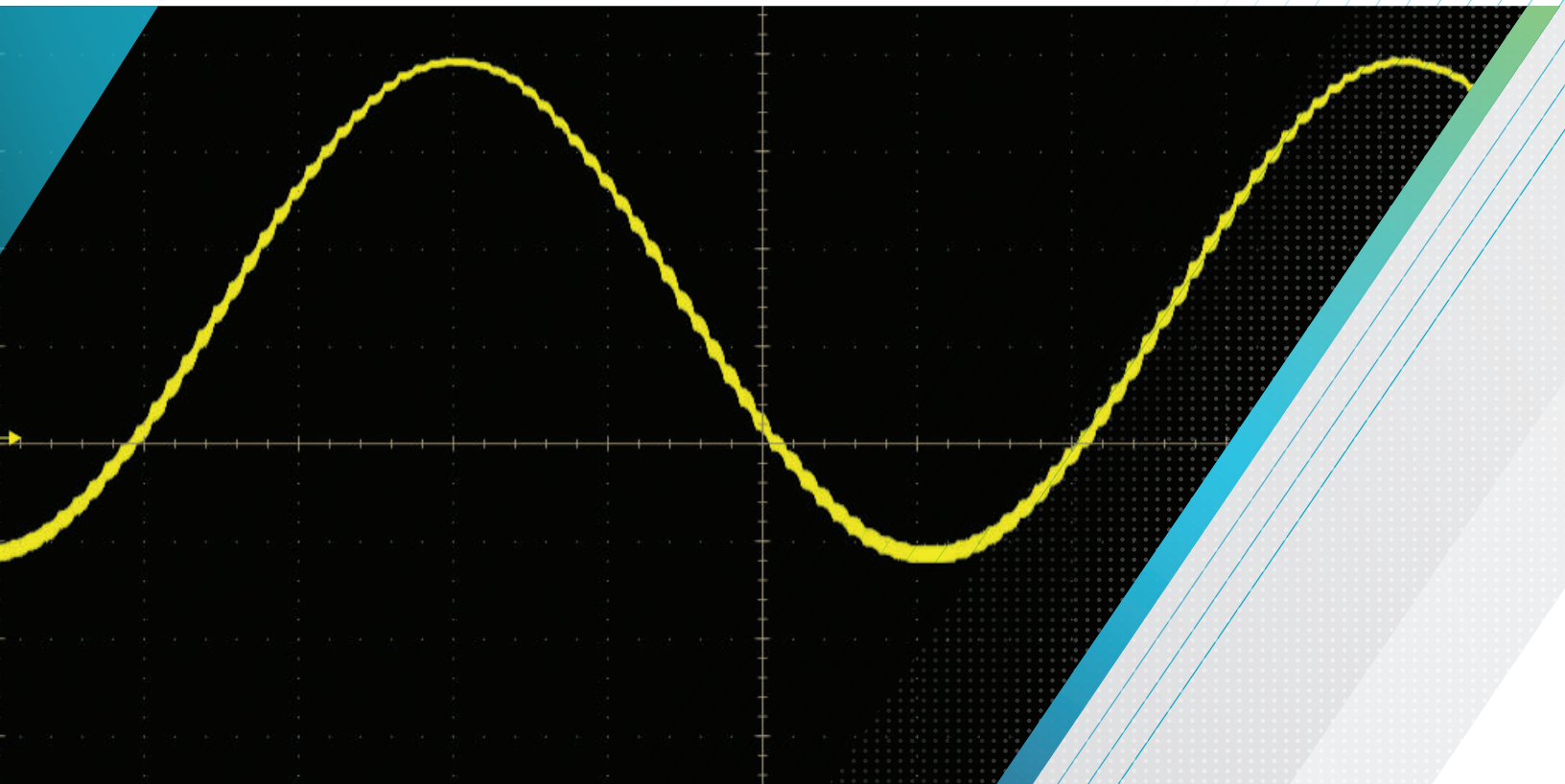


可將示波器量測解析度提升 高於 11 位元的工具

應用摘要



全系統方法

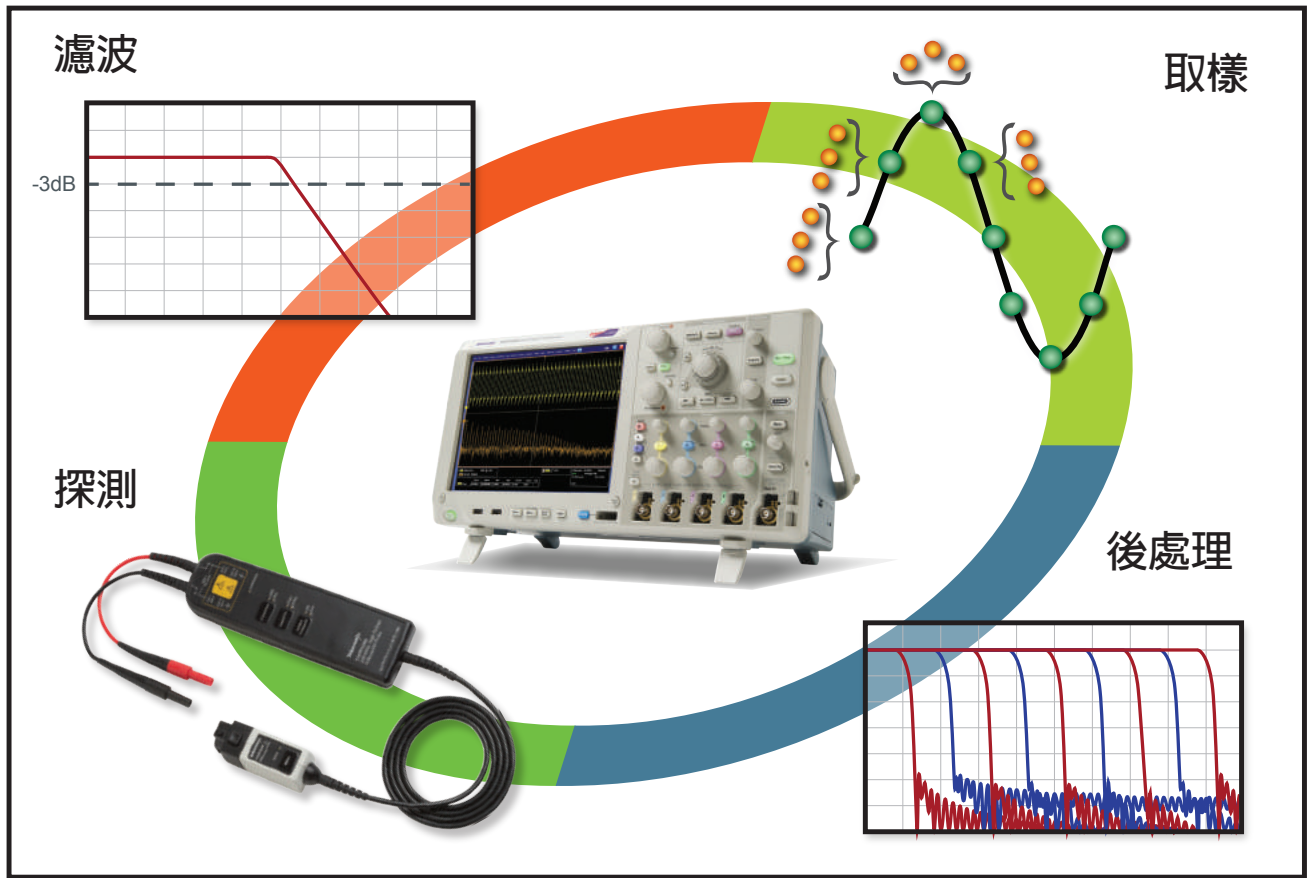


圖 1. 整個量測系統皆須進行最佳化處理，以取得高解析度結果。

進行高解析度量測時，您可以將數位示波器視為一個系統來改善您的量測結果。若對示波器的操作模式、探棒的效能特性、濾波技術及整個系統的互動方式有了基本的認識，將可有效提升微小訊號細節的量測結果。本應用摘要介紹了一些量測及訊號處理技術，可以在現代數位示波器提升高解析度的波形擷取。瞭解這些好處和權衡考量後，您將可輕鬆地利用您的示波器取得最佳的量測解析度。

