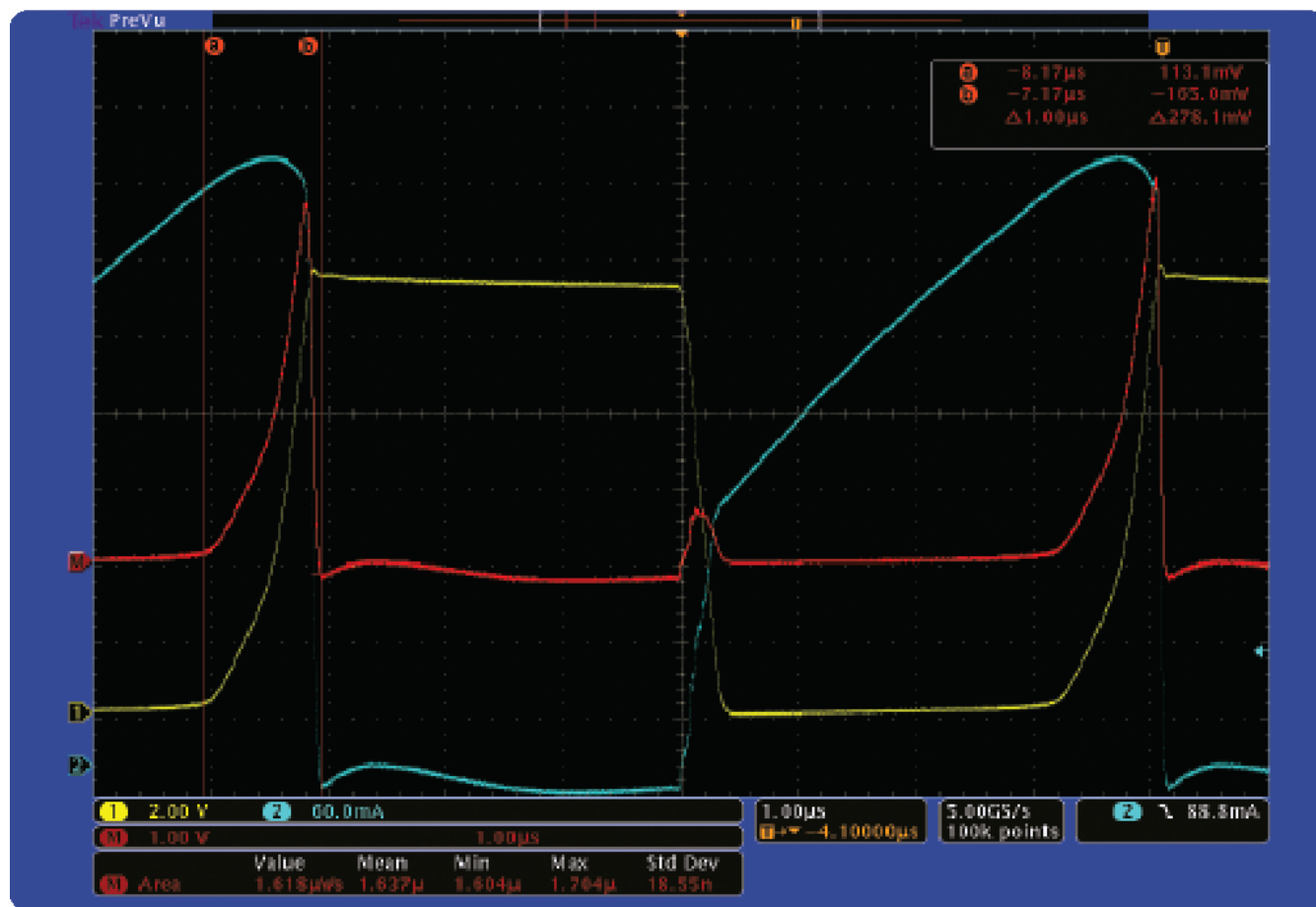


電源供應器量測簡介

使用 4000 系列數位螢光示波器



簡介

過去一個世紀以來，對於電力的需求極速增加。人們對於日常電子產品中電源供應器的效能與效率，以及精密的電子與通訊系統，也更加重視。電源供應器是可轉換各種電力的元件、子系統或系統。無論是從個人電腦到工業機器設備，電子裝置的正常運作取決於電源供應器的效能與穩定性。

從傳統的線性到今日的高效率，電源供應器有許多不同種類和大小。所有的電源供應器都必須應付複雜而動態的操作環境。裝置的負載與需求，會在瞬間急遽改變。即使是「便利型」的電源供應器，也必須能夠承受遠超過其平均操作位準的突峰。

此外，電源供應器的功率位準、輸出純度，以及反饋回電源線的諧波，都必須經過特性分析，以配合國家與地區性的功率品質標準。在過去，這類的量測代表使用數位萬用電錶進行靜態的電流與電壓量測，並使用計算機或 PC 進行繁瑣的計算。今日，大部分的工程師偏好使用示波器來作為電源量測平台。本應用摘要將著重於使用示波器進行基本的電源供應器量測。

電源供應器量測準備

對於已經習慣使用示波器進行高頻寬量測的人來說，相對低頻率的電源量測看來好像是輕而易舉的事。事實上，電源量測有著許多高速電路設計人員從未遇過的挑戰。通過切換裝置的電壓可能會很高，而且是「浮動」的，也就是未單端接地。訊號的脈衝寬度、週期、頻率和工作週期也有各種變化，必須忠實擷取波形，並分析不完整之處。

對於示波器的要求是嚴格的。示波器當然必須具備基本頻寬和取樣率，以處理 SMPS 中的交換頻率。電源量測需要至少兩個通道，分別用於電壓與電流。而具備能使電源量測更簡單、更可靠的設備顯然同樣重要，以下提供一些考量點：

- 有安全而準確的電壓與電流探測解決方案嗎？
- 有適當的方法來校正這些探棒的不同延遲嗎？
- 是否有能將探棒偏移減到最小的有效程序？
- 儀器能否配備足夠的記錄長度，擷取高解析度長 line-frequency 波形？

