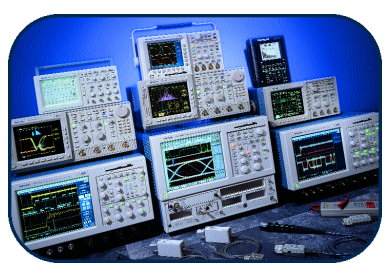


示波器基本原理

XYZs of Oscilloscopes



目錄

介紹.....	2	規格術語與特性.....	21
訊號完整性.....	3	頻寬.....	21
訊號完整性的重要性		上升時間.....	22
為何訊號完整性造成您的困擾？		取樣率.....	23
檢視數位訊號中的類比根源		波形更新率.....	24
示波器.....	4	記憶體長度.....	24
認識波形與波形量測.....	5	操作示波器.....	25
波的類型.....	6	探棒補償.....	25
正弦波		示波器量測技術.....	26
方波和矩形波		電壓量測	
鋸齒波和三角波		時間與頻率量測	
步進和脈波		脈波寬度與上升時間量測	
週期性和非週期性訊號		相位偏移量測	
同步和非同步訊號		其他量測技術	
複雜波		書面練習.....	29
波形量測.....	8	專有名詞詞彙表.....	34
頻率與週期			
電壓			
振幅			
相位			
使用數位示波器量測波形			
示波器的類型.....	10		
類比示波器.....	10		
數位示波器.....	11		
數位儲存示波器			
數位螢光示波器			
數位取樣示波器			
完整量測系統.....	17		
探棒.....	17		
被動式探棒.....	18		
主動式和差動探棒.....	19		
探棒配件.....	20		

介紹

自然界的運行皆是以正弦波的形式移動，可能是海浪、地震、音爆、爆炸、透過空氣傳遞的聲音或物體運動的自然頻率。我們的宇宙遍佈能量、震動的粒子及其他看不見的力量。甚至光線（部分粒子、部分光波）都有基本的頻率，可以從其顏色觀察。

感應器可以將這些力轉換成電氣訊號。利用示波器就可以觀察及研究這些訊號。示波器可讓科學家、工程師、技術人員、教育人員和其他人「看到」隨著時間變化的事件。

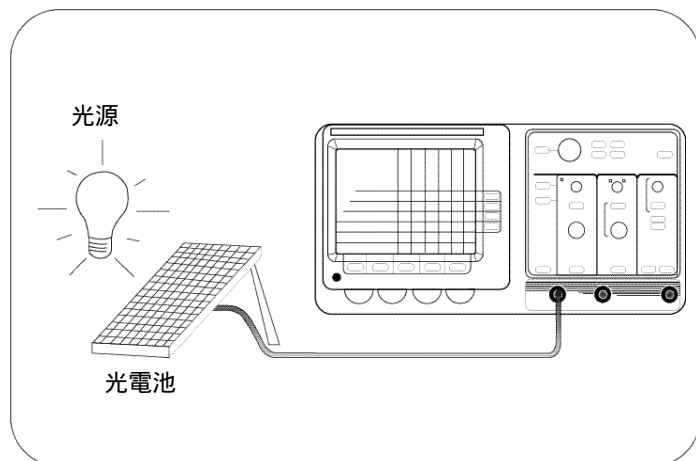
示波器是設計、製造或修護電子設備的人不可或缺的工具。在快步調的現代社會，工程師需要最佳的工具來迅速準確地解決量測挑戰。示波器有如工程師的雙眼，是克服今日嚴苛量測挑戰的關鍵。

示波器的用處不只侷限於電子世界。只要配合適當的轉換器，示波器可以量測所有的現象。轉換器是一種裝置，可以反應聲音、機械壓力、壓力、光或熱等物理刺激，產生電氣訊號。例如，麥克風是將聲音轉換為電氣訊號的轉換器。圖 1 顯示的是示波器能夠蒐集的科學資料之範例。

從物理學家到電視修理技術人員，每個人都在使用示波器。汽車工程師使用示波器量測引擎震動。醫學研究人員使用示波器量測腦波。它有無限的可能性。

這本初級教本呈現的觀念將提供認識示波器基礎和作業的一個很好的起點。

書後的術語彙編提供一些您較不熟悉的術語定義。這些術語彙編與多選題練習讓本書很適合做為（示波器理論及控制）教學輔助教材。您不需具備數學或電子學的知識。



► 圖 1. 使用示波器蒐集科學資料的範例。

讀完「示波器基本原理」單元後，您將可以：

- 敘述示波器如何動作
- 敘述類比、數位儲存、數位螢光及數位取樣示波器之間的差異
- 敘述電氣波形的類型
- 認識基本的示波器控制
- 進行簡單的量測

示波器所附的手冊會提供您在工作中使用示波器的更詳細資訊。有些示波器製造商也會提供許多應用摘要，協助您針對應用特定量測將示波器最佳化。

如果您需要更多的協助，或者對本教材的內容有任何意見或問題，請連絡太克科技業務代表，或瀏覽 www.tektronix.com.tw。

訊號完整性

訊號完整性的重要性

任何良好示波器系統的關鍵在於其準確重建波形的能力 – 稱為訊號完整性。示波器就像一部相機，會擷取訊號影像，再由我們觀察和解譯。訊號完整性的重點有三個。

- ▶ 您擷取的圖像是否為真正發生之事件的準確圖像？
- ▶ 圖像清晰或模糊？
- ▶ 每秒可以擷取多少這種準確的圖像？

示波器的不同系統和性能功能合在一起，構成其提供可能的最高訊號完整性之能力。探棒也會影響量測系統的訊號完整性。

訊號完整性會影響到許多電子設計的原則。不過就在幾年前，這對數位設計師而言還不是什麼大問題。設計師可以依賴邏輯設計負責布林電路應有的作用。間歇雜訊在高速設計中才會發生，這是 RF 設計師要操心的事。數位系統切換速度很慢，訊號完全在預期的穩定狀態。

但是往後處理器時脈速率幾乎開始呈倍數增加。3D 繪圖、視訊及伺服器 I/O 等電腦應用程式需要大量的頻寬。現在大多數電信設備都採用數位設計，同樣也需要大量的頻寬。數位高畫質電視的情形也一樣。目前的微處理族群以高達 2、3 甚至 5 GS/s (每秒幾十億個取樣) 的速率處理資料，而有些記憶體裝置使用 400-MHz 時脈和上升時間 200-ps 的資料訊號。

重要的是，速度的增加已經擴散到汽車、錄放影機及機械控制器 (這些只是其中幾種應用) 等一般 IC 裝置。以 20-MHz 時脈速率執行的處理器，其訊號的上升時間可能和 800-MHz 處理器的上升時間相近。設計師已經跨過一個性能門檻，事實上現在幾乎所有的設計都是高速設計。

如果沒有一些預防措施，高速問題可能蔓延到原本屬於傳統的數位設計。如果電路遇到間歇性的故障，或者在極端電壓與溫度下發生錯誤，很可能就是有隱藏的訊號完整性問題。這些都可能影響上市時程、產品可靠性、EMI 相容性等等。

為何訊號完整性造成您的困擾？

我們來看看今日數位設計中訊號變差的一些特定原因。為什麼現在這些問題比前幾年普遍呢？

答案是速度。在「慢速的過去」裡，要維護可接受的數位訊號完整性只要注意時脈分佈、訊號路徑設計、雜訊邊緣限值、負載效應、傳輸線路效應、匯流排終端、解耦合和電源分佈。現在這些規則仍然適用，只不過

匯流排週期時間比 20 年前快了幾千倍！以往以微秒量測的異動，現在必須以奈秒來量測。為了達到此一改進，邊緣速度也必須加快：其速度比二十年前快 100 倍。

這些都是好現象，但是，一些物理現實使得電路板的技術無法跟上此一腳步。幾十年來，晶片間匯流排的傳輸時間幾乎一直保持不變。當然，結構已經縮小，不過，還是必須提供電路板的空間給 IC 裝置接頭、被動元件及匯流排路徑本身使用。這些空間增加了距離，而距離就代表時間，也是速度的敵人。

特別要記住，數位訊號的邊緣速度 (上升時間) 之頻率成份遠高於其外在的重複速率。因此，有些設計師謹慎地尋找上升時間相對較慢的 IC 裝置。

整體電路模型化一直是用於預測電路中訊號行為之大多數計算的基礎。不過當邊緣速度比訊號路徑延遲快四至六倍時，簡單的整體電路模型化就不適用了。

不論週期速率為何，如果以邊緣速率低於四至六奈秒的訊號推動，短短六英吋的電路板路徑也會變成傳輸線路。事實上，會建立新的訊號路徑。這些無形的連接並不在預期中，但是仍會提供訊號以意外方式相互影響的方法。

同時，設計中的訊號路徑則不會以應有的方法動作。接地面和電源面也和上述的訊號路徑一樣，會產生感應並如同傳輸線一般動作，電源解耦合的效用並不大。邊緣速度產生較短的波長（與匯流排長度相比），EMI 也隨著上升，串擾也會增加。

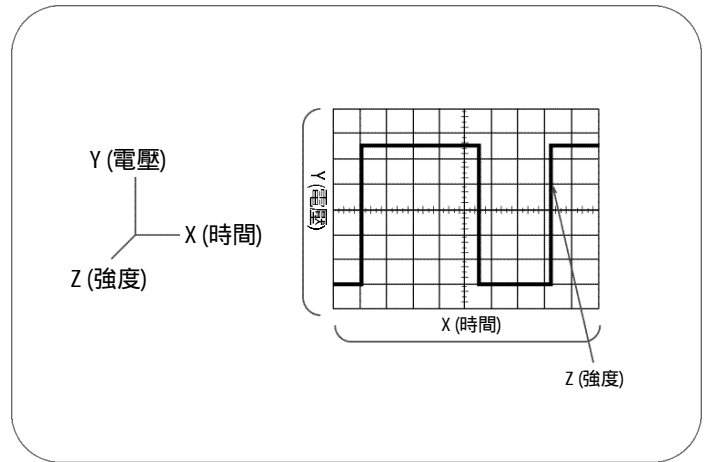
此外，快速的邊緣速度通常也需要較高的電流來產生。較高的電流很容易造成接地雜訊 (Ground Bounce)，尤其是在同時切換許多訊號的寬廣匯流排。而且，較高的電流也會增加輻射磁能量和其中的串擾。

檢視數位訊號中的類比根源

這些特性的共同點何在？這些都是典型的類比現象。數位設計師若要解決訊號完整性的問題，必須進入類比的領域。要跨出這一步，他們需要能夠顯示數位與類比訊號互動的工具。

數位錯誤的根源通常在於類比訊號完整性的問題。為了找出數位故障的原因，往往必須借助示波器。示波器可以顯示波形詳細資料、邊緣與雜訊；可以偵測及顯示暫態訊號；也可以協助您準確地量測設定與保持時間等時序關係。

認識示波器中每一個系統以及如何運用，將可有效地應用示波器面對特定量測的挑戰。



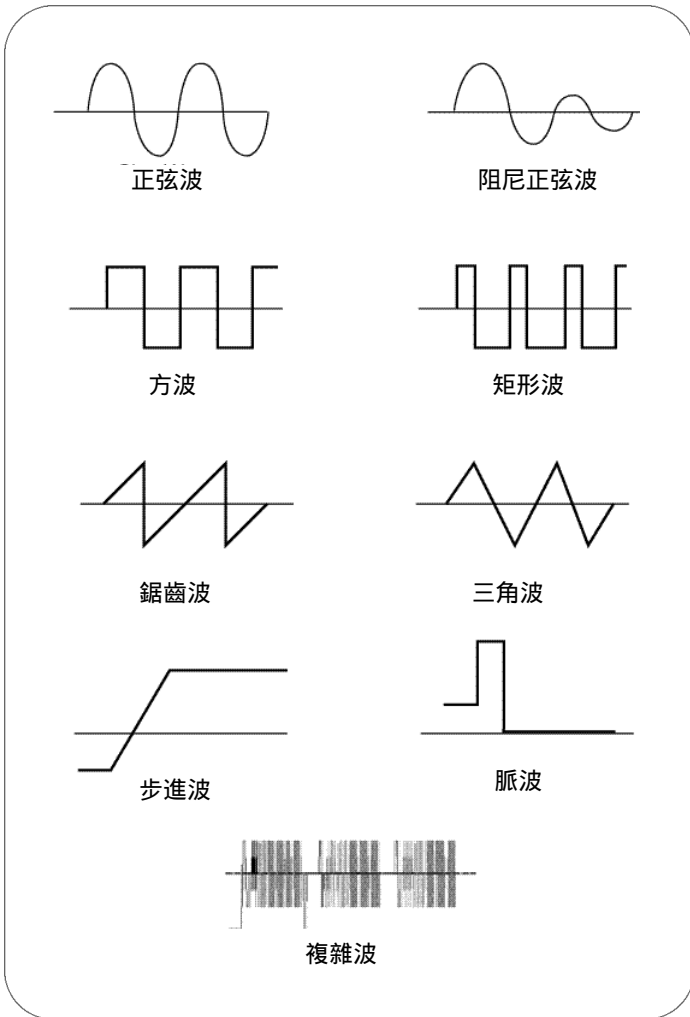
► 圖 2. 顯示波形的 X、Y 及 Z 分量。

示波器

示波器基本上是一種圖形顯示裝置，會描繪電氣訊號的圖形。大多數應用中，圖形會顯示訊號隨時間變化的情形：垂直 (Y) 軸代表電壓、水平 (X) 軸代表時間。顯示器的強度或亮度有時稱為 Z 軸（請參閱圖 2）。

