



電源供應器量測和分析

入門手冊

目錄	
引言	3
電源設計問題指向量測需求	3
切換式電源基礎知識	3
主動式元件量測：切換元素	4
切換式裝置中的功率損耗原理	4
關閉損耗	4
啓動損耗	5
功率損耗	5
安全工作區	6
動態開點電阻	6
進行主動式元件量測	6
選擇適當的量測解決方案	7
示波器的效能指標	7
上升時間	7
取樣速率	7
記錄長度	7
電源量測和分析軟體	7
消除電壓和電流探棒之間的偏移	9
消除探棒偏移和雜訊	11
自動消除偏移	11
手動消除偏移	11
被動式元件量測：磁性元件	12
電感基礎知識	12
使用示波器量測電感	12
磁性功率損耗基礎知識	13
磁芯損耗	13
銅線損耗	13
使用示波器量測磁性功率損耗	14
磁性屬性基礎知識	14
B-H曲線	15
磁性屬性量測	16
使用示波器量測磁性屬性	17
電源線量測	18
電源品質量測基礎知識	18
使用示波器量測電源品質	19
使用電源分析儀進行電源線量測	20
準確度	20
連接	21
低功率待機連接	21
高功率連接	22
使用電源分析儀進行電源線量測	23
進行符合標準的量測	24
電源、待機電源和效率	24
諧波限制	24
總結	20
電源量測	26
哪種Tektronix儀器適合您的電源應用？	26
電源量測和分析應用軟體	28
選擇您的下一台電源分析儀	29
訊號源為您提供完整的量測解決方案	30

引言

電源供應器是把電能從一台設備轉換到另一台設備的元件、子系統或系統，其通常從交流 (AC) 電源轉換成直流 (DC) 電源。從個人電腦到軍事設備和工用機械，電子裝置的正常運轉離不開DC電源供應器的效能和可靠性。

電源供應器分成許多不同的類型和規格，包括傳統類比式電源供應器到高效率的切換式電源。所有這些電源都面臨著複雜的動態工作環境。裝置負載和需求在不同時間之間可能會大振幅變化。即使是商用切換模式電源供應器，也必須能夠承受突然出現的遠遠超過平均工作電流的峰值電流。設計電源供應器或設計採用電源供應器的系統的工程師必須瞭解電源供應器在靜止條件到最壞條件下的行為。

從歷史上看，針對電源供應器行為進行特性分析意味著使用數位萬用電錶進行靜態電流和電壓量測，然後在計算機或PC上麻煩地進行計算。今天，大多數工程師正轉向示波器，作為首選的電源量測平台。

現代示波器可以配備整合電源量測和分析軟體，簡化設定，更輕鬆地進行量測。使用者可以自訂關鍵參數，自動進行計算，在幾秒鐘內查看結構，而不只是原始數字。

本入門手冊將重點介紹如何使用示波器和專用軟體量測切換式電源供應器設計。

電源供應器設計問題指向量測需求

在理想狀態下，每個電源供應器的行為方式都應與設計使用的數學模型類似。但在實際環境中，元件是不理想的，負載會變化，線路電源可能會失真，環境變化會改變效能。此外，效能和成本需求變化也進一步提高了電源供應器設計的複雜性。考慮下列問題：

- 電源供應器可以保持高於額定輸出容量多少瓦？保持多長時間？
- 電源供應器散發多少熱量？在過熱時會出現什麼情況？要求多少冷卻氣流？
- 在負載電流大振幅提高時會發生什麼情況？裝置能夠保持額定輸出電壓（負載穩壓）？電源供應器對輸出完全短路會作出什麼樣的反應？
- 在電源供應器輸入電壓變化時會發生什麼情況（線路穩壓）？

設計人員需要開發出佔用空間更少、能耗效率更高、減少散熱量、降低製造成本、滿足更嚴格的EMI/EMC標準的電源供應器。只有嚴格的量測體系，才能引導工程師實現上述目標。

切換模式電源供應器基礎知識

在大多數現代系統中，常見的DC電源供應器結構是切換式電源供應器 (SMPS)，這種電源供應器因能高效率處理負載變化而聞名。典型SMPS的電源訊號路徑包括被動式元件、主動式元件和磁性元件。SMPS 最大限度地減少了有損耗的元件的使用量，如電阻器和線性模式電晶體，重點採用（在理想條件下）沒有損耗的元件，如切換式電晶體、電容器和磁性元件。

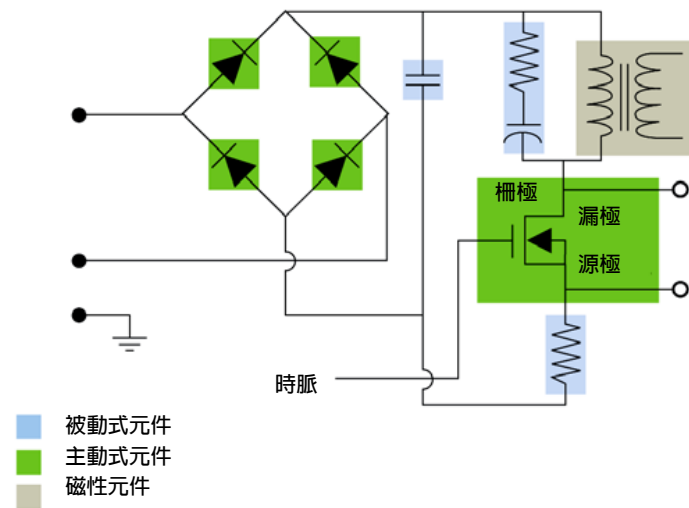


圖1. 切換模式電源供應器簡化的示意圖。

SMPS裝置還包括一個控制段，其中包含脈寬調變穩定器、脈衝速率調變穩定器和回饋環路等單元¹。控制段可以有自己的電源供應器。圖1是簡化的SMPS示意圖，其中顯示了包括主動式、被動式和磁性等元素的電源轉換段。

SMPS技術依託電源半導體切換式裝置，如金屬氧化物場效應電晶體 (MOSFET) 和絕緣門雙極電晶體 (IGBT)。這些裝置提供了快速切換時間，能夠耐受沒有規律的電壓峰值。同樣重要的是，其在On 狀態或Off 狀態下消耗的功率非常小，實現了很高的效率，而生成的熱量很低。切換式裝置在極大程度上決定著SMPS 的整體效能。切換式裝置的關鍵量測包括切換損耗、平均功率損耗、安全工作區等等。

¹ 本入門手冊介紹與電源路徑有關的量測，包括與輸出有關的內部單元的測試。控制段量測是比較傳統的基於波形和基於邏輯的觀測專案，本文中沒有涉及這些量測。

主動式元件量測：切換元素

切換模式裝置中的功率損耗原理

電晶體切換式電路在轉換過程中消耗的能量通常會達到最大，因為電路寄生訊號會阻止裝置立即切換。「關閉損耗」是指切換式裝置從ON轉換成OFF時損耗的能量，「啟動損耗」則是指切換式裝置從OFF轉換成ON時損耗的能量。

關閉損耗

圖2說明了如何計算關閉損耗。在 t_1 後，切換式電流下降，二極體電流上升，時間 (t_2-t_1) 取決於驅動器對MOSFET的柵極到漏極電容 C_{gd} 的充電速度。

可以使用下面的公式估算轉換過程中損耗的能量：

$$E_{off} = \frac{1}{2} \cdot V_g \cdot i_L \cdot [t_2 - t_0]$$

其中：

- E_{off} 是轉換過程中切換損耗的平均能量。
- V_g 是柵極電壓。
- i_L 是流經電感器的電流。
- t_2 是轉換結束時間。
- t_0 是轉換開始時間。

這個公式假設流經 C_{ds} 和 C_{gd} 的電壓（從漏極到源極的電容）呈線性上升。 C_{ds} 和 C_{gd} 是寄生電容。

在實際環境裝置中，電容 C_{ds} 和 C_{gd} 呈高度非線性化，一般會隨著漏極到源極電壓變化。這在一定程度上會影響上面介紹的理論計算。在IGBT中，由於尾電流現象，電流的下降時間會比較高。這些差異使得工程師必須擷取電壓不一致的實際曲線。附有專用電源量測軟體的示波器可有效簡化這些量測。

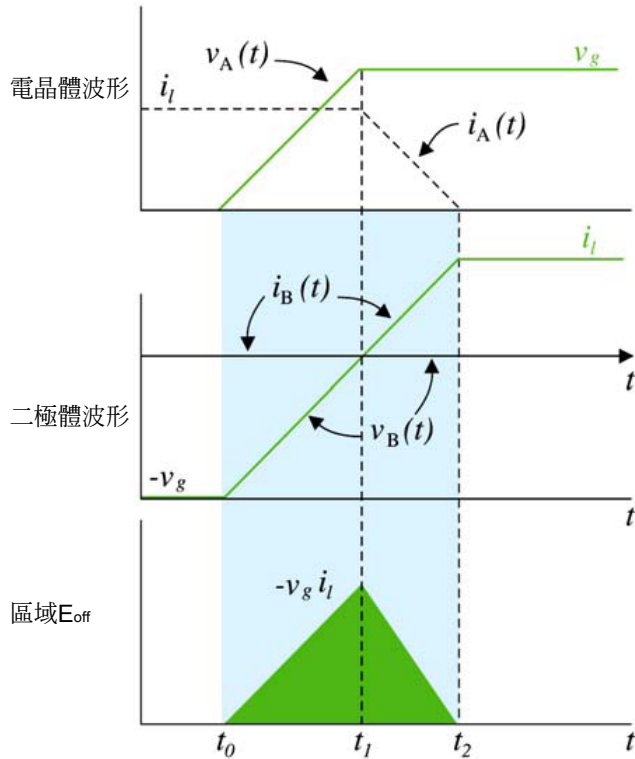


圖2. 關閉損耗的計算。

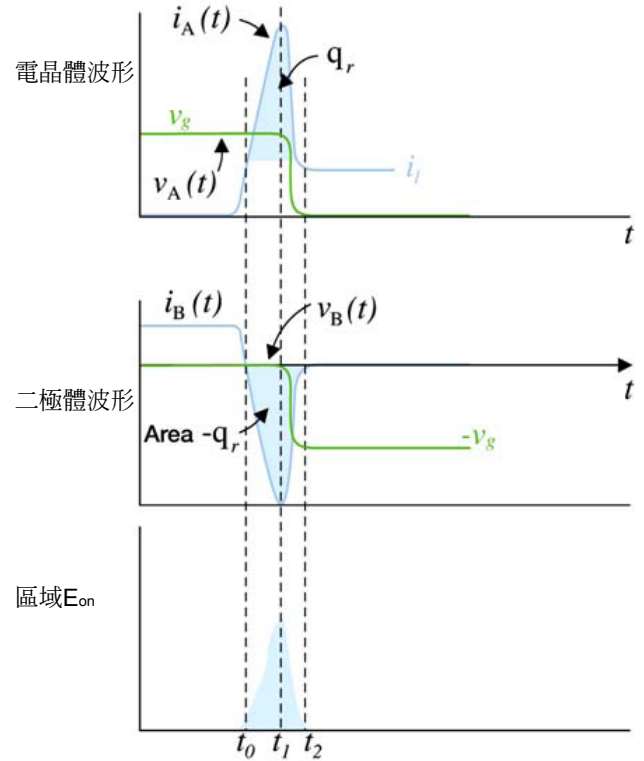


圖3. 啓動損耗的計算。

啓動損耗

圖3是帶有箝位元電感負載和二極體恢復電荷的MOSFET的啓動損耗。在使用箝位元電感負載啓動MOSFET時，直到儲存的電荷恢復時才能積聚二極體電壓。因此，二極體會在負方向上持續傳導電流，直到阻塞電壓，這會導致切換發生巨大的損耗。反向恢復電流依賴於二極體路徑中的外部電路。二極體中的電荷取決於正向電流及二極體關閉轉換過程中電流下降的 di/dt 。

