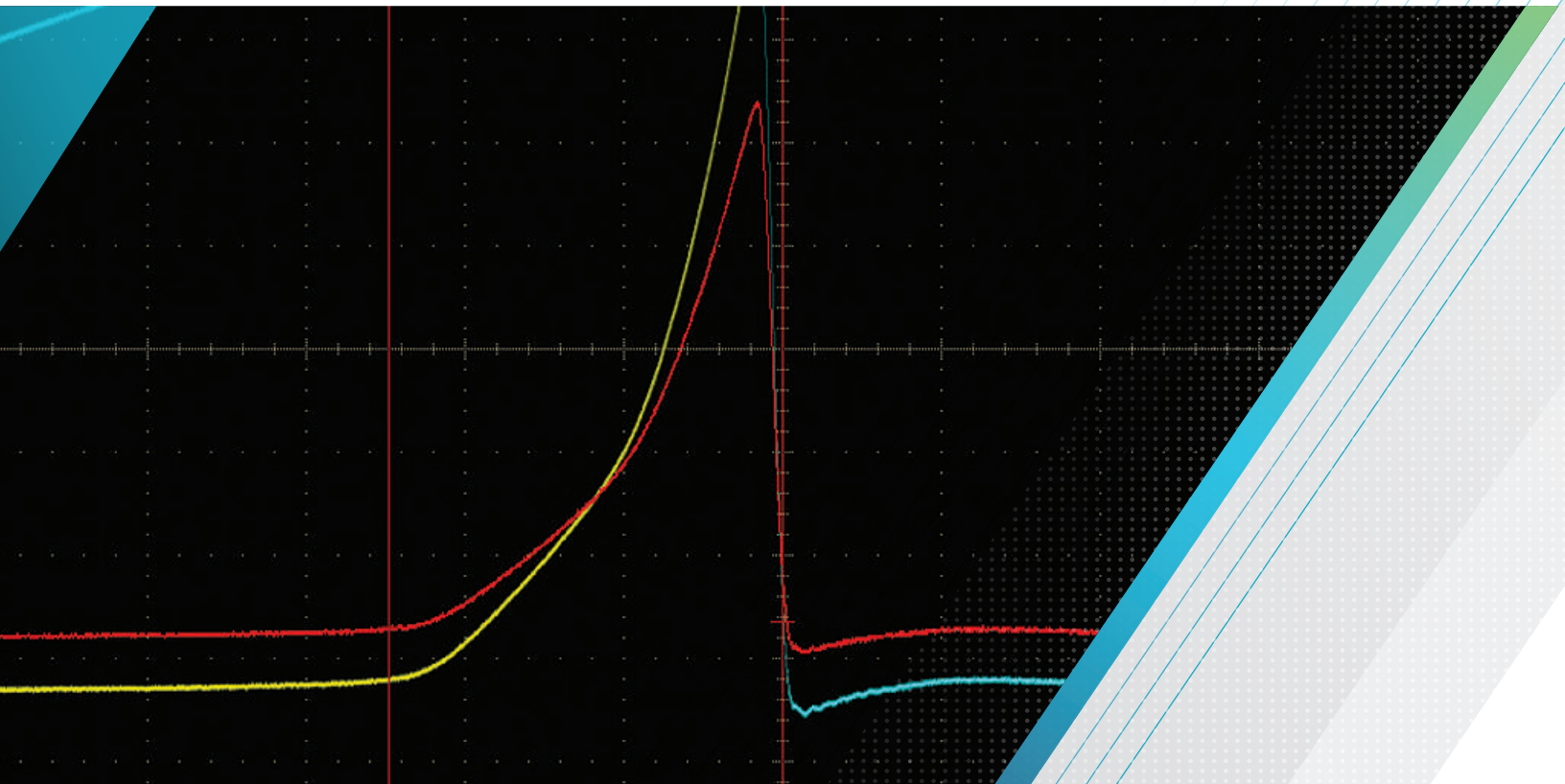


使用示波器在電源供應器上 執行準確的電流量測

應用摘要



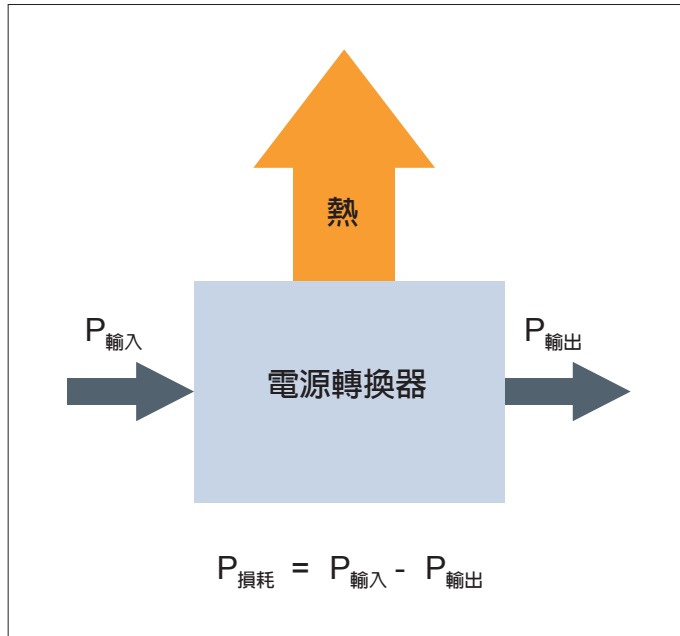


圖 1. 由於電源轉換效率不佳而造成損耗。

本應用摘要針對如何使用示波器和電流探棒在電源轉換器上執行準確的電流量測，介紹了相關的注意事項和技巧。

當結合示波器的電壓量測能力時，您可使用電流探棒進行多種重要的電源量測，如瞬時功率、平均功率和相位等。

為什麼準確的量測非常重要？

現今的電源供應器設計人員和測試工程師皆致力於尋找待測裝置(DUT) 效能中極微小的增量改進。整體目標通常是想辦法提高電源轉換效率，或者降低設計中的損耗。大多數電源轉換損耗會轉換為熱，不僅增加了整體功耗，而且還會影響其他的設計目標，如電池使用壽命、熱輸入規模，在某些情況下還可能需要冷卻風扇；增加成本並潛在地降低可靠性。採用可降低損耗的更有效設計將會為您帶來許多好處。

損耗的來源可能會出現在電源轉換器的大多數子元件內，而關鍵領域則往往是在於切換式半導體、磁性元件和整流器。效能提升量雖然非常微小，但是將具有非常重要的意義。若要準確地評估和量測此類微小效能的增加，請務必採用最準確的量測方式。

選擇電源量測的方法

我們已在另一本應用摘要(51T-60161-0《使用示波器在電源轉換器上執行準確的電壓量測》)中討論過如何謹慎選擇和使用電壓探棒以進行電源量測。針對許多在電源轉換器上的重要量測而言，準確量測電流也是必要的條件之一。為了確保精確的電流量測，請務必正確採用最適當的電流量測技術。