這個範例圖形可告訴您訊號的許多事情，例如：

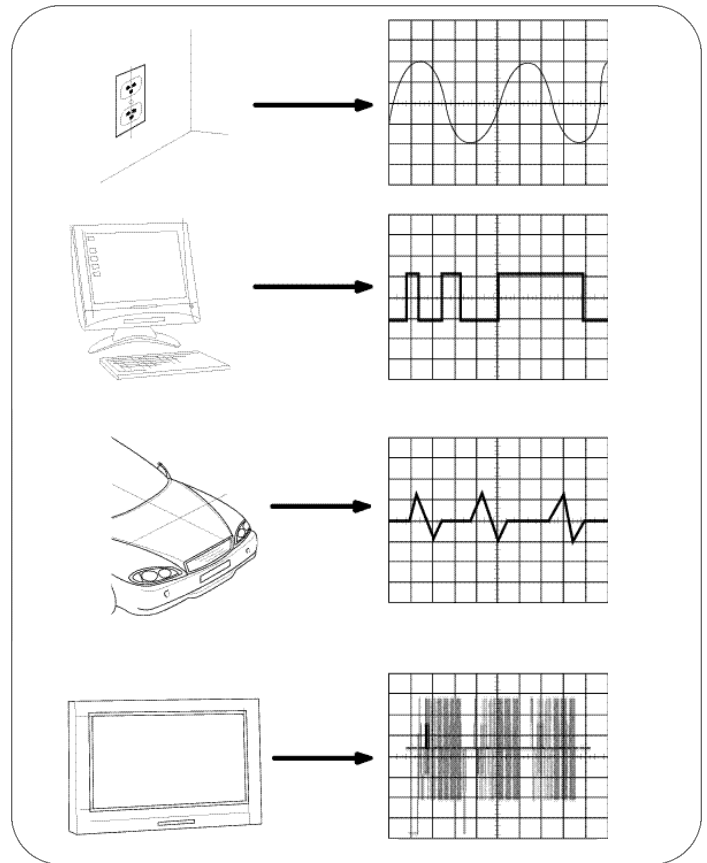
- 訊號的時間和電壓值
- 振盪訊號的頻率
- 訊號所代表的電路「移動部分」
- 訊號中特定部分與其他部分相對的發生頻率
- 故障分量是否造成訊號失真
- 訊號中有多少是直流 (DC) 或交流 (AC)
- 訊號中有多少是雜訊，以及雜訊是否隨時間變化



► 圖 3. 常見波形。

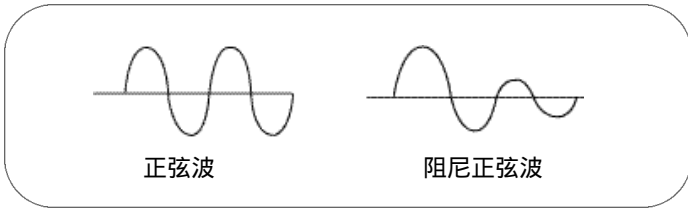
認識波形與波形量測

隨著時間重複的一般形式稱為波 - 聲波、腦波、海浪及電壓波都是重複的形式。示波器會量測電壓波。波的一個週期是重複波的一部分。波形是波的圖形表示。電壓波在水平軸顯示時間，在垂直軸顯示電壓。

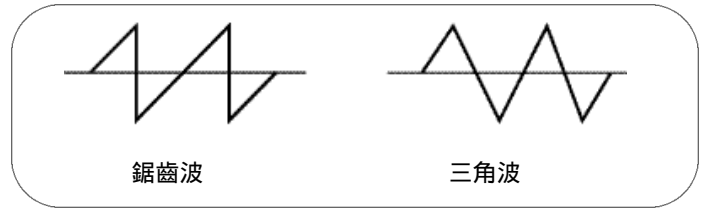


► 圖 4. 常見波形的訊號源。

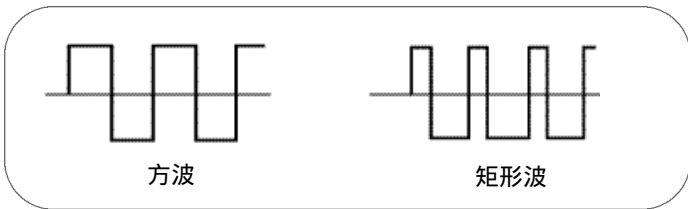
波形會透露出訊號的許多資料。任何時候只要看到波形高度變化，就知道電壓有所變化。任何時候如果呈現一條水平直線，您就知道該段時間內沒有變化。對角直線表示線性變化 - 電壓以穩定的速率上升或下降。波形上的銳角表示快速變化。圖 3 顯示常見波形，圖 4 則顯示常見波形的訊號源。



► 圖 5. 正弦波和阻尼正弦波。



► 圖 7. 鋸齒波和三角波。



► 圖 6. 方波和矩形波。

波的類型

您可以將大多數的波分成這幾類：

- 正弦波
- 方波和矩形波
- 三角波和鋸齒波
- 步進和脈波
- 週期性和非週期性訊號
- 同步和非同步訊號
- 複雜波

正弦波

正弦波是基本波形，原因有許多。它具有諧波的數學性質 – 它和您在高中三角函數課裡學到的正弦形狀相同。家裡插座中的電壓就是呈正弦波變化。訊號產生器的振盪電路產生之訊號通常都是正弦波。大多數 AC 電源都是產生正弦波 (AC 表示交流電源，不過電壓也會交流。DC 代表直流，也就是穩定的電流和電壓，例如電池所產生者)。

阻尼正弦波是您可能在振盪電路中看到的特殊情況，會隨著時間逐漸變弱。圖 5 所示是正弦和阻尼正弦波的範例。

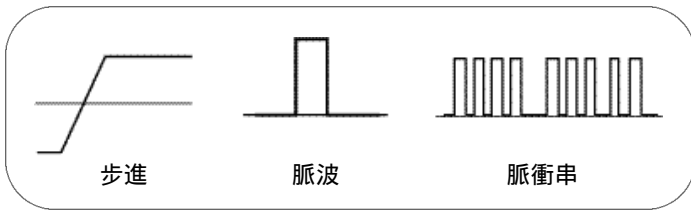
方波和矩形波

方波是另一種常見的波形。基本上，方波是以固定間隔時間開啟和關閉的電壓所形成 (或變成高態和低態)。這是一般測試放大器特性的標準波 – 好的放大器會放大正弦波的振幅，同時保持最小的失真。電視、收音機及電腦電路通常使用方波做為時序訊號。

矩形波類似方波，差別在於高態和低態時間間隔的長度並不相等。這在分析數位電路時特別重要。圖 6 所示是方波和矩形波的範例。

鋸齒波和三角波

鋸齒波和三角波是設計來線性控制電壓的電路所產生，例如類比示波器的水平掃描或電視的光柵掃描。這些波的電壓位準之間的轉態會以固定速率變化。這些轉態稱為斜坡。圖 7 所示是鋸齒波和三角波的範例。



► 圖 8. 步進、脈波及脈衝串的形狀。

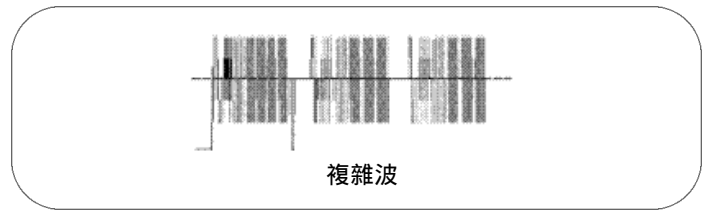
步進和脈波

步進和脈波訊號很少發生或非週期性的發生，稱為單擊或暫態訊號。步進表示電壓忽然變化，類似於打開電源開關時可能看到的電壓變化。

脈波表示電壓忽然變化，類似您打開電源開關又關閉時可能看到的電壓。脈波可能代表在電腦電路中傳送之一個位元的資訊，也可能是電路中的突波或錯誤。一組脈波一起傳送會產生脈衝串。電腦中的數位元件使用脈波相互通訊。脈波在 X 光和通訊設備中也很常見。圖 8 所示是步進、脈波和脈衝串的範例。

週期性和非週期性訊號

重複的訊號稱為週期性訊號，而一直變化的訊號則稱為非週期性訊號。靜止圖像類似週期性訊號，電影圖像則類似非週期性訊號。



► 圖 9. NTSC 複合視訊訊號是複雜波的例子。

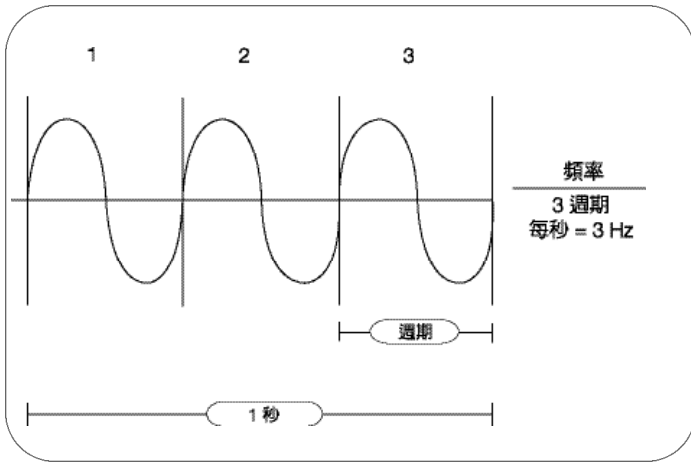
同步和非同步訊號

兩個訊號之間有時序關係存在時，稱為同步。電腦中的時脈、資料和位址訊號都是同步訊號的例子。

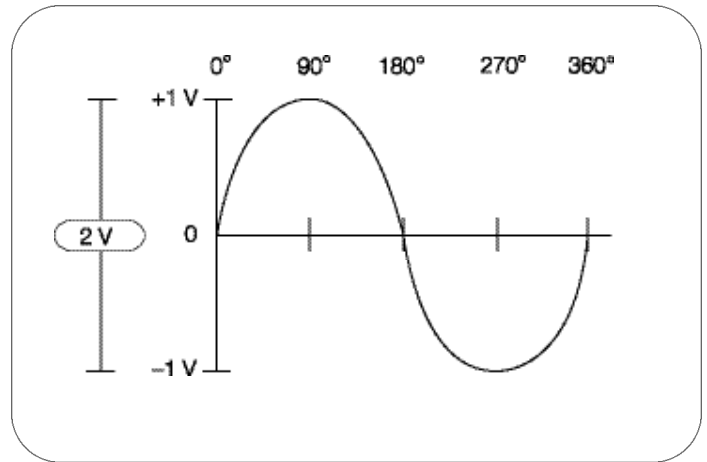
非同步表示訊號間沒有時序關係存在。由於按下電腦鍵盤和電腦內部的時脈之間沒有時間關聯，因此這些訊號都視為非同步。

複雜波

有些波形結合了正弦波、方波、步進波及脈波的特性，產生出挑戰許多示波器的波形。訊號資訊可能以振幅、相位和 (或) 頻率變動的形式嵌入。例如，圖 9 中的訊號雖然是普通的複合視訊訊號，但是低頻波包中嵌入了許多高頻波形週期。在此例中，最重要的通常是瞭解各步進波之間的相對位準和時序關係。若要檢視此一訊號，您需要一部能夠利用亮度層次擷取低頻封包和混合高頻波形的示波器，才能看到能夠目視解譯之影像整體組合。類比和數位螢光示波器最適合檢視複雜波，例如圖 9 所示的視訊訊號。其顯示器提供必要的發生頻率資訊 (或亮度層次)，這是認識波形實際工作內容所必須的。



► 圖 10. 正弦波的頻率和週期。



► 圖 11. 正弦波的振幅和角度。

波形量測

描述使用示波器執行之量測類型會用到許多術語。這一節會說明一些最常見的量測和術語。

頻率與週期

訊號若是重複，就會有頻率。頻率以赫茲 (Hz) 量測，等於訊號在一秒內重複的次數，稱為每秒週期。重複的訊號也有週期 – 就是訊號完成一個循環所花的時間。

週期和頻率互為倒數，因此 $1/\text{週期}$ 等於頻率、 $1/\text{頻率}$ 等於週期。例如，圖 10 中正弦

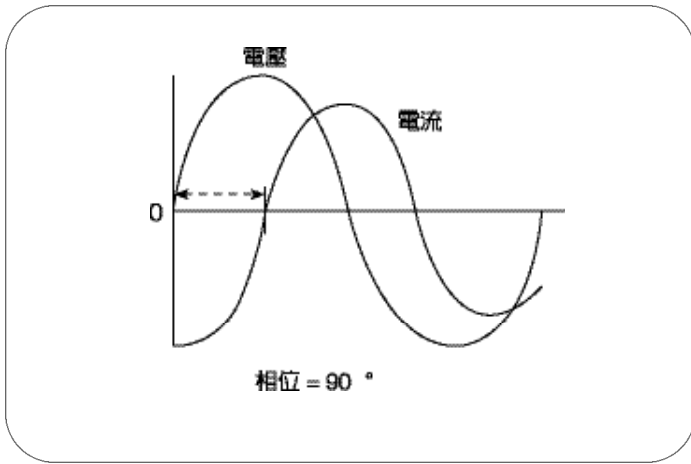
波的頻率是 3 Hz，週期是 $1/3$ 秒。

電壓

電壓是電路中兩點之間的電位 (或訊號強度) 量。其中一點通常是接地或零伏特，不過並非必然。您可能想要量測波形最大波峰至最小波峰的電壓，稱為峰對峰電壓。

振幅

振幅是電路中兩點之間的電壓量。振幅通常指的是從接地 (或零伏特) 量測之訊號的最大電壓。圖 11 中所示的波形振幅是 1 V，峰對峰電壓是 2 V。



▶ 圖 12. 相位偏移。

相位

正弦波最適合說明相位。正弦波的電壓位準以圓形運動為基礎。已知一個圓有 360° ，正弦波的一個循環也是 360° ，如圖 11 所示。如果您要描述經過的週期長度，可以使用度來參照正弦波的相位角度。

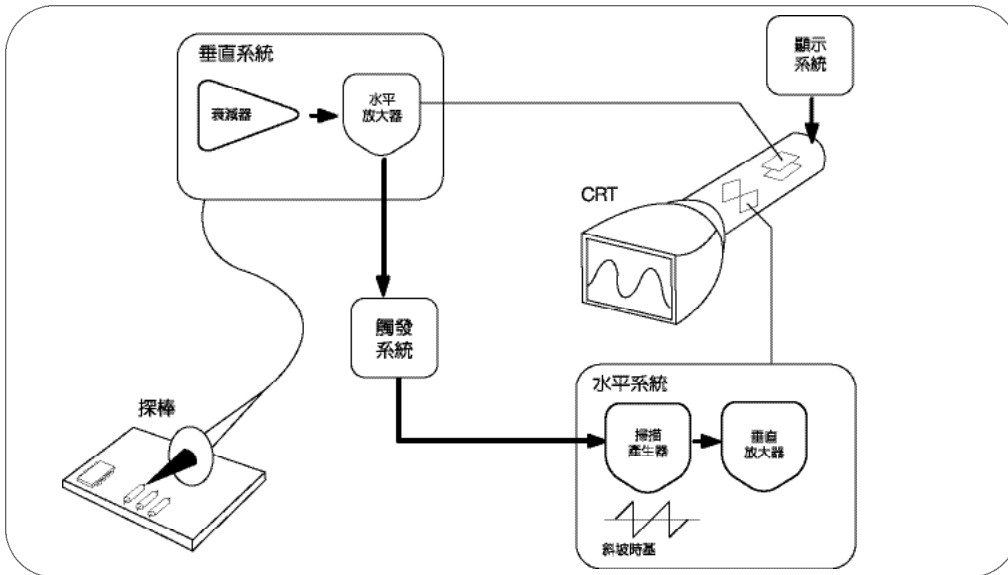
相位偏移可描述兩個看起來相同之訊號之間的時序差。圖 12 中標示「電流」的波形與標示「電壓」的波形有 90° 的相位差，因為兩個波形在達到其週期中相同各點時正好相差 $1/4$ 個週期 ($360^\circ / 4 = 90^\circ$)。相位偏移是電子裝置中很常見的現象。