可以使用下面的公式估算轉換過程中損耗的能量：

$$E_{on} = \int_{t_0}^{t_1} v_a(t) \cdot i_a(t) \cdot dt$$

² 摘自美國科羅拉多大學Rober A. Erickson 所作的《電源電子基礎知識》，有所簡化。

其中：

- E_{on} 是轉換過程中切換損耗的平均能量。
- $v_a(t)$ 是暫態柵極電壓。
- $i_a(t)$ 是流經切換式裝置的暫態電流。
- t_1 是轉換結束時間。
- t_0 是轉換開始時間。

功率損耗

總損耗是切換式裝置中的平均功率損耗，包括切換損耗和傳導損耗。總損耗的計算公式如下：

$$P_{Loss} = \frac{1}{T_s} \cdot \int_0^{T_s} V_{switch}(t) \cdot I_{switch}(t) \cdot dt$$

其中：

- P_{Loss} 是切換式裝置中的平均功率損耗。
- V_{switch} 是流經切換式裝置的暫態電壓。
- I_{switch} 是流經切換式裝置的暫態電流。
- T_s 是切換週期。

安全工作區

切換式裝置安全工作區 (SOA) 指標匯製了電壓對電流圖，以針對裝置的工作區域進行特性分析，其通常用來建立電源供應器預計將遇到的各種工作條件的SOA 曲線。

切換式裝置製造商的產品技術資料會概括對切換式裝置的某些限制。其目標是保證切換式裝置將容忍電源供應器在使用者環境中必須處理的工作邊界。SOA測試變數可能包括各種負荷方案、工作溫度變化、高和低線路輸入電壓等等。圖4是SOA 曲線實例。

SOA測試通常使用下面的公式計算功率：

$$P_n = V_n I_n$$

其中：

- P_n 是暫態功率。
- V_n 是電壓。
- I_n 是電流。
- n 是樣點數。

計算平均功率的公式如下：

$$P_{Avg} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{n=N} V_n I_n$$

其中：

- N 是切換週期中的樣點數。

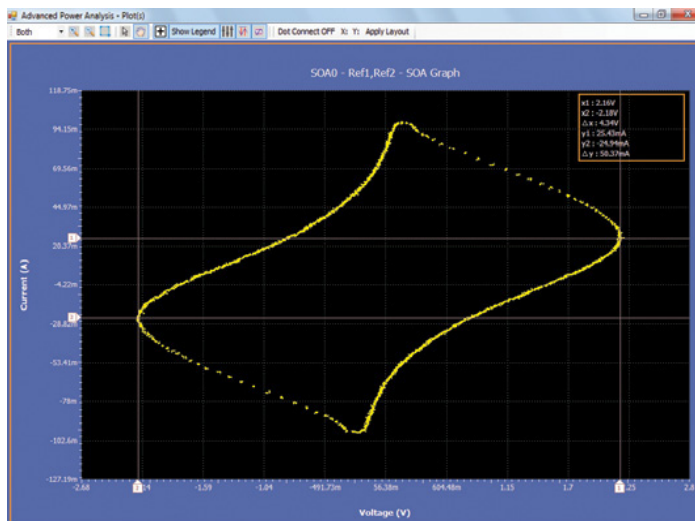


圖4. 這個實例摘自TektronixDPOPWR，說明了SMPS的SOA曲線。可以把這個曲線與切換式裝置製造商公佈的資料進行對比。

動態開點電阻

可以使用元件產品技術資料中給出的 $R_{DS(on)}$ 值，估算切換式裝置在on狀態下的電阻。但是，實際電阻（進而是切換傳導損耗）並不是恒定不變的，可能會隨著切換電壓或電流變化而明顯變化。

di/dt 和 dv/dt

di/dt 指標表示電流在切換過程中的變化速率，dv/dt 指標則表示電壓在切換過程中的變化速率。

進行主動式元件量測

對習慣了使用示波器進行高頻寬量測的工程師而言，電流量測由於頻率相對較低，似乎會比較簡單。但實際上，電流量測帶來了高速電路設計人員從未面對的一系列挑戰。

流經切換式裝置的電壓可能會非常大，通常為「浮動」，即不參考接地位準，訊號的脈寬、週期、頻率和工作週期會不一致。必須真實地擷取和分析波形的不理想特點。

選擇適當的量測解決方案

在量測切換模式電源供應器時，必須選擇能夠勝任工作的工具。為在測試過程中啟動和關閉SMPS，可能要求來自訊號源的脈衝激勵訊號。為準確地模擬正常工作條件下的門驅動訊號，激勵訊號必須有可以調節的工作週期、邊緣跳變時間和頻率。若要驅動IGBT裝置，激勵源還必須能夠生成要求的電壓，一般在12 V - 15 V。

當然，示波器必須有基本頻寬和取樣速率，處理SMPS內部的切換頻率。此外，示波器必須有深記憶體，提供在以高定時解析度進行低頻長擷取時所需的記錄長度。電源量測還要求至少兩條通道，一條用於電壓量測，一條用於電流量測。

把裝置連接到示波器的探棒也同樣重要。測試中要求同時使用多種探棒，如單端探棒、差動式探棒和電流探棒。應用軟體可以提高電源量測的簡便性和可靠性，進一步完善了這一系列工具。

示波器的效能指標

選擇示波器時考慮的主要效能指標有上升時間、取樣速率、記錄長度及提供的電源量測分析軟體。

上升時間

儘管切換訊號速度相對較低，但訊號的上升時間可能會相當快。為準確地進行量測，示波器的上升時間至少要快五倍，才能擷取快速跳變的關鍵細節。

$$RiseTime_{oscilloscope} = \frac{RiseTime_{SwitchingSignal}}{5}$$

例如，若切換訊號的上升時間為5 ns，則示波器的上升時間至少應該是1 ns，才能準確地進行量測。為提供如此快的上升時間，示波器的頻寬一般至少要達到350 MHz。

取樣速率

取樣速率用每秒樣點數 (S/s) 表示，指數位示波器擷取訊號樣點的頻率。取樣速率越快，波形解析度越高，波形越詳細，關鍵資訊或事件丟失的可能性越低。若要針對SMPS切換過程中常出現的振鈴進行特性分析，示波器的取樣速率必須足夠快，以便擷取切換訊號邊緣上的多個樣點。

記錄長度

示波器擷取量測期間事件的能力取決於使用的取樣速率及儲存擷取的訊號樣點的記憶體的深度 (記錄長度)。儲存器的填充速度與取樣速率直接成正比。在取樣速率設定得足夠高，能夠以高解析度詳細地訊號時，記憶體會迅速填充。

對許多SMPS電源量測，必須擷取1/4週期或1/2週期 (90度或180度) 的線路頻率訊號；有些量測甚至要求擷取整個週期。60 Hz 線路頻率的1/2週期的時間超過8 ms。在取樣速率為1 GS/s時，需要8M點的記錄長度，才能擷取如此長的時間。

電源量測和分析軟體

應用軟體可以大大提高示波器上電源量測和分析的簡便程度，其自動執行常用量測，提供詳細的測試報告，簡化了某些複雜的量測情況，如量測高低壓訊號，進行切換損耗和功率損耗量測。

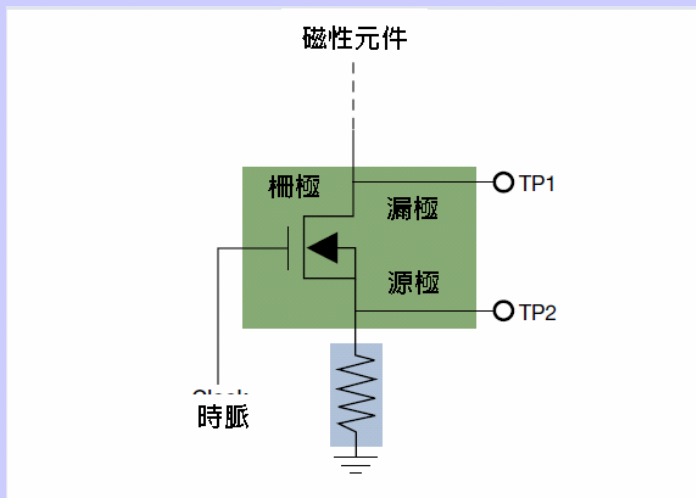


圖5. MOSFET 切換式裝置，顯示了量測點。

在一次擷取中同時量測 100 V 和 100 mV

為量測切換式裝置的切換損耗和平均功率損耗，示波器必須先分別確定 OFF 期間和 ON 期間流經切換式裝置的電壓。

在 AC/DC 轉換器中，流經切換式裝置的電壓擁有非常高的動態範圍。在 ON 狀態期間流經切換式裝置的電壓取決於切換式裝置的類型。在圖 5 所示的 MOSFET 中，ON 電壓是通道電阻和電流之積。在雙極結晶體管 (BJT) 和 IGBT 裝置中，電壓主要基於飽和電壓下跌量 ($V_{CE_{sat}}$)。OFF 狀態電壓取決於切換式轉換器的工作輸入電壓和拓撲。為計算裝置設計的典型 DC 電源供應器通常會在 80 V_{rms} - 264 V_{rms} 的通用公用電壓上工作。在最大輸入電壓下，流經切換式裝置的 OFF 狀態電壓 (在 TP1 和 TP2 之間) 可以高達 750 V。在 ON 狀態下，流經相同端子的電壓可以在幾 mV 到大約 1 V 之間。圖 6 說明了切換式裝置上的典型訊號特點。

必須先量測這些 OFF 電壓和 ON 電壓，才能準確地量測切換式裝置上的功率。但是，普通 8 位示波器則很難準確擷取 (在同一擷取週期內) ON 期間發生的 mV 級訊號及 OFF 期間發生的高壓訊號。