若要進行高解析度量測，請務必將數位示波器視為一個系統，而不只是一個類比對數位轉換器。整個訊號路徑均須納入考慮：從探棒頭、通過示波器的類比前端、取樣及數位訊號處理。系統中的每個元素 (如圖 1 所示) 均會對量測解析度有所影響，而且皆可進行最佳化處理，以取得最佳的結果。

探測

探棒的選擇和探棒設定是關鍵因素

探測的角色似乎是顯而易見，但也必須做出一些取捨以取得最佳的結果，尤其是在進行高解析度量測時。示波器隨附的被動式探棒可能不是獲得最佳解析度的最佳解決方案。

基於本應用摘要的目的，我們將概述會影響高解析度量測結果的各種探測因素。如需其他有關探測的資訊，請參閱 www.tektronix.com 上所提供的 Tektronix 《探棒ABC入門手冊》(60T-6053-XX)。

盡可能降低衰減以最大化訊號雜訊比。針對高解析度量測，請務必在盡可能地減少外部雜訊的同時，最大化訊號振幅。探棒的選擇是關鍵的第一步。電壓探棒通常會利用示波器的輸入阻抗形成電壓分壓器 (即 1X、10X、100X) 來衰減輸入訊號。1X探棒並不會降低或衰減訊號，而10X探棒會將輸入降低至原始訊號振幅的1/10。示波器會放大訊號以補償這種衰減，但不幸的是，由探棒和示波器加入的任何雜訊也會一併放大。從訊號對雜訊的角度來看，最佳的探棒應提供很少的衰減或甚至是零衰減。例如，TPP0502高阻抗被動式探棒 (如圖 2 所示) 可提供500 MHz頻寬，但只有2X衰減。

使用短引線以盡可能減少雜訊耦合。所有電壓量測皆是相對於參考點 (通常是「接地」) 進行。準確量測，尤其是低電壓量測，主要是取決於參考電壓的低阻抗路徑。為了盡量減少訊號失真和雜訊拾取，您應該用盡可能最短的接地。雖然標準被動式探棒上的長接地引線方便進行瀏覽，但引線電感會與輸入電容發生諧振，而在快速邊緣產生振鈴。



圖 2. TPP0502 被動式探棒，500MHz 和 2x 衰減。

由探棒頭和接地引線所形成的大型迴路區域，會使雜訊的磁耦合進入訊號。而且，若接地引線和雜訊來源 (如切換式裝置) 的感抗之間極為接近，將會使雜訊靜電耦合進入訊號。最好的解決辦法是減少接地引線的長度，並將其連接至盡可能靠近訊號連接的基準點。

利用內建的探棒濾波器減少雜訊。許多主動式差動電壓探棒和 (或) 電流探棒均標準配備頻寬濾波功能。內建在探棒體的頻寬濾波功能有時可提供多種頻寬設定，具備充分的靈活性。在一些情況下，當選擇這些頻寬濾波器之一時，探棒會與示波器進行通訊，同時也會開啟示波器前端的硬體濾波功能。這會進一步減少系統雜訊，並有助於增加系統的訊號雜訊。過濾掉不需要的雜訊可讓您查看更多的細節，並獲得較高的量測解析度。

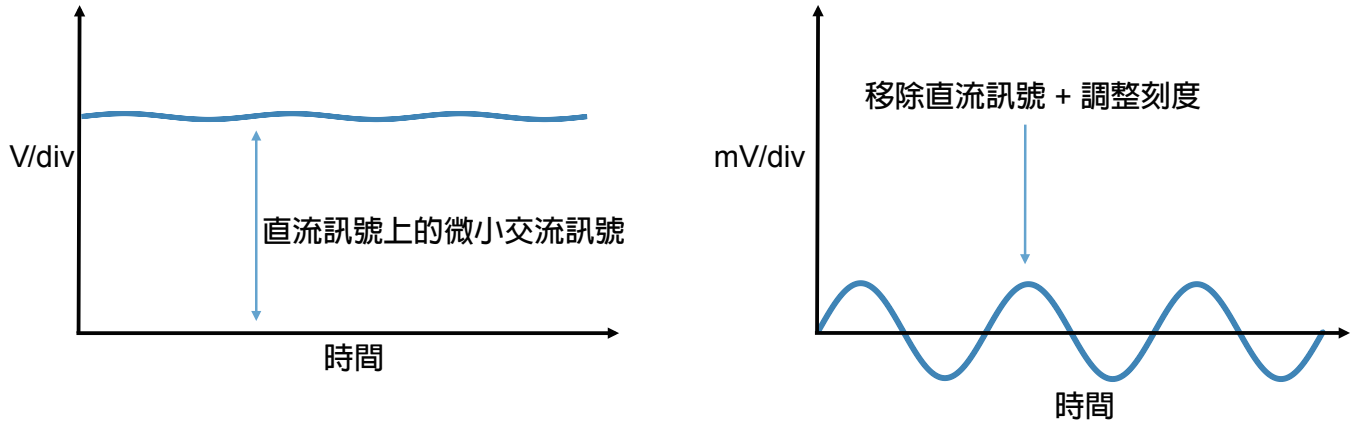


圖 3. 左側為交流+直流訊號。右側為移除直流分量並縮放交流分量，以取得更好的解析度。

使用直流訊號來量測微小的交流訊號

附註：當量測包含較大的電壓時，請務必驗證最大電壓維持在測試系統的「絕對」或「非破壞性」最大輸入規格，以確保您的安全和設備的可靠性。此外，也務必使訊號保持在標稱的操作範圍內 (例如，在主動式探棒的線性範圍或動態範圍內)，以取得準確的量測結果。

雖然靠近接地的低位準量測極具有挑戰性，但依靠在大型直流分量的低電壓交流訊號量測更是困難。在電源供

應器上進行漣波量測即是此應用 (圖 6) 的常見的範例。直流偏移的處理可能會涉及探棒設定及示波器前端設定等程序。

在ADC偏移上量測低電壓訊號的最簡單方法為是使用接地參考探棒擷取整個訊號，然後嘗試量測交流分量 (圖3左)。此技術無法讓交流訊號量測充分利用量測系統的動態範圍，且訊號雜訊比將不如預期。

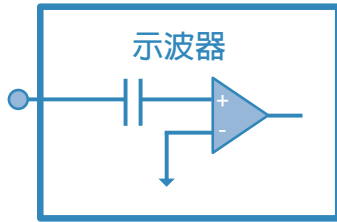


圖 4. 在示波器輸入放大器的交流耦合。

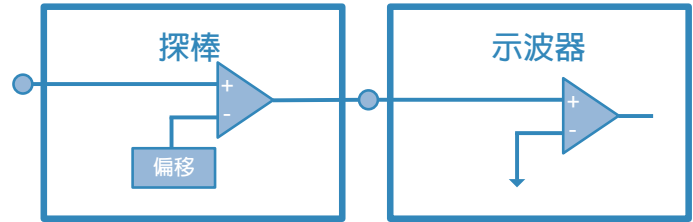


圖 5. 在探棒中加入直流偏移。

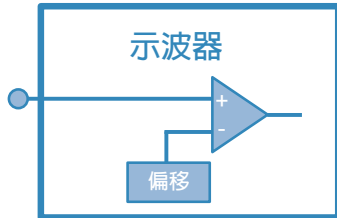


圖 6. 在示波器輸入放大器中加入直流偏移。

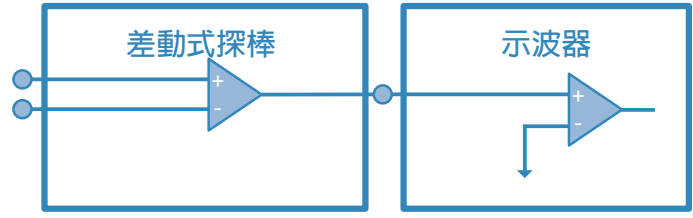


圖 7. 差動式探測僅適用於輸入至示波器輸入放大器的交流訊號。

另一種技術是在示波器的輸入端使用交流耦合 (或「直流封鎖」)。您通常可以從示波器的通道設定選取交流耦合功能。此功能會以串聯方式插入電容器與輸入訊號來封鎖直流。只要訊號未失真，交流耦合即可從輸入訊號去除直流分量，如驅動主動式探棒超出其最大範圍。電容器在封鎖直流電流方面非常有效，但也可能會封鎖極低的頻率變化 (如漂移)。最後，可能並非所有示波器輸入終端設定中均提供交流耦合功能。