使用數位示波器量測波形

現代數位示波器的功能使得波形量測更為容易。它們擁有面板按鍵和 (或) 螢幕式功能表，可讓您選取全自動量測，包括振幅、週期、上升/下降時間等等。許多數位示波器還提供平均和 RMS 計算、工作週期及其他數學運算。自動化量測會顯示為螢幕字母與數字讀數。這些讀數通常比方格直接解讀更為準確。

某些數位螢光示波器上可用的全自動波形量測包括：

- | | | |
|------------------|----------|----------|
| ▶ 週期 | ▶ 工作週期 + | ▶ 高 |
| ▶ 頻率 | ▶ 工作週期 - | ▶ 低 |
| ▶ 寬度 + | ▶ 延遲 | ▶ 最小值 |
| ▶ 寬度 - | ▶ 相位 | ▶ 最大值 |
| ▶ 上升時間 | ▶ 脈波 寬度 | ▶ 過激 + |
| ▶ 下降時間 | ▶ 峰對峰 | ▶ 過激 - |
| ▶ 振幅 | ▶ 平均值 | ▶ RMS |
| ▶ 衰減速率 | ▶ 週期平均值 | ▶ 週期 RMS |
| Extinction Ratio | | |
| ▶ 平均光功率 | ▶ 週期區域 | |



► 圖 13. 類比示波器的架構。

示波器的類型

電子設備可以分成兩大類：類比和數位。類比設備處理連續可變的電壓，而數位設備則使用代表電壓取樣的不連續二進位數字。傳統的唱機是類比裝置，CD 唱機則是數位裝置。

示波器同樣可以分成類比和數位兩大類。許多應用使用類比或數位示波器都可以。不過，每一種都有其獨特的特性，多少會較適合某種特定的應用。數位示波器可以再細分為數位儲存示波器 (DSO)、數位螢光示波器 (DPO) 及取樣示波器。

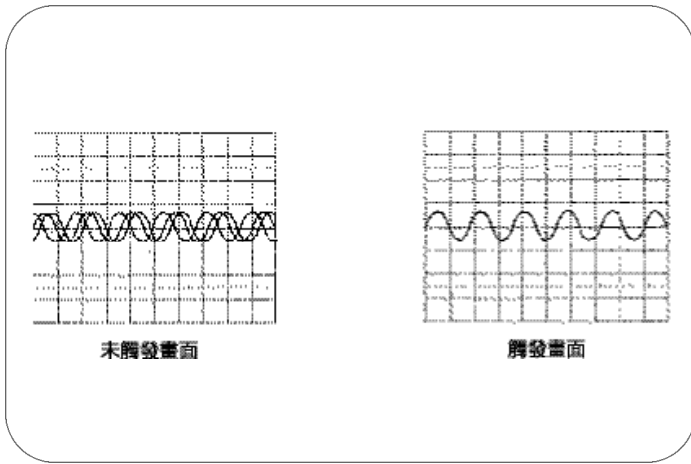
類比示波器

基本上，類比示波器會直接將量測的訊號電壓轉換至電子束。電子束由左至右在示波器螢幕（通常是陰極射線管 (CRT)）上移動。螢幕背面使用磷質發光體處理，只要被電子束擊中就會發光。電子束在顯示器上水平移動時，訊號電壓會使電子束依比例上下偏斜，在螢幕上描繪出波形。電子束擊中特定螢幕位置的次數愈頻繁，發的光愈亮。

CRT 限制了類比示波器能夠顯示的頻率範圍。在極低的頻率下，訊號會顯示為緩慢移動的亮點，很難分辨出它是個波形。而在高頻下，CRT 的描繪速度決定了其限制。訊號頻率超出 CRT 的描繪速度時，顯示器會變得很暗，看不清楚。最快的類比示波器可以顯示最高約 1 GHz 的頻率。

您連接示波器探棒至電路時，電壓訊號會透過探棒傳送至示波器的垂直系統。圖 13 說明了類比示波器顯示量測訊號的方式。根據您設定的垂直刻度（伏/格控制器），衰減器會衰減訊號電壓，放大器則會增加訊號電壓。

接著，訊號直接傳送至 CRT 的垂直偏向板。電壓加到這些偏向板上，造成亮點在螢幕上移動。亮點由擊中 CRT 內部磷質發光體的電子束產生。正電壓會使點向上移，而負電壓則使點往下移。



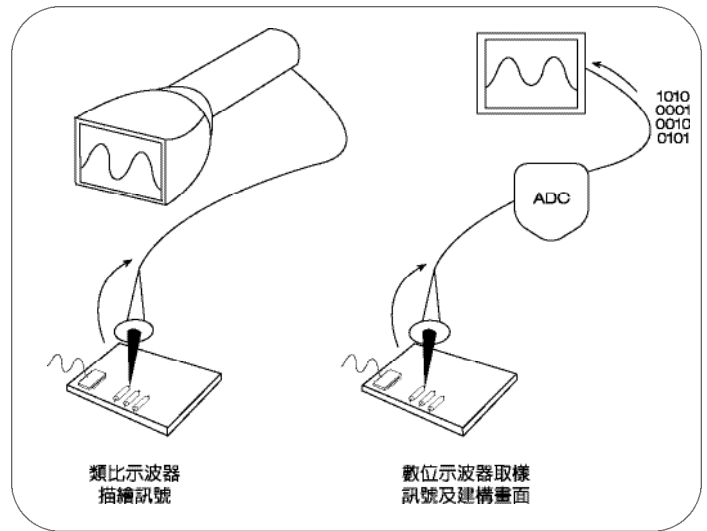
► 圖 14. 觸發穩定重複波形，建立清晰的訊號圖像。

訊號也會傳送至觸發系統以啟動（或觸發）水平掃描。水平掃描指的是水平系統的動作，會造成光點在螢幕上移動。觸發水平系統會使水平時基以特定的時間間隔，由左至右在螢幕上移動光點。一連串快速掃描使光點的運動混合成一條實線。速度較高時，光點每秒可以在螢幕上掃描多達 500,000 次。

水平掃描動作和垂直偏移動作一起，在螢幕上描繪出訊號圖形。一定要有觸發來穩定重複的訊號 – 它可確保掃描在重複訊號的同一點開始，產生如圖 14 所示的清晰圖像。

此外，類比示波器有聚焦和亮度控制，可以藉由調整產生鮮明清楚的畫面。

如果一定要「即時」（或忠實地）顯示快速變化的訊號，大家偏好使用類比示波器。類比示波器的磷質顯示器有一種特性，稱為亮度層次，會使較常發生的訊號呈現較亮的軌跡。只要檢查軌跡的亮度層次，很容易辨識訊號的詳細資料。



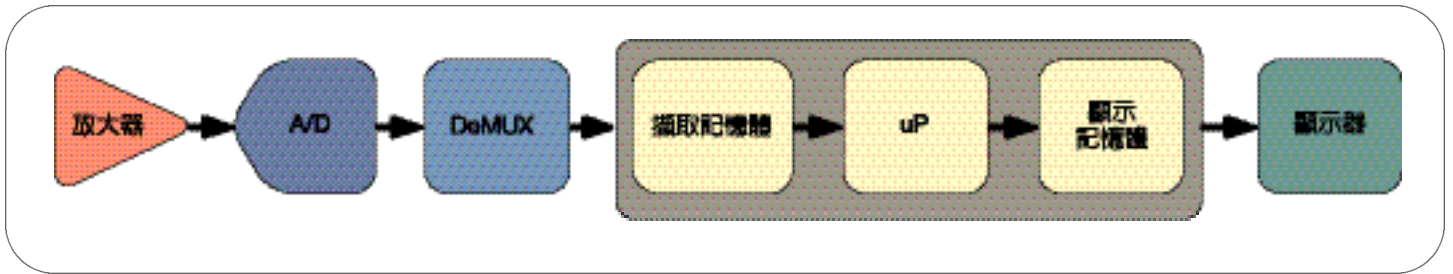
► 圖 15. 類比示波器描繪訊號，而數位示波器會取樣訊號及建構畫面。

數位示波器

與類比示波器相比，數位示波器使用一個類比至數位轉換器 (ADC) 將量測的電壓轉換為數位資訊。它會以一連串的取樣來擷取波形，將這些取樣點儲存起來，直到累積足夠的取樣點以描繪波形為止。然後數位示波器再重新組合波形，在螢幕上顯示 (請參閱圖 15)。

數位示波器可以分類為數位儲存示波器 (DSO)、數位螢光示波器 (DPO) 及取樣示波器。

數位化代表示波器能夠穩定、明亮及清晰地顯示其頻率範圍內的任何頻率。對於重複訊號，數位示波器的頻寬是示波器前端元件之類比頻寬的函數，通常稱為 3dB 點。若是單擊和暫態事件（例如脈波和步進），頻寬則受到示波器取樣率的限制。詳細討論請參考（性能條件與考量）底下的（取樣率）一節。



► 圖 16. 數位儲存示波器 (DSO) 的連續處理架構。

數位儲存示波器

傳統的數位示波器稱為數位儲存示波器 (DSO)。它的顯示器通常依賴光柵式螢幕，而非磷質螢幕。

數位儲存示波器 (DSO) 可讓您擷取及檢視可能只發生一次的事件，稱為暫態訊號。由於數位形式的波形資訊是一連串儲存起來的二進位值，因此可以在示波器本身或由外部電腦分析、儲存、列印及另行處理。波形不一定要連續，即使訊號消失後一樣可以顯示。不同於類比示波器，數位儲存示波器提供永久的訊號儲存與大量的波形處理。但是，DSO 通常沒有即時亮度層次顯示，因此，無法表現即時訊號的亮度層次變化情形。

有些由 DSO 組成的子系統類似於類比示波器的子系統。不過，DSO 包含額外的資料處理子系統，用於收集及顯示整個波形的資料。DSO 採用連續處理架構擷取及在螢幕上顯示訊號，如圖 16 所示。以下是這種連續處理架構的說明。

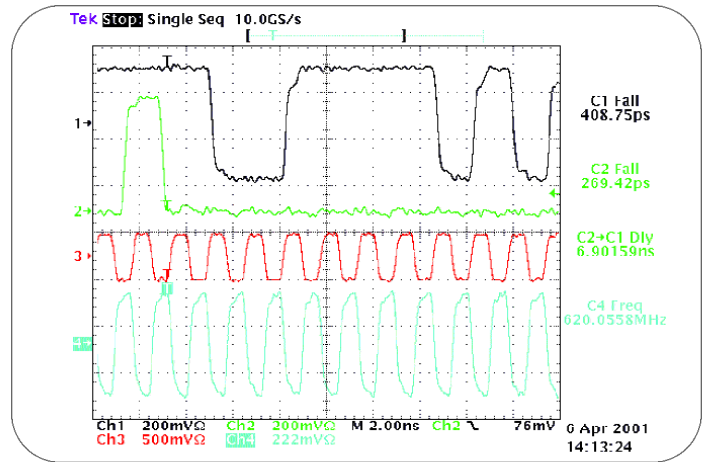
連續處理架構

DSO 也和類比示波器一樣，第一級 (輸入級) 是垂直放大器。垂直控制器可讓您在此級調整振幅和位置範圍。

接著，水平系統中的類比至數位轉換器 (ADC) 會在分離的時間點取樣訊號，並將這些點的訊號電壓轉換為數位值，稱為取樣點。此一程序稱為訊號的數位化。水平系統的取樣時脈決定了 ADC 取樣的頻率。這個速率稱為取樣率，以每秒取樣數 (S/s) 表示。

ADC 輸出的取樣點會當成波形點儲存在擷取記憶體中。許多取樣點可以構成一個波形點。這些波形點一起構成一個波形記錄。用於建立波形記錄的波形點數目稱為記錄長度。觸發系統決定了記錄的開始和停止點。

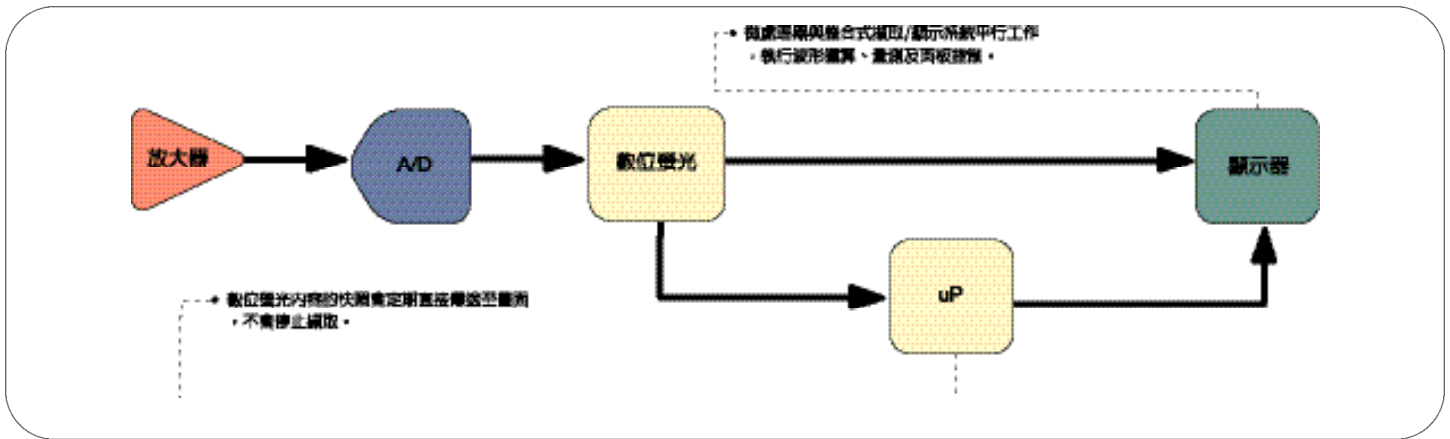
DSO 的訊號路徑包含一個微處理器，量測訊號會經過這個微處理器傳遞至顯示器。微處理器會處理訊號、協調顯示器活動、管理面板控制器等等。訊號接著會經過顯示記憶體傳遞，在示波器螢幕上顯示。