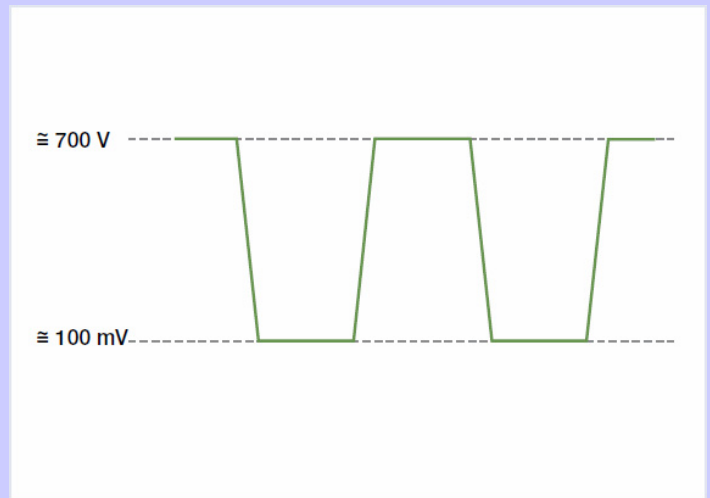


圖6. 切換式裝置的典型訊號。

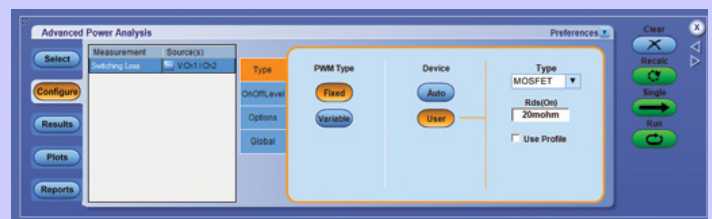


圖7. DPOPWR 輸入頁面允許使用者輸入 $R_{DS_{on}}$ 和 $V_{CE_{sat}}$ 的產品技術資料值。

為擷取這個訊號，示波器的垂直範圍設定為每格 100 V。在這個設定下，示波器將接受高達 1000 V 的電壓，因此可以擷取 700 V 訊號，而不會使示波器超載。使用這種設定的問題是，其可以解析的最小訊號振幅是 $1000/256$ 或大約 4 V。

借助現代示波器所提供的電源應用軟體，使用者可以把裝置產品技術資料中的 $R_{DS_{on}}$ 或 $V_{CE_{sat}}$ 值輸入量測菜單，如圖 7 所示。或者在測得的電壓位於示波器靈敏度範圍內時，應用軟體可以使用擷取的資料計算數值，而不用手動輸入數值。

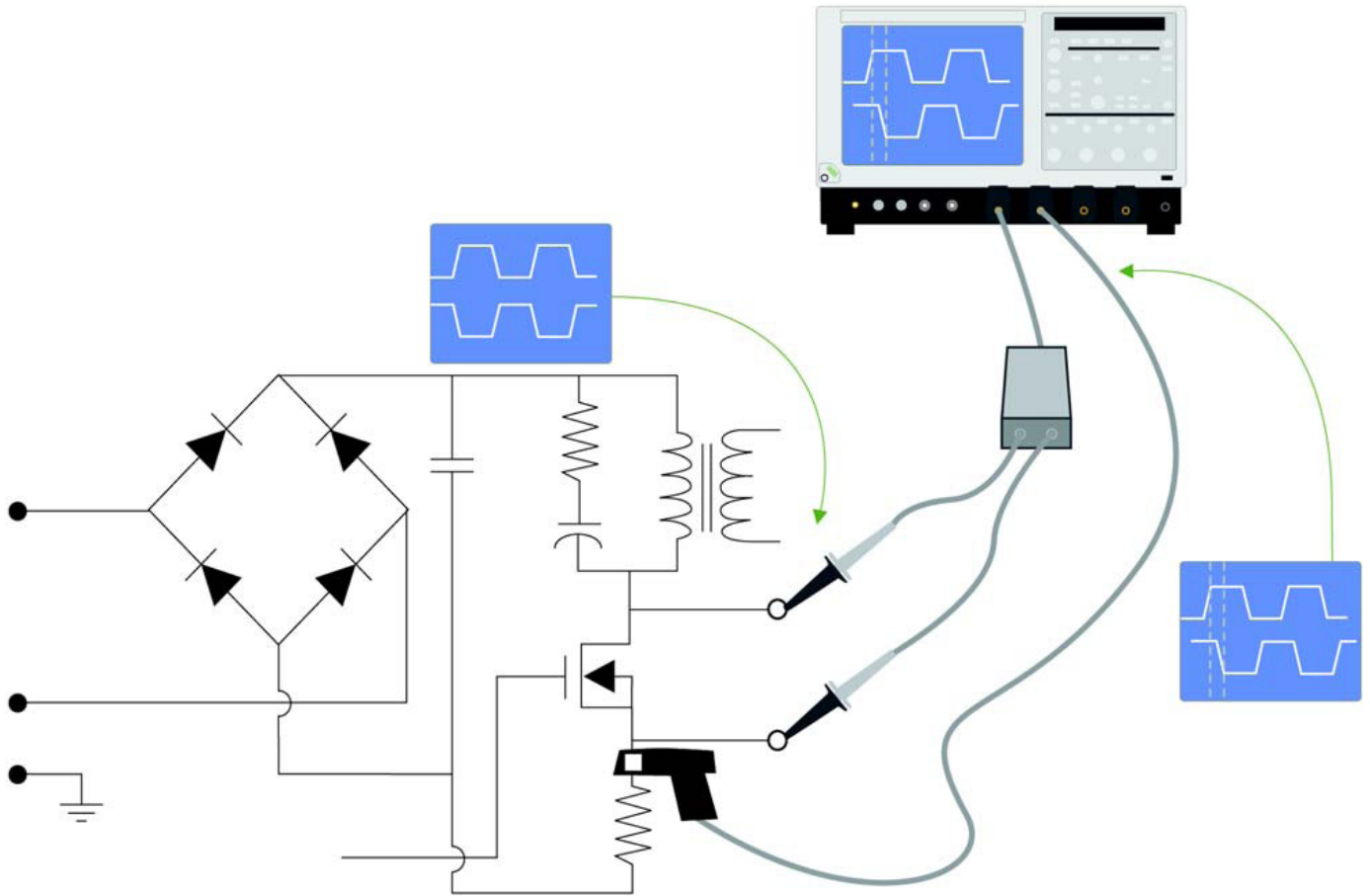


圖8. 傳播延遲對電源量測的影響。

消除電壓和電流探棒之間的偏移

數位示波器進行電源量測時，必須量測流經MOSFET切換式裝置漏極到源極的電壓和電流或流經IGBT的集電極到發射器電壓。這一任務要求使用兩個不同的探棒：高壓差動式探棒和電流探棒。後一種探棒通常是非插入式霍爾效應型探棒。每種探棒都有自己的特性傳播延遲。這兩種延遲之差稱為偏移，會導致定時量測不準確及功率波形失真。

請務必瞭解探棒的傳播延遲對最大峰值功率和區域量測的影響。畢竟，功率是電壓和電流之積。如果相乘的兩個變數並沒有在時間完美對準，則結果會不正確。在探棒沒有正確校正偏移時，會損害量測準確度，如切換損耗。

圖8所示的測試設定比較了探棒尖端上的訊號（下面的軌跡顯示畫面）與傳播延遲後示波器前面板上的訊號（上面的顯示畫面）。

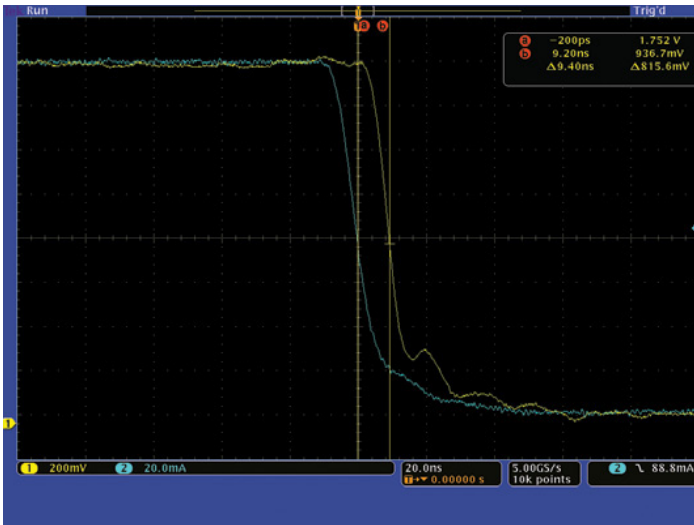


圖9. 電壓訊號與電流訊號之間9.4 ns 的偏移。

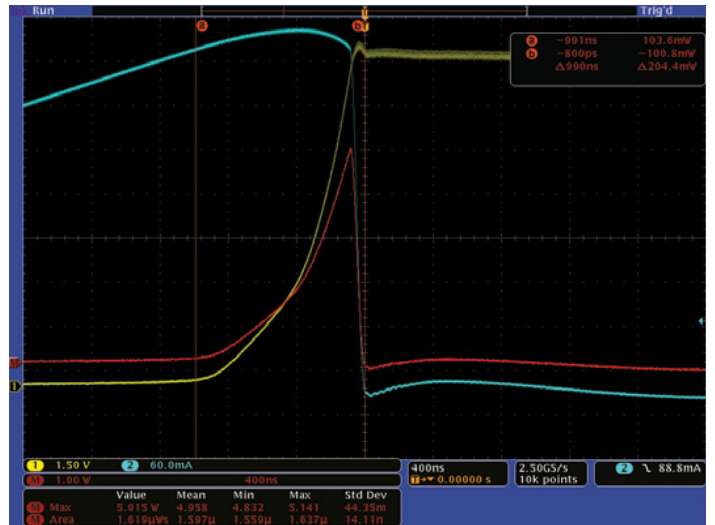


圖10. 在這一偏移下，功率波形的峰值幅度是4.958 W。

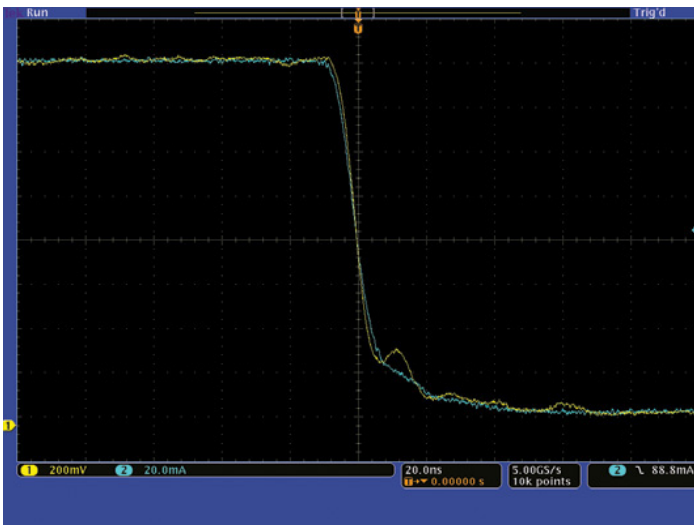


圖11. 在偏移校正過程後電壓訊號與電流訊號對準。

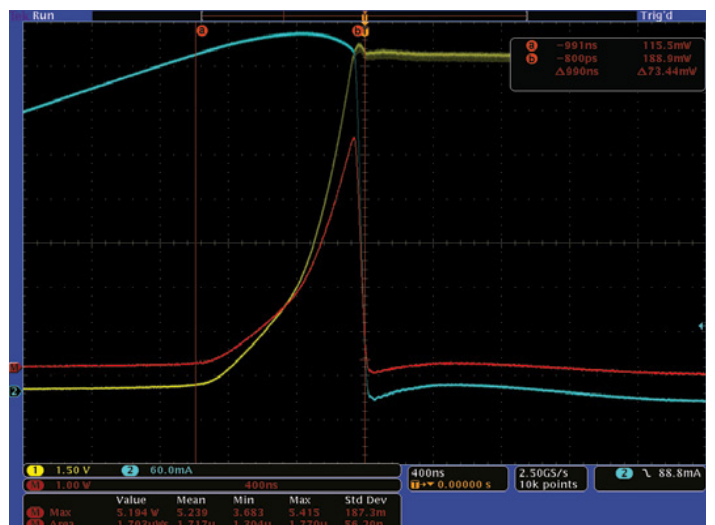


圖12. 在偏移校正後峰值幅度上升到5.239 W (高出5.6%)。

圖9至圖12顯示了探棒偏移影響的實際示波器螢幕圖。圖9揭示了電壓探棒和電流探棒之間的偏移，圖10顯示了在沒有校正兩個探棒偏移前獲得的量測結果 (4.958 W)。