較好的方法是在放大器上手動加入精確的直流偏移電壓，以補償輸入訊號上的直流偏移。偏移可以套用於主動式探棒的放大器 (請參閱圖 5)。使用直流偏移是比使用交流耦合更明智的做法，因為偏移方法可以讓您查看直流位準中的變化，而交流耦合則會完全封鎖直流電流。

另外，偏移可應用在示波器的輸入放大器中。再次提醒，只要訊號未失真，此方法即可從輸入訊號中移除直流分量。

前述的範例均使用單端或接地參考的探測方法。在某些情況下，電路中的分量可能具有感興趣的低振幅訊號，但訊號會在某些直流位準浮動 (高於或低於接地)。較好的選擇可能是使用差動式主動探棒來跨越分量量測感興趣的訊號，而不是使用接地探棒，因為接地探棒必須量測相對於接地點的直流偏移。

針對差動式探棒，所有關於探棒規格的指導方針仍然適用，包括最大電壓限制。此外，共模互斥比 (CMRR) 非常重要，因為這代表了探棒的排斥或忽略訊號 (或任何兩種輸入常見的訊號) 直流分量的能力。

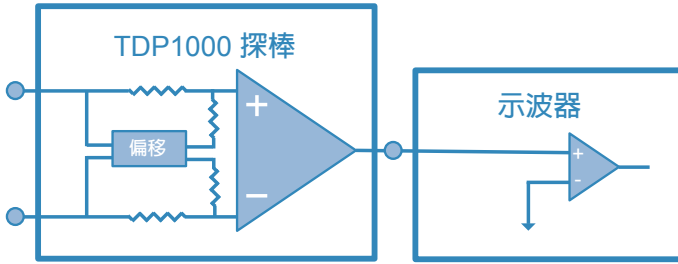


圖8. TDP1000 差動式探棒中的自動直流偏移補償。

某些進階的探棒 (如Tektronix TDP1000 差動式探棒) 利用直流排斥模式來取代和改善偏移技術，充分發揮差動式探測的優勢。直流排斥會利用量測輸入訊號，並產生可取消訊號直流分量的內部偏移，來自動化相關的偏移程序。因為輸入訊號一律直接耦合至放大器，所以直流排斥模式不會增加直流分量的共模和差動模式的動態範圍。

限制輸入訊號的動態範圍

若要量測訊號在接地周圍部分的細節，您可以放大波形，使較高的訊號區段離開螢幕。這是一個很好的方法，但請務必謹慎處理，否則過激探棒或示波器輸入放大器可能會導致失真。主動式探棒和示波器前端中的放大器是專為在其線性範圍內操作所設計。若在線性範圍外，輸入訊號可能會失真 (主動式探棒的線性動態範圍通常會於產品規格表中指定。示波器的線性範圍約為全螢幕)。當訊號超過線性範圍時，放大器會發生過激，並可能會耗費大量的時間

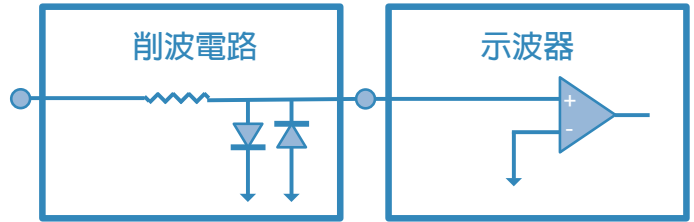


圖9. 簡化的削波電路，以限制至0V周圍感興趣的區域 (接地) 的輸入訊號。

進行恢復。這也稱為「步進回應穩定時間」。例如，Tektronix MSO/DPO70000系列示波器指定了三個參數：增益穩定 (全刻度)、穩定誤差 (%) 和時間。這些參數指示了特定的全刻度電壓範圍、螢幕上允許的範圍百分比，以及穩定回到正常操作的典型波形時間。

為了進行高解析度量測，一般不建議過激放大器和超過動態範圍。但是，若您是量測訊號發生過激狀況之前或很久之後的部分 (可讓放大器完全恢復)，您也許能得到良好的量測結果。您應該考慮使用教科書和工業文獻中可找到的多種標準訊號削波電路之一，而不是過激示波器或探棒放大器。削波電路 (如圖 9所示) 通常用於限制輸入至示波器的電壓。圖 9中的電路將會用於將輸入削剪至一個高於或低於接地的二極體壓降，以在興趣點周圍 (在此情況下是接地周圍的微小訊號) 取得更高的解析度，而無需過激 ADC 的線性範圍。類似電路可用於偏移高於或低於接地的感興趣區域。

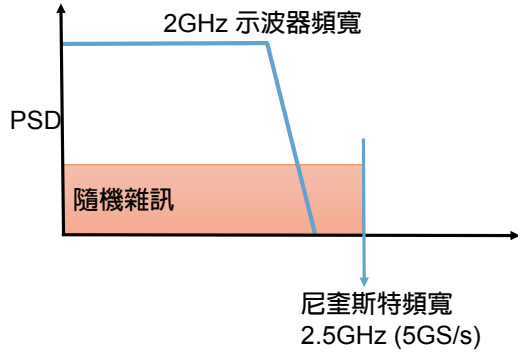


圖10. 尼奎斯特頻寬和其與隨機通道雜訊的關係。

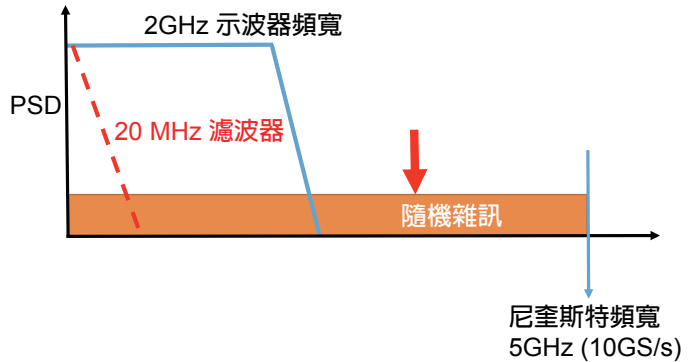


圖11. 較高的取樣率會散開隨機通道雜訊。

濾波

使用硬體頻寬限制和取樣率以降低雜訊

在大多數情況下，進行高解析度量測時，雜訊的重要性高於 ADC 解析度。大多數的示波器和一些進階的探棒均具有會限制量測系統頻寬的電路。透過限制頻寬，波形上的雜訊可能會減少，從而產生更清晰的訊號顯示和更穩定的訊號量測。雜訊量大約是依據頻寬的平方根縮放。其副作用是在消除雜訊時，頻寬限制同時也會減少或消除高頻訊號的內容。許多 Tektronix 示波器會在垂直通道功能表中納入 20 MHz 和 250 MHz 的類比濾波器。

數位示波器的取樣率也是雜訊降低的因素之一。尼奎斯特定理 (Nyquist Theorem) 指出，為了重現所需頻寬內

所有訊號內容的準確表示，取樣率必須大於頻寬的 2 倍。例如，2 GHz 的通道頻寬示波器將需要 4 GS/s 以上的取樣率，才能準確地表示訊號。因為，依定義，隨機雜訊會包含所有頻率，量測通道中的隨機雜訊功率頻譜密度 (PSD) 將均等地分佈在尼奎斯特頻寬，選定取樣率的一半。例如，在 5 GS/s 的示波器上，尼奎斯特頻寬為 2.5 GHz，但示波器頻寬在 2 GHz 處會過濾截止區和尼奎斯特頻寬之間的雜訊，請參閱圖 10。

