觸發點前面的樣點是這種取樣技術的主要優勢，而不需要外部預觸發訊號或延遲線。視取樣率和顯示的時間視窗，隨機取樣可能還能夠在每個觸發的事件中擷取一個以上的樣點。但是，在更快的掃描速度下，擷取視窗會變窄，直到數位器不能在每次觸發時取樣。正是在這些更快的掃描速度上，通常可以進行非常精確的時序量測，也正是在這裡，順序等時取樣器傑出的時間解析度也最能奏效。隨機等時取樣的頻寬限制對順序時間取樣較小。

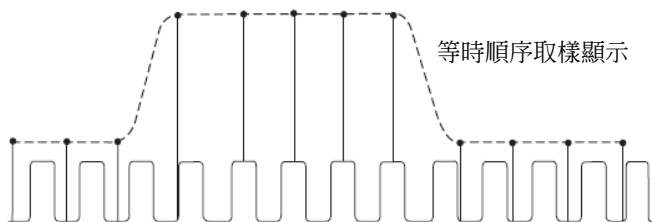


圖 32. 在順序等時取樣中，在一定的時間延遲後，會為每個識別的觸發擷取一個樣點，這個時間延遲在每個週期後遞增。

順序等時取樣

順序等時取樣器每次觸發擷取一個樣點，獨立於時間/格設定或掃描速度，如圖 32 所示。在偵測到觸發時，將在非常短、但精心定義的延遲後擷取樣點。在下次觸發發生時，會在這個延遲中增加一個小的時間增量 (Δt)，數位器擷取另一個樣點。這個過程重複多次，在每個前一擷取中增加「 Δt 」，直到時間視窗被填滿。在示波器螢幕上顯示時，樣點沿著波形從左到右順序出現。

從技術上講，產生非常短、非常精確的「 Δt 」，要比隨機取樣器要求的準確地量測樣點更容易 (相對於觸發點的垂直位置和水平位置)。這種精確量測的延遲為順序取樣器提供了無可比擬的時間解析度。在順序取樣中，樣點是偵測到觸發位準後獲得的，因此如果沒有類比延遲線，將不能顯示觸發點，這進而可能會降低儀器的頻寬。如果能提供外部預觸發，那麼頻寬將不受影響。

位置和秒/格

水平位置控制功能左右移動波形，將波形移動到螢幕上想要的位置。

秒/格設定 (通常寫作 **sec/div**) 允許選擇在螢幕上繪製波形的速率 (也稱為時基設定或掃描速度)。這個設定是刻度因數。如果設定是 1 ms，那麼每個橫格代表 1 ms，螢幕總寬度代表 10 ms 或 10 格。改變 **sec/div** 設定可以觀察輸入訊號更長及更短的時間間隔。

與垂直 **volts/div** 刻度一樣，水平 **sec/div** 刻度可以有可變時序，允許在離散的設定之間設定水平時間刻度。

時基選擇

示波器有一個時基，通常稱為主時基。許多示波器還有稱為延遲時基的時基，這個時基具有掃描，可以相對於主時基掃描預先確定的時間啟動 (或觸發啟動) 掃描。使用延遲的時基掃描可以更清楚地觀察事件，看到僅使用主時基掃描看不到事件。

延遲時基要求設定時間延遲，可能要使用延遲觸發模式和本文入門手冊中沒有介紹的其他設定。如需瞭解如何使用這些功能，請參閱示波器隨附手冊。

縮放/捲動

示波器可能有專用水平放大設定，允許在螢幕上顯示放大後的波形區域。某些示波器在縮放功能基礎上增加了捲動功能。這種功能使用旋鈕，調整縮放因數或刻度，在波形上捲動拖放框。

搜尋

某些示波器提供搜尋和標記功能，可以在長擷取資料中迅速移動，搜尋使用者自定義事件。

XY 模式

大多數示波器有 XY 模式，可以在橫軸上顯示輸入訊號，而不是時基。這種操作模式開啓了全新的相位偏移量測技術領域，詳細資訊請參閱本入門手冊「量測技術」一節。

Z 軸

數位螢光示波器 (DPO) 擁有高顯示取樣密度，天生就能擷取亮度資訊。透過亮度軸 (Z 軸)，DPO 能夠提供類似於三個維度的即時畫面。在 DPO 上觀察波形軌跡時，您會看到加亮的區域，這是訊號發生頻次最多的區域。這個畫面可以簡便地將基本訊號形狀與一段時間只發生一次的暫態訊號分開，基本訊號的亮度會更高。Z 軸的應用之一是將專用時序訊號輸入到單獨的 Z 輸入中，在波形中以已知間隔產生高亮度顯示的「標記」點。

XYZ 模式及 DPO 和 XYZ 記錄顯示

某些 DPO 可以使用 Z 輸入，產生具有亮度階層的 XY 畫面。在這種情況下，DPO 在 Z 輸入上取樣暫態資料值，使用該值判定特定的波形部分。一旦擁有限定的樣點，這些樣點可以累積，得到亮度階層 XYZ 畫面。XYZ 模式特別適合顯示無線通訊設備測試中常用的極座標碼型 (如星座圖)。顯示 XYZ 資料的另一種方法是 XYZ 記錄顯示。這種模式使用的資料來自擷取記憶體，而不是 DPO 資料庫。

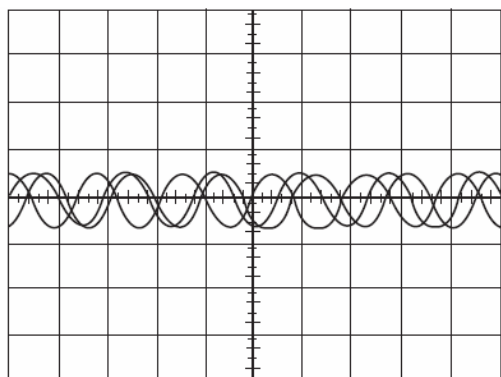


圖 33. 沒有觸發的顯示畫面。

觸發系統和控制功能

示波器的觸發功能在正確的訊號點同步水平掃描，這對清楚地驗證訊號至關重要。觸發控制功能可以穩定重複的波形，擷取單次波形。透過重複顯示輸入訊號的同一部分，觸發使重複的波形能夠穩定地顯示在示波器螢幕上。如果每次掃描都從訊號上不同位置開始，那麼可以想像螢幕上有多亂，如圖 33 所示。

和數位示波器提供的邊緣觸發是基本的、也是最常用的觸發類型。除和數位示波器提供的臨界值觸發外，許多數位示波器提供了類比儀器沒有提供的多種專用觸發設定。這些觸發對進入訊號的特定條件作出回應，可以簡便地偵測比本應寬度窄的脈衝。單純使用臨界電壓觸發，是不可能偵測到這種情況的。

進階觸發控制功能可以隔離感興趣的特定事件，優化示波器的取樣率和記錄長度。某些示波器中的進階觸發功能，能提供選擇度非常高的控制能力，讓您可以觸發振幅定義的脈衝（如矮波）、時間限定脈衝（脈波寬度、突波、轉換速率、設定/保持時間、逾時），以及邏輯狀態或碼型描繪的脈衝（邏輯觸發）。

其他進階觸發功能包括：

- **碼型鎖定觸發**：碼型鎖定觸發在 NRZ 串列碼型觸發中增加了一個新的維度，使示波器能夠以傑出的時基準確度同步擷取長串列測試碼型。碼型鎖定觸發可以用來從長串列資料碼型中消除隨機抖動。可以檢視特定位轉態的影響，可以在遮罩測試中使用平均功能。
- **串列碼型觸發**：串列碼型觸發可以用來除錯串列架構。它觸發 NRZ 串列資料串流的串列碼型，內建時脈還原，將實體層和連結層的事件關聯起來。儀器可以還原時脈訊號，識別轉態，允許為串列碼型觸發設定所需編碼字，擷取資料。
- **A 觸發和 B 觸發**：某些觸發系統只在一個事件（A 事件）上提供多種觸發類型，延遲觸發（B 事件）選擇限於邊緣類型觸發，在 B 事件沒有發生時，通常沒有重設觸發順序的途徑。現代示波器可以在 A 觸發和 B 觸發上提供完整的一套進階觸發類型，支援邏輯限制，控制什麼時候尋找這些事件，重設觸發，在特定時間、狀態或轉態之後再次開始觸發順序，從而可以擷取最複雜的訊號中的事件。
- **搜尋和標記觸發**：硬體觸發一次監視一種事件類型，但搜尋可以同時掃描多個事件類型。例如，可以掃描多個通道上的設定/違反時間保持。搜尋可以放置單獨的標記，表示滿足搜尋標準的事件。
- **觸發校正**：由於觸發系統和資料擷取系統分享不同的路徑，因此觸發位置和擷取的資料之間本身有一定的時間延遲，進而導致偏移和觸發抖動。透過觸發校正系統，儀器會調整觸發位置，補償觸發路徑與資料擷取路徑之間存在的延遲差。這幾乎可以消除觸發點上的任何觸發抖動。在這種模式下，觸發點可以作為量測參考點使用。

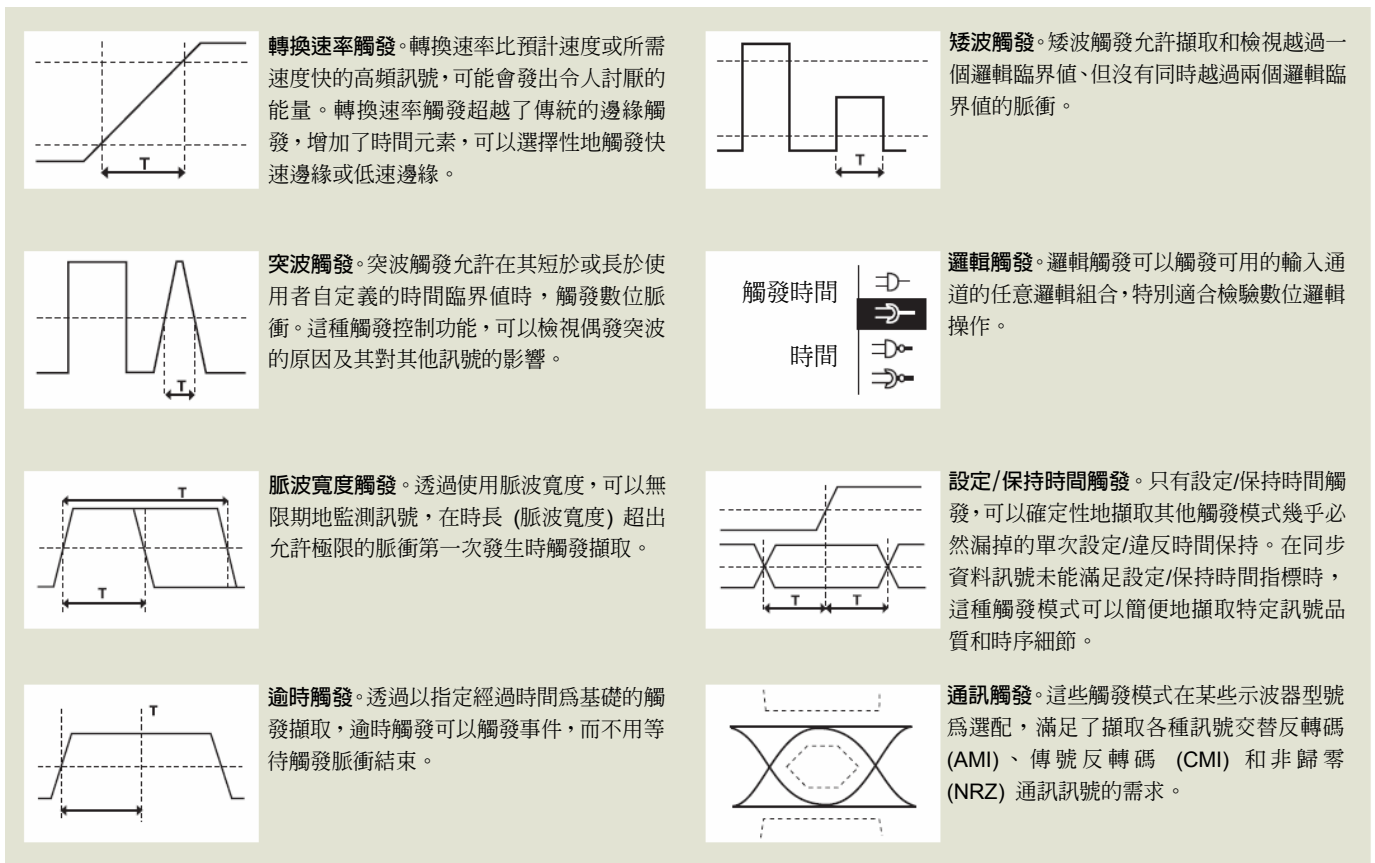


圖 34. 常見的觸發類型。

- 特定標準訊號串列觸發 (I²C、CAN、LIN、等等) – 某些示波器能夠觸發標準串列資料訊號中的特定訊號類型，如 CAN、LIN、I²C、SPI 等等。目前許多示波器還提供了這些訊號類型的解碼功能。
- 並列匯流排觸發 – 一次可以定義和顯示多個並列匯流排，可輕鬆檢視隨時間變化解碼後的並列匯流排資料。透過指定哪些通道是時脈、哪些通道是資料線，您可以在某些示波器上產生並列匯流排顯示畫面，自動解碼匯流排內容。透過使用並列匯流排觸發，可以簡化擷取和分析作業，節省大量的時間。