► 圖 17. TDS694C 提供多個通道的高速單擊擷取，增加擷取捉摸不定的突波和暫態事件的可能性。

根據您示波器的功能，也可能對取樣點進行更多處理以加強顯示畫面。也可以使用預先觸發，讓您看到觸發點之前的事件。今天大部分數位示波器也提供許多自動化參數量測，簡化了量測程序。

DSO 提供單擊多通道儀器的高性能（請參閱圖 17）。DSO 很適合低重複率或單擊、高速、多通道設計應用。在實際的數位設計領域中，工程師通常會同時檢查四個以上的訊號，因此 DSO 是必備的良伴。



► 圖 18. 數位螢光示波器 (DPO) 的平行處理架構。

數位螢光示波器

數位螢光示波器 (DPO) 是提供示波器架構的新方法。這個架構可讓 DPO 提供獨特的擷取和顯示功能，準確地重建訊號。

DSO 使用連續處理架構擷取、顯示及分析訊號，而 DPO 則使用平行處理架構執行這些功能，如圖 18 所示。DPO 架構使用獨特的 ASIC 硬體專門擷取波形影像，提供產生更高層次訊號視覺化的高速波形擷取速率。此一性能提高發覺數位系統中暫態事件 (例如矮化脈波、突波及轉態錯誤) 的可能性。以下是這種平行處理架構的說明。

平行處理架構

DPO 的第一級 (輸入級) 和類比示波器一樣，也是垂直放大器，第二級也和 DSO 一樣，是 ADC。但是，DPO 在類比至數位轉換之後，就與前一代大不相同。

任何示波器 – 不論是類比、DSO 或 DPO – 都會有一個延遲時間，利用這段時間處理最近擷取的資料、重設系統及等候下一個觸發事件。示波器在這段時間內無法察覺任何的訊號活動。延遲時間愈長，檢視罕見或低重複性事件的可能性就愈低。

請注意，只檢視畫面更新率並不能判定擷取的可能性。如果您只是依賴更新率，很容易誤信示波器擷取到所有相關的資訊，但是事實上並非如此。

數位儲存示波器會連續處理擷取到的波形。其微處理器的速度限制了波形擷取速率，是整個過程的瓶頸。

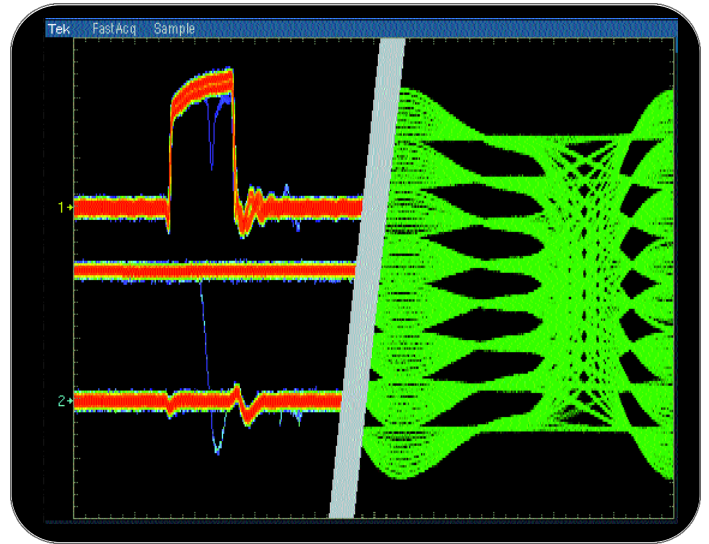
DPO 將數位化波形資料掃描到數位螢光資料庫中。每 1/30 秒 (大概是人眼能夠察覺到的速度)，有一個儲存在資料庫中的訊號影像快照會直接匯流至顯示系統。這種波形資料直接掃描，以及直接從資料庫複製到顯示記憶體，消除了其他架構固有的資料處理瓶頸。因此能夠產生加強的「即時顯示」和即時畫面更新。訊號的詳細資料、間歇性事件及動態特性全都能夠即時擷取。DPO 的微處理器和整合式擷取系統平行動作，執行顯示管理、量測自動化及儀器控制，因此不會影響示波器的擷取速度。

DPO 忠實地模擬類比示波器的最佳顯示屬性，顯示下列三個維度的訊號：時間、振幅及隨時間分佈的振幅，全部都是即時顯示。

不同於類比示波器必須依賴磷質發光體，DPO 使用純電子的數位螢光，實際上是一個連續更新的資料庫。這個資料庫為示波器畫面上每一個單一像素準備了一個資訊「儲存格」。每次擷取波形時（也就是示波器每次觸發時），波形就會對應至數位螢光資料庫的儲存格。代表一個螢幕位置並由波形觸動的每個儲存格會以亮度資訊加強，其他儲存格則不會。因此，波形最常經過的儲存格中會累積亮度資訊。

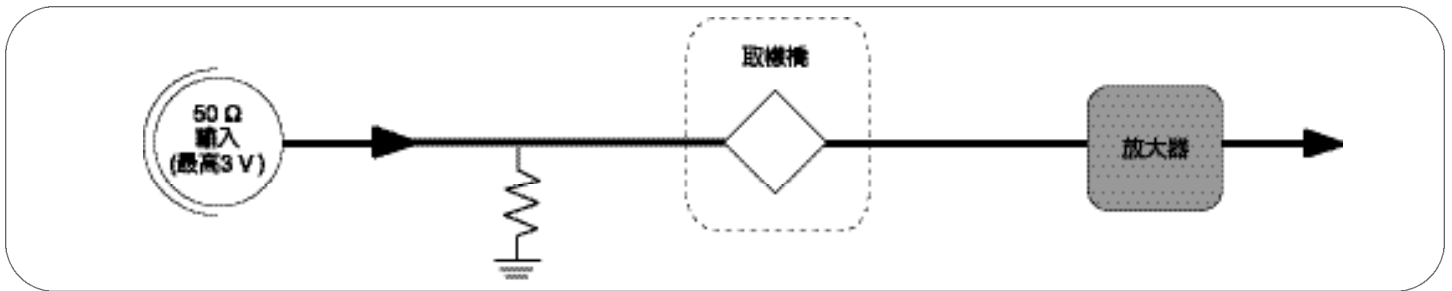
數位螢光資料庫傳送至示波器的畫面時，畫面會顯露與每一點的訊號發生頻率成正比的加強波形區域，就像類比示波器的亮度層次特性一樣。DPO 也可以在顯示器上將不同的發生頻率資訊顯示成截然不同的色彩，這就和類比示波器不同。使用 DPO，很容易看出幾乎在每次觸發時出現的波形，以及在每 100 次觸發時才會發生的波形之間的差異。

數位螢光示波器 (DPO) 打破類比與數位示波器技術之間的障礙。這類示波器用於即時檢視高/低頻率、重複波形、暫態訊號及訊號變化都很適合。只有 DPO 能夠即時提供傳統 DSO 所缺少的 Z (亮度) 軸。



► 圖 19. 有些 DPO 幾秒內就能擷取幾百萬個波形，大幅提高擷取間歇性和難以捉摸事件，以及顯露動態訊號行為的可能性。

DPO 很適合需要廣泛用途之最佳設計與故障排除工具的人（請參閱圖 19）。DPO 的典型應用是通訊波罩測試、數位間歇訊號偵錯、重複性數位設計及時序應用。



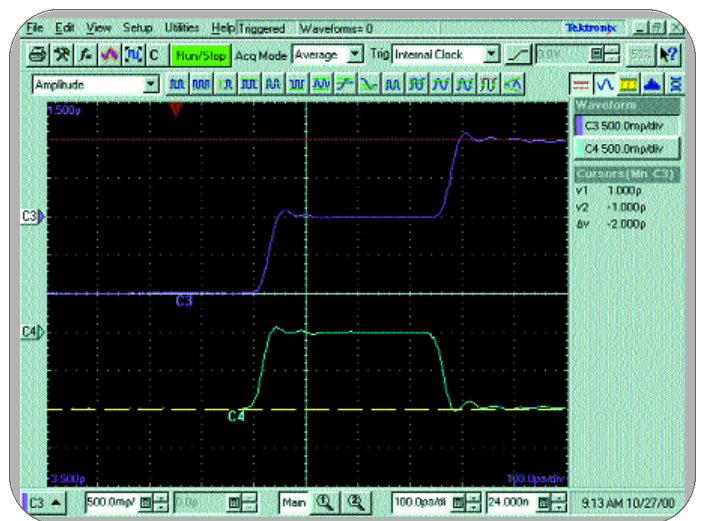
► 圖 20. 數位取樣示波器的架構。

數位取樣示波器

量測高頻訊號時，示波器可能無法在一次掃描中收集足夠的取樣。數位取樣示波器是準確擷取頻率分量遠高於示波器取樣率之訊號的理想工具（請參閱圖 21）。這種示波器能夠量測比其他任何示波器快許多的訊號。它擷取重複性訊號時，頻寬與高速時序可比其他示波器高十倍。循序等時取樣示波器的頻寬可達 50 GHz。

相較於數位儲存和數位螢光示波器的架構，數位取樣示波器架構中衰減器/放大器和取樣橋的位置相反，如圖 20 所示。在執行任何衰減或放大之前就會取樣輸入訊號。取樣橋之後可以使用低頻寬放大器，因為取樣早已將訊號轉換為較低的頻率，使得儀器的頻寬提高許多。

不過這種高頻寬是需要代價的，取樣示波器的動態範圍就因此受限。由於取樣前沒有衰減器/放大器，因此沒有可以縮放輸入的機制。取樣橋隨時都必須能夠處理全部的動態範圍。因此，大多數取樣示波器的動態範圍都限制在 1 V 峰對峰值左右。而數位儲存和數位螢光示波器則能夠處理到 50 至 100 伏。



► 圖 21. TDS8000 數位取樣示波器和 80E04 20-GHz 取樣模組的時域反射計 (TDR) 畫面。

此外，取樣橋前面也不能加上保護二極體，否則會使頻寬受限。這使取樣示波器的安全輸入電壓降到約 3 V，而其他示波器則可達到 500 V。

我們已經介紹過初學者必須知道的基本示波器控制。您的示波器可能具有各種功能使用的其他控制。包括：

- ▶ 自動參數量測
- ▶ 量測游標
- ▶ 數學運算或資料輸入使用的數字鍵
- ▶ 列印功能
- ▶ 將示波器連接至電腦或直接連接至網際網路的介面

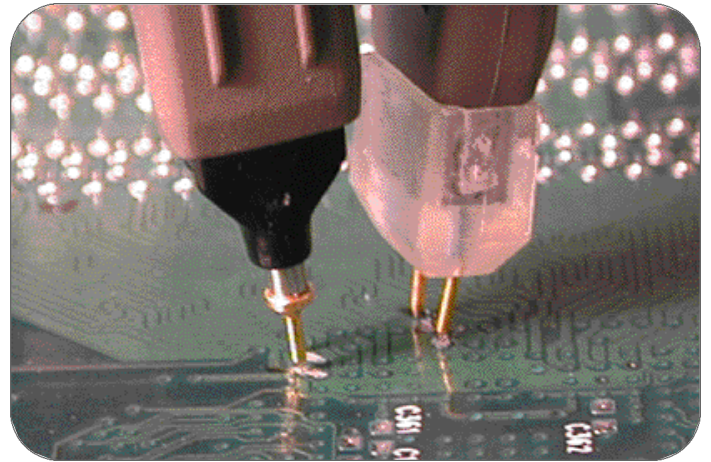
請仔細檢查其他可用的選項並閱讀示波器的手冊，瞭解其他控制鈕的詳細資料。

完整量測系統

探棒

即使是最先進的儀器，再精確也只能呈現輸入資料的原貌。配合示波器使用的探棒是量測系統的一部分。精確的量測從探棒頭開始。與示波器和受測裝置 (DUT) 正確匹配的探棒不只能忠實地輸入訊號至示波器，還能放大及保存訊號完整，提供最大的訊號完整性和量測精確度。

- ▶ 為了確保準確重建訊號，選擇與示波器配對的探棒時，可嘗試選擇高於訊號頻寬 5 倍的探棒。

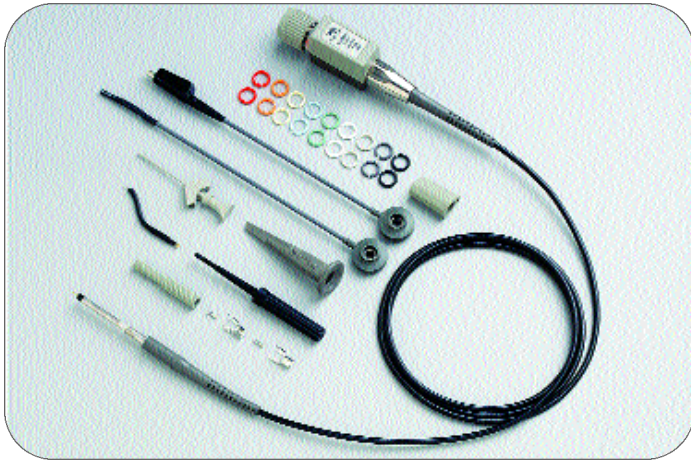


▶ 圖 22. 密集裝置和系統需要小型探棒。

探棒實際上已是電路的一部分，會產生必然會改變量測的電阻、電容及電感負載。想要有最精確的量測結果，就應該選取負載最小的探棒。理想的探棒和示波器配對可以將負載降到最小，並讓您發揮示波器所有的威力、特性及功能。

