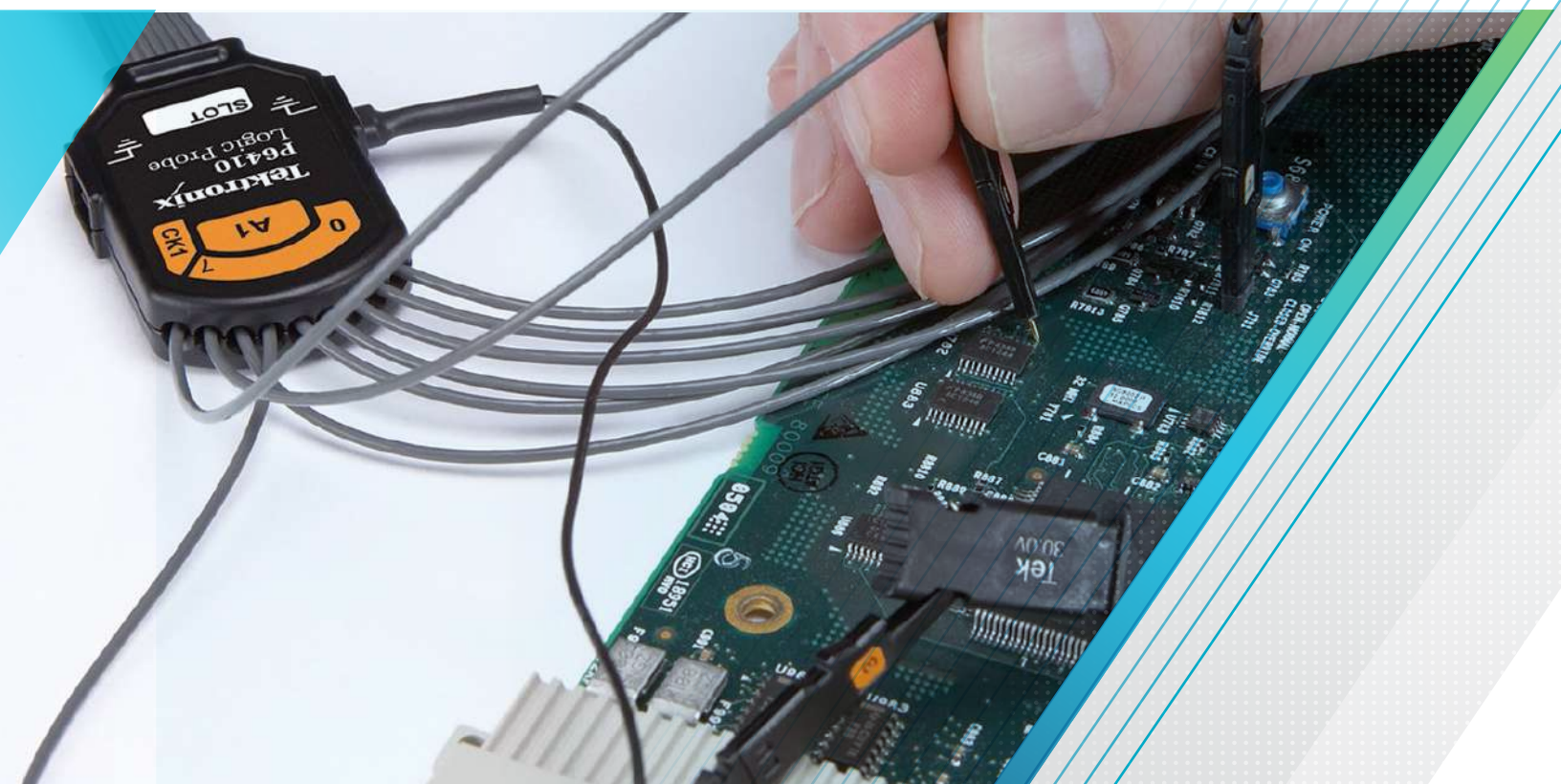


探棒 ABC

入門手冊



Tektronix 探棒選購工具

透過此線上互動工具，您可以按系列、產品型號、標準/應用來選擇產品，並根據特定測試需求微調搜尋條件。僅需點擊滑鼠，即可更新符合搜尋條件的產品清單。請立即嘗試：tw.tek.com.tw/probes。

Tektronix 資源

我們持續地擴大技術簡介、應用摘要和其他資源的資料庫，協助您確保盡量取得您探棒和其他設備的相關資訊。請與本地 Tektronix 業務單位聯絡，或是造訪網址：tw.tekt.com 即可。

安全摘要

進行電氣或電子系統，或是電路量測時，人身安全是最為重要的問題。使用者除需瞭解所使用量測設備的功能和限制外，還需在進行任何量測之前，徹底瞭解待測的系統或電路。詳讀待測系統的所有文件和線路圖，特別注意電路中的電壓位準和位置，以及所有的注意符號。

此外，務必詳讀下列安全注意事項，以免人身傷害或損及量測設備或其連接的系統。如需進一步瞭解下列注意事項，請參閱「安全注意事項說明」一節。

- 觀察所有終端的額定資料
- 使用正確的接地程序
- 正確連接和斷開探棒
- 避免暴露的電路
- 在處理探棒時避免射頻熔固
- 切勿在沒有保護蓋的情況下使用量測設備
- 切勿在潮濕的環境中使用量測設備
- 切勿在易爆環境中使用量測設備
- 切勿在疑似失效時使用設備
- 保持探棒表面清潔和乾燥
- 切勿將探棒浸入液體中

目錄

探棒 — 精確量測的關鍵.....	4	進階的探測技術.....	46
什麼是探棒?.....	4	地線問題.....	46
理想的探棒.....	5	差動式量測.....	50
探棒的現實情況.....	7	小訊號量測.....	53
探測小提示.....	11	安全注意事項說明.....	55
結論.....	13	觀察所有終端額定值.....	55
不同探棒滿足不同需求.....	14	使用正確的接地程序.....	55
為什麼有這麼多探棒?.....	14	連接和斷開探棒.....	55
不同探棒類型及其優勢.....	16	避免暴露的電路.....	56
浮動量測.....	22	在處理探棒時避免RF熔固.....	56
探棒配件.....	24	切勿在沒有保護蓋的情況下使用量測設備.....	56
探棒選購指南.....	26	切勿在潮濕的環境中使用量測設備.....	56
選擇適當的探棒.....	26	切勿在易爆環境中使用量測設備.....	56
瞭解訊號源.....	27	切勿在疑似失效時使用量測設備.....	56
瞭解示波器.....	29	保持探棒表面清潔和乾燥.....	56
選擇相應探棒.....	31	切勿將探棒浸入液體中.....	56
探棒對量測的影響.....	32	詞彙表.....	57
源阻抗的影響.....	32		
電容負載.....	33		
頻寬考慮因素.....	35		
如何處理探測的影響.....	40		
瞭解探棒規格.....	41		
偏差 (通用).....	41		
安培秒乘積 (電流探棒).....	41		
衰減係數 (通用).....	42		
準確度 (通用).....	42		
頻寬 (通用).....	42		
電容 (通用).....	43		
CMRR (差動式探棒).....	43		
CW頻率電流額定值下降 (電流探棒).....	44		
衰退時間常數 (電流探棒).....	44		
直流 (電流探棒).....	44		
插入阻抗 (電流探棒).....	44		
輸入電容 (通用).....	44		
輸入電阻 (通用).....	44		
最大額定輸入電流 (電流探棒).....	44		
最大額定峰值脈衝電流 (電流探棒).....	44		
最大額定電壓 (通用).....	45		
傳播延遲 (通用).....	45		
上升時間 (通用).....	45		
正切雜訊 (主動式探棒).....	45		
溫度範圍 (通用).....	45		

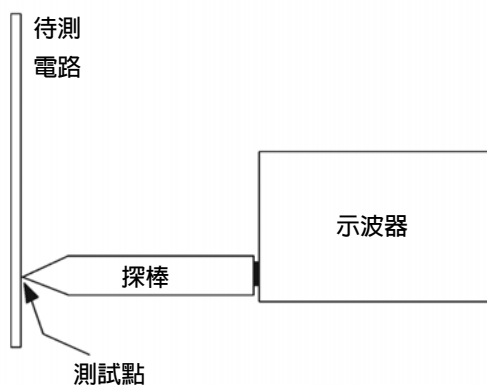
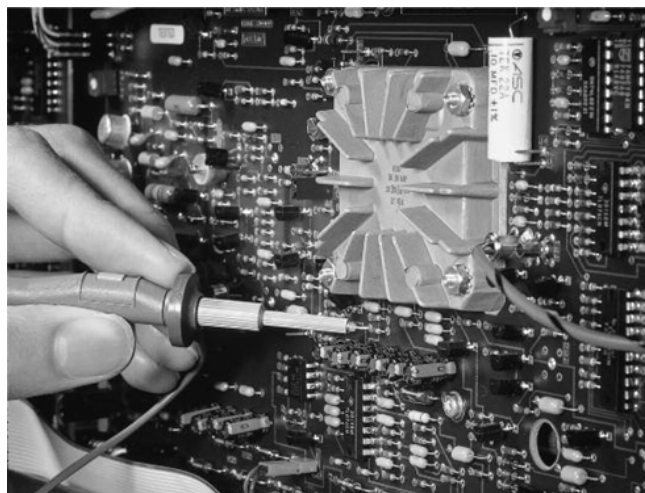


圖 1.1. 探棒是在示波器與測試點之間，連接實體與電氣的設備。

探棒 – 精確量測的關鍵

探棒對示波器量測至關重要。為瞭解其重要意義，請從示波器上斷開探棒，再嘗試進行量測，結果是無法進行。在待測訊號和示波器的輸入通道之間，必須有某類電子連接，即某類探棒。

除對示波器量測至關重要外，探棒對量測品質也非常關鍵。將探棒連接到電路上可能會影響電路運作，示波器只能顯示和量測探棒傳送到示波器輸入的訊號。

因此，迫切要求探棒對欲探測電路的影響達最低程度，且對希望的量測維持足夠的訊號完整性。

若探棒不能維持訊號完整性，或若以任何方式改變訊號或改變電路運作方式，示波器即看到真正訊號的失真結果，進而導致錯誤或誤導的量測結果。

從本質上看，探棒是示波器量測鏈中的第一個環節。此量測鏈的強度依賴探棒和示波器的程度是相同的。第一個環節若因不適用的探棒或不當的探測方法而變弱，將導致整個鏈結變弱。

下列各節內容，除讓您瞭解導致探棒優劣勢的因素以及如何選擇您應用適用的探棒外，還可瞭解正確使用探棒的部分重要技巧。

什麼是探棒？

首先，讓我們看一下什麼是示波器探棒。

基本上，探棒在測試點或訊號來源與示波器之間，建立一條實體和電子連接。根據您的量測需求，此一連接可以簡單到使用一條長一點的導線，也可以複雜到使用一個主動式差動探棒。

此時，我們可以這麼形容示波器探棒，它是將訊號源連接到示波器輸入的某種裝置或網路。如圖 1.1 所示，探棒在量測圖中是以未定義的方框表示。

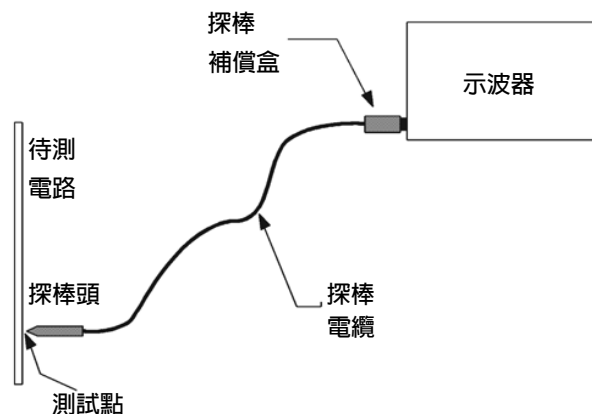


圖 1.2. 大多數探棒由探棒頭、探棒纜線和補償盒或其他訊號調節網路組成。

不管探棒實際上是什麼，均必須在訊號源與示波器輸入之間提供適宜好用的優質連接 (圖1.2)。適宜的連接需考量到：實體連接、對電路運作的影響，和訊號傳輸等三個問題。

欲進行示波器量測，首先需將探棒實體連接到測試點。為達此目的，大多數探棒相連一條至少一或兩公尺長的纜線，如圖1.2 所示。如此，即可讓示波器維持在推車或工作台的固定位置上，而探棒則在待測電路的測試點之間移動。不過，這方便性要付出一些代價。探棒纜線降低探棒頻寬；纜線越長，下降幅度越大。

除纜線長度外，大多數探棒配備一個具探棒頭的探棒頭 (或握柄)。探棒頭在使用者移動探棒頭與測試點接觸時，固定探棒。探棒頭通常採用彈簧鉤的形式，讓您能將探棒實際連接到測試點上。

將探棒實體連接到測試點亦建立起探棒頭與示波器輸入之間的電氣連接。為取得可用的量測結果，於探棒連接到電路時，需將其對電路運作的影響程度降至最低；且探棒頭處的訊號必須透過探棒頭和纜線，以適宜的完整性傳送到示波器的輸入。

實體連接、將對電路運作的影響程度降至最低，和適宜的訊號保真度這三個問題，涵蓋了正確選擇探棒時所需考量的大部份因素。由於探棒影響和訊號完整性是比較複雜的問題，本手冊以較多的篇幅來解釋這些問題。但是，千萬不要忽略實體連接問題。若很難將探棒連接到測試點上，通常導致探測實務的完整性下降。

理想的探棒

在理想情況下，理想的探棒具備下列重要屬性：

- 容易連接和方便使用
- 絕對的訊號完整性
- 零訊號源負載
- 完全抗干擾

容易連接和方便使用

前文提及，建立到測試點的實體連接是探測的關鍵要求之一。理想的探棒亦應讓您能容易和方便地進行實體連接。

針對如高密度表面黏著技術 (SMT) 的微型電路，透過為 SMT 裝置設計的微型探棒頭及各種探棒頭轉接器，提高連接的容易性和方便性。

入門手冊

這種探測系統如圖1.3a 所示。但是，這些探棒太小，並不適用於如工業電力電路等通常使用高壓線和較大線規線的應用。至於電能應用，則需要較高安全邊際且實體較大的探棒。這類探棒如圖1.3b 和 1-3c 所示；其中，圖1.3b 是高電壓探棒，圖1.3c 則是夾具式電流探棒。

從這幾個實體連接的範例中可以明顯看出，沒有一種理想探棒的尺寸或配置可以適用於所有的應用。因此，設計出各種探棒尺寸和配置，以符合各種應用的實體連接要求。

絕對的訊號完整性

理想的探棒應以絕對的訊號完整性，將任何訊號從探棒頭傳送到示波器輸入。換句話說，應真實地將探棒頭處的訊號複製在示波器輸入。

為實現絕對完整性，探棒頭到示波器輸入的探棒電路必須是零衰減、無限頻寬，以及所有頻率皆為線性相位。這些理想要求不可能在現實中實現，且是不可行的。例如，在處理音訊頻率訊號時，沒有無限頻寬探棒或示波器的需求。當 500 MHz 即可應付大多數高速數位、電視和其他典型示波器應用時，也不會有無限頻寬的需求。

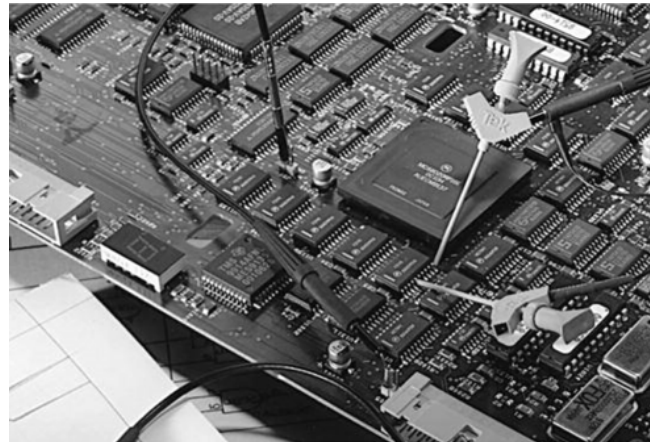
但是，在指定的工作頻寬範圍內，絕對訊號完整性仍是追求的一個理想。

零訊號源負載

測試點後面的電路可以視作一種訊號源模型。連接到測試點的任何外部裝置 (如探棒)，視為測試點後訊號源上的額外負載。

外部裝置從電路 (訊號源) 消耗訊號電流時，它是負載。此一負載或消耗訊號電流改變測試點後面的電路，進而改變在測試點上看到的訊號。

圖 1.3. 提供各種探棒以符合不同的應用技術和量測需求。



a. 探測 SMT 裝置。



b. 高電壓探棒。



c. 夾具式電流探棒。

理想探棒的訊號源負載為零。換句話說，它不會消耗訊號源的任何訊號電流。亦即探棒必須具無限阻抗方能零消耗電流，且對測試點來看是斷路的狀態。

實務上是無法實現零訊號源負載的探棒。因為探棒必須消耗少量的訊號電流，以在示波器輸入上形成訊號電壓。結果，在使用探棒時預期會有一些訊號源負載。但是，我們的目標應總是透過選用適當的探棒，將負載量降至最低程度。

完全抗干擾

在我們的周圍環境中，螢光燈和風扇馬達只是眾多電氣雜訊源的其中兩種。這些雜訊源會造成附近電氣纜線和電路上的雜訊，進而導致訊號中加入雜訊。由於容易受到感應的雜訊影響，簡單一條導線是僅次於示波器探棒理想選項的次要選擇。

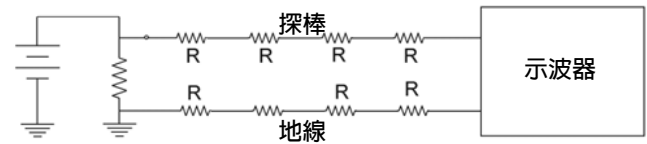
理想的示波器探棒是完全抗所有的干擾。結果，傳送到示波器上的訊號，它的雜訊與在測試點訊號出現的雜訊一樣。

在實務上，使用屏蔽可以使探棒對大部分的一般訊號位準，有較高的抗干擾能力。但是，對某些低位準訊號來說，雜訊仍是存在的問題。特別是差動式量測會有共模雜訊的問題，我們稍後會討論此議題。

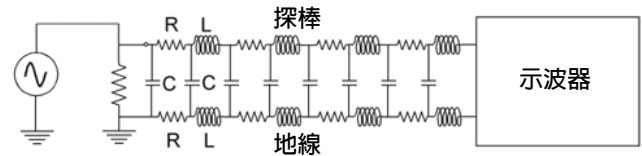
探棒的現實情況

在前文討論理想的探棒中，提及多種無法使實務探棒達到理想水準。我們需要更深入探索探棒的現實情況，以瞭解其如何影響示波器量測。

首先必須認識到，探棒或即使只是一條導線，潛在仍是一個非常複雜的電路。



a. DC (0Hz) 訊號的分散式電阻



b. AC 訊號的分散式電阻、電感和電容

圖 1.4. 探棒是由分散式電阻、電感和電容 (R、L 和 C) 單元組成的電路。

若為直流訊號 (0 Hz 頻率)，探棒只是一對帶有一些串列電阻和終端電阻的導線 (圖1.4a)。但是，若為交流訊號，圖形會隨著訊號頻率的升高，產生明顯的變化 (圖1.4b)。

交流訊號圖形之所以會發生變化，是因為任一導線有分佈電感 (L)，任一線對有分佈電容 (C)。在訊號頻率提高時，分佈電感透過提高阻止AC電流，來對交流訊號作出反應。在訊號頻率提高時，分佈電容透過降低到AC電流的阻抗，來對交流訊號作出反應。這些電抗單元 (L和C) 和電阻單元 (R) 的交互，產生了會隨著訊號頻率變化的總探棒阻抗。透過採用良好的探棒設計，可以控制探棒的電阻、電感和電容單元，在指定頻率範圍上提供希望的訊號完整性、衰減和訊號源負載。但即使設計良好，探棒仍受到電路特點的限制。在選擇和使用探棒時，必須瞭解這些限制及其影響。

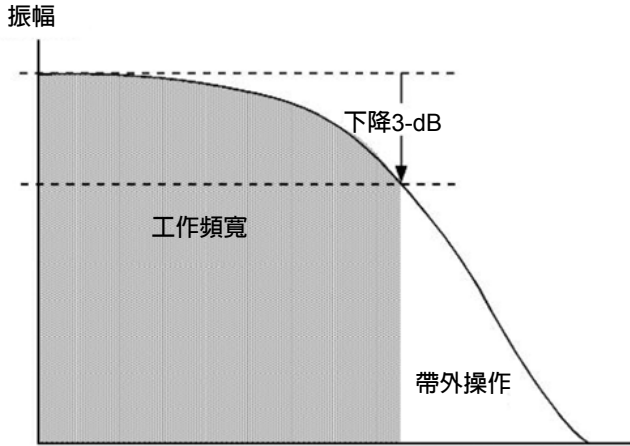


圖1.5. 探棒和示波器是根據規範為在工作頻寬上進行量測而設計的。在超過 3 dB 點的頻率上，訊號振幅會變得極度衰減，量測結果可能會變得不能預測。

頻寬和上升時間限制

頻寬是示波器或探棒設計使用的頻率範圍。例如，100MHz 探棒或示波器是為在高達 100 MHz 的所有頻率上進行量測而設計的。在超過指定頻寬時，可能會發生不希望或不能預測的量測結果 (圖1.5)。

一般來說，為準確地進行振幅量測，示波器的頻寬應比待測的波形頻率高五倍。這種「五倍規則」保證了為非正弦曲線波形中的高頻成分提供足夠的頻寬，如方波。

與此類似，示波器必須為量測的波形提供充足的**上升時間**。示波器或探棒的上升時間定義為在使用理想的暫態上升脈衝時測得的上升時間。為在量測脈衝上升時間或下降時間時實現合理的準確度，探棒和示波器的總上升時間應該比待測脈衝快**3-5 倍** (圖 1.6)。

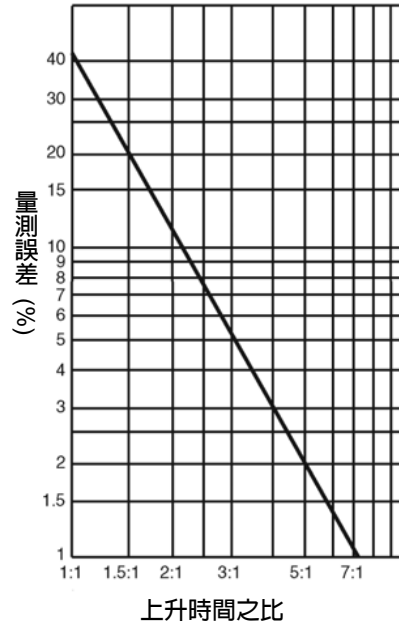


圖1.6. 可以從上圖中估算出上升時間量測誤差。上升時間比待測脈衝快三倍 (3:1 比率) 的示波器/探棒組合預計可以量測 5% 範圍內的脈衝上升時間。5:1 的比率將僅導致 2% 的誤差。

在沒有指定上升時間的情況下，可以使用下述公式，從頻寬 (BW) 規格中推導得出上升時間 (Tr)：

$$Tr = 0.35/BW$$

每台示波器都有規定的頻寬和上升時間極限。類似的，每只探棒還有自己的一套頻寬和上升時間限制。此外，在探棒連接到示波器時，會得到一套新的系統頻寬和上升時間限制。

遺憾的是，系統頻寬與各個示波器和探棒的頻寬之間的關係並不是簡單的關係，上升時間也是如此。為處理這個問題，在示波器與指定型號的探棒一起使用時，優質示波器的製造商會指定探棒針的頻寬或上升時間。這一點非常重要，因為示波器和探棒一起使用時，會構成一個量測系統，而系統的頻寬和上升時間則決定著量測功能。若使用的探棒沒有列入示波器推薦探棒清單，則您可能會得到預測不到的量測結果。

