

利用示波器量測電源供應器切換損耗

應用摘要

介紹

隨著提高電源效率和延長電池供電裝置運作時間的需求增加，使得分析電源損耗和最佳化電源供應器效率的能力將比以往任何時候都更加重要。其中一個關鍵的效率因素即是切換裝置中的損耗。

本應用摘要將提供這些量測的快速概述，以及一些實用的技巧，讓您在利用示波器和探棒進行更完善且可重複的量測。

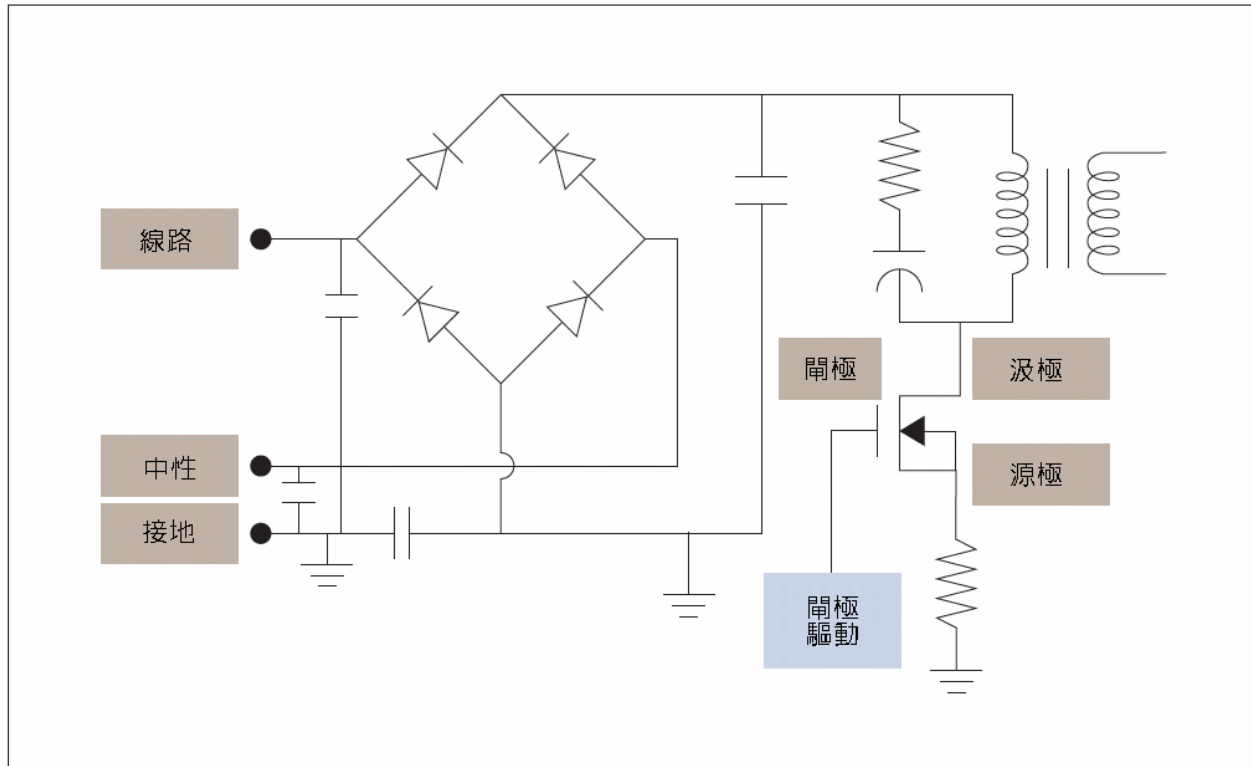


圖 1. 簡化的切換模式電源供應器切換電路

典型的切換模式電源供應器可能具有約 87% 的效率，這意味著會有 13% 的輸入功率會在電源供應器內耗損 (主要會成爲廢熱)，而在這些耗損中，有很大的部分是在切換裝置 (通常是 MOSFET 或 IGBT) 中耗損。

理想情況下，切換裝置僅有「開」或「關」兩種狀態 (就如電燈的開關裝置)，而且可在這些狀態之間立即切換。在「開」狀態下，切換的阻抗爲零，不論有多少電流流過，在切換過程中皆不會有功率耗損；而在「關」狀態下，切換的阻抗則爲無限且無電流流動，所以沒有功率耗損。