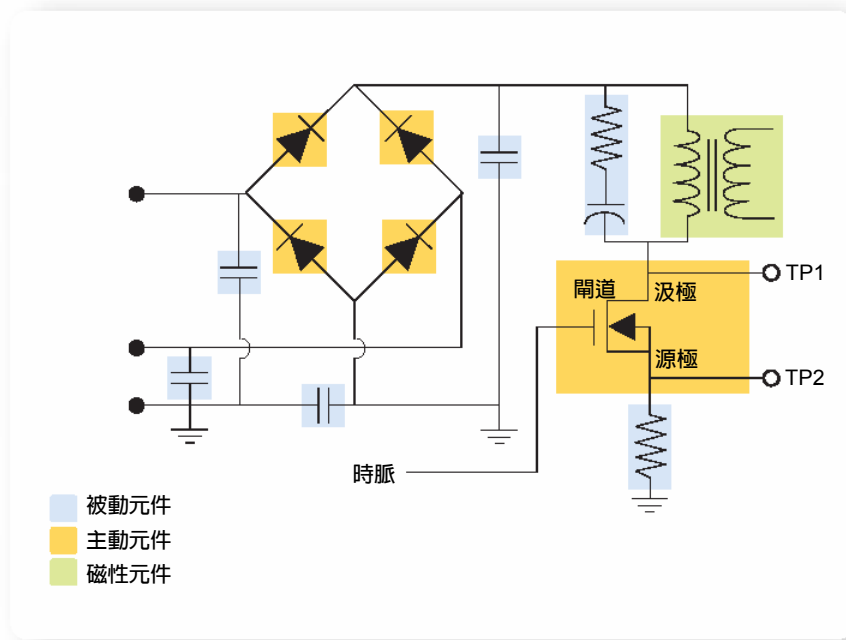
這些特性是形成有意義和有效率電源供應器設計量測的基礎。

安全準確的探測電壓與電流波形

若要使用數位示波器進行電源量測，必須量測通過裝置的電壓與電流。這項工作需要兩支不同的探棒：電壓探棒（通常是高壓差動探棒）與電流探棒。圖 1 顯示切換式電源供應器 (SMPS) 的典型量測情況。透過 kHz 到低 MHz 範圍內的時脈驅動，金屬氧化半導體場效應晶體管 (MOSFET) 控制著電流。

量測通過 MOSFET 的電流相當地簡單，可使用眾多不同的 Tektronix 霍爾效應電流探棒來完成，例如 TCP0030。但是量測電壓更令人頭痛。MOSFET 沒有連接交流電主要接地線或電路輸出接地線。因此無法使用示波器進行一端接地的單端電壓量測。因為如果把探棒的接地線連接在 MOSFET 任何端子上，將使通過示波器接地的電路短路。

量測 MOSFET 電壓的最佳方式是差動量測。透過差動量測，您可量測汲極到源極電壓 (voltage drain-to-source, VDS)，即通過 MOSFET 汲極與源極終端的電壓。VDS 電壓可在數十至數百伏特範圍的電壓上浮動，視電源供應器的電壓範圍而定。



► 圖 1. 切換式電源供應器簡視圖

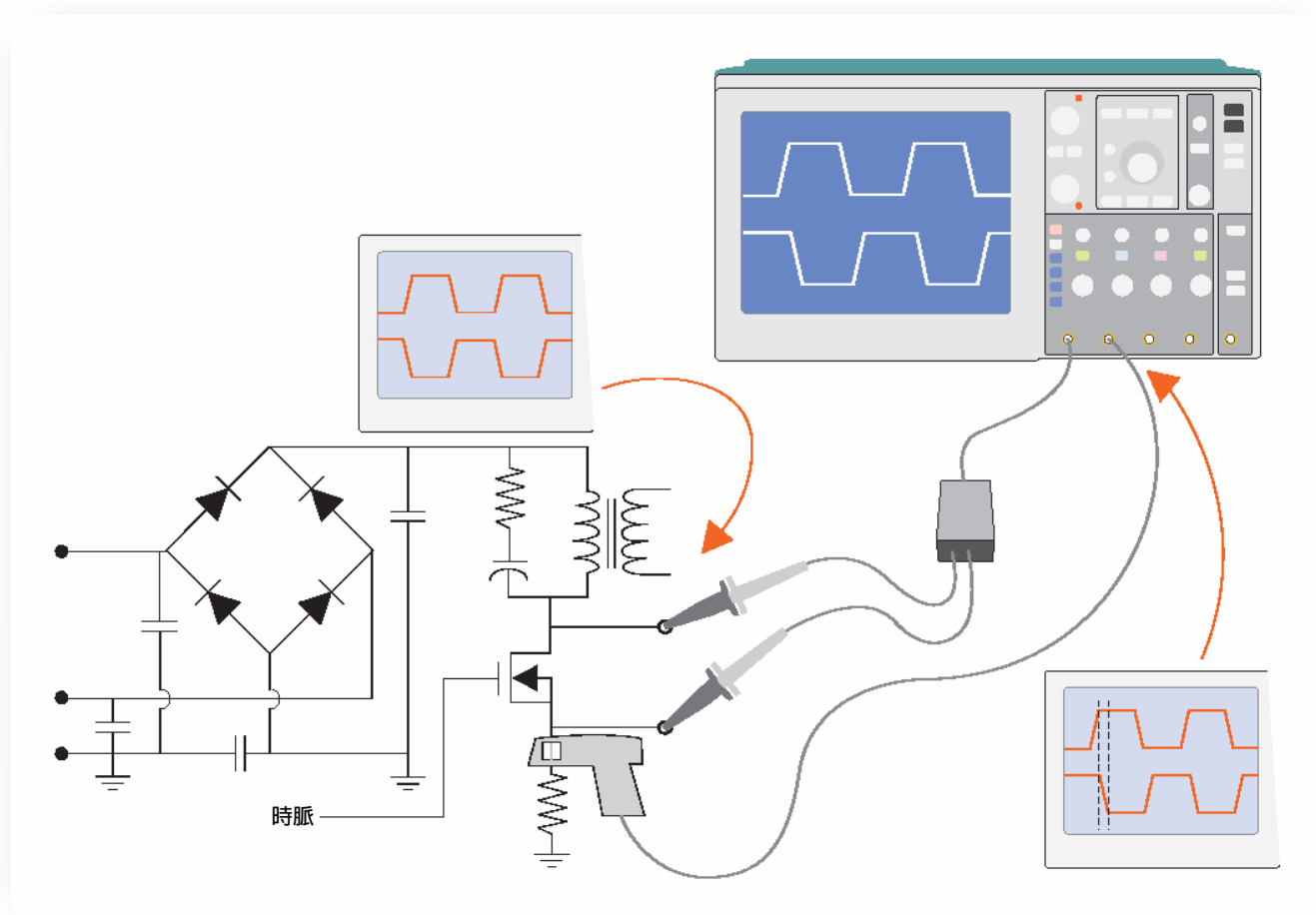
可透過下列幾種方法量測 VDS：

- 浮接示波器的機殼接地線。**建議不要使用，因為非常不安全且對使用者、待測裝置及示波器都有危險。**
- 使用兩組傳統被動式單端探棒，將探棒接地線彼此連接，接著利用示波器的通道數學運算功能進行量測。這種量測法稱為準差 (quasi-differential) 量測。雖然被動式探棒可與示波器放大器結合使用，但缺少足以隔離共模電壓的共模互斥比 (Common Mode Rejection Ratio, CMRR)。雖然您因可使用現有的探棒而想採取這種方法，但這種方法無法準確量測電壓。