動態範圍限制

所有探棒都有不應超過的高壓安全極限。對被動式探棒，這一極限可以從幾百伏特到幾千伏特。而對主動式探棒，最大安全電壓極限則通常在幾十伏特範圍內。為避免危及人身安全及可能損壞探棒，最好瞭解待測的電壓及使用的探棒的電壓極限。

除安全考慮因素外，還要在實踐中考慮量測的動態範圍。示波器具有振幅靈敏度範圍。例如，典型的靈敏度範圍是 1 mV - 10 V/格。在八格顯示器上，這意味著使用者一般可以在 4 mV 峰值到 40 V 峰值的訊號上合理地進行量測。

這至少假設採用 4 格振幅的訊號顯示，以獲得合理的量測解析度。

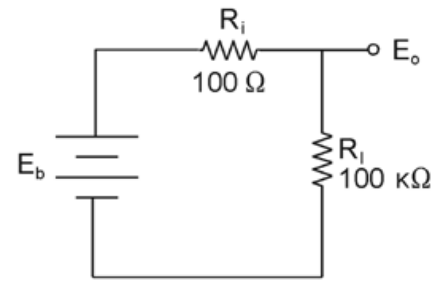
在 1X 探棒 (1 倍探棒) 中，動態量測範圍與示波器相同。對上面的範例，訊號量測範圍是 4 mV - 40 V。

但是，若必須量測 40V 範圍以上的訊號時，會怎麼樣呢？

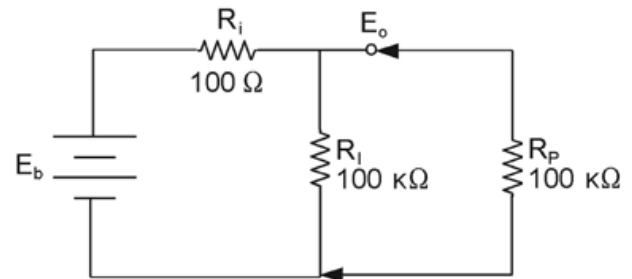
透過使用衰減探棒，可以將示波器的動態範圍移到更高的電壓。例如，10X 探棒將動態範圍移到 40 mV - 400V。透過將輸入訊號衰減 10 倍，將示波器的標度有效地乘以 10，來實現這一點。在最通用的用途中，首選使用 10X 探棒，這是因為高端電壓範圍及其導致的訊號源負載較少。但是，若您打算量測非常寬的電壓位準，您可能想考慮切換式 1X/10X 探棒，這種探棒實現了 4 mV - 400 V 的動態範圍。但是，在 1X 模式中，必須更多地注意訊號源負載。

訊號源負載

如前所述，探棒必須吸收部分訊號電流，以在示波器輸入上形成訊號電壓。這在測試點上帶來了負載，可能會改變電路或訊號源傳送到測試點上的訊號。



a. 100 kΩ 負載的 DC 電路



b. 增加並聯探棒負載的同一條 DC 電路

圖1.7. 電阻負載範例。

訊號源負載效應最簡單的範例是電池操作的電阻網路量測，如圖 1.7 所示。在圖 1.7a 中，在連接探棒前，電池的 DC 電壓在電池的內部電阻 (R_i) 和電池驅動的負載電阻 (R_l) 之間進行劃分。對圖中給出的值，得到的輸出電壓為：

$$\begin{aligned} E_o &= E_b * R_l / (R_i + R_l) \\ &= 100 \text{ V} * 100,000 / (100 + 100,000) \\ &= 10,000,000 \text{ V} / 100,100 \\ &= 99.9 \text{ V} \end{aligned}$$

在圖 1.7b 中，探棒已經連接到電路上，導致了與 R_l 並聯的探棒電阻 (R_p)。若 R_p 是 100 kΩ，則圖 1.7b 中的有效負載電阻被減少一半，為 50 kΩ。

這個 E_o 上的負載效應是：

$$\begin{aligned} E_o &= 100 \text{ V} * 50,000 / (100 + 50,000) \\ &= 5,000,000 \text{ V} / 50,100 \\ &= 99.8 \text{ V} \end{aligned}$$

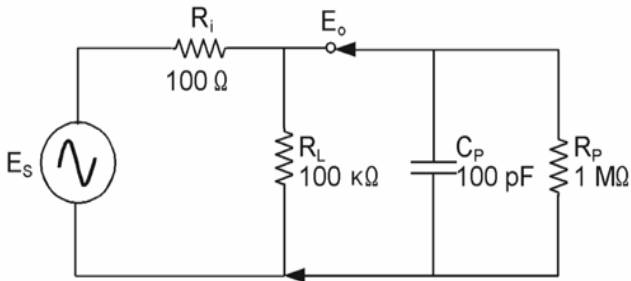


圖1.8. 對於交流訊號源而言，探棒頭電容 (C_p) 是使用者最擔心的負荷。隨著訊號頻率提高，電容電抗 (X_c) 會下降，導致更多的訊號流經電容器。

99.9 V 的負載效應與 99.8 V 相比只差 0.1%，對大多數用途可以忽略不計。但是，若 R_p 比較小，如 10 kΩ，則這一效應就不能再忽略不計了。

為使這類電阻負載達到最小，1X 探棒一般有 1 MΩ 的電阻，10X 探棒一般有 10 MΩ 的電阻。在大多數情況下，這些值幾乎不會導致電阻負載。但是，在量測高電阻訊號源時，應可以預計到某些負載。

通常情況下，使用者最擔心的負載是探棒頭上的電容導致的負載（請參見圖1.8）。對低頻，這一電容具有非常高的電抗，影響很小或沒有影響。但隨著頻率提高，電容電抗會下降。其結果，負載會在高頻上提高。

這種電容負載影響著量測系統的頻寬和上升時間特點，因為他降低了頻寬，提高了上升時間。

透過選擇尖端電容值低的探棒，可以使電容負載達到最小。下表提供了各種探棒的部分典型電容值：

探棒	衰減	電阻	電容
P6101B	1X	1MΩ	100pF
P6106A	10X	10MΩ	13pF
P6139A	10X	10MΩ	8pF
P6243	10X	1MΩ	≤1pF

表1.1. 探棒電容

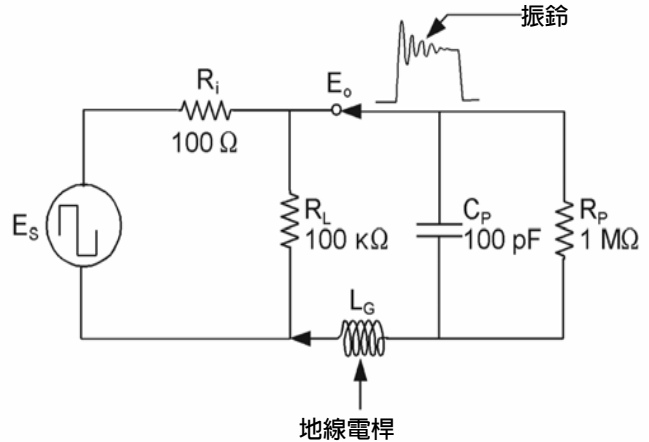


圖1.9. 探棒地線在電路中增加了電感。地線越長，電感越大，在快速脈衝上看到振鈴的可能性越高。

地線電感由於地線是一條導線，因此有一定數量的分佈電感（請參見圖1.9）。這一電感與探棒電容相互影響，在 L 和 C 值確定的某個頻率上導致振鈴。這個振鈴是不可避免的，可以視作蓋在脈衝上衰落的振幅的正弦曲線。透過設計探棒接地，使減幅振幅頻率發生在探棒/示波器系統頻寬極限之外，可以降低振鈴的影響。

為避免接地問題，應一直使用隨探棒一起提供的最短的地線。代以其他方式的接地可能會導致待測脈衝上出現振鈴。

探棒就是感測器

在處理示波器探棒的實際特點時，重要的一點是記住探棒就是感測器。大多數示波器探棒是電壓感測器。也就是說，他們傳感或探測電壓訊號，將電壓訊號傳送到示波器輸入。但是，還有其他探棒，允許您傳感除電壓訊號之外的其他現象。

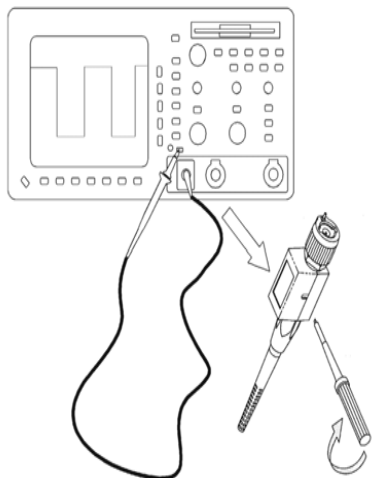


圖1.10. 在探棒頭或在補償盒上進行探棒補償調節，其中補償盒連接到示波器輸入上。

例如，電流探棒是為傳感流經導線的電流而設計。探棒將傳感的電流轉換成相應的電壓訊號，然後傳送到示波器的輸入上。類似的，光學介面探棒傳感光功率，將其轉換成電壓訊號，然後由示波器進行量測。

此外，示波器電壓探棒可以與各種其他感測器或變頻器一起使用，量測不同的現象。例如，振動變頻器允許您在示波器螢幕上查看機械振動訊號。具體視市場上提供的變頻器種類而定。

但是在任何情況下，變頻器、探棒和示波器組合必須視作一個量測系統。此外，上面討論的探棒實際特點還可以延伸到變頻器。變頻器也具有頻寬限制，可能會導致負載效應。

探測小提示

選擇滿足示波器和應用需求的探棒，可以使您能夠進行必要的量測。實際上，進行量測和獲得有用的結果還取決於如何使用工具。下面的探測小提示將有助於您避免某些常見的量測問題：

補償探棒

大多數探棒是為與特定型號的示波器輸入而設計的。但是，在示波器之間、甚至在同一台示波器不同的輸入通道之間會略有差異。為在必要時處理這一差異，許多探棒、特別是衰減探棒（10X 和 100X 探棒）都帶有內建補償網路。

若探棒帶有補償網路，應該調節這一網路，針對要使用的示波器通道補償探棒。為此，應採用下述程序：

1. 將探棒連接到示波器上。
2. 將探棒頭連接到示波器前面板上的探棒補償測試點（請參見圖1.10）。
3. 使用探棒或其他非磁性調節工具標配的調節工具，調節補償網路，獲得頂部平坦、沒有過衝或圓形的校準波形顯示（請參見圖1.11）。
4. 若示波器帶有內建校準程式，執行這一程式，以提高準確度。

沒有補償的探棒可能會導致各種量測誤差，特別是在量測脈衝上升時間或下降時間時。為避免這些誤差，應在將探棒連接到示波器後立即補償探棒，另外要經常檢查補償結果。

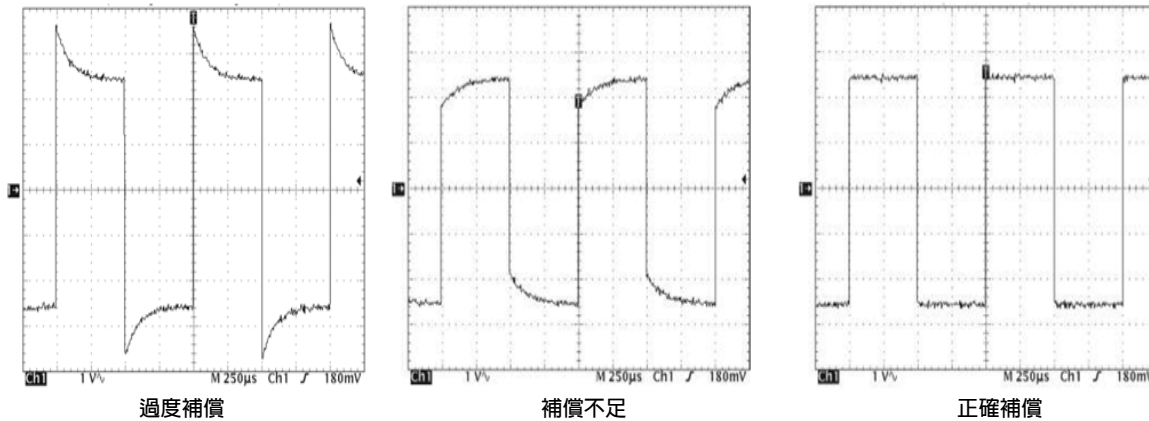


圖 1.11. 探棒補償對方波的影響範例。

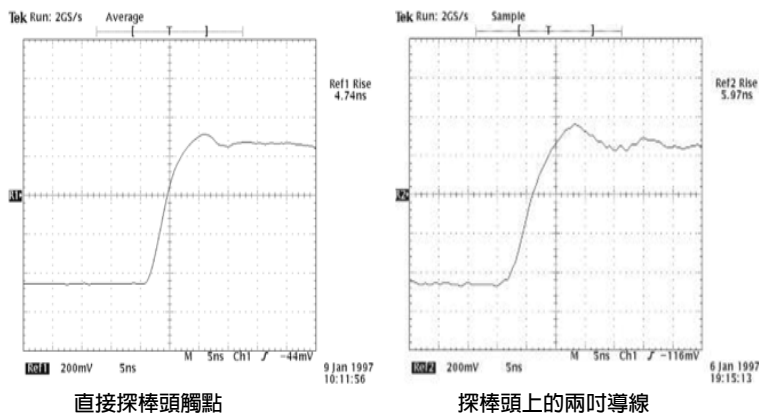


圖 1.12. 即使焊接到測試點上的一小段線也可能導致訊號完整性問題。在這種情況下，上升時間從 4.74 ns 變成 5.67 ns。

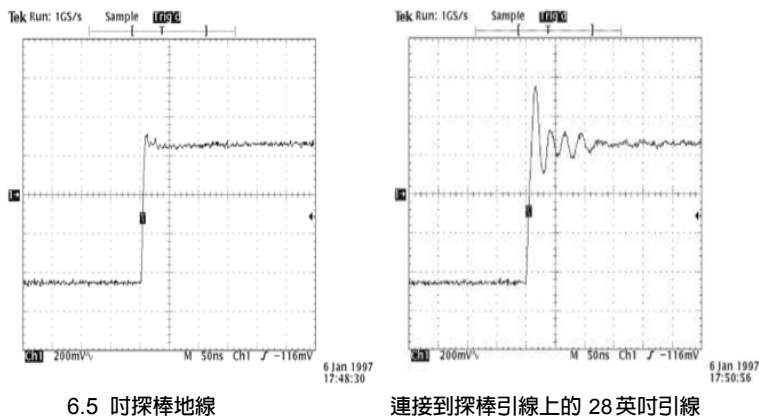


圖 1.13. 延長探棒地線長度可能會導致脈衝上出現振鈴。

此外，最好在改變探棒頭轉接器時檢查探棒補償情況。

盡可能使用相應的探棒頭轉接器

與待測電路相適應的探棒頭轉接器會使得探棒連接變得非常快捷、方便、在電子上可重複，且非常穩定。遺憾的是，將長度很短的導線焊接到電路點，來代替探棒頭轉接器的情況並不少見。

問題在於，即使一兩英吋的導線在高頻上也會導致明顯的阻抗變化。這種變化的影響如圖1.12 所示，其中使用探棒頭的直接觸點量測電路，然後透過電路和探棒頭之間的一段短線進行量測。

地線盡量短和直

在進行效能檢查或診斷大型電路板或系統時，工程師可能會傾向於延長探棒的地線。延長地線可以一次連接地線，然後在查看各個測試點時在系統上移動探棒。但是，延長的地線增加的電感可能會導致快速轉換波形上出現振鈴，如圖1.13 所示，顯示了在使用標準探棒地線和延長地線時進行的波形量測結果。

結論

在第一章中，我們試圖提供所需的基本資訊，以選擇適當的探棒及正確使用探棒。在下面幾章中，我們將展開討論這些資訊，並介紹與探棒和探測技術有關的更進階的資訊。

不同探棒滿足不同需求

市場上提供了數百種、甚至數千種不同的示波器探棒。

**選擇範圍如此廣泛的探棒是否真有必要呢？
答案是肯定的，在本章中，您將發現其原因是什麼。**

在瞭解這些原因之後，您將更好地作好準備，選擇能夠與正在使用的示波器和需要進行的量測類型相匹配的探棒。其帶來的好處是，選擇適當的探棒將能夠增強量測功能和結果。

為什麼有這麼多探棒？

可供選擇的示波器型號和功能非常廣泛，只是市場上出現大量探棒的基本原因之一。不同的示波器要求不同的探棒。400 MHz 示波器要求支援 400 MHz 頻寬的探棒。

但是，許多功能和成本相同的探棒會爭奪 100 MHz 示波器，因此，必須設計一套不同的探棒，來支援 100MHz 的頻寬。

一般來說，應盡可能選擇與示波器的頻寬相匹配的探棒。若不能做到這一點，則最好選擇超過示波器頻寬的探棒。

但是，頻寬只是一個開始。示波器還可能有不同的輸入連接器類型和不同的輸入阻抗。例如，大多數示波器使用一個簡單的 BNC 類型的輸入連接器。其他示波器可能會使用 SMA 連接器，如圖2.1 所示，還有的示波器帶有專門設計的連接器，支援讀數、軌跡 ID、探棒功率或其他專用功能。

因此，探棒選擇中還必須包括使連接器能夠相容使用的示波器。這可以是直接相容連接器，也可以是透過相應轉接器進行的連接。



標準 BNC 探棒。帶有普通 BNC 連接器的探棒幾乎可以連接所有 Tektronix 示波器。低價被動式探棒一般帶有普通 BNC 連接器。



TekProbe™ Level 1 BNC 探棒。配有 TekProbe Level 1 BNC 連接器的探棒將標度資訊傳送給示波器，從而示波器可以正確傳送準確的振幅資訊。



TekProbe™ Level 2 BNC 探棒。TekProbe Level 2 BNC 共用 Level 1 的標度資訊，同時還為全系列主動式電子探棒設計供電。



TekVPI® 探棒。配有 TekVPI 的探棒提供先進的電源管理和遠端式控制功能。在電腦控制具有重要意義的應用中，TekVPI 探棒是理想的選擇。



TekConnect®探棒。配有TekConnect介面的探棒支援Tektronix 提供的最高頻寬的主動式探棒。TekConnect 介面被設計成支援 >20GHz 的探棒要求。

圖2.1. 探棒接示波器介面。

讀數支援在探棒/示波器連接器相容能力尤為重要。在示波器上互換 1X 和 10X 探棒時，示波器的垂直標度讀數應體現 1X 到 10X 的變化。例如，若示波器連接 1X 探棒時的垂直標度讀數是 1 V/格 (每格 1 伏特)，然後換成 10X 探棒，則垂直讀數應以 10 倍的係數變成 10 V/格。若示波器讀數中沒有體現這種從 1X 到 10X 變化，則使用 10X 探棒進行的振幅量測將比本來數位低 10 倍。

某些通用或商用探棒可能不支援所有示波器的讀數功能。結果，在使用通用探棒代替示波器製造商專門推薦的探棒時必須特別注意。

除頻寬和連接器差異外，各種示波器還有不同的輸入電阻和電容值。一般來說，示波器輸入電阻是 50 Ω 或 1 M Ω 。但是，根據示波器的頻寬規格和其他設計因素，輸入電容可能會出現很大的變化。為實現正確傳送訊號和完整性，重要的一點是探棒的電阻和電容與其使用的示波器的電阻和電容相符合。例如，50 Ω 探棒應與 50 Ω 示波器輸入一起使用。同樣，1 M Ω 探棒應在 1 M Ω 輸入電阻的示波器上使用。

在使用衰減器探棒時，這種一對一電阻符合會出現例外。例如，用於 50 Ω 環境的 10X 探棒將有 500 Ω 的輸入電阻，用於 1 M Ω 環境的 10X 探棒將有 10 M Ω 的輸入電阻 (衰減器探棒如 10X 探棒也稱為分路器探棒和複用器探棒。這些探棒乘以示波器的量測範圍，其透過衰減或除以示波器提供的輸入訊號來實現此點)。

除電阻符合外，探棒電容還應與示波器的額定輸入電容相符合。通常情況下，這一電容符合可以透過調節探棒的補償網路來實現。但是，只有在示波器的額定輸入電容落在探棒的補償範圍內時，才有可能實現這一點。因此，探棒具有不同的補償範圍，以滿足不同示波器輸入要求的情況並不少見。

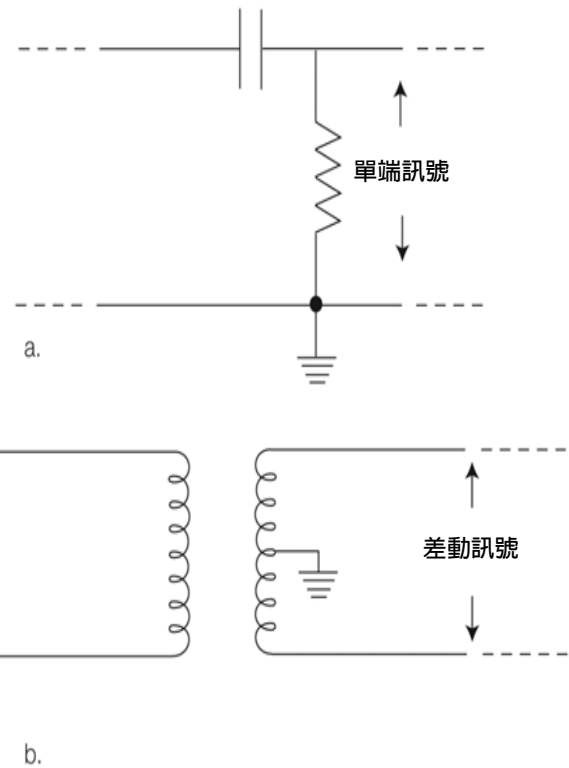


圖 2.2. 單端訊號參考接地 (a)，而差動訊號則是兩條訊號線或兩個測試點之差 (b)。

示波器製造商已大大簡化了探棒與示波器的相符合問題。示波器製造商作為完整系統審慎地設計探棒和示波器。結果，一直可以透過使用示波器製造商指定的標準探棒，來實現探棒與示波器的最佳符合效果。使用製造商指定探棒外的任何其他探棒，都可能使量測效能達到最佳水準。

僅探棒與示波器符合一項，就導致了市場上出現大量的基本探棒。然後，必須使用不同的探棒滿足不同的量測需求，又明顯提高了探棒數量。其最基本的差異在於待測的電壓範圍。毫伏特、伏特和千伏特量測一般要求具有不同衰減係數 (1X、10X、100X) 的探棒。

此外，許多情況下訊號電壓是差動電壓。也就是說，訊號存在於兩個點或兩條線中，這兩個點或兩個訊號都沒有處於接地或公共電位（請參見圖2.2）。這種差動訊號在電話語音電路、電腦磁片讀通道和多相電路十分常見。量測這些訊號也要求另一種探棒，稱為差動式探棒。

還有許多情況，特別是在電源應用中，電流或多或少地與電壓相關。傳感電流、而不是電壓的另一類探棒可以最好地滿足這些應用需求。

電流探棒和差動式探棒只是提供的眾多不同探棒中的兩種特定探棒。本章其餘部分介紹了部分比較常見的探棒類型及其特別優勢。

不同探棒類型及其優勢

在討論各種常見探棒類型前，必須知道類型經常會有重疊。當然，電壓探棒僅傳感電壓，但電壓探棒可以是被動式探棒，也可以是主動式探棒。類似的，差動式探棒是特定類型的電壓探棒，差動式探棒也可以是主動式探棒或被動式探棒。在相應的地方，我們將指出這些重疊關係。