在較高的位準時，您可使用兩種技術來量測流過裝置的電流：量測通過線路電阻的電壓下降，以及使用電流探棒來量測。每種技術均有其優點和缺點。

當通過分流電阻器而使電壓下降時量測電流

有些電源供應器設計可能會有內建於設計的電流感應(「分流」)電阻以進行回授。第一種電流量測技術即是量測通過此類電阻的差動式電壓下降。這些通常是低值電阻器，通常會低於 1Ω 。

如果電流感應電阻設計內建於電源供應器，這將會是最方便的方法。只要共模訊號是在探棒的指定操作範圍內，且電壓下降足夠大，則使用主動式差動探棒來量測通過感應電阻的電壓，將可獲得良好的結果。然而，若要在低位準訊號上使用差動式探棒，需要注意量測系統中的雜訊減少。使用探棒或示波器上的最低可用探棒衰減和限制頻寬，以減少量測系統中的雜訊。另外，請記住，探棒的電容和電阻將與感應電阻以並聯方式連接，而且，雖然他們是專為盡可能減少對待測裝置的影響，不過您仍應瞭解其存在的事實。

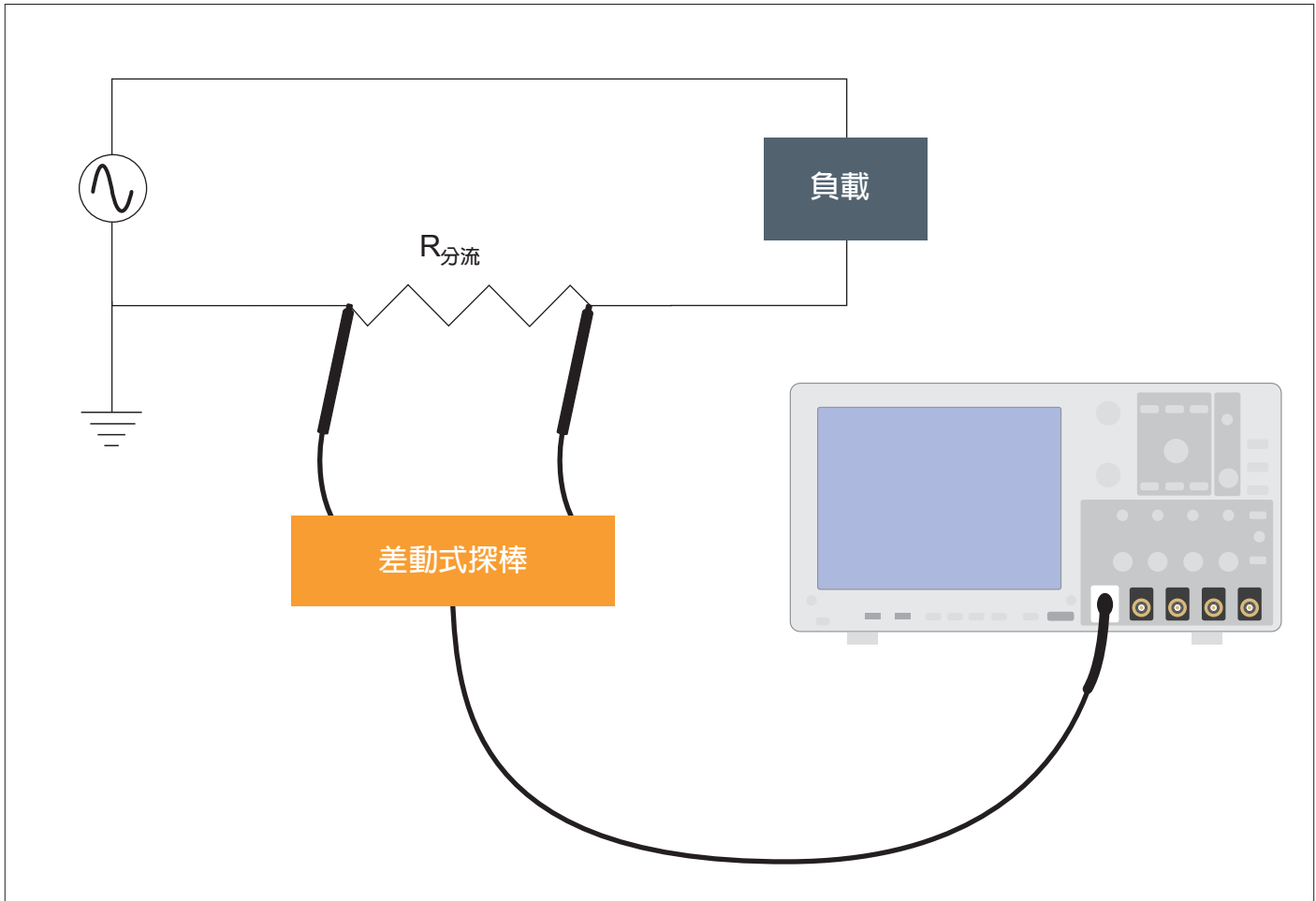


圖 2. 從通過分流電阻器的電壓下降量測電流。

若要以串聯方式連接感應電阻和負載，在設計時必須小心處理。根據歐姆定律，當電阻值增加時，每安培的電壓下降值將會增加，從而提升了的電流量測的品質。然而，電阻中的功率耗散將會隨著電流平方值增加，且必須考慮額外的電壓下降。此外，電阻會在電路中增加有感性電抗。而且，別忘記，差動式探棒的輸入電容會以並聯方式與感應電阻連接，而形成RC濾波器。

如果您在電路中加入感應電阻，請盡可能地將其靠近接地，以盡量不在通過電阻時產生量測系統中必須避免的共模訊號。而且，與高效能電流探棒不同，差動式電壓量測的共模抑制效能通常會隨著頻率而下降，所以，若含有感應電阻，這將會降低高頻電流量測的準確度。