消除電壓與電流探棒間的偏移

每支電壓與電流探棒都有自身的傳輸延遲特性。電流與電壓探棒間的延遲差異 (也就是偏移)，會導致不準確的振幅與時序量測。重要的是瞭解探棒的傳輸延遲，對於最大峰值功率和區域量測的影響。畢竟功率是電壓與電流相乘得出。如果兩個相乘的變數沒有完全對齊，結果就會不正確。當探棒未適當「偏移校正」時，像是切換耗損等量測的準確度會降低。

- 使用市售的探棒隔離器來隔離示波器機殼接地線。探棒接地線將不再為接地電位，而且您可直接將探棒與測試點連接。探棒隔離器為有效的解決方案，但不便宜，通常成本為差動探棒的二到五倍。
- 使用真正的差動探棒。像是 Tektronix P5205 的高壓差動探棒，將可讓您安全準確的量測 VDS。

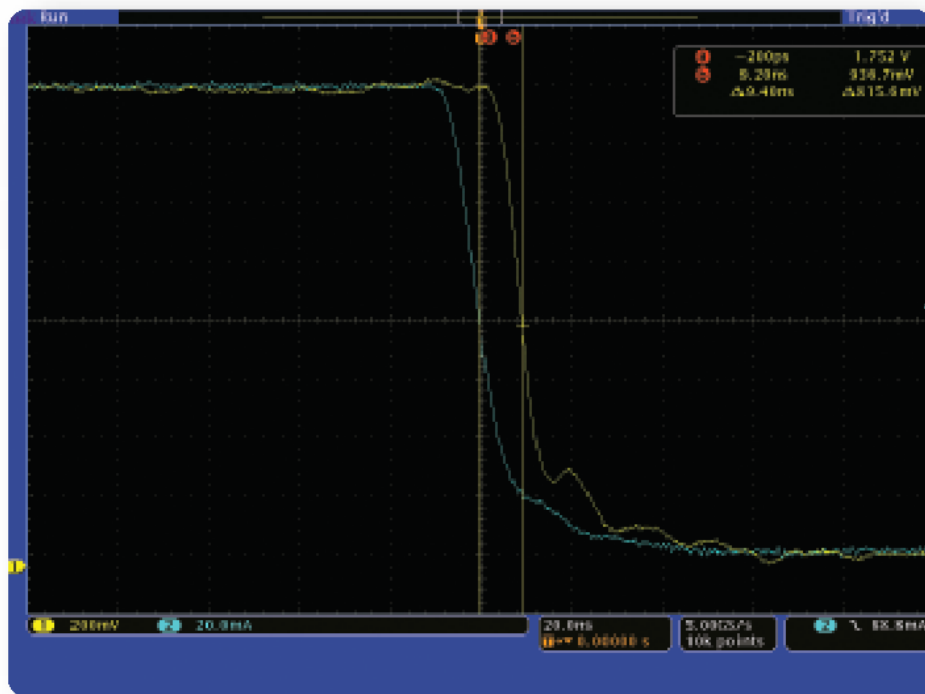


► 圖 2. 傳輸延遲差異 (偏移) 對於電源量測的影響

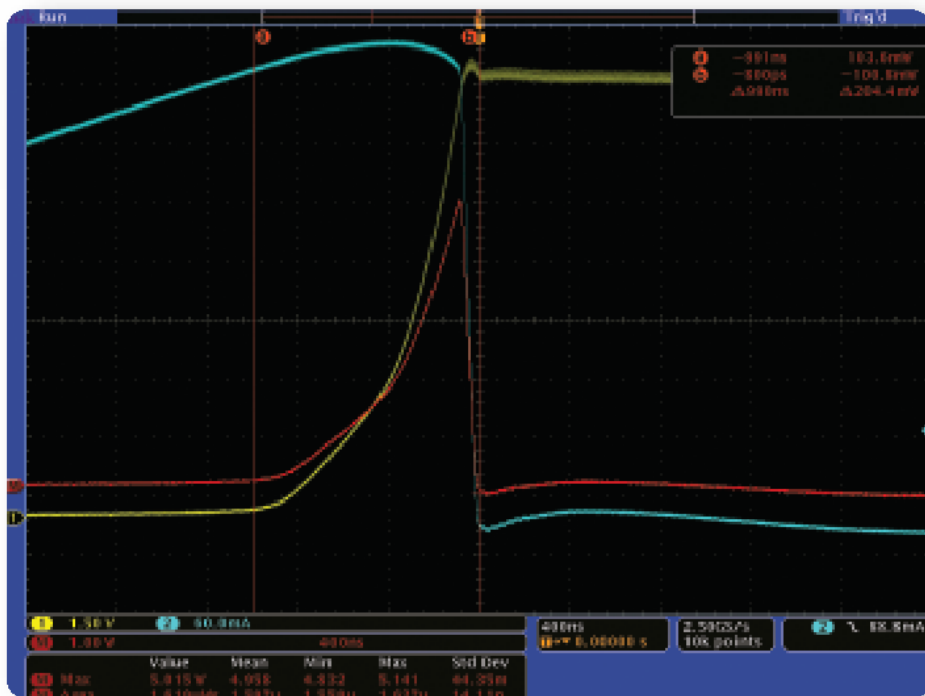
圖 2 中顯示的測試設定，比較了在傳輸延遲後 (下圖)，探棒頭 (上圖) 與示波器前面板的訊號。圖 3 到圖 6 是實際的示波器螢幕擷取畫面，展示了示波器中偏移的影響。至待測裝置的連線，是以 Tektronix P5205 1.3 kV 差動