被動式電壓探棒

被動式探棒由導線和連接器製成，在需要補償或衰減時，還包括電阻器和電容器。探棒中沒有主動式裝置（電晶體或放大器），因此不需為探棒供電。

由於相對簡單，被動式探棒一般是最堅固、最經濟的探棒。他們使用簡便，也是使用最廣泛的探棒。但是，不要被使用簡單或結構簡單所愚弄，優質被動式探棒很少有設計簡單的！

被動式電壓探棒為不同電壓範圍提供了各種衰減係數 -1X、10X 和 100X。在這些被動式探棒中，10X 被動式電壓探棒是最常用的探棒，也是通常作為示波器標準配件提供的探棒類型。

對訊號振幅是 1V 峰值或更低的應用，1X 探棒可能要比較合適，甚至是必不可少的。在低振幅和中等振幅訊號混合（幾十毫伏特到幾十伏特）的應用中，可切換 1X/10X 探棒要方便得多。但要記住，可切換 1X/10X 探棒在本質上是一個產品中的兩個不同探棒，不僅其衰減係數不同，而且其頻寬、上升時間和阻抗 (R 和 C) 特點也不同。結果，這些探棒不能與示波器的輸入完全符合，不能提供標準 10X 探棒實現的最優效能。

大多數被動式探棒是為用於通用示波器而設計的，因此其頻寬範圍一般在小於100 MHz 到 500 MHz 或更高的頻寬之間。

但是，有一種特定類型的被動式探棒提供了高得多的頻寬，其稱為 50 Ω 探棒、Zo 探棒和分壓器探棒。這些探棒是為用於 50 Ω 環境中而設計的，這些環境一般是高速設備檢定、微波通和時訊域反射儀 (TDR)。這些應用使用的典型 50 Ω 探棒擁有幾千赫茲的頻寬和 100 皮秒或更快的上升時間。

主動式電壓探棒

主動式探棒包含或依賴主動式裝置操作，如電晶體。最常見的情況下，主動式裝置是場效應電晶體 (FET)。

FET輸入的優勢是，他提供了非常低的輸入電容，一般為幾皮法拉，最低不到1皮法拉。這種超低電容可以實現使用者希望的多種效應。

首先，低電容值 C 相當於高電容電抗值 Xc。可以從下面的Xc 公式中看出這一點：

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

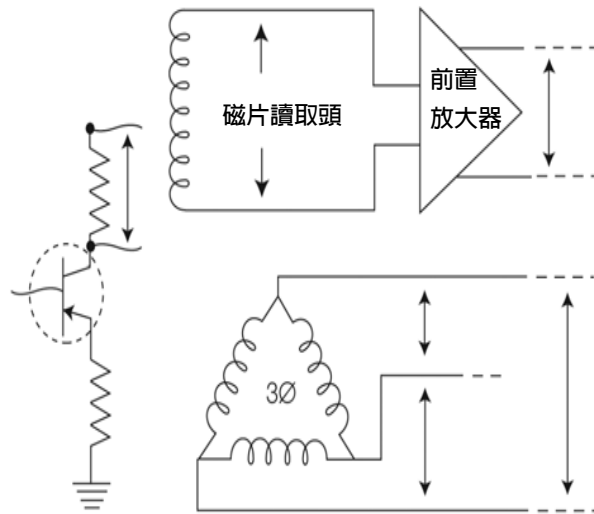


圖2.3. 差動訊號源範例。

由於電容電抗是探棒的主要輸入阻抗要素，因此低電容會在更寬的頻段上導致高輸入阻抗。結果，主動式 FET 探棒的規定頻寬一般在 500 MHz 至幾 GHz 之間。

除頻寬更高外，主動式 FET 探棒的高輸入阻抗允許在阻抗未知的測試點上進行量測，而負載效應的風險要低得多。另外，由於低電容降低了地線影響，可以使用更長的地線。但最重要的是，FET 探棒提供的負載非常低，因此他們可以用於給被動式探棒帶來嚴重負載的高阻抗電路上。

由於這些積極優勢，包括 DC 至幾 GHz 的頻寬，您可能要問：為什麼還要使用被動式探棒呢？

答案是主動式 FET 探棒沒有被動式探棒的電壓範圍。主動式探棒的線性動態範圍一般在 $\pm 0.6\text{ V}$ 到 $\pm 10\text{ V}$ 之間。另外他們可以耐受的電壓最低可以在 $\pm 40\text{ V}$ (DC + 峰值 AC)。換句話說，其不能像被動式探棒一樣量測從幾毫伏特到幾十伏特的電源，在因疏忽而探測較高的電壓時，可能會損壞主動式探棒。靜電放電甚至也會損壞主動式探棒。

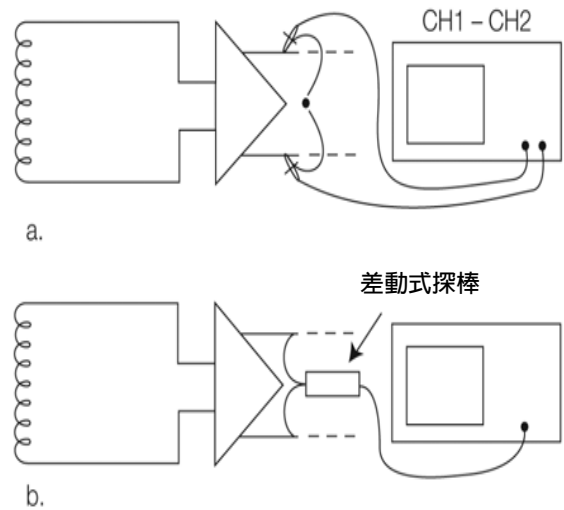


圖2.4. 差動訊號可以使用兩個通道和波形減法 (a) 進行量測，或最好使用差動式探棒 (b) 進行量測。

但是，FET 探棒的高頻寬是一個重大優勢，其線性電壓範圍涵蓋了許多典型的半導體電壓。因此，主動式 FET 探棒通常用於低位準應用，包括快速邏輯系列，如 ECL、GaAs 等等。

差動式探棒

差動訊號是互相參考、而不是參考接地的訊號。圖2.3 說明這些訊號的多個範例，包括集電極負載電阻器中形成的訊號、磁碟機讀通道訊號、多相電源系統和訊號在本質上「漂浮」在接地之上的各種其他情況。

可以以兩種基本方式探測和量測差動訊號。圖2.4說明這兩種方法。

如圖2.4所示，使用兩隻探棒進行兩項單端量測是一種常用方法。通常情況下，這也是進行差動式量測時最不希望使用的方法。但是，之所以這一方法十分常用，是因為雙通道示波器帶有兩隻探棒。量測到地的訊號（單端）及使用示波器的數學運算函數從其他通道中減去一條通道（通道A訊號減通道B），這似乎是獲得差動訊號的優秀解決方案。在訊號是低頻訊號、擁有足夠振幅、能夠超過任何擔心的雜訊的情況下，都可以採用這種解決方案。

將兩個單端量測組合在一起有多個潛在問題。其中一個問題是沿著每只探棒直到每條示波器通道有兩條單獨的長訊號通路。這兩條通路之間的任何延遲差都會導致兩個訊號發生時間偏移。在高速訊號上，這個偏移會導致計算的差動訊號中發生明顯振幅和定時誤差。為使這種誤差達到最小，應使用相符的探棒。

單端量測的另一個問題是他們不能提供足夠的共模雜訊抑制。許多低位準訊號如磁片讀通道訊號以差動方式傳輸和處理，以利用共模雜訊抑制功能。共模雜訊是附近時脈線在兩條訊號線上導致的雜訊，或螢光等外部來源發出的雜訊。在差動系統中，一般從差動訊號中去掉這種共模雜訊。成功實現這種功能稱為**共模抑制比 (CMRR)**。

由於通道差異，隨著頻率提高，單端量測的**CMRR** 效能會迅速下降到令人失望的水準。若訊號源保持共模抑制比，這會導致訊號表現的雜訊超過實際水準。

另一方面，差動式探棒使用差動放大器減去兩個訊號，從而可以使用一條示波器通道量測一個差動訊號 (圖2.4b)。這可以在更寬的頻率範圍內提供明顯高得多的**CMRR**效能。此外，電路縮微技術的發展允許差動放大器移動到實際探棒頭。在最新的差動式探棒中，如Tektronix P6247 中，這可以實現1 MHz 時60 dB (1000:1) 到1GHz 時30 dB (32:1) 的**CMRR** 效能。隨著磁碟機讀/寫速率達到和超過100 MHz大關，這類頻寬/**CMRR**效能正變得日益必不可少。



圖2.5. 高電壓探棒提供了 75 MHz 的頻寬，可以量測高達 20 kV 的 DC 電壓及高達 40 kV 的脈衝。

高電壓探棒

「高壓」是相對概念。在半導體行業中視為高壓，在電源行業中實際上沒有任何意義。但從探棒角度看，我們可以將高壓定義為超過典型的通用 10X 被動式探棒可以安全處理的電壓的任何電壓。

一般來說，通用被動式探棒的最大電壓在 400 - 500 V 左右 (DC + 峰值AC)。另一方面，高電壓探棒的最大額定電壓可以高達 20,000 V。這一探棒的範例如圖 2.5 所示。

安全對高電壓探棒和量測尤其重要。為適應這一點，許多高電壓探棒的纜線要比普通纜線長。典型纜線長度是10 呎。將示波器放在安全保護箱外部或安全保護罩後面通常就已經足夠了。另外，在需要從高壓電源中進一步去掉示波器操作的情況下，還可以選擇 25 呎纜線。

電流探棒

流經導線的電流會導致在導線周圍形成電磁通量場。當前探棒是為傳感這個通量場的場強而設計的，並將他轉換成相應的電壓，以使用示波器進行量測。這允許使用示波器查看和分析電流波形。在與示波器的電壓量測功能結合使用時，電流探棒還允許進行各種功率量測。根據示波器的波形數學運算功能，這些量測可以包括暫態功率、真實功率、表現功率和相位。

示波器的電流探棒基本上分成兩類：即AC 電流探棒和 AC/DC 電流探棒，AC 電流探棒通常是被動式探棒，AC/DC 電流探棒通常是主動式探棒。這兩種類型都採用相同的變壓器動作原理，感應導線中的交流 (AC)。

對變壓器動作，必須先有交流流經導線。這個交流導致根據電流流動的振幅和方向構建和拆除通量場。在這個場中放一個線圈時，如圖2.6 所示，變動的通量場會透過簡單的變壓器操作，在線圈中引起電壓。

這種變壓器操作是 AC 電流探棒的基礎。AC 電流探棒頭實際上是一個線圈，他根據高準確度規範纏在磁芯上。當這只探棒頭保持在指定方向及接近承載AC電流的導線時，探棒會輸出一個線性電壓，這一電壓與導線中電壓的比例是已知的。這種與電流有關的電壓可以在示波器上顯示為電流標度的波形。

AC電流探棒的頻寬取決於探棒線圈的設計和其他因素。頻寬可以高達幾 GHz。但是，100 MHz 以下頻寬比較常見。

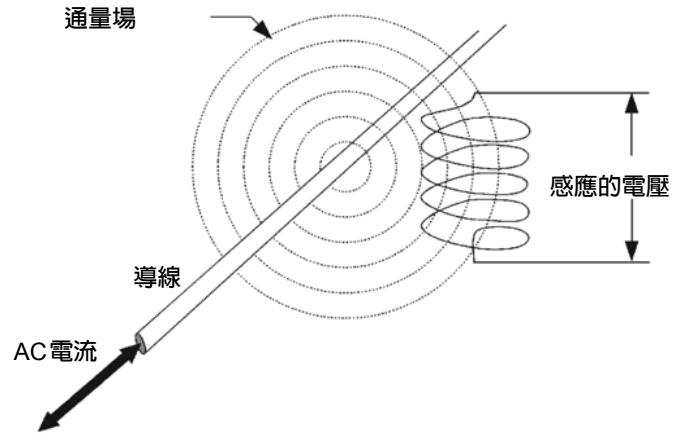
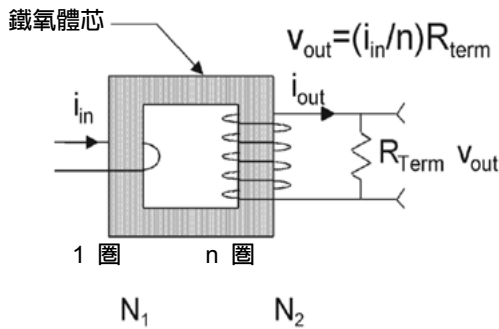


圖2.6. 在線圈上感應電壓，線圈放在承載交流 (AC) 的導線周圍變動的通量場中。

在任何情況下，AC 電流探棒還有一個低頻截止點，這包括直流 (DC)，因為直流不會引起變化的通量場，因此不會引起變壓器動作。另外在非常接近 DC 的頻率上，如 0.01 Hz，通量場不可能變化得足夠快，能夠實現可以感知的變壓器動作。但是，他最終會達到低頻，使得變壓器動作足以在探棒頻寬範圍內產生可以衡量的輸出。根據探棒線圈的設計，頻寬的低頻一端再次可能會低達 0.5 Hz 或高達 1.2 kHz。

對起始頻寬在 DC 附近的探棒，可以在探棒設計中增加霍爾效應裝置，檢測 DC。其結果是得到頻寬從 DC 開始、擴展到規定頻率上限 3 dB 點的 AC/DC 探棒。這類探棒至少要求一個電源，來偏置 DC 傳感使用的霍爾效應設備。根據探棒設計，還可能會要求電流探棒放大器，以組合和定標 AC 和 DC 位準，為在示波器上觀察訊號提供單一的輸出波形。



電變壓器公式
電壓， v ： $v_2/v_1=N_2/N_1$
電流， i ： $i_2/i_1=N_1/N_2$
阻抗， Z ： $Z_1=(N_1/N_2)^2Z_2$
功率， P ： $P_2=P_1$

圖2.7. 透過 AC 變壓器動作，一圈承載電流的導線 (N_1) 會在 AC 探棒的線圈 (N_2) 中感應電流，在探棒端子 (R_{Term}) 中導致與電流成比例的電流。

必須記住，從本質上看，電流探棒的工作方式類似於緊密耦合的變壓器。圖2.7 說明這一概念，其中包括基本變壓器公式。對標準操作，傳感的電流導線是一圈線圈 (N_1)。來自這個單線圈的電流會轉換成與線圈比率成比例 (N_2/ N_1) 的多線圈 (N_2) 探棒輸出電壓。同時，探棒的阻抗作為串聯插入阻抗轉換回到導線上。這種插入阻抗與頻率相關，其 1-MHz 值一般位於 30 - 500 MΩ 的範圍內，具體視探棒而定。阻抗在待測電路內串列出現。在大多數情況下，電流探棒的插入阻抗很小，產生的負載可以忽略不計。

透過使導線幾次纏在探棒上，如圖2.8 所示，可以利用變壓器基礎提高探棒靈敏度。兩圈可以使靈敏度提高兩倍，三圈可以使靈敏度提高三倍。但是，這會使插入阻抗以增加的圈數的平方提高。

圖2.8 還說明一種特定的探棒類型，稱為分芯探棒。這類探棒的線圈放在「U」形芯上，「U」形芯帶有一鐵素體滑塊，滑塊蓋住「U」形頂部。這類探棒的優點在於，鐵素體滑塊可以收縮，使得探棒能夠方便地卡到量測電流的導線上。在量測完成時，滑塊可以收縮，探棒可以移到其他導線上。

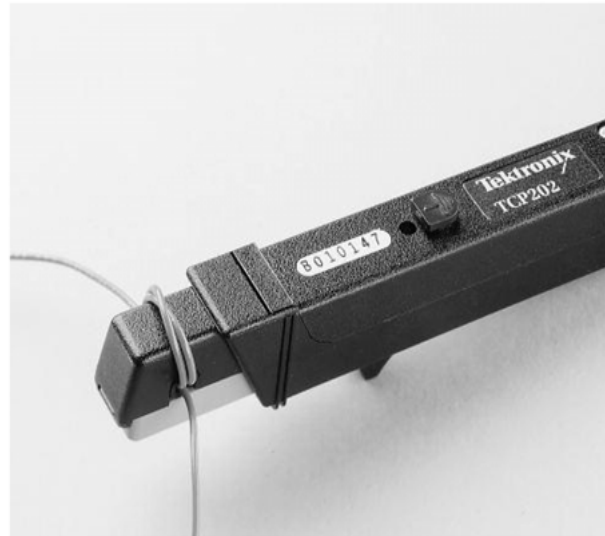


圖2.8. 分芯 AC 電流探棒範例。在探棒上將導線繞 n 圈可以使有效的靈敏度提高 n 倍。

探棒還帶有實芯電流變壓器。這些變壓器完全繞在待測導線上。結果，必須斷開待測導線，將導線穿過變壓器，然後重新將導線連接到電路上，才能安裝這些變壓器。

實芯探棒的主要優勢是他們體積非常小，提供了非常快的頻響，可以量測快速、低振幅電流脈衝和 AC 訊號。到目前為止，分芯電流探棒是最常用的探棒類型，其分為 AC 型和AC/DC型，並有各種每格電流顯示範圍，具體視安培秒乘積而定。

安培秒乘積定義了任何電流探棒線性操作的最大極限。對電流脈衝，這一乘積定義為平均電流振幅乘以脈寬。在超過安培秒乘積時，探棒線圈的芯材會變得飽和。由於飽和的芯不能處理更多的電流感應的通量，因此在流輸入和電壓輸出之間不再成恒定的比例。其結果，波形峰值基本上會在超過安培秒乘積的區域中「被削掉」。

透過被感應的導線傳送很高的直流，也會導致磁芯飽和。為處理磁芯飽和及有效擴展電流量測範圍，某些主動式電流探棒提供了抵償電流。透過傳感待測導線中的電流位準，然後透過探棒輸回一個相等但相反的電流，可以設定抵償電流。透過減去相反電流的現象，可以調節抵償電流，以防止磁芯飽和。

由於從幾毫安培到幾千安培、從 DC 到 MHz 的廣泛的電流量測需求，相應地可供選擇的電流探棒也非常廣泛。為某個應用選擇電流探棒在很多方面與選擇電壓探棒類似。電流處理功能、靈敏度範圍、插入阻抗、連接能力和頻寬/上升時間限制是某些關鍵選擇規格。此外，在頻率提高時，電流處理功能額定值必須下降，不得超過探棒規定的安培秒乘積。

邏輯探棒

由於各種原因，數位系統可能會發生問題。儘管邏輯分析儀是識別和隔離發生的故障的主要工具，但邏輯故障的實際成因通常是由於數位波形的類比特點導致。脈寬抖動、脈衝振幅偏差和普通的老式模擬雜訊和串擾都可能引起數位問題。



圖 2.9. 適用於混合訊號示波器 (MSO) 的邏輯探棒，簡化到您裝置的連接性。

分析數位波形的類比特點要求使用示波器。但是，為隔離確切的成因，數位設計人員通常需要查看在具體邏輯條件下發生的特定資料脈衝。這要求邏輯觸發功能，其更典型的是邏輯分析儀的邏輯觸發功能，而不是示波器的邏輯觸發功能。可透過使用數位探棒將邏輯觸發和時序分析加到混合訊號示波器中。

圖 2.9 所示的邏輯探棒提供兩個 8 通道轉接夾。每條通道末端有一個探棒頭，帶有隱藏式接地，簡化與待測裝置的連接。每個轉接夾第一條通道上的同軸纜線的顏色為藍色，容易識別。公共接地可透過兩個 0.187 吋快速連接卡舌存取，進而可以使用廣泛使用的快速連接插座，輕鬆建立用於連接待測裝置的自訂接地，連接到方形引腳上，然後可以使用轉接器連接探棒頭，與探棒頭齊平延長探棒接地，然後可以連接到頭部。這些探棒提供了良好的電氣特點及最小的電容負載。



圖2.10. 為探測形狀小的裝置設計的探測站範例，如混合電路和 IC。

光學介面探棒

隨著基於光纖的通訊技術的出現和推廣，人們正日益需要查看和分析光學介面波形。業內已經研製出各種專用光學介面系統分析儀，以滿足通訊系統檢修和分析的需求。但是，在光學介面裝置開發檢驗過程中，人們對通用光波形量測和分析的需求也在不斷擴大。光學介面探棒允許在示波器上查看光學介面訊號，滿足了這一不斷擴大的需求。

光學介面探棒是一種光電轉換器。在光學介面一側，必須選擇符合特定光學介面連接器和光纖類型或待測裝置光學介面模式的探棒。在電介面一側，則應遵循標準的探棒與示波器匹配標準。

其他探棒類型

除所有上述「相當標準」的探棒類型外，還有各種專用探棒和探測系統，包括：

- 環境探棒，這是為在非常廣泛的溫度範圍內工作而設計的。
- 溫度探棒，用來量測元裝置的溫度和其他產生熱量的項目。
- 探測站和杆狀臂 (圖2.10)，探測精細間距的設備，如多晶片模組、混合電路和IC。

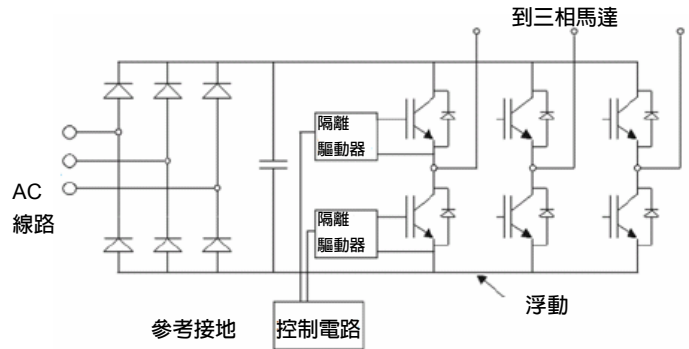


圖2.11. 在這個三相馬達驅動裝置中，所有點都在接地之上，因此必須進行浮動量測。

浮動量測

浮動量測是在兩點之間進行的量測，這兩個點都沒有處在接地電位上。這聽上去有點像前面差動式探棒中介紹的差動式量測，事實上確實如此。浮動量測就是一種差動式量測，實際上也可以使用差動式探棒進行浮動量測。

但是，一般說來，「浮動量測」使用時都會與功率系統量測有關，如開關電源、馬達驅動裝置、鎮流器、不間斷電源等等，其中兩個量測點都不在接地 (接地電位) 上，訊號「公共」電位可能會從接地提升 (浮動) 到幾百伏特。這些量測通常要求抑制高共模訊號，以評估這些訊號上的低位準訊號。外來接地電流也會在顯示中增加雜訊，導致量測變得更加困難。

典型浮動量測情況如圖 2.11 所示。在這個馬達驅動系統中，三相 AC 線路整流到高達 600 V 的浮動 DC 匯流排中。參考接地的控制電路生成脈衝調變門驅動訊號，透過隔離的驅動裝置傳送到電橋電晶體，導致每個輸出以脈衝調變頻率擺動整個匯流排電壓。為精確量測門到發射器的電壓，要求抑制匯流排轉換。此外，馬達驅動裝置緊湊的設計、快速電流轉換及接近旋轉馬達，都導致了嚴酷的 EMI 環境。