如果您使用電壓探棒來量測通過已知電阻的電流，基本上量測即成為電壓量測，且適用於進行準確電壓量測的指導原則。在本應用摘要的其餘部分將涵蓋了夾式電流探棒的使用說明。

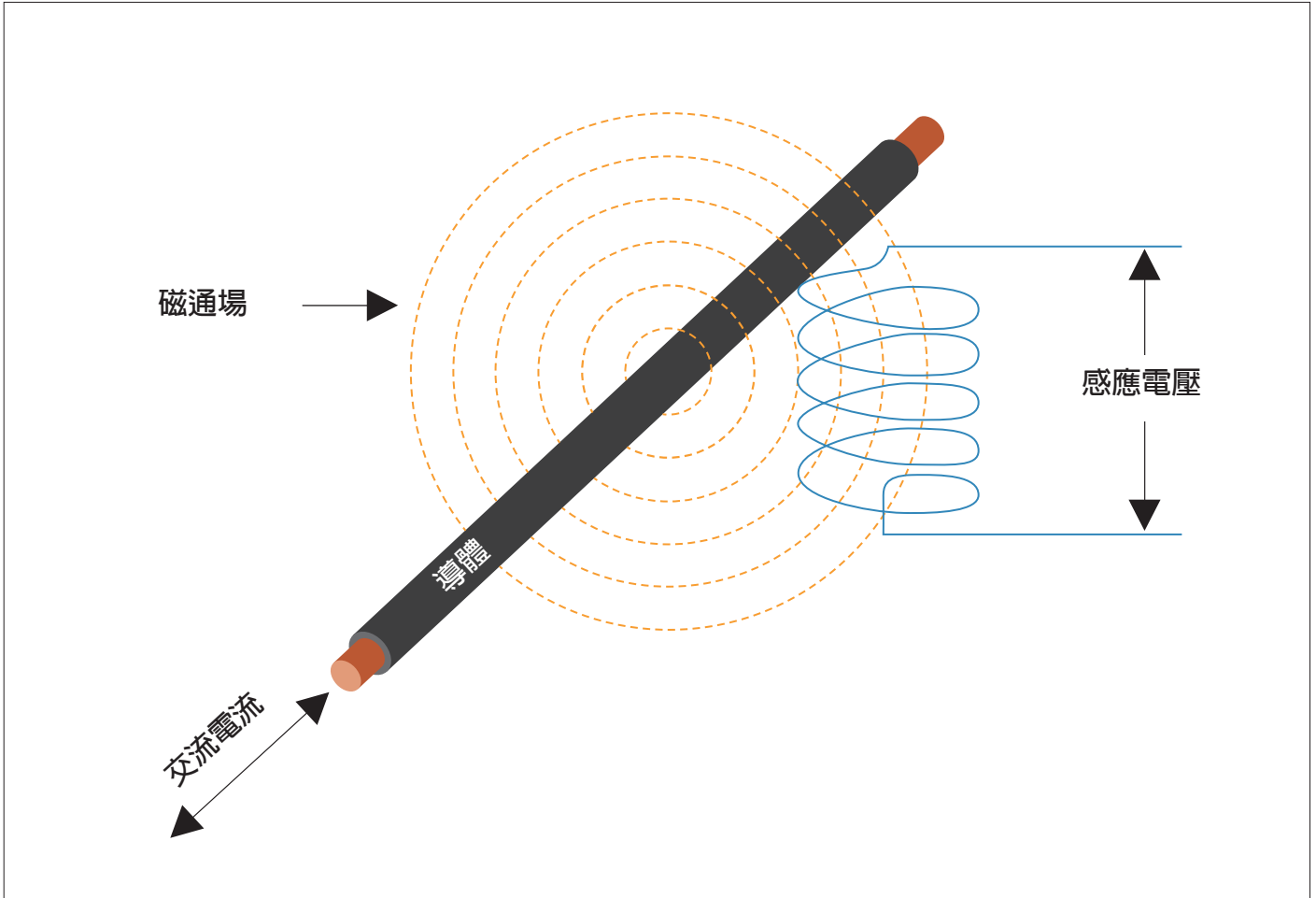


圖 3. 交流磁通場通過耦合線圈產生電壓。

使用電流探棒量測電流

電流流過導體時會在導體周圍形成電磁磁通場。電流探棒是設計為感應磁通場的強度，並將其轉換成相應的電壓以由示波器進行量測。這可讓您利用示波器來檢視和分析電流波形。當與示波器的電壓量測功能結合使用時，電流探棒也可讓您進行各種電源量測。根據示波器的波形數學運算功能，這些量測可包括瞬時功率、真實功率、視在功率和相位。

示波器具有兩種電流探棒類型。交流電流探棒通常是被動式探棒，以及交流/直流電流探棒則通常是主動式探棒。這兩種類型均使用相同的變壓器作用原理來感應導體中的交流電流 (AC)。

若要使變壓器開始作用，必須有交流電流流過導體。交流電流會產生磁通場，以根據電流流動的振幅和方向來建立和崩潰。當感應線圈放置在此磁通場內 (如圖 3 所示)，變化的磁通量場將會透過簡單的變壓器作用，通過線圈產生電壓。此電流相關的電壓訊號即會被調節且可以顯示為示波器上的電流縮放波形。



圖 4. TRCP3000 Rogowski 電流探棒

最簡單的交流電流探測器是被動式裝置，其僅僅是在磁芯 (如鐵氧體材料) 上依精確規格纏繞的線圈。其中有一些是固體環形，需要使用者將導體穿過磁芯。分裂磁芯電流探棒使用精確設計的機械系統，允許磁芯打開並夾在導線周圍，而不會中斷待測電路。分裂磁芯電流探測器能夠具有高靈敏度並在沒有電源的情況下操作，但是具有機械剛性且通常具有小孔徑，進而限制了其通用性。

以 Rogowski 線圈技術為基礎的交流電流探棒 (如圖 4所示) 是固體和分裂磁芯電流探棒的替代品。Rogowski 線圈使用空氣磁芯且為機械柔性，允許線圈打開並纏繞在導線或零件引線周圍。同時，由於磁芯不是磁性材料，Rogowski 線圈在高電流位準 (甚至達數千安培) 時不會達到磁飽和狀態。然而，此線圈傾向於具有比分裂磁芯探棒更低的靈敏度，且需要主動式訊號調節器來整合來自線圈的訊號，因此需要電源。



圖 5. TCP0030A 交流/直流電流探棒和TCP0150 150 交流/直流電流探棒。

對於許多電源轉換應用而言，具有分裂磁芯的交流/直流電流探棒是最通用、準確且易於使用的解決方案。交流/直流電流探棒會使用變壓器來量測交流電流，以及使用霍爾效應裝置來量測直流電流。因為這些探棒包括主動式電子設備可支援霍爾效應感應器，交流/直流探棒則需要電源供電才能操作。此電源可以是單獨的電源供應器，也可以整合至某些示波器。

使用電流探棒

連接電流探棒

因為電流探棒頭必須圍繞導體，所以明智的做法是針對關鍵量測，考慮將電流探棒存取加入產品的測試設計需求。這類的存取可包括個別的電流輸送線，或是電流輸送軌跡周圍的電路板的開孔。如果此類的存取以納入設計考量中，探棒將可輕鬆易地進行連接，而且若連接線或軌跡線是設計的組成部分，則不太可能導致由嵌合臨時迴路所引入的任何問題。

如果無法使用此類導體，請務必增加導線迴路或傾斜分量，並以串聯方式增加導線以容納探棒頭。

將導線迴路增加至印刷電路組件時，須考量下列事項：

- 在電路上定向環路和探棒時請務必小心，由於所得迴路區域將明顯比原始電路中的連接還要大，使電路更容易受到雜訊的磁耦合效應影響。
- 考慮加入電路的電感插入阻抗。典型的電流探棒可能會增加數毫微亨利的電感，但總插入電感電抗 (請參閱第 7 頁圖 6) 可能是由加入導線的電感 (約 20nH/in) 主導以容納電流探棒。
- 由於電流探棒會回應流過其上的總電流，您可在電流探棒周圍的導體纏繞多圈來改善量測靈敏度，如圖 7 (第 7 頁) 所示。如果導體穿過電流感應器 N 次時，靈敏度將會增加 N 倍。實際電流值則由總量測振幅除以 N 的值來決定。