探棒和 TCP0030 30A AC/DC 電流探棒來連接。「電壓」和「電流」訊號則是由校驗治具提供。

圖 3 顯示電壓與電流探棒間的偏移，圖 4 顯示沒有先校正兩支探棒的偏移，即進行量測的結果。



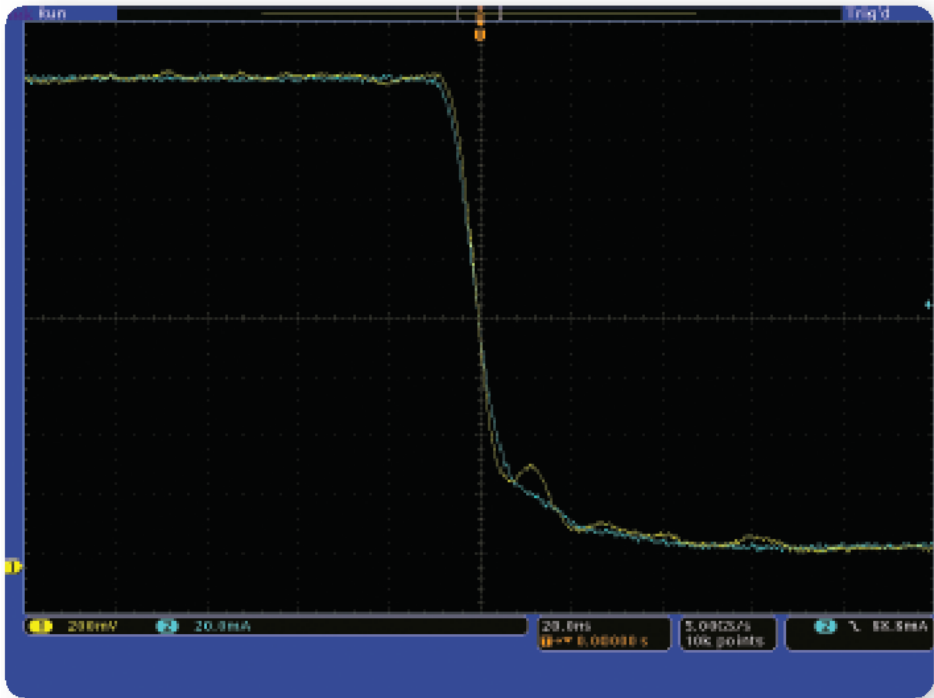
► 圖 3. 電壓與電流訊號間的 9.4ns 偏移



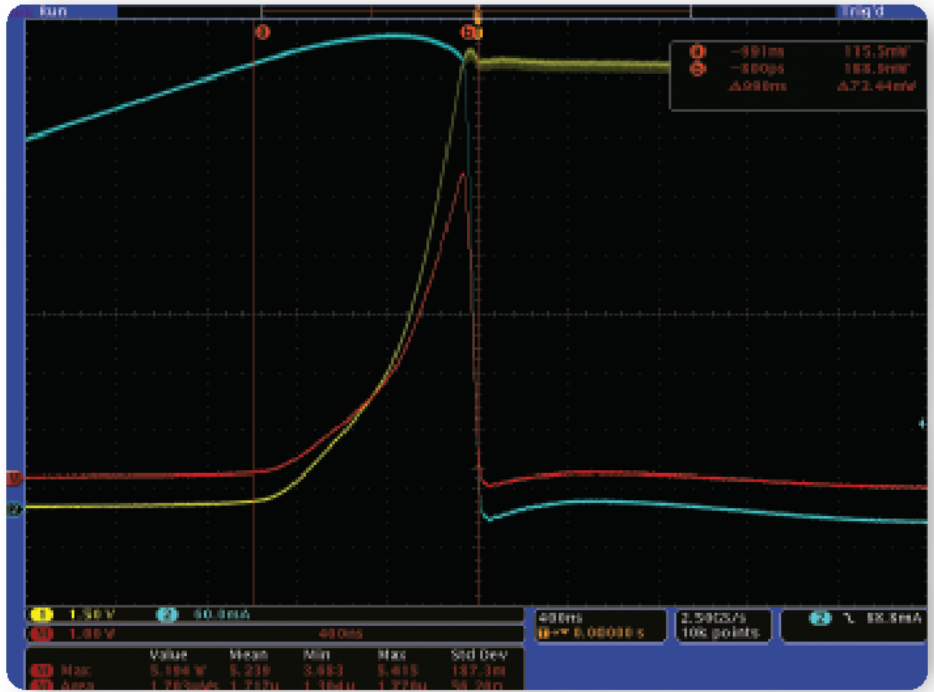
► 圖 4. 在偏移狀態下，功率波形的尖峰振幅為 4.958W，游標間的能量耗損為 1.597μJ

電源供應器量測簡介：使用 4000 系列數位螢光示波器

► 應用摘要



► 圖 5. 在進行偏移校正的程序後，電壓與電流訊號已對齊



► 圖 6. 尖峰振幅已升高至 5.239W (提高 5.6%)，而游標間的能量耗損已升為 1.717μJ (提高 7.5%)

圖 5 顯示探棒偏移校正的影響。兩條參考軌跡重疊，表示延遲已被校正。圖 6 中的量測結果顯示了適當偏移校正的重要性。此範例顯示電壓與電流探棒間的偏移，會導致 6 到 8% 的量測錯誤。準確的偏移校正可減少峰對峰功率損耗量測中的錯誤。

消除探棒偏移

差動探棒容易有些微的電壓偏移。這會影響準確度，必須在繼續量測前消除偏移。大部分的差動電壓探棒具有內建的 DC 偏移調整控制，這讓消除偏移成為相當簡單的程序：在暖機後：

