

使用桌上型示波器進行電源供應器量測和分析

應用摘要

引言

電源供應器存在於許多不同的電子裝置中，包括兒童玩具、電腦和辦公室設備到工業設備。這些電源供應器是用來轉換電力的形式，以讓裝置正常運作。常見的電源供應器為 AC 轉 DC 轉換器或 DC 轉 DC 轉換器，前者將交流電壓改變為穩壓直流電壓，後者將電池電力轉換為所需的電壓位準。

電源供應器的範圍，涵蓋傳統線性供應器到高效率的切換式電源供應器 (SMPS)，後者是專為複雜的動態作業環境設計。裝置上的電力負載，在每種情況下會有大幅變化，即使是便利型的切換式電源供應器，也必須能夠承受遠超過其平均操作位準的突峰負載。設計電源供應器的工程師，或是使用電源供應器的系統，必須瞭解其電源供應器在從靜態到最壞情況下的反應。

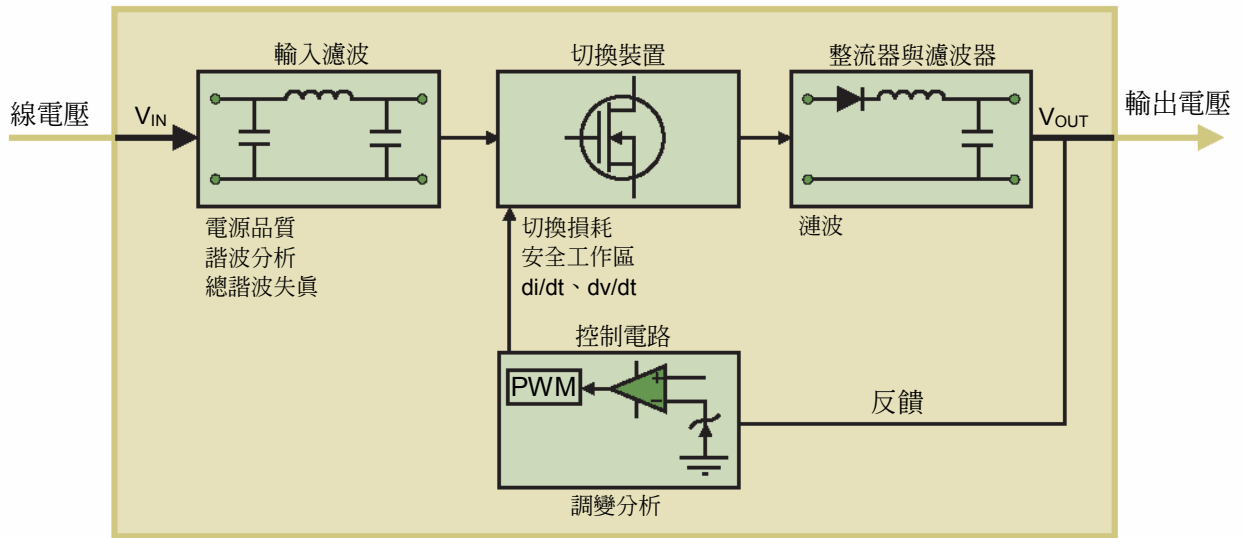


圖 1. 使用 DPOxPWR 功率分析軟體進行特性分析的 SMPS 元件

在過去，描述電源供應器的反應，表示著需使用數位萬用電錶量測靜態電流和電壓，並以計算機或電腦進行艱深的運算。今日，大部分的工程師偏好使用示波器來作為功率量測工具。

本應用摘要將說明，使用 Tektronix MSO/DPO4000 或 MSO/DPO3000 系列示波器進行常見的切換式電源供應器量測，如圖 1 所示。有了選購的功率量測與分析軟體 (DPOxPWR)，這些示波器便能提供自動化的功率量測功能，以快速分析並簡化設定，並對探棒進行偏移校正，使量測達到最高的準確度。

電源供應器量測準備動作

電源供應器理想上應確實如設計和模型運作。但實際上，元件並不會完全相同；負載會變化、線路功率可能失真、環境變化會改變效能。對提高效率、改善效率、縮小體積和降低成本的需求，讓電源供應器設計變得更為複雜。