圖11顯示了校正探棒偏移的影響。兩條參考軌跡重疊，表明延遲已經均衡。圖12 中的量測結果說明了正確校正偏移的重要性。

這一實例證明，偏移引入了5.6% 的量測誤差。準確校正偏移減少了峰峰值功率損耗量測的誤差。

某些電源量測軟體將自動校正選定探棒組合的偏移。軟體控制著示波器，使用即時電流訊號和電壓訊號調節電壓通道和電流通道之間的延遲，消除電壓探棒和電流探棒之間的傳播延遲差異。

另外還有一種靜態偏移校正功能，其基於某些電壓探棒和電流探棒擁有恒定的可重複的傳播延遲。靜態偏移校正功能根據選定探棒的嵌入傳播時間表，自動調節選定電壓通道和電流通道之間的延遲。這種技術提供了快捷簡便的方式，可以使偏移校正達到最小。

消除探棒偏移和雜訊

差動式探棒和電流探棒可能會有較小的偏移。這會影響準確度，在繼續量測前必須消除這個偏移。某些探棒內建自動消除偏移的方法，其他探棒則要求手動消除偏移。

自動消除偏移

配有Tektronix TekVPI™ 探棒介面的探棒與示波器相結合，可以消除訊號路徑中的任何DC偏移誤差。按TekVPI探棒上的Menu按鈕，會在示波器上呼叫出一個Probe Controls框，顯示AutoZero功能。

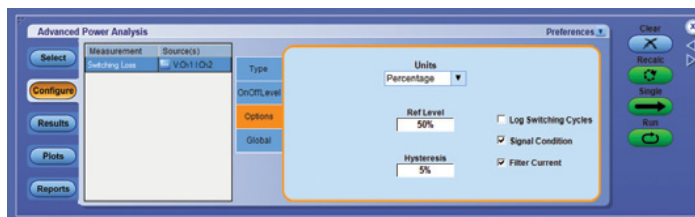


圖13. TDSPWR3軟體功能表上的訊號調節選項。這個選項把切換式裝置Off期間的電流設為零。

選擇AutoZero選項將自動清零量測系統中存在的任何DC偏移誤差。TekVPI電流探棒在探棒機身上還有一個Degauss/AutoZero按鈕。壓下AutoZero鈕將消除量測系統中存在的任何DC偏移誤差。

手動消除偏移

大多數差動式探棒內建DC偏移整理控制功能，可以相對簡單地消除偏移。同樣地，在進行量測前，必須先調節電流探棒。

注意，差動式探棒和電流探棒是主動式裝置，總會存在一定的低位準雜訊，即使在靜止狀態下。這種雜訊會影響依賴電壓波形和電流波形資料的量測專案。某些電源量測軟體包括訊號調節功能（圖13），可以使固有探棒雜訊的影響達到最小。

被動式元件量測：磁性元件

被動式元件是指不放大訊號或切換訊號的元件。電源供應器採用全系列被動式元件，如電阻器和電容器，但從量測角度看，主要重點要放在磁性元件 (磁性裝置) 上，特別是電感器和變壓器。電感器和變壓器都由外面纏著幾圈銅線的鐵芯組成。

電感器的阻抗會隨著頻率提高而提高，對較高頻率的阻擋作用要高於較低頻率，因此適合濾波電源供應器輸入和輸出上的電流。

變壓器把初級線圈的電壓和電流耦合到次級線圈上，提高或降低訊號位準 (電壓或電流，但不能同時是兩者)。因此，變壓器可以在初級線圈上接受120 V的電壓，然後在次級線圈上逐步下降到12 V，同時次級線圈上的電流會成比例提高。注意這不視為放大，因為訊號淨功率不會提高。由於變壓器初級線圈和次級線圈並沒有在電氣上相連，因此這也用來達成電路單元之間的隔離。

有助於確定電源供應器效能的部分指標包括：

- 電感
- 功率損耗 (磁性元件)
- 磁性屬性

電感基礎知識

電源供應器使用電感器作為能量儲存裝置、濾波器或變壓器。作為變壓器時，電感器可說明保持切換模式電源供應器中的振蕩。設計人員需要監測這種裝置在工作條件下的行為。電感值取決於電流和電壓來源、激發訊號、波形和工作頻率。電感使用下面的公式確定：

$$L = \frac{\int -Vdt}{I}$$

其中：

- L 是電感 (單位為亨利)。
- V 是流經電感器的電壓。
- I 是流經電感器的電流。
- dt 是訊號中的變化速率或轉換速率。

可以使用幾種不同的解決方案量測電感。例如，LCR儀錶使用內建訊號產生器激勵待測電感器，然後使用電橋平衡技術，量測裝置阻抗。LCR儀錶使用正弦波作為訊號源。

但在實際環境的電源供應器中，訊號是高電壓高電流方波，因此，大多數電源供應器設計人員首選在電源供應器動態變化的環境下監測電感器行為，以獲得更準確的資訊。

使用示波器量測電感

量測實際電源供應器中電感器最常用的工具是示波器。電感量測本身非常簡單，只是探測流經磁性元件的電壓和電流，在很大程度上與前面介紹的切換式裝置量測類似。

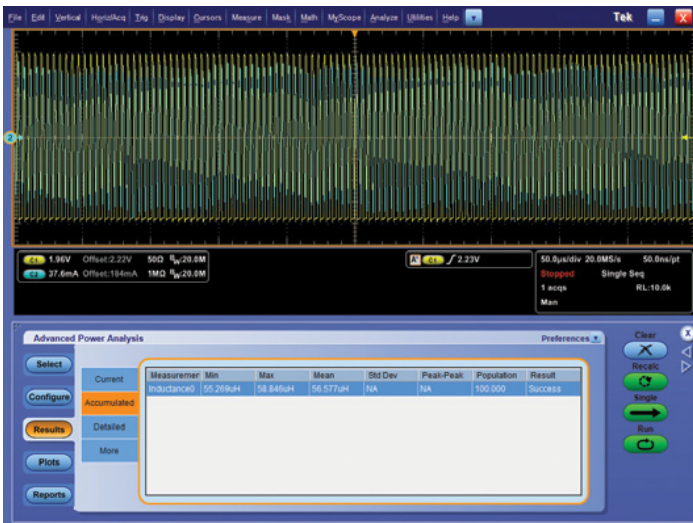


圖14. DPOPWR 應用軟體的電感量測結果。

圖14是電感量測結果。此處軟體計算的電感為58.97微亨。

磁性功率損耗基礎知識

磁性功率損耗影響著電源供應器的效率、可靠性和熱效能。有兩種功率損耗與磁性單元有關：磁芯損耗和銅線損耗。

磁芯損耗

磁芯損耗由磁滯損耗和渦流損耗構成。磁滯損耗與DC通量頻率有關，每單位容量磁滯損耗用下面的公式表示：

$$P_{Hyst} = \int H \cdot dB$$

其中：

- P_{Hyst} 是每單位容量的磁滯損耗。
- H 是場強
- B 是通量密度。

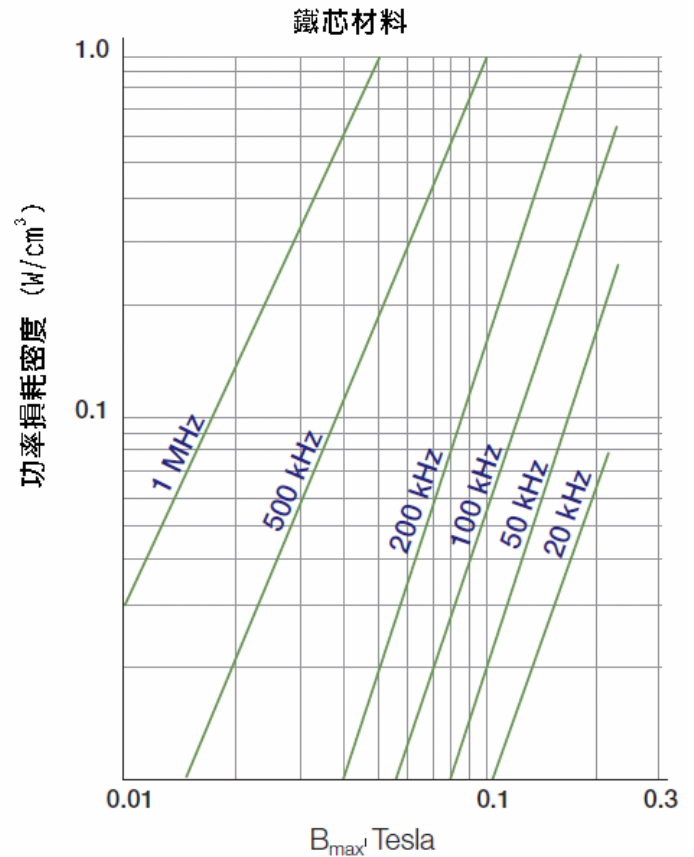


圖15. 各種切換頻率下的磁芯損耗與通量密度曲線。

您可使用磁芯製造商的產品技術資料計算磁芯損耗，如圖15所示。此處，製造商指定了一個三象限工作時正弦激勵的損耗。製造商還指定了經驗關係，來計算不同AC通量密度和頻率下的磁芯損耗。

銅線損耗

銅線損耗源於銅繞組線的電阻。計算銅線損耗的公式如下：

$$P_{cu} = I_{rms}^2 \cdot R_{wdg}$$

其中：

- P_{cu} 是銅線損耗。
- I_{rms} 是流經磁性元件的rms電流。
- R_{wdg} 是線圈電阻，這個電阻取決於DC電阻、集膚效應和接近效應。

使用示波器量測磁性功率損耗

可以使用磁芯廠商的產品技術資料及運行電源量測軟體的示波器量測結果，迅速得出總功率損耗和磁芯損耗。可以使用這兩個值，計算銅線損耗。在知道了不同的功率損耗成分後，可以確定磁性元件上的功率損耗成因。