- 設定示波器量測電壓波形的平均值。
- 選擇將用來進行實際量測的靈敏度 (垂直) 設定。
- 沒有訊號時，將平均位準調整為 0 V (或是盡量接近 0 V)。

同樣地，在進行量測前也必須調整電流探棒。在消磁後：

- 設定示波器將用來進行實際量測的垂直靈敏度。
- 關閉沒有訊號的電流探棒。
- 將 DC 平衡歸零。
- 將平均值調整為 0 安培，或是盡可能接近 0 安培。

請注意有些探棒 (像是啓用 TekVPI 的 TCP0030) 具有內建的自動消磁/自動歸零程序，只要按探棒補償盒上的按鈕即可。

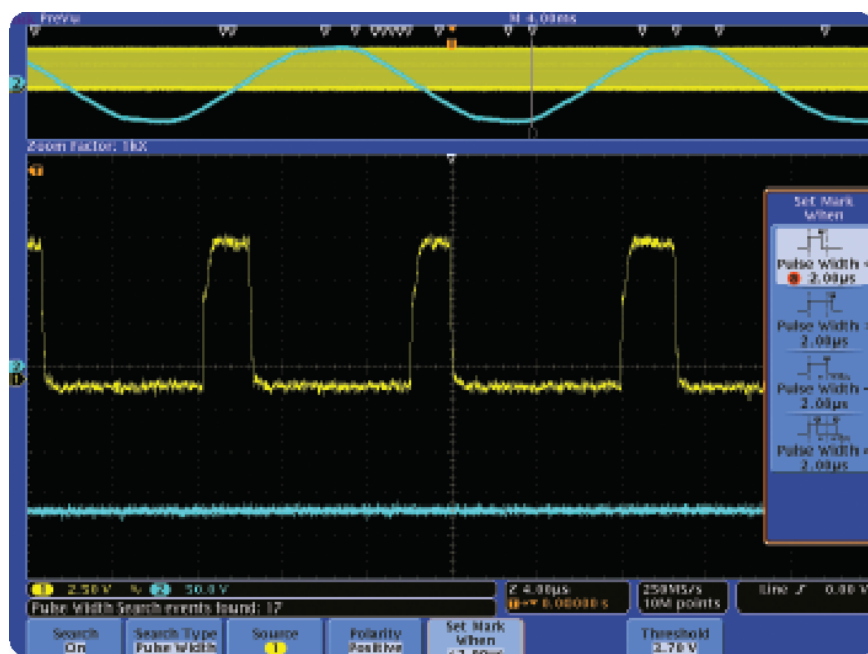
記錄長度在電源量測中的作用

示波器在一段時間中擷取事件的能力，取決於所使用的取樣率，以及儲存取得訊號樣本的記憶體深度 (記錄長度)。記憶體的使用率和取樣率呈正比。當取樣率設定高到足以提供訊號的詳細高解析度時，記憶體會快速填滿。許多電源量測必須擷取電源線頻訊號的四分之一週期或二分之一週期 (90 或 180 度)，有的甚至需要全週期。Tektronix 4000 系列示波器標準配備 1 千萬點記錄長度，可輕鬆滿足此一需求。

不過比長記錄長度更重要的，是提供工具來運用所有的這些資料。4000 系列的 Wave Inspector，是業界首套設計用來輕鬆應付長記錄的工具。直覺式的前面板 Zoom (縮放) 與 Pan (取景) 控制，可快速瀏覽任何擷取到的波形部分。使用前面板 Set/Clear Marks (設定/清除標記) 按鈕，可在發現想要的波形時設置書籤，然後使用前面板 Previous (<) (上一個) 和 Next (->) (下一個) 按鈕在所標示的書籤之間瀏覽波形。最後，強大的搜尋功能，會找出並標記整個長記錄中符合使用者指定標準的所有事件。例如在圖 7 中，我們已使用 4000 系列全部 1 千萬點記錄長度，以 4ns 解析度，擷取 AC

► 應用摘要

電源兩個週期間的所有開極驅動脈波。上面視窗顯示全部的擷取資料，下面視窗顯示我們已放大擷取資料的部分。此一擷取資料包含大約 4,000 個脈波。在輸入幾個簡單的搜尋參數後 (例如臨界值為 3.7 伏特，通道 1 上寬度少於 2 μ s 的正脈波)，Wave Inspector 會快速找出符合條件的 17 個脈波，並在方格上方以白色三角形標記這些脈波。同樣地，我們可利用 Previous (上一個) 和 Next (下一個) 按鈕，在事件間快速切換。先前花費多時的作業，現在只要幾秒即可完成。



► 圖 7. 利用 Wave Inspector 在包含數千個脈波的 1 千萬點長擷取中，找出 17 個寬度不到 2.0us 的脈波。

進行基本的 SMPS 量測

切換式電源供應器基礎

大部分現代系統中流行的直流電源供應器架構，就是切換式電源供應器 (SMPS)，能夠有效率地處理變動的負載。一般 SMPS 的「訊號路徑」包括被動、主動與磁性元件。SMPS

可使用最少的耗損式元件 (例如電阻器與線性模式電晶體)，並加強無耗損的元件 (理想上)：電晶體、電容器與磁性元件。SMPS 裝置也包括控制部分，內含像是脈衝寬度調變調節器、脈衝率調變調節器與反饋迴路的元件。控制部分可能會有自己的電源供應器。圖 1 為 SMPS 簡圖，顯示具備主動、被動與磁性元件的電源轉換部。

SMPS 技術仰賴於功率半導體切換裝置，像是金屬氧化半導體場效應晶體管 (MOSFET) 和絕緣閘雙極性電晶體 (IGBT)。這些裝置提供快速切換時間，並可承受不穩定的電壓突波。同樣重要的是，在開或關狀態下，這些裝置耗損極少的電力，可達成高電力效率而不產生高熱。大體上來說，切換裝置決定了 SMPS 的整體效能。切換裝置的主要量測包括：切換耗損、平均功率損耗，以及安全作業區等。

基本參數量測

既然切換裝置的功率損耗非常重要，電源供應器設計人員也關切電源供應器運作的許多其他情況。有許多情況是基本的振幅或時序量測，過去一直都是以計算格數及與刻度因數相乘方式進行。現代的示波器提供了許多自動化量測功能，可用來量測這些基本的電源供應器操作參數。4000 系列包含下列自動量測功能：

- **振幅量測：**振幅、高、低、最大、最小、RMS、峰對峰、正/負過激量、平均值、週期平均、週期 RMS
- **時序量測：**週期、頻率、上升/下降時間、正/負工作週期、正/負脈波寬度、叢集寬度、延遲、相位
- **組合量測：**區域與週期區域

像是 VRMS、平均值、峰對峰和週期 RMS 的振幅量測，在量測輸入與輸出電壓時相當有用；而脈衝寬度與頻率的時序量測，可協助進行驅動訊號行為特性分析；至於組合量測則可計算功率波形涵蓋的區域，以決定能量損耗。長期變化的

判定，可藉由開啓量測統計數字，檢視一段時間中量測的最大、最小、平均與標準差來進行。

量測瞬間功率

幾乎所有的電源供應器設計專案，都需要針對切換電晶體中的瞬間功率損耗，進行特性分析。在最壞操作情況的壓力下，選擇具成本效益又可靠的元件（如圖 1 中的功率 MOSFET），是關鍵所在。Tektronix 的 TekVPI 電流與電壓探測解決方案，正適合這些類型的量測。除了提供安全的量測解決方案外，這些解決方案也可輕鬆進行偏移校正。有了 TekVPI 探棒，在原廠即量測了傳輸延遲，並將資料儲存在探棒的內部記憶體中。當多支 TekVPI 探棒連接到 4000 系列，它們會自動設定適當的偏移校正值，以在電源量測中獲致最高準確度。非 TekVPI 探棒也可使用各通道垂直功能表中的偏移校正功能，手動進行偏移校正。TekVPI 介面可自動提供電壓與電流波形的正確縮放比與單位，並提供以瓦讀數的數學波形，進一步簡化了電源量測。使用 4000 系列量測瞬間功率，只需要幾個簡單的步驟：