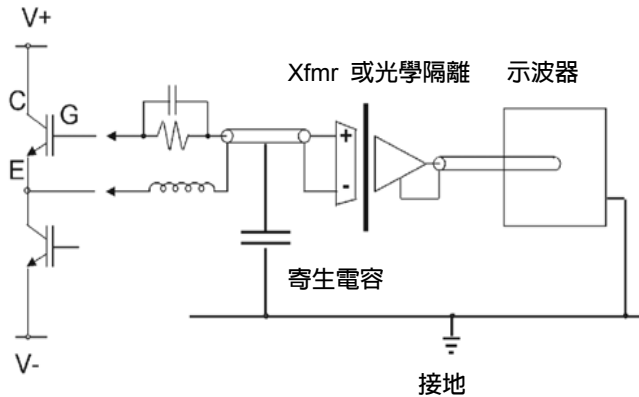


圖 2.12. 進行浮動量測的探棒隔離範例。

此外，將示波器探棒的地線連接到馬達驅動電路的任何部分，都會導致接地短路。

探棒隔離裝置只浮動探棒，而不浮動示波器。這種探棒隔離可以透過變壓器或光學耦合機制完成，如圖 2.12 所示。在本例中，與本應狀態一樣，示波器保持接地，差動訊號被施加到隔離的探棒的尖端和參考引線。隔離裝置將差動訊號發送到接收機，接收機生成參考地位準的訊號，這個訊號與差動輸入訊號成比例。這樣，探棒隔離裝置幾乎能夠相容任何儀器。

為滿足不同需求，業內提供了各種類型的隔離裝置，包括多通道隔離裝置，其提供了兩條或兩條以上的通道及多條獨立參考引線。此外，對隔離裝置需要與儀器在實體上隔開很長距離的應用（如 100 公尺以上），還提供了基於光纖的隔離裝置。與差動式探棒一樣，隔離裝置的主要選型規格是頻寬和 CMRR。此外，最大工作電壓也是隔離系統的一個主要規格。一般來說，最大工作電壓為 600V RMS 或 850 V (DC+ 峰值 AC)。

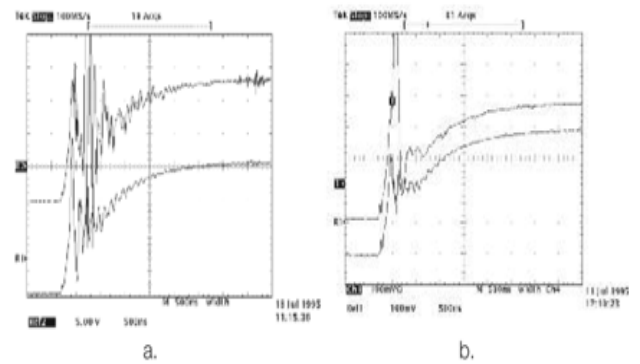


圖 2.13. 除危險外，與使用比較安全的探棒隔離器方法相比 (b)，示波器浮動可能會導致量測結果中明顯的振鈴 (a)。

危險

為避開這種直接的接地短路，某些示波器使用者一直使用使示波器接地電路發生缺陷的不安全作法。這允許示波器的地線浮動馬達驅動裝置電路，從而可以進行差動量測。遺憾的是，這種作法還會使示波器主機殼以可能危及、甚至會電死示波器使用者的電位浮動。

「浮動」示波器不僅是一種不安全的作法，而且雜訊和其他效應通常會損害量測結果。如圖 2.13a 所示，這說明浮動示波器量測馬達驅動裝置上其中一個門到發射器的電壓。圖 2.13a 底部的軌跡是低側門發射器電壓，頂部軌跡是高側電壓。請注意，在這兩個軌跡上有著明顯的振鈴。這一振鈴是由示波器機箱到接地的大的寄生電容導致。

圖 2.14b 說明同一量測的結果，但這次使用正確接地的示波器進行，而且是透過探棒隔離器進行的量測。量測中不僅消除了振鈴，而且量測要安全得多，因為示波器不再浮動到接地電壓之上。



圖 2.14. 帶有標準附件的典型通用電壓探棒。

探棒配件

大多數探棒帶有一套標準配件。這些配件通常包括連接探棒的地線夾、補償調節工具及協助將探棒連接到各個測試點的一個或多隻探棒頭配件。圖2.14 說明典型通用電壓探棒及其標準配件範例。

為特定應用領域 (如探測表面封裝設備) 設計的探棒可能在標準配件包裝中包括額外的探棒頭轉接器。另外, 可以作為探棒選件, 提供各種專用配件。圖2.15 說明為用於小型探棒而設計的多種探棒頭轉接器類型。

必須知道, 大多數探棒配件, 特別是探棒頭轉接器, 是為與特定探棒型號一起使用而設計的。我們建議不要使用在不同探棒製造商生產的探棒型號之間倒換的轉接器, 因為這可能會導致測試點連接不良, 或損壞探棒或探棒轉接器。

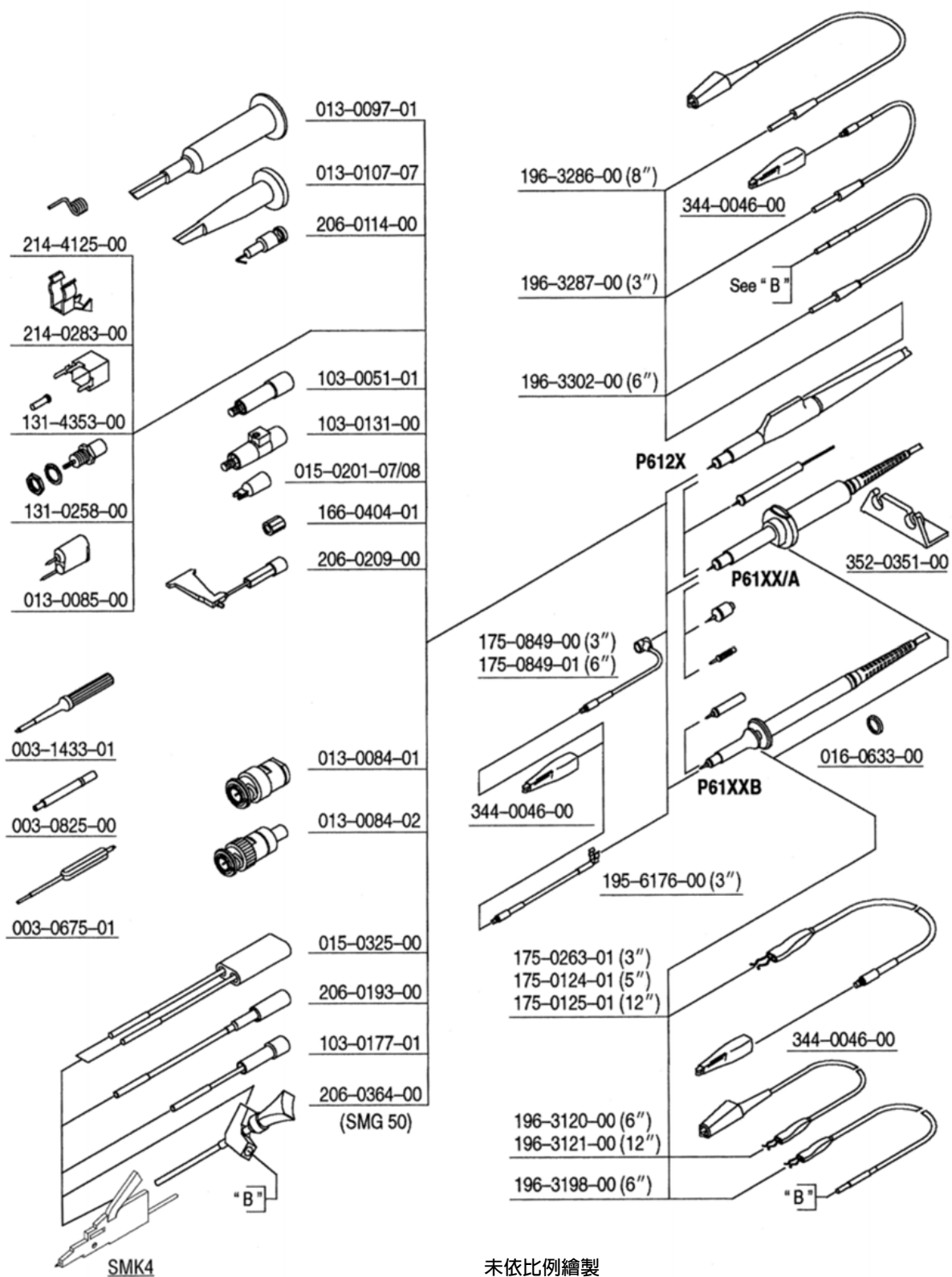


圖 2.15. 小型探棒使用的探棒頭轉接器部分範例。這些轉接器可以明顯容易得多地探測小型電路, 透過提供訊號完整性高的探棒測試單點連接, 可以提高量測準確度。

在選擇要購買的探棒時, 應考慮將要探測的電路類型及使探測變得更快、更簡便的任何轉接器或配件。在許多情況下, 價格低廉的商用探棒不允許選擇轉接器選件。另一方面, 透過示波器製造商獲得的探棒通常允許非常廣泛地選擇根據特定需求調整探棒的配件。圖2.16 說明了其中一個範例, 其中顯示了為某類探棒提供的各種配件和選件。當然, 這些配件和選件會因不同的探棒類型和型號而變化。

探棒頭系統

探棒接地系統



未依比例繪製

圖2.17. 為 5-mm (微型) 探棒系統提供的各種配件實例。其他探棒系列擁有不同的配件，具體取決於該系列探棒產品的應用。

探棒選購指南

前幾章介紹示波器探棒的各個方面，包括探棒工作方式、各種探棒類型及其對量測的影響。大部分內容將重點放在探棒連接到測試點時發生的情況。

在本章中，我們的重點轉向訊號源及如何將其屬性轉換成相應探棒選型規格。

我們的目標一直是選擇能提供示波器最佳訊號效果的探棒但不止於此，在選擇探棒過程中，還需考量到一些示波器的需求。

本章探索多種選購要求，我們首先介紹訊號源的相關要求。

選擇適當的探棒

由於廣泛的示波器量測應用和需求，市場上可供選擇的示波器探棒很多，因此探棒選擇過程很容易引起混淆。

為減少大量的混淆及縮小選擇過程，應一直遵守示波器製造商的探棒建議，這一點非常重要，因為不同的示波器是為不同的頻寬、上升時間、靈敏度和輸入阻抗考慮因素而設計的。全面利用示波器的量測功能要求探棒要與示波器的設計考慮因素相匹配。

此外，探棒選擇過程應考慮量測需求。您要量測哪些項目？是電壓？電流？還是光訊號？透過選擇適合訊號類型的探棒，可以更快地獲得直接量測結果。

另外，要考慮量測的訊號振幅。他們是否位於示波器的動態範圍內？若不是，必須選擇可以調節動態範圍的探棒。一般來說，這透過使用 10X 或更高的探棒進行衰減來實現。

要保證探棒頭上的頻寬或上升時間應超過計畫量測的訊號頻率或上升時間。要記住，非正弦曲線訊號具有重要的頻率成分或諧波，其可能會在很大程度上超過訊號的基礎頻率。例如，為全面包括 100 MHz 方波的第 5 個諧波，您需要探棒頭上的頻寬為 500 MHz 的量測系統。類似的，示波器系統的上升時間應該比計畫量測的訊號上升時間快 3-5 倍。

另外，應一直考慮探棒可能導致的訊號負載。儘量使用高電阻、低電容探棒。對大多數應用，帶有 20 pF 或更低電容的 10 MΩ 探棒應為訊號源負載提供充足的保證。但是，對某些高速數位電路，您可能需要轉向主動式探棒提供較低的尖端電容。

最後記住在進行量測前，必須能夠將探棒連接到電路上。這可能要求選擇時專門考慮探棒頭規格和探棒頭轉接器，以簡單方便地連接電路。

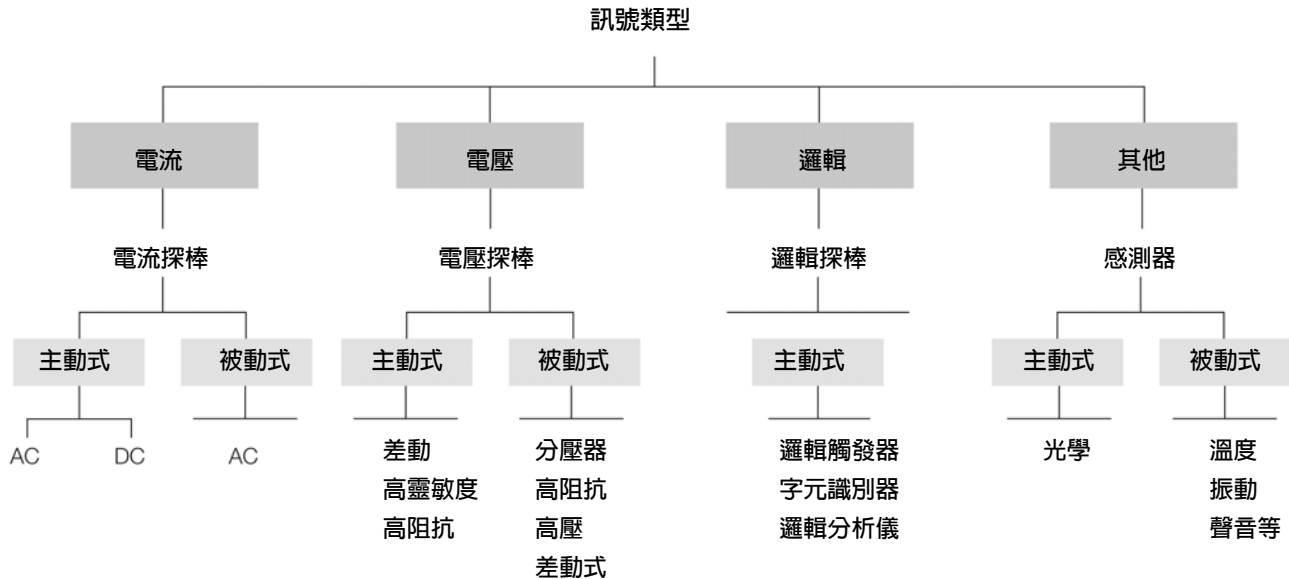


圖3.1. 根據待測訊號類型劃分的探棒種類。

瞭解訊號源

在選擇探棒時要考慮四個基本訊號源問題，即訊號類型、訊號頻率成分、訊號源阻抗和測試點的實體屬性。下面討論了每個問題。

訊號類型

探棒選擇的第一步是評估要探測的訊號類型。為此，可以將訊號劃分為：

- 電壓訊號
- 電流訊號
- 邏輯訊號
- 其他訊號

電壓訊號是電子裝置量測中最經常遇到的訊號類型，也正因如此，電壓傳感探棒是最常用的示波器探棒類型。此外，應該指出，由於示波器在輸入上要求電壓訊號，因此其他類型的示波器探棒在本質上是將傳感到的現象轉換成相應電壓訊號的感測器。一個常見範例是電流探棒，將電流訊號轉換成電壓訊號，以便在示波器查看訊號。

邏輯訊號實際上是特殊類型的電壓訊號。可以使用標準電壓探棒查看邏輯訊號，但更常見的情況是必須查看特定的邏輯事件。透過將邏輯探棒設置成在發生規定的邏輯組合後觸發到示波器的訊號，可以實現這種功能。

這允許在示波器顯示幕上查看特定的邏輯事件。

除電壓訊號、電流訊號和邏輯訊號外，可能還有使用者關心的許多其他訊號類型，如光源、機械源、熱源、聲源和其他來源發出的訊號。可以使用各種變頻器將這些訊號轉換成相應的電壓訊號，以在示波器上進行顯示和量測。在完成這種轉換時，變頻器成爲訊號源，以選擇探棒，將變頻器訊號傳送到示波器上。

圖3.1根據要量測的訊號類型以圖形方式對探棒進行了分類。請注意，在每一類下面，都有各種探棒子類，額外的訊號屬性及其示波器要求進一步決定了這些探棒子類。

訊號頻率成分

不管是什麼類型，所有訊號都有頻率成分。DC 訊號的頻率爲0 Hz，純正弦曲線擁有單一的頻率，這一頻率是正弦曲線週期的倒數。所有其他訊號都包含多個頻率，頻率值取決於訊號波形。例如，對稱方波的基礎頻率 (f_0) 是方波週期的倒數，另外還有其他諧波頻率，這些諧波頻率是基礎頻率的奇數倍 ($3f_0$ 、 $5f_0$ 、 $7f_0$ 、...)。基礎頻率是波形的基礎，諧波頻率與基礎頻率相結合，增加了結構細節，如波形轉換和拐角。

爲使探棒將訊號傳送到示波器、同時保持足夠的訊號完整性，探棒必須擁有足夠的頻寬，以最小的干擾傳送訊號的主要頻率成分。在方波和其他週期訊號中，這一般意味著探棒頻寬必須比訊號的基礎頻率高 3-5 倍。這可以傳送基礎頻率和前幾個諧波，而不會不適當地衰減其相對振幅。另外還將傳送較高的諧波，但衰減數量會提高，因爲這些更高的諧波超過了探棒的3-dB 頻寬點。但是，由於至少在一定程度上仍存在更高的諧波，因此在一定程度上會影響波形的結構。

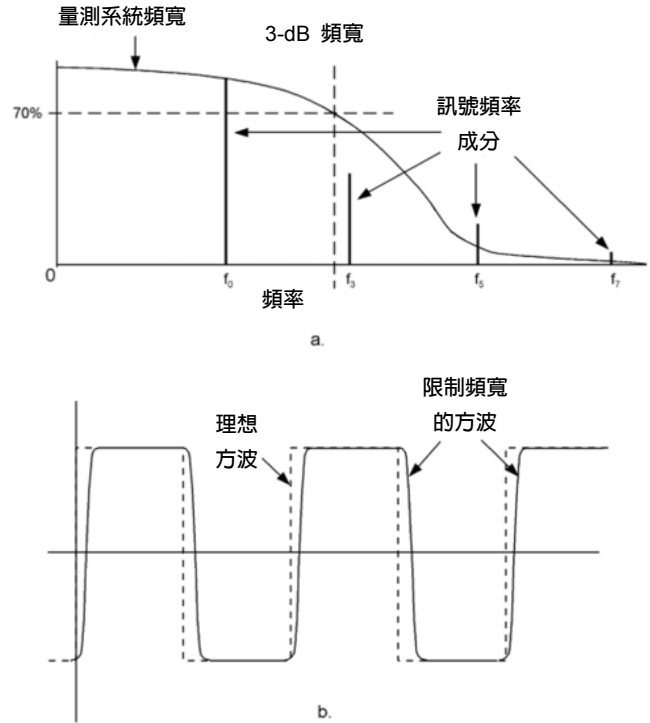


圖 3.2. 在訊號的主要頻率成分超過量測系統頻寬時 (a)，他們會經歷較高程度的衰減。結果，透過磨圓拐角和拉長轉換，波形細節會遺失 (b)。

限制頻寬的主要影響是降低訊號振幅。訊號的基礎頻率越接近探棒的 3-dB 頻寬，探棒輸出上看到的整體訊號振幅越低。在3-dB 點上，振幅下降 30%。此外，由於頻寬衰減，擴展到探棒頻寬之上的訊號諧波或其他頻率成分會經歷更高程度的衰減。在較高的頻率成分上衰減程度較高，可以透過銳角變圓及快速波形轉換變慢看出這一點 (請參見圖3.2)。

還應該指出，探棒頭電容也限制著訊號轉換的上升時間。但是，這與訊號源阻抗和訊號源負載有關，我們在後面將對此展開討論。

訊號源阻抗

深入探討訊號源阻抗的下列各項：

1. 探棒的阻抗與訊號源阻抗相結合，產生新的訊號負載阻抗，其在一定程度上會影響訊號振幅和訊號上升時間。
2. 在探棒阻抗明顯高於訊號源阻抗時，探棒對訊號振幅的影響可以忽略不計。
3. 探棒頭電容也稱為輸入電容，影響著訊號的上升時間展寬。這是由於將探棒的輸入電容從 10% 提高到 90% 所需的時間導致的，其公式如下：

$$tr = 2.2 \times R_{source} \times C_{probe}$$

從上面幾點中，可以明顯看出最好選擇高阻抗、低電容探棒，以最大限度降低訊號源的探棒負載。此外，透過在可能的地方選擇低阻抗訊號測試點，可以進一步降低探棒負載的影響。

實體連接考慮因素

訊號測試點的位置和形狀也是探棒選擇的主要考慮因素。其是否足夠，剛好將探棒接觸到測試點上、在示波器上觀察訊號？還是必須使探棒連接測試點，以監測訊號，同時進行各種電路調節？對前一種情況，適合採用針式探棒頭；而對後一種情況，則要求某類可收縮的掛鉤探棒頭。

測試點的規格也影響著探棒選擇。標準規格的探棒和配件特別適合探測連接器針腳、電阻器引線和背板。但為了探測表面封裝電路，我們推薦使用帶有為表面封裝應用專門設計的配件的小型探棒。

目標是選擇最適合特定應用的探棒規格、形狀和配件，從而可以迅速、簡便、牢固地將探棒連接到測試點上，以可靠地進行量測。

瞭解示波器

示波器問題對探棒選型的影響與訊號源問題一樣重要。若探棒與示波器不相符，將損害探棒的示波器一端訊號完整性。

頻寬和上升時間

使用者必須瞭解，示波器及其探棒是作為一個量測系統一起工作。因此，使用的示波器頻寬和上升時間規格應大於等於使用的探棒規格，使其足以檢查訊號。

一般來說，探棒和示波器之間的頻寬和上升時間交互非常複雜。由於這種複雜性，大多數示波器製造商對用於特定示波器的特定探棒型號中的探棒頭指定了示波器頻寬和上升時間。為保證為計畫檢查的訊號提供足夠的示波器系統頻寬和上升時間，最好遵循示波器製造商的探棒建議。

輸入電阻和電容

所有示波器都有輸入電阻和輸入電容。為最大限度地傳送訊號，示波器的輸入電阻和電容必須與探棒輸出的電阻和電容相匹配，具體關係如下：

$$R_{scope} C_{scope} = R_{scope} C_{probe} = \text{最優訊號傳送能力}$$

更具體地說，50 Ω 示波器輸入要求 50 Ω 探棒，1 M Ω 示波器輸入要求 1 M Ω 探棒。在使用適當的 50 Ω 轉接器時，1 M Ω 示波器也可以與 50 Ω 探棒一起使用。

探棒與示波器電容也必須相符，這透過選擇為用於特定示波器型號而設計的探棒選型實現。此外，許多探棒都具有補償調節功能，透過補償微小的電容變化，可以精確地實現匹配。在探棒連接到示波器上時，應該完成的第一件事是調節探棒的補償功能(請參閱第一章中的「補償」)。探棒與示波器未能正確配合(包括透過選擇適當的探棒及進行適當的補償調節)，可能會導致明顯的量測誤差。

靈敏度

示波器的垂直靈敏度範圍決定著訊號振幅量測的整體動態範圍。例如，垂直顯示範圍為 10 格、靈敏度範圍在 1 mV/格 - 10 V/格之間的示波器的實際垂直動態範圍大約是 0.1 mV - 100 V。若計畫量測的各種訊號振幅範圍在 0.05 mV - 150 V 之間，則這一示波器的動態範圍在低端和高端都達不到要求。但是，透過為要處理的各種訊號選擇適當的探棒，可以彌補這一缺點。

對高振幅訊號，透過使用衰減器探棒，可以向上擴展示波器的動態範圍。例如，10X 探棒將示波器的靈敏度範圍有效地向上移十，這一示波器的靈敏度範圍將是 1mV/格 - 100 V/格。這不僅為 150V 訊號提供足夠的範圍，而且還提供了 1000V 的頂級示波器顯示範圍。但是，在將任何探棒連接到訊號之前，一定要保證訊號不會超過探棒的最大電壓功能。