鑑於這些設計挑戰，必須正確設定量測系統，以精確擷取波形進行分析及疑難排除。以下為幾項需考量的重要主題：

- 示波器擷取模式
- 消除電壓與電流探棒間的偏移
- 消除探棒偏移
- 電流探棒消磁
- 限頻濾波器

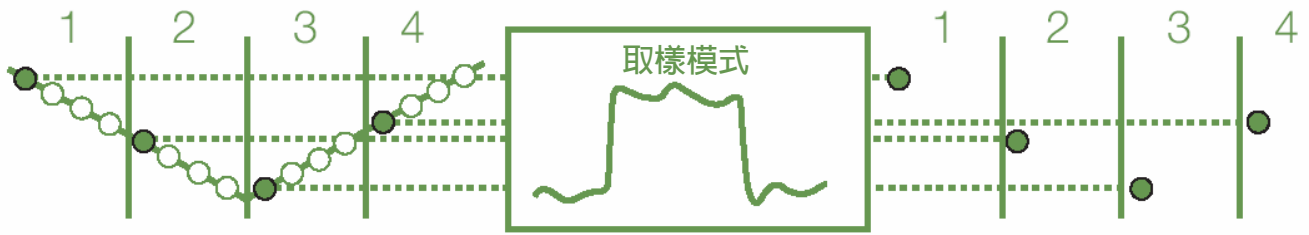


圖 2. 取樣模式

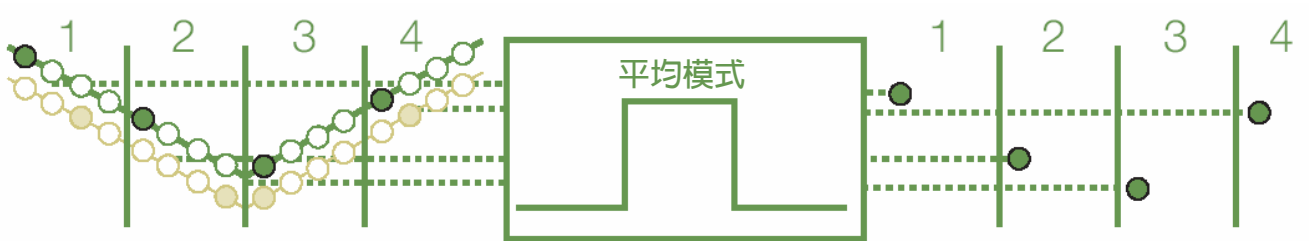


圖 3. 平均模式



圖 4. 高解析度模式

示波器擷取模式

示波器的擷取模式，控制著電氣訊號取樣、處理和顯示的方式。所產生的波形點為儲存於記憶體中的數位值，並顯示出來以建構波形。大部分示波器支援不同的擷取模式，所選擇的擷取模式，可能會影響到功率量測的準確度。瞭解擷取模式的運作方式，以及擷取模式對波形和確保功率量測的影響，是非常重要的。

每部示波器都提供了取樣模式，這是最簡單的擷取模式。如圖 2 所示，示波器在每個波形間隔，儲存一個取樣點以建立波形點 (波形間隔如圖 1、2、3 和 4 所示)。對於需要對非重複性訊號進行多次擷取的量測，例如漣波和雜訊分析，建議採用取樣模式。

大部分示波器製造商所提供的另一種擷取模式為平均模式。在平均模式中，如同取樣模式，示波器會在每個波形間隔儲存一個取樣點。但是在平均模式中，還會將連續擷取產生的對應波形點一起平均，產生如圖 3 所示的最後顯示波形。平均模式可在不損耗頻寬的情況下減少雜訊，但必須是重複性訊號。在進行諧波分析或電源品質分析量測 (例如實功率、虛功率和視在功率) 時，平均模式特別有用。

Tektronix 也提供高解析度模式。在這個模式中，會將單次波形間隔內所產生的多次連續取樣一起平均，從單次擷取產生如圖 4 所示的單一波形點。這使得頻寬和雜訊減少了，而使低速訊號的垂直解析度提高。在啟動電源供應器進行調變分析，並以單次擷取蒐集資料時，高解析度特別有用。高解析度可提高切換損耗等量測的準確度，這種量測是以數學計算值等瞬間功率為基礎。