- 連接探棒
- 按下 Autoset (自動設定)，讓示波器自動調整垂直、平行與觸發設定以檢視波形。
- 將數學波形定義為 Ch1 * Ch2
- 啓動區域量測，以量測曲線下的面積 (能量)

電源供應器量測簡介：使用 4000 系列數位螢光示波器

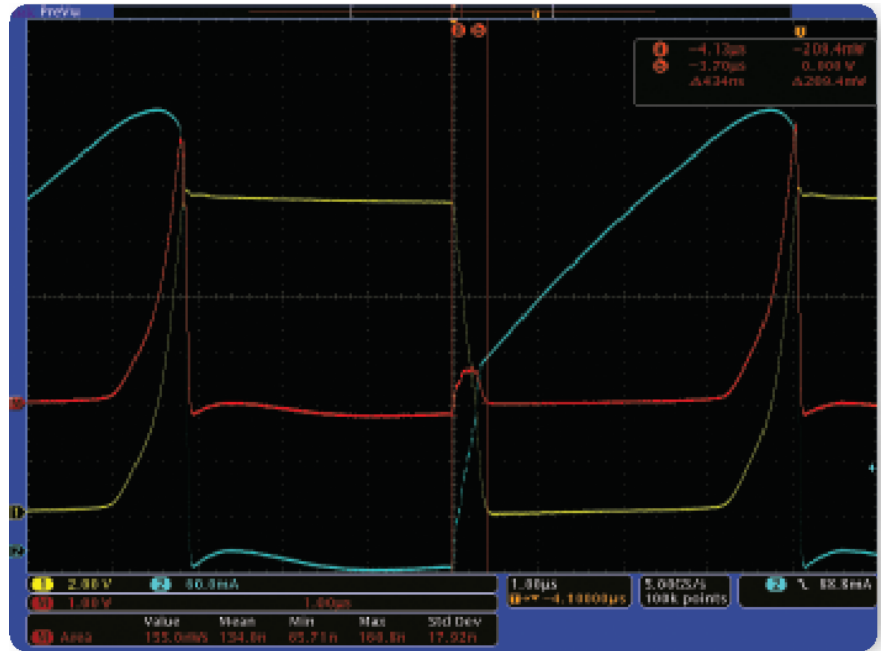
► 應用摘要

游標讀數代表瞬間功率。利用量測閘控，我們可將區域量測限定在特定區域，以檢視與 MOSFET 開啓 (Ton) 與關閉 (Toff) 時間相關的功率耗損，如圖 8 和 9 所示。

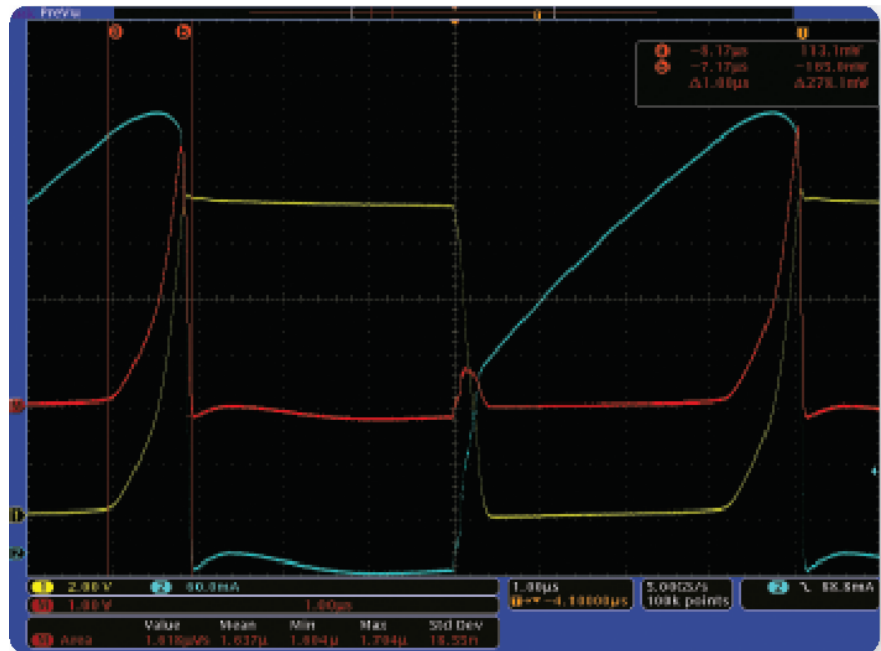
安全作業區

電晶體的安全作業區 (SOA) 定義了裝置不會自我損毀的操作條件，特別是在特定電壓下，能夠通過電晶體的電流量。如果超過這些限制，可能會造成電晶體故障。SOA 也包括裝置的其他限制，例如最大電壓、最大電流、功率、平均接頭溫度和二次崩潰等。

切換裝置製造商的產品規格表，提供了某些切換裝置限制的摘要。最終的目標，是確保切換裝置在電源供應器必須應付的終端使用者環境中，能夠容忍其操作界線。SOA 測試變數可能包括各種負載情境、操作溫度變化、高與低電源線輸入電壓等。4000 系列以 XY 顯示模式來繪製電壓與電流圖，以檢視 SOA，如圖 10 所示。