選擇對 DUT 極重要之連接的另一項考量是探棒的外形。小型探棒較容易存取今日密集封裝的電路 (請參閱圖 22)。

以下是探棒類型的說明。如需此一整體量測系統必要元件的詳細資訊，請參考 Tektronix 的『探棒基本原理 (ABCs of Probes)』。



► 圖 23. 典型的被動式探棒和配件。

被動式探棒

量測典型訊號與電壓位準時，被動式探棒能夠以平實價位提供易用性和豐富的量測功能。被動式電壓探棒搭配電流探棒提供您量測功率的理想解決方案。

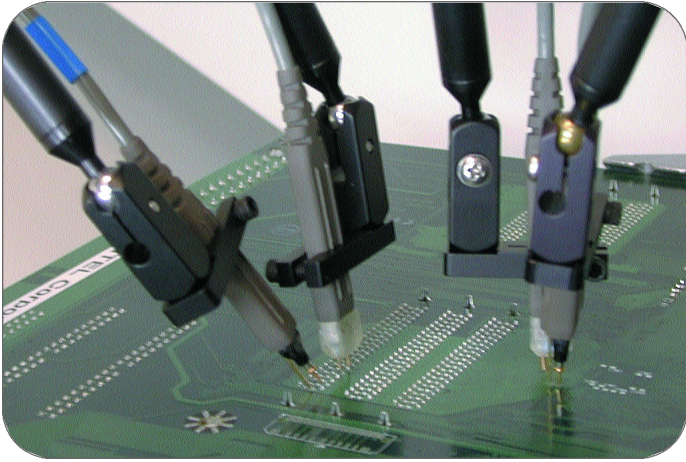
大多數被動式探棒的衰減係數都相同，例如 10X、100X 等。依照慣例，衰減係數 (例如 10X 衰減器探棒) 的係數後有一個 X。而放大係數 (例如 X10) 則把 X 放在前面。

10X (讀成「十倍」) 衰減器探棒和 1X 探棒比較起來，會減少電路負載，是很好的一般用途被動式探棒。較高頻率和 (或) 較高阻抗訊號源的電路負載較為明顯，因此選擇探棒之前一定要分析這些訊號/探棒負載的相互影響。10X 衰減器探棒會增進量測的精確度，不過也會使示波器輸入的訊號振幅減少 10 倍。

由於 10X 衰減器探棒會衰減訊號，因此很難檢視低於 10 毫伏峰對峰值以下的訊號。1X 探棒類似於 10X 衰減器探棒，不過並沒有衰減電路。缺少此一電路，會將更多的干擾帶入受測電路。使用 10X 衰減器探棒做為一般用途探棒，不過要準備一組能用的 1X 探棒，以量測低速低振幅訊號。有些探棒具有方便的切換功能，能在探棒頭切換 1X 和 10X 衰減。如果您的探棒有這項特性，量測前請先確定您使用的是正確的設定。

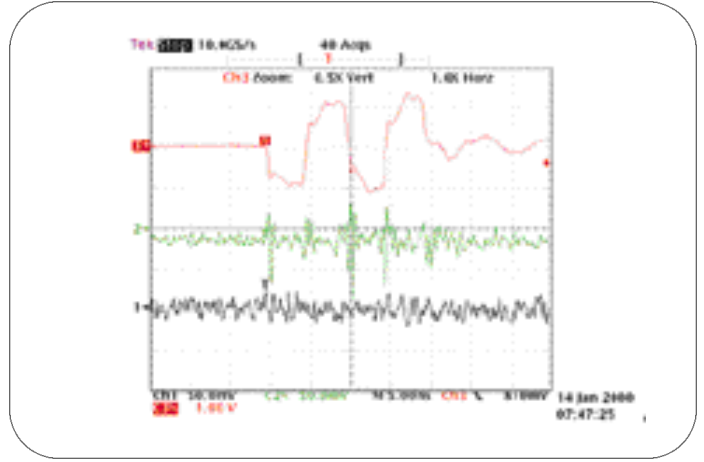
許多示波器可以偵測您使用的是 1X 或 10X 探棒，並據以調整螢幕讀值。不過有些示波器就需要您自訂設定使用的探棒類型，或者設定伏/格控制器的適當 1X 或 10X 標誌讀數。

10X 衰減器探棒會平衡探棒的電氣特性和示波器的電氣特性。使用 10X 衰減器之前，您必須針對您的特定示波器調整此一平衡。這項調整稱為探棒補償，會在本教本的操作示波器一節中詳細介紹。



► 圖 24. 量測今日電腦匯流排和資料傳輸線路中存在的快速時脈和邊緣，高性能探棒非常重要。

被動式探棒提供出色的一般用途探棒解決方案。但是，一般用途被動式探棒無法精確地量測上升時間極快的訊號，也可能在靈敏的電路造成過度負載。訊號時脈速率和邊緣速度的持續增加需要速度更高、負載效應更小的探棒。量測高速和（或）差動訊號時，高速主動式和差動探棒提供理想的解決方案。

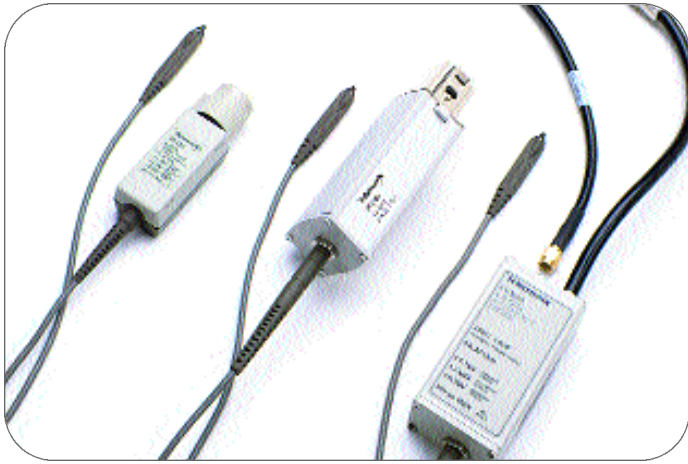


► 圖 25. 差動探棒可以分離今日快速低電壓應用中的共模雜訊和我們要檢視的訊號內容，這在積體電路的數位訊號持續下降至標準雜訊臨界值以下時益形重要。

主動式和差動探棒

訊號速度增加和低電壓邏輯產品使得精確的量測結果很難達成。訊號純真度和裝置負載是很重要的問題。這些高速下的完整量測解決方案包括能匹配示波器性能的高速、高純真度探棒解決方案（請參閱圖 24）。

主動式和差動探棒使用特別開發的整合式電路，在存取和傳輸至示波器時保持訊號，確保訊號的完整性。量測上升時間很快的訊號時，高速主動式或差動探棒會提供更精確的結果。



► **圖 26.** Tektronix TekConnect™ 介面可以保存 10 GHz 以上的訊號完整性，滿足現在和未來的頻寬需求。



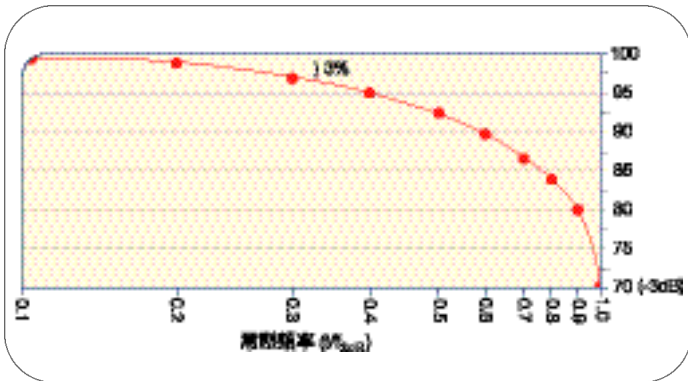
► **圖 27.** Tektronix SF200A 和 SF500 系列 SureFoot™ 轉接器提供至積體電路上特定接腳的短導線探棒頭連接。

探棒配件

許多現代示波器都在輸入和匹配的探棒接頭提供特殊的自動化功能。如果使用智慧型探棒介面，連接探棒至示波器的動作會告知示波器有關探棒衰減係數的資料，示波器再調整畫面，使螢幕的讀值加計探棒的衰減。有些探棒介面也會辨識探棒的類型，也就是被動式、主動式或電流式。介面可當成探棒的 DC 電源。主動式探棒具有自己的放大器和緩衝電路，這些都需要 DC 電源。

另有接地線和探棒頭配件，可以在量測高速訊號時增進訊號完整性。接地線轉接器提供探棒頭和接地線至 DUT 的连接之間的時間彈性，同時維持探棒頭至 DUT 之間極短的引線長度。

如需探棒配件的詳細資訊，請參考 Tektronix 『探棒基本原理 (ABCs of Probes) 』。



► 圖 28. 示波器頻寬是一個頻率點，在此頻率時，正弦輸入訊號衰減為訊號真實振幅的 70.7%，稱為 -3 dB 點。

規格術語與特性

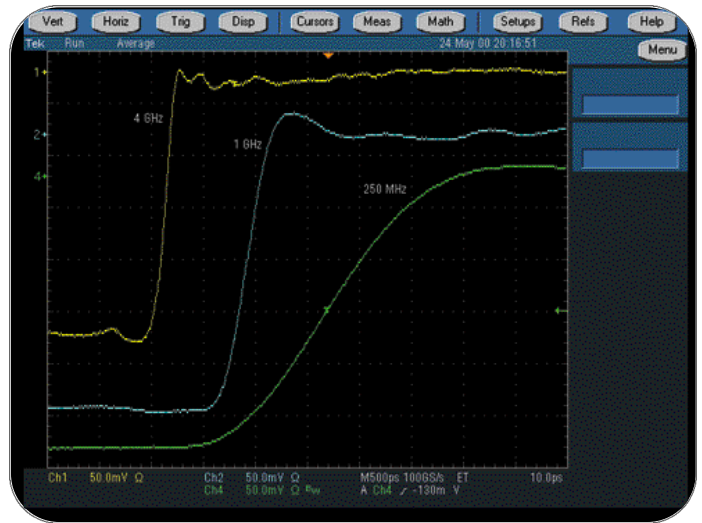
前面提到過，示波器就像一部相機，會擷取訊號影像，再由我們觀察和解譯。快門速度、照明條件、孔徑及底片的 ASA 等級都會影響相機清晰準確地拍攝影像的能力。示波器的性能考量也和示波器的基本系統一樣，明顯影響達成所需訊號完整性的能力。

學習新技術往往要學習新字彙。這在學習使用示波器時也一樣。這一節會介紹一些實用的量測和示波器規格術語。這些術語用於說明選擇適合您應用之正確示波器的必要準則。認識這些術語可協助您評估您的示波器，並和其他機型比較。

頻寬

頻寬決定了示波器量測訊號的基本能力。訊號頻率增加時，示波器準確顯示訊號的能力就會下降。此一規格指示示波器可以準確量測的頻率範圍。

示波器頻寬的定義是，正弦輸入訊號衰減至訊號真實振幅的 70.7% 之頻率，稱為 -3 dB 點，以對數等級為準 (請參閱圖 28)。



► 圖 29. 頻寬愈高，訊號顯示愈準確，這可由 250 MHz、1 GHz 及 4 GHz 頻寬層次擷取之訊號說明。

若是沒有適當的頻寬，您的示波器將無法分辨高頻的變化。振幅將會失真。邊緣特性將會消失。詳細資料將會遺失。沒有適當頻寬時，您示波器的所有特性和附加性能都變得毫無意義。

- 5 倍頻寬規則
需要的示波器頻寬 = 量測訊號之最高頻率分量 × 5

若要決定準確分析您特定應用中訊號振幅特性所需的示波器頻寬，可套用「5 倍頻寬規則」。使用「5 倍頻寬規則」選取的示波器可提供低於 +/-2% 的量測錯誤 – 通常已足夠今日應用所需。但是，隨著訊號速度增加，可能無法實現此一經驗法則。一定要記住，較高的頻寬可能提供較準確的訊號顯示 (請參閱圖 29)。



► 圖 30. 高速數位訊號的上升時間特性分析。

上升時間

數位領域裡的上升時間量測非常重要。如果是要量測數位訊號(例如脈波 和步進)，上升時間是較適當的性能考量。您的示波器必須要有足夠的上升時間，才能準確地擷取快速轉態的詳細資料。

上升時間說明了示波器的實用頻率範圍。若要計算您的訊號類型所需的示波器上升時間，請使用下列等式：

$$\text{需要的示波器上升時間} = \frac{\text{量測訊號的最快上升時間}}{5}$$

邏輯系列	標準的訊號上升時間	計算的訊號頻寬
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 31. 有些邏輯系列產品固有的上升時間就比其他產品快。

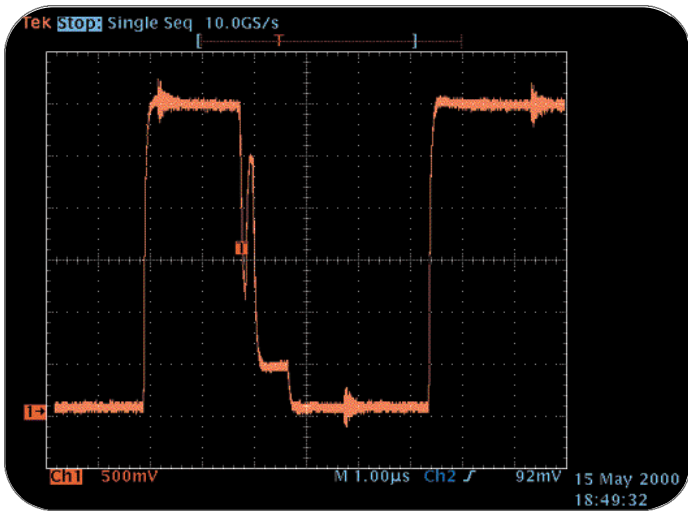
請注意，這種示波器上升時間選擇的準則類似頻寬選擇的準則。計算頻寬時，符合此一經驗法則不一定能達到今日訊號的極快速度。請隨時記住，上升時間較快的示波器，可以更準確地擷取快速轉態的重要詳細資料。

在某些應用中，您可能只知道訊號的上升時間。有個常數可讓您將示波器的頻寬和上升時間關聯，使用以下等式：

$$\text{頻寬} = \frac{k}{\text{上升時間}}$$

其中 k 是 0.35 與 0.45 之間的值，根據示波器的頻率響應曲線和脈波上升時間響應的形狀而定。頻寬 < 1 GHz 的示波器，其值通常為 0.35，而頻寬 > 1 GHz 以上的示波器，其值通常介於 0.40 和 0.45 之間。