注意

一直要觀察探棒的最大規定電壓功能。將探棒連接到超過其功能的電壓上，可能會導致人身傷害及設備損壞。

對低振幅訊號，透過使用探棒放大器系統，可以將示波器範圍擴展到較低的靈敏度上。這一般是差動放大器，如可以提供 10 iV/格的靈敏度。

這些探棒放大器系統專用程度高，是為與特定的示波器型號匹配而設計的。結果，在選擇示波器時一定要檢查製造商為差動式探棒系統推薦的配件，以滿足小訊號應用要求。

注意

差動探棒系統通常包含靈敏的裝置，過壓可能會損壞這些裝置，包括靜電放電。為避免損壞探棒系統，一直應遵循製造商的建議，並遵守所有注意事項。

讀數功能

大多數現代示波器在螢幕上提供了垂直靈敏度和位準靈敏度設置 (伏特/格和秒/格) 的讀數。這些示波器通常還提供了探棒傳感和讀數處理功能，從而讀數可以正確跟蹤使用的探棒類型。例如，若使用 10X 探棒，透過以 10X 係數調節垂直讀數，示波器應大體反映靈敏度。若使用電流探棒，垂直讀數將從伏特/格變為安培/格，以體現正確的度量單位。

為利用這些讀數功能，應使用相容示波器讀數系統的探棒。也應該遵循製造商與特定示波器一起使用探棒的建議。這對新型示波器尤其重要，其可能具有許多通用探棒或商用探棒沒有全面支援的進階讀數功能。

選擇適當的探棒

從前面討論的訊號源和示波器問題中可以明顯看出，若沒有一定的幫助，選擇適當的探棒是一個非常麻煩的過程。事實上，由於並沒有一直指定某些關鍵選擇標準，如探棒上升時間和示波器輸入電容，在某些情況下選擇過程可能會變成猜測性的工作。

為避免猜測性的工作，最好選擇在推薦配件清單中包括可以廣泛選擇探棒的轉接器。另外，在遇到新的量測要求時，一定要與示波器製造商核對新推出的、可能擴展示波器功能的探棒。

最後，記住對任何給定應用，實際上並沒有「合適」探棒選型，而只有「合適」示波器/探棒組合選項，首先取決於界定的訊號量測要求，包括：

- 訊號類型 (電壓、電流、光學介面等等)
- 訊號頻率成分 (頻寬問題)
- 訊號上升時間
- 訊號源阻抗 (電阻和電容)
- 訊號振幅 (最大值、最小值)
- 測試點形狀 (帶引線的裝置、表面封裝等)

透過考慮上述問題及填寫具體的應用資訊，可以指定能夠滿足所有應用需求的示波器和各種相容探棒。

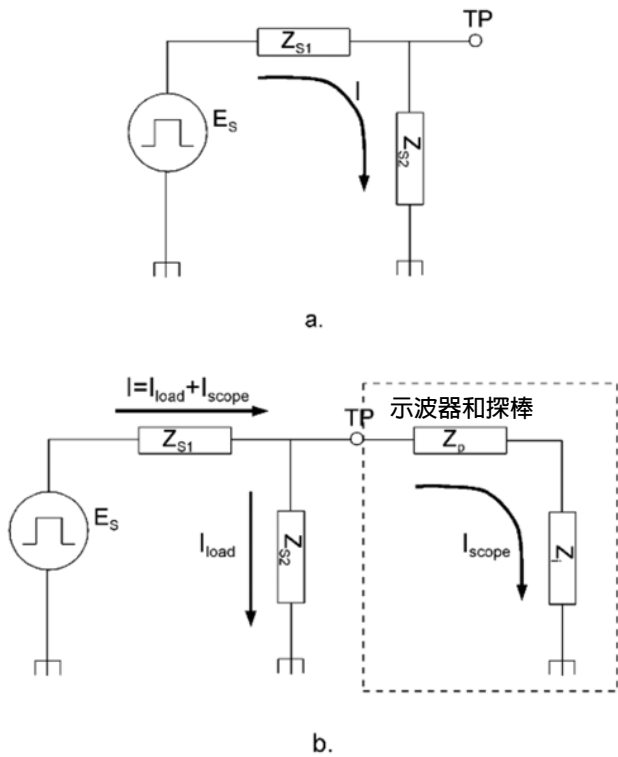


圖4.1. 在測試點 (TP) 上量測的訊號可以透過訊號源和相關的負載阻抗表示 (a)。探測測試點在訊號源負載上增加了探棒和示波器阻抗，導致量測系統吸收部分電流 (b)。

探棒對量測的影響

為獲得訊號的示波器顯示，必須將訊號的某個部分轉換成示波器的輸入電路，如圖4.1所示，其中測試點 (TP) 後面的電路使用訊號源 E_s 和相關電路阻抗 Z_{s1} 和 Z_{s2} 表示，這是 E_s 上的正常負載。在示波器連接到測試點上時，探棒阻抗 Z_p 和示波器輸入阻抗 Z_i 成為訊號源上負載的一部分。

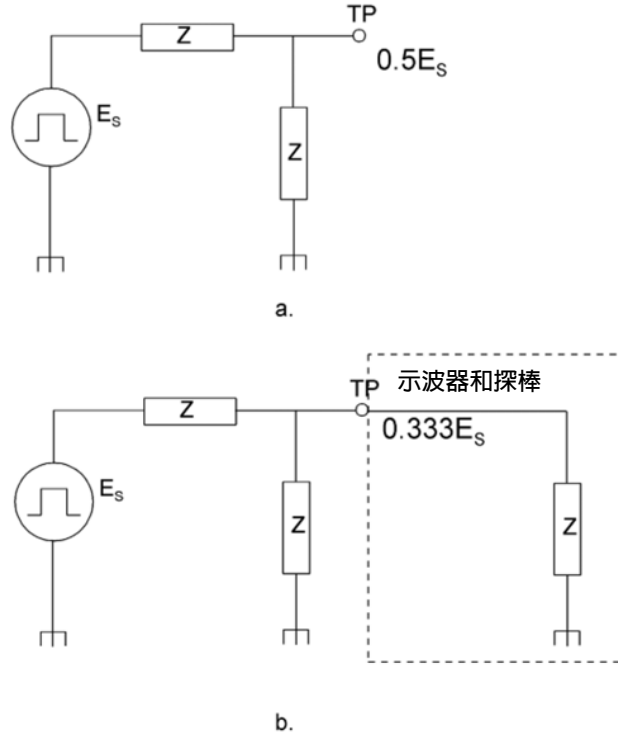


圖4.2. 訊號源阻抗越高，探測導致的負載越大。在這種情況下，所有阻抗都相等，探測導致測試點上的訊號振幅下降了30% 以上。

根據阻抗的相對值，在測試點中增加探棒和示波器導致各種負載效應。

本章詳細討論了負載效應及其他探測效應。

訊號源阻抗的影響

訊號源阻抗的值可能會明顯影響探棒負載的淨效應。例如，在訊號源阻抗低時，很難注意得到典型高阻抗 10X 探棒的負載效應。這是因為與低阻抗並聯增加的高阻抗不會明顯改變總阻抗。

但是，在更高的訊號源阻抗時，情況發生明顯變化。例如，考慮一下圖4.1 中的訊號源阻抗具有相同的值，且該值等於探棒阻抗和示波器阻抗總和，如圖4.2 所示。

對相等的 Z 值，在沒有將探棒和示波器連接到測試點時，訊號源負載是 $2Z$ (請參見圖4.2a)。這導致在未探測的測試點上產生了 $0.5E_s$ 的訊號振幅。但是，在連接探棒和示波器時 (圖4.2b)，訊號源上的總負載變成 $1.5Z$ ，測試點上的訊號振幅降低到未探測值的 $2/3$ 。

在後一種情況下，可以採取兩種方法，降低探測對阻抗負載的影響。一種方法是使用阻抗更高的探棒。另一種方法是在阻抗較低的測試點的電路中其他地方探測訊號。例如，陰極、發射器和訊號源的阻抗通常要低於金屬盤、集電極或加蔽線。

電容負載

隨著訊號頻率或轉換速率提高，阻抗的電容成分變成主要因素。結果，電容負載成爲主要問題。特別是電容負載會影響快速轉換波形上的上升時間和下降時間及波形中高頻成分的振幅。

對上升時間的影響

爲說明電容負載，讓我們考慮一下上升時間非常快的脈衝產生器，如圖4.3 所示，其中理想產生器輸出上的脈衝的上升時間爲零 ($t_r = 0$)。但是，訊號源阻抗負載相關的電阻和電容改變了這個零上升時間。

RC 積分網路一直產生 $2.2RC$ 的 10 - 90% 上升時間。這從電容器的通用時間常數曲線中推導得出。取值 2.2 是 C 透過 R 充電，將脈衝振幅從 10% 提高到 90% 所需的 RC 時間。

在圖4.3 的情況下， $50\ \Omega$ 和 $20\ \text{pF}$ 的訊號源阻抗導致 $2.2\ \text{ns}$ 的脈衝上升時間。 $2.2RC$ 值是脈衝可以擁有的最快上升時間。

在探測脈衝產生器的輸出時，探棒的輸入電容和電阻加到脈衝產生器的值中，如圖4.4 所示，其中增加了 $10\ \text{M}\Omega$ 和 $11\ \text{pF}$ 的典型探棒。由於探棒 $10\ \text{M}\Omega$ 電阻要遠遠大於產生器的 $50\ \Omega$ 電阻，因此探棒的電阻可以忽略不計。但是，探棒的電容與負

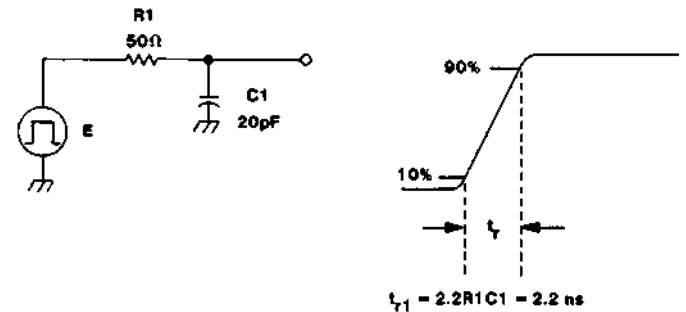


圖4.3. 脈衝產生器的上升時間取決於其 RC 負載。

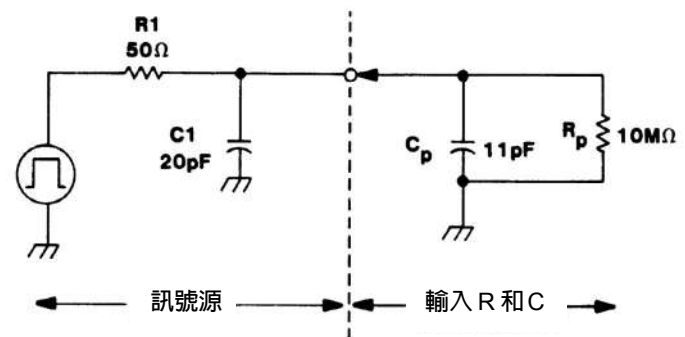


圖4.4. 探棒增加的電容提高了 RC 值，同時提高了測得的上升時間。

荷電容大體持平，直接增加得到 $31\ \text{pF}$ 的負載電容。這提高了 $2.2RC$ 的值，導致測得的上升時間提高到 $3.4\ \text{ns}$ ，而探測前的上升時間爲 $2.2\ \text{ns}$ 。

透過使用探棒規定電容與已知或估算源電容之比，可以估計探棒針電容對上升時間的影響。使用圖4.4 中的值，可以估算上升時間的百分比變化如下：

$$C \text{ 探棒頭}/C1 \times 100\% = 11 \text{ pF}/20 \text{ pF} \times 100\% = 55\%$$

從上面可以清楚地看出，探棒選擇、尤其是探棒電容的選擇會影響上升時間量測。對被動式探棒，一般來說，衰減比率越大，頭部電容越低。從表4.1 中可以看出這一點，其中介紹了各種被動式探棒的部分探棒電容範例。

探棒	衰減	頭部電容
P6101B	1X	100 pF
P6109B	10X	13 pF
P5100	100X	2.75 pF

表 4.1. 探棒頭電容。

在需要較小的頭部電容時，應使用主動式 FET 輸入探棒。根據具體的主動式探棒模型，可以提供小於等於 1 pF 的頭部電容。

對振幅和相位的影響

除影響上升時間外，電容負載還影響著波形中高頻成分的振幅和相位。對此要記住，所有波形都是由正弦曲線成分構成的。50 MHz 方波擁有超過 100 MHz 的有效諧波成分。所以不僅要考慮波形基礎頻率上的負載效應，而且要考慮超過基礎頻率幾倍的頻率上的負載效應。

負載取決於探棒頭上的總阻抗。這稱為 Z_p ， Z_p 由電阻成分 R_p 和電抗成分 X_p 組成。電抗成分主要是電容，但在探棒中可以設計電感單元，以部分偏移電容負載。

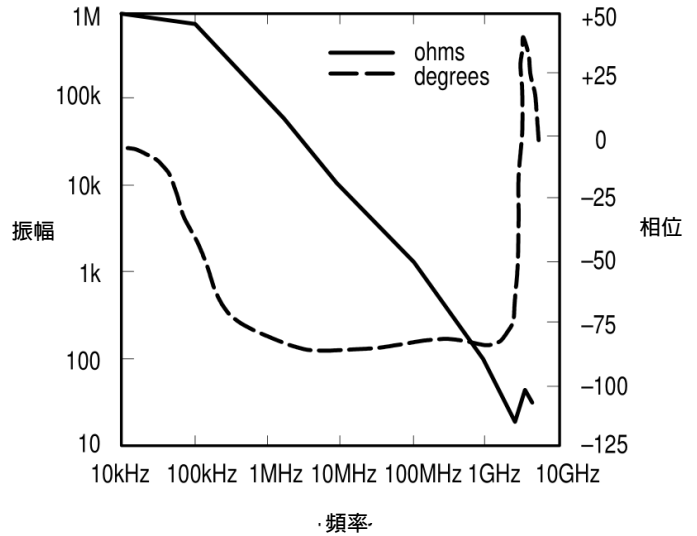


圖 4.5. 主動式探棒典型的輸入阻抗隨頻率變化。

一般來說， Z_p 會隨著頻率提高而下降。大多數探棒儀器手冊會編制探棒 R_p 資料，文件中包括顯示 Z_p 與頻率的關係曲線。圖 4.5 是普通主動式探棒的範例。請注意，1 MΩ 阻抗振幅固定在接近 100 kHz。這透過認真設計探棒的相關電阻單元、電容單元和電感單元實現。

圖 4.6 說明探棒曲線的另一個範例。在這種情況下，顯示了典型 10 MΩ 被動式探棒的 R_p 和 X_p 與頻率關係。虛線 (X_p) 說明電容電抗隨頻率變化。請注意， X_p 在 DC 上開始下降，但 R_p 直到 100 kHz 時才開始明顯衰減 (理論電阻不會下降，但是實際電阻 (如 R_p) 具有與電阻並聯的寄生電容。這導致 R_p 在非常高的頻率下會如同電容器)。

透過認真設計相關 R、C 和 L 單元，再次可以偏移總負載。

若沒有得到探棒的阻抗曲線，可以使用下述公式估算最壞情況下的負載：

$$X_p = 1/2\pi fC$$

其中：

X_p = 電容電抗

f = 頻率

C = 探棒頭電容

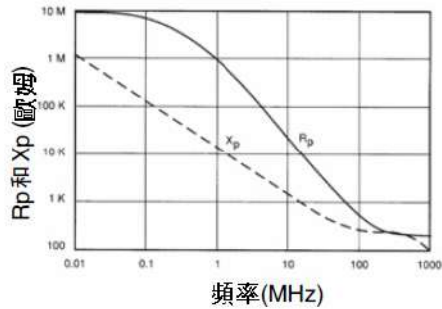


圖4.6. 典型10 MΩ 被動式探棒的 X_p 和 R_p 與頻率關係。

例如，頭部電容為 11 pF 的標準被動式 10 MΩ 探棒的電容電抗 (X_p) 在 50 MHz 時大約為 290Ω。根據訊號源阻抗，此負載可能會對訊號振幅帶來很大的影響 (透過簡單的分路器動作)，其甚至可能會影響被探測的電路操作。

頻寬考慮因素

頻寬是同時涉及探棒頻寬和示波器頻寬的量測系統問題。示波器的頻寬應超過要量測的訊號的主要頻率，使用的探棒頻寬應等於或超過示波器的頻寬。

從量測系統角度看，實際問題是探棒頭的頻寬。製造商通常對某些示波器/探棒組合指定探棒頭頻寬。但情況並不是一直如此。結果，您應該知道示波器和探棒的主要頻寬問題，包括各個示波器和探棒的頻寬及綜合在一起的頻寬。

示波器頻寬

頻寬定義為振幅與頻率圖上量測系統比參考位準低3dB 的點，如圖4.7 所示，這說明表明 3 dB 點的回應曲線。

必須指出，量測系統在額定頻寬上的振幅低 3 dB。這意味著您可以預計頻寬極限上的頻率，振幅量測會有 30% 的誤差。

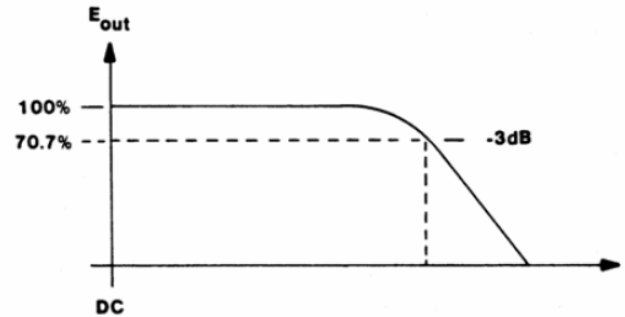


圖4.7. 頻寬定義為回應曲線中振幅下降 -3 dB 的頻率。

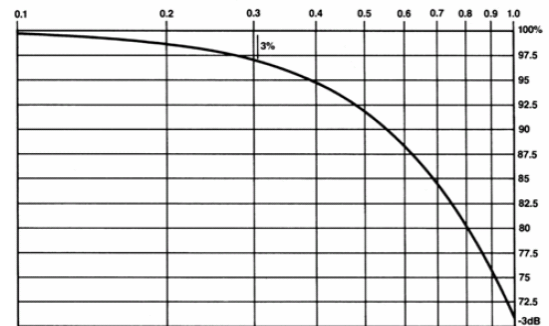


圖4.8. 額定頻寬下降曲線。

通常情況下，使用者不會以全部頻寬極限使用示波器。但是，若振幅準確度至關重要，應準備相應地降低示波器的額定頻寬。

例如，考慮一下圖4.8 中所示的頻寬衰減的擴展圖。這個圖中的位準標度說明獲得好於 30% 的振幅準確度所需的額定值下降係數。若沒有額定值下降係數 (係數為 1.0)，100 MHz 示波器在 100 MHz 的振幅誤差將高達 30%。若您希望振幅量測落在 3% 範圍內，這台示波器的頻寬必須以 0.3 係數下降至 30 MHz。在頻率超過 30MHz 時，振幅誤差將超過 3%。

上面的範例指明了示波器選型的整體經驗法則。對 3% 以內的振幅量測，應選擇指定頻寬比量測的最高頻率波形高 3-5 倍的示波器。

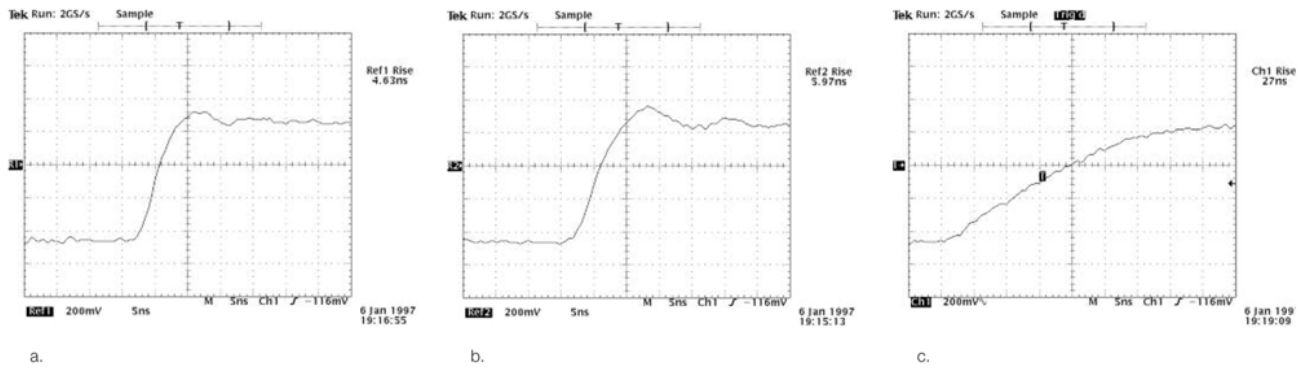


圖 4.9. 對三種不同探棒的上升時間的影響：(a) 400 MHz，10X 探棒；(b) 100 MHz，10X 探棒；(c) 10 MHz，1X 探棒。所有量測都使用同一台400 MHz 示波器完成。

在上升時間或下降時間是主要規格時，可以使用下述公式將示波器的頻寬 (BW) 規格轉換成上升時間規格：

$$Tr \approx 0.35/BW$$

或為方便起見：

$$Tr (ns) \approx 350/BW (MHz)$$

與頻寬一樣，應該選擇上升時間比預計量測的最快上升時間快 3-5 倍的示波器 (應該指出，上面的頻寬到上升時間轉換假設示波器的回應為高斯衰減。大多數示波器是為高斯衰減的回應而設計)。

探棒頻寬

與其他電路一樣，所有示波器都有頻寬極限。此外，與示波器一樣，探棒的效能一般取決於頻寬。因此，頻寬為 100 MHz 的示波器在 100 MHz 點上的振幅回應低於 3 dB。

類似的，探棒頻寬也可以用示波器使用的同一公式表示 ($Tr \approx 0.35/BW$)。此外，對主動式探棒，可以使用下述公式組合示波器和探棒上升時間，獲得近似的探棒/示波器系統的上升時間：

$$Tr_{system}^2 \approx Tr_{probe}^2 + Tr_{scope}^2$$

對被動式探棒，這一關係比較複雜，不應使用上面的公式。

一般來說，探棒頻寬應一直等於或超過將使用的示波器的頻寬。若使用的探棒頻寬太低，會限制示波器實現全部量測功能。圖4.9 進一步說明這一點，其中顯示了使用三種不同頻寬的探棒量測的同一脈衝跳變。

如圖4.9a 所示，第一個量測是使用符合的 400 MHz 示波器和探棒組合進行。使用的探棒是 10 MΩ 電阻和 14.1pF 電容的 10X 探棒。請注意，測得的脈衝上升時間是 4.63 ns。這很好地落在 400 MHz 示波器/探棒組合的 875ps 上升時間範圍內。

現在看一下使用同一示波器、使用 10X，100 MHz 探棒量測同一脈衝時發生的情況，如圖4.9b 所示，現在測得的上升時間是 5.97 ns。這比以前測得的 4.63 ns 提高了近 30% !