某些示波器選配的觸發控制功能，也是為檢視通訊訊號專門設計的。圖 34 更詳細地介紹了部分常用觸發類型。某些示波器提供的直覺式使用者介面，可以迅速設定觸發參數，同時可以靈活地進行測試設定，大幅提高您的工作效率。

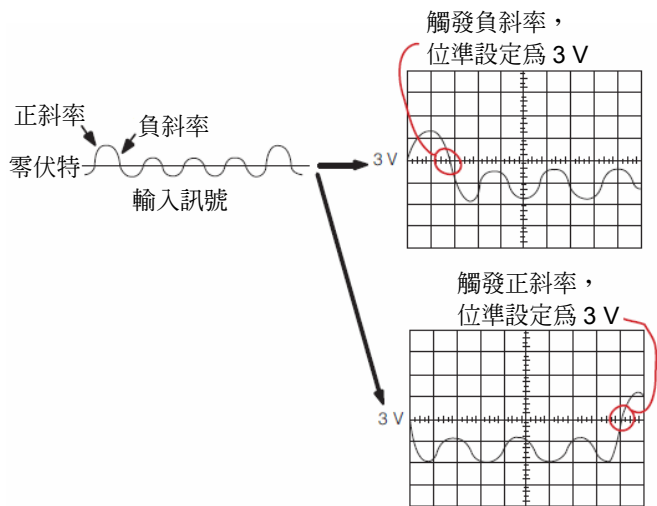


圖 35. 正斜率觸發和負斜率觸發。

觸發位置

水平觸發位置控制功能只在數位示波器上提供。觸發位置控制功能可能位於示波器水平控制區域。它實際上表示的是觸發在波形記錄中的位置。

透過改變水平觸發位置，可以擷取觸發事件前的訊號操作，這稱為預觸發觀察功能。因此，它決定著觸發點前面和後面可以觀察的訊號的長度。

數位示波器可以提供預觸發觀察功能，因為它們一直處理輸入訊號，而不管是否收到觸發。穩定的資料串流經示波器；觸發只是告訴示波器在記憶體中保存目前資料。

相較之下，只在收到觸發後才顯示訊號，也就是在 CRT 上寫入資料。因此，類比示波器沒有提供預觸發觀察功能，垂直系統中的延遲線提供少量預觸發的除外。

預觸發觀察功能提供了重要的除錯輔助工具。如果問題間歇發生，您可以觸發問題，記錄導致問題的事件，可能會找到問題的原因。

觸發位準和斜率

觸發位準和斜率控制功能提供了基本觸發點定義，確定如何顯示波形，如圖 35 所示。

觸發電路作為比較器操作。您可以在比較器的一個輸入上選擇斜率和電壓位準。在另一個比較器輸入上的觸發訊號與設定匹配時，示波器會產生觸發。

斜率控制功能確定觸發點是在訊號的上升邊緣上，還是在訊號的下降邊緣上。上升邊緣是正斜率，下降邊緣是負斜率。位準控制功能確定觸發點發生在邊緣上哪個位置。

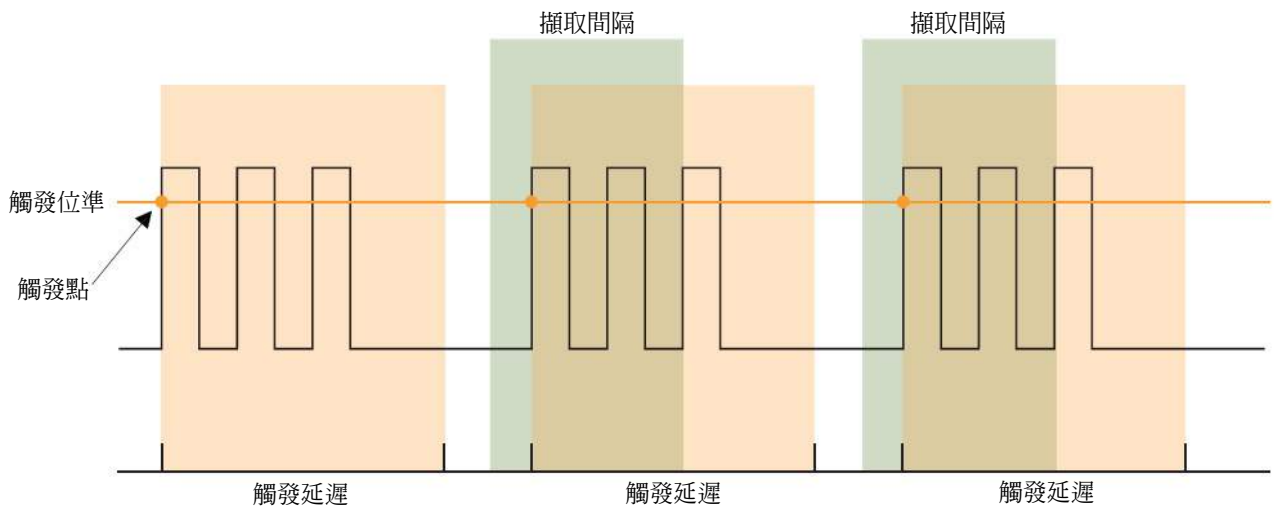
觸發源

示波器不一定要觸發顯示的訊號。多個觸發源可以觸發掃描：

- 任意輸入通道
- 應用到輸入通道中的訊號之外的外部來源
- 電源訊號
- 示波器從一個或多個輸入通道內部定義的訊號

在大多數時間內，您可以將示波器設定成觸發顯示的通道。某些示波器提供了一個觸發輸出，為另一台儀器提供觸發訊號。

示波器可以使用交替觸發源，不管其是否顯示，因此應注意不要在顯示通道 2 時無意觸發通道 1。



New triggers are not recognized during the holdoff time.

圖 36. 觸發延遲。

觸發模式

觸發模式決定著示波器是否根據訊號條件繪製波形。常用的觸發模式包括正常觸發模式和自動觸發模式。

在正常模式下，只有在輸入到達設定的觸發點時，示波器才會掃描；否則（在類比示波器上），螢幕是空白的，或（在數位示波器上）凍結在最後擷取的波形上。正常模式可能會迷失方向，因為如果位準控制功能調整不當，您起初可能看不到訊號。

即使在沒有觸發時，自動模式仍會導致示波器掃描訊號。如果不存在訊號，示波器的計時器會觸發掃描。這保證在訊號沒有導致觸發時顯示畫面不會消失。

在實作中，您可能要同時使用這兩種模式：正常模式，因為它可以只觀察有興趣的訊號，即使觸發發生速率較慢；自動模式，因為它要求的調整較少。

許多示波器還包括單一掃描專用模式、視訊訊號觸發或自動設定觸發位準功能。

觸發耦合

正如可以為垂直系統選擇 AC 耦合或 DC 耦合一樣，您可以為觸發訊號選擇耦合類型。

除 AC 和 DC 耦合外，示波器可能還有高頻抑制、低頻抑制及雜訊抑制觸發耦合功能。這些專用設定適合從觸發訊號中消除雜訊，防止假觸發。

觸發延遲

使示波器觸發訊號的正確部分有時要求大量的技巧。許多示波器擁有專用功能，可以更輕鬆地完成這一任務。

觸發延遲是有效觸發後可以調整的一段時間週期，在此期間，示波器不能觸發。這種功能適用於觸發複雜的波形形狀，以便示波器只觸發合格的觸發點。圖 36 顯示如何使用觸發延遲幫助建立實用的顯示畫面。

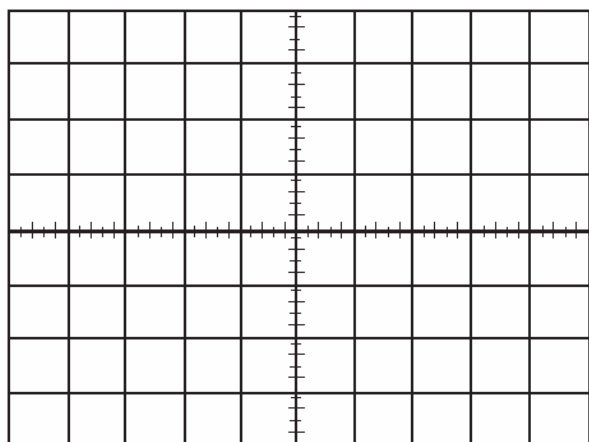


圖 37. 示波器格線。

顯示系統和控制功能

示波器的前面板包括顯示器、旋鈕、按鈕、開關和指示燈，用來控制訊號擷取和顯示。如本節前面所述，前面板控制功能通常分成垂直區域、水平區域和觸發區域。前面板還包括輸入連接器。

看一下示波器顯示畫面。注意螢幕上的格線標記，這些標記產生格線。每條直線和橫線構成一個大格。格線通常採用 8 x 10 格或 10 x 10 格的佈局模式。示波器控制功能上的標籤 (如 volts/div 和 sec/div) 一直指大格。中心水平格線和垂直格線上的刻度 (如圖 37 所示) 稱為小格。許多示波器在螢幕上顯示每個直格表示多少伏特，每個橫格表示多少秒。

其他示波器控制功能

數學運算和量測運算

示波器可能還有運算功能，允許將幾個波形加在一起，建立新的波形畫面。將訊號組合在一起，數位示波器則以數學方式產生新的波形。另一種數學運算是幾個波形相減。在類比示波器中，在一個訊號上使用反向函數，然後使用加法運算，可以進行減法運算。數位示波器一般提供減法運算。圖 38 說明了將兩個不同訊號組合在一起產生的第三個波形。

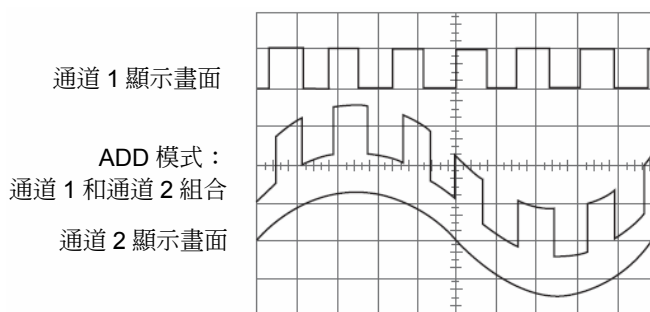


圖 38. 增加通道。

數位示波器利用內部處理器的處理能力，提供許多進階數學運算功能：乘法、除法、積分、快速傅立葉轉換 (FFT) 等等。這種進階訊號處理功能還可以執行其他功能，如插入濾波器模組，其可以用來在待測裝置上反嵌入夾具的特性，或實現擁有所需頻率響應的濾波器模組，如低通濾波器。處理模組非常靈活，並不是專用的，但其可以作為任意濾波器操作，如用來模擬預加強/解加強方式。

數位時序和狀態擷取

混合訊號示波器提供的數位通道實現了與邏輯分析儀類似的擷取功能。主要的數位擷取技術有兩種：第一種技術是時序擷取，MSO 以 MSO 取樣率確定的、間隔均勻的時間，對數位訊號取樣，在每個樣點上，MSO 儲存訊號的邏輯狀態，產生訊號的時序圖；第二種數位擷取技術是狀態擷取，狀態擷取提供數位訊號邏輯狀態有效穩定的特定時間，這在同步時脈輸入數位電路中很常見。時脈訊號提供訊號狀態有效的時間，例如，對上升邊緣時脈輸入的 D-Flip-Flop，輸入訊號穩定時間在時脈上升邊緣周圍。對上升邊緣時脈輸入的 D-Flip-Flop，輸出訊號穩定時間在時脈下降邊緣周圍。由於同步電路的時脈週期可能並不是固定的，因此狀態擷取之間的時間可能並不像時序擷取中那樣均勻。

混合訊號示波器的數位通道擷取訊號的方式，與邏輯分析儀在時序擷取模式下擷取訊號的方式類似。然後，MSO 將時序擷取資料解碼成時脈輸入匯流排畫面，以及與邏輯分析儀狀態擷取畫面類似的事件表，在除錯過程中為您提供重要的資訊。

上面我們介紹了入門人員需要瞭解的基礎示波器控制功能。示波器對各種功能可能還有其他控制功能，其中可能包括：

- 自動參數量測
- 量測游標
- 用於數學運算或資料登錄的小鍵盤
- 列印功能
- 將示波器連接到電腦上或直接連接到網際網路上的介面

您可以查看為您提供的其他選項，閱讀示波器手冊，進一步瞭解其他控制功能。

完整的量測系統

探棒

即使是最先進的儀器，其準確度也取決於輸入儀器的資料。探棒功能與示波器相結合，作為量測系統的一部分操作。精密量測始於探棒尖端。與示波器和待測裝置 (DUT) 緊密配合的探棒不僅可以將訊號乾淨地帶入示波器，還可以放大和保持訊號，實現最高的訊號完整性和量測準確度。

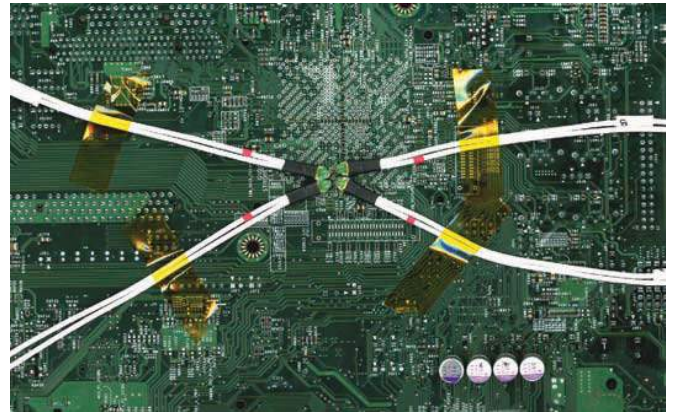


圖 39. 密集的裝置和系統要求小型探棒。

為保證準確地重建訊號，在選擇與示波器配套使用的探棒時，應盡量選擇超過訊號頻寬五倍的探棒。

探棒實際上變成了電路的一部分，引入了電阻、電容和電感負載，不可避免地會改變量測。為實現最準確的結果，我們的目標是選擇負載最低的探棒。探棒與示波器的理想組合，將使這種負載降到最低，使您能夠利用示波器的所有處理能力、特性和功能。