隨著取樣率的增加，隨機雜訊將會均勻分佈在更寬的尼奎斯特頻寬範圍內。在圖 11 中，我們正在尋找具有 5 GHz 尼奎斯特頻寬的 10 GS/s 示波器。隨機通道雜訊現在會分佈在 5 GHz (而不是 2.5 GHz) 範圍內。如果示波器頻寬保持相同，則淨效應會排斥更大的雜訊量。若使用濾波器來降低示波器頻寬，將可進一步降低雜訊。

取樣

使用可提升解析度的取樣技術

數位訊號處理通常應用於原始取樣，以將示波器上的垂直解析度細化至超過其類比對數位轉換器 (ADC) 的解析度。此類的處理技術包含波形平均和 HiRes 等兩種模式。在說明者兩種模式前，請先瞭解下列相關的定義。

垂直解析度通常被視為類比對數位轉換器 (ADC) 將輸入電壓轉換為數位值的精確度量測。但更正確的說，這是轉換過程的粒度，且以位元為單位進行量測。例如，絕大多數的示波器是以 8 位元解析度的 ADC 為基礎，這代表了輸入訊號的取樣為 28 或 256 個離散量化或數位化位準之一。

精確度反映了在量測訊號振幅時的重複性和一致性。理論上，N 位元 ADC 的解析度會限制量測系統在識別和表示小訊號上的能力。此能力可以表示為訊號雜訊比 (SNR)。當 SNR 越好，您量測小電壓量測的機會也就越好。

$$\text{SNR} = 6.08 * N + 1.8$$

其中： SNR 是訊號雜訊比 (以dB為單位)
N 是數位化器中的位元數

垂直準確度 vs. 垂直解析度

請務必要對比垂直解析度與垂直準確度。垂直準確度反映了振幅量測與對訊號實際振幅的接近程度。

有一些數位示波器已內建較高解析度的ADC。雖然這些示波器暗示比 8 位元產品更加準確，但這不一定正確。配備 8 位元 ADC 的系統，搭配高效能探棒和訊號處理功能也許可提供與配備較高位元數的系統相當的結果，甚至可能更好。

直流準確度是常見的示波器規格，只是簡單的準確度與該儀器可量測的ADC值。言下之意是在量測交流訊號時，若儀器具有更好的直流準確度，也就會更加準確；但這種說法未必正確。示波器和探棒的許多其他特性皆有助於提升整體的準確度。

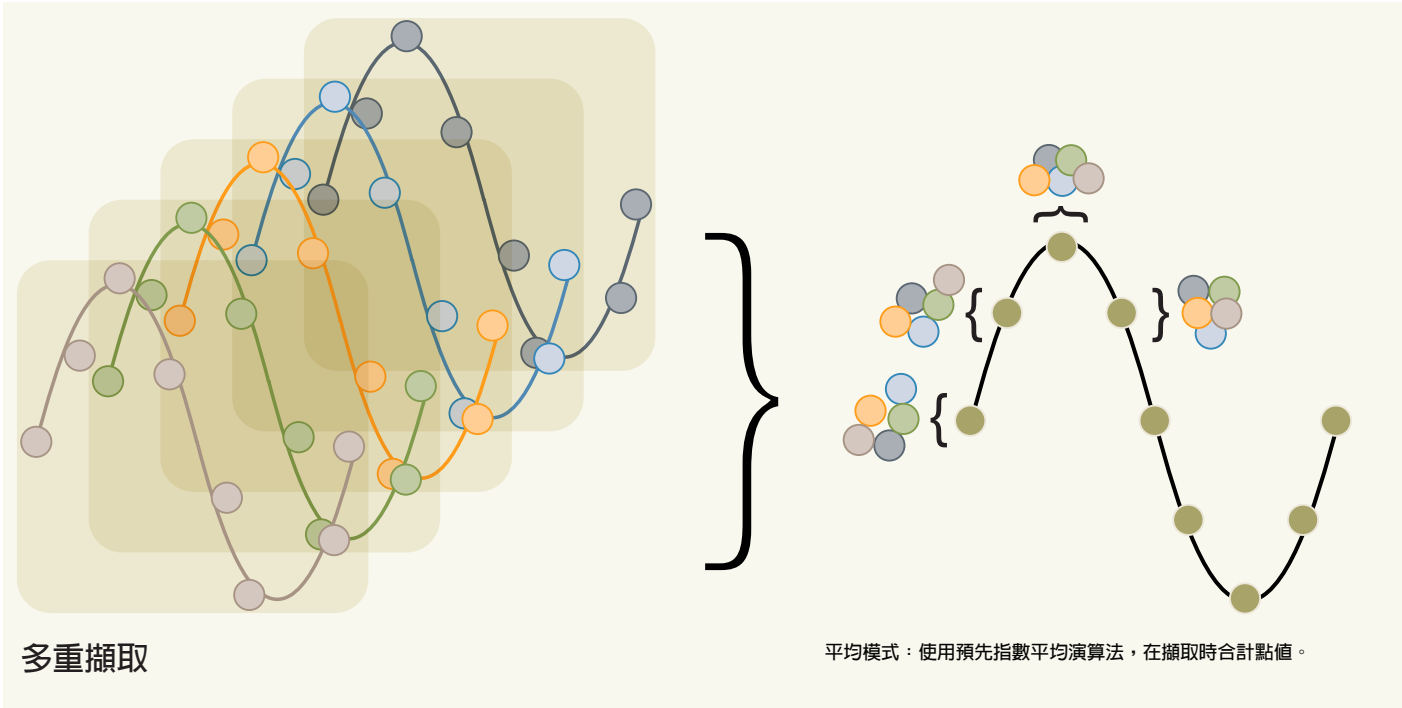
最後和更複雜的規格是位元有效位數 (ENOB)，這是儀器在各種頻率下準確表示訊號的能力規格。ENOB 是由適用於數位化波形記錄器的IEEE標準 (IEEE標準 1057) 定義。如同增益頻寬或波德圖，ENOB 會隨著頻率變化，並通常會隨著頻率降低。這種數位化器效能下降可視為在訊號上增加隨機或偽隨機雜訊位準。這些誤差的來源包括直流偏移、增益誤差、類比非線性、轉換器非單調性和遺失代碼、觸發抖動、孔徑不確定性 (取樣時間抖動)，以及隨機雜訊。有效位元的主題非常複雜，超出了本文件所說明的示波器內容。如需相關資訊，請參閱 www.tektronix.com.tw 上所提供的 Tektronix 《有效的位元應用摘要》(4HW-19448-XX)。

示波器擷取模式

在 Tektronix 示波器中，「擷取模式」一詞指的是波形資料的初始表示，一般為 8 位元或 16 位元解析度。所有後續處理操作 (顯示、自動量測、游標、數學運算和應用) 皆是根據由擷取模式所定義的訊號表示。

在大多數示波器中預設的擷取模式為取樣模式。這是最簡單的擷取模式，其中，典型的示波器會以所選擇的取樣率 (最高可達最大的取樣率)，使用 8 位元振幅值來表示波形上的各點。

若要量測低電壓訊號，有兩種重要的擷取模式 (取決於波形的可重複性)，因為這些模式將可用於改善量測解析度：平均和 HiRes。後續章節將會詳細介紹這兩種模式。如需使用其他擷取模式的相關資訊，請參閱 www.tektronix.com.tw 上所提供的 Tektronix 《深入瞭解示波器入門手冊》(03T-8605-XX)。



多重擷取

平均模式：使用預先指數平均演算法，在擷取時合計點值。

圖12. 平均擷取模式會計算多次擷取上的每個記錄點的平均值。

平均

平均模式是在示波器擷取系統中的基本雜訊減少訊號處理技術之一。此模式取決於重複訊號的多重觸發擷取。此模式使用來自兩個或多個擷取的資料，逐點平均這些擷取中的對應資料點，以形成輸出波形。平均模式可改善訊號雜訊比、減少與觸發不相關的雜訊、增加垂直解析度，並使重複的訊號更易於觀看。

