

# 以隔離方式解決差動式量測誤差的常見來源

作者：Tom Neville

---

## 技術簡介

典型的量測系統包括示波器和示波器探棒，其中探棒可提供待測裝置 (DUT) 和示波器之間的連接。探棒的選擇至關重要，因為探棒效能可能是量測系統的限制因素。理想的探棒可以從 DUT 中提供真實的差動式訊號，而不會改變訊號。

然而，由於其共模抑制比、降頻、頻率響應和探棒的長輸入引線等限制，傳統的差動式探棒通常無法提供實際訊號的良好表示。當在具有快速切換速率，甚至是標稱共模電壓的功率裝置上進行測試時，這些限制將更為顯著。

本文章將會檢查這些量測誤差來源，並探討如 Tektronix IsoVu 量測系統等隔離解決方案如何克服這些限制。

## 量測誤差的來源：

### 差動式探棒連接到地面

常見誤解是差動式探棒為浮動探棒，但事實上，傳統的差動式探棒是以連接到地面的差動式放大器為基礎。此接地連接限制了共模電壓範圍，使共模電壓頻率降額，且產生接地迴路，並限制了共模抑制。理想的差動式探棒會與地面形成電氣隔離，即可消除了這些影響。Tektronix IsoVu量測系統突破了傳統的架構，並透過其光纖連接獲得完整的電氣隔離。

## 量測誤差的來源：

### 不良的共模抑制比

共模抑制比 (CMRR) 指定了差動式探棒能夠拒絕差動式量測中兩個測試點共同的任何訊號的能力。在完美的世界中，探棒的 CMRR 將沒有限制。然而，傳統的差動式探棒從根本上即有一定的限制，因為兩個輸入不可能完全相符。

實際上，80 dB (10,000 : 1) 以上的 CMRR 將可產生可用的量測。大多數的差動式探棒皆可輕鬆地在直流和低頻下獲得 80 dB (或更高) 的 CMRR，可以準確地調整組件。隨著量測頻率的增加，差動式探棒的 CMRR 會降低，因為不相符的程度會變得越來越難以控制。在 100 MHz 時，大多數量測系統的 CMRR 能力皆在 20 dB 以下。

考慮簡化的半橋拓撲，如圖 1 所示。由於組件的導通/關斷時間和共模電壓的組合，造成可能難以在高側電晶體上進行精確的量測。如圖所示，閘極和源極的共模電壓為 40 V，閘源電壓為 5 V。進行此量測時，您應注意的規格不是組件的切換頻率，而是其邊緣速度通常要快得多。

例如，具有 100 kHz 頻寬的切換開關可能具有 5 ns 或更小的邊緣速率。這些訊號通常包括由於寄生和諧振而產生數百兆赫茲的頻率分量。大多數能夠滿足圖 1 所示電路所需頻寬和共模電壓要求的量測系統均僅能提供約 20 dB 或 10:1 的 CMRR，以進行 5 ns 的轉換。由於共模誤差，10:1 CMRR 值將允許 4 V 的穿透電壓。顯然，具有 4 V 共模誤差的量測系統無法對 5 V 差動式訊號進行準確的量測。