在連接中要考慮的另一個因素是探棒的外形。小型探棒可以更簡便地接近目前密集封裝的電路，如圖 39 所示。

以下簡介探棒類型，如需進一步瞭解整體量測系統的基本組成部分，請參閱《Tektronix 探棒基礎知識》入門手冊。



圖 40. 具配件的典型被動式探棒。

被動式探棒

為量測典型訊號和電壓位準，被動式探棒以經濟的價格提供傑出的易用性和多種量測功能。被動式電壓探棒搭配電流探棒使用，為量測電源提供了理想的解決方案。

大多數被動式探棒擁有某種衰減因數，如 10X、100X 等等。按照慣例，衰減因數 (如 10X 衰減器探棒的衰減因數) 在因數後面有一個 X。相較之下，放大因數 (如 X10) 則在前面有一個 X。

與 1X 探棒相較，10X (讀作「10 倍」) 衰減器探棒降低了電路負載，是一種完美的通用被動式探棒。信號源頻率越高，阻抗越高，電路負載影響越大，因此在選擇探棒前，一定要分析這些訊號/探棒負載交互。10X 衰減器探棒改善了量測準確度，同時也將示波器輸入上的訊號振幅降低了 10 倍。

由於它衰減訊號，因此 10X 衰減器探棒很難觀察小於 10 毫伏峰對峰值的訊號。1X 探棒與 10X 衰減器探棒類似，但沒有衰減電路。由於沒有這條電路，待測電路會引入更多的干擾。

可以使用 10X 衰減器探棒作為通用探棒，但保留 1X 探棒，量測低速度、低振幅訊號。某些探棒擁有方便的功能，探棒尖端可以在 1X 和 10X 衰減之間方便地切換。如果探棒有這種功能，在進行量測前要先確認使用的設定是否正確。

許多示波器可以自動偵測使用的是 1X 探棒還是 10X 探棒，並相應地調整螢幕讀數。但在某些示波器中，必須設定正在使用的探棒類型，或在伏特/格控制功能中讀出正確的 1X 或 10X 標記。

10X 衰減器探棒的工作方式是平衡探棒的電氣屬性與示波器的電氣屬性。在使用 10X 衰減器探棒前，必須為特定示波器調整這一平衡。這種調整稱為探棒補償，本入門手冊「運行示波器」一節有更詳細的介紹。

被動式探棒 (如圖 40 所示) 提供了完美的通用探測解決方案。但是，通常被動式探棒不能準確地量測擁有超快速上升時間的訊號，可能會給靈敏的電路帶來過高的負載。訊號時脈速率和邊緣速度若要穩定地提高，需要速度更高、負載效應更低的探棒。在量測高速訊號和 (或) 差動訊號時，高速主動式探棒和差動式探棒提供了理想的解決方案。

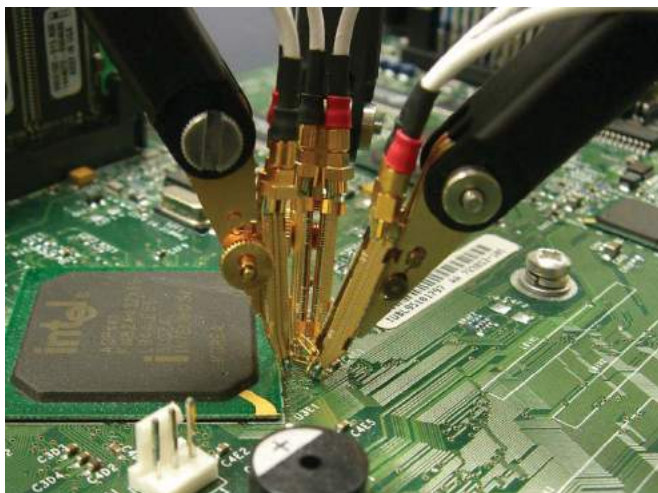


圖 41. 在量測目前電腦匯流排和資料傳輸線中的快速時脈和邊緣時，高效能探棒至關重要。

主動式探棒和差動式探棒

訊號速度不斷提高及邏輯系列電壓不斷降低，使得設計人員很難實現準確的量測結果。訊號完整性和裝置負載是關鍵問題。在這麼高的速度上，完整的量測解決方案包括高速、高傳真探測解決方案，以與示波器的效能相匹配，如圖 41 所示。

主動式和差動式探棒採用專門開發的積體電路，在示波器存取和傳輸過程中保留訊號，保證訊號完整性。為量測快速上升時間的訊號，高速主動式探棒或差動式探棒將提供更準確的結果，如圖 42 所示。

較新的探棒類型能夠使用一個設定，獲得三種量測，而不用調整探棒尖端連接。這些探棒可以從同一支探棒設定中，進行差動量測、單端量測和共模量測。

邏輯探棒

圖 43 所示的邏輯探棒提供兩個 8 通道適配夾。每個通道末端有一個探棒尖端，具有嵌入式接地，簡化了與待測裝置的連接。每個適配夾第一個通道上的同軸纜線顏色為藍色，識別起來非常簡便。常用接地採用車用連接器樣式，

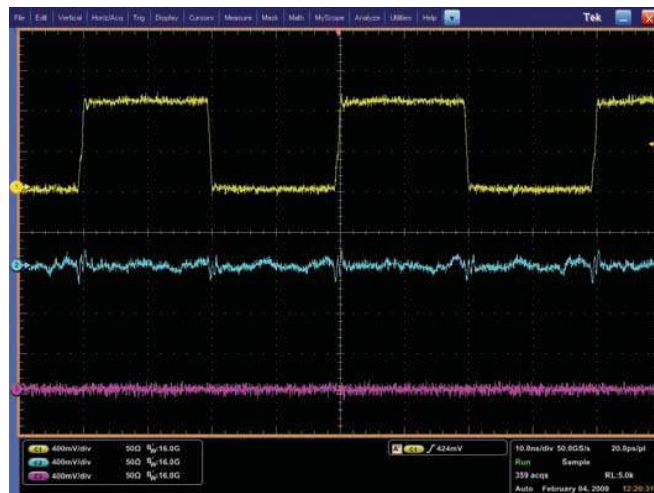


圖 42. 差動式探棒可以將目前快速低壓應用中的共模雜訊，與感興趣的訊號成分分開，這一點尤其重要，因為數位訊號正不斷降低到低於積體電路中典型雜訊臨界值的基準。



圖 43. 混合訊號示波器 (MSO) 邏輯探棒簡化了與裝置的數位連接。

可以簡便地製作自訂接地，連接到待測裝置上。在連接到方形接腳時，您可以使用轉接器連接到探棒頭，與探棒尖端齊平延長探棒接地，從而可以連接到頭部。這些探棒提供了傑出的電氣特性及最低的電容負載。

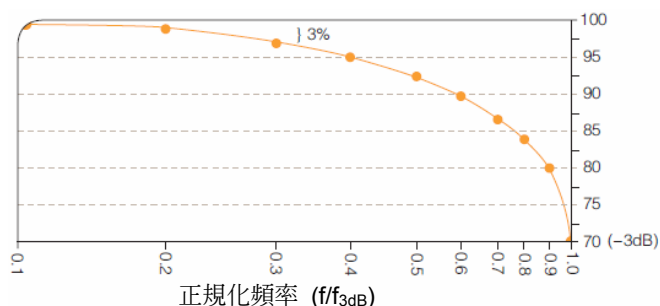


圖 44. 示波器頻寬是正弦軌跡輸入訊號，被衰減到訊號實際振幅 70.7% 的頻率，稱為 -3 dB 點。

專用探棒

除上面提到的探棒類型外，還有許多其他專用探棒和探測系統，包括電流探棒、高壓探棒、光學探棒等等。

探棒配件

許多現代示波器提供內建自動輸入專用功能及配對的探棒連接器。在智慧型探棒介面中，將探棒連接到儀器上時，會將探棒的衰減因數通知示波器，然後示波器會確定畫面量程，從而可以在螢幕上將探棒的衰減表示為讀數。某些探棒介面還識別探棒類型，即被動式探棒、主動式探棒或電流探棒。介面可以作為探棒的 DC 電源使用。主動式探棒有自己的放大器和緩衝電路，需要 DC 電源。

另外還提供地線和探棒尖端配件，在量測高速訊號時改善訊號完整性。地線轉接器在探棒尖端與到待測裝置的地線連接之間提供了靈活的間距，同時從探棒尖端到待測裝置保持非常短的地線長度。如需進一步瞭解探棒和探棒配件，請參閱《Tektronix 探棒基礎知識》入門手冊。

效能術語和考慮因素

如前所述，示波器類似於一架攝影機，擷取我們可以觀察和理解訊號影像。快門速度、光線條件、孔徑和膠片的 ASA 等級，都會影響攝影機清楚準確地擷取影像的能力。

與示波器基礎系統一樣，示波器的效能考慮因素明顯影響著其實現要求的訊號完整性的能力。

學習新技能通常要學習新的術語表，在學習如何使用示波器時也不例外。本節介紹部分實用的量測和示波器效能術語。這些術語用來描述為應用選擇正確示波器至關重要的指標。瞭解這些術語將幫助您評估示波器，並與其他型號的示波器作出比較。

頻寬

頻寬決定著示波器量測訊號的基本能力。在訊號頻率提高時，示波器準確顯示訊號的能力會下降。這個指標表示示波器能夠準確量測的頻率範圍。

示波器頻寬是指正弦軌跡輸入訊號被衰減到訊號真實振幅的頻率，稱為 -3 dB 點，這一術語以對數刻度為基礎，如圖 44 所示。

如果沒有充足的頻寬，示波器將不能解析高頻變化。振幅將失真，邊緣將消失，細節將遺失。如果沒有充足的頻寬，示波器的所有功能和特性都沒有任何意義。

為確定準確驗證特定應用中訊號振幅所需的示波器頻寬，應採用「五倍法則」。

$$\text{示波器頻寬} \geq (\text{訊號的最高頻率成分} \times 5)$$



圖 45. 頻寬越高，訊號重複性準確度越高。如圖所示，這是 250 MHz、1 GHz 和 4 GHz 三種頻寬基準下擷取的訊號。

使用五倍法則選擇的示波器將在量測中提供小於 $\pm 2\%$ 的誤差，這對目前應用一般足夠了。但是，隨著訊號速度提高，這一經驗法則可能實現不了。要記住，頻寬越高，可能實現的訊號重複性準確度就越高，如圖 45 所示。

某些示波器透過數位訊號處理，提供一種增強頻寬的方法。可以使用 DSP 任意等化濾波器，改善示波器通道回應。這個濾波器擴大了頻寬，使示波器通道頻率響應平坦化，改善相位線性度，在通道之間實現更好的匹配程度。它還降低了上升時間，改善了時域階梯波回應。

上升時間

在數位領域中，上升時間量測至關重要。在預計量測數位訊號時，如脈衝和階梯波，上升時間可能是更適合的效能考慮因素。如圖 46 所示，示波器必須有充足的上升時間，才能準確擷取迅速轉態的細節。

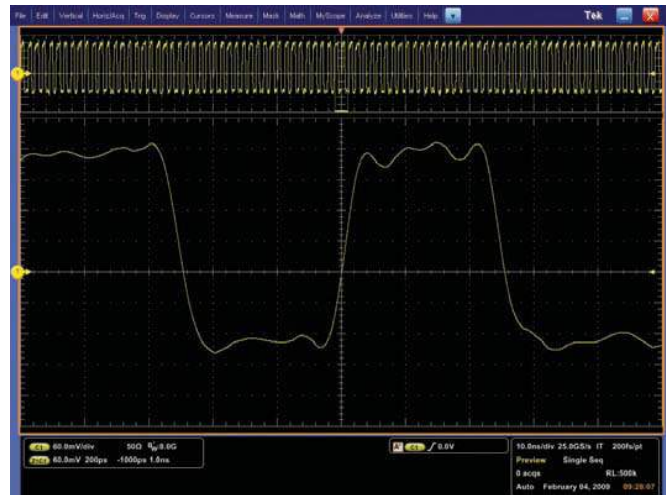


圖 46. 驗證高速數位訊號的上升時間。

上升時間描述了示波器的實用頻率範圍。可以使用下面的公式，計算訊號類型要求的示波器上升時間：

$$\text{示波器上升時間} \leq (\text{訊號最快的上升時間} \times 1/5)$$

請注意這個選擇示波器上升時間的依據與頻寬選擇依據類似。在頻寬中，由於目前訊號擁有超高速率，並不能一直實現這種經驗法則。請注意示波器上升時間越快，擷取快速轉態關鍵細節的準確度越高。