計算平均波形的傳統方法是僅加總來自所有擷取的對應取樣，並除以擷取數。但是，這種方法將要等到所有期望的 N 個波形均已擷取後才會顯示平均值。對大多數使用者而言皆無法接受如此延遲，且擷取資料量很快就會耗盡示波器的記憶體容量。

$$A_N = (1 / N) * (x_0 + x_1 + x_2 + ... + x_{n-1})$$

- 其中： A_N 是平均擷取中的點
- N 代表要求的平均值總數
- x_n 是擷取 n 中的點
- n 代表擷取數

您可修改傳統的平均演算法，以在每次擷取另一個波形時顯示中間結果，在顯示平均的波形時解決延遲問題。但是，資料的儲存問題仍存在。

穩定的平均演算法為：

$$a_n = (1 / n) * (x_0 + x_1 + x_2 + ... + x_{n-1})$$

- 其中： a_n 是目前平均擷取中的點
- x_n 是新擷取 n 中的點
- n 代表擷取數

請注意，若要取得 N 次擷取的總和平均，只需將示波器設為單次序列模式。在此模式下，當 n 達到 N 時，擷取即會停止，且平均的波形將會包含 N 次擷取的波形。

應用摘要

Tektronix 示波器使用指數平均演算法，可在每個擷取時於顯示器上更新中間結果，並顯著地降低了所需的儲存區。指數平均程序會使用下列公式，從新的擷取 x_n 和先前的平均波形 a_{n-1} 來建立新的平均波形 a_n ：

$$a_n = a_{n-1} + (1/p) * (x_n - a_{n-1}) = a_{n-1} * ((p - 1) / p) + (x_n / p)$$

其中： n 代表擷取數

N 代表要求的平均值總數

a_n 是平均擷取中的新點

a_{n-1} 是過去的平均擷取中的點

x_n 是新擷取中的點

p 為加權因數

若 ($n < N$)，則 $p = n$ ；否則 $p = N$

產生的平均波形將會相同，與使用何種平均演算法無關。但是，若考慮如何更加有效，則指數平均演算法將較適合針對所擷取和平均的波形進行計算和儲存。

這兩種算法皆可顯示波形中一致趨勢的影響。您可透過緩慢的訊號輕鬆地查看此現象。如果訊號穩定，您將會看到在前 N 次擷取過程中雜訊會逐次減少。在 N 次擷取後，訊號仍會改變，但將不再在整體雜訊減少或垂直解析度上有所改善。

平均方法可增加訊號的垂直解析度。此增強值 (以位元為量測單位) 是平均值總數量的函數：

$$\text{增強的解析度} = 0.5 \log_2(N)$$

其中： N 表示波形平均值的總數。

平均值數量	增強的解析度 (位元)	總垂直解析度 (位元)
1	0.0	8.0
2	0.5	8.5
4	1.0	9.0
8	1.5	9.5
16	2.0	10.0
32	2.5	10.5
64	3.0	11.0
128	3.5	11.5
256	4.0	12.0
512	4.5	12.5
1024	5.0	13.0
2048	5.5	13.5
4096	6.0	14.0
8192	6.5	14.5
10000	6.64	14.64

表1. 由於平均而產生的增強垂直解析度。

表 1 顯示波形平均所提供的理想解析度增強結果。

再次提醒，表 1 中的值是理想的狀態。在許多 Tektronix 示波器中，平均演算法是採用定點運算來實作。平均值的最大值為 10,000，可將總解析度位元限制至理想最大值 14.64。在實作中，定點數學運算、雜訊和抖動誤差皆會造成最大解析度略為降低。

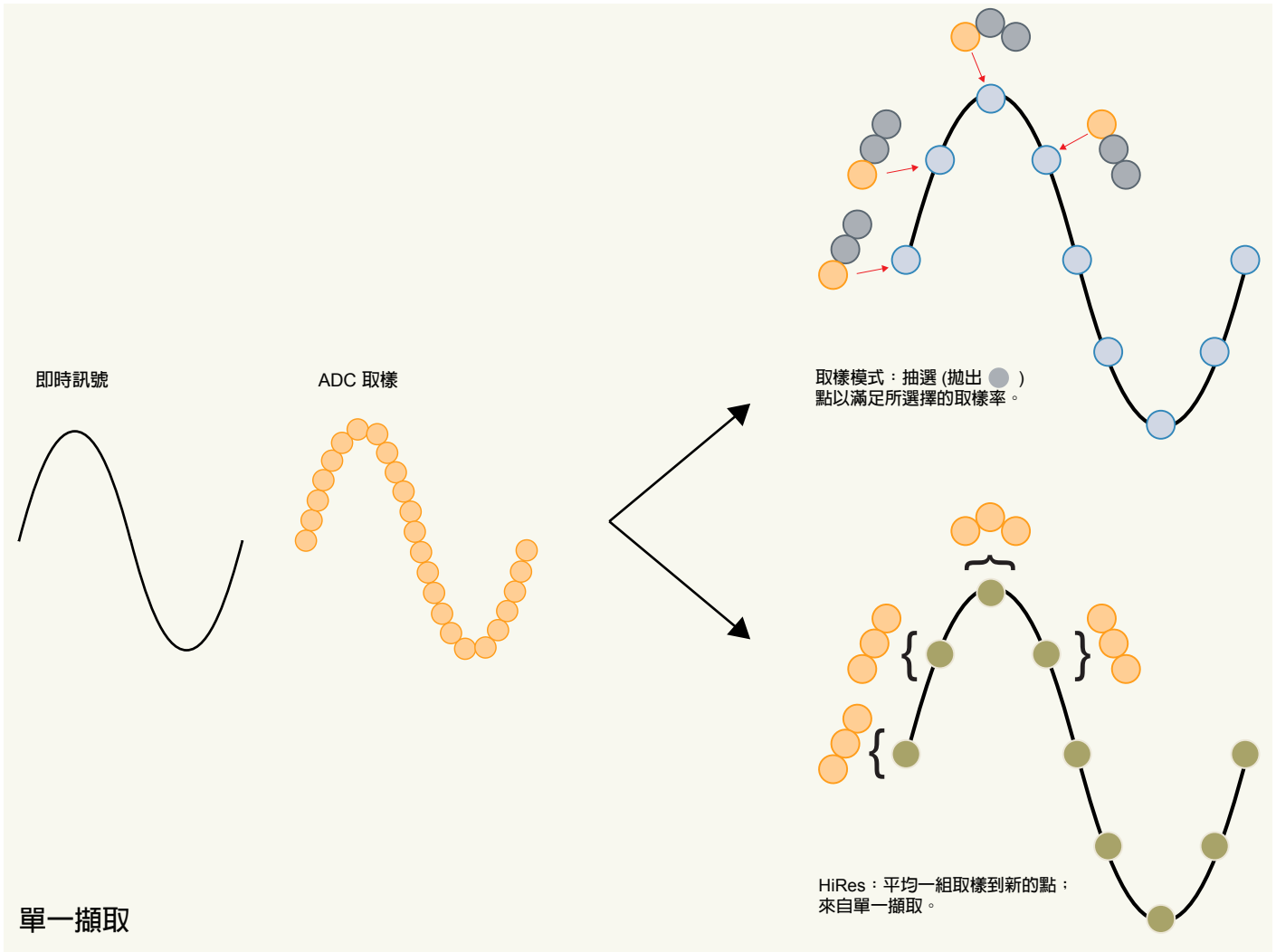


圖13. HiRes擷取模式會計算每個擷取時間間隔的所有取樣平均值。

HiRes 擷取模式

HiRes 模式為 Tektronix 專利的擷取程序，可計算並顯示每個取樣間隔中所有連續取樣值的平均值。此模式提供了過取樣權衡方法以取得其他有關波形的資訊。在 HiRes 模式中，額外的水平取樣資訊會被取捨掉，以提供更大的垂直解析度和減少的頻寬和雜訊。HiRes 處理會在自訂硬體中完成，以盡量提升速度。相較於平均模式，HiRes 模式的關鍵優勢之一在於 HiRes 模式甚至可以在單次擷取上使用。