根據預期，在使用頻寬較低的探棒時，觀察到的脈衝上升時間會變得更長。極端範例如圖4.9c 所示，其中在同一脈衝上使用 1X，10 MHz 探棒。這裡，上升時間已經從原來的 4.63 ns 下降到 27 ns。

圖4.9 得到的一個主要結論是：並不是任何探棒都能做到這一點！

為實現任何示波器的最大效能，也是花錢購買的效能，一定要使用製造商推薦的探棒。

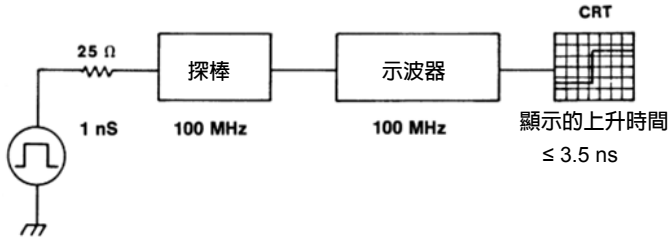


圖4.10. 測試到探棒頭的頻寬使用的等效電路。對 100 MHz 系統，顯示的上升時間應該為 3.5 ns 或更快。

到探棒頭的頻寬

一般來說，根據製造商的下述規範和建議應能夠解決探棒頻寬及得到的探棒/示波器系統頻寬。例如，Tektronix 規定了探棒在規定極限內工作的頻寬。這些極限包括整體偏差、上升時間和掃描頻寬。

另外，在與相容的示波器使用時，Tektronix 探棒將示波器的頻寬擴展到探棒頭。例如，在與相容的 100 MHz 示波器使用時，Tektronix 100 MHz 探棒在探棒頭上提供了 100 MHz 的效能 (-3 dB)。

圖4.10 中的等效電路說明為檢驗到探棒頭的頻寬而使用的業內公認的測試設置。測試訊號源指定的訊號源阻抗為 50 Ω，端接在 50 Ω 電阻中，導致等效的 25 Ω 源端子阻抗。此外，探棒必須使用探棒頭到BNC轉接器或同等設備連接到訊號源上。探棒連接的後一種要求保證了最短的接地通路。

在使用上面介紹的測試設置時，100 MHz 示波器/探棒組合應導致觀察到的上升時間 ≤ 3.5 ns。根據前面討論的頻寬/上升時間關係 ($Tr \approx 0.35/BW$)，此 3.5 ns 上升時間與 100 MHz 頻寬對應。

對包括標準配套探棒的通用示波器，大多數製造商承諾、並在探棒頭上提供了宣稱的示波器頻寬。

但是，要記住探棒頭上的頻寬取決於圖4.10 中的測試方法。由於實際環境訊號很少是從 25 Ω 訊號源發出的，因此在實際環境中預計回應和頻寬都要在一定程度上低於最優水準，在量測更高的阻抗電路尤其如此。

地線影響

在進行參考接地的量測時，必須有兩條到待測電路或待測裝置的連接。一條連接透過探棒完成，探棒傳感待測的其他參數的電壓。另一條必須的連接是透過示波器返回接地，連回到待測電路上。為完成量測電流通路，必須實現接地回路。

在待測電路和示波器插入同一個電源插座電路中時，電力電路的公共電位提供了一條接地回路。透過電源接地的這條訊號回路一般是間接的，長度很長。結果，不能像乾淨的低電感接地回路那樣依賴這條訊號回路。

一般來說，在進行任何類型的示波器量測時，應使用最短的接地路徑。最終的接地系統是一個線上 ECB (蝕刻電路板) 到探棒頭轉接器，如圖 4.11 所示。ECB 轉接器允許將探棒頭直接插入電路測試點中，轉接器的外桶應與探棒頭的接地環形成直接的、短的接地接觸。

對關鍵振幅和定時量測，建議電路板設計中對已建立的測試點包括 ECB/探棒頭轉接器。這不僅清楚地表明測試點位置，而且保證了可以最好地連接測試點，實現最可靠的示波器量測。

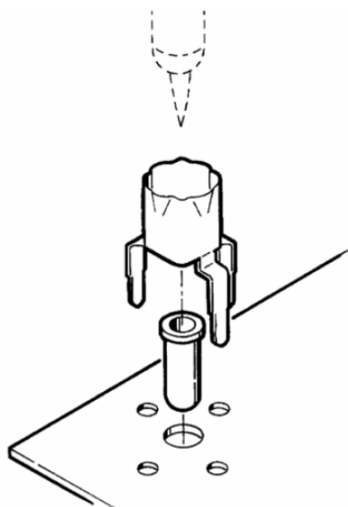


圖 4.11. ECB 到探棒頭轉接器。

遺憾的是，ECB/探棒頭轉接器並不能適用於許多通用的量測環境。典型的測試方法是使用短地線夾到待測電路中的接地點上，而不是使用轉接器。這要方便得多，因為您可以迅速在待測電路中點到點移動探棒。此外，大多數探棒製造商與探棒一起提供的短地線也為大多數量測環境提供了足夠的接地回路。

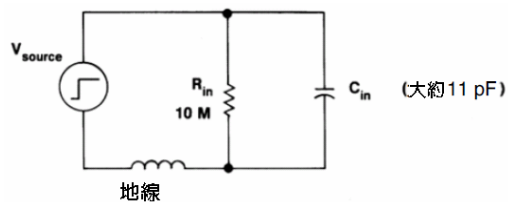
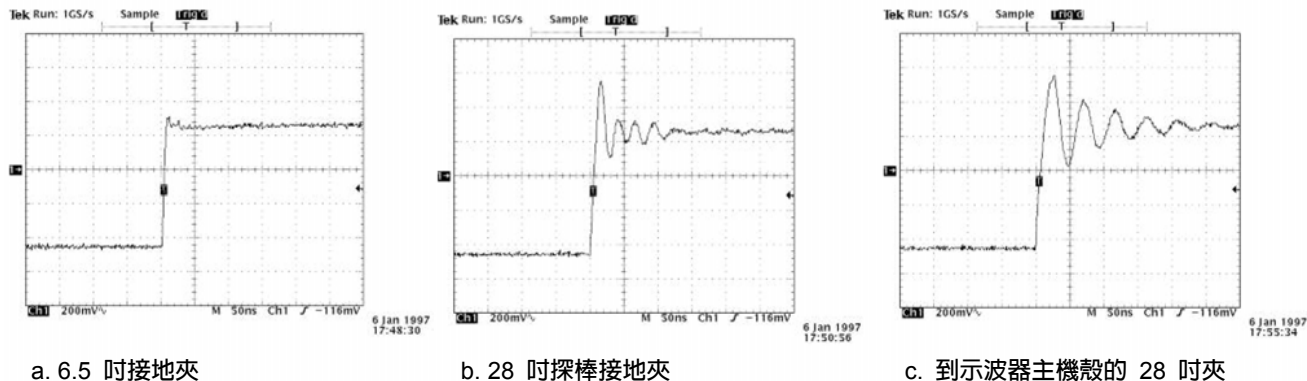


圖 4.12. 連接到訊號源上普通被動式探棒的等效電路。

但是，最好瞭解不正確的接地可能導致的問題。為瞭解這一點，請注意圖4.12 中所示的等效電路中有一個與地線相關的電感 (L)。這一地線電感會隨著導線長度提高而提高。

另外，請注意地線 L 和 C_{in} 形成了一條串聯諧振電路，其中只有 R_{in} 用於阻尼。在這一串聯諧振電路遇到脈衝時，他會振鈴。不僅會出現振鈴，而且地線 L 過高會限制到 C_{in} 的電荷電路，從而限制脈衝的上升時間。

若不使用數學公式，在被快速脈衝激勵時，6 英寸地線的 11 pF 被動式探棒會以 140 MHz 的頻率振鈴。在 100 MHz 示波器中，這個振鈴要遠遠超過示波器的頻寬，根本就看不到。但在使用速度更快的示波器時，如 200 MHz ，地線感應的振鈴很好地落在示波器的頻寬範圍內，在脈衝的顯示幕中非常明顯。



a. 6.5 吋接地夾

b. 28 吋探棒接地夾

c. 到示波器主機殼的 28 吋夾

圖 4.13. 地線長度和放置可能會明顯影響量測。

若在脈衝顯示幕上看到振鈴，應試著縮短地線的長度。地線越短，電感越小，導致的振鈴頻率越高。若在脈衝顯示幕上看到振鈴頻率變化，可以確定其與地線有關。進一步縮短地線應能夠將振鈴的頻率移動到示波器的頻寬之上，從而最大限度地降低其對量測的影響。若在改變地線長度時振鈴沒有變化，則振鈴可能會感應到待測電路中。

圖 4.13 進一步說明地線感應的振鈴。在圖 4.13a 中，使用了匹配的示波器/探棒組合，來擷取快速轉換。使用的地線是標準的 6.5 吋探棒接地夾，連接到測試點附近的公共電位。

在圖 4.13b 中，擷取了相同的脈衝轉換。但這次我們使用 28 吋地線夾延長了探棒的標準地線。例如，可以使用這一延長的地線，而不必每次在大型系統中探測不同的點時都移動地線夾。遺憾的是，這種作法加長了接地迴路，可以導致嚴重的振鈴，如圖 4.13b 所示。

圖 4.13c 說明延長接地迴路的其他變通方案的結果。在這種情況下，根本沒有連接探棒的地線，而是從示波器主機殼共用的電路敷設了一條 28 吋夾線。這產生了一條不同的、但明顯更長的接地迴路，得到頻率更低的振鈴，如圖 4.13c 所示。

從圖 4.13 中的範例可以看出，接地方法明顯對量測品質有著巨大的影響。具體地說，探棒地線必須盡可能短、盡可能直。

如何處理探測影響

從上面的範例和討論中我們可以看出，訊號源阻抗、探棒和示波器構成了一個互動系統。為實現最優的量測結果，必須盡可能地使示波器/探棒對訊號源的影響達到最小。

整體規則如下：

- 一直根據示波器製造商的建議使示波器和探棒相符。
- 保證示波器/探棒對要量測的訊號擁有足夠的頻寬或上升時間功能。一般來說，應該選擇上升時間規格比計畫量測的最快上升時間快3-5倍的示波器/探棒組合。
- 要使探棒地線盡可能短、盡可能直。接地迴路過高可能會導致脈衝上發生振鈴。
- 選擇在量測功能及與測試點機械連接上最能滿足應用需求的探棒。

最後，要瞭解探棒負載可能給被探測電路造成的影響。在許多情況下，透過選擇探棒，可以控制或最大限度地降低負載。

下面概括了要知道的部分探棒負載考慮因素：

被動式探棒

1X 被動式探棒的電阻一般低於 10X 被動式探棒，其電容一般高於10X 被動式探棒。結果，1X 探棒更容易導致負載，在可能的地方，在通用探測中應使用 10X 探棒。

分壓器 (Zo) 探棒

這些探棒的頭部電容非常低，但電阻負載相對較高。他們一般用於 50 Ω 環境中要求阻抗相符的應用中。但是，由於其非常高的頻寬/上升時間功能，分壓器探棒通常用於其他高速定時量測環境中。對振幅量測，應考慮探棒輸入電阻低的影響。

偏置補償探棒

偏移補償探棒是一種特殊類型的分壓器探棒，可以在探棒頭上提供可變的偏移電壓。這些探棒用來探測高速ECL電路，其中電阻負載可能會擾亂電路的工作點。

主動式探棒

主動式探棒可以同時實現兩種優勢，即超低電阻負載及超低頭部電容。其缺點在於，主動式探棒的動態範圍一般較低。但是，若量測落在主動式探棒的範圍內，在許多情況下主動式探棒都是最佳之選。

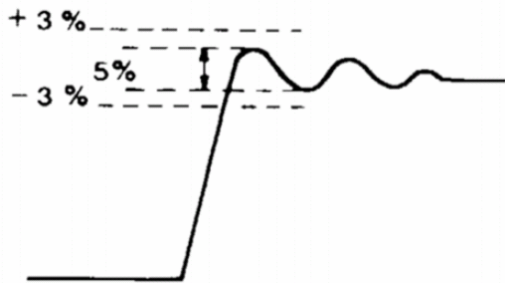


圖 5.1. 相對於 100% 脈衝高度量測偏差的範例。

瞭解探棒規格

在前面幾章中，我們已經討論了大多數主要探棒規格，包括探棒類型或探棒對量測的影響。

本章彙總所有主要探棒規格參數和術語供您方便參考。

下面規格清單是按英文字母順序排列；所有這些規格並非適用所有的探棒。例如，插入阻抗規格僅適用於電流探棒；其他如頻寬的規格則是通用規格，適用於所有的探棒。

偏差 (Aberrations；通用)

偏差是輸入訊號預計回應或理想回應的任何振幅偏差。在實踐中，在快速波形轉換之間通常會立即發生偏差，其表現為所謂的「振鈴」。

偏差作為最終脈衝回應位準±百分比進行量測或指定（請參見圖 5.1）。這一規格可能還包括偏差的時間窗口，例如：

在前 30 ns 內，偏差不應超過峰值的 ±3% 或5%。

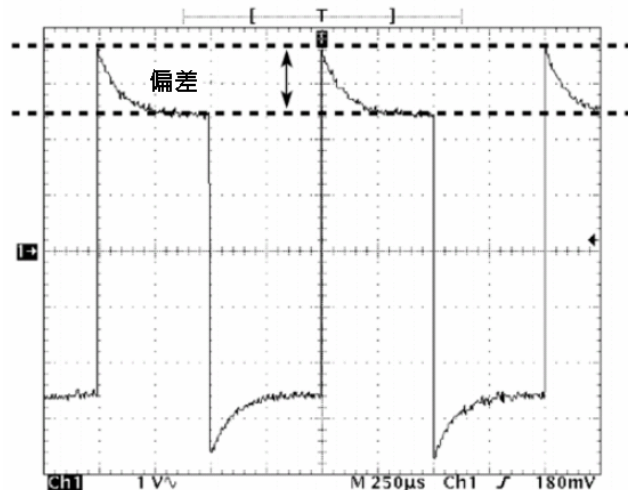


圖 5.2. 過分補償探棒導致的偏差。

在脈衝量測上看到偏差過多時，在認為偏差是探棒故障來源時，一定要考慮所有可能的來源。例如，偏差實際上是訊號源的一部分嗎？還是探棒接地技術導致？

觀察到的偏差最常見的來源之一，是疏於檢查及正確調節電壓探棒的補償功能。嚴重過度補償的探棒會在脈衝邊緣之後立即導致明顯的峰值（請參見圖5.2）。

準確度 (Accuracy；通用)

對電壓傳感探棒，準確度一般是指探棒對直流訊號的衰減。探棒準確度的計算和量測一般應包括示波器的輸入電阻。因此，只有在與擁有假設輸入電阻的示波器一起使用探棒時，探棒準確度規格才是正確的或適用的。準確度規格範例如下：

在 3% 範圍內 10X (對 1 MΩ ±2% 的示波器輸入)

對電流傳感探棒，準確度規格是指電流到電壓轉換的準確度。這取決於電流變壓器線圈比及終端電阻的值和準確度。使用專用放大器的電流探棒的輸出在安培/格中直接校準，準確度規格用電流/格設定值百分比的衰減器準確度指定。

安培秒乘積 (Amp-Second Product ; 電流探棒)

對電流探棒，安培秒乘積規定了電流變壓器磁芯的能量處理功能。若平均電流和脈寬的乘積超過額定安培秒乘積，磁芯會飽和。這種磁芯飽和會導致在飽和過程中發生的波形部分被削掉或被抑制。若沒有超過安培秒乘積，則探棒的訊號電壓輸出將呈線性，並保證量測準確度。

衰減係數 (Attenuation Factor ; 通用)

所有探棒都有一個衰減係數，某些探棒可能會有可以選擇的衰減係數。典型的衰減係數是 1X、10X 和 100X。

衰減係數是探棒使訊號振幅下降的程度。1X探棒不會降低或衰減訊號，而 10X 探棒則會將訊號降低到探棒頭振幅的1/10。探棒衰減係數允許擴展示波器的量測範圍。例如，100X 探棒允許量測振幅高出 100 倍的訊號。

1X、10X、100X 這些名稱源於以前示波器不會自動傳感探棒衰減及相應地調節標度係數。例如，10X 名稱提醒您所有振幅量測結果都需要乘以 10。當前示波器上的讀數系統自動傳感探棒衰減係數，並相應地調節標度係數讀數。

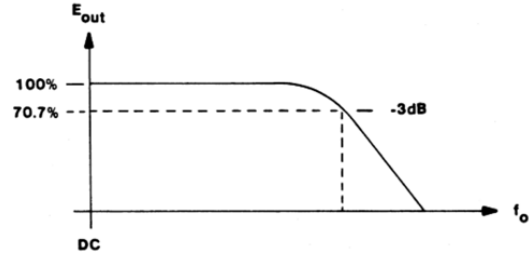


圖5.3. 頻寬是正弦波的振幅下降 70.7% (-3 dB) 的回應曲線中的頻率。

電壓探棒衰減係數使用電阻電壓分路器技術實現。結果，探棒的衰減係數越高，輸入電阻一般也越高。另外，分路器效應會分隔探棒電容，衰減係數越高，有效表示的探棒頭電容越低。

頻寬 (Bandwidth ; 通用)

所有探棒都有頻寬。10 MHz 探棒有10 MHz的頻寬，100 MHz 探棒有100 MHz 的頻寬。探棒的頻寬是指探棒回應導致輸出振幅下降到70.7% (-3 dB) 的頻率，如圖5.3 所示。

還應指出，某些探棒還有低頻頻寬限制。例如，這適用於 AC 電流探棒。由於其設計，AC 電流探棒不能傳送 DC 或低頻訊號，因此，必須使用兩個值指定其頻寬，一個值用於低頻，一個值用於高頻。

對示波器量測，真正擔心的問題是示波器和探棒的綜合總頻寬。這種系統效能最終決定著量測功能。遺憾的是，將探棒連接到示波器上會導致頻寬效能出現一定程度的下降。例如，結合使用 100 MHz 通用探棒和 100MHz 示波器時，會導致量測系統的頻寬效能略低於 100MHz。為避免整體系統頻寬效能不確定性，Tektronix 指定被動式電壓探棒，以在與指定的示波器型號使用時在探棒頭上提供規定的量測系統頻寬。

在選擇示波器和示波器探棒時，要認識到頻寬在許多方面影響著量測準確度。

在振幅量測中，隨著正弦波頻率接近頻寬極限，正弦波的振幅會變得日益衰減。在頻寬極限上，正弦波的振幅會作為實際振幅的 70.7% 進行量測。因此，為實現最大的振幅量測準確度，必須選擇頻寬比計畫量測的最高頻率波形高幾倍的示波器和探棒。

這同樣適用於量測波形上升時間和下降時間。波形轉換（如脈衝和方波邊緣）是由高頻成分組成的。頻寬極限使這些高頻成分發生衰減，導致顯示的轉換慢於實際轉換速度。為精確地量測上升時間和下降時間，使用的量測系統必須使用擁有充足的頻寬，可以保持構成波形上升時間和下降時間的高頻率。最常見的情況下，這使用量測系統的上升時間指明，上升時間一般應該比要量測的上升時間快 4-5 倍。

電容 (Capacitance ; 通用)

一般來說，探棒電容規格是指探棒頭上的電容。這是探棒在待測電路測試點或待測裝置上的電容。探棒頭電容非常重要，因為他影響著量測脈衝的方式。低頭部電容最大限度地降低了進行上升時間量測的誤差。此外，若脈衝的時長低於探棒 RC 時間常數的五倍，會影響脈衝的振幅。

探棒還對示波器輸入表示電容，這只探棒電容應與示波器電容相符合。對 10X 和 100X 探棒，這一電容稱為補償範圍，他不同於頭部電容。對探棒配合，示波器的輸入電容應位於探棒的補償範圍內。

CMRR (差動式探棒)

共模抑制比 (CMRR) 是指差動式探棒在差動式量測中抑制兩個測試點共用的任何訊號的能力。這是差動式探棒和放大器的一個關鍵規格，其公式為：

$$CMRR = |A_d/A_c|$$

其中：

A_d = 差動訊號的電壓增益。

A_c = 共模訊號的電壓增益。

在理想情況下， A_d 應該很大，而 A_c 則應該等於 0，因此 CMRR 無窮大。在實作中，10,000:1 的 CMRR 已視為非常好的結果。這意味著將抑制 5 V 的共模輸入訊號，使其在輸出上顯示為 0.5 毫伏特。這種抑制對存在雜訊時量測差動訊號非常重要。

由於 CMRR 隨著頻率提高而下降，因此指定 CMRR 的頻率與 CMRR 值一樣重要。在高頻上 CMRR 高的差動式探棒要好於在低頻上相同 CMRR 的差動式探棒。

衰退時間常數 (Decay Time Constant ; 電流探棒)

衰退時間常數規格表明了電流探棒支援脈衝的能力。這一時間常數是次級電感 (探棒線圈) 除以終端電阻。衰退時間常數有時稱為探棒 L/R 比。L/R 比越大，在振幅沒有明顯衰退或下落的情況下可以表示的電流脈衝越長。L/R 比越小，在脈衝實際完成前，將看到長時間的脈衝衰落到零。

直流 (Direct Current ; 電流探棒)

直流降低了電流探棒線圈磁芯的導磁率。導磁率下降導致線圈電感和 L/R 時間常數下降，進而會降低低頻的耦合效能，及導致低頻電流量測回應遺失。某些 AC 電流探棒提供了電流抵償選項，這些選項可以清空 DC 的效應。

頻率電流額定值下降 (Frequency Derating ; 電流探棒)

電流探棒規格應包括振幅與頻率額定值下降關係曲線，這一曲線將磁芯飽和與提高的頻率關聯起來。頻率提高對磁芯飽和的影響在於，當波形頻率或振幅提高時，平均電流為零安培的波形振幅峰值會被削掉。

插入阻抗 (Insertion Impedance ; 電流探棒)

插入阻抗是從電流探棒的線圈 (二級) 轉換到待測的攜帶電流的導線 (primary) 中的阻抗。一般來說，電流探棒反射的阻抗值可以位於幾毫歐範圍內，對阻抗為 25Ω 及以上的電路影響不大。

輸入電容 (Input Capacitance ; 通用)

探棒頭上量測的探棒電容。

輸入電阻 (Input Resistance ; 通用)

探棒的輸入電阻是在零赫茲 (DC) 時探棒置於測試點上的阻抗。

最大額定輸入電流 (Maximum Input Current Rating ; 電流探棒)

最大額定輸入電流探棒可以接受、同時仍能實現規定效能的總電流 (DC 加峰值 AC)。在 AC 電流量測中，必須根據頻率降低峰到峰額定值，以計算最大總輸入電流。

最大額定峰值脈衝電流 (Maximum Peak Pulse Current Rating ; 電流探棒)

不應超過這一額定值，此值考慮了磁芯飽和及可能損壞設備的次級電壓積累。最大額定峰值脈衝電流通常規定為安培秒乘積。

最大額定電壓 (Maximum Voltage Rating ; 通用)

應避免接近探棒最大額定值的電壓。最大額定電壓取決於探棒機身或量測點上探棒裝置的額定擊穿電壓。

傳播延遲 (Propagation Delay ; 通用)

每只探棒都提供隨訊號頻率變化的部分數量很小的時延或相位位移。傳播延遲是探棒裝置及訊號透過這些裝置從探棒頭傳送到示波器連接器所需時間的函數。

通常情況下，最明顯的位移是由探棒纜線導致的。例如，42 吋的專用探棒纜線段擁有 5 ns 的訊號延遲。對 1 MHz 訊號，5 ns 延遲會導致相位位移兩度。纜線越長，導致的相應訊號延遲越長。

通常只有在兩個以上的波形之間進行比較量測時，傳播延遲才會成爲問題。例如，在量測兩個波形之間的時間差時，應使用匹配的探棒擷取波形，以使得每個訊號透過探棒時經歷相同的傳播延遲。

另一個範例是組合使用電壓探棒和電流探棒進行功率量測。由於電壓探棒和電流探棒採用的結構明顯不同，因此他們的傳播延遲也不同。這些延遲是否影響功率量測，取決於待測波形的頻率。對 Hz 訊號和 kHz 訊號，延遲差異一般並不明顯。但對 MHz 訊號，延遲差異會產生明顯的影響。

上升時間 (Rise Time ; 通用)