在某些應用中，您可能只知道訊號的上升時間。有一個常數，可以將示波器的頻寬和上升時間關聯起來，公式如下：

$$\text{頻寬} = (K / \text{上升時間})$$

其中 k 是位於 0.35 和 0.45 之間的值，具體視示波器頻率響應軌跡形狀和脈衝上升時間回應的形狀而定。頻寬 < 1 GHz 的示波器的 k 值一般為 0.35，頻寬 > 1 GHz 的示波器 k 值通常在 0.40 和 0.45 之間。

| 邏輯系列 | 典型訊號上升時間 | 計算得出的訊號頻寬 |
|------|----------|-----------|
| TTL | 2 ns | 175 MHz |
| CMOS | 1.5 ns | 230 MHz |
| GTL | 1 ns | 350 MHz |
| LVDS | 400 ps | 875 MHz |
| ECL | 100 ps | 3.5 GHz |
| GaAs | 40 ps | 8.75 GHz |

圖 47. 某些邏輯系列產生的上升時間本身要比其他邏輯系列快。

某些邏輯系列本身產生的上升時間要快於其他邏輯系列，如圖 47 所示。

取樣率

取樣率用樣點/秒 (S/s) 表示，指數位示波器獲得訊號螢幕擷取畫面或樣點的頻率，與攝影機的幀數類似。示波器取樣速度越快 (即取樣率越高)，解析度及顯示的波形細節越高，遺失關鍵資訊或事件的可能性越小，如圖 48 所示。當需要在較長的時間週期內觀察緩慢變化的訊號時，最低取樣率可能也非常重要。一般來說，顯示的取樣率會隨著水平刻度控制所作的變化而變化，以在顯示的波形記錄中保持恆定數量的波形點。

如何計算取樣率要求呢？計算方法視量測的波形類型，及示波器使用的訊號重建方法而有所不同。

為準確地重建訊號，避免假訊號，Nyquist 定理指出，訊號取樣速度至少是其最高頻率成分的兩倍。然而，這一定理假設記錄長度無窮大及連續訊號。由於沒有一台示波器能夠提供無窮大的記錄長度，根據定義，突波也不是連續的，所以取樣率僅為最高頻率成分的兩倍通常是不夠的。

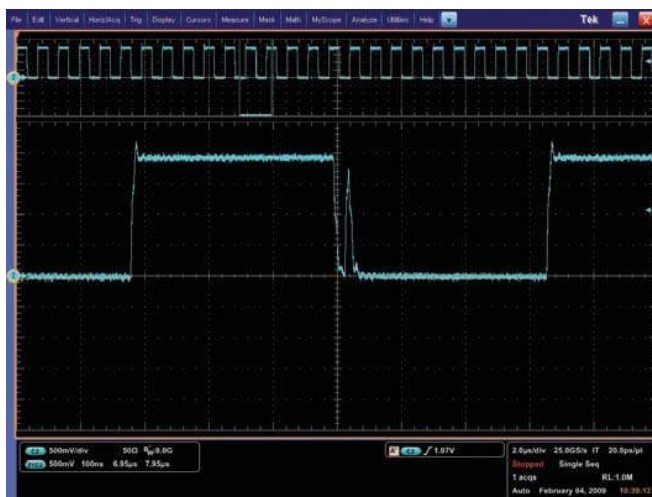


圖 48. 取樣率越高，訊號解析度越好，保證您將看到間歇性事件。

在實作中，準確重建訊號取決於取樣率及填充樣點間隔使用的內插法方法。某些示波器允許選擇在量測正弦軌跡訊號時使用 $\sin(x)/x$ 內插法，在量測方波、脈衝和其他訊號類型時使用線性內插法。

為使用 $\sin(x)/x$ 內插法準確地重建訊號，示波器的取樣率至少應該是訊號最高頻率成分的 2.5 倍。在使用線性內插法時，取樣率至少應該是最高頻率訊號成分的 10 倍。

取樣率在 10 GS/s 及頻寬在 3+ GHz 的某些量測系統已經進行優化，可以五倍的頻寬超取樣擷取非常快速的單次事件和暫態事件。

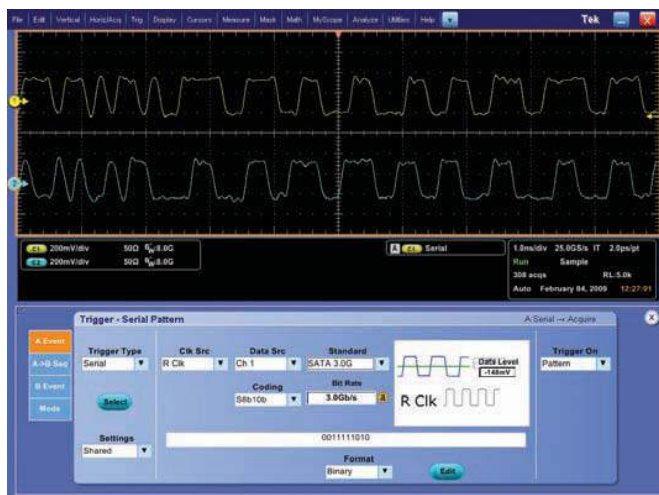


圖 49. DPO 為不重複的高速多通道數位設計應用，提供了理想的解決方案。

波形擷取速率

所有示波器都會眨眼睛。也就是說，它們會每秒睜開眼睛多少次來擷取訊號，其間則會閉上眼睛。這就是波形擷取速率，用波形/秒 (wfms/s) 表示。取樣率表示示波器在一個波形或週期內對輸入訊號取樣的頻次，波形擷取速率則是指示波器擷取波形的速度有多快。

視示波器類型和效能程度，波形擷取速率變化很大。波形擷取速率高的示波器可以明顯更好地觀察訊號特性，大振幅提高示波器迅速擷取暫態異常訊號的機率，如抖動、矮波、突波和轉態誤差。

數位儲存示波器 (DSO) 採用串列處理架構，擷取速率為 10 – 5,000 wfms/s。某些 DSO 提供專用模式，將多個擷取突發傳送到長記憶體中，在很長的處理死區時間後提供臨時更高的波形擷取速率，但這會降低擷取偶發間歇性事件的機率。

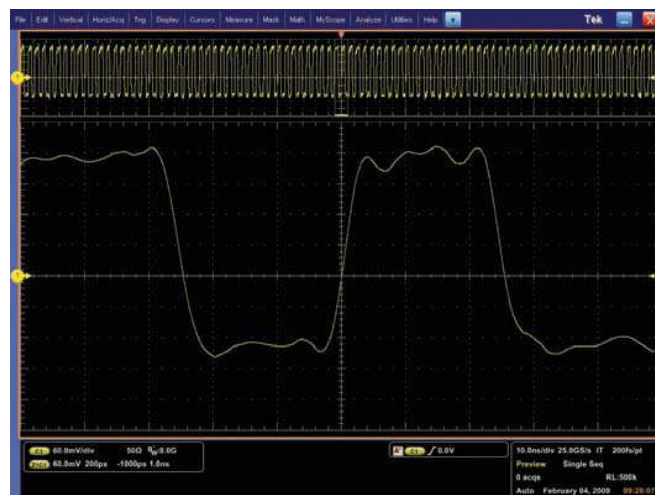


圖 50. DPO 可以有效觀察訊號特性，它提供了高得多的波形擷取速率和三個維度顯示功能，使其成為多種應用最佳的通用設計和除錯工具。

大多數數位螢光示波器 (DPO) 採用並列處理架構，提供高得多的波形擷取速率。如圖 49 所示，某些 DPO 可以在一秒鐘內擷取幾百萬個波形，明顯提高擷取間歇性捉摸不定事件的機率，更迅速地看到訊號中的問題。此外，DPO 能夠即時擷取和顯示訊號特性的三個維度：振幅、時間及振幅在時間上的分佈，可以有效地觀察訊號特性，如圖 50 所示。

記錄長度

記錄長度用構成一條完整的波形記錄的點數表示，決定著每個通道可以擷取的資料量。由於示波器只能儲存有限數量的樣點，因此波形時長 (時間) 與示波器的取樣率成反比。

$$\text{時間間隔} = \text{記錄長度} / \text{取樣率}$$

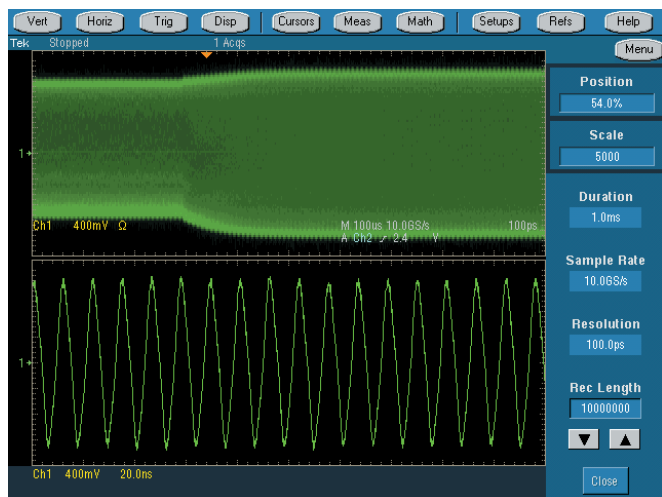


圖 51. 擷取這個 85 MHz 被調變載波的高頻細節需要更高解析度取樣 (100 ps)。觀察訊號的整個調變包封需要長時間週期 (1 ms)。透過使用長記錄長度 (10 MB)，示波器可以同時顯示這兩者。

現代示波器允許選擇記錄長度，優化應用所需的細節程度。如果您要分析異常穩定的正弦軌跡訊號，您可能只需要 500 點的記錄長度，但如果要隔離複雜的數位資料串流中的時序異常事件，您可能需要 100 萬點以上的記錄長度，如圖 51 所示。

觸發功能

示波器的觸發功能在正確的訊號點上同步水平掃描，這對清楚地驗證訊號至關重要。觸發控制功能允許穩定重複的波形，擷取單次波形。

如需進一步瞭解觸發功能，請參閱「效能術語和考慮因素」中的「觸發」一節。

有效位元

有效位元是一個衡量數位示波器準確重建正弦波訊號形狀能力的指標。這個指標將示波器的實際誤差與理論上「理想的」數位器進行比較。由於實際誤差包括雜訊和失真，因此必須指定訊號的頻率和振幅。

頻率響應

單純的頻寬並不足以保證示波器能夠準確地擷取高頻訊號。示波器設計的目標是特定類型的頻率響應：最大平坦包封延遲 (MFED)。這種類型的頻率響應提供了完美的脈衝完整性及最低的過激量和振鈴。由於數位示波器由實際放大器、衰減器、ADC、互連和繼電器組成，因此 MFED 回應是唯一能夠實現的目標。脈衝傳真度因示波器型號和製造商變化很大。

垂直靈敏度

垂直靈敏度表示垂直放大器可以放大弱訊號的程度，通常用每格毫伏 (mV) 表示。通用示波器偵測到的最小電壓一般約為螢幕上每個直格 1 mV。

掃描速度

掃描速度表示軌跡以多快的速度掃描通過示波器螢幕，使您能夠看到精細的細節。示波器的掃描速度用每格時間 (秒) 表示。

增益準確度

增益準確度表示垂直系統衰減或放大訊號的準確度，通常用百分比誤差表示。

水平準確度 (時基)

水平或時基準確度表示水平系統顯示訊號時序的準確度，通常用百分比誤差表示。

垂直解析度 (類比轉數位轉換器)

ADC 及數位示波器的垂直解析度表示其將輸入電壓轉換成數位值的準確度。垂直解析度用位元數表示。計算技術可以改善有效解析度，高解析度擷取模式是一個很好的例子。



圖 52. MSO 提供了 16 個整合的數位通道，可以觀察和分析時間相關的類比訊號和數位訊號。高速時序擷取提供更高的解析度，可以揭示突波之類的窄事件。

時序解析度 (MSO)

擷取數位訊號使用的時序解析度是一個重要的 MSO 擷取指標。擷取訊號的時序解析度越好，量測訊號變化時間的準確度越高。例如，500 MS/s 擷取速率的時序解析度是 2 ns，擷取的訊號邊緣不確定度是 2 ns。較小的 60.6 ps 的時序解析度 (16.5 GS/s) 會將訊號邊緣不確定度降低到 60.6 ps，擷取變化速度更快的訊號。

某些 MSO 在內部擷取數位訊號，同時支援兩種擷取。第一種擷取使用標準時序解析度，第二種擷取使用高速解析度。標準解析度用於較長的記錄長度，高速時序擷取則在感興趣的窄點周圍提供更高的解析度，如圖 52 所示。

連接能力

分析量測結果的需求仍是首要目標。需要簡便頻繁地存檔和共用資訊和量測結果的重要程度也在不斷增長。示波器連接能力提供先進分析功能，簡化了量測結果的存檔和共用。如圖 53 所示，標準介面 (GPIB、RS-232、USB、乙太網路) 和網路通訊模組使得部分示波器能夠提供大量的一系列功能和控制能力。

某些先進示波器還允許：

- 在示波器上建立、編輯和共用檔，所有這一切都在特定環境中運行的儀器上完成



圖 53. 目前的示波器提供了廣泛的一系列通訊介面，如標準配備 Centronics 埠及選配乙太網路/RS-232、GPIB/RS-232 和 VGA/RS-232 模組。其前面板上甚至還有一個 USB 埠 (畫面中沒有顯示)。