圖 5. 電壓與電流探棒間的預設時脈偏移

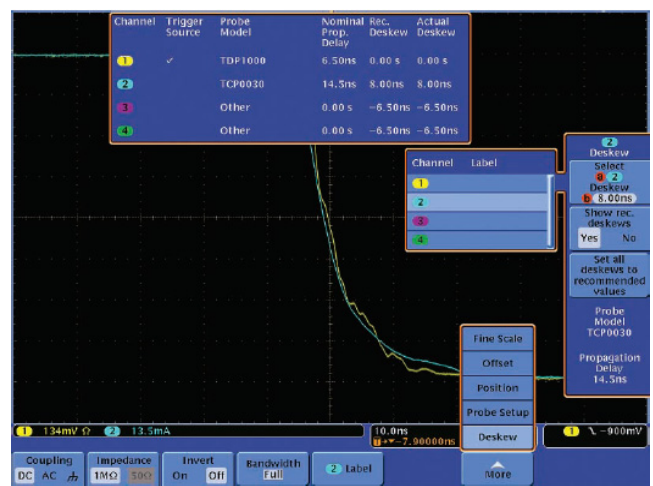


圖 6. 電壓探棒與電流探棒間的時脈偏移額定校正

消除電壓與電流探棒間的偏移

若要使用數位示波器進行功率量測，必須量測通過待測裝置的電壓與電流。這項工作需要兩支不同的探棒：電壓探棒（通常是高壓差動式探棒）與電流探棒。每支電壓探棒和電流探棒都有自己特殊的傳輸延遲，這些波形中產生的邊緣，更有可能不會自動對準。電流探棒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。由於電力為電壓與電流的產物，瞭解探棒的傳輸延遲對最大峰值功率和區域量測所造成的影響變得更加重要。如果電壓與電流訊號未完全對齊，結果就會不正確。

Tektronix MSO 和 DPO 系列示波器提供了「偏移校正」功能，可消除探棒間的偏移。選擇 Deskew（偏移校正）功能表時，會顯示資訊方塊，說明探棒型號、額定傳輸延遲、各通道建議的偏移校正和實際的偏移校正。在圖 5 中電壓與電流波形有大約 8 ns 的偏移，一旁的資訊方塊並顯示出各探棒的傳輸延遲。TDP1000 (Tektronix 差動式電壓探棒) 具有 6.5 ns 的額定傳輸延遲，TCP0030 (Tektronix 電流探棒) 則具有 14.5 ns 的額定傳輸延遲，兩者相差 8 ns。

若要校正這些探棒間的偏移，只要選擇如圖 6 所示的「Set all deskews to recommended values」（將所有偏移校正設定為建議值）螢幕按鈕即可。選擇此選項可將探棒的實際偏移校正值，調整為建議的偏移校正值。建議的偏移校正值是以探棒的額定傳輸延遲為根據，這項數值儲存於探棒的內部記憶體中（假設探棒具備 TekVPI® 功能，通常支援自動探棒偏移校正）。

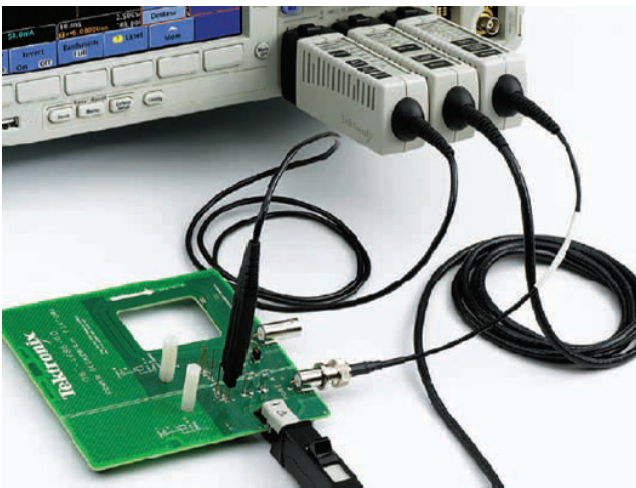


圖 7. Tektronix 偏移校正脈衝產生器和偏移校正夾具



圖 9. 具消磁/自動歸零功能的 Tektronix TCP0030 AC/DC 電流探棒

選擇「Set all deskews to recommended values」(將所有偏移校正設定為建議值)，探棒的額定傳輸延遲差會非常接近正確的偏移校正值，但仍未能精確地對齊波形。為了精確地對齊波形以達成最高的量測準確度，需要 TEK-DPG (偏移校正脈衝產生器) 和偏移校正夾具。