探棒對步進函數 10 - 90% 的回應，表明了探棒可以從頭部到示波器輸入傳送的快速量測轉換。爲在脈衝上精確地量測上升時間和下降時間，量測系統的上升時間 (示波器和探棒之和) 應比要量測的快速測試轉換快 3-5 倍。

正切雜訊 (Tangential Noise ; 主動式探棒)

正切雜訊是在主動式探棒中指定探棒生成的雜訊的一種方法。正切雜訊係數大約是 RMS 雜訊的兩倍。

溫度範圍 (Temperature Range ; 通用)

由於感應到線圈磁屏蔽層中的能量導致的加熱效應，電流探棒有一個最大工作溫度。溫度提高會導致損耗提高。因此，電流探棒有一個最大振幅與頻率額定值下降關係曲線。

衰減器電壓探棒 (即 10X、100X 等) 可能會因溫度變化而導致準確度變化。

臨界值電壓 (Threshold Voltage ; 邏輯探棒)

邏輯探棒量測和分析訊號的方式不同於其他示波器探棒。邏輯探棒不量測類比細節，而是檢測邏輯臨限值位準。在您使用邏輯探棒將混合訊號示波器連接到數位電路上時，您只關心訊號的邏輯狀態。這時只有兩種關心的邏輯位準。在輸入超出臨界值電壓 (V_{th}) 時，位準稱爲「高」或「1」；相反，低於 V_{th} 的位準爲「低」或「0」。在對輸入取樣時，混合訊號示波器會儲存一個「1」或一個「0」，具體視相對於電壓臨界值的訊號位準而定。

邏輯探棒能夠一次擷取大量的訊號，正是這一點使其不同於其他示波器探棒。這些數位擷取探棒連接到待測裝置，在探棒內部補償器上，輸入電壓與臨界值電壓 (V_{th}) 對比，判斷訊號的邏輯狀態 (1 或 0)。臨界值由使用者設定，從 TTL 位準到 CMOS、ECL 及使用者自訂臨界值。

進階的探測技術

前面幾章已經介紹了與示波器探棒及其使用有關的所有基本資訊。對大多數量測環境，只要請注意下述基本問題，與示波器一起提供的標準探棒就已經足夠了：

- 頻寬/上升時間極限
- 訊號源負載潛力
- 探棒補償調節
- 正確的探棒接地

但是，最終您會遇到超越基本知識之上的某些探測環境。

本章介紹了可能遇到的某些進階探測問題，先從我們的老朋友—地線開始。

地線問題

由於很難確定及為量測確定一個真正的接地參考點，示波器量測中仍需考慮地線問題。這種困難源於這樣一個事實，不管是探棒上的地線還是電路中的地線都具有電感，在訊號頻率提高時，會成為自己的電路。第一章中已經討論和說明其中一個影響，即長地線導致脈衝上出現振鈴。除成為振鈴和其他波形偏差的來源外，地線還成為雜訊的接收天線。

為防止地線問題，首先可以進行推測。應一直懷疑訊號顯示器螢幕上觀察到的任何雜訊或偏差。雜訊或偏差可能是訊號的一部分，也可能是量測過程導致的結果。下面的討論提供了相關資訊和指南，可以確定偏差是不是量測流程的一部分，若是，如何處理這個問題。

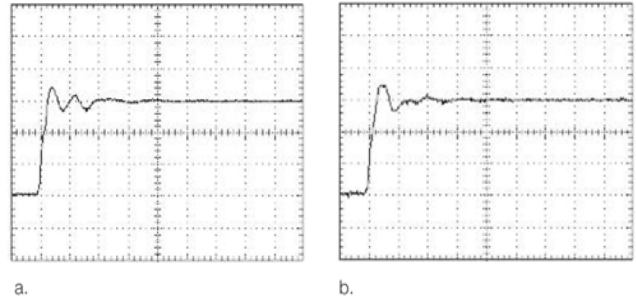


圖 6.1. 由於使用 6 吋的探棒地線 (a)，快速步進 (1 ns Tr) 上面發生了偏差。透過移動探棒纜線或將手放在纜線上 (b)，可以改變這些偏差。

地線長度

任何探棒地線都有一定的電感，地線越長，電感越大。在與探棒針電容和訊號源電容相結合時，地線電感形成一條諧振電路，在某些頻率上導致振鈴。

為觀察接地不良導致的振鈴或其他偏差，必須存在下面兩個條件：

1. 示波器系統頻寬必須足夠高，能夠處理探棒頭上訊號的高頻成分。
2. 探棒頭上的輸入訊號必須包含足夠的高頻資訊 (快速上升時間)，由於接地不良會導致振鈴或偏差。

圖 6.1 說明在滿足上述兩個條件時可以看到的振鈴和偏差範例。圖 6.1 中所示的波形是使用 350 MHz 示波器、同時使用 6 吋地線的探棒量測。探棒頭上的實際波形是一個步進波形，其上升時間為 1 ns。

這個 1 ns 的上升時間等於示波器的頻寬 ($BW \approx 0.35/Tr$)，擁有足夠的高頻成分，可以在探棒的接地電路中引起振鈴。這個振鈴訊號與步進波形並聯注入系統中，顯示為步進頂部的偏差，如圖 6.1 所示。

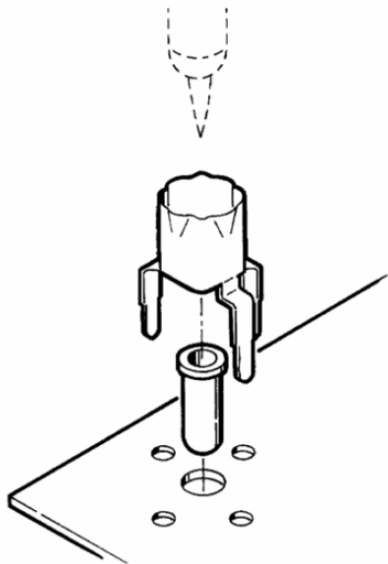


圖 6.2. ECB 到探棒頭轉接器。

在使用相同的示波器和探棒擷取同一個步進波形時，得到圖 6.1 中的兩個波形顯示。但要注意，圖 6.1b 中的偏差與圖 6.1a 相比略有不同。透過稍微重新確定探棒纜線位置，將一隻手放在探棒纜線部分，可以獲得圖 6.1b 中看到的差異。重新確定纜線位置及在纜線附近放一隻手，導致探棒接地電路的電容和高頻端子特點發生小的變化，進而改變了偏差。

探棒地線可能會在快速轉換的波形上導致偏差，意識到這一點非常重要。同樣還認識到，波形上看到的偏差可能只是波形的一部分，而不是由於探棒接地方法引起的。為區分這兩種情況，可以移動探棒纜線。若將手放在探棒上或移動纜線導致偏差發生變化，則偏差是由探棒接地系統導致的。正確接地（端接）的探棒對纜線位置或接觸根本不敏感。

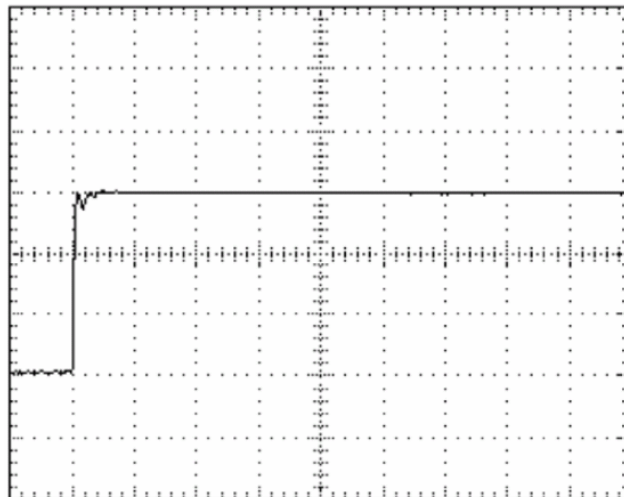


圖 6.3. 透過 ECB 到探棒頭轉接器擷取的上升時間為 1 ns 的步進波形。

為進一步說明上述觀點，我們再次使用相同示波器和探棒擷取相同的波形。只是這一次去掉了 6 英寸探棒地線，而透過安裝 ECB 到探棒頭轉接器來擷取步進訊號（請參見圖 6.2）。圖 6.3 是得到的沒有偏差的步進波形顯示。去掉了探棒地線及在 ECB 到探棒頭轉接器中直接端接探棒，幾乎從波形顯示中消除了所有偏差。顯示圖形現在精確繪製了測試點上的步進波形。

從上面的範例中可以得出兩個主要結論。首先在探測快速訊號時，地線應盡可能短。其次，透過設計產品測試能力，產品設計人員可以保證更高效地維護和檢修產品，包括在必要的地方使用 ECB 到探棒頭轉接器，以更好地控制測試環境，避免在安裝或維護過程中錯誤地調節產品電路。

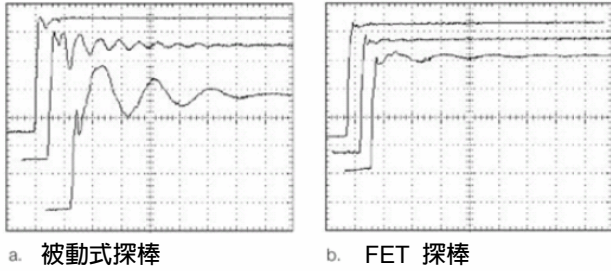


圖 6.4. 被動式探棒與主動式探棒相比地線影響的範例。左側的三條軌跡顯示了在被動式探棒上使用 1/2 吋、6 吋和 12 吋地線時對波形的影響。右面的軌跡顯示了使用同一條地線擷取的同一波形，但使用的是主動式 FET 探棒。

在沒有安裝 ECB 到探棒頭轉接器的環境中需要量測快速波形時，記住要使探棒地線盡可能短。在許多情況下，這可以使用內建接地頭部的專用探棒頭轉接器完成。但也可以使用主動式 FET 探棒。由於高輸入阻抗及極低的頭部電容（通常小於 1 pF），FET 探棒可以消除被動式探棒遇到的許多地線問題，圖 6.4 進一步說明這一點。

地線雜訊問題

雜訊是在示波器波形顯示器上顯示的另一類訊號失真。與振鈴和偏差一樣，雜訊可能實際上是探棒頭上的訊號的一部分，也可能是因為不正確的接地技術而導致的訊號。其區別在於，雜訊一般來自外部來源，其外觀和監測的訊號速度無關。換句話說，接地不良可能會導致顯示在任何速度的任何訊號上的雜訊。

透過探測技術可以在訊號上表示雜訊的主要機制有兩種。一種是接地迴路雜訊注入機制，另一種是透過探棒纜線或探棒地線實現的電感檢拾機制。下面詳細討論了這兩種機制。

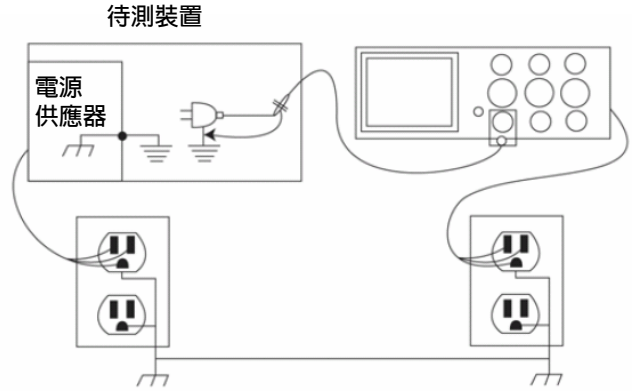


圖 6.5. 在兩個不同電源插座上，示波器、探棒和測試電路完整的接地電路或接地迴路。

接地迴路雜訊注入

在示波器公共電位和測試電路電源線接地及探棒地線和纜線之間存在接地迴路時，接地迴路中不想要的電流流動可能會導致在接地系統中注入雜訊。正常情況下，所有這些點為零伏特，或應該為零伏特，將不會有接地電流流動。但是，若示波器和測試電路位於不同的大樓系統接地上，在一個大樓接地系統上可能有小的電壓差或雜訊（請參見圖 6.5）。結果導致的電流流動會在探棒外部纜線屏蔽層中形成電壓下跌。這個雜訊電壓將注入到示波器中，與探棒頭的訊號形成串聯。結果，可以看到感興趣的訊號上疊加了雜訊，或感興趣的訊號可能會疊加在雜訊上。

在接地迴路雜訊注入中，雜訊通常是線路頻率雜訊（50 或 60 Hz）。但通常情況下，雜訊可能會採用尖峰形式或突發形式，這是大樓設備導致的，如空調、開關等。

可以採取各種措施，避免或最大限度地降低接地迴路雜訊問題。第一種方法是對示波器和待測電路使用相同的電源電路，以最大限度地降低接地迴路。此外，探棒及其纜線應遠離潛在的雜訊源。特別是，切勿將探棒纜線與設備電力纜線並排或交叉。

若一直存在接地迴路雜訊問題，可能需要透過下述方法之一使接地迴路短路：

1. 使用接地隔離監測儀。
2. 在測試電路或示波器上使用電源線隔離變壓器。
3. 使用隔離放大器，將示波器探棒與示波器隔開。
4. 使用差動式探棒進行量測 (抑制共模雜訊)。

在任何情況下，都不應透過將安全三線接地系統發生缺陷，來隔離示波器或測試電路。若必須進行浮動量測，應使用製造商認可的隔離變壓器，最好使用為示波器專門設計的接地隔離監測儀。

注意

為避免電擊，在將探棒連接到待測電路前，一直要將探棒連接到示波器或探棒隔離器。

感應的雜訊

透過感應到探棒纜線中，雜訊可以進入公共接地系統，特別是在使用帶有長纜線的探棒時。接近電源線或其他承載電流的導線可能會在探棒的外部纜線屏蔽層中引起電流流動。透過大樓系統公共接地會形成電路。為最大限度地降低這個潛在雜訊來源，在可能時應使用纜線較短的探棒，同時一直要使探棒纜線遠離可能的干擾源。

雜訊還可以直接感應到探棒地線中，這是典型的探棒地線導致的結果，在連接到測試電路時，其表現為單圈迴路天線。這個地線天線特別容易受到邏輯電路或其他快速變化的訊號導致的電磁干擾影響。若探棒地線的位置與待測電路板上的特定區域太近，如時脈線，地線可能會撿拾訊號，並與探棒頭上的訊號混合在一起。

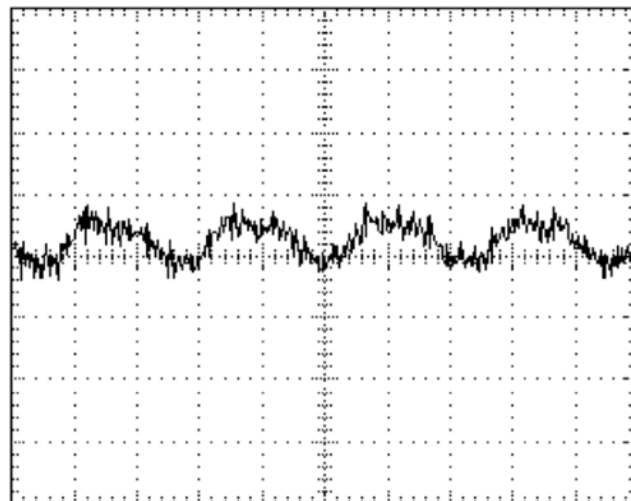


圖6.6. 電路板在探棒接地迴路中感應的雜訊範例 (探棒頭在接地夾上短路)。

在訊號的示波器顯示幕上看到雜訊時，問題是這個雜訊是作為探棒針上訊號的一部分發生？還是感應到探棒地線中？

為回答這個問題，可以試著移動探棒地線。若雜訊訊號位準變化，則雜訊是感應到地線中的訊號。

識別雜訊來源的另一個非常有效的方法是將探棒從電路上斷開，將探棒地線夾到探棒頭上。然後沿著電路來回移動這只探棒頭/地線迴路天線。這個迴路天線將撿拾電路中強烈輻射的雜訊區域。圖6.6 說明透過將探棒地線連接到探棒頭上進行搜尋，可以在邏輯電路板上找到有哪些雜訊來源。

為最大限度地降低感應到探棒接地中的雜訊，應使地線遠離待測電路板上的雜訊來源。此外，縮短地線可以降低撿拾的雜訊數量。

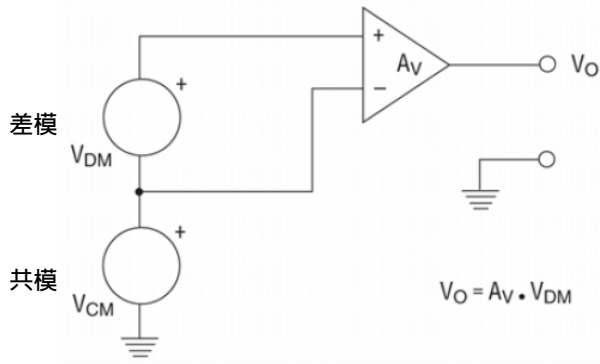


圖 6.7. 差動放大器有兩條訊號線，將其電壓差以對地線參考的單一訊號輸出。

差動式量測

嚴格來說，所有的量測都是差動式量測。標準的示波器量測是將探棒連接到訊號點、探棒地線連接到電路接地，它實際上是量測測試點與接地之間的訊號差異。依此，它有兩條訊號線，即接地訊號線和測試訊號線。

但在實務上，差動式量測是指量測的兩條電壓大於零的訊號線。這要求使用某種差動放大器，以便能夠以代數方式將兩條訊號線（雙端訊號源）加總到參考接地的一條訊號線中（單端訊號），然後再輸入到示波器中，如圖6.7 所示。差動放大器可以是探測系統所屬的特別放大器，或若示波器支援波形數學運算，即可在個別的示波器通道上擷取各條訊號線，再以代數方式將兩條通道相減。無論哪一種狀況，共模訊號互斥都是差動式量測品質的重要因素。

瞭解差模訊號和共模訊號

理想的差動放大器會放大兩個輸入之間的「差模」訊號（ V_{DM} ），並完全排斥兩個輸入的共模電壓（ V_{CM} ）。輸出電壓計算公式如下：

$$V_o = A_v (V_{+in} - V_{-in})$$

其中：

A_v = 放大器的增益

V_o = 參考接地輸出訊號

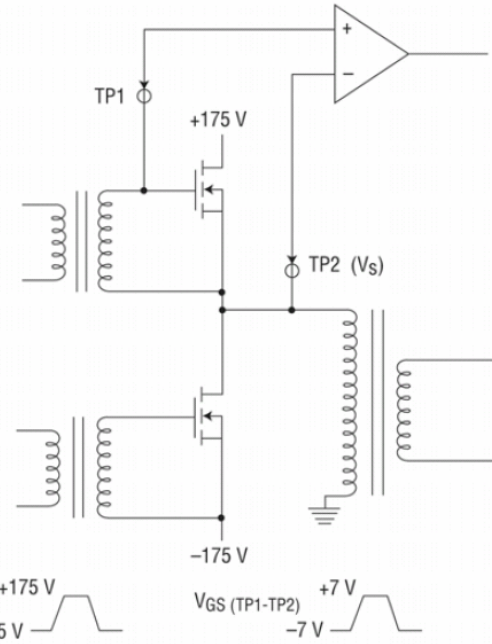


圖 6.8. 用來量測反相器電橋中上方電晶體的門到來源電壓的差動放大器。請注意，在量測期間源電位變化了 350V。

感興趣的電壓或差動訊號稱為差動電壓或差模訊號，其表示為：

$$V_{DM}$$

其中：

$$V_{DM} = \text{上面公式中的 } V_{+in} \text{ 項} - V_{-in} \text{ 項}$$

請注意共模電壓 V_{CM} 並不是上述公式的一部分，這是因為理想的差動放大器會抑制所有共模成分，而不管其振幅或頻率是多少。

圖6.8 提供了使用差動放大器量測反相器電路中上方MOSFET設備的門驅動裝置的範例。在 MOSFET 開關時，源電壓從正供電軌道擺到負供電軌道。變壓器允許門訊號參考訊號源。差動放大器允許示波器以足夠的分辨率量測真正的VGS訊號（幾伏特擺幅），如 2 V/格，同時抑制接地訊號源的幾百伏特轉換。

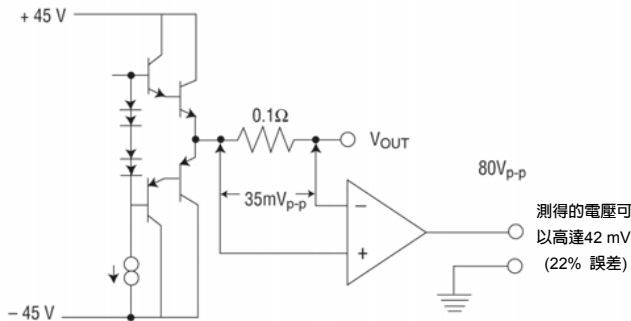


圖6.9. CMRR 為 10,000:1 的差動放大器的共模誤差。

在實際環境中，差動放大器並不允抑制所有共模訊號。

少量的共模電壓會在輸出中表現為錯誤訊號，而不能從希望的差動訊號中將這種共模錯誤訊號分開。

差動放大器能夠最大限度地縮小不希望的共模訊號的能力，稱為共模抑制比，或簡寫為 CMRR。CMRR 的真正定義是「差模增益除以參考輸入的共模增益」：

$$\text{CMRR} = A_{\text{DM}}/A_{\text{CM}}$$

在評估時，可以在沒有輸入訊號的情況下評估 CMRR 效能。然後，CMRR 會變成明顯的 V_{DM} ，可以在共模輸入導致的輸出上看到這個 V_{DM} 。這可以用比率表示，如 10,000:1，也可以用 dB 表示：

$$\text{dB} = 20 \log (A_{\text{DM}}/A_{\text{CM}})$$

例如，10,000:1 的 CMRR 等於 80 dB。為查看其重要意義，假設您需要在音訊功放器的輸出阻尼電阻器中量測電壓，如圖

6.9 所示。在全負載下，透過過阻尼器的電壓 (V_{DM}) 應達到 35 mV，輸出擺幅 (V_{CM}) 為 80 Vp-p。使用的差動放大器在 1 kHz 時的 CMRR 規格為 10,000:1。在使用 1 kHz 正弦波將放大器驅動到全功率時，千分之十的共模訊號將在差動放大器的輸出上錯誤地顯示為 V_{DM} ，其將是 80 V/10,000 或 8 mV。8 mV 的殘餘共模訊號在實際 35 mV 訊號中代表著高達 22% 的誤差！

必須指出，CMRR 規格並不是一個絕對值，並沒有指明誤差的極性或相位度數。因此，不能簡單地從顯示的波形中減去誤差。此外，CMRR 一般在 DC 最高 (最好)，隨著 V_{CM} 頻率提高，CMRR 會下降。某些差動放大器會作為頻率的函數繪製 CMRR 規格；其他差動放大器則只在一些關鍵頻率上提供 CMRR 規範。不管是哪種情況，在比較差動放大器或探棒時，都要保證 CMRR 比較處在相同的頻率上。

還要注意，CMRR 規格假設共模成分是正弦曲線，而實際情況通常並不是這樣。例如，圖 6.8 中的反相器的共模訊號是一個 30 kHz 方波。由於方波包含著頻率遠遠高於 30 kHz 的能量，因此 CMRR 可能會要差於 30 kHz 點上指定的值。

在共模成分不是正弦曲線時，經驗測試是確定 CMRR 誤差成分最快捷的方式 (請參見圖 6.10)。暫時將輸入引線連接到訊號源上。示波器現在只顯示共模誤差。現在可以確定誤差訊號振幅是否明顯。記住，並沒有指定 V_{CM} 和 V_{DM} 之間的相位差。因此，從差動式量測結果中減去顯示的共模誤差並不能準確地抵消誤差項。