HiRes 的頻寬限制和垂直解析度增加量會隨著儀器的最大取樣率和實際 (選定) 取樣率而有所不同。實際的取樣率通常會顯示在螢幕的底部附近，而最大取樣率則可於產品規格表中取得。

垂直解析度的位元為：

$$\text{垂直位元} = 8 + 0.5 \log_2 * (D)$$

其中：D 是抽選比，或最大取樣率/實際取樣率。

產生的 -3 dB 頻寬 (除非量測系統的類比頻寬進一步限制) 是：

$$\text{頻寬} = 0.44 * SR$$

其中：SR 為實際取樣率：

取樣率	平均值	解析度位元	-3 dB 頻寬
6.25 GS/s	1	8.0	2.75 GHz
3.125 GS/s	2	8.5	1.38 GHz
1.25 GS/s	5	9.2	550 MHz
625 MS/s	10	9.7	275 MHz
250 MS/s	25	10.3	110 MHz
125 MS/s	50	10.8	55 MHz
62.5 MS/s	100	11.3	27.5 MHz
25 MS/s	250	12.0	11 MHz
12.5 MS/s	500	12.5	5.5 MHz
5 MS/s	1,250	13.1	2.2 MHz
2.5 MS/s	2,500	13.6	1.1 MHz
1 MS/s	6,250	14.3	440 kHz
500 kS/s	12,500	14.8	220 kHz
250 kS/s	25,000	>15	110 kHz
100 kS/s	62,500	>15	44 kHz
50 kS/s	125,000	>15	22 kHz
25 kS/s	250,000	>15	11 kHz
10 kS/s	625,000	>15	4.4 kHz
5 kS/s	1,250,000	>15	2.2 kHz
2.5 kS/s	2,500,000	>15	1.1 kHz
1 kS/s	6,250,000	>15	440 Hz

表 2. HiRes 搭配 6.25 GS/s 示波器的增強垂直解析度。

針對具有最大非交錯式取樣率 6.25 GS/s 的示波器，HiRes 可提供下列效能 (請參閱表 2)。

針對具有最大非交錯式取樣率 5 GS/s 的示波器，HiRes 可提供下列效能 (請參閱表 3)。

取樣率	平均值	解析度位元	-3 dB 頻寬
5 GS/s	1	8.0	2.2 GHz
2.5 GS/s	2	8.5	1.1 GHz
1 GS/s	5	9.2	440 MHz
500 MS/s	10	9.7	220 MHz
250 MS/s	20	10.2	110 MHz
100 MS/s	50	10.8	44 MHz
50 MS/s	100	11.3	22 MHz
25 MS/s	200	11.8	11 MHz
10 MS/s	500	12.5	4.4 MHz
5 MS/s	1,000	13.0	2.2 MHz
2.5 MS/s	2,000	13.5	1.1 MHz
1 MS/s	5,000	14.1	440 kHz
500 kS/s	10,000	14.6	220 kHz
250 kS/s	20,000	>15	110 kHz
100 kS/s	50,000	>15	44 kHz
50 kS/s	100,000	>15	22 kHz
25 kS/s	200,000	>15	11 kHz
10 kS/s	500,000	>15	4.4 kHz
5 kS/s	1,000,000	>15	2.2 kHz
2.5 kS/s	2,000,000	>15	1.1 kHz
1 kS/s	5,000,000	>15	440 Hz

表 3. HiRes 搭配 5 GS/s 示波器的增強垂直解析度。

表 2 和 3 列出的是理想的平均值。在許多 Tektronix 示波器中，平均演算法是實作在硬體中，搭配定點運算，可產生約 16 位元的最高解析度值。使用者所觀察到的解析度提升可能會稍差，且會取決於應用而有所相同，但是此訊號處理技術對一些應用而言極有價值。

在本應用摘要結尾部分的範例將會展示此技術。

取樣率	平均	解析度位元	-3 dB 頻寬
3.125 GS/s	2	12	1 GHz
1.25 GS/s	5	13	500 MHz
625 MS/s	10	14	200 MHz
312.5 MS/s	20	15	100 MHz
125 MS/s	50	16	50 MHz
62.5 MS/s	100	16	20 MHz
31.25 MS/s	200	16	10 MHz
12.5 MS/s	500	16	5 MHz
6.25 MS/s	1,000	16	2 MHz
3.125 MS/s	2,000	16	1 MHz
1.25 MS/s	5,000	16	500 kHz
625 kS/s	10,000	16	200 kHz
312.5 kS/s	20,000	16	100 kHz
125 kS/s	50,000	16	50 kHz
62.5 kS/s	100,000	16	20 kHz
31.25 kS/s	200,000	16	10 kHz
12.5 kS/s	500,000	16	5 kHz
6.25 kS/s	1,000,000	16	2 kHz
3.125 kS/s	2,000,000	16	1 kHz
1.25 kS/s	5,000,000	16	500 Hz

表 4. High Res 搭配 5 系列 MSO 的增強垂直解析度。

5 系列 MSO 的 High Res 擷取模式

High Res 模式是全新的 Tektronix 專利擷取程序，可產生非常高的垂直解析度。在高位準時，此模式類似於先前的技術，經由計算和顯示連續樣本的箱型平均值來交換時序解析度來改善垂直解析度。除了箱型平均發生的固有低通濾波之外，針對每種取樣率都會將獨特的 FIR 平滑濾波器應用於訊號，形成頻率回應，並最佳化垂直解析度的改善狀況。

與現有技術不同，5 系列 MSO 以 12 位元，6.25 GS/s ADC 的輸出開始，並在 ASIC 上實作數位訊號處理。另外，為了提高使用者的體驗，擷取標記表示解析度的垂直位元數，而啟用通道的垂直標記表示 -3 dB 頻寬。

5 系列 MSO 中的高解析度取樣模式提供了表 4 所示的效能。請注意，表 4 中所示的頻寬會由示波器通道和任何附加探棒施加的類比頻寬限制而進一步減少。

應用摘要

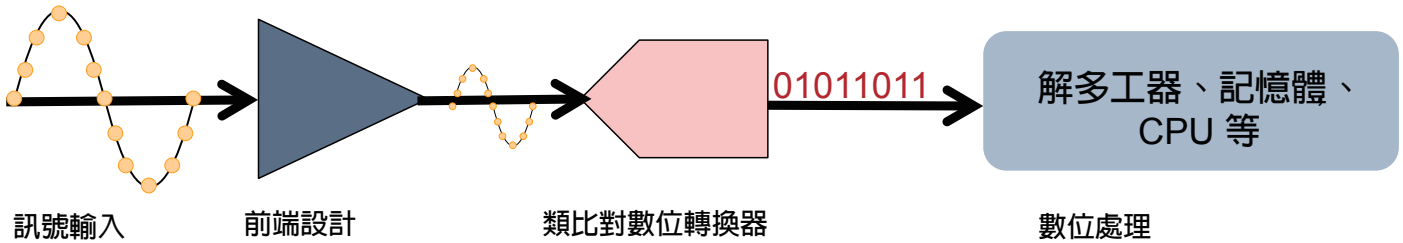


圖 14. 擷取的各個階段均應經過最佳化處理，以獲得最佳的解析度和雜訊效能。

後處理

雜訊無處不在，要學會濾波和最佳化！

本應用摘要的主題是使用者可最佳化所有的擷取階段，以提高垂直解析度和降低雜訊，來改善量測解析度。量測結果取決於多種因素和設定條件。雜訊可能來自外部來源、探測，或者甚至可能來自於示波器本身。而如差動式探測等技術，採用硬體濾波和取樣模式可降低一些此類效應，若要進一步改進結果，則可套用使用者指定的數位訊號處理 (DSP) 濾波器及數學運算通道濾波等方式。