圖 8. 手動消除電壓探棒與電流探棒間的時脈偏移

TEK-DPG 為圖 7 中所示的功率量測偏移校正夾具 (Tektronix 零件編號 067-1686-XX)，提供了信號源訊號。當探棒連接到偏移校正夾具時，可手動調整 Actual Deskew (實際偏移校正)，變更偏移校正值，以精確對齊波形。圖 8 顯示 TDP1000 探棒的「Actual Deskew (實際偏移校正)」值已從 6.5 ns 到 7.18 ns 調整了 680 ps，以達成最高的準確度。

消除探棒偏移

差動式探棒往往會有稍許電壓偏移，這會影響準確度，因此必須在進行量測前消除偏移。大部分的差動式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。

在進行量測前，也可能需要調整電流探棒。電流探棒的偏移調整，是將 DC 平衡歸零為 0 安培平均值，或盡可能接近這個數值。TekVPI 功能探棒 (例如 TCP0030 AC/DC 電流探棒) 擁有內建的自動消磁/自動歸零程序，只要在探棒補償盒上按個鈕即可執行。

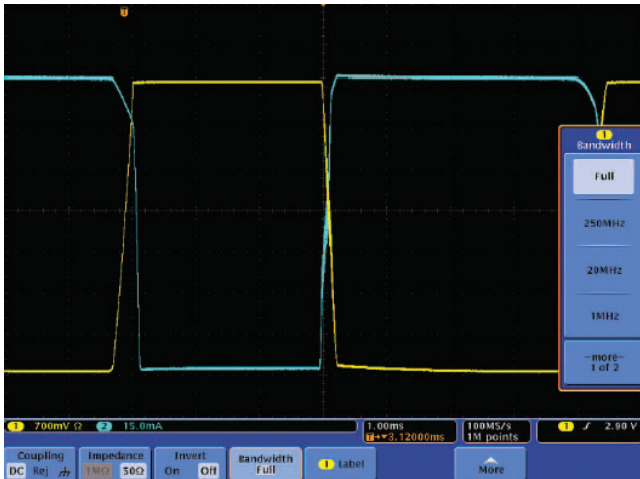


圖 10. 連接 TDP1000 的 MSO/DPO4000 系列示波器所提供的限頻濾波器

消磁

電流探棒應包含簡易的消磁功能。消磁可去除變壓器核心任何殘留的直流磁通，這種直流磁通可能由大量輸入電流造成，這種殘留磁通會導致輸出偏移錯誤，必須消除以提高量測的準確度。

Tektronix TekVPI 電流探棒提供消磁警告指示燈，可以警示使用者進行消磁作業。由於電流探棒可能有大量的漂移時間，影響量測的準確度，因此消磁警告指示燈是非常有用的功能。

限頻濾波器

限制示波器的頻寬，會從顯示的波形移除雜訊或不想要的高頻內容，產生更純淨的訊號。MSO/DPO 系列提供內建的限頻濾波器，如圖 10 所示。在某些情況中，探棒也可能配備限頻濾波器。

在使用這些濾波器時，使用者應小心注意，因為 n 次諧波中包含的高頻內容，可能會在量測中移除。例如，如果量測 1 MHz 訊號，並評估至第 40 個諧波，至少需要 40 MHz 的系統頻寬。將限頻濾波器設定為 20 MHz (如圖 10 中範例所示的為可用選項)，會減少這項量測所需的頻寬內容。

電源供應器量測

一旦正確設定量測系統，即可開始進行功率量測的工作。常見的功率量測可分為三大類：輸入分析、切換裝置分析與輸出分析。

輸入分析

真實世界的電力線從未供應理想的正弦波，電力線上永遠都存在一些失真與雜質訊號。切換式電源供應器對電源而言是屬於非線性負載。因為這個原因，電壓和電流的波形不會一樣。針對部分輸入週期所描繪的電流，導致輸入電流波形上產生諧波。分析電源供應輸入的關鍵量測為：