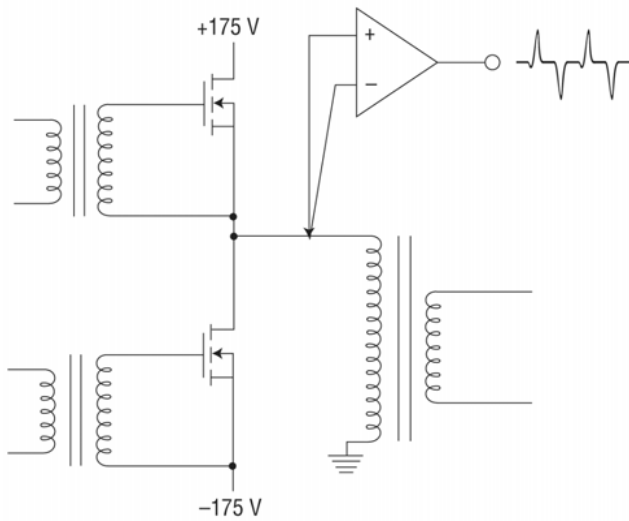


圖6.10. 充分進行共模抑制的經驗性測試。兩個輸入都從同一點驅動。殘餘共模訊號顯示在輸出上。這一測試不能抓住差動訊號源阻抗的影響。

圖6.10 所示的測試可準確地確定實際量測環境中的共模抑制誤差程度。但是，有一種效應無法使用這種測試解決。在兩個輸入都連接到同一點時，放大器看到的驅動阻抗沒有差異。這種情況產生了最好的 CMRR 效能，但在差動放大器的兩個輸入從明顯不同的訊號源阻抗驅動時，CMRR 將會劣化。

差動式量測誤差降至最低

將差動放大器或探棒連接到訊號源上一般是最大的誤差來源。為保持輸入相符，兩條通路應盡可能完全相同。對兩個輸入，任何線纜的長度都應該相同。

若對每條訊號線使用單獨的探棒，則應該採用相同的型號和纜線長度。在使用大的共模電壓量測低頻訊號時，要避免使用衰減探棒。在高增益上，之所以不能使用衰減探棒，因為不可能精確地平衡其衰減。在高壓或高頻應用需要衰減時，應使用為差動應用專門設計的專用被動式探棒。

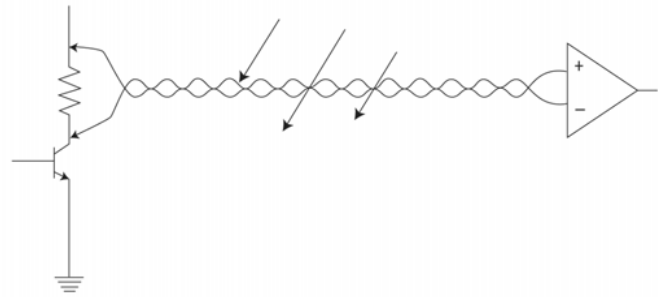


圖6.11. 將兩條輸入線絞合在一起，迴路面積非常小，從而可以降低透過迴路的場。任何感應的電壓一般都位於透過差動放大器抑制的V_{CM} 通路內。

這些探棒擁有相應的功能，可以精確地調整 DC 衰減和 AC 補償。為實現最佳效能，應將一套探棒專用於每個特定的放大器，並使用探棒隨附的程序校準該放大器。

單獨的輸入線纜會成為變壓器線圈。穿過迴路的任何 AC 磁場會對放大器輸入表現為差動，完整地加總到輸出中！為最大限度地降低這種影響，常用方法是將 + 和 - 輸入纜線絞合在一個線對中。這降低了線路頻率和其他雜訊撿拾。透過將輸入導線絞合在一起，如圖6.11 所示，任何感應的電壓一般都會位於 V_{CM} 通路中，並透過差動放大器進行抑制。

透過將兩條輸入導線編碼到一個鐵素體芯上，可以改進容易受到過高共模訊號影響的高頻量測。這衰減了兩個輸入共用的高頻訊號。由於差動訊號以兩個方向穿過磁芯，因此其不受任何影響。

大多數差動放大器的輸入連接器是外殼接地的 BNC 連接器。在使用探棒或同軸纜線輸入連接時，一直有一個如何處理接地的問題。由於量測應用不同，因此並沒有一成不變的硬性規定。

在量測低頻率的低位準訊號時，最好只在放大器一端連接接地，而在輸入端都不要連接。

這為感應到屏蔽中的任何電流提供了一條回路，但不會產生可能擾亂量測或待測裝置的接地迴路。

在較高的頻率上，探棒輸入電容及導線電感構成了可能會振鈴的串聯「諧振」電路。在單端量測中，透過使用最短的地線，可以最大限度地降低這種效應。這降低了電感，可以有效地提高諧振頻率，其可望超過放大器的頻寬。差動式量測在兩隻探棒頭之間進行，量測中沒有接地的概念。但是，若振鈴是由於共模成分快速上升產生的，則使用短地線可以降低諧振電路中的電感，進而降低振鈴成分。在某些情況下，透過連接地線，也可以降低快速差動訊號導致的振鈴，當共模訊號源在高頻上擁有非常低的到地阻抗時，可以採用這種方法，即使用電容器避開振鈴。否則，連接地線可能會使情況變得更糟！若發生這種情況，應試著在輸入端將探棒一起接地，這可以降低透過屏蔽的有效電感。

當然，將探棒接地連接到電路上可能會產生接地迴路。在量測頻率更高的訊號時，這通常不會導致問題。在量測高頻率時，最好嘗試有地線時及沒有地線時進行量測；然後使用提供最佳結果的設置。

在將探棒地線連接到電路上時，記住要將其連接到接地！在使用差動放大器時，很容易會忘了接地連接在哪裡，因為差動放大器可以探測電路中的任何地方，而沒有損壞風險。

小訊號量測

量測低振幅訊號提出了一套獨特的挑戰。最主要的挑戰是雜訊和足夠的量測靈敏度問題。

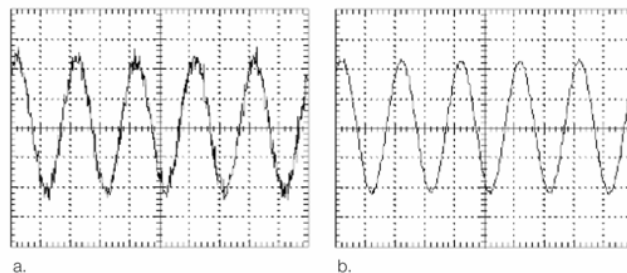


圖 6.12a 和圖 6.12b 透過訊號平均 (b) 可以清除有雜訊的訊號 (a)。

降低雜訊

在量測幾百毫伏特以上的訊號時可以忽略不計的環境雜訊，在量測幾十毫伏特以下的訊號時不能再忽略不計。結果，為降低量測系統撿拾的雜訊，必須最大限度地減少接地迴路，並使地線盡可能短。在極限情況下，可能必須使用電源線濾波器和屏蔽室，以對振幅非常低的訊號進行無雜訊量測。

但是，在進入極端條件前，應考慮將訊號平均作為解決雜訊問題的一種簡單、經濟的解決方案。若試圖量測重複的訊號，且試圖消除隨機的雜訊，**訊號平均**可以有效改善擷取的訊號的SNR (訊號雜訊比)。圖 6.12 說明其中一個範例。

訊號平均是大多數數位儲存示波器 (DSO) 標準配備的功能。其工作方式是對多次擷取的重複波形求和，然後從多次擷取中計算得出平均波形。由於隨機雜訊的長期平均值為零，因此訊號平均過程降低了重複訊號上的隨機雜訊。改進的程度用 SNR 表示。在理想情況下，訊號平均功能每兩次平均的功率會使 SNR 改進 3 dB。因此，平均兩次波形擷取 (21) 可以使 SNR 改進 3 dB，平均四次波形擷取 (22) 可以使 SNR 改進 6 dB，平均八次 (23) 可以使 SNR 改進 9 dB，依此類推。

提高量測靈敏度

示波器的量測靈敏度是其輸入電路的函數。輸入電路放大或衰減輸入訊號，以便在示波器螢幕上以校準的振幅顯示訊號。可以透過示波器的垂直靈敏度設置，選擇顯示訊號所需的放大或衰減量，垂直靈敏度設置以每格伏特數 (V/div) 進行調節。

為顯示和量測小訊號，示波器輸入必須有足夠增益或靈敏度，至少要提高幾格的訊號顯示高度。例如，為兩格高顯示 20 mV 峰值訊號，示波器要求 10 mV/格的垂直靈敏度。同樣為兩格顯示 10 mV 訊號，需要以更高的靈敏度設置 5 mV/格。請注意，每格伏特數設置低會導致靈敏度高，反之亦然。

量測小訊號除要求充足的示波器靈敏度外，還需要充足的探棒。一般來說，這不是大多數示波器作為標準配件提供的普通探棒。標準配套探棒通常是 10X 探棒，以係數 10 降低示波器靈敏度。換句話說，在使用 10X 探棒時，5 mV/格示波器設置會變成 50 mV/格。結果，為使示波器保持最高的訊號量測靈敏度，必須使用非衰減的 1X 探棒。

但是，正如前幾章討論的那樣，要注意 1X 被動式探棒的頻寬較低，輸入阻抗較低，頭部電容一般較高。因此您要額外注意量測的小訊號的頻寬限制及探棒可能導致的訊號源負載。若任何一項表明出現問題，則較好的方法是利用 1X 主動式探棒提供多得多的頻寬和低得多的負載。

在小訊號振幅低於示波器的靈敏度範圍的情況下，必須使用某種形式的前置放大技術。由於非常小的訊號很容易受到雜訊影響，因此通常使用差動前置放大技術。差動前置放大技術透過共模抑制，在一定程度上實現了抗雜訊能力，另外可以放大小訊號，從而使其落在示波器的靈敏度範圍內。

在使用為示波器設計的差動前置放大器時，可以實現 10 mV/格等級的靈敏度。這些專門設計的前置放大器擁有相應的功能，允許在最小 5 mV 的訊號上進行可用的示波器量測，甚至可以在雜訊高的環境中進行量測！

但要記住，全面利用差動放大器要求使用一套匹配的優質被動式探棒。未能使用匹配的探棒會損害差動前置放大器的共模雜訊抑制功能。

另外，在需要進行單端量測、而不是差動式量測的情況下，負訊號探棒可以連接到測試電路接地上。這在本質上是在訊號線和訊號接地之間進行的一種差動式量測。但在這樣做時，會喪失共模雜訊抑制功能，因為訊號線和接地沒有共同的雜訊。

最後要注意，一直要遵守製造商推薦的連接和使用所有探棒和探棒放大器的程序。特別是在使用主動式探棒時，要特別注意可能會損壞對電壓靈敏的探棒裝置的過壓問題。

安全注意事項說明

詳閱下列安全注意事項，以免人身傷害、損及測試設備或任何連接到測試設備的任何產品。為避免潛在的危險，僅根據製造商的說明使用測試設備。

請記住，所有的電壓和電流都有潛在的危險，包括人身傷害或損及設備。

觀察所有終端的額定資料

- 為避免火災或電擊危險，應先查看產品上的所有額定值和標誌。請在連接產品前，先查閱產品手冊，以取得更詳盡的額定資訊。
- 切勿對任何超過額定上限的終端供電。
- 僅將探棒的地線接地。

注意

專門設計及規定用於浮動示波器應用的示波器，其第二條線是公共線，不是地線。在這種情況下，請遵循製造商規定的可連接的電壓上限規範。

- 檢查探棒和測試設備說明書，觀察任何額定值下降的資訊。例如，最大輸入電壓額定值會隨頻率提高而下降。

使用正確的接地程序

- 探棒透過示波器電源線的地線間接地。為避免電擊危險，必須正確連接地線。確認產品已接妥地線，再連接產品的輸入或輸出終端。
- 切勿嘗試讓任何測試設備的電源線不接地。
- 僅將探棒地線接地。
- 若未將不是專為不接地操作設計和指定的示波器接地，或是將地線連接到接地以外的任何其他項目上，可能會導致示波器和探棒的連接器、控制器或其他表面上出現危險電壓。

注意

這適用於大多數的示波器，但有些示波器是為在浮動應用中工作而設計。

正確連接和斷開探棒

- 先將探棒連接到示波器。探棒正確接地後，再連接到任何測試點。
- 探棒地線僅能接地。
- 從待測電路斷開探棒時，先從電路移開探棒頭，再斷開地線。
- 除探棒頭和探棒連接器中心導線外，探棒上可以接觸到的所有金屬（包括接地夾）都要連接到連接器外殼上。

避免暴露的電路

- 避免手或身體任何其他部位碰觸暴露的電路或元件。
- 確認已接妥探棒頭和地線夾，以免發生互碰或是碰到待測電路的其他零件。

在處理探棒時避免射頻熔固

- 射頻功率呈現時，共振和反應效應會讓極小的電壓轉換成潛在有害或是危險性的電壓。
- 若需在有射頻熔固危險的區域使用探棒時，請先關閉訊號源的電源後，再連接或斷開探棒引線。切勿在通電時，處理輸入引線。

切勿在沒有保護蓋的情況下使用量測設備

- 切勿在卸除任何保護蓋或保護外殼時，使用示波器和探棒。卸除保護蓋、外殼、探棒機身或連接器外殼，將存有潛在危險電壓的導線或元件暴露在外。

切勿在潮濕的環境中使用量測設備

- 為避免電擊或損壞設備，切勿在潮濕的環境中使用量測設備。

切勿在易爆環境中使用量測設備

- 在易爆環境中使用電氣或電子設備可能會導致爆炸發生。在使用或存放汽油、溶劑、乙醚、丙烷和其他揮發性物質時，可能會產生易爆的氣體。另外，懸浮在空氣中的某些微塵或粉末也可能會產生易爆氣體。

切勿在疑似失效時使用量測設備

- 若懷疑示波器或探棒有電子或實體方面的問題，請在合格的維修人員檢查後，再繼續使用。

保持探棒表面清潔和乾燥

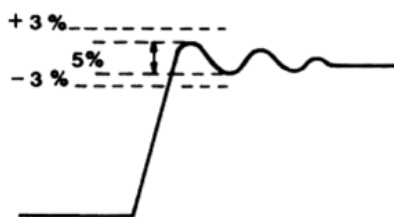
- 探棒上的水氣、灰塵和其他雜質會產生一條傳導路徑。為確保量測的安全和準確度，應保持探棒表面的清潔和乾燥。
- 僅應使用探棒說明書規定的程序清潔探棒。

切勿將探棒浸入液體中

- 探棒浸入液體中可能會在內部裝置之間產生一條傳導路徑，或損壞、腐蝕內部元件或外部機體和屏蔽。
- 僅使用探棒說明書中規定的程序清潔探棒。

詞彙表

偏差 (aberrations)— 偏離理想或標準波形的任何波形；通常與波形或脈衝平坦的頂部和底部相關。訊號可能會有訊號源的電路條件引起的偏差，量測系統也可能會在訊號上引起偏差。在涉及偏差的任何量測中，非常重要的一點是確定偏差是訊號的實際組成部分，還是量測流程導致的結果。一般來說，以偏離平坦回應的百分比變化量指定偏差。



主動式探棒 (active probe)— 作為探棒訊號調節網路的一部分，包含電晶體或其他主動式設備的探棒。

衰減 (attenuation)— 降低訊號振幅的過程。

衰減器探棒 (attenuator probe)— 透過衰減訊號有效地乘以示波器的標度係數的探棒。例如，10X探棒有效地將示波器顯示乘以係數10。這些探棒透過衰減到探棒頭上的訊號來實現倍乘；這樣，透過10X探棒可以將100V 峰值訊號衰減到10V 峰值，然後透過將示波器的標度係數乘以10，這一訊號將在示波器上顯示為100V 峰值訊號。

頻寬 (bandwidth (BW))— 網路或電路傳送、從中頻振幅下降的振幅不超過 3-dB 的連續頻帶。

電容 (capacitance)— 儲存電子電荷的一種電子現象。

共模抑制比 (common-mode rejection ration ; CMRR)— 差動式探棒在差動式量測中抑制兩個測試點共用的任何訊號的能力。這是差動式探棒和放大器的一個關鍵規格，其公式為：

$$CMRR = |Ad/Ac|$$

其中：

Ad = 差動訊號的電壓增益。

Ac = 共模訊號的電壓增益。

電流探棒 (current probe)— 傳感導線中的電流及將傳感到的電流轉換成相應的電壓訊號，以由示波器進行的量測的一種設備。

額定值下降 (derate)— 元裝置或系統的額定值根據一個或多個工作變數而下降；例如，振幅量測準確度額定值可能會根據待測訊號的頻率而下降。

差動式探棒 (differential probe)— 使用差動放大器減去兩個訊號、導致示波器的一條通道量測一個差動訊號的探棒。

差動訊號 (differential signals)— 相互參考、而不是參考接地的訊號。

分散式單元 (distributed elements) (L、R、C)— 分佈在整個導線長度上的電阻和電抗；與集總裝置值相比，分佈式單元值一般較小。

場效應電晶體 (field-effect transistor) (FET)— 控制電壓的設備，其中門終端上的電壓控制著流經設備的電流數量。

浮動量測 (floating measurements)— 在兩點之間進行的量測，這兩個點都沒有處在接地電位上。

接地 (grounding)— 由於探棒必須從訊號源吸收一定的電流，以進行量測，因此電流必須有一條返回通路。這條返回通路由連接到電路接地或公共點的探棒地線提供。

霍爾效應 (Hall Effect) — 生成一個電位，這個電位與沿著傳導材料流動的電流及在使用磁場時以直角應用到電流上的外部磁場垂直。

諧波 (harmonics) — 方波、鋸齒波形和其他週期性非正弦曲線波形都包含著頻率成分，這些頻率成分由波形的基礎頻率 (1/週期) 及稱為諧波頻率、是基礎頻率整數倍 (1x、2x、3x、...) 的頻率組成；波形第二個諧波的頻率是基礎頻率的兩倍；第三個諧波頻率是基礎頻率的三倍，依此類推。

阻抗 (impedance) — 阻止或限制交流訊號流動的過程。

阻抗用 Ω 表示，由電阻成分 (R) 和電抗成分 (X) 組成，其中電抗成分可以是電容 (XC)，也可以是電感 (XL)。阻抗 (Z) 以複數形式表示：

$$Z = R + jX$$

或用振幅和相位表示，其中振幅 (M) 是：

$$M = \sqrt{R_2 + X_2}$$

相位 θ 是：

$$\theta = \arctan (X/R)$$

電感 (inductance) — 電路的一種特點，其中電路本身或相鄰電路中的電流變化引起電動勢。

抖動 (jitter) — 數位訊號有效時點較理想時間位置的短期變化。

線性相位 (linear phase) — 網路的一種特點，其中應用的正弦波的相位隨著正弦波頻率提高而發生線性位移；線性相位移動的網路會保持非正弦曲線波形中的相對相位關係，這樣在波形中沒有與相位相關的失真。

負載 (load) — 置於訊號源上的阻抗；開路處於「無負載」狀態。

負載 (loading) — 應用到電源上的負載從電源中吸收電流的過程。

低電容探棒 (low-capacitance probe) — 具有超低輸入電容的被動式探棒。

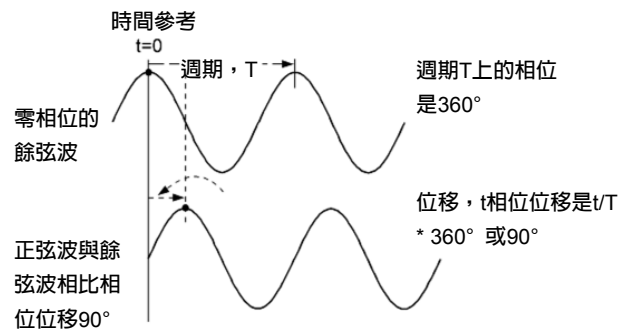
MOSFET — 金屬氧化物半導體場效應電晶體，是兩種主要FET類型中的一種。

雜訊 (noise) — 可以顯示在示波器波形顯示器上的一種訊號失真。

光學介面探棒 (optical probe) — 傳感光功率，並轉換成相應電壓訊號，以透過示波器量測的一種設備。

被動式探棒 (passive probe) — 其網路僅由電阻單元 (R)、電感單元 (L) 或電容單元 (C) 組成的探棒；沒有包含任何主動式裝置的探棒。

相位 (phase) — 表達波形與時間有關的位置或相對於參考點或波形的波形成分的一種方式。例如，根據定義，餘弦波的相位為零，正弦波與餘弦波相比相位位移為90度。



探棒 (probe) — 測試點或訊號源和示波器之間進行實體和電子連接的設備。

探棒功率 (probe power) — 從某種電源 (示波器、探棒放大器或待測電路) 提供給探棒的功率。要求功率的探棒一般帶有某種形式的主動式電子裝置，因此稱為主動式探棒。

電抗 (reactance) — 透過根據訊號頻率限制電流流動、以對交流訊號作出反應的阻抗單元。電容器 (C) 使用下述公式對交流訊號表示電容電抗，其單位為 Ω ：

$$X_C = 1/2\pi fC$$

其中：

X_C = 電容電抗，單位為 Ω

π = 3.14159...

f = 頻率，單位為 Hz

C = 電容，單位為法拉

電感器 (L) 使用下述公式對交流訊號表示電感電抗，其單位為 Ω ：

$$X_L = 2\pi fL$$

其中：

X_L = 電容電抗，單位為 Ω

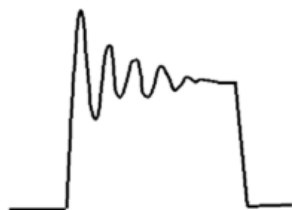
π = 3.14159...

f = 頻率，單位為 Hz

L = 電感，單位為亨利

讀數 (readout) — 示波器螢幕上提供的字母數位資訊，提供了波形標度資訊、量測結果或其他資訊。

振鈴 (ringing) — 電路諧振時導致的振盪；一般來說，在脈衝上看到的阻尼正弦曲線變化稱為振鈴。



上升時間 (rise time) — 在脈衝的上升轉換中，上升時間是脈衝從 10% 的振幅上升到 90% 的振幅所需的時間。

屏蔽 (shielding) — 在電路和外部雜訊源之間放一個接地傳導材料層的作法，以使得屏蔽材料能夠截獲雜訊訊號，並將這些訊號從電路中傳導出去。

訊號平均 (signal averaging) — 對多次擷取的重複波形進行加總、並從多次擷取中計算平均波形的過程。

訊號完整性 (signal fidelity) — 探棒頭上發生的訊號在示波器輸入進行重複。

單端訊號 (single-ended signals) — 參考接地的訊號。

SNR (signal-to-noise ratio ; 訊號雜訊比) — 訊號振幅與雜訊振幅之比，通常使用下述公式表示，單位為 dB：

$$SNR = 20 \log (V_{\text{訊號}} / V_{\text{雜訊}})$$

電源 (source) — 訊號電壓或電流的起始點或單元；另外他也是 FET (場效應電晶體) 中的單元之一。

電源阻抗 (source impedance) — 在向回查看電源時看到的阻抗。

時域反射儀 (time domain reflectometry) (TDR) — 一種量測技術，其中對傳輸通路應用快速脈衝，然後分析脈衝反射，確定傳輸通路中不連續點 (故障或不匹配) 的位置和類型。

軌跡 ID (trace ID) — 在示波器上顯示多條波形軌跡時，軌跡 ID 功能可以識別來自某只探棒或示波器通道的特定波形軌跡。迅速按下探棒上的軌跡 ID 按鈕，會導致示波器上相應的波形軌跡暫態變化，其方式在一定程度上與識別軌跡的方式相同。

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 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。

2021 年 3 月

60T-6053-15

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[®]