附註：在探棒週為纏繞更多圈可增加插入阻抗 (電感會隨著圈數平方值上升)。這將會縮減探棒的頻寬上限。

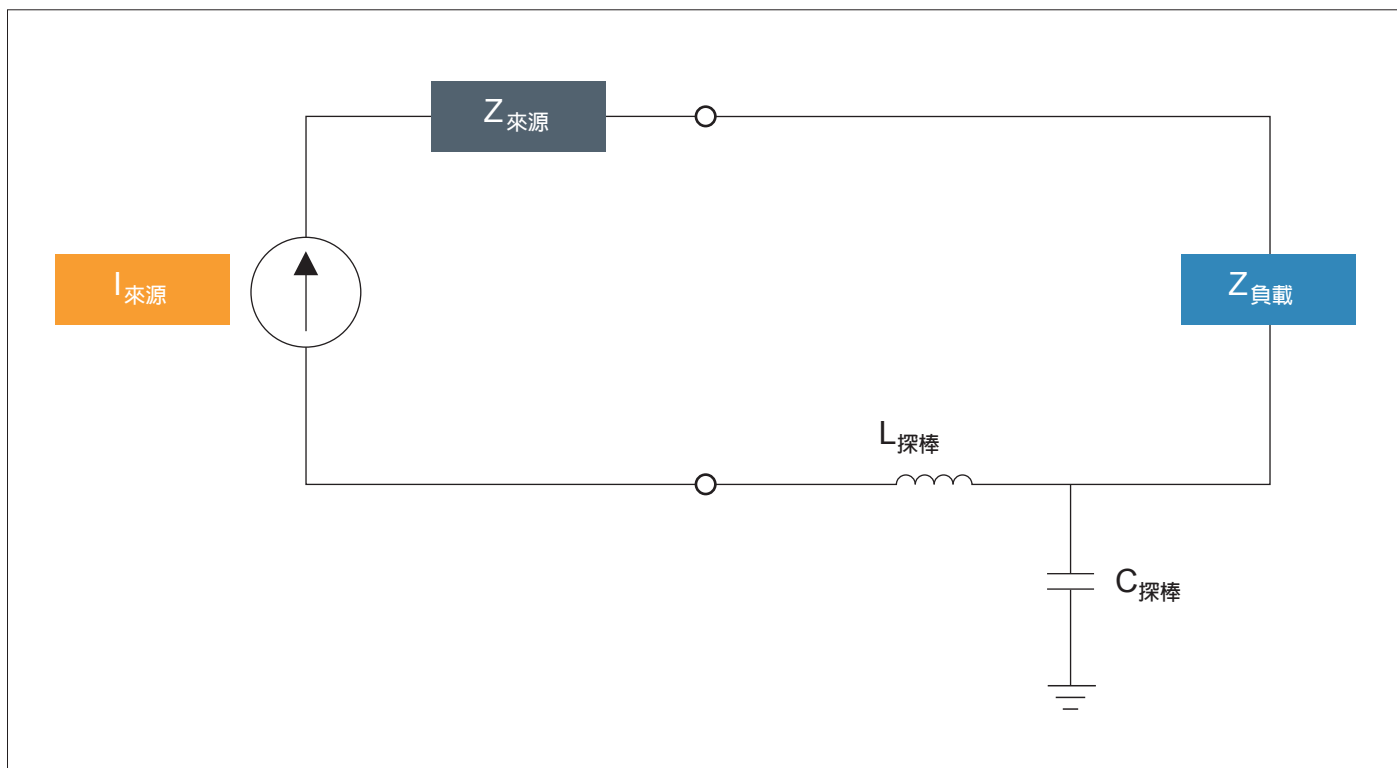


圖 6. 簡化模型指示電流探棒的電感插入阻抗和電容性負載。

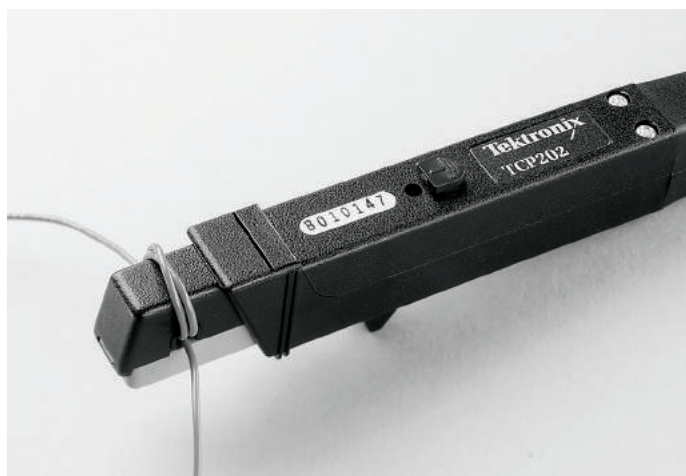


圖 7. 在電流探棒周圍的導體上纏繞N圈，增加電流靈敏度。

選擇連接電流探棒的位置可能會對量測結果產生顯著的效果。下列是選擇連接點的一些考慮事項：

- 考慮導體和電流探棒體之間，以及電流探棒體與接地之間的寄生電容。快速迴轉率電壓訊號可以電容耦合至探棒體。只要有可能，請在低阻抗節點上進行探測，以減少電容耦合至接地的負載影響。此外，在電路的接地側探測將可盡量減少會驅動寄生電容的訊號迴轉率 (dV/dt)。
- 為了減少探棒對輻射雜訊的敏感性，請嘗試從電流探棒上的接地連接將探棒接地線連接至電路接地。這可能會增加從探棒頭至接地的寄生電容，但應會使探棒的內部屏蔽更有效。

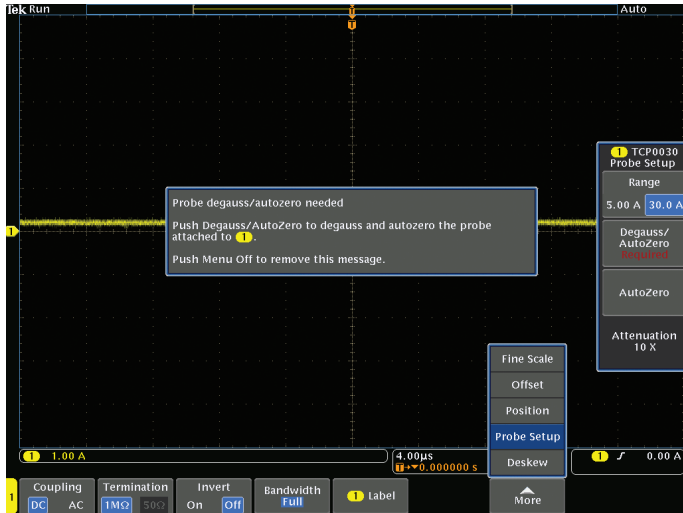


圖 8. 從 TCP0030 電流探棒傳送至示波器顯示器的消磁警告指示。

探棒設定

電流探棒上通常具備設定的控制功能。在舊型探棒上，這些可以透過探棒或放大器上的開關或指輪調整。新型的探棒則可與示波器搭配控制這些設定。

範圍。電流探棒通常可支援兩種電流範圍。例如，TCP0030A 交流/直流電流探棒具有5 安培和30安培的範圍。較高的範圍可擷取較高的峰值電流，但也會對示波器產生較小的訊號，導致較低的訊號雜訊比。所以，當探棒刻度設定為盡可能靈敏 (沒有削波的峰上的電流波形)，將可達到最佳的量測結果。