有些邏輯系列固有的上升時間就比其他系統快，如圖 31 所示。



► 圖 32. 較高的取樣率提供較高的訊號解析度，確保您能夠看到間歇性事件。

取樣率

取樣率 – 以每秒取樣數 (S/s) 指定 – 指的是數位示波器擷取訊號快照或取樣的頻繁度，類似於電影攝影機的圖框。示波器取樣速度愈快 (也就是取樣率愈高)，解析度和顯示波形的詳細資料就愈多，也愈不可能遺漏資訊或事件，如圖 32 所示。如果您必須長期檢視緩慢變化的訊號，最小取樣率也很重要。顯示的取樣率通常會隨著水平刻度的變更而變更，以保持顯示波形記錄中固定的波形點數目。

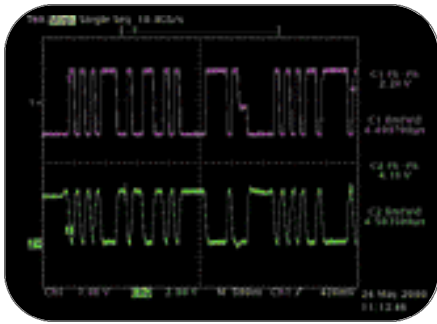
您要如何計算取樣率需求呢？方法會因您量測的波形類型，以及示波器使用的訊號重建方法而異。

若要準確地重建訊號並避免假像，根據尼奎斯特定理，至少要以最高之頻率分量的兩倍速度取樣訊號。但是，這個定理假設記錄長度無限長，而且訊號是連續的。由於沒有任何示波器提供無限的記錄長度，而且依照定義，突波並不是連續的，因此只以最高頻率分量的兩倍速率取樣通常並不足夠。

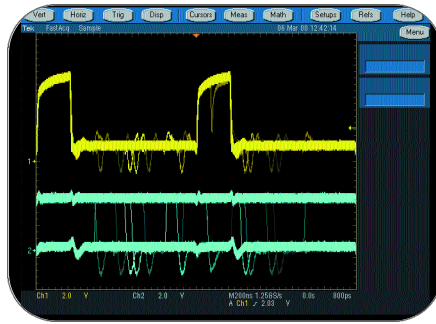
實際上，訊號的準確重建取決於取樣率和用於填補取樣之間空格所使用的內插法。有些示波器可讓您選取在量測正弦訊號時使用 $\sin(x)/x$ 內插，而在方波、脈波及其他類型訊號時使用線性內插。

- 若要使用 $\sin(x)/x$ 內插準確重建，示波器的取樣率至少應為訊號最高頻率分量的 2.5 倍。使用線性內插時，取樣率至少應為最高頻率訊號分量的 10 倍。

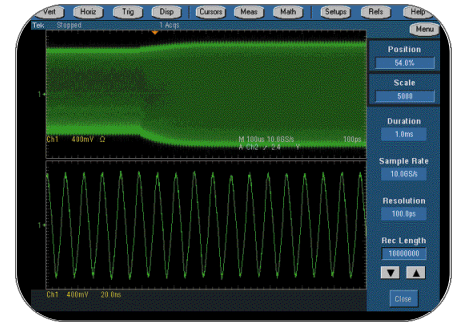
有些量測系統的取樣率達到 20 GS/s，頻寬達到 4 GHz，已經最佳化，可以超高取樣頻寬的 5 倍，擷取非常快的單擊和暫態事件。



► 圖 33. 某一數位示波器針對一數位設計中非重覆, 高速, 多通道訊號, 提供理想量測解決方案。



► 圖 34. 某一數位示波器藉由快速波形更新率及三維顯示能力, 將波形表現一覽無遺, 成為一部通用設計和除錯最好的工具。



► 圖 35. 擷取載波高頻訊號- 85 MHz, 需要高解析度取樣(100 ps). 觀察此訊號完整的調變包絡需要一段長時間(1 ms). 當使用長記憶體時(10 MB), 示波器可同時顯示二者。

波形更新率

所有示波器都會眨眼睛, 它每秒鐘睜開數次眼睛去擷取波形, 而在睜眼之間便是閉眼的, 這就是示波器的波形更新率, 以每秒鐘擷取到幾個波形表示 (wfms / s)。取樣率指出一部示波器在輸入訊號一個波形或一個週期內取樣幾個點, 而波形更新率則說明一部示波器擷取波形的速度有多快。

波形更新率依照不同等級的示波器其差異非常的大, 具有快速波形更新率的示波器可以將波形的一切變化呈现在螢幕上, 並增加示波器捉到快速偶發信號的機率。例如: 抖動、矮波 (介穩態波形), 突波和快速變化錯誤。

傳統數位示波器是利用串聯式架構擷取波形, 其波形更新率從 10 wfms/ s 到 5000 wfms/ s. 某些數位示波器提供了特殊模式 – 脈衝多重擷取, 將捉到的資料送至長記憶體中, 此種模式, 短時間可增加波形更新率, 但由於資料量大, 故亦需更長的時間處理, 便降低了整體擷取速度。

大部份的數位螢光示波器, 利用平行處理架構擷取波形, 其波形更新率可高達每秒鐘百萬個波形, 明顯增加了擷取到偶發信號的機率, 讓你更快看到信號中的所有問題。總之, 數位螢光示波器 (DPO) 可以用即時, 三維 (時間、振幅、隨時間變化的振幅分佈情形) 顯示的方式詮識訊號, 將訊號的變化一覽無遺的重現出來。

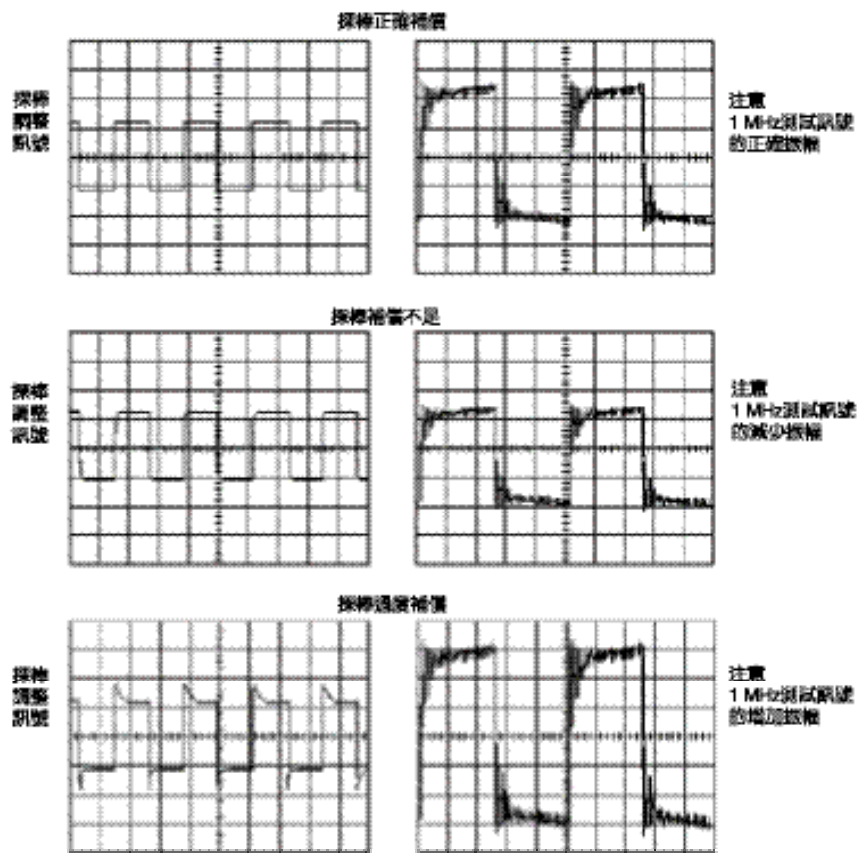
記憶體長度

記憶體長度, 是以完整波形的記錄中所有的取樣點的數目來表示, 亦決定了每一個通道可擷取的資料總數。因為示波器可儲存的資料點數有限, 可擷取信號時間與取樣率會呈反比。

公式如下:

$$\left[\begin{array}{l} \text{擷取時間} = \frac{\text{記錄長度}}{\text{取樣率}} \end{array} \right.$$

先進的示波器針對不同應用需求, 可以設定不同的記憶體長度. 如果你是觀測一持續信號, 可能只要 500 點即可. 但如果你要觀察一串數位資料, 那可能就必需更多長記憶了。



► 圖 36. 探棒補償不正確的結果。

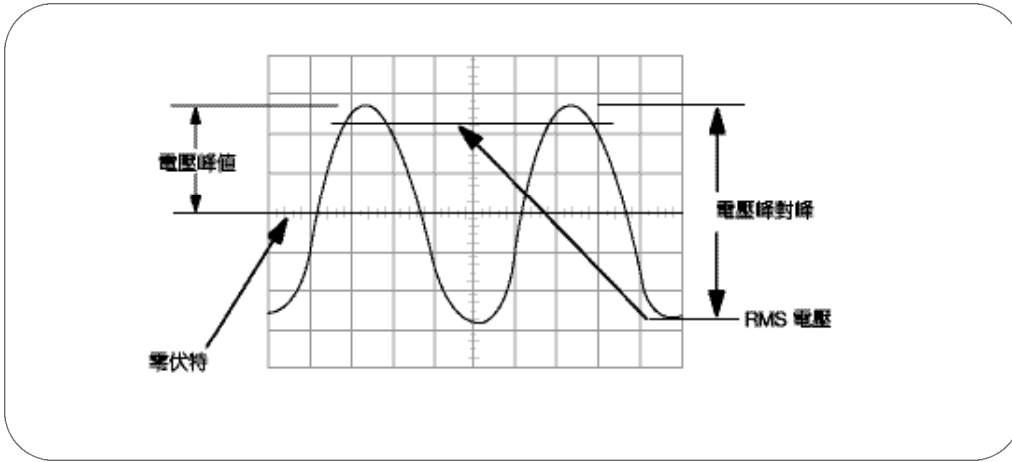
操作示波器

探棒補償

被動式衰減電壓探棒必須針對示波器做補償。使用被動式探棒之前，必須先予以補償 – 針對特定示波器平衡其電氣屬性。您應養成習慣，在每次設定示波器時補償探棒。調整不佳的探棒會讓您的量測失去準確性。圖 36 說明的是使用未正確補償之探棒量測 1 MHz 測試訊號的結果。

大多數示波器的面板上都有一個補償探棒用的輸出端子，會輸出方波參考訊號。補償探棒的一般指示如下：

- 連接探棒至垂直通道
- 連接探棒頭至探棒補償，例如方波參考訊號
- 將探棒的接地夾子接地
- 檢視方波參考訊號
- 適當調整探棒，使方波的波角成方形



► 圖 37. 峰值電壓 (V_p) 和峰對峰值電壓 (V_{p-p})。

您補償探棒時，一定要接上您要使用的任何配件探棒頭，並且將探棒接到您打算使用的垂直通道。這可確保您量測時，示波器的電氣屬性與其相同。

示波器量測技術

這一節會複習基本的量測技術。您必須進行兩種最基本的量測 – 電壓和時間量測。其他的一切量測幾乎都是以這兩種基本技術為基礎。

這一節會討論利用示波器螢幕進行目視量測的方法。這是類比示波器上常使用的技術，在 DSO 和 DPO 畫面的「一瞥」解讀時也很實用。

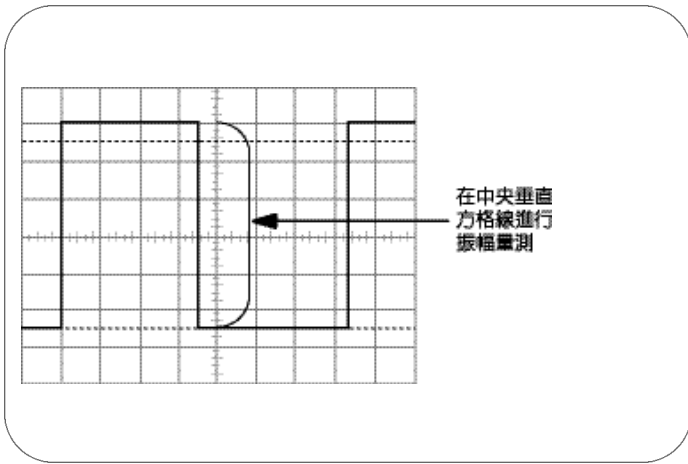
請注意，大多數數位示波器都包含自動化量測工具。知道如何執行此處所述的手動量測有助於認識及檢查 DSO 和 DPO 的自動量測。本節稍後會說明自動量測技術。

電壓量測

電壓是電路中兩點之間的電位量，以伏特表示。其中一點通常是接地（零伏特），不過並非必然。也可以從峰對峰量測電壓 – 從訊號的最大點到其最小點。您必須小心指定您所指的是何種電壓。

示波器主要是電壓量測裝置。您量測了電壓之後，就可以計算出其他量。例如，歐姆定律指出，電路中兩點之間的電壓等於電流乘電阻。利用上述任兩種量，可以用下面的公式計算出第三種量：

另一個便利的公式是功率定律：DC 訊號的功率等於電壓乘電流。AC 訊號的計算較複雜，但是此處的重點是，量測電壓是要計算其他量的第一步。圖 37 顯示峰值電壓 (V_p) 和峰對峰值電壓 (V_{p-p})。



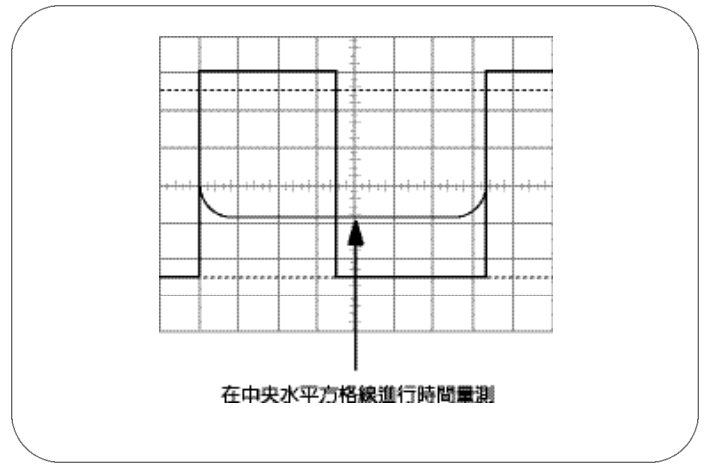
► 圖 38. 在中央垂直方格線量測電壓。

量測電壓最基本的方法是計算波形在示波器垂直刻度上延伸的格數。調整訊號使其涵蓋大部分的垂直畫面可以得到最佳的電壓量測 (請參閱圖 38)。您使用的螢幕區域愈多，從螢幕讀取的結果愈準確。