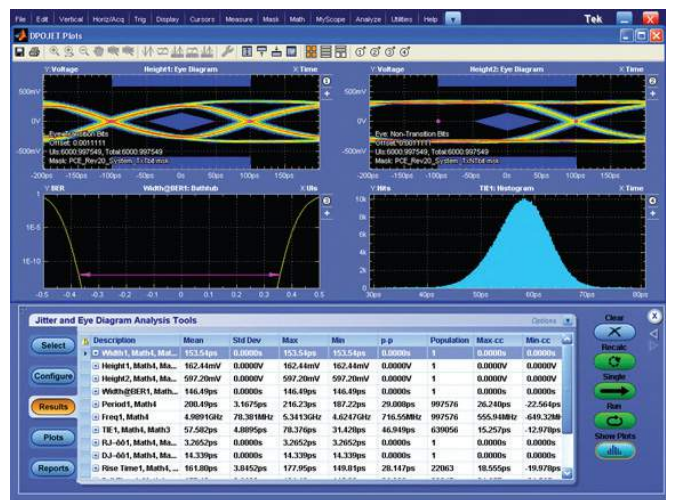


圖 54. 分析套裝軟體是為滿足目前高速數位設計人員的抖動和眼狀圖量測需求專門設計的。

- 造訪網路列印和檔案共用資源
- 造訪 Windows 桌面
- 執行協力廠商分析和檔案管理軟體
- 連結到網路上
- 上網
- 收發郵件



圖 55. 自動觸發、解碼和搜尋串列封包上下文加快了串列匯流排分析速度。



圖 57. 先進 DDR 分析工具自動完成複雜的儲存任務，如將讀/寫資料組分開及執行 JEDEC 量測。

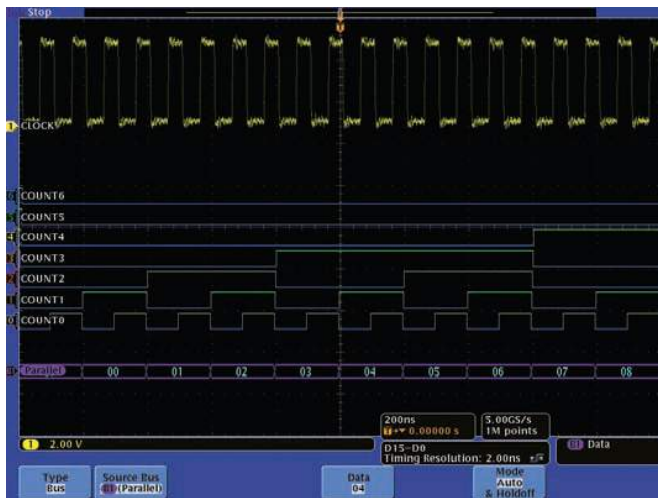


圖 56. 自動觸發、解碼和搜尋時脈輸入或非時脈輸入並列匯流排資料。

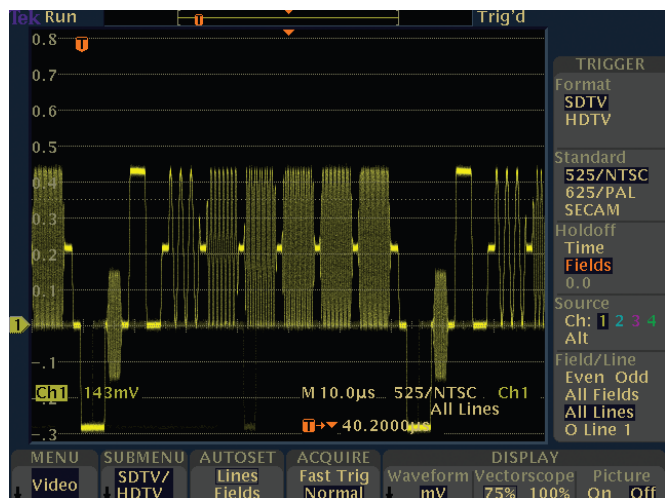


圖 58. 視訊應用模組使得示波器成為快速的、揭示一切細節的視訊除錯工具。

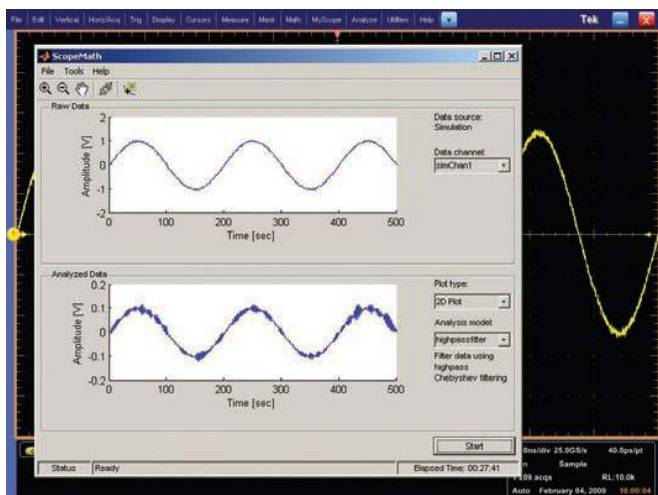


圖 59. 先進分析和工作效率軟體 (如 MATLAB®) 可以安裝在 Windows 架構的示波器中，達成本地訊號分析。

擴展能力

示波器應能夠在需求變化時滿足您的需要。某些示波器允許：

- 在通道中增加記憶體，分析更長的記錄長度
- 增加專用量測功能
- 使用全套探棒和模組，補充示波器的處理能力
- 與知名協力廠商的分析和工作效率 Windows 相容軟體一起使用
- 增加配件，如蓄電池和機架安裝配件

應用模組和軟體可以將示波器轉換成高度專用的分析工具，能夠執行抖動和時序分析、微處理器儲存系統驗證、通訊標準測試、磁碟機量測、視訊量測、電源量測等功能。圖 54 – 圖 59 介紹了部分實例。



圖 60. 傳統的模擬式旋鈕控制著位置、刻度、亮度等等，完全滿足您的預期。

簡便易用

示波器應易學易用，幫助使用者保持最高效率和生產力。您可以將重點放在設計上，而不是量測工具上。正如沒有完全一樣的司機一樣，也沒有完全一樣的示波器使用者。不管您首選傳統儀器介面，還是首選 Windows® 介面，示波器操作靈活都非常重要。

透過為使用者提供多種儀器操作方式，許多示波器在效能和簡單性之間實現了平衡。圖 60 中的前面板佈局提供了專用垂直控制功能、水平控制功能和觸發控制功能。如圖 61 所示，擁有大量圖示的圖形使用者介面可以幫助您瞭解及直覺式使用進階功能。觸控式螢幕解決了與雜亂的工作台和手推車有關的問題，同時可以使用清楚的螢幕上按鈕，如圖 62 所示。線上說明提供了方便的內建參考手冊。直覺式控制功能允許即使是偶爾使用示波器的使用者，仍能像開車一樣舒適地駕馭示波器，同時允許全職使用者簡便地使用示波器最先進的功能。

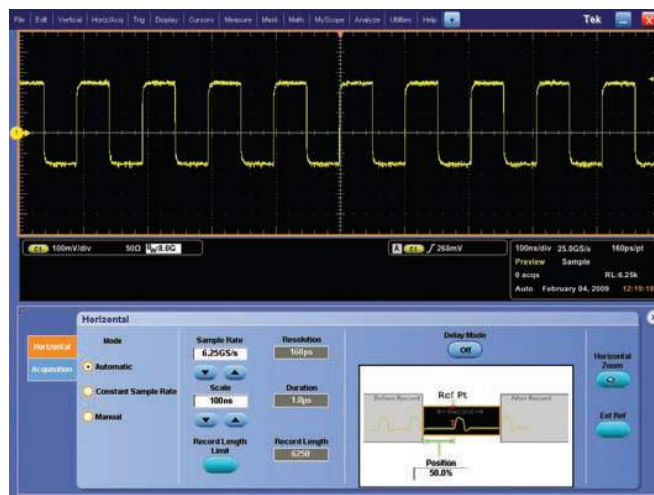


圖 61. 使用圖形控制視窗，讓您有信心地輕鬆使用最完善的機能。

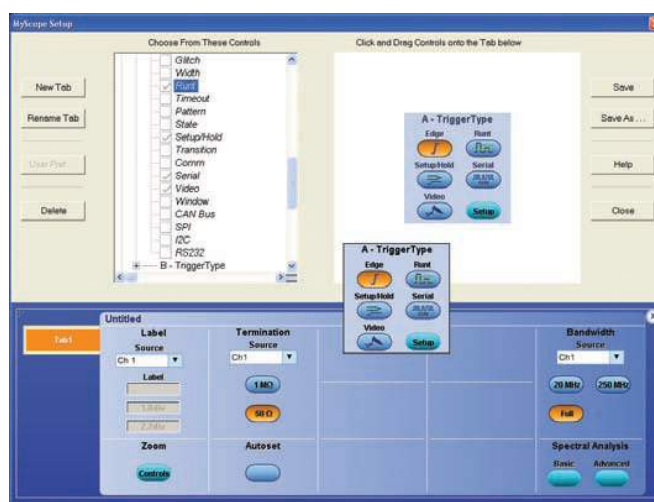


圖 62. 觸控式螢幕自然而然地解決了工作台和手推車混亂問題，同時可以使用清楚的螢幕上按鈕。

此外，許多示波器是可攜式的，如圖 63 所示，從而使得示波器能夠有效用於許多不同的工作環境中，包括實驗室或現場。



圖 63. 許多示波器便於攜帶，可以在許多工作環境中有效利用儀器。

操作示波器

本節簡要介紹如何設定及開始使用示波器，特別是如何實現示波器和使用者接地、設定示波器控制功能、校驗示波器、連接探棒、補償探棒。

在設定量測或處理電路時，正確接地是一個重要步驟。示波器正確接地可以防止使用者受到電擊，使用者正確接地可以防止電路受到損壞。

正確接地

示波器接地意味著將示波器連接到電氣中性的參考點上，如接地。將示波器三頭電源線插到連接接地裝置的插座上，完成示波器接地。

示波器接地對人身安全是必須的。如果高壓接觸沒有接地的示波器機箱，不管是機箱的哪個部分，包括似乎已經絕緣的旋鈕，都會發生電擊。而在示波器正確接地時，電流會透過接地路徑傳送到接地裝置上，而不是透過使用者身體傳送到接地裝置上。接地對使用示波器進行準確量測也是必須的。示波器需要與測試的任何電路共用相同的接地。

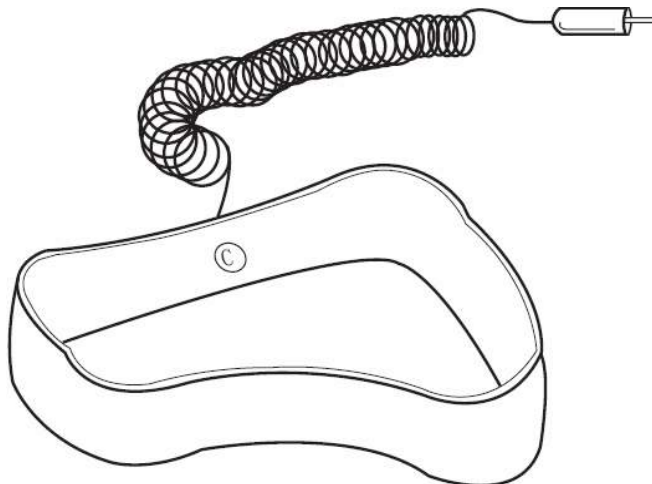


圖 64. 典型的接地腕帶。

某些示波器不要求單獨連接接地裝置。這些示波器已經對機箱和控制功能進行絕緣，可以讓使用者遠離任何可能的電擊危險。

如果您正在處理積體電路 (IC)，您還需要讓自己接地。積體電路有微小的傳導路徑，使用者身體中積聚的靜電可能會損壞這些路徑。在地毯上走動或脫下外套、然後觸摸積體電路引線，就可能會毀掉一塊昂貴的積體電路。為解決這個問題，應戴上接地腕帶，如圖 64 所示。接地腕帶可以將人身體中的靜電安全地傳送到接地裝置上。

設定控制功能

在裝好示波器後，看一下前面板。如前所述，前面板一般分成三個主要區域，分別標為垂直區域、水平區域和觸發區域。示波器可能還有其他區域，具體視型號和類型而定。

請注意示波器上的輸入連接器，在這裡連接探棒。大多數示波器至少有兩個輸入通道，每個通道可以在螢幕上顯示一個波形。多個通道適合比較波形。如前所述，MSO 還有多個數位輸入。

某些示波器擁有 AUTOSSET 和 (或) DEFAULT 按鈕，可以一步設定控制功能，適應訊號。如果您的示波器沒有這種功能，那麼最好將控制功能設定到標準位置，然後再進行量測。

將示波器手動設定在標準位置的一般說明如下：

- 將示波器設定成顯示通道 1
- 將垂直 volts/division 刻度和位置控制功能設定到中階位置
- 關閉可變 volts/division
- 關閉所有放大設定
- 將通道 1 輸入耦合設定成 DC
- 將觸發模式設定成自動觸發
- 將觸發源設定成通道 1
- 將觸發延遲旋轉到最小或關閉
- 將水平 time/division 和位置控制功能設定到中階位置
- 調整通道 1 volts/division，在訊號不被截掉或不產生訊號失真的情況下，使訊號佔用 10 個直格中盡可能多的格

校驗儀器

除正確設定示波器外，推薦定期自行校驗儀器，以準確地進行量測。如果自上次自我校驗以後環境溫度變化幅度超過 5°C (9°F)，那麼就需要進行校驗，或者每週校驗一次。在示波器功能表中，有時這可以作為「Signal Path Compensation」(訊號路徑補償) 啟動。如需更詳細的說明，請參閱示波器隨附手冊。