磁性元件功率損耗計算方法在一定程度上取決於待測的元件類型。待測裝置可以是單線圈電感器，也可以是多線圈電感器，還可以是變壓器。圖16 顯示了單線圈電感器的量測結果。

通道1 (黃色軌跡) 是流經電感器的電壓，通道2 (藍色軌跡) 是使用非插入型電流探棒測得的流經電感器的電流。電源量測軟體自動計算和顯示功率損耗值，這裡顯示的是 173.95 mW。

多線圈電感器要求的方法略有不同。總功率損耗是各個線圈的損耗之和：

$$\text{總功率損耗} = \text{功率損耗}_{L1} + \text{功率損耗}_{L2} + \text{功率損耗}_{L3} + \dots$$

計算變壓器上的功率損耗，進一步把公式變為：

$$\text{總功率損耗} = \text{功率損耗}_{PR} - (\text{功率損耗}_{S1} + \text{功率損耗}_{S2} + \dots)$$

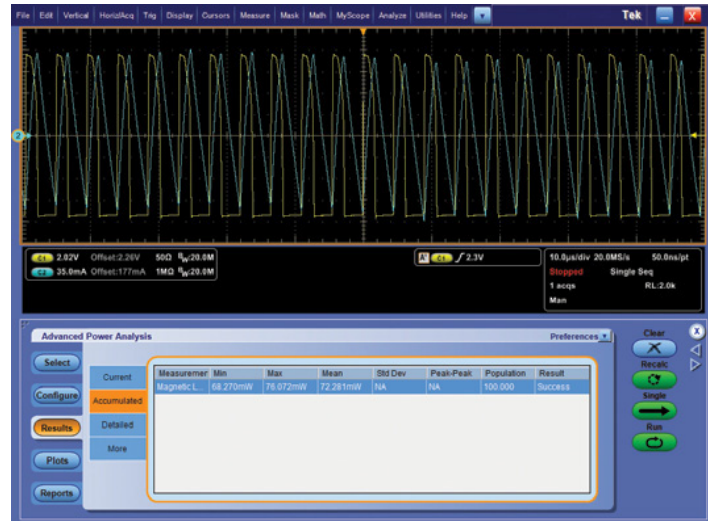


圖16. DPOPWR 量測的單線圈電感器上的功率損耗。

在初級線圈上測得的功率損耗將包括次級線圈反射的功率，因此，必須量測初級線圈和次級線圈上的功率，然後使用變壓器公式計算功率損耗。

磁性屬性基礎知識

切換模式電源供應器必須在各種工作條件下保持可靠性。為實現最優效能，設計人員一般會使用製造商提供的B-H (磁滯) 曲線，指定磁性元件、變壓器和電感器。這些曲線定義了磁性元件磁芯材料的效能包絡，必須在磁滯曲線的線性區域內，維護工作電壓、電流、拓撲和轉換器類型等因素。很明顯，變數如此多，維護起來相當不易。

針對磁性元件的工作區域進行特性分析，同時在SMPS內保持工作，對確定電源供應器的穩定性至關重要。量測程式包括匯制磁滯環路曲線及考察電感器和變壓器的磁性屬性。

與圖17有關的下述定義都使用這些變數：

磁場強度 (H) 是用來感應待測材料中磁通量的磁場，單位為每秒安培。

$$H_k(t) = I_k(t) \cdot \frac{N}{l}$$

飽和通量密度 (B_s) 是材料中感應的最大磁性通量密度，而不管外部應用的場振幅H 如何。

$$\Phi_k = \int V_k(t) dt$$

和：

$$B_k(t) = \frac{\Phi_k}{(N \cdot S)}$$

剩磁 (B_r) 是在生成磁滯環路時在外部應用的磁場 (H)返回零後材料中剩餘的感應的磁性通量密度。

矯磁力 (H_c) 是H軸和磁滯環路的截距上的H值，表示導致感應的通量密度 (B) 在磁滯環路量測期間到達零所需的外部場。H_c 與正負軸對稱。

初始導磁係數 (μ_i) 是在H接近零時感應的磁性通量密度(B)與應用場 (H) 之比，這是磁滯環路上任一點的B與H之比。此外，最大振幅導磁係數是磁滯環路正週期第一象限上的B與H之比，是從原點畫出的直線斜率。

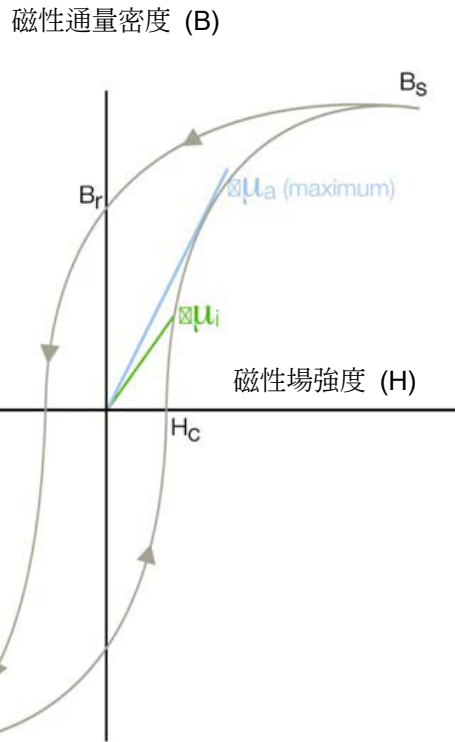


圖17. 磁性元件典型的B-H (磁滯) 曲線。

B-H曲線

B-H曲線可用於磁性屬性的特性分析，圖17是正弦激勵典型的B-H曲線。

若要進行B-H曲線量測，一開始時需要下述資訊：

- 流經磁性元件的電壓，V
- 磁性電流，I
- 圈數，N
- 磁長度，l
- 橫截面面積，A
- 表面積，S

磁性屬性量測

電感器作為電源供應器輸入和輸出上的濾波器使用，可以有單個線圈，也可以有多個線圈。

在進行磁性屬性量測時需要下述資訊：

- 流經磁性元件的電壓， V
- 磁性電流， I
- 圈數， N
- 磁長度， l
- 橫截面面積， A

電感器電壓和電流的公式如下：

$$V_L(t) = R \cdot i_L(t) + L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

在典型的DC到DC轉換器中，線圈中的通量計算公式如下：

$$L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} = N \cdot \frac{d\phi_L(t)}{dt}$$

和

$$\Phi_L [(n+1)T_s] = \Phi_L [nT_s]$$

圖18是可以作為耦合電感器或變壓器使用的典型的多線圈磁性單元。計算這一電路操作的電氣公式如下：

$$\frac{v_1(t)}{n_1} = \frac{v_2(t)}{n_2} = \frac{v_3(t)}{n_3}$$

和

$$i_1'(t) \cdot n_1 = -i_2(t) \cdot n_2 - i_3(t) \cdot n_3$$

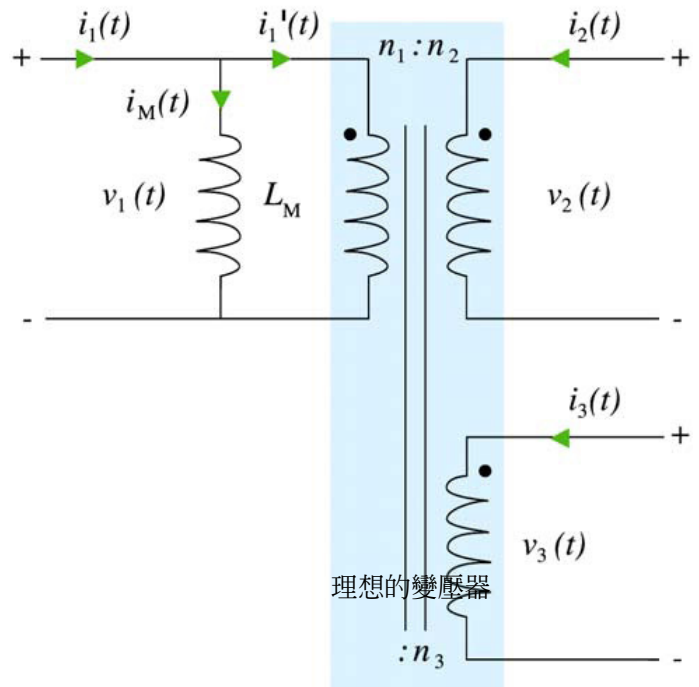


圖18. 多線圈磁性單元。

和

$$i_1(t) = i_M(t) + i_1'(t)$$

為計算淨磁化電流，必須量測 $i_1(t)$ 、 $i_2(t)$ 和 $i_3(t)$ 。在淨磁化電流一定時，B-H分析程式與單線圈電感器使用的程式類似。通量取決於淨磁化電流。在所有線圈中測得的向量和為磁化電流。

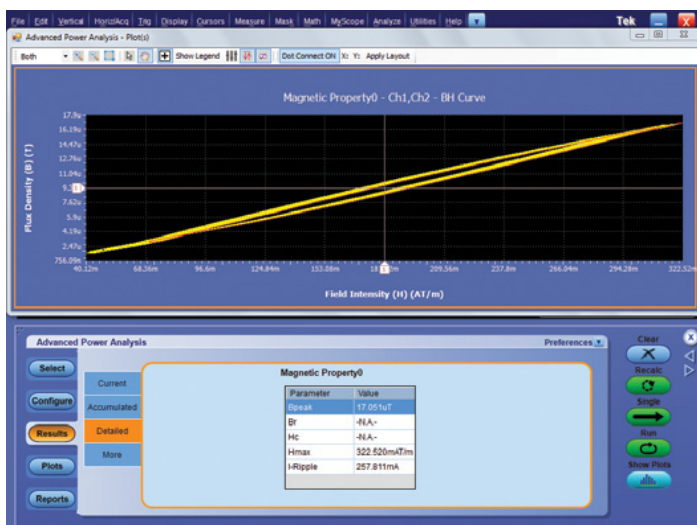


圖19. 單線圈電感器的B-H曲線。



圖20. 變壓器的B-H曲線。

使用示波器量測磁性屬性

專用電源量測軟體可以大大簡化示波器量測磁性屬性的過程。在許多情況下，只需量測電壓和磁化電流就可以了，軟體會為您完成磁性屬性指標的計算過程。圖19說明瞭單線圈電感器上的磁性屬性量測結果。還可以使用初級電流源和次級電流源在變壓器上執行量測。

在圖20中，通道1 (黃色軌跡)是流經變壓器的電壓，通道2 (藍色軌跡) 是流經初級線圈的電流，通道3 (洋紅色軌跡) 是流經次級線圈的電流。軟體使用通道2和通道3資料，確定磁化電流。