在本應用摘要的前面章節中曾說明，類比頻寬限制是一個可減少寬帶雜訊技術。頻寬限制也通常會實作在軟體中 (如平滑演算法)，通常與硬體頻寬濾波結合來協助防止混疊。以軟體為基礎的頻寬限制濾波器可提供更多的濾波器頻寬選擇、更好的頻率控制和相位回應，以及更敏銳的截止特性。通常，這些選項會存在於較高的頻寬示波器，您可在垂直通道功能表中取得些選項。

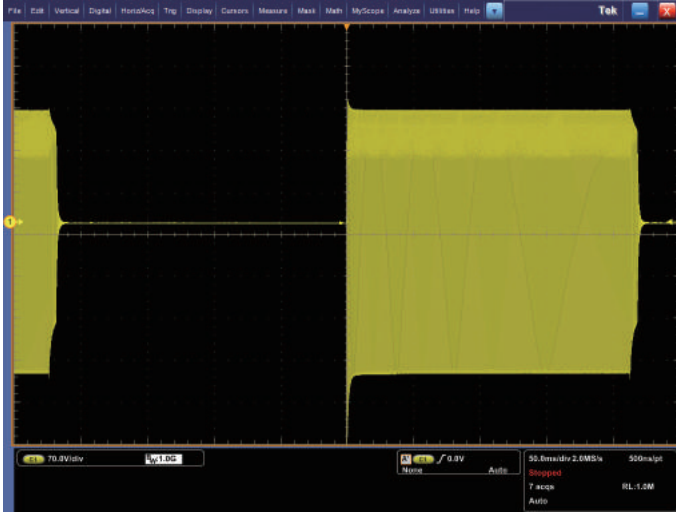


圖15. 電場發光線逆變器 - 大型650Vpp訊號。

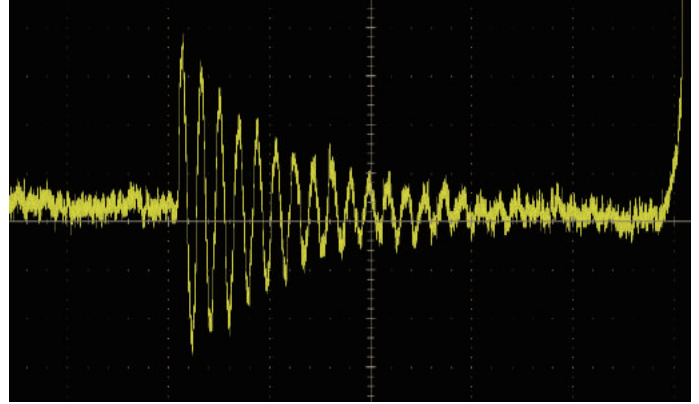


圖16. 電場發光線逆變器 - 大型脈衝串封包之前的小阻尼振鈴。

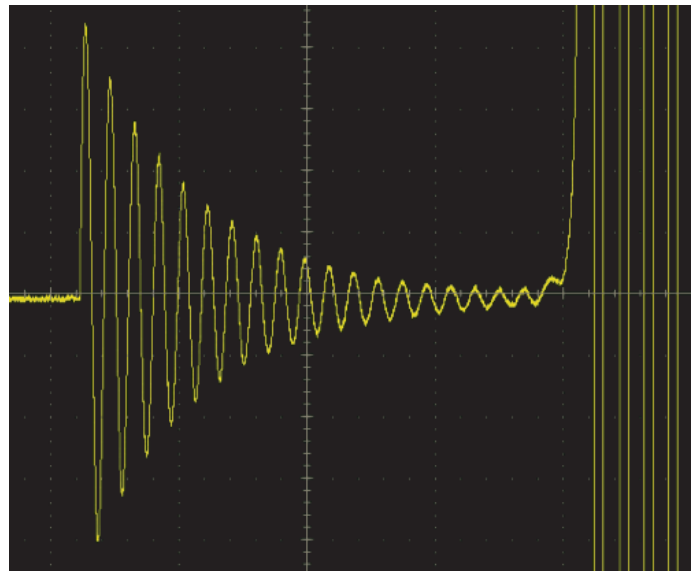


圖 17. 過激電場發光線逆變器訊號，所有振鈴皆可見。

使用平均或高解析度模式的量測範例

使用 HiRes 模式擷取微小訊號的細節

第一個範例顯示上述技術如何用於克服大訊號中存在的小訊號細節的量測挑戰。這些小型漣波、電壓變化在電源量測和其他許多應用中是常見的現象。在本例子中將會分析電場發光逆變器的輸出 (EL 資訊)。逆變器會產生常規脈衝串以驅動 EL 線 (用於照亮不同類型的裝置、玩具、衣物等)。基本上，導線內層為銅芯，外層則為塗上螢光粉的細銅絲，當交流電流通過時便會發出光亮。

當量測此特定裝置時，脈衝串封包之一會量測 650V 峰對峰值，且每 1.7Hz 發生一次 (請參閱圖 15)。若要在示波器 700V 上擷取此訊號，將需使用全刻度 (70 V/div * 10 個垂直格) 功能。典型的 8 位元示波器僅能看到 256 數位化位準 (250 跨 Tektronix 示波器上的所有 10 個垂直格)，僅能提供每個數位化位準 2.8V 的解析度檢視。但不幸的是，訊號基準中的損耗是極低的阻尼訊號 (振幅低於數伏特)。

若採用頻寬濾波和 HiRes 模式，此示波器可設定為擷取高達 11 個解析度位元。同時使用硬體濾波器及 HiRes 模式來濾波以降低雜訊，將會增加解析度位元。如圖 16 所示，已從雜訊中抽取出振鈴細節，且可清楚地查看細節。現在低至 30mV 的細節也清晰可見！

此訊號擷取的方法之一就是針對訊號進行雙重探測，其中一個通道設為 70V/div，而另一個通道則設為 1 V/div。這種方法的優點是可增加垂直靈敏度，以查看具有極低雜訊的細節，同時也確保維持較高品質的量測。這個方法的主要權衡考量是使用兩個示波器通道、雙重探測，並要確保示波器具有良好的過激恢復效能。在本案例中，振鈴發生在過激部分之前，所以此技術可提供良好的效果。如圖 17 所示，在過激通道上可以清楚地看到完整的振鈴細節。

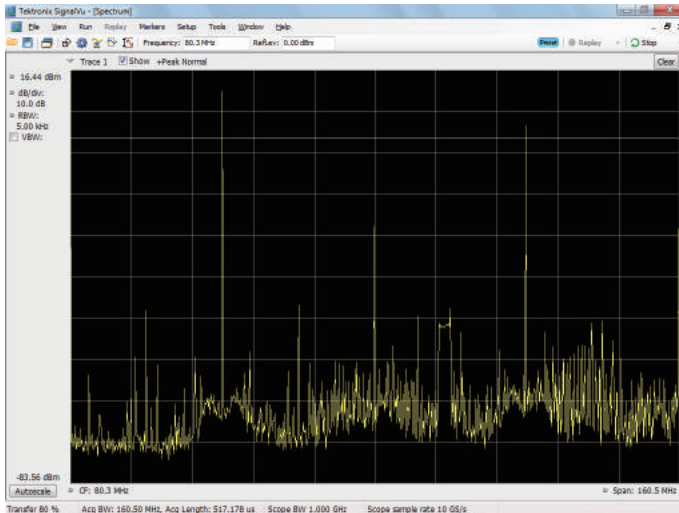


圖 18. 在取樣模式中的 40MHz 數位時脈頻譜，其中隨機基準雜訊和其他訊號使顯示畫面更加複雜。

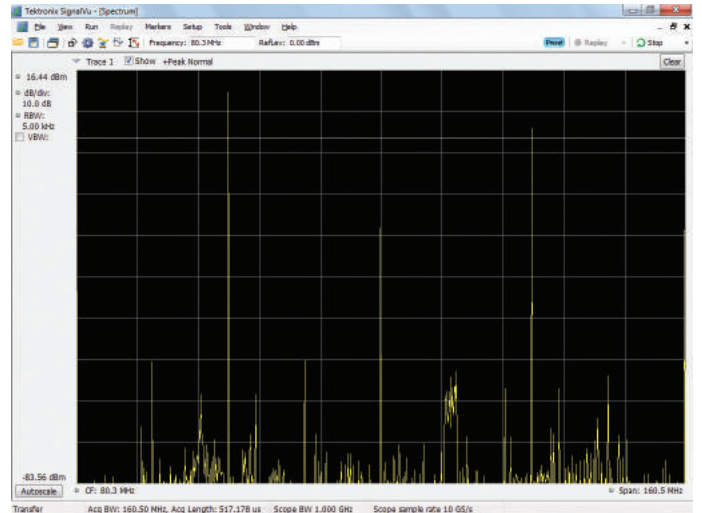


圖 19. 根據 64 個波形平均值的 40MHz 數位時脈頻譜，顯示出更清晰的諧波。

量測 40 MHz 時脈頻譜

第二個應用是 40MHz 數位時脈的頻譜分析。數位訊號會在訊號邊緣的時序配置中傳送其大部分的資訊 (量測訊號在何處穿過臨界值)，而不是訊號幅度。若要從如此類的連續訊號中移除隨機雜訊時，波形平均方法將會非常有效。