連接探棒

現在，您準備將探棒連接到示波器上。如果與示波器匹配好，探棒可以發揮示波器的所有處理能力和效能，為確保量測的訊號的完整性。

量測一個訊號需要兩條連接：探棒尖端連接和接地連接。探棒通常具有一個夾子連接裝置，用來將探棒接地到待測電路上。在實作中，可以將接地夾連接到電路中的已知接地上，如維修的產品的金屬機箱，使探棒尖端碰觸電路中的測試點。

補償探棒

被動式衰減電壓探棒必須對示波器進行補償。在使用被動式探棒前，必須先補償探棒，以使其電氣特性與特定示波器等化。

應該養成每次設定示波器時都補償探棒的習慣。探棒調整差會降低量測準確度。圖 65 說明了使用補償不當的探棒對 1 MHz 測試訊號的影響。

大多數示波器在前面板的一個端子上提供一個方波參考訊號，用來補償探棒。補償探棒的過程通常如下：

- 將探棒連接到一條垂直通道上
- 將探棒尖端連接到探棒補償訊號上，即方波參考訊號上
- 將探棒接地夾連接到接地上
- 觀察方波參考訊號
- 正確調整探棒，使方波的角度是方的

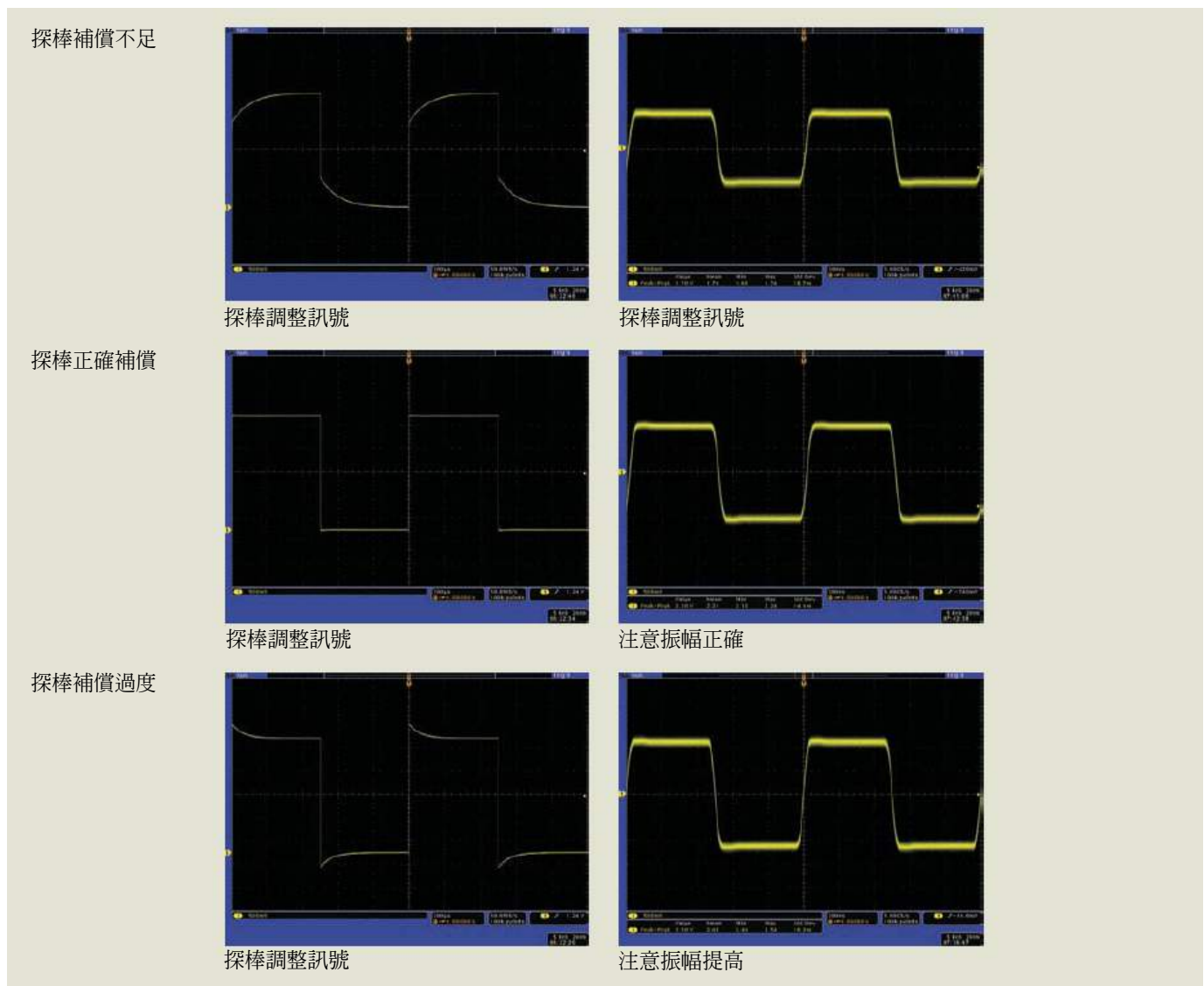


圖 65. 探棒補償不當的影響。

在補償探棒時，應一直連接要使用的任何配套尖端，將探棒連接到打算使用的垂直通道上。這可以保證示波器擁有與進

行量測時同樣的電氣屬性。

示波器量測技術

本節介紹基本量測技術。兩種最基本的量測是電壓量測和時間量測。幾乎每種其他量測都以這兩種基本量測技術中的一種為基礎。

本節討論在示波器螢幕上目視量測的方法。這是類比儀器中常用的一種技術，也可以用來「一目瞭然地」理解數位示波器畫面。

請注意大多數數位示波器包括自動量測工具，簡化和加快了常見分析任務，從而改善量測的可靠性和信心。但是，瞭解如何進行本節介紹的手動量測，將幫助您瞭解和檢查自動量測。

電壓量測

電壓是電路中兩點之間的電位量，用伏特表示。通常這兩點中一個點是接地（零伏特），但並不是一直是接地。還可以量測峰對峰值電壓，即從訊號的最大點到訊號的最小點。必須注意指明表示的是哪個電壓。

示波器主要是一種電壓量測裝置。一旦量測了電壓，其他量只是計算而已。例如，歐姆定律指出，電路中兩點之間的電壓等於電流乘以電阻。從任意兩個量中，都可以使用下面的公式計算出第三個量：

$$\text{電壓} = \text{電流} \times \text{電阻}$$

$$\text{電流} = \text{電壓} / \text{電阻}$$

$$\text{電阻} = \text{電壓} / \text{電流}$$

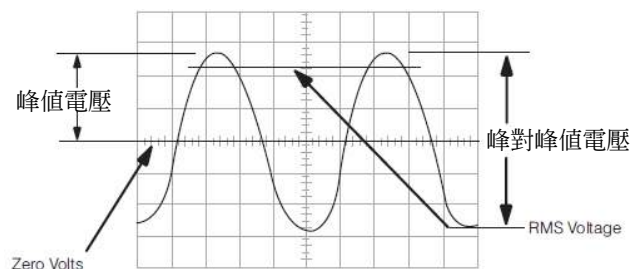


圖 66. 峰值電壓 (V_p) 和峰對峰值電壓 (V_{p-p})。

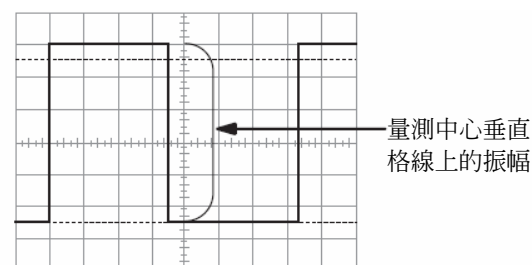


圖 67. 量測中心垂直格線上的電壓。

另一個方便的公式是功率定理，指定 DC 訊號的功率等於電壓乘以電流。AC 訊號的計算比較複雜，但在這裡，量測電壓是計算其他量的第一步。圖 66 顯示一個峰值電壓 (V_p) 和峰對峰值電壓 (V_{p-p})。

進行電壓量測最基本的方法是，計算一個波形在示波器垂直刻度上跨越的格數。調整訊號，在垂直方向上覆蓋大多數顯示畫面，可以進行最佳的電壓量測，如圖 67 所示。使用的顯示區域越多，能夠讀取量測資料的準確度越高。

許多示波器具有游標，允許自動進行波形量測，而不必計算格線標記數量。游標是一條簡單的可以在顯示畫面中移動的線。兩條水平游標線可以上下移動，截出電壓量測中的波形振幅；兩條垂直線可以左右移動，用於時間量測。讀數顯示了其位置上的電壓或時間。

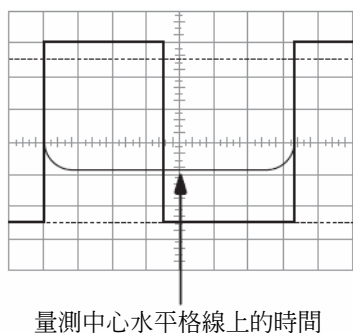


圖 68. 量測中心水平格線上的時間。

時間和頻率量測

可以使用示波器的水平刻度進行時間量測。時間量測包括量測脈衝的週期和脈波寬度。頻率是週期的倒數，因此如果知道週期，那麼用 1 除以週期，就可以得到頻率。與電壓量測一樣，在將待測訊號的部分調整到覆蓋顯示畫面大部分區域時，可以提高時間量測的準確度，如圖 68 所示。

脈波寬度和上升時間量測

在許多應用中，脈衝形狀細節非常重要。脈衝可能會失真，導致數位電路發生故障，脈衝串中的脈衝時序通常非常重要。

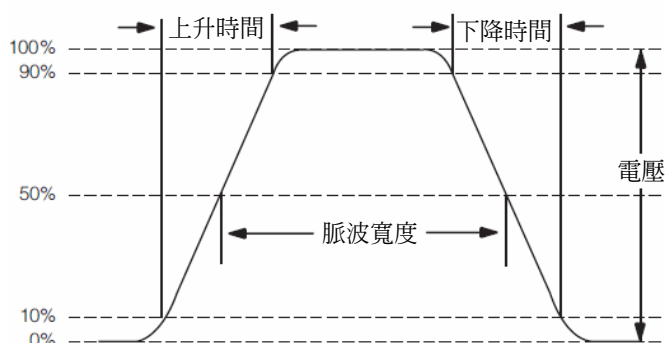


圖 69. 上升時間和脈波寬度量測點。

標準脈衝量測是脈衝上升時間和脈波寬度。上升時間是脈衝從低壓變成高壓所需的時間量。依據慣例，上升時間是從脈衝全部電壓的 10% 上升到 90% 的時間。這消除了脈衝轉態角上的任何不規則性。脈波寬度是脈衝從低到高、然後再回到低所用的時間量。依據慣例，脈波寬度在全部電壓的 50% 處測得。圖 69 說明了這些量測點。

脈衝量測通常要求微調觸發。為成為擷取脈衝的專家，您應該瞭解如何使用觸發延遲及如何設定數位示波器擷取觸發前資料，如「示波器的系統和控制功能」一節所述。水平放大是量測脈衝使用的另一種實用功能，可以看到快速脈衝的精細細節。

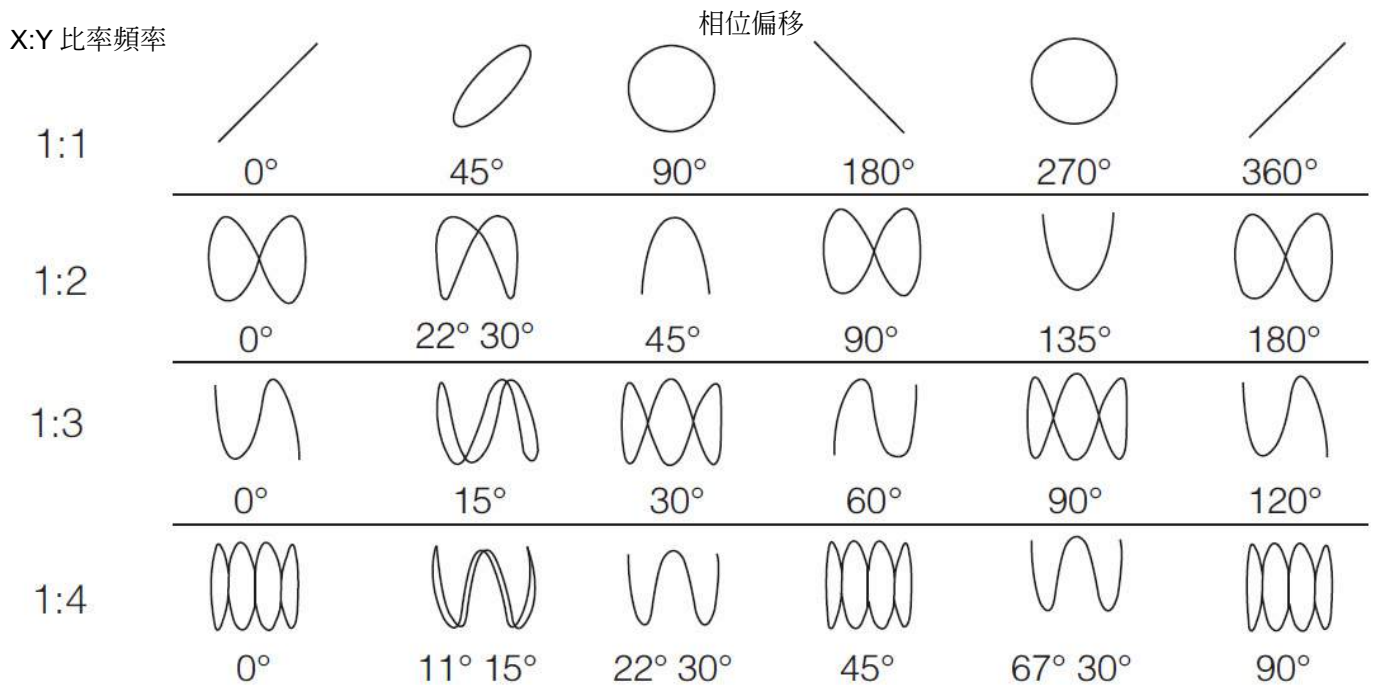


圖 70. Lissajous 碼型。

相位偏移量測

量測相位偏移、也就是兩個一模一樣的週期訊號之間時序差的方法之一，是使用 XY 模式。這種量測技術需要將一個訊號像往常一樣輸入垂直系統中，然後將另一個訊號輸入到水平系統中，稱為 XY 量測，因為 X 軸和 Y 軸都追蹤電壓。這一系列產生的波形稱為 Lissajous 碼型 (以法國物理學家 Jules Antoine Lissajous 的名字命名，讀音為 LEE-sa-zhoo)。從 Lissajous 碼型形狀中，可以區分兩個訊號的相位差異。還可以區分其頻率比。圖 70 顯示了各種頻率比和相位偏移的 Lissajous 碼型。