某些電源量測軟體還可針對磁性元件建立具體的B-H曲線，進行其效能的特性分析。首先輸入磁芯圈數、磁長度和橫截面積，然後軟體會計算B-H曲線。

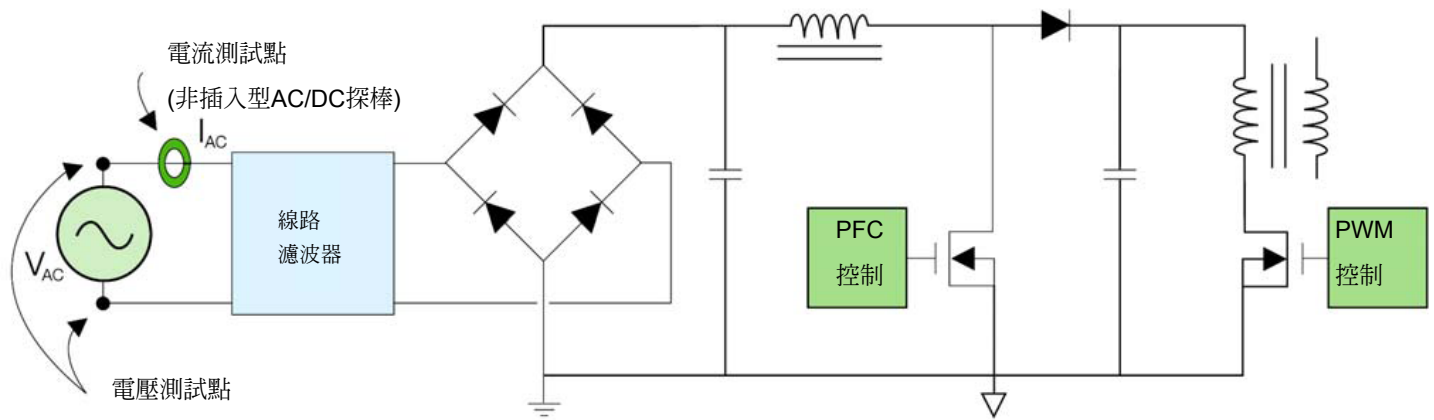


圖21. SMPS 電源 (僅初級側) 和電源品質測試點簡化的示意圖。量測電源品質需要同時輸入 V_{AC} 和 I_{AC} 讀數。

電源線量測

電源線量測可針對電源供應器與其使用環境之間的交互情況進行特性分析。要注意的是，電源供應器可以採用任何規格，從個人電腦中的小型風扇盒，到工廠內大小適中為裝置提供動力的發動機，到為電話群和伺服器群提供支援的大規模電源。每種電源供應器都對饋電的輸入電源 (一般是公用電源) 有一定影響。

為確定插入電源供應器的影響，必須直接在輸入電源線上量測電源電壓和電流參數。

電源品質量測基礎知識

電源品質並不單純依賴發電廠，還依賴於電源設計和制造及使用者的負載。電源供應器的電源品質特性分析決定著電源供應器的「健康狀況」。

實際環境中的電源線永遠不會提供理想的正弦波，而是線路上總有一定的失真和非理想特點。切換式電源供應器給電源帶來了非線性負載。因此，電壓波形和電流波形並不是完全相同。輸入週期的某個部分會吸收電流，在輸入電流波形上產生諧波。確定這些失真的影響是電源工程設計中的重要組成部分。

若要確定電源線上的功耗和失真，必須在輸入階段量測電源品質，如圖21所示的電壓測試點和電流量測點所示。

電源品質指標包括：

- 真實功率
- 視在功率或無效功率
- 功率因數
- 波峰因數
- 根據EN61000-3-2 標準進行電流諧波量測
- 總諧波失真 (THD)

使用示波器量測電源品質

執行電源量測應用軟體的數位示波器為替代量測電源質量的傳統工具—功率錶和諧波分析儀提供了強大的解決方案。

您必須使用示波器，而不是舊式工具。儀器必須能夠擷取直到基礎諧波50階諧波的諧波成分。根據相應的本地標準，電源線路頻率通常是50 Hz 或60 Hz。在某些軍事應用和航空應用中，線路頻率可以是400 Hz。當然，訊號畸變可能會包含更高的頻率。由於現代示波器取樣速率高，能以非常高的細節（解析度）擷取快速變化的事件。相比之下，傳統功率錶由於回應時間相對較慢，可能會漏掉訊號細節。此外，示波器記錄長度足以擷取所需的週期數，即使在非常高的取樣解析度下也不例外。

軟體工具加快了量測過程，使設定時間達到最小。透過在示波器上運行的全功能電源量測軟體，在幾秒鐘內執行冗長的程式，可以自動完成大多數電源品質量測。透過減少手動計算數量，示波器可以作為用途非常廣泛、非常高效的功率錶。圖22是強大的電源量測軟體實例。

示波器探棒也有助於安全可靠地進行電源量測。為電源應用設計的高壓差動式探棒是觀測浮動電壓訊號的首選工具。

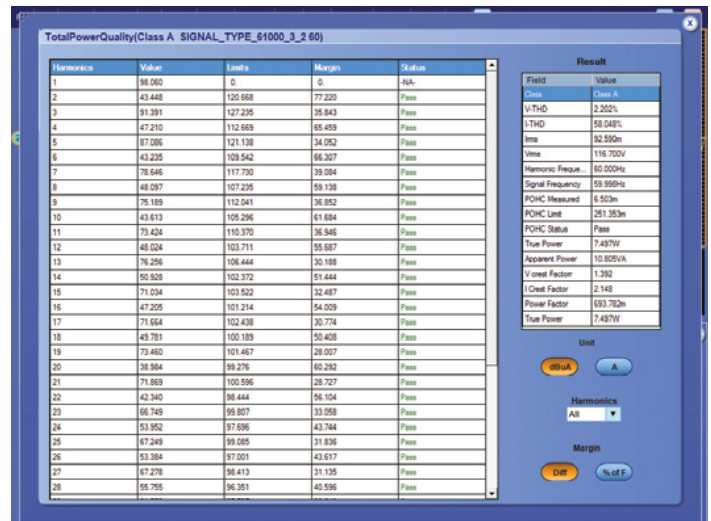


圖22. 使用DPOPWR 量測和分析軟體獲得的電源品質結果，量測指標包括真實功率、視在功率、波峰因數、總諧波失真、功率因數及電流諧波柱狀圖。

要特別注意電流探棒，可以透過多種方式實現電流探棒結構：

- AC電流探棒基於電流變壓器 (CT) 技術。CT探棒是非插入型探棒，但不能感應訊號中的DC成分，可能會導致量測不準確。
- 電流並聯。這種設計要求中斷電路，可能會導致探棒本身內部的電壓下跌，可能會影響電源量測準確度。
- AC/DC電流探棒一般基於霍爾效應感測器技術。這種裝置以非插入方式傳感AC/DC電流，能夠使用一條連接讀取AC成分和DC成分。

AC/DC電流探棒已經成為迎接切換模式電源供應器中電源品質量測挑戰的首選工具。

使用電源分析儀進行電源線量測

量測電源從交流電線所消耗的功率時，精密的電源分析儀非常適合使用的工具。準確的電源和相關的量測會用於確認電源供應器的整體電氣額定值，以及是否符合為電源、效率和電流波形的國際要求。

量測包括：

- 功率 (W)
- 低功耗待機 (mW)
- 視在功率 (VA)
- 真正的RMA V和A
- 功率因數
- 浪湧電流
- 波形因數和峰值
- 諧波 (V、A和W)
- 總諧波失真 (V、A)

準確度

電源分析儀直接連接至交流電線，並使用精確的輸入電路(分壓器和電流分流器) 提供具有0.05% 以上基本準確度的電源量測。電源分析儀需具備此等級的準確度，才能確認高階準確度以及是否符合電源和諧波標準。

例如，典型的示波器和探棒的組合可為電壓和電流提供3%的振幅準確度。總電源不確定性將會更大，對整體電源和效率的量測產生了3%的不確定性。這對高效率的設計作業而言是非常重要的因素。例如，在使用示波器進行量測時，額定為90%的效率可能高達93%或低至87%。此不確定性可能會導致出現不符合要求的設計 (量測值高於90%，但實際效率低於90%) 或不必要的額外設計最佳化 (量測值低於90%，但實際效率超過90%)。

雖然示波器是適合用於確認和最佳化電源供應器內部高速切換和其他元件損耗的工具，但精密的電源分析儀才是用於量測整體電源、效率和諧波失真的最佳工具。

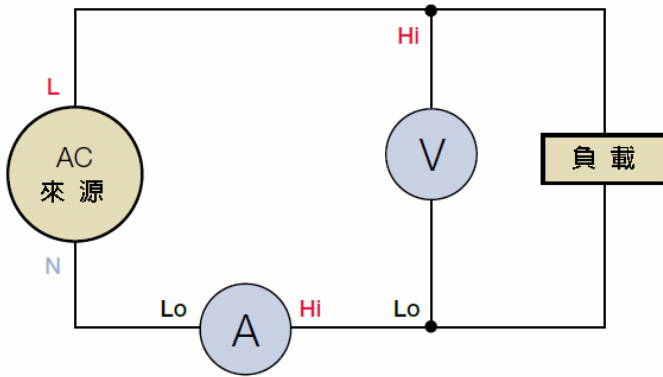


圖23. 直接連接至電源分析儀。

連接

電源分析儀的標準電流輸入將會量測各種的電流，從毫安培到20或30安培RMS。這適用於高達3kW的潮濕電源供應器。

單電源分析儀功率計輸入通道包含一個電壓輸入對 (V_{Hi} 和 V_{Lo}) 和電流輸入對 (A_{Hi} 與 A_{Lo})。

使用中斷盒可採用4mm安全連接器來連接分析儀，並提供標準的交流插座以連接至電源供應器，進而簡化了這些連接。

低功率待機連接

電源分析儀的標準電流輸入將會量測各種的電流，從毫安培到20或30安培RMS。

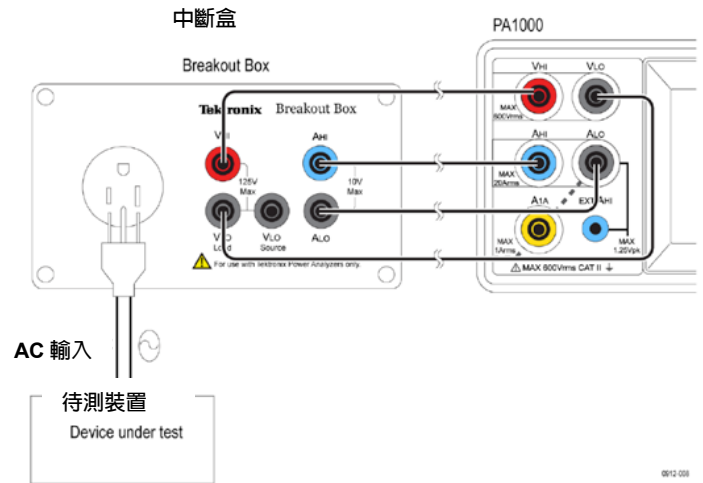


圖24. 使用中斷盒進行安全和簡單的產品測試。

若要量測低功率待機 (mW)，請使用電源分析儀上的低電流輸入。這會標記為 A_{1A} 來表示最大的1 安培 RMS輸入，其範圍從微安培至1 安培 RMS。

若要避免發生錯誤，應特別留意要在電流分流器的來源端連接電壓。您可利用中斷盒上的額外終端 (V_{Lo} 來源) 輕鬆完成此程序。

您可在另一本Tektronix入門手冊《待機電源入門手冊》(可從 www.tek.com.tw/power 下載) 取得這些連接和量測方法的詳細資訊。



圖25. Tektronix CT-xxxx-S精密電流轉換器。

高功率連接

若要擴展電源分析儀的量測範圍超過其額定直流輸入 (通常為20或30A RMS)，即需使用電流轉換器。

轉換器可能是一個簡單的電流變壓器、一個高效能的主動式電流轉換器，或是可產生與待量測電流成比例的電壓輸出的裝置 (電阻分流或Rogowski線圈)。

功率	轉換器	電源分析儀輸入
0~100W	無	低電流 (1A) 輸入
0.5W – 3kW	無	正常 (20A) 輸入
1kW+	簡單的電流變壓器	1A或20A輸入，以符合變壓器輸出
	精密的電流轉換器	1A或20A輸入，以符合變壓器輸出
	附電壓輸出 (並聯或 Rogowski 線圈) 的轉換器	EXT A _{HI} 輸入電壓