消磁/歸零。進行量測前，請務必消磁電流探棒 (移除剩餘磁通) 和移除直流偏移 (手動或自動)。圖8顯示從示波器提醒您執行消磁程序的提示。暫時從電路斷開探棒或斷電電路，同時消磁並從探棒移除直流偏移。

電流量測的示波器設定

在進行連接並選擇您的探棒設定後，您的示波器必須設定為進行您的量測。在設定示波器時須留意下列注意事項，以獲得最佳的電流量測結果。

- 準確的量測來自於校準的示波器。請讓示波器預熱至少20分鐘以達到穩定的內部溫度。多數短期誤差是由放大器隨時間和溫度漂移而引起。當環境溫度變化超過攝氏 5 度時，強烈建議在進行關鍵量測之前先校準示波器，而且每月至少執行一次。許多示波器會自動進行此類校準，而且只需要幾分鐘即可完成 (例如，在 Tektronix 的 Windows 式示波器上，此校準功能稱為「訊號路徑補償」(SPC)，並位於 Utilities->Instrument Calibration... 功能表下，您只需遵循螢幕上的指示進行)。
- 充分利用您的示波器動態範圍。調節粗/細垂直刻度控制功能，使得訊號填滿大部分的顯示器 (垂直方向)，但峰值不會延伸超出顯示器的頂部或底部。使用大部分的顯示器，可顯示大部分的示波器動態範圍，將可得到最佳的量測解析度和較高的訊號雜訊比。
- 當您進行電源量測，或者在比較電壓和電流探棒之間的時序時，請務必對探棒進行偏移校正程序。每個探棒都具有不同的傳播延遲，且差異非常顯著，在比較電壓和電流探棒時尤其如此。圖 9 顯示了此情況的範例。由於暫態功率計算是電壓和電流波形的取樣乘取樣的乘積，所以必須具備精確的波形時間 (相位) 匹配。

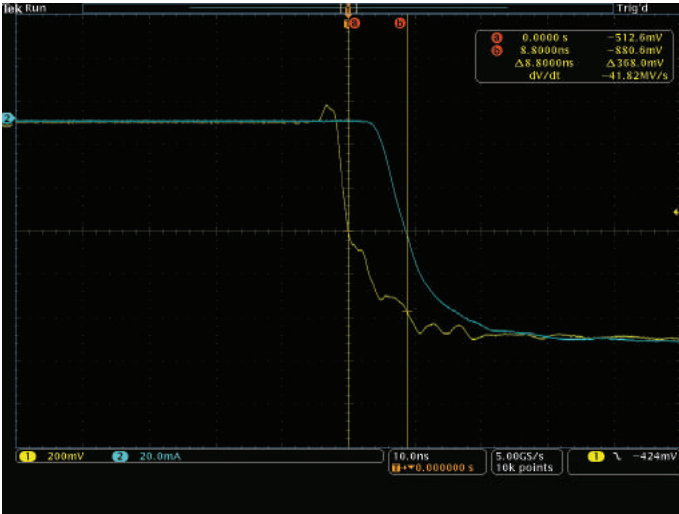


圖 9a. 在偏移校正程序前，當連接到偏移校正治具時，電流至電壓有 9.4 ns 的延遲。

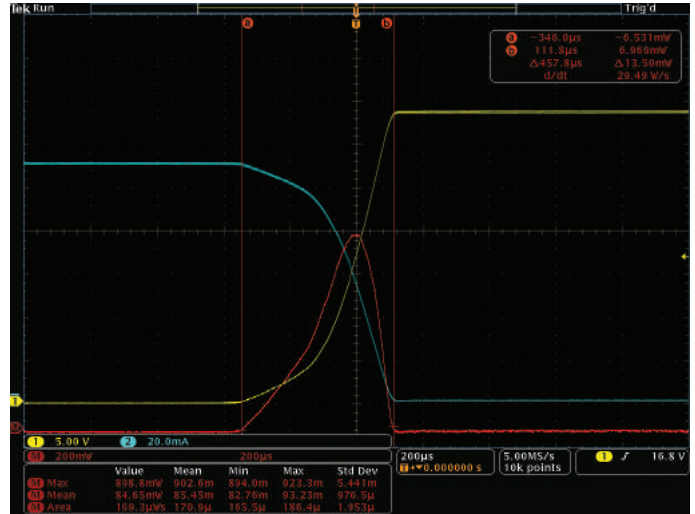


圖 9b. 在偏移校正程序前，切換期間的平均功率為 4.96 W。

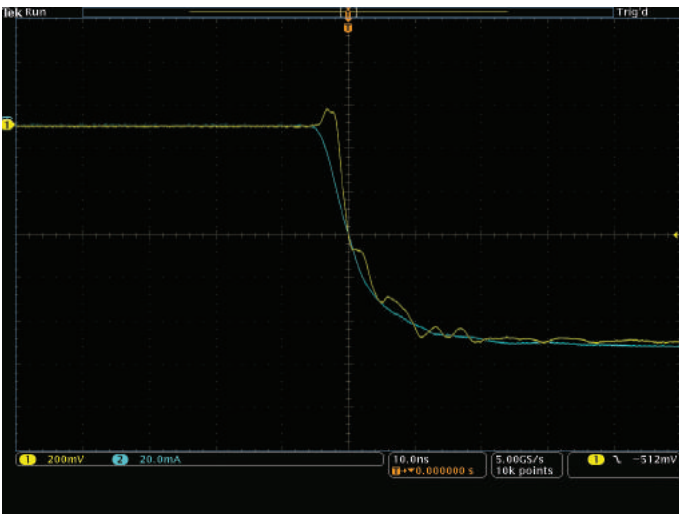


圖 9c. 在偏移校正程序後，電壓和電流訊號已對齊。

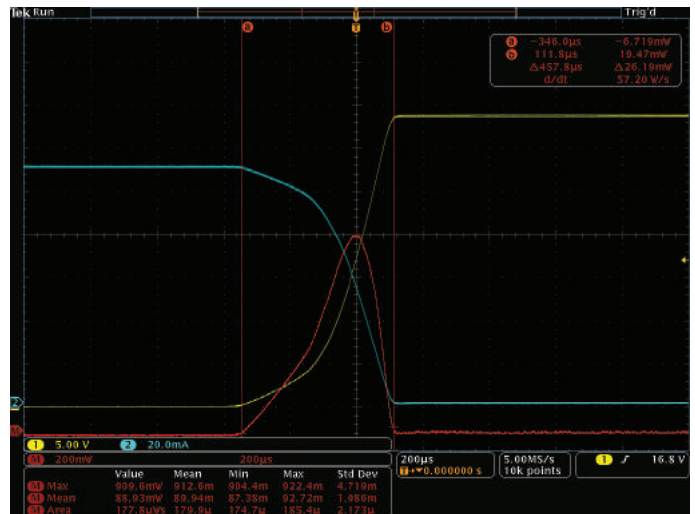


圖 9d. 在偏移校正程序後，切換期間的平均功率為 5.24 W，或高於偏移校正前的值 5.6%。

偏移校正程序會在示波器輸入端針對訊號執行時間對齊程序，確保計算的功率波形可代表電路的真正瞬時功率。Tektronix 提供了可用於此程序的偏移校正治具，例如，針對與MDO/MSO/DPO3000 和 MDO/MSO/DPO 4000 系列示波器搭配使用進行過最佳化處理的零件編號067-1686-XX。圖 9 顯示使用示波器的自動偏移校正功能的結果。