許多示波器都有螢幕游標，可讓您自動在螢幕上進行波形量測，不必計算方格標誌。游標只是可在螢幕上移動的一條線。兩個水平游標可以上下移動，括住電壓量測波形的振幅，兩條垂直線可以左右移動，用於時間量測。電壓或時間的位置會顯示讀數。

時間與頻率量測

您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波的週期和脈波寬度。頻率是週期的倒數，因此只要您知道週期，頻率就是一除以週期。時間量測和電壓量測一樣，當您將要量測的訊號部分調整到涵蓋螢幕的大部區域時，量測會較為準確，如圖 39 所示。



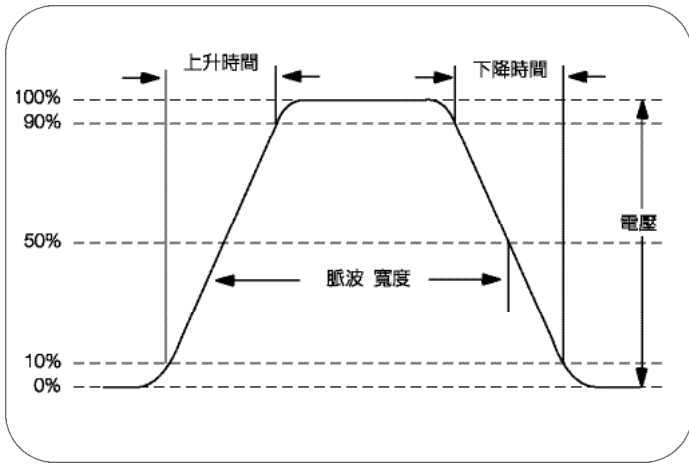
► 圖 39. 在中央水平方格線量測時間。

脈波寬度與上升時間量測

在許多應用中，脈波形狀的詳細資料很重要。脈波可能失真，並造成數位電路故障，脈衝串中的脈波時序通常很重要。

標準脈波量測是脈波寬度和脈波上升時間。上升時間是脈波從低電壓到高電壓所花的時間量。依照常規，上升時間是從脈波全電壓的 10% 量測到 90%。這消除了脈波轉態角的任何不平整情形。脈波寬度是脈波從低到高，再返回低所花的時間量。依照常規，脈波寬度是在全電壓的 50% 量測。圖 40 (請參閱下一頁) 說明了這些量測點。

脈波量測往往需要微調觸發。若想成為擷取脈波的專家，您必須學習如何使用觸發延滯 (Holdoff)，以及如何設定數位示波器以擷取前置觸發資料，如 示波器的系統與控制器 一節所述。水平放大是量測脈波的另一項實用特性，因為它可讓您看到快速脈波的詳細資料。

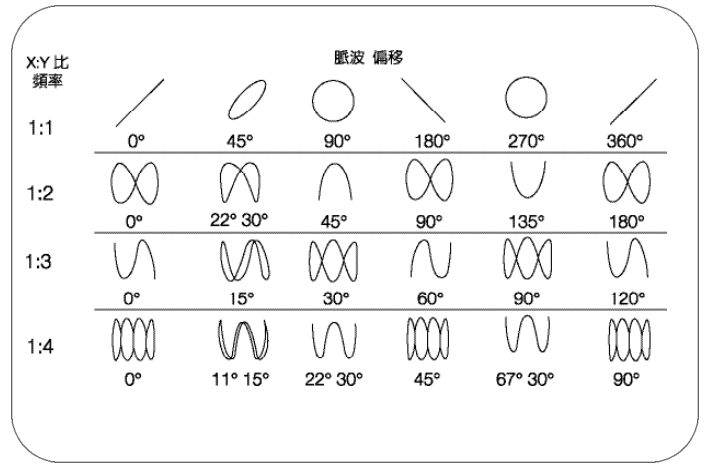


► 圖 40. 上升時間和脈波寬度量測點。

相位偏移量測

量測相位偏移的一種方法 - 兩個看起來相同之週期性訊號之間的時序差 - 是使用 XY 模式。這種量測技術需要如常輸入一個訊號至垂直系統，然後輸入另一個訊號至水平系統 - 稱為 XY 量測，因為 X 和 Y 軸都在描繪電壓。利用這種方式產生的波形稱為李賽式圖形 (以法國物理學家 Jules Antoine Lissajous 命名)。從李賽式圖形可以看出兩個訊號之間的相位差。同時還可看出其頻率比。圖 41 所示是各種頻率比和相位偏移的李賽式圖形。

XY 量測技術源自類比示波器。DSO 在建立即時 XY 畫面上有其困難。有些 DSO 會累積一段時間的觸發資料點，然後將兩個通道顯示為一個 XY 畫面以產生 XY 影像。



► 圖 41. 李賽式圖形。

另一方面，DPO 則能夠使用連續的數位化資料流，即時擷取及顯示真正的 XY 模式影像。DPO 也可以利用加強區域顯示 XYZ 影像。不同於 DSO 和 DPO 上的 XY 畫面，類比示波器上的這些畫面通常只限於幾 MHz 的頻寬。

其他量測技術

這一節介紹的是基本的量測技術。其他量測技術包含設定示波器測試上的元件、擷取捉摸不定的暫態訊號等等。您將使用的量測技術需視您的應用而定，不過您學到的已經足夠入門所需。請使用您的示波器練習，並閱讀其他相關資料。很快地操作示波器就會變成您的第二項天性。

書面練習

這一節包含了涵蓋本書內容的書面練習題。

練習分成兩部分：第一和第二部分。

► 第一部分包含以下各節裡的資訊：

示波器

性能術語與考量

► 第二部分包含以下各節裡的資訊：

示波器的系統和控制

操作示波器

量測技術

以下練習涵蓋字彙和應用資訊。

請進行此一簡短的自我測驗，瞭解這幾節的內容您吸收了多少。答案從 57 頁開始。

第一部分

► 示波器

► 性能術語與考量

字彙練習 – 將代表右欄定義的字母填入左欄正確名詞前的空格裡。

術語	定義
1. __ 擷取	A 電位差的單位。
2. __ 類比	B 指示 ADC 精確性的性能量測，以位元量測。
3. __ 頻寬	C 提及訊號週期的角度點時使用的術語。
4. __ 數位螢光	D 訊號在一秒內重複的次數。
5. __ 頻率	E 波完成一個循環所花的時間量。
6. __ 突波	F 一個儲存的數值，代表訊號在畫面上特定時間點的電壓。
7. __ 週期	G 一種常見的波形，有上升邊緣、寬度及下降邊緣。
8. __ 相位	H 指示脈波上升邊緣速度的性能量測。
9. __ 脈波	I 在示波器中控制掃描時序的電路。
10. __ 波形點	J 電路中的間歇性尖波。
11. __ 上升時間	K 由示波器量測，只發生一次的訊號。
12. __ 取樣點	L 示波器從 ADC 收集取樣點、處理取樣點並將之儲存在記憶體中的程序。
13. __ 數位儲存	M 以連續變化值作用的事物。
14. __ 時基	N 即時擷取三維訊號資訊的數位示波器。
15. __ 暫態訊號	O 使用連續處理的數位示波器。
16. __ ADC 解析度	P 由 - 3dB 點定義的正弦波頻率範圍。
17. __ 伏特	Q ADC 輸出的原始資料，用於計算及顯示波形點。

第一部分

▶ 示波器

▶ 性能術語與考量

應用練習

選出每一題最適合的答案。有些題目是多選題。

1. 您可以使用示波器：
 - a. 計算訊號的頻率。
 - b. 找出故障的電氣元件。
 - c. 分析訊號的詳細資料。
 - d. 以上皆是。
2. 類比和數位示波器之間的差別在於：
 - a. 類比示波器沒有螢幕上功能表。
 - b. 類比示波器直接將量測電壓套用至顯示系統，而數位示波器會先將電壓轉換為數位值。
 - c. 類比示波器會量測類比，而數位示波器則會量測數字。
 - d. 類比示波器沒有擷取系統。
3. 示波器的垂直部分會執行以下作業：
 - a. 使用 ADC 擷取取樣點。
 - b. 啟動水平掃描。
 - c. 讓您調整畫面的亮度。
 - d. 衰減或放大輸入訊號。
4. 示波器的時基控制會執行下列作業：
 - a. 調整垂直刻度。
 - b. 顯示一天的目前時間。
 - c. 設定螢幕水平寬度代表的時間量。
 - d. 傳送時脈脈波至探棒。
5. 在示波器的畫面上：
 - a. 垂直軸是電壓、水平軸是時間。
 - b. 對角直線軌跡代表電壓是以穩定的速率變化。
 - c. 平坦的水平軌跡表示電壓是固定的。
 - d. 以上皆是。
6. 所有的重複波都具有下列特性：
 - a. 以赫茲量測的頻率。
 - b. 以秒量測的週期。
 - c. 以赫茲量測的頻寬。
 - d. 以上皆是。
7. 如果使用示波器量測電腦的內部，很可能發現下列類型的訊號：
 - a. 脈衝串。
 - b. 斜坡波。
 - c. 正弦波。
 - d. 以上皆是。
8. 評估類比示波器的性能時，應考慮的有：
 - 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) 之間的差別在於：
 - a. DSO 的頻寬較高。
 - b. DPO 會即時擷取三維波形資訊。
 - c. DSO 有彩色畫面。
 - d. DSO 會擷取較多的訊號詳細資料。

第二部分

▶ 示波器的系統和控制器

▶ 操作示波器

▶ 量測技術

字彙練習 – 將代表右欄定義的字母填入左欄正確名詞前的空格裡。

術語	定義
1. __ 平均模式	A 探棒和示波器與受測電路的意外互動，會使訊號失真。
2. __ 電路負載	B 連接電流至大地的導體。
3. __ 補償	C 一種取樣模式，數位示波器以此模式在訊號發生時收集能力範圍所及的取樣數，然後建構一個畫面，必要時會使用內插。
4. __ 耦合	D 一種取樣模式，數位示波器以此模式從每一次重複擷取少量資訊，建構重複訊號的圖像。
5. __ 接地	E 將聲音、壓力、張力或光的亮度等特定物件量轉換為電氣訊號的裝置。
6. __ 等時	F 注入訊號至電路輸入的一種測試裝置。
7. __ 方格	G 數位示波器消除顯示訊號中之雜訊所使用的一種處理技術。
8. __ 內插法	H 將兩個電路連接在一起的方法。
9. __ 即時	I 只根據幾個取樣點估算快速波形外貌的一種「連接點」處理技術。
10. __ 訊號產生器	J 螢幕上計量示波器軌跡的格線。
11. __ 單次掃描	K 一種觸發模式。只觸發一次掃描，必須重設才能接受另一次觸發事件。
12. __ 轉換器	L 10X 衰減器探棒的探棒調整，會平衡探棒的電氣屬性和示波器的電氣屬性。

第二部分

▶ 示波器的系統和控制

▶ 操作示波器

▶ 量測技術

▶ 示波器的系統和控制

▶ 操作示波器

▶ 量測技術

應用練習

選出每一題最適合的答案。有些題目是多選題。

1. 若要安全地操作示波器，應該：

- 使用適當的三叉電源線將示波器接地。
- 學習識別有潛在危險的電氣元件。
- 即使電源已關閉，也要避免碰觸受測電路外露的接點。
- 以上皆是。

2. 將示波器接地的原因在於：

- 安全理由。
- 提供量測的參考點。
- 將軌跡對齊螢幕的水平軸。
- 以上皆是。

3. 造成電路負載的原因是：

- 輸入訊號的電壓太高。
- 探棒和示波器與受測電路互相影響。
- 未補償 10X 衰減器探棒。
- 在電路上施加太多的重量。

4. 必須補償探棒的原因在於：

- 平衡 10X 衰減器探棒的電氣屬性與示波器的電氣屬性。
- 防止損害受測電路。
- 提高量測的準確度。
- 以上皆是。

5. 軌跡旋轉控制器很適合：

- 縮放螢幕上的波形。
- 偵測正弦波訊號。
- 將類比示波器上的波形軌跡對準螢幕水平軸。
- 量測脈波寬度。

6. 每格伏特控制器用於：

- 垂直縮放波形。
- 垂直擺放波形。
- 衰減或放大輸入訊號。
- 設定每一格代表的伏特數。

7. 設定垂直輸入耦合至接地會：

- 切斷示波器的輸入訊號。
- 造成水平線隨自動觸發顯示。
- 讓您在螢幕上看到零伏特位置。
- 以上皆是。

8. 觸發是必要的，其用途為：

- 穩定螢幕上的重複波形。
- 擷取單擊波形。
- 產生擷取的特定點。
- 以上皆是。

9. 自動與一般觸發模式的差別在於：

- 在一般模式下，示波器只掃描一次後就會停止。
- 在一般模式下，唯有輸入訊號達到觸發點時示波器才會掃描，否則螢幕是空白的。
- 即使沒有觸發，自動模式仍會驅動示波器連續掃描。
- 以上皆是。

10. 最能夠減少重複訊號中之雜訊的擷取模式是：

- 取樣模式。
- 峰值偵測模式。
- 包封模式。
- 平均模式。

11. 使用示波器可以執行的兩種最基本量測是：

- a. 時間與頻率量測。
- b. 時間與電壓量測。
- c. 電壓與脈波 寬度量測。
- d. 脈波 寬度與相位偏移量測。

12. 如果伏特/格設定在 0.5，適合整個螢幕大小 (假設是 8 x 10 的螢幕) 的最大訊號是：

- 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. 如果秒/格設定在 0.1 ms，螢幕寬度代表多長的時間？

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

14. 依照常規，量測脈波 寬度的位置是：

- a. 在脈波 之峰對峰 (pk-pk) 電壓的 10%。
- b. 在脈波 之峰對峰 (pk-pk) 電壓的 50%。
- c. 在脈波 之峰對峰 (pk-pk) 電壓的 90%。
- d. 在脈波 之峰對峰 (pk-pk) 電壓的 10% 和 90%。

15. 您將探棒接到測試電路，但是螢幕卻是空白的。您應該：

- a. 檢查確定螢幕亮度有出現。
- b. 檢查確定示波器已設定在顯示探棒所連接的通道。
- c. 將觸發模式設定為自動，因為一般模式會使螢幕空白。
- d. 將垂直輸入耦合設定在 AC，並且將伏特/格設定在最大值，因為很大的 DC 訊號會超出螢幕的頂端或底端。
- e. 檢查確定探棒並未短路，並確定已經正確接地。
- f. 檢查確定示波器設定在觸發您所使用的輸入通道。
- g. 以上皆是。