表1. 適合不同電源供應器輸入功率的電流量測方法。

在各種情況下，電源分析儀均會提供合適、相符的電流輸入，並可選擇與縮放輸入，使得正確的實際電流可由電源分析儀顯示和記錄。



圖26. 預設的PA1000量測。



圖27. 14種量測顯示。

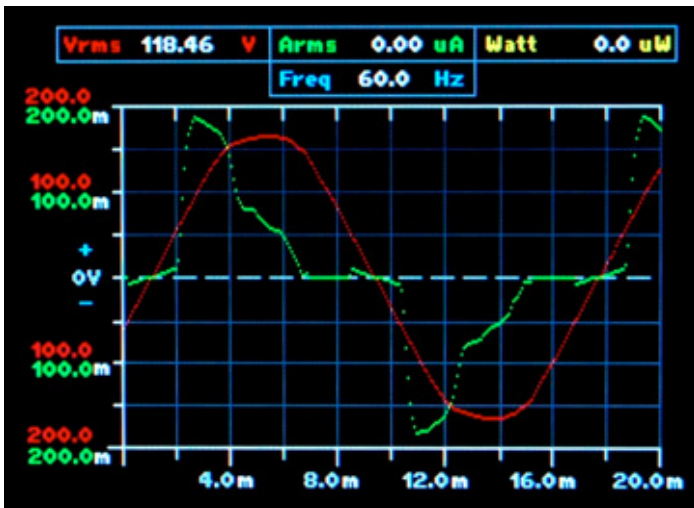


圖28. 電源波形。

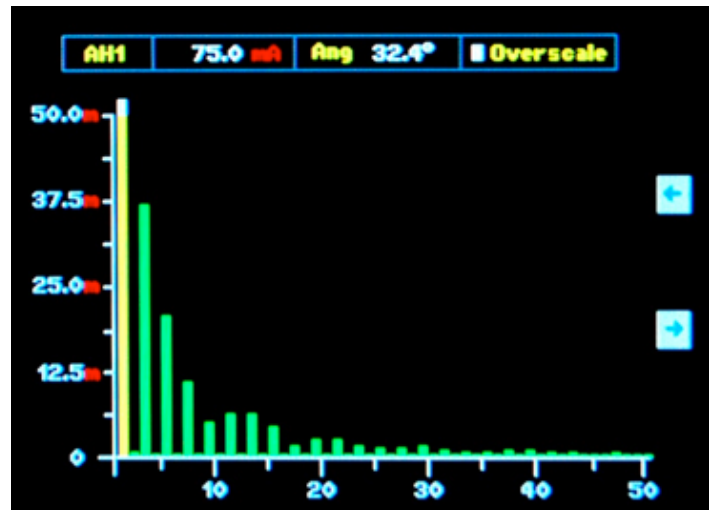


圖29. 電源諧波內容。

使用電源分析儀進行電源量測

若為基本的電源量測，則不需設定分析儀。

您可使用電源分析儀選單系統來選擇和顯示進一步的量測。



圖30. Tektronix PWRVIEW待機電源量測。

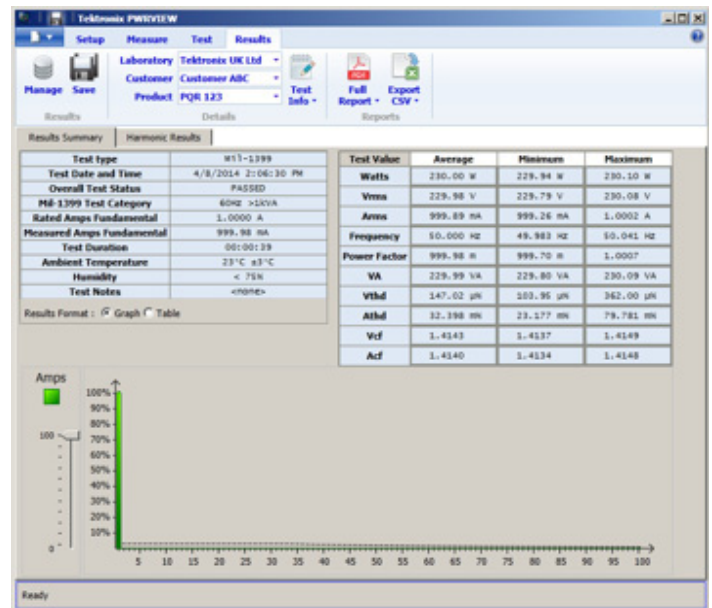


圖31. PWRVIEW PC軟體圖表諧波和極限比較。

進行符合標準的量測

電源、待機電源和效率

許多國際機構已針對電源供應器和終端產品電源和能量效能制定了各方面的限制。

針對電源、效率和空載 (或待機) 電源，由下列法規限制：

- 美國能源獨立和安全法案
- 歐盟生態設計指令EC IPP
- 行動裝置充電器額定

針對由電源供應器供電的家用及辦公室設備和電器，則有進一步的計劃會限制完整終端產品的能源效率和待機電源：

- 能源之星 (ENERGY STAR™)
- California Energy Commission
- EU Eco-Label
- Nordic EcoLabel
- Blue Angel (德國)
- Top Runner (日本)
- Energy Saving (韓國)

電源是使用電源分析儀如上所述進行量測，且相容性則是由與上述相關計劃所描述的限制比較檢查。

效率從輸入功率 (PIN) 和輸出功率 (Pout) 的量測來計算。

$$\text{效率} = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$$

電源分析儀可量測各種交流和直流訊號，因此可同時使用多個電源分析儀來提供方便、準確的效率量測。

上述計劃的待機電源量測將需使用由歐洲標準IEC62301 Ed.2所述的特殊技術。若要以這種方式量測待機電源，將會使用PC軟體來計算和驗證所需要的量測穩定性和不確定性。

諧波限制

使用耦合至電源分析儀的PC軟體，即可快速又方便地記錄和比較諧波量測，並與IEC61000-3-2和其他的限制進行比較。

如PDF格式報告匯出等軟體功能可為電源的相容性量測提供完整的報告功能。

總結

電源供應器是幾乎每種電源供電的電子產品不可分割的組成部分，切換模式電源供應器 (SMPS) 已經成為數位運算、聯網和通訊系統中的主導結構。單一切換模式電源供應器的效能或故障可能會影響昂貴的大型系統的命運。

為保證新興SMPS設計的可靠性、穩定性、效能和相容性，唯一的方式是進行量測。SMPS量測分成數大類，如主動式裝置量測、被動式裝置量測 (主要是磁性元件) 和電源品質量測。某些量測可以處理浮動電壓和高電流，其他量測則要求數學密集型分析，提供有意義的結果。電源量測可能會非常複雜。

現代數位示波器已經成為特性分析和疑難排解量測的首選工具。在配備相應的探測工具和自動量測軟體時，示波器簡化了挑戰性的SMPS 量測，提供了快速準確的量測結果。針對系統級驗證和相容性測試，電源分析儀可提供具有特定準確性和可追溯性的量測。

電源量測

哪種Tektronix儀器適合您的電源應用？

- 自動
- 手動



TPS2000B系列
附TPS2PWR1 模組



MDO/MSO/DPO4000和
MDO/MSO/DPO3000系列
附DPO4PWR、MDO3PWR或
DPO3PWR模組



SO/DPO5000B系列
附DPOPWR選項



PO7000C系列
附DPOPWR選項

技術指標	頻寬	100 MHz-200 MHz	100 MHz-1 GHz	350 MHz-2 GHz	500 MHz-3.5 GHz
	記錄長度	2.5k	高達20M	高達250M	高達500M
	取樣率	高達2 GS/s	高達5 GS/s	高達10 GS/s ^{*1}	高達40 GS/s ^{*1}
	最大輸入電壓 (另請第22頁電壓探棒)	300 V _{RMS} CAT II	300 V _{RMS} CAT II	300 V _{RMS} CAT II	150 V _{RMS}
專用功能	自動校正偏移		X	X	X
	隔離和浮動通道	X			
	Windows作業系統和桌面			X	X
	電池供電操作	X			
	FFT 插槽	X	X	X	X
線路電源品質量測	V _{RMS}	■	■	■	■
	I _{RMS}	■	■	■	■
	真實 (實際) 功率	■	■	■	■
	無效功率	■	■	■	■
	視在功率	■	■	■	■
	功率因數	■	■	■	■
	波峰因數	■	■	■	■
	相位角	■	■	■	■
	諧波	■	■	■	■
	總諧波失真	■	■	■	■
I/O 分析量測	線路漣波	■	■	■	■
	切換雜訊	■	■	■	■
輻射相容性測試	EN61000-3-2預相容性測試	■	■	■	■
	MIL Standard 1399	■	■	■	■
主動式裝置量測	切換損耗量測	■	■	■	■
	安全工作區域	■	■	■	■
	動態電阻 (dv/dt, di/dt)	■	■	■	■
	調變分析		■	■	■
被動式裝置量測	電感			■	■
	磁性功率損耗			■	■
	通量密度		■	■	■
	B-H 曲線			■	■