- 在示波器上使用頻寬限制或濾波器有助於減少雜訊。若使用高於您量測訊號真正需要的頻寬，會將高頻雜訊傳遞至示波器的數位化器，而不會增加值。若在示波器或探棒中使用頻寬限制，將可減少進入數位化器的雜訊量。許多儀器均含有 20MHz 的頻寬限制，有時也會有其他值，通常在垂直通道功能表之下。

在示波器中使用訊號處理方式也可以減少雜訊和改善量測解析度。下一節將介紹平均和 HiRes 擷取模式，這兩種模式可有效提高重複性和非重複性訊號的量測解析度。

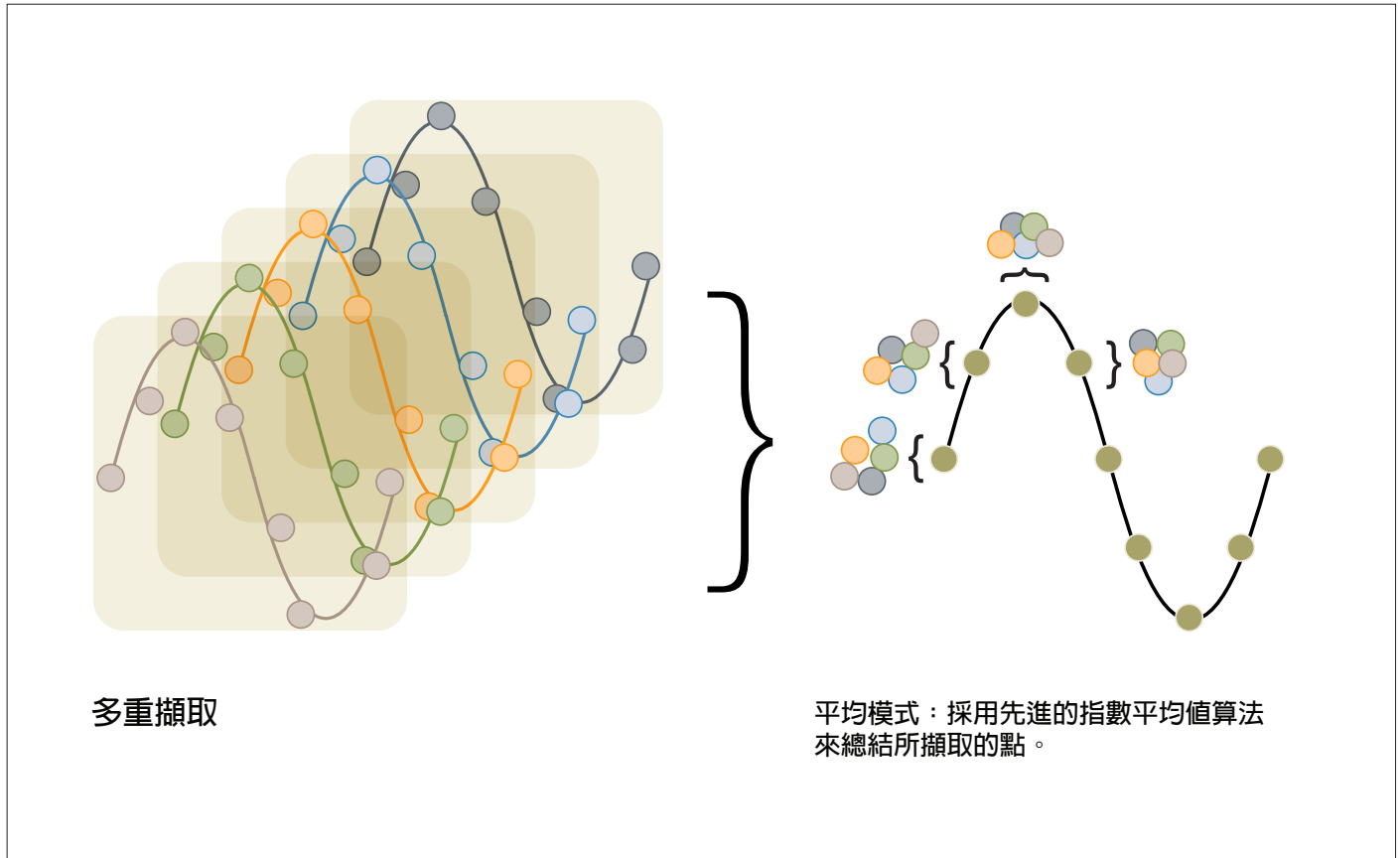


圖 10. 平均擷取模式會計算在多次擷取上每個點的平均值。

平均擷取模式

首先是波形平均 (如圖 10 所示)，這會從後續觸發擷取平均對應的取樣。此技術確實需要重複的訊號，但可有效地去除隨機雜訊。同時，如果相較於感興趣的頻率，取樣率非常高，則有效的系統頻寬變不會受到影響。