► 圖 8. 量測 155µJ 的 Ton 功率耗損



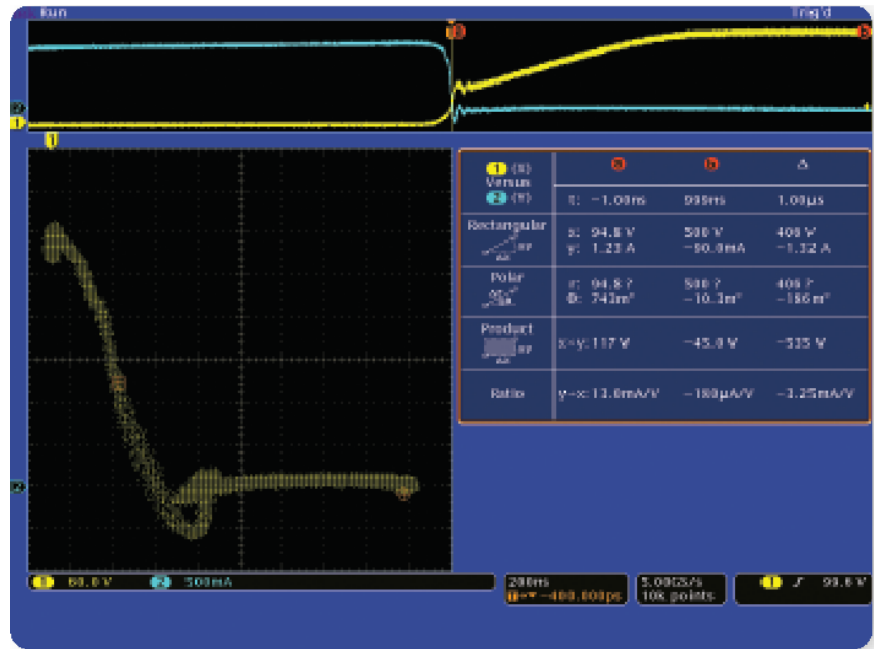
► 圖 9. 量測 Toff – 1.618µJ 的平均能量耗損

量測電源線諧波

切換電源供應器容易產生主要為奇數級的諧波，諧波會返回電力網絡。隨著越來越多的切換式電源供應器連接到電力網絡（例如辦公室增加更多桌上型電腦），其效應是累積性的，回到電力網絡的諧波失真總百分比可能會增加。既然失真會導致電力網絡中的佈線和變壓器產生熱能，因此必須將諧波減到最小。像是 IEC61000-3-2 等規範標準，是用來監控來自特定非線性負載的電力品質。

利用標準的快速傅立葉轉換（FFT）功能，4000 系列是進行諧波分析的絕佳工具。具備 FFT 功能的示波器，遠較購買特殊的諧波分析儀來得具成本效益，還可讓您使用熟悉的儀器進行其他工作。4000 系列使用 FFT，提供訊號頻率元件的頻譜分析儀式顯示。它甚至還可在螢幕上同時顯示訊號波形和同等的頻域，這經常是很有幫助的。

透過 MATH 按鈕功能表中的 FFT 特定功能表，可輕鬆控制 4000 系列 FFT。FFT 可在目前的訊號或叫出先前儲存波形上進行。



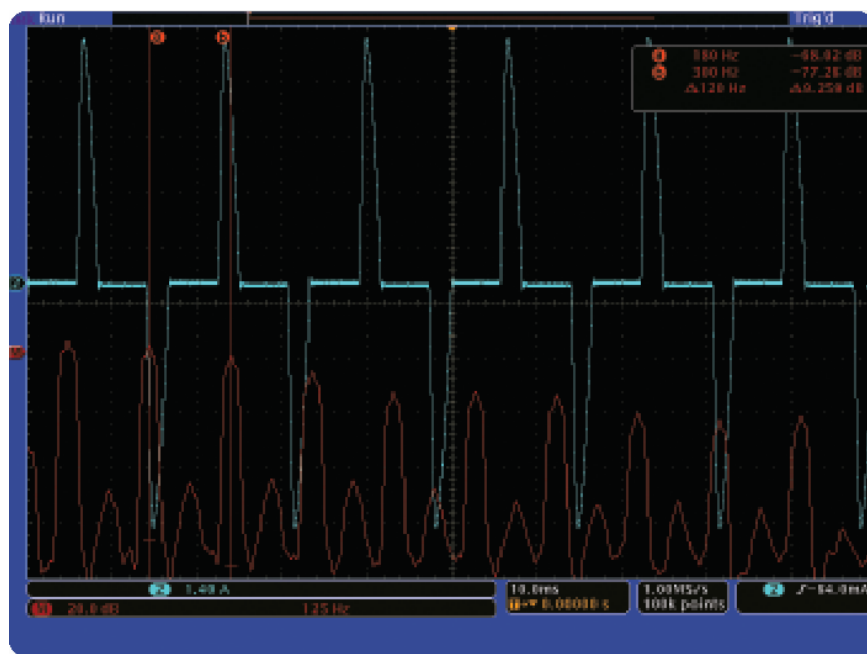
► 圖 10. SMPS 中 Toff 暫態的 SOA 圖。可將此圖與切換裝置製造商所出版的資料作比較。

這個程序和一般的波形量測一樣簡單。既然在此處訊號是重複的週期性波形（與某種暫態相對比），觸發訊號並予以顯示只是簡單之事。至少應該顯示 5 個週期以確保良好的頻率解析度，而垂直刻度的設定，應讓訊號盡可能散佈到顯示畫面上越多的垂直分格。

使用者設定的參數包括垂直縮放與 FFT 視窗格式。格式有矩形視窗、漢明視窗、漢尼視窗和 Blackman-Harris 視窗，分別適合特定類型的訊號。對於週期性的重複訊號（像是本範例中的訊號），漢明視窗通常是最佳選擇。FFT 顯示的垂直縮放可為線性或對數。

► 應用摘要

圖 11 顯示電源供應器負載電流的諧波分析結果。可使用游標來量測個別頻率元件的振幅或頻率。證明符合電力品質規範，是許多電源供應器設計專案的重要工作。4000 系列提供各種完整的儲存與列印功能，以協助進行證明工作。專屬的 HARD COPY (書面副本) 按鈕，會將畫面影像傳送到連接至示波器 USB 埠的印表機，或是可將影像以各種格式，儲存到 USB 儲存裝置或 CompactFlash 記憶卡上。