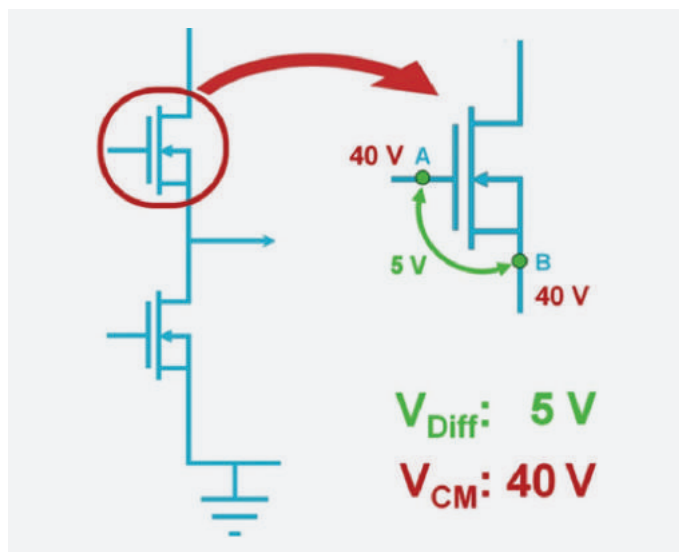


圖 1. 半橋電路範例。

若電力設計可能具有超過數百甚至數千伏特的共模電壓，並且維持需要看到微小的差動式訊號，這種共模誤差可能更加嚴重。在 1,000 V 共模電壓下，由於 20 dB CMRR 所產生的誤差將為 100 V。

在產品規格表中通常會引用探棒的 CMRR 規格。通常，產品規格表會宣稱具有超出 80 dB (10,000:1) 可用值的規格。但是在進一步審查產品規格表後，標題以外的數字就不太令人印象深刻了。例如，長期以來被視為同級產品中功率量測最佳的 LeCroy DA1855AA 放大器即宣稱具有 100,000:1 的 CMRR 值。若為直流電時，此 CMRR 值沒有問題，但即使在 70 Hz 時，指定的 CMRR 值也會下降為一半，僅 50,000:1。在放大器的全頻寬下，CMRR 僅有 20 dB 或 10:1。

## 以隔離方式解決差動式量測誤差的常見來源

將產品的CMRR 值與您的量測要求進行比較時，請務必記住關鍵量測的邊緣速率須符合量測系統的相應CMRR 值。您可對照產品使用手冊中提供的頻率圖來檢查 CMRR，即可輕鬆地確定相應的值。這種降額曲線的例子如圖 2 所示。圖 2 中比較了 LeCroy DA1855A 與 Tektronix IsoVu 量測系統的結果。

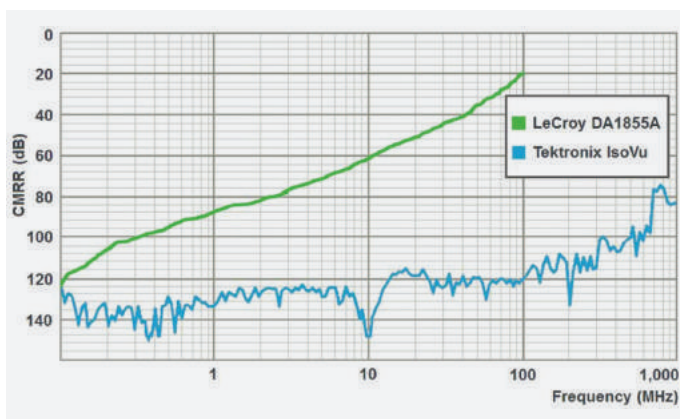


圖 2. 探棒 CMRR 頻率降額

IsoVu 由於其完全電隔離而可在整個工作範圍內維持高 CMRR，在 100 MHz 時，IsoVu 的 CMRR 值為 1,000,000:1 (120 dB)。在圖 1 中，參考電路的 5 ns 邊緣速率，使用 10:1 CMRR 量測系統的共模誤差為 4V。相較之下，IsoVu 的 1,000,000:1 CMRR 的共模誤差為 40  $\mu$ V。IsoVu 在頻寬上的高 CMRR 使得在存在共模干擾的情況下能夠量測微小的差動式電壓。

量測誤差的來源：  
頻率降額

差動式探棒的产品規格表將包括輸入電壓額定值，其中一些產品規定了共模電壓範圍（數千伏特）。但是，您應注意，列出的規格通常只在直流和低頻下才是真實的數值。與 CMRR 一樣，電壓額定值也會出現頻率降額，這嚴重限制了在較高頻率下的共模電壓能力。