- 諧波
- 電源品質

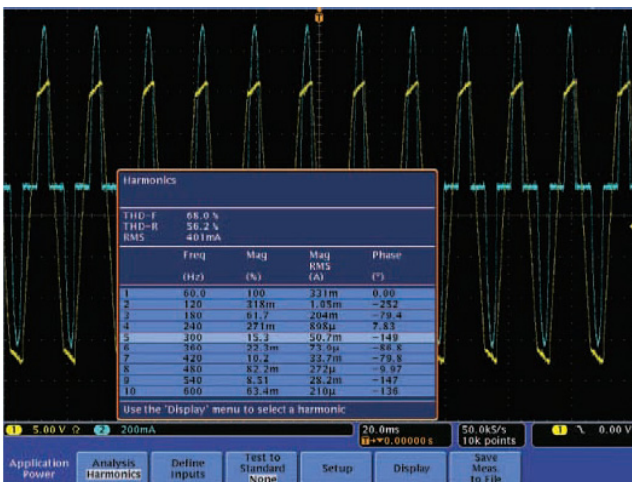


圖 11. DPOxPWR 諧波分析

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 等規格標準，是用來監控來自特定非線性負載的電源品質。

判定這些失真的效果，是電力工程中相當重要的一部分，使用示波器而非萬用電錶的效益重大。儀器系統必須能夠擷取高達基本頻率第 50 個諧波的諧波元件。電源線頻率通常為 50 Hz 或 60 Hz；雖然某些軍事和航空電子應用的電源線頻率可能為 400 Hz。也應一提的是，訊號偏差可能包含具備更高頻率元件的頻譜元件。基於現代示波器的高取樣率，可擷取快速變動事件的更詳細細節（解析度）。相對的，傳統的功率錶因為反應時間相對較慢，因此會忽略訊號的細節。

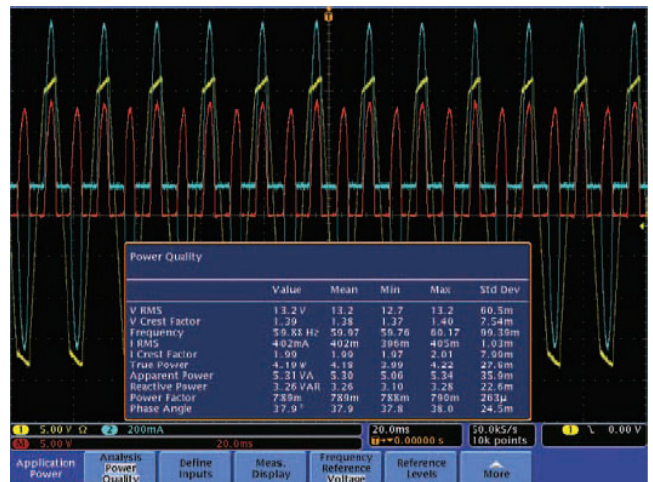


圖 12. DPOxPWR 電源品質量測

進行諧波分析和進行一般的波形量測一樣容易。由於此處的訊號為重複的週期性波形，因此只要觸發並顯示訊號即可。至少應該顯示 5 個週期波形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，以達成示波器最理想的動態範圍。

圖 11 顯示電源供應器負載電流的諧波分析結果。在 Display（顯示）功能表中，可選擇對特定諧波進行量測。在此處的範例中，選擇了第 5 個諧波。使用者可選擇以表格或圖表檢視結果，也可選擇是否要檢視「All, Odd, or Even」（所有、奇數或偶數）諧波。諧波可以 CSV 檔案形式儲存到 USB 儲存裝置或 CF 記憶卡上。也會顯示相對於基本和 RMS 值的總諧波失真 (THD) 值。在分析是否符合 IEC61000-3-2 和 MIL-STD-1399 等標準（隨附於 DPOxPWR 功率應用軟體）時，這些量測很有幫助。

電源品質

電源品質不只受到電力產生器的影響，也取決於電源供應器和終端使用者的電力負載。電源供應器的電源品質特性定義了電源供應器的「健全度」，並決定了非線性負載造成的失真效應。如圖 12 所示，DPOxPWR 功率應用軟體為下列自動量測提供了結果表：V_{RMS} 和 I_{RMS}、電壓與電流波峰因數、實功率、虛功率、視在功率和功率因數。