波形平均增加了取樣波形的垂直解析度：

$$\text{增強的解析度} = 0.5 \log_2 (N)$$

其中 N 表示波形平均值的總數。

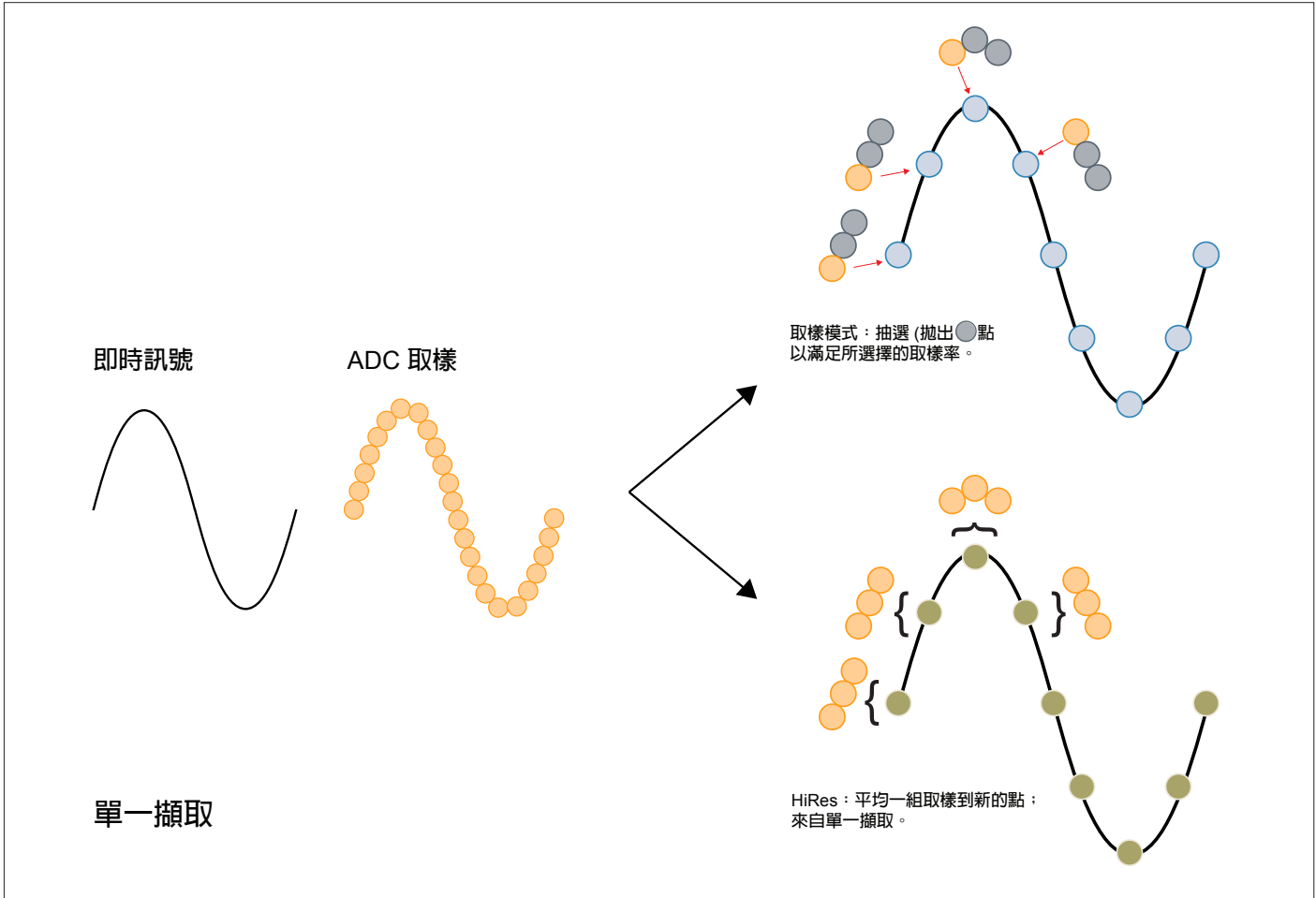


圖 11. HiRes 擷取模式會計算每個擷取時間間隔的所有取樣平均值。

HiRes 擷取模式

HiRes 模式 (如圖 11 所示) 是一種矩形波串平均的形式。此技術會針對擷取範圍內的一組連續取樣進行平均。因此，此技術將與單次事件搭配使用，並可有效去除隨機雜訊。

如同波形平均化，HiRes 增加了波形的垂直解析度：

$$\text{增強的解析度} = 0.5 \log_2 (D)$$

其中 D 是抽選比，或最大取樣率/實際取樣率。

HiRes 的另一個好處是有效系統頻寬可預測地縮減，從而有助於限制系統的雜訊頻寬。產生的 -3 dB 頻寬(除非量測系統的類比頻寬進一步限制)是：

$$BW = 0.44 * SR$$

其中 BW 為頻寬 (以 Hz 為單位) 而 SR 為實際取樣率 (以取樣/秒為單位)

如需有關示波器擷取模式的相關技術資訊，請參閱 www.tektronix.com.tw 上所提供的 Tektronix 應用摘要《可將示波器量測解析度提高於 11 位元的工具》(48T-27802-2)。

電流探棒：選型標準和規格

您可使用 www.tektronix.com.tw/probes 所提供的線上示波器探棒及配件選型工具輕鬆找到適合您的應用的電流探棒。選擇電流探棒時，請注意多項效能標準及應用特定的標準。

問問自己這些問題：

1. 我是否需要量測交流電流、直流電流，或兩者皆有？

大多數設計與示波器搭配使用的電流探棒可分為兩類：僅限交流或交流/直流。僅限交流探棒基本上較簡單，且是場耦合變壓器(請參閱下文，以瞭解更多有關交流電流探棒理論的討論)。在某些情況下，與交流 / 直流探棒相較之下，僅限交流探棒相對簡單，也成為較經濟的選擇。但是，如果您的待測訊號包括需要進行特性分析的直流電流分量 (預期或非預期)，則交流/直流探棒將會是較好的選擇，以確保可量測到所有的訊號特性。

2. 我要量測的最小和最大電流位準是什麼？以及靈敏度是什麼？

最大電流處理能力是一個關鍵的效能規格。Tektronix 電流探棒的額定電流範圍從微安培至數千安培。

最大電流通常會使用兩個值來指定：最大連續電流和最大脈衝電流。最大脈衝電流可明顯高於最大連續電流，但前提是脈衝比給定值窄。探棒的产品規格表或手冊中將會列出脈衝最大值和持續時間等資訊。

探棒在最大電流和靈敏度之間往往無法兼得。如果使用非常低的振幅 (在其有效範圍的底部) 來量測訊號，具有高電流能力的探棒通常會損失解析度和準確度。

靈敏度必須同時以電流探棒和示波器的角度來檢視。例如，探棒可能會每 10 mA 輸出 1 mV。為了查看 10 mA 的差異，示波器必須有足夠的放大功能，以顯示 1 mV 的變化。通常，探棒產品規格表上會提供靈敏度規格，並應會包含有關示波器部分的任何要求。

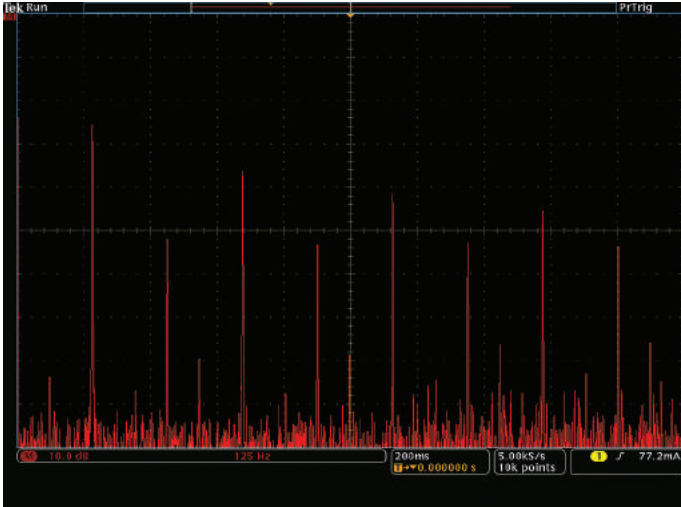


圖 12. 脈衝電流通過 FET 的快速傅立葉變換，顯示了諧波中的重要內容。

3. 我的訊號的頻寬和上升時間是什麼？

如同電壓探棒，頻寬對電流探棒而言也是一個重要的規格。當量測現今切換模式電源轉換器中常見的非正弦電流波形時，請務必考慮到在待量測訊號中的諧波內容。切換式波形在頻率高於基本切換式頻率時會包括其大部分的能量，如圖 11 所示。