此電壓降額的例子是 Keysight 的 N2790A 200 MHz 高壓差動式探棒的圖示 (如圖 3 所示)。雖然探棒的電壓額定值在直流和低頻時為 1 kV<sub>RMS</sub>，但探棒的功能在 2 MHz 下會開始滾降，此探棒在全頻寬下的電壓額定值僅有幾伏特。相較之下，具有完全電隔離功能的 Tektronix IsoVu 解決方案可承受其頻率範圍內 >2000V<sub>peak</sub> 的共模電壓，而不會降額。然而，透過光纖連接所產生的完全電隔離，光探棒在其共模電壓額定值中的唯一限制是根據安全認證標準而定。如圖 3 所示，IsoVu 系統的降額曲線是一條平坦的曲線，意味著產品的額定電壓不會出現頻率降額的現象。

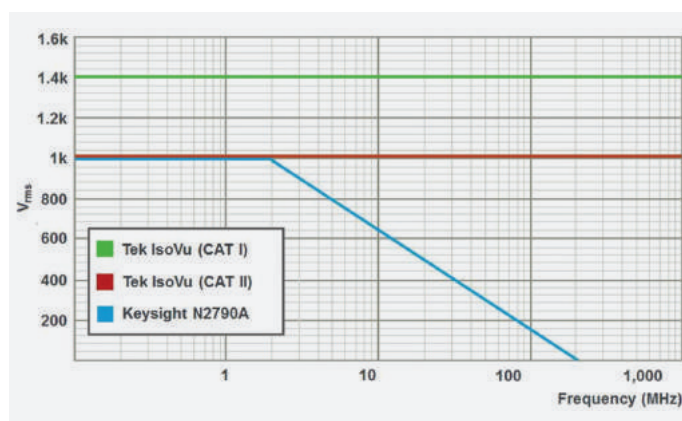


圖 3. 電壓頻率降額

以隔離方式解決差動式量測誤差的常見來源

## 量測誤差的來源： 長輸入引線

傳統的高壓差動式探棒均具有長輸入引線，如圖 4 所示。雖然長輸入引線便於接觸測試點，但也容易從周圍電路拾取輻射發射和雜訊。在輻射發射耦合至引線時任何的不相符情況都將會導致量測誤差。即使可以完全與差動式放大器配對，在不受控制的環境中將任何裝置連接至放大器輸入仍將會降低效能。



圖 4. 傳統的差動式探棒。

在典型的應用中，一對探棒會連接至差動式放大器輸入。這些探棒在引線長度、方向、磁化率和負載上皆有差異，導致無法進行重複的量測。嘗試解決引線長度問題的常見技術是扭轉引線或縮短引線長度。雖然這可能提供些許的改善，但並未克服固有的問題。

理想的差動式探棒將不會受到引線長度、方向、易感性和負載等差異的影響。IsoVu 的獨特架構可利用遮蔽輸入結構提供真實的浮動輸入，不再需要配對的輸入引線。

## 結論

準確的差動式量測取決於量測系統的效能、共模電壓和共模抑制能力等因素的組合。儘管有這些要求，但在電力測試、EMI測試、ESD測試和遠端量測能力的測試與量測方面的進展卻極為緩慢，跟不上日新月異的測試要求。使用具有電流隔離的探棒代表了技術的一大進步，提供了高頻、高共模電壓和高共模抑制的組合，以實現具有挑戰性的差動式量測。

## 關於作者

Tom Neville 是 Tektronix 時域業務部門的產品規劃師和產品行銷經理，擁有美國波特蘭州立大學 (Portland State University) 的電機工程碩士和軍事學院 (United States Military Academy) 的學士學位。Tom 在過去 9 年皆任職於 Tektronix，並致力於電源應用的量測解決方案。

本內容首次出現在 2016 年 10 月的《高頻電子》([High Frequency Electronic](#))。

## 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](http://www.tektronix.com.tw)



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

2016 年 10 月

51T-60956-0

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](http://www.tektronix.com.tw)

**Tektronix**<sup>®</sup>