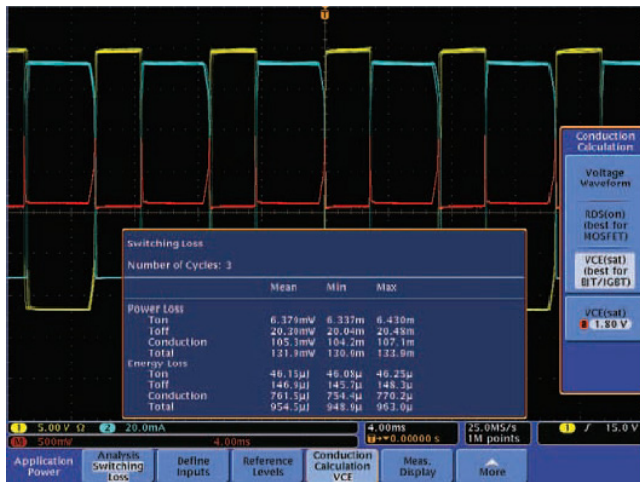


圖 13. 對 IGBT 進行的 DPOxPWR 切換損耗量測

切換裝置分析

大部分現代系統中流行的直流電源供應器架構為 SMPS，這是基於 SMPS 能夠有效率地處理變動的輸入電壓和負載。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)：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。

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。除此，電晶體無論在開啓或關閉的狀態都僅耗損極少電源，可在獲得高電力效率的同時達到降溫的目的。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：

- 切換損耗
- 安全工作區
- 迴轉率

切換損耗

晶體切換電路通常會在轉換期間耗損大部分的能量，因為電路寄生效應會讓裝置無法立即切換。從關閉狀態轉換到開啓狀態時，切換裝置 (例如 MOSFET 或 IGBT) 中的能量損耗定義為啟動損耗 (Turn-on loss)。同樣地，關閉損耗是切換裝置從開啓轉換到關閉狀態時的能量損耗。由於寄生電容中的耗散元件，以及二極體中儲存的電感和電荷，電晶體電路會在切換時損耗能量。若要分析電源供應器特性並衡量其效率，必須正確地分析這些損耗。

圖 13 中所示的切換損耗量測，是針對選定擷取區內 (根據預設的整個波形) 的完整週期進行，而且是在擷取進行時而非在擷取間累計這些量測的統計數字。

量測啟動和關閉損耗的主要挑戰，是耗損發生於極短的期間內，在切換週期的其他期間內的損耗則很少。這需要電壓與電流波形間的時序非常精確、量測系統偏移減到最少，以及適當的量測動態範圍，以準確量測開啓與關閉電壓和電流。如先前所討論，探棒偏移必須歸零，電流探棒必須消磁以消除探棒中的所有殘留直流磁通，且通道間的偏移必須減到最少。

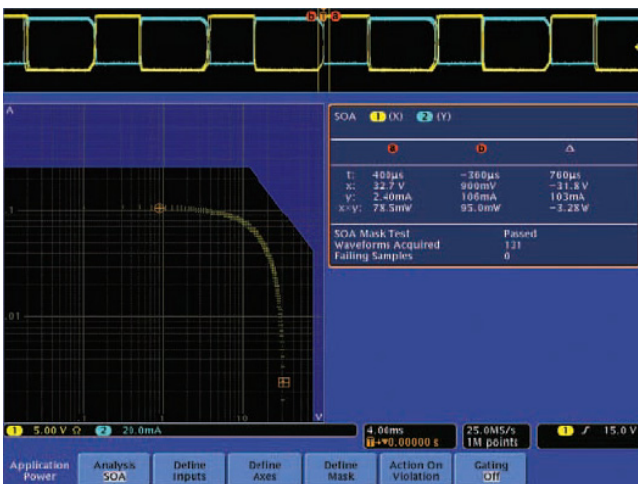


圖 14. DPOxPWR SOA 波罩測試

其他主要的挑戰，是進行準確切換損耗量測所需的高動態範圍。通過切換裝置的電壓，會在開啓和關閉狀態間呈現大幅的改變，使得單次擷取難以同時準確量測兩種狀態。有三種方法可使用 MSO/DPO 系列判定正確值：

- 量測傳導期間整個切換裝置的電壓降。由於和未進行傳導時整個切換裝置的電壓相較，此種電壓通常極小，因此通常不可能在示波器上使用相同的垂直設定，同時準確地量測這兩種電壓。
- 根據裝置資料表提供 RDS (啓動) 值 (MOSFET 的最佳模型)。這個值是裝置進行傳導時，裝置的漏極和源極間預期的啓動電阻。
- 根據裝置資料表提供 VCE (sat) 值 (BJT 和 IGBT 的最佳模型)。這是裝置飽和時，從裝置的集極到射極的預期飽和電壓。