*1 在一個通道上







TPS2000B系列
附TPS2PWR1模組



MDO/MSO/DPO4000和
MDO/MSO/DPO3000系列
附DPO4PWR、MDO3PWR或
DPO3PWR 模組



MSO/DPO5000B和
DPO7000C系列
附DPO4PWR選項

<p>電源應用</p>	<ul style="list-style-type: none"> 工業電源 汽車 	<ul style="list-style-type: none"> 電源疑難排解 SMPS設計和開發 	<ul style="list-style-type: none"> SMPS設計和開發 預相容性測試 (軍事和工業) 									
<p>探棒</p>	 <p>在與下述探棒結合使用時，TPS2000系列示波器可以實現最佳的電源量測效能：</p> <p>高壓差動式探棒</p> <table border="1" data-bbox="321 982 683 1020"> <thead> <tr> <th>特點</th> <th>型號</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 使用使示波器接地，安全地量測浮動電路或提升電路。 從幾毫伏到幾千伏，動態電壓範圍寬。 </td> <td> - P5150 - P5122 </td> </tr> </tbody> </table>		特點	型號	<ul style="list-style-type: none"> 使用使示波器接地，安全地量測浮動電路或提升電路。 從幾毫伏到幾千伏，動態電壓範圍寬。 	- P5150 - P5122	 <p>TekVPI高壓差動式探棒</p> <table border="1" data-bbox="938 982 1300 1020"> <thead> <tr> <th>特點</th> <th>型號</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 提供 GHz 效能，分析切換式電源 (SMPS) 設計。 使用多種方式連接待測裝置 (DUT)，簡便易用。 </td> <td> - TDP1000^{*2*3*4} - TDP0500^{*2*3*4} - THDP0500^{*2*3*4} (量測高達±1500 V) - THDP0100^{*2*3*4} (量測高達±6000 V) </td> </tr> </tbody> </table>		特點	型號	<ul style="list-style-type: none"> 提供 GHz 效能，分析切換式電源 (SMPS) 設計。 使用多種方式連接待測裝置 (DUT)，簡便易用。 	- TDP1000 ^{*2*3*4} - TDP0500 ^{*2*3*4} - THDP0500 ^{*2*3*4} (量測高達±1500 V) - THDP0100 ^{*2*3*4} (量測高達±6000 V)
	特點	型號										
	<ul style="list-style-type: none"> 使用使示波器接地，安全地量測浮動電路或提升電路。 從幾毫伏到幾千伏，動態電壓範圍寬。 	- P5150 - P5122										
	特點	型號										
	<ul style="list-style-type: none"> 提供 GHz 效能，分析切換式電源 (SMPS) 設計。 使用多種方式連接待測裝置 (DUT)，簡便易用。 	- TDP1000 ^{*2*3*4} - TDP0500 ^{*2*3*4} - THDP0500 ^{*2*3*4} (量測高達±1500 V) - THDP0100 ^{*2*3*4} (量測高達±6000 V)										
	 <p>電流探棒</p> <table border="1" data-bbox="321 1455 618 1493"> <thead> <tr> <th>特點</th> <th>型號</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 變壓器和霍爾效應技術，增強 AC/DC 量測功能。 從幾毫安培到幾千安，動態電流範圍寬。 </td> <td> - TCP202 - TCPA300，附TCP303、TCP305A和 (或) TCP312A </td> </tr> </tbody> </table>		特點	型號	<ul style="list-style-type: none"> 變壓器和霍爾效應技術，增強 AC/DC 量測功能。 從幾毫安培到幾千安，動態電流範圍寬。 	- TCP202 - TCPA300，附TCP303、TCP305A和 (或) TCP312A	 <p>TekVPI電流探棒</p> <table border="1" data-bbox="938 1455 1300 1493"> <thead> <tr> <th>特點</th> <th>型號</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 傑出的頻寬 (直流至120MHz) 和廣泛的動態範圍 (幾毫安培到幾百安)。 分芯結構，可以更簡便、更迅速地連接待測裝置 (DUT)。 </td> <td> - TCP0020^{*2*3*4} - TCP0030A^{*2*3*4} - TCP0150^{*2*3*4} </td> </tr> </tbody> </table>		特點	型號	<ul style="list-style-type: none"> 傑出的頻寬 (直流至120MHz) 和廣泛的動態範圍 (幾毫安培到幾百安)。 分芯結構，可以更簡便、更迅速地連接待測裝置 (DUT)。 	- TCP0020 ^{*2*3*4} - TCP0030A ^{*2*3*4} - TCP0150 ^{*2*3*4}
特點	型號											
<ul style="list-style-type: none"> 變壓器和霍爾效應技術，增強 AC/DC 量測功能。 從幾毫安培到幾千安，動態電流範圍寬。 	- TCP202 - TCPA300，附TCP303、TCP305A和 (或) TCP312A											
特點	型號											
<ul style="list-style-type: none"> 傑出的頻寬 (直流至120MHz) 和廣泛的動態範圍 (幾毫安培到幾百安)。 分芯結構，可以更簡便、更迅速地連接待測裝置 (DUT)。 	- TCP0020 ^{*2*3*4} - TCP0030A ^{*2*3*4} - TCP0150 ^{*2*3*4}											
<p>特點</p>		<p>特點</p>										

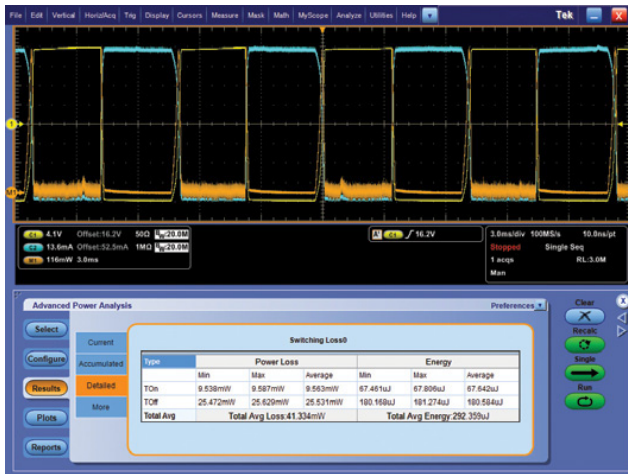
*1 TPS2000 系列要求1103 電源。

*2 在示波器探棒功耗總和超過20W時，MSO/DPO3000系列要求TekVPI外部電源19-7465-XX。

*3 在示波器探棒功耗總和超過12W時，MSO/DPO5000系列要求TekVPI外部電源19-7465-XX。

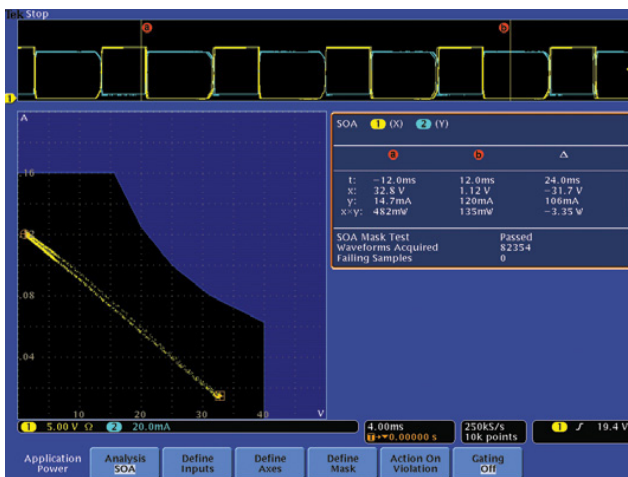
*4 MDO3000系列供應高達25W的總示波器探棒電源。

電源量測和分析應用軟體



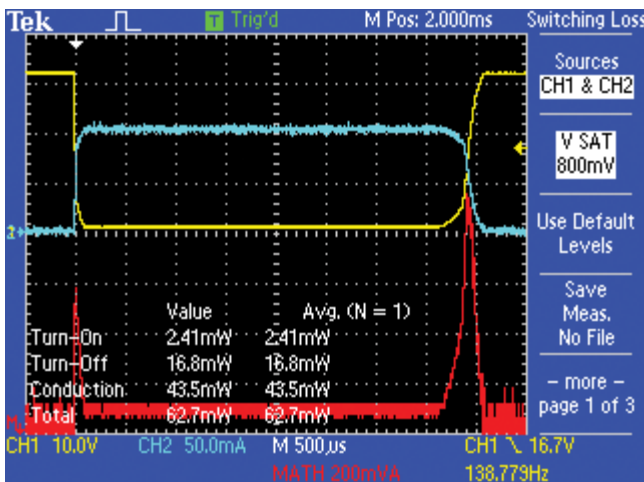
MSO/DPO5000、DPO7000和MSO/DSA/DPO70000系列示波器DPO4PWR 模組

- 自動偏移校正功能，支援多廠商探棒
- 迅速量測和分析電源切換式裝置和磁性元件中的功耗
- 以可以自訂的格式產生詳細的測試報告



MDO/MSO/DPO4000系列示波器DPO4PWR模組、MDO3000系列示波器MDO3PWR模組和MSO/DPO3000系列示波器DPO3PWR模組

- 自動偏移校正功能，支援TekVPI 探棒
- 迅速量測和量測電源切換式裝置中的電源品質、切換損耗、諧波、SOA、調變、漣波和轉換速率



TPS2000系列示波器TPS2PWR1模組

迅速量測和分析暫態功率、諧波、切換損耗、相位角、dv/dt 和 di/dt

選擇您的下一台電源分析儀

量測電源和能量。

PA1000 和 PA4000 電源分析儀結合了準確性與易用性，為設計和測試工程師提供高價值的量測解決方案。這些電源分析儀配備了正在申請專利的 SpiralShunt™ 技術，在超過 1 年校準週期後，以及在電流和溫度的變化期間，仍可保證強韌的效能。



PA1000 單相電源分析儀

同類最佳的準確性和連通性。易於使用但配備齊全的功能，可加速電源供應器及連接至交流電源線上的任何產品的設計和測試程序。

產品特點

- 0.05 % 讀數 + 0.05 % 量程基本準確度
- 雙分流最大化準確度低和高電流量測
- USB、乙太網路和 GPIB 介面
- PWRVIEW PC 軟體進行量測和控制。包括 IEC 62301 Ed.2 的待機功耗
- 諧波、浪湧和能源 (W-H) 的量測



具有 4 或 14 種量測和波形、諧波和能量趨勢圖的彩色顯示器。

PA4000 多相電源分析儀

PA4000 採用了最新的技術，擁有無與倫比的準確度，加上許多標準功能，可適應幾乎任何的電源轉換測試應用。

產品特點

- 1 至 4 通道功率計具有精密匹配的 V 和 I 輸入，1000V RMS 30A RMS 直接輸入
- 0.01% 讀數 + 0.04% 範圍基本準確度
- 1MHz 的頻寬
- 特定應用的測試模式，適用於馬達驅動器、安定器、備用電源和能量整合
- 諧波量測至第 100 次諧波
- 彩色顯示器，具有波形圖形、向量長條圖。



每個通道功率計均同時具有高、低範圍 SpiralShunt™ 量測輸入。



訊號源為您提供完整的量測解決方案

AFG3000系列任意波形/函數產生器

透過建立高振幅訊號，模擬裝置，而不使用外部功率放大器，您可以節約成本和設定時間。AFG3011在高達10 MHz的頻率上提供了高達20 V_{p-p}振幅 (到50Ω負載)。AFG3000系列其他型號提供了高達240 MHz的頻率及一條或兩條通道，建立最多兩個同步訊號或完全獨立的訊號。

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 聯絡方式：

東南亞區協/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/南美洲與加勒比海諸國 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。

2014 年 4 月 EAWWW

55T-18412-8

Tektronix