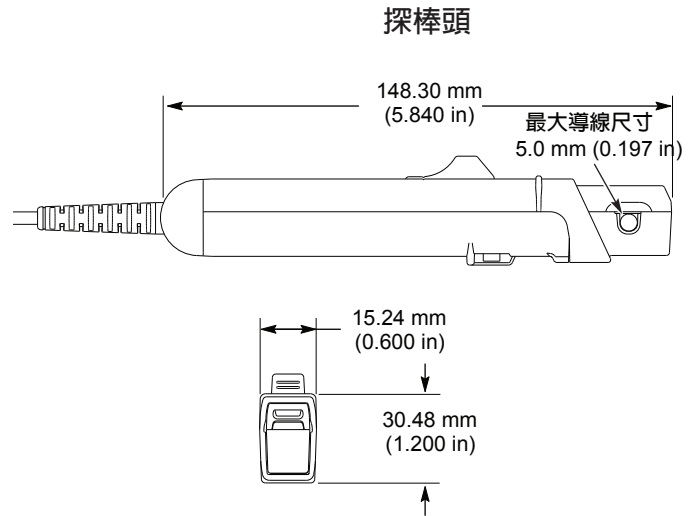


圖 13. 實體尺寸有助於確定是否適合，尤其是鉗夾直徑。

探棒頻寬必須比基本頻率高出許多倍，才能準確地量測這些諧波。例如，100 kHz 切換式訊號的第5次諧波將為 500 kHz。上升時間與頻寬密切相關，且常指定用於電流探棒。如果您關注在切換式電源供應器上的量測，上升時間可能是較容易評估的規格。



圖 14. 電壓和電流探棒透過具有 TekVPI 介面連接至示波器。

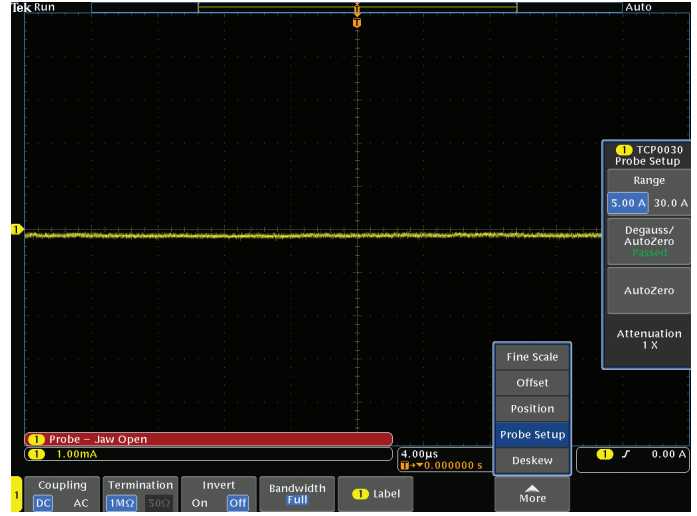


圖 15. 探棒和示波器之間的通訊可顯著地顯示重要的警告，如開啓的鉗夾警告。

4. 探棒是否適合我的系統？

探棒設計者努力縮小電流探棒的尺寸，同時也要兼顧效能和安全需求的限制。對於大多數應用而言，鉗夾直徑是專為容納能夠承載探棒額定電流的典型導體。不過，如果您的導體具有非常厚重的絕緣，請檢查以確保導體可輕鬆放入探棒的鉗夾。

5. 何種示波器將可與探棒搭配使用？

Tektronix示波器採用數種不同的探棒連接介面；有些介面已針對在極高頻寬下的訊號完整性進行過最佳化處理；有

些介面則專為支援探棒和示波器之間的通訊。Tektronix 所提供的電流探棒亦使用各種介面樣式和接頭。若要在許多電源轉換裝置上進行電源量測，則使用 TekVPI® 探棒介面可能會是您絕佳的選擇。此介面提供了一些有價值的功能，包括主動式探棒 (包括許多電流探棒) 所需要的直流電源供應器，以及智慧型通訊，可自動化探棒設定和提醒，如縮放、單位、消磁、過載、探棒開路等等。

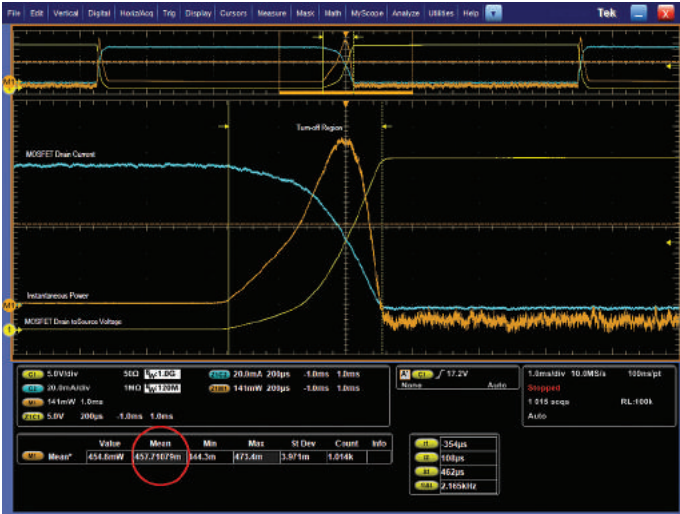


圖 16. 使用示波器的量測工具組進行切換損耗量測。



圖 17. 使用 DPOWPR 的切換損耗自動量測。

整合探棒、示波器和自動化軟體

請確認示波器量測系統中正確顯示了電流和電壓探棒比例因數和單位。這將可簡化量測結果的解譯程序並防止出錯。請盡可能使用會自動將其衰減係數和單位傳達給示波器的探棒。

圖 16 顯示切換損耗的量測範例，其中，黃色通道一為來自 TDP1000 差動式探棒的電壓量測 (以伏特為單位)，青色通道二是來自 TCP0030 交流/直流電流探棒的電流量測

(以安培為單位)，橙色 M1 運算通道則是計算瞬間功率 (以瓦特為單位)。比例因數和單位均已自動由探棒和示波器進行設定，無需使用者手動處理。

在理想情況下，您應該使用電源量測應用來簡化示波器設定，並提高量測的可重複性。如 Tektronix DPOWPR 等應用 (圖 17 的下半部分所示) 可自動化功率波形的擷取、訊號處理和分析等作業，並提供量測結果的標準化文件。

結論

使用在此應用摘要中所述的量測技術，再搭配適當的設定技術，您即可使用高效能電流探棒 (加上電壓探棒) 和相容的示波器，來執行準確的電源量測。由電源量測應用進行自動化，您可以更輕鬆地且可重複地進行這些量測。

如需有關示波器的其他技術資訊，請參閱
www.tektronix.com.tw 網站上所提供的 Tektronix
《深入瞭解示波器》入門手冊 (03T-8605)。



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。

2016 年 2 月

51T-60171-2

KEITHLEY
A Tektronix Company

Tektronix

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



敏盛企業有限公司

<http://www.mavin.com.tw>

免責聲明

資料僅供參考，若有與原廠不合之處，請以原廠規格為準，且不供任何證明文件之用

TEL:03-5970828 FAX:03-5972622 新竹湖口工業區工業四路3號2F