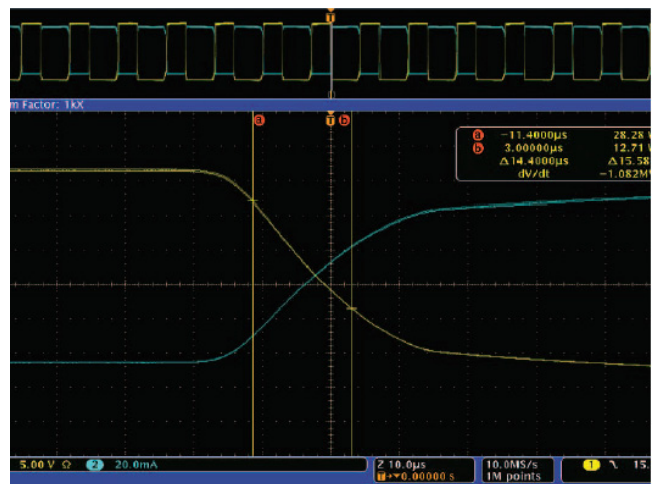


圖 15. DPOxPWR 迴轉率量測

安全工作區 (SOA)

電晶體的安全工作區 (SOA) 定義了裝置不會自我損毀的工作條件，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 是圖形化測試技術，可限制切換裝置的最大電壓、最大電流、最大功率等，並確保切換裝置在特定限制範圍內運作。

切換裝置製造商的產品規格表會概述該切換裝置的特定限制。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，能夠容忍其工作界線。SOA 測試變數可能包括各種負載情境、工作溫度變化、高與低電源線輸入電壓等。如圖 14 所示，可建立使用者定義的波罩，以確保切換裝置符合電壓、電流和功率的定義容許範圍。在功率應用中，違反波罩界線會呈報為故障。

迴轉率

為確認切換裝置以最高效率運作，必須量測電壓與電流訊號的迴轉率，以確認電路在規格範圍內運作。如圖 15 所示，必須使用示波器，藉由使用量測游標、簡化閘極驅動特性分析和切換 dv/dt 或 di/dt 計算，判定切換訊號的迴轉率。

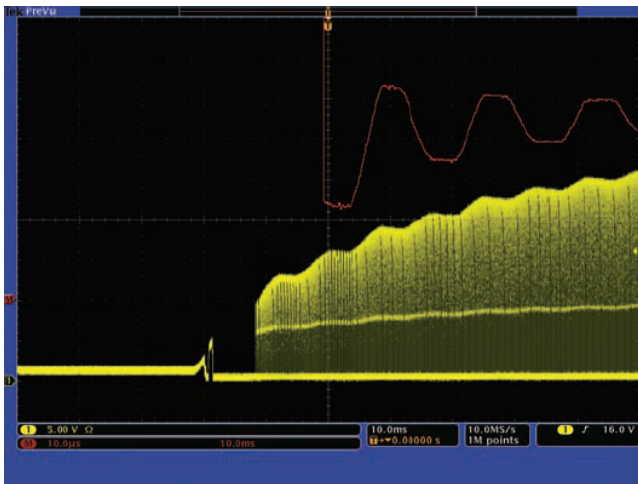


圖 16. 對電源啟動時的 IGBT 閘極驅動進行 DPOxPWR 調變分析

輸出分析

原則上，直流電源供應器的輸出不應有任何切換諧波，或其他不理想的雜訊元件。但實際上卻不可能如此，要判定輸入電壓或負載中的變化，是否對輸出電壓造成影響，進行輸出分析是不可少的量測。這些量測包括：

- 調變分析
- 漣波

調變分析

MSO/DPO4000 和 MSO/DPO3000 系列的數位螢光擷取技術，可在進行設計疑難排除時提供獨特的優勢，特別是辨識切換電源供應器中的過度調變效應時。與一般的數位儲存示波器 (DSO) 相較，這些示波器具有高出許多倍的波形擷取率 (50,000 wfms/s)。這在調查調變效應時可提供兩種優勢。首先，示波器的運作時間更長，而花費較少時間處理顯示波形。因此，示波器有更多的機會擷取調變。其次，數位螢光顯示可即時輕鬆地檢視調變的波形。此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。此調變會比持續重複顯示的主波形還淡，因此較易看到。

使用 Tektronix 示波器量測調變效應也很容易。圖 16 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，在調變較少出現的區塊中之波形較淡。紅色的波形為數學波形，顯示當電源供應器的振盪器啟動時，對 IGBT 閘極驅動訊號所進行週期對週期脈衝寬度量測中的趨勢。由於數學波形