XY 量測技術源自類比示波器。DSO 可能很難產生即時 XY 畫面。某些 DSO 透過累積不同時間觸發的資料點，然後作為 XY 畫面顯示兩個通道，來產生 XY 圖像。

DPO 則能夠即時擷取和顯示真正的 XY 模式圖像。DPO 還顯示加強區域的 XYZ 圖像。與 DSO 和 DPO 上的 XY 畫面不同，上的這些畫面一般只限於幾兆赫的頻寬。

其他量測技術

本節介紹了基本量測技術。其他量測技術則涉及設定示波器測試裝配線上的電氣元件、擷取捉摸不定的暫態訊號等等。使用的量測技術取決於應用，前面已經介紹了大量的入門知識。您可以使用示波器實作一下，瞭解更多資訊，您很快就會熟悉示波器的操作。

書面練習

本節包含著涵蓋本入門手冊資訊的書面練習，其分成兩個部分：第一部分和第二部分，分別包括術語練習和應用練習。請對比自己的答案與本節最後第 55 頁的參考答案，確定自己對本入門手冊中的資訊掌握情況。

第一部分涵蓋了下面幾節中介紹的資訊：

- 示波器
- 效能術語和考慮因素

第二部分涵蓋了下面幾節中介紹的資訊：

- 示波器的系統和控制功能
- 操作示波器
- 量測技術

第一部分 A：辭彙練習

請將右欄中的定義字母填寫到左欄中相應的術語前面。

| 術語 | 定義 |
|-----------------|--|
| 1. ___ 擷取 | A 表示電位差的單位。 |
| 2. ___ 模擬 | B 表示 ADC 準確度的一種效能指標，單位為位元。 |
| 3. ___ 頻寬 | C 提到訊號週期度數時使用的術語。 |
| 4. ___ 數位螢光 | D 訊號在一秒鐘內重複的次數。 |
| 5. ___ 頻率 | E 一個波完成一個週期所需的時間量。 |
| 6. ___ 突波 | F 儲存的數位值，表示顯示器特定時序點上的訊號電壓。 |
| 7. ___ 週期 | G 一種常見的波形形狀，有上升邊緣、寬度和下降邊緣。 |
| 8. ___ 相位 | H 表示脈衝上升邊緣速度的一個效能指標。 |
| 9. ___ 脈衝 | I 控制掃描時序的示波器電路。 |
| 10. ___ 波形點 | J 電路中的間歇性尖峰。 |
| 11. ___ 上升時間 | K 示波器量測的只發生一次的訊號。 |
| 12. ___ 樣點 | L 示波器從 ADC 中擷取樣點、處理樣點、然後將樣點儲存在記憶體中的過程。 |
| 13. ___ 數位儲存 | M 與連續變化的值一起運行的某種東西。 |
| 14. ___ 時基 | N 即時擷取訊號資訊三個維度的數位示波器。 |
| 15. ___ 暫態訊號 | O 擁有串列處理功能的數位示波器。 |
| 16. ___ ADC 解析度 | P -3 dB 點定義的正弦波頻率範圍。 |
| 17. ___ 伏特 | Q 來自 ADC 的用來 y 計算和顯示波形點的原始資料。 |

第一部分 B：應用練習

圈出每道題的最佳答案。部分題為複選題。

1. 可以使用示波器：
 - a. 計算訊號的頻率。
 - b. 找到有故障的電氣元件。
 - c. 分析訊號細節。
 - d. 上面全都是。
2. 類比示波器與數位示波器的差別是：
 - a. 類比示波器沒有螢幕上功能表。
 - b. 類比示波器對顯示系統直接施加量測電壓，而數位示波器則先將電壓轉換成數位值。
 - c. 類比示波器量測類比訊號，數位示波器量測數位。
 - d. 類比示波器沒有擷取系統。
3. 示波器的垂直區域功能如下：
 - a. 使用 ADC 擷取樣點。
 - b. 啟動水平掃描。
 - c. 讓您調整顯示器亮度。
 - d. 衰減或放大輸入訊號。
4. 示波器的時基控制功能有：
 - a. 調整垂直刻度。
 - b. 顯示一天中目前時間。
 - c. 設定螢幕水平寬度表示的時間量。
 - d. 將時脈脈衝發送到探棒。
5. 在示波器顯示器上：
 - a. 電壓是縱軸，時間是橫軸。
 - b. 平直的對角線軌跡表示電壓以穩定速率變化。
 - c. 平坦的水平軌跡表示電壓是恆定的。
 - d. 上面全都是。
6. 所有重複波都有下面的特性：
 - a. 用赫茲表示頻率。
 - b. 用秒表示週期。
 - c. 用赫茲表示頻寬。
 - d. 上面全都是。
7. 如果使用示波器探測電腦內部，您可能會發現下面的訊號類型：
 - a. 脈衝串。
 - b. 斜波。
 - c. 正弦波。
 - d. 上面全都是。
8. 在評估效能時，您可能要考慮的有：
 - a. 頻寬。
 - b. 垂直靈敏度。
 - c. ADC 解析度。
 - d. 掃描速度。
9. 數位儲存示波器 (DSO) 和數位螢光示波器 (DPO) 的差別是：
 - a. DSO 的頻寬更高。
 - b. DPO 即時擷取波形資訊的三個維度。
 - c. DSO 有彩色顯示器。
 - d. DSO 擷取的訊號細節更多。

第二部分 A：術語練習

請將右欄中定義的字母填寫到左欄中相應的術語前面。

| 術語 | 定義 |
|---------------|--|
| 1. ___ 平均模式 | A 探棒和示波器與待測電路非故意的交互作用，會使訊號失真。 |
| 2. ___ 電路負載 | B 將電流連接到地上的一個導體。 |
| 3. ___ 補償 | C 一種取樣模式。在這種模式下，數位示波器在訊號發生時收集多個樣點，然後在必要時使用內插法建構顯示畫面。 |
| 4. ___ 耦合 | D 一種取樣模式。在這種模式下，數位示波器從每次重複中擷取少量資訊，建構重複訊號的畫面。 |
| 5. ___ 接地 | E 將特定物理量 (如聲音、壓力、應力或光強度) 轉換成電訊號的一種裝置。 |
| 6. ___ 等時 | F 將訊號注入電路輸入的測試設備。 |
| 7. ___ 格線 | G 數位示波器用來消除顯示的訊號中的雜訊的一種處理技術。 |
| 8. ___ 內插法 | H 將兩條電路連接起來的方法。 |
| 9. ___ 即時 | I 一種「連點」處理技術，根據取樣的少量點估算快速波形形狀。 |
| 10. ___ 訊號產生器 | J 螢幕上的格線，用來量測示波器軌跡。 |
| 11. ___ 單一掃描 | K 一種觸發模式，觸發掃描一次，然後必須重新設定，才能接受另一個觸發事件。 |
| 12. ___ 感測器 | L 10X 衰減器探棒使用的探棒調整裝置，用來平衡探棒的電氣特性與示波器的特性。 |

第二部分 B：應用練習

圈出每道題的最佳答案。部分題為複選題。

- 為安全地操作示波器，您應該：
 - 使用適當的三頭電源線將示波器接地。
 - 學習認識潛在危險的電氣裝置。
 - 即使在電源關閉時，仍要避免接觸待測電路中暴露的連接。
 - 上面全都是。
- 示波器必須接地：
 - 基於安全原因。
 - 為進行量測提供一個參考點。
 - 將軌跡與螢幕的橫軸對準。
 - 上面全都是。
- 引起電路負載的原因是：
 - 輸入訊號的電壓太大。
 - 探棒和示波器與待測電路交互。
 - 沒有補償 10X 衰減器探棒。
 - 電路上放的東西太重。
- 必須補償探棒：
 - 平衡 10X 衰減探棒與示波器的電氣屬性。
 - 防止損壞待測電路。
 - 改善量測準確度。
 - 上面全都是。
- 軌跡旋轉控制功能用來：
 - 在螢幕上確定波形量程。
 - 偵測正弦波訊號。
 - 將波形軌跡與螢幕上的橫軸對準。
 - 量測脈波寬度。
- 伏特/格控制功能用來：
 - 在垂直方向確定波形量程。
 - 在垂直方向定位波形。
 - 衰減或放大輸入訊號。
 - 設定每格表示的伏特數。
- 設定到接地的垂直輸入耦合可以：
 - 將輸入訊號從示波器上斷開。
 - 引起自動觸發時出現一條橫線。
 - 讓您看到零伏特在螢幕上什麼位置。
 - 上面全都是。
- 觸發必不可少：
 - 將重複波形穩定在螢幕上。
 - 擷取單次波形。
 - 標記擷取的某個點。
 - 上面全都是。
- 自動觸發模式與正常觸發模式的差別是：
 - 在普通模式下，示波器只掃描一次，然後停止。
 - 在普通模式下，示波器只在輸入訊號到達觸發點時掃描，否則螢幕為空白。
 - 即使沒有被觸發，自動模式仍連續進行示波器掃描。
 - 上面全都是。
- 能最有效地降低重複訊號中的雜訊的擷取模式是：
 - 取樣模式。
 - 峰值偵測模式。
 - 包封模式。
 - 平均模式。

11. 使用示波器可以進行的兩種最基本的量測是：

- a. 時間和頻率量測。
- b. 時間和電壓量測。
- c. 電壓和脈波寬度量測。
- d. 脈波寬度和相位偏移量測。

12. 如果 **volts/division** 設定在 **0.5**，可以放到螢幕上的最大訊號 (假設 **8 x 10** 格螢幕) 是：

- a. 62.5 毫伏峰對峰值。
- b. 8 伏峰對峰值。
- c. 4 伏峰對峰值。
- d. 0.5 伏峰對峰值。

13. 如果 **seconds/division** 設定在 **0.1 ms**，那麼螢幕寬度表示的時間量是：

- a. 0.1 ms。
- b. 1 ms。
- c. 1 秒。
- d. 0.1 kHz。

14. 依據慣例，脈波寬度測得位置是：

- a. 脈衝峰對峰值 (pk-pk) 電壓的 10% 處。
- b. 脈衝峰對峰值 (pk-pk) 電壓的 50% 處。
- c. 脈衝峰對峰值 (pk-pk) 電壓的 90% 處。
- d. 脈衝峰對峰值 (pk-pk) 電壓的 10% 和 90% 處。

15. 將探棒連接到測試電路上，但螢幕是空白的。您應該：

- a. 檢查螢幕亮度已經打開。
- b. 檢查示波器設定成顯示探棒連接到的通道。
- c. 將觸發模式設定成自動觸發，因為普通模式會使螢幕變成空白。
- d. 將垂直輸入耦合設定成 AC，將 **volts/division** 設定成最大值，因為大的 DC 訊號可能會移出螢幕頂部或底部。
- e. 檢查探棒沒有短路，確認探棒正確接地。
- f. 檢查示波器設定成觸發使用的輸入通道。
- g. 上面全都是。

參考答案

本節提供了上一節所有書面練習的答案。

第一部分 A：術語練習答案

| | | | |
|------|------|-------|-------|
| 1. L | 5. D | 9. G | 13. O |
| 2. M | 6. J | 10. F | 14. I |
| 3. P | 7. E | 11. H | 15. K |
| 4. N | 8. C | 12. Q | 16. B |
| | | | 17. A |

第一部分 B：應用練習答案

| | | | |
|---------|------|--------|------------|
| 1. D | 3. D | 5. D | 7. A |
| 2. B, D | 4. C | 6. A,B | 8. A, B, D |
| | | | 9. B |

第二部分 A：術語練習答案

| | | | |
|------|------|------|-------|
| 1. G | 4. H | 7. J | 10. F |
| 2. A | 5. B | 8. I | 11. K |
| 3. L | 6. D | 9. C | 12. E |

第二部分 B：應用練習答案

| | | | |
|---------|------------|---------|-------|
| 1. D | 5. C | 9. B, C | 13. B |
| 2. A, B | 6. A, C, D | 10. D | 14. B |
| 3. B | 7. D | 11. B | 15. G |
| 4. A, C | 8. D | 12. C | |