解答

這一節提供前面幾節所有書面練習的解答。

第一部分：字彙練習解答

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：示波器應用練習解答

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：字彙練習解答

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：示波器應用練習解答

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	

專有名詞詞彙表

擷取模式 (Acquisition Mode) – 控制如何從取樣點產生波形的模式。一些類型包括取樣、峰值偵測、高解析度、包封及平均。

交替模式 (Alternate Mode) – 一種示波器的顯示模式，示波器會先描繪完一個通道，再另開始描繪另一個通道。

交流 (Alternating Current, AC) – 電流和電壓以重複模型隨時間變化的一種訊號。也用於表示訊號耦合類型。

放大 (Amplification) – 訊號從一點傳輸至另一點的期間，訊號振幅增加的情形。

振幅 (Amplitude) – 訊號量或強度的大小。在電子學中，振幅通常指電壓或功率。

類比至數位轉換器 (Analog-to-Digital Converter, ADC) – 將電氣訊號轉換為分離二進位值的一種數位電子元件。

類比示波器 (Analog Oscilloscope) – 一種儀器，會將輸入訊號（經過調整和放大）套用至由左至右在陰極射線管 (CRT) 螢幕上移動的電子束，以產生波形畫面。只要電子束擊中，塗佈在 CRT 上的化學螢光就會產生明亮的軌跡。

類比訊號 (Analog Signal) – 具有連續可變電壓的訊號。

衰減 (Attenuation) – 訊號從一點傳輸至另一點的期間，訊號振幅減少的情形。

平均 (Averaging) – 數位示波器減少顯示訊號中雜訊所使用的一種處理技術。

頻寬 (Bandwidth) – 頻率範圍，通常受到 - 3 dB 的限制。

陰極射線管 (Cathode-ray Tube, CRT) – 一種電子束管，電子束可以在發光螢幕上聚焦並改變位置和亮度，以產生可見的圖形。電視的影像管就是 CRT。

截波模式 (Chop Mode) – 一種示波器的顯示模式，會循序描繪一個通道的一小段時間，再循序描繪另一個通道的一小段時間，因此可以同時在螢幕上顯示多組波形。

電路負載 (Circuit Loading) – 探棒和示波器與受測電路的非故意互動，會使訊號失真。

補償 (Compensation) – 被動式衰減探棒的一項探棒調整，會平衡探棒的電容和示波器的電容。

耦合 (Coupling) – 將兩個電路連接在一起的方法。使用電線連接的電路是直接耦合 (DC)；透過電容或變壓器連接的電路是間接 (AC) 耦合。

游標 (Cursor) – 螢幕上的一個標誌，可以對準波形以進行更準確的量測。

延遲時基 (Delayed Time Base) – 相對於主時基掃描上的預先定義時間啟動 (或觸發後啟動) 的掃描時基。可讓您更清楚地檢視事件，並看到只使用主時基掃描時看不到的事件。

數位訊號 (Digital Signal) – 以分離的二進位數代表其電壓取樣的訊號。

數位示波器 (Digital Oscilloscope) – 使用類比至數位轉換器 (ADC) 將量測電壓轉換為數位資訊的示波器。有三種類型：數位儲存、數位螢光及數位取樣示波器。

數位螢光示波器 (Digital Phosphor Oscilloscope, DPO) – 一種數位示波器，模仿接近類比示波器的顯示特性，同時保持傳統數位示波器的優點 (波形儲存、自動化量測等)。DPO 使用平行處理架構將訊號傳遞至掃描式顯示器，即時提供訊號特性的亮度層次顯示。DPO 以三個維度顯示訊號：振幅、時間及隨時間分佈的振幅。

數位取樣示波器 (Digital Sampling Oscilloscope, DSO) – 一種數位示波器，採用等時取樣法擷取及顯示訊號的取樣，適合準確地擷取頻率分量遠高於示波器取樣率的訊號。

數位儲存示波器 (Digital Storage Oscilloscope, DSO) – 利用數位取樣 (使用類比至數位轉換器) 擷取訊號的數位示波器。它使用連續處理架構控制擷取、使用者介面及掃描畫面。

數位化 (Digitize) – 水平系統中的類比至數位轉換器 (ADC) 在分離的時間點取樣訊號，並將這些點的訊號電壓轉換為數位值 (稱為取樣點) 的一種程序。

直流 (Direct Current, DC) – 具有固定電壓和 (或) 電流的訊號。也用於表示訊號耦合類型。

格 (Division) – 示波器陰極射線管 (CRT) 方格上的量測標誌。

接地 (Earth Ground) – 將電流連接至大地的導體。

有效位元 (Effective Bits) – 數位示波器準確重建正弦波訊號形狀之能力的度量單位。這種量測會比較示波器的實際錯誤和理論上「理想的」數位器之錯誤。

包封 (Envelope) – 在許多顯示的波形重複中擷取到的訊號最高與最低點的外框。

等時取樣 (Equivalent-time Sampling) – 一種取樣模式，示波器會從每一次重複擷取少數資訊，以建構重複訊號的圖像。等時取樣有兩種類型：隨機和循序。

聚焦 (Focus) – 調整陰極射線管 (CRT) 電子束以控制畫面清晰性的示波器控制器。

頻率 (Frequency) – 訊號在一秒內重複的次數，以赫茲 (每秒週期) 量測。頻率等於 1/週期。

頻率響應 (Frequency Response) – 待定義。

增益準確性 (Gain Accuracy) – 垂直系統衰減或放大訊號的準確性指示，通常以錯誤百分比表示。

千兆赫 (Gigahertz, GHz) – 1,000,000,000 赫，頻率的單位。

突波 (Glitch) – 電路中的間歇性高速錯誤。

方格 (Graticule) – 螢幕上量測示波器軌跡的格線。

接地 (Ground) –

1. 導引連接，電路或設備利用這種方式連接至地線，以建立及保持參考電壓位準。
2. 電路中的電壓參考點。

赫 (Hertz, Hz) – 每秒一個週期，頻率的單位。

水平準確度，時基 (Horizontal Accuracy, Time Base) – 水平系統顯示訊號時序的準確度，通常以錯誤百分比表示。

水平掃描 (Horizontal Sweep) – 水平系統描繪波形的動作。

亮度層次 (Intensity Grading) – 瞭解波形實際動作所必須的發生頻率資訊。

內插法 (Interpolation) – 只根據幾個取樣點估算快速波形外貌的一種「連接點」處理技術。有兩種類型：線性和 $\sin x/x$ 。

千赫 (Kilohertz, KHz) – 1000 赫，頻率的單位。

負載 (Loading) – 探棒和示波器與受測電路的非故意互動，會使訊號失真。

邏輯分析儀 (Logic Analyzer) – 顯示一段時間中許多數位訊號之邏輯狀態的儀器。它會分析數位資料，並將資料表現為即時軟體執行、資料流數值、狀態次序等。

一百萬赫 (Megahertz, MHz) – 1,000,000 赫，頻率單位。

每秒百萬取樣 (Megasamples per second, MS/s) – 取樣率單位，等於每秒一百萬個取樣。

微秒 (Microsecond, μs) – 時間單位，等於 0.000001 秒。

毫秒 (Millisecond, ms) – 時間單位，等於 0.001 秒。

奈秒 (Nanosecond, ns) – 時間單位，等於 0.000000001 秒。

雜訊 (Noise) – 電路中無用的電壓或電流。

示波器 (Oscilloscope) – 用於顯示一段時間中之電壓變化的儀器。示波器 (Oscilloscope) 一字源自「振盪 (oscillate)」，因為示波器時常用於量測振盪電壓。

峰值 (Peak, V_p) – 從零參考點量測到的最大電壓位準。

峰值偵測 (Peak Detection) – 數位示波器具備的一種擷取模式，可讓您觀察以其他方式可能遺漏的訊號詳細資料，在檢視時間分隔很遠的窄脈波時特別實用。

峰對峰值 (Peak-to-peak, V_{p-p}) – 從訊號最大點量測到訊號最小點的電壓。

週期 (Period) – 波完成一個循環所花的時間量。期間等於 1/頻率。

相位 (Phase) – 從一個循環開始到下一個循環開始所經過的時間量，以度來量測。

相位偏移 (Phase Shift) – 兩個看起來相同之訊號間的時序差。

前置觸發檢視 (Pre-trigger Viewing) – 數位示波器擷取訊號在觸發事件之前的行為之能力。判斷觸發點之前和之後的可檢視訊號之長度。

探棒 (Probe) – 示波器的輸入裝置，通常有一個金屬尖頭，可以接觸電路元素通電、有一條導線可以連接至電路的接地參考，還有一條柔韌的接線可以傳輸訊號和接地至示波器。

脈波 (Pulse) – 一種常見波形，有快速上升邊緣、寬度和快速下降邊緣。

脈衝串 (Pulse Train) – 一起傳送的一組脈波。

脈波寬度 (Pulse Width) – 脈波從低到高再返回低所花的時間量，習慣上以全電壓的 50% 量測。

斜坡 (Ramps) – 以固定速率變化之正弦波電壓位準的轉態。

光柵 (Raster) – 一種顯示器類型。

即時取樣 (Real-time Sampling) – 示波器從一次觸發擷取能力所及的最大取樣數之一種取樣模式。適合頻率範圍低於示波器最大取樣率的訊號。

記錄長度 (Record Length) – 用於建立一筆訊號記錄的波形點數目。

上升時間 (Rise Time) – 脈波 前緣從低值上升到高值所花的時間，通常從 10% 量測到 90%。

取樣 (Sampling) – 將輸入訊號的一部分轉換為許多分離電氣值，以便由示波器儲存、處理和 (或) 顯示。有兩種類型：即時取樣和等時取樣。

取樣點 (Sample Point) – ADC 輸出的原始資料，用於計算波形點。

取樣率 (Sample Rate) – 數位示波器採取訊號取樣的頻率，以每秒取樣數 (S/s) 指定。

螢幕 (Screen) – 產生可見圖形的顯示器表面 – 顯示區域。

訊號完整性 (Signal Integrity) – 訊號的準確重建，除了用於擷取訊號的探棒之外，還需由示波器系統和性能考量決定。

訊號源 (Signal Source) – 用於將訊號注入電路輸入的一種測試裝置。示波器再去讀取電路的輸出。也稱為訊號產生器。

正弦波 (Sine Wave) – 以數學定義的一種常見曲線波形。

單擊 (Single Shot) – 由示波器量測，只發生一次的訊號 (也稱為暫態事件)。

單次掃描 (Single Sweep) – 顯示訊號的一次觸發畫面，然後就停止的一種觸發模式。

斜率 (Slope) – 圖形或示波器螢幕上，垂直距離與水平距離的比例。正斜率是從左至右增加，而負斜率則從左至右減少。

方波 (Square Wave) – 包含重複方形脈波 的常見波形。

掃描 (Sweep) – 示波器電子束在 CRT 螢幕上右左至右的一次水平經過。

掃描速度 (Sweep Speed) – 同時基。

時基 (Time Base) – 控制掃描時序的示波器電路。時基由秒 / 格控制器設定。

軌跡 (Trace) – 電子束運動在 CRT 上描繪的可見形狀。

轉換器 (Transducer) – 將聲音、壓力、張力或光線亮度等特定物理量轉換為電氣訊號的裝置。

暫態訊號 (Transient) – 由示波器量測，只發生一次的訊號 (也稱為單擊事件)。

觸發 (Trigger) – 參考示波器上水平掃描的電路。

觸發保持 (Trigger Holdoff) – 可讓您調整有效觸發後之一段時間的控制器，示波器在這段時間內不能觸發。

觸發位準 (Trigger Level) – 觸發源訊號必須先達到此電壓位準，觸發電路才會啟始掃描。

觸發模式 (Trigger Mode) – 決定示波器若未偵測到觸發，是否會描繪波形的模式。常見觸發模式包括一般和自動。

觸發斜率 (Trigger Slope) – 觸發源必須先達到此斜率，觸發電路才會啟始掃描。

垂直解析度 (類比至數位轉換器) Vertical Resolution (Analog-to-Digital Converter) – 數位示波器中的類比至數位轉換器 (ADC) 能夠多精確地將輸入電壓轉換為數位值的指示，以位元來量測。計算技術 (例如高解析度擷取模式) 可以提高有效解析度。

垂直靈敏度 (Vertical Sensitivity) – 垂直放大器可將微弱訊號放大到什麼程度的指示 – 通常以每格毫伏 (mV) 量測。

伏特 (Volt) – 電位差的單位。

電壓 (Voltage) – 兩點之間的電位差，以伏特表示。

波 (Wave) – 隨著時間重複之圖形的總稱。常見的類型包括：正弦波、方波、矩形波、鋸齒波、三角波、步進波、脈波、週期性、非週期性、同步、非同步。

波形 (Waveform) – 隨著時間變化之電壓的圖形表示。

波形擷取速率 (Waveform Capture Rate) – 代表示波器擷取波形有多快，以每秒波形 (wfms/s) 來表示。

波形點 (Waveform Point) – 表示特定時間點之訊號電壓的數位值。波形點是利用取樣點計算，儲存在記憶體中。

寫入速度 (Writing Speed) – 類比示波器提供訊號從某點運動到另一點之可見軌跡的能力。在具有快速移動的詳細資料之低重複訊號 (例如數位邏輯訊號) 上，此一能力會受到限制。

Z 軸 (Z Axis) – 示波器的一種顯示屬性，會在形成軌跡時顯示亮度變化。

Tektronix 簡介

Tektronix 是專業的測試、量測及監測的公司，專門提供全球通訊、電腦及半導體等業界量測解決方案。擁有五十五年以上的經驗傳承，Tektronix 致力於協助客戶在設計、建立、佈署及管理「下一世代」全球通訊網路、電腦和先進技術的發展。總部位於美國奧勒崗州 Beaverton 市，在海外24個國家設有營運據點。

www.tektronix.com.tw

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

台北 (02)2722-9622 新竹 (03)573-6627 高雄 (07)345-8251

©2002年太克科技股份有限公司版權所有。TEKTRONIX及TEK標誌為Tektronix, Inc. 的註冊商標。
文件裡提到的所有其他商業名稱分屬各擁有公司的服務標誌、商標或註冊商標。

Tektronix
Enabling Innovation