頻譜分析可由平均方法所引起的雜訊減少提供敏感度極高的量測 (部分原因是由於其對數垂直刻度)。請注意，圖 18 和 19 中的垂直刻度為 10 dB/div。

在圖 19 中，您可以看出基波和奇次諧波的振幅可保持相當穩定的狀態，但平均方法會使基準雜訊降低 10-20 dB，同時也會降低許多其他的分量，使其更容易識別時脈的諧波和其他干擾訊號。

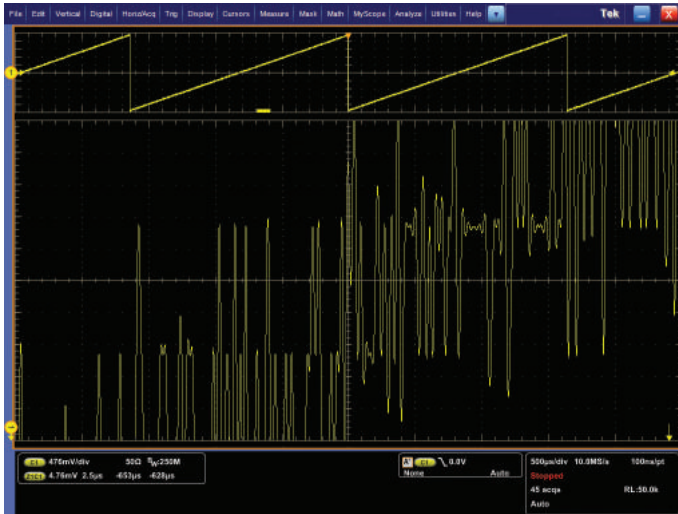


圖 20. 高解析度數位斜坡訊號的放大顯示，由於8位元ADC中解析度受到限制而產生的數位化雜訊。



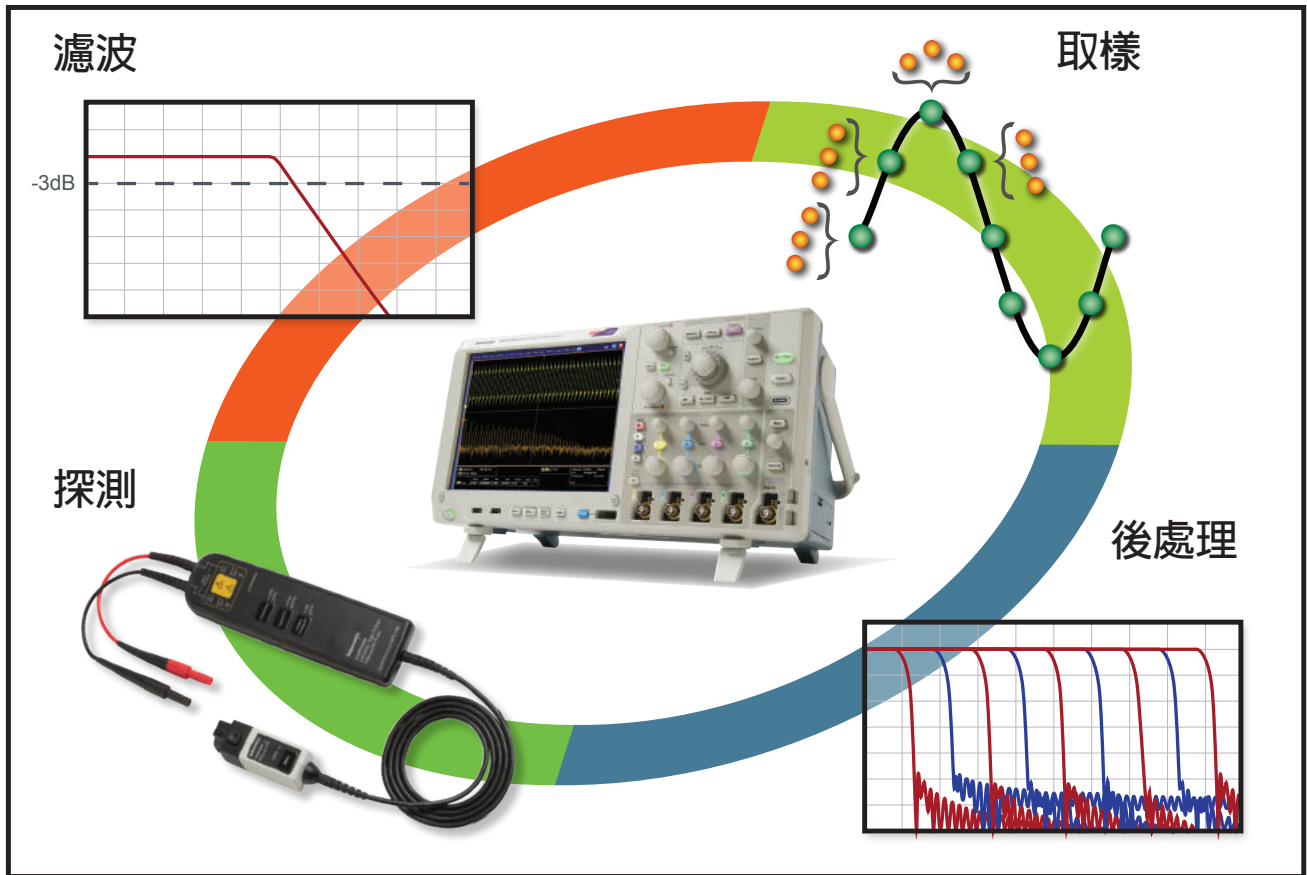
圖 21. 相同高解析度斜坡訊號的放大顯示，根據大量的平均值，並顯著高於垂直解析度。

驗證 DAC 解析度

第三個範例說明使用高解析度 DAC (或是在此情況下為高解析度AWG7000任意波形產生器) 所得到的實際垂直解析度改善。圖20放大顯示了具有10位元的垂直解析度斜坡訊號。儘管離散8位元步進會顯示在顯示器的下半部，但在訊號上出現足夠多的雜訊，而導致偶發的 ± 1 位元誤差。在8位元解析度中，這些誤差顯著大於在斜坡訊號上的10位元步進。

圖 21 顯示使用波形平均方法可能得到的顯著改善。在此情況下，數位化雜訊中清楚地呈現出個別的10位元步進，展示了8位元ADC的能力，可在與訊號處理功能 (例如波形平均值) 搭配使用時提供至少10位元的垂直解析度。

全系統方法



結論

若要獲得最佳的量測解析度，不只需要考慮示波器的ADC所產生的位元數，應採用全系統方法，從使用端對端量測，到限制雜訊的效果，以及改善數位解析度。本應用摘要描述了一些

可在 Tektronix 數位示波器中進行高解析度波形擷取的基本量測與訊號處理技術，並使用一些簡單的範例來說明相關的好處。瞭解這些好處和權衡考量後，您將可更輕鬆地選擇並成功地應用 Tektronix 示波器和探測解決方案，進行更完善的高解析度量測。

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。

2017 年 7 月

48T-27802-4

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[®]