術語表

A

擷取模式 – 控制著如何從樣點中產生波形點的模式。擷取模式的類型包括：取樣、峰值偵測、高解析度、包封、平均和波形資料庫。

交流 (AC) – 電流和電壓的重複碼型隨時間變化的訊號。也用來表示訊號耦合類型。

放大 – 訊號從一個點傳送到另一個點的過程中，訊號振幅會提高。

振幅 – 數量振幅或訊號強度。在電子裝置中，振幅通常指電壓或功率。

類比轉數位轉換器 (ADC) – 一種數位電子元裝置，將電訊號轉換成離散的二進位值。

類比示波器 – 一種儀器，透過將輸入訊號 (調整並放大後) 應用到電子束的縱軸上，在水平方向從左到右移動透過陰極射線管 (CRT) 螢幕，產生一個波形畫面。在波束擾動時，噴塗在 CRT 上的化學螢光產生一條發光的軌跡。

類比訊號 – 擁有連續可變電壓的訊號。

衰減 – 訊號在從一個點傳送到另一個點的過程中，訊號振幅會下降。

平均 – 數位示波器使用的降低顯示的訊號中雜訊的一種處理技術。

B

頻寬 – 通常受到 -3 dB 限制的一個頻率範圍。

C

電路負載 – 探棒和示波器與待測電路的非故意的交互作用，其會使訊號失真。

補償 – 被動式衰減探棒的探棒調整，以在探棒電容與示波器電容之間實現均衡。

耦合 – 將兩條電路連接起來的方法。使用導線連接的電路為直接耦合 (DC)，透過電容器或變壓器連接的電路為耦合 (AC)。

游標 – 一種螢幕上的標記，您可以將這個標記與波形對準，進行更準確的量測。

D

延時時基 – 一種具有掃描的時基，可以相對於主時基掃描上預定的時間啟動 (或被觸發啟動)。您可以更清楚地看到事件，看到單純使用主時基掃描看不到事件。

數位訊號 – 電壓樣點使用離散的二進位數字表示的一種訊號。

數位示波器 – 使用類比轉數位轉換器 (ADC) 將實測電壓轉換成數位資訊的一種示波器。數位示波器的類型包括：數位儲存示波器、數位螢光示波器、混合訊號示波器和數位取樣示波器。

數位螢光示波器 (DPO) – 一種數位示波器，其顯示特性模型與類比示波器密切相關，同時提供傳統數位示波器的優勢 (波形儲存、自動量測等等)。DPO 採用並列處理架構，將訊號傳送到光柵型顯示器，即時提供訊號特性的亮度階層畫面。DPO 使用三個維度顯示訊號：振幅、時間和振幅在時間上的分佈。

數位取樣示波器 – 一種數位示波器，採用等時取樣方法，擷取和顯示訊號樣點，其特別適合準確地擷取頻率成分遠遠高於示波器取樣率的訊號。

數位訊號處理 – 應用演算法改善實測訊號準確度的技術。

數位儲存示波器 (DSO) – 一種數位示波器，透過數位取樣擷取訊號 (使用類比轉數位轉換器)。它使用串列處理架構控制擷取、使用者介面和光柵顯示。

數位化 – 水平系統中的類比轉數位轉換器 (ADC) 在離散時點對訊號取樣，然後將訊號在這些時點上的電壓轉換成稱為樣點的數位值的過程。

直流 (DC) – 擁有恆定電壓和 (或) 電流的訊號，也用來表示訊號耦合類型。

格或分度 – 示波器格線上的量測標記，表示大標記和微小標記。

E

接大地 – 將電流連接到大地上的導體。

有效位元 – 衡量數位示波器準確地重建正弦波訊號形狀的能力的一個指標。這個指標將示波器的實際誤差與理論上的「理想」數位器的誤差進行比較。

包封 – 由多個顯示的波形重複期間擷取的訊號最高點和最低點構成的輪廓。

等時取樣 – 一種取樣模式，在這種模式下，示波器從每次重複中擷取少量資訊，建構重複訊號的畫面。等時取樣分成兩種：隨機等時取樣和順序等時取樣。

F

焦點 – 類比示波器控制功能，它調整陰極射線管 (CRT) 電子束，控制顯示的銳度。

頻率 – 訊號一秒鐘內重複的次數，用赫茲表示 (每秒週期數)。頻率 = 1/週期。

頻率響應 – 示波器的頻率響應軌跡決定著輸入訊號與訊號頻率相關的振幅代表的準確度。為獲得最大的訊號傳真度，示波器在整個指定示波器頻寬內應該擁有平坦 (穩定) 的頻率響應。

G

增益準確度 – 表示垂直系統衰減或放大訊號的準確度的指標，通常用百分比誤差表示。

千兆赫 (GHz) – 1,000,000,000 赫茲，一種頻率單位。

突波 – 電路中間歇性的高速錯誤。

格線 – 顯示畫面上用來量測示波器軌跡的格線。

接地 –

1. 一條傳導連接，電子電路或設備透過這個導體連接到接地上，建立和保持參考電壓位準。
2. 電路中的電壓參考點。

H

赫茲 (Hz) – 每秒一個週期，是頻率的單位。

水平準確度 (時基) – 表示水平系統顯示訊號時序的準確度，通常用百分比誤差表示。

水平掃描 – 導出畫出波形的水平系統操作。

I

亮度階層 – 發生頻率資訊，對瞭解波形實際狀況至關重要。

內插法 – 一種「將多個點連接起來」的處理技術，只根據少量取樣點估計快速波形形狀。其分成兩類：線性內插法和 $\sin x/x$ 內插法。

K

千赫茲 (kHz) – 1,000 赫茲，一種頻率單位。

L

負載 – 探棒和示波器與待測電路的非故意的交互作用，其會使訊號失真。

邏輯分析儀 – 用來觀察多個數位訊號邏輯狀態隨時間變化的儀器。它分析數位資料，可以作為即時軟體執行、資料串流量值、狀態順序、等等表示資料。

M

兆赫茲 (MHz) – 1,000,000 赫茲，一種頻率單位。

兆樣點/秒 (MS/s) – 一種取樣率單位，等於每秒 100 萬個樣點。

微秒 (μ s) – 一種時間單位，等於 0.000001 秒。

毫秒 (ms) – 一種時間單位，等於 0.001 秒。

混合域示波器 (MDO) – 一種數位示波器，將 RF 頻譜分析儀與 MSO 或 DPO 結合起來，能夠以相關方式觀察來自數位域、類比域和 RF 域的訊號。

混合訊號示波器 (MSO) – 將 16 通道邏輯分析儀基本功能與 4 通道數位螢光示波器倍受信賴的效能結合在一起的一種數位示波器。

N

納秒 (ns) – 一種時間單位，等於 0.000000001 秒。

雜訊 – 電路中不想要的電壓或電流。

O

示波器 – 用來查看電壓隨時間變化的儀器。示波器一詞源自英文單詞「oscillate」(振盪)，因為示波器通常用來量測振盪電壓。

P

峰值 (V_p) – 從零參考點量測的最大電壓位準。

峰值偵測 – 數位示波器提供的一種擷取模式，可以觀察其他方式可能會漏掉的訊號細節，特別適合查看時間上相距很遠的窄脈衝。

峰對峰值 (V_{p-p}) – 從訊號最大點到最低點量測的電壓。

週期 – 一個波完成一個週期所需的時間量。週期 = $1/\text{頻率}$ 。

相位 – 從週期開始到下一個週期開始經過的時間量，用度表示。

相位偏移 – 兩個相似的訊號之間的時間差。

預觸發觀察 – 數位示波器擷取觸發事件前訊號情況的能力。用來確定觸發點前和觸發點後可以看到的訊號的長度。

探棒 – 一種示波器輸入設備，通常有一個指向金屬尖端，用來與電路單元實現電氣接觸；一條引線，用來連接電路的接地參考源；一條軟電纜，用來傳送訊號；以及示波器接地。

脈衝 – 一種常見的波形形狀，擁有快速上升邊緣、寬度和快速下降邊緣。

脈衝串 – 一起傳送的多個脈衝的集合。

脈波寬度 – 脈衝從低到高、再從高到低所用的時間量，傳統上在全部電壓的 50% 處測得。

R

斜波 – 以恆定速率變化的正弦波電壓位準之間的轉態。

光柵 – 一種顯示器類型。

即時取樣 – 一種取樣模式。在這種模式下，示波器從觸發的一次擷取中收集盡可能多的樣點。其特別適合頻率範圍不到示波器最大取樣率一半的訊號。

記錄長度 – 用來建立訊號記錄的波形點數。

上升時間 – 脈衝前緣從低值上升到高值所需的時間，一般量測從 10% 上升到 90% 所需的時間。

S

取樣 – 將輸入訊號的一部分轉換成離散的電氣值，以便透過示波器進行儲存、處理和 (或) 顯示的過程。它分成兩類：即時取樣和等時取樣。

樣點 – 來自 ADC、用來計算波形點點的原始資料。

取樣率 – 指數位示波器獲得訊號樣點的頻率，單位為樣點/秒 (S/s)。

感測器 – 將某種物理量 (如聲音、壓力、應力或光亮度) 轉換成電訊號的設備。

訊號完整性 – 準確地重建訊號，這取決於示波器的系統和效能指標，以及擷取訊號使用的探棒。

信號源 – 用來將訊號注入電路輸入中的測試設備，然後透過示波器讀取電路輸出。也稱為訊號產生器。

正弦波 – 以數學方式定義的一種常用的軌跡波形。

單次 – 示波器量測的只發生一次的訊號 (也稱為暫態事件)。

單一掃描 – 一種觸發模式，顯示訊號在一個觸發後的螢幕，然後停止擷取。

斜率 – 圖表上或示波器顯示器上垂直距離與水平距離之比。正斜率從左到右提高，負斜率從左到右下降。

方波 – 由重複的方波形組成的一種常見波形。

掃描 – 電子束從左到右水平通過 CRT 螢幕。

掃描速度 – 同時基。

T

時基 – 控制掃描時序的示波器電路。時基由秒/格控制功能設定。

軌跡 – 電子束運動在 CRT 上畫出的看得見的形狀。

暫態訊號 – 示波器量測的只發生一次的訊號 (也稱為單次事件)。

觸發 – 示波器上參考水平掃描的電路。

觸發延遲 – 一種控制功能，可以調整有效觸發後的時間週期，在此期間，示波器不能觸發。

觸發位準 – 觸發電壓啟動掃描前，觸發源訊號必須達到的電壓位準。

觸發模式 – 在沒有偵測到觸發時決定示波器是否繪製波形的一種模式。常見的觸發模式有正常觸發和自動觸發兩種。

觸發斜率 – 在觸發電路啟動掃描前，觸發源訊號必須達到的斜率。

V

垂直解析度 (類比轉數位轉換器) – 表示數位示波器中的類比轉數位轉換器 (ADC) 將輸入電壓轉換成數位值的準確度，用位表示。許多計算技術 (如高解析度擷取模式) 可以改善有效解析度。

垂直靈敏度 – 表示垂直放大器放大弱訊號的程度，通常用每格毫伏 (mV) 表示。

伏特 – 表示電位差的單位。

電壓 – 兩點之間的電位差，用伏特表示。

W

波 – 隨時間推移重複的碼型的通用術語。常見類型包括：正弦波、方波、矩形波、鋸齒波、三角波、階梯波、脈衝、週期波、非週期波、同步波、非同步。

波形 – 用圖形表示隨時間變化的電壓。

波形擷取速率 – 指示波器擷取波形的速度，用每秒波形數 (wfms/s) 表示。

波形點 – 表示訊號在特定時點的電壓的數位值。波形點從樣點中計算得出，儲存在記憶體中。

寫入速度 – 提供訊號從一個點到另一個點移動的可視軌跡能力。這種能力對擁有快速移動細節的低重複率訊號是有限制的，如數位邏輯訊號。

XY 模式 – 一種量測技術，這種技術將一個訊號以正常方式輸入到垂直系統中，將一個訊號輸入到水平系統中，同時在 X 軸和 Y 軸上追蹤電壓。

Z

Z 軸 – 示波器上的顯示屬性，在軌跡形成時顯示亮度變化。

Tektronix 聯絡方式：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900
奧地利* 00800 2255 4835
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777
比利時* 00800 2255 4835
巴西 +55 (11) 3759 7627
加拿大 1 (800) 833 9200
中東歐、烏克蘭及波羅的海諸國 +41 52 675 3777
中歐與希臘 +41 52 675 3777
丹麥 +45 80 88 1401
芬蘭 +41 52 675 3777
法國* 00800 2255 4835
德國* 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
印度 000 800 650 1835
義大利* 00800 2255 4835
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
墨西哥、中/南美洲與加樂比海諸國 52 (55) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777
荷蘭* 00800 2255 4835
挪威 800 16098
中國 400 820 5835
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
南韓 001 800 8255 2835
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
南非 +27 11 206 8360
西班牙* 00800 2255 4835
瑞典* 00800 2255 4835
瑞士* 00800 2255 4835
台灣 886 (2) 2656-6688
英國與愛爾蘭*00800 2255 4835
美國 1 800 833 9200

* 歐洲免付費電話，若沒接通，請撥：+41 52 675 3777

最後更新日期 2013 年 6 月

若需進一步資訊，Tektronix 維護完善的一套應用指南、技術簡介和其他資源，
並不斷擴大，幫助工程師處理尖端技術。請造訪 www.tektronix.com.tw



Copyright © Tektronix, Inc. 版權所有。Tektronix 產品受到已經簽發及正在申請的美國和國外專利的保護。本文中的資訊代替以前出版的所有資料。技術規格和價格如有變更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc 的註冊商標。本文提到的所有其他商標均為各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

2016 年 1 月

03T-8605-7

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 台北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-8558

太克網站：www.tektronix.com.tw

Tektronix[®]