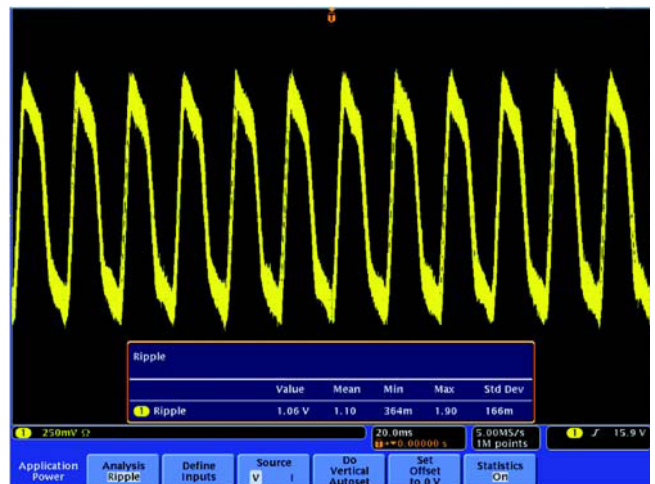


圖 17. DPOxPWR 漣波量測

代表脈衝寬度量測值 (使用時間的單位)，因此可使用游標量測脈衝寬度的變化。數學值表示對所擷取的波形，所進行選定調變量測中的趨勢。此時，這代表啟動期間振盪器控制迴路的響應。這項調變分析，也可用來量測電源供應器的控制迴路，對於輸入電壓變化 (「線路調變」) 或負載變化 (「負載調變」) 的響應。

漣波

漣波是疊加於電源供應器直流輸出上的交流電壓，以一般輸出電壓或峰對峰伏特電壓的百分比表示。線性電源供應器通常會產生接近線頻率兩倍的漣波 (~120 Hz)，切換電源供應器則可能產生數百 KHz 的切換漣波。

結論

電源供應器幾乎內建於所有類型的線式供電 (linepowered) 和電池運作電子產品中，而切換式的電源供應器 (SMPS) 也已成爲許多應用中的主要架構。單一切換式電源供應器的效能 (或故障)，會影響到大型且昂貴系統的命運。

爲確保新興 SMPS 設計的可靠性、穩定性、效能和相容性，設計工程師必須進行許多複雜的功率量測。Tektronix MSO/DPO4000 或 MSO/DPO3000 系列示波器配備 DPOxPWR 功率分析應用模組，大幅地簡化了電源供應器的分析。自動化功率量測 (例如諧波、電源品質、切換損耗、安全工作區、迴轉率、調變和漣波) 可確保快速的分析，同時簡化設定和探棒的偏移校正，提供最高的精確度。

哪種示波器適合您？

MSO/DPO 系列提供了多種型號，可以滿足您的需求和預算。

	MDO4000 系列	MSO/DPO4000B 系列	MSO/DPO3000 系列
頻寬	1 GHz、500 MHz	1 GHz、500 MHz、 350 MHz 型號	500 MHz、300 MHz、 100 MHz 型號
通道數量	4 個類比通道 16 個數位通道 1 個 RF 通道	2 個或 4 個類比通道 16 個數位通道 (MSO 系列)	2 個或 4 個類比通道 16 個數位通道 (MSO 系列)
記錄長度 (所有通道)	20 M	多達 20 M	5 M
取樣率 (類比)	5 GS/s、2.5 GS/s	高達 5 GS/s	2.5 GS/s
彩色顯示器	10.4 吋 XGA	10.4 吋 XGA	9 吋 WVGA
功率分析應用模組	DPO4PWR	DPO4PWR	DPO3PWR

互動探棒選購工具

需要為您建議適當的探棒嗎？Tektronix Probe Selector Tool 網上工具可以引導您回答一些簡單的問題，為您的需求找到適當的探棒。請立即造訪：www1.tek.com/zh-tw/products/accessories/probes。

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) 37597600
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) 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 +41 52 675 3777
西班牙 00800 2255 4835*
瑞典 00800 2255 4835*
瑞士 00800 2255 4835*
台灣 886 (2) 26567559
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 2011 年 2 月 10 日

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。

02/12 EA/FCA-POD

3GT-23612-4

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) 2656-7559 傳真：(02) 2799-1158

Tektronix[®]

太克網站：www.tektronix.com.tw