► 圖 11. 使用游標量測 200W 電源供應器第三 (180 Hz) 和第五 (300 Hz) 諧波的振幅。

電源供應器疑難排解

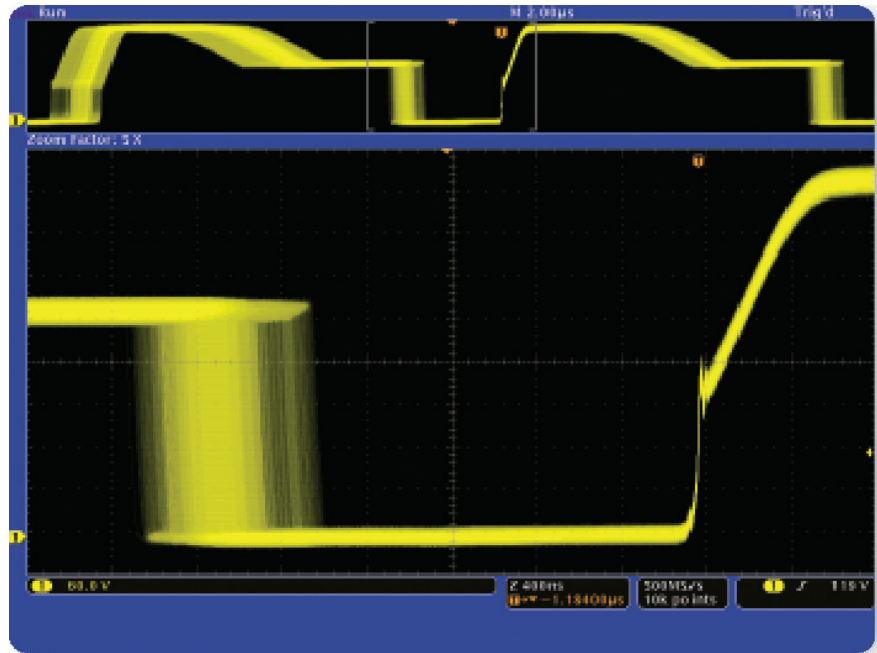
數位示波器常見於電源量測領域，但 4000 系列的數位螢光擷取技術，在疑難排解時可創造大大的不同，特別是在找出切換電源供應器中過度的調變影響時。與一般的數位儲存示波器 (DSO) 相較，4000 系列具有高出許多倍的波形擷取率。這在調查調變效應時可提供兩種優勢。首先，示波器的

擷取訊號時間更長，而花費較少時間處理顯示波形。因此在擷取調變時，示波器有高出幾百倍的機會。其次，數位螢光顯示可即時輕鬆地檢視調變的波形。4000 系列的顯示會突顯訊號軌跡最常經過的區域，很像類比示波器的作法。調變之處會比特續重複的主波形暗淡。

使用 4000 系列來檢視調變效果可說是非常容易。圖 12 顯示調變訊號控制電源供應器上電流模式控制迴路的輸出。調變是反饋系統中控制迴路的重要方式。不過，過度調變會讓迴路變得不穩定。請注意，調變較少出現區塊中的波形較為暗淡。

使用 4000 系列來擷取暫態也很簡單。在設定斜率、位準、耦合和觸發延遲時，其邊緣觸發功能提供了所有您需要的彈性。如果待測試的電源供應器已經整合到系統中，您可能會想觸發系統他處的「問題」訊號，並監控電源供應器上的測試點，看看是否同時出現暫態訊號。

電源供應器的直流電輸出當然也必須乾淨無暫態。4000 系列的捲動模式結合了峰值偵測功能，是檢視慢速訊號或直流電位準偏差時的最佳工具。捲動模式只是慢慢地將軌跡從右側捲動到左側，就很像長條圖記錄器。捲動模式可以極低的掃描速度，提供清晰明顯的軌跡。即使是在慢速掃描時，峰值偵測也可讓示波器擷取窄至 1 ns 的突波。結合兩種功能，可製作出立即顯示暫態的清晰穩定軌跡。



► 圖 12. 電源供應器控制迴路的調變效果。

結論

電源量測不再是專用工具（例如功率錶和諧波分析儀）的領域。4000 系列數位螢光示波器，加上各種電壓與電流探棒，為現代的電源供應器，提供了安全簡單的量測與除錯解決方案。

電源的探測解決方案

差動與電流探棒

4000 系列示波器隨機配備 Tektronix 多用途探棒介面 (VPI)，是一款具有多功能且操作簡易的多用途探棒。

TekVPI 高壓差動式探棒

TDP1000 和 TDP0500

- 提供 GHz 級效能，以分析切換式電源供應器 (SMPS) 設計。
- 多用途待測裝置 (DUT) 的連線能力及簡易使用性。



TekVPI 電流探棒

TCP0030 和 TCP0150

- 超大頻寬 (DC 至 120 MHz) 和廣泛的動態量測範圍 (從 mA 至數百安培)。
- 分離式的核心構造，可更快速容易地連接待測裝置 (DUT)。



探
棒

高壓與電流探棒

若要進行更高電流與電壓的量測，下列 TekConnect 探棒可用在具備 TPA-BNC 轉接器的 4000 系列示波器上。

高壓差動式探棒

P5205 – 量測可達 1000 VRMS CAT II

P5210 – 量測可達 4400 VRMS

- 搭配接地的示波器使用，可安全地量測浮動和高壓電路。
- 廣泛的動態電壓範圍，從 mV 至 kV。



電流探棒

TCPA300 配有 TCP303/TCP305/TCP312 和 TCP202 探棒系統

- 變壓器和霍爾效應技術增強了 AC/DC 量測能力。
- 廣泛的動態電流範圍，從 mA 至 kA。



探棒

請聯絡 Tektronix：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900
奧地利 +41 52 675 3777
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777
比利時 07 81 60166
巴西與南美洲 (11) 40669400
加拿大 1 (800) 661-5625
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 +33 (0) 1 69 86 81 81
德國 +49 (221) 94 77 400
香港 (852) 2585-6688
印度 (91) 80-22275577
義大利 +39 (02) 25086 1
日本 81 (3) 6714-3010
盧森堡 +44 (0) 1344 392400
墨西哥、中美洲與加勒比海諸國 52 (55) 5424700
中東、亞洲及北非 +41 52 675 3777
荷蘭 090 02 021797
挪威 800 16098
中華人民共和國 86 (10) 6235 1230
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
大韓民國 82 (2) 6917-5000
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
南非 +27 11 206 8360
西班牙 (+34) 901 988 054
瑞典 020 08 80371
瑞士 +41 52 675 3777
台灣 886 (2) 2722-9622
英國與愛爾蘭共和國 +44 (0) 1344 392400
美國 1 (800) 426-2200
其他地區請以下列電話連絡 Tektronix 公司：
1 (503) 627-7111
更新日期 2007 年 6 月 1 日

若需詳細資訊

Tektronix 維護豐富的應用摘要、技術簡介與其他資源，並定期擴充這些文件的收集，以協助工程人員處理創新的科技。請造訪 www.tektronix.com



Copyright © 2007, Tektronix. 版權所有。Tektronix 產品受美國和外國專利權的保護、聲明與審查。本出版品中的資訊可取代之前任何出版品中的資訊。本公司保留變更規格與價格的權利。TEKTRONIX 和 TEK 為 Tektronix, Inc. 的註冊商標。其他商標名稱則是該相關公司的使用標記、商標或註冊商標。

08/07 DM

3GT-21141-0

Tektronix
Enabling Innovation