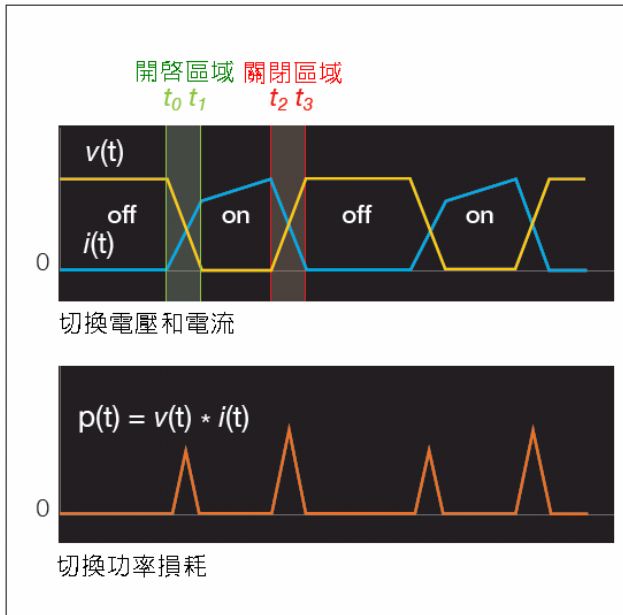


圖 2. 將通過切換裝置的瞬時電壓和電流相乘可得到整個切換週期的瞬時功率。

在實作中，一些功率會在「開」(傳導) 的狀態下耗損，但通常，則會有明顯更多的功率是在「開」/「關」(關閉) 之間和「關」/「開」之間 (開啓) 的轉換期間耗損。

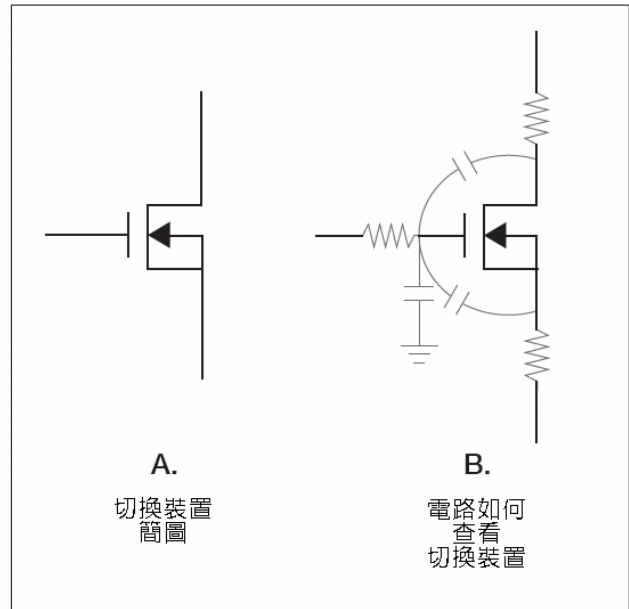


圖 3. A：切換裝置簡圖，B：電路如何查看切換裝置。

由於電路中存在寄生元素，所以會發生這些非交易行為。如圖 3b 所示，關上的寄生電容會減慢裝置的切換速度，延長了開啓和關閉的時間。每當汲極電流流動時，MOSFET 汲極與源極間的寄生電阻便會消耗功率。

傳導損耗

在傳導狀態下，切換裝置具有一個小電阻，在電壓越過該電阻時會使電壓下降，而當電流函數流過時切換即會耗散功率。

針對 MOSFET，此功率模型通常會建構為：

$$P = I_D^2 * R_{DSon} = I_D * V_{DS}$$

- 其中 I_D 為汲極電流，
- R_{DSon} 為汲極和源極之間的動態啓動電阻，通常 $< 1 \text{ W}$ ，以及
- V_{DS} 為汲極和源極之間的飽和電壓，通常 $< 1 \text{ V}$

針對 IGBT 或 BJT，此功率模型通常會建構為：

$$P = I_C * V_{CEsat}$$

- 其中 I_C 為集電極電流，以及
- V_{CEsat} 為集電極和射極之間的飽和電壓，通常 $< 1 \text{ V}$

開啓損耗

在開啓期間，通過切換裝置的電流會迅速增加，且通過裝置的電壓下降則會迅速減少。然而，寄生元素 (如 MOSFET 中的閘極 - 汲極電容) 會防礙切換裝置立即開啓。當裝置開啓時，會有顯著的電流流過裝置和顯著的電壓通過切換裝置，並會出現顯著的功率損耗。

針對 MOSFET，在開啓期間，此功率模型通常會建構為：

$$P = I_D * V_{DS}$$

- 其中 I_D 為汲極電流，以及
- V_{DS} 為汲極和源極之間的電壓

針對 IGBT 或 BJT，在開啓期間，此功率模型通常會建構為：

$$P = I_C * V_{CE}$$

- 其中 I_C 為集電極電流，以及
- V_{CE} 為集電極至射極電壓

關閉損耗

以類似的方式進行，在關閉期間，通過切換裝置的電流會迅速減少，且通過裝置的電壓下降則會迅速增加；然而，電路寄生元素防礙切換裝置立即關閉。當裝置關閉時，會有顯著的電流流過裝置和顯著的電壓通過切換裝置，並會出現顯著的功率損耗。上述公式同樣適用。

量測切換損耗

有兩種方法可量測切換損耗：您可利用手動設定和內建的示波器量測功能來進行量測，而在某些示波器上也具備自動量測系統。自動量測具有易於設定，以及可提供易於重複的結果等優勢。無論您使用哪種方法，謹慎地探測和最佳化程序均將有助於您取得好的成果。

探測和量測設定

在討論特定的電源量測之前，應先執行六個關鍵步驟，以進行準確且可重複的量測：

1. **移除電壓偏移誤差**：差動式探棒中的放大器可能具有微小的直流電壓偏移，這將會影響量測準確度。將輸入短路且不施加訊號，自動或手動將探棒中的直流偏移調整為零。
2. **移除電流偏移誤差**：由於探棒中的殘餘磁力，以及放大器偏移，電流探棒也可能會出現直流偏移誤差。將鉗口關閉且不施加訊號，自動或手動清除探棒中的直流偏移。
3. **移除時序誤差**：因為瞬時電源量測值是根據多個訊號所計算出的值，所以訊號務必要與進行適當的時間校準。量測電壓和電流會使用不同的技術，而且通過這些裝置的傳播延遲可能會明顯不同，進而導致量測誤差。您可調整通道內時序以配合偏斜校正功能表中標稱傳播延遲的差異，通常可取得良好的結果。如需最準確的結果，請對所有的輸入套用高轉換速率訊號，並謹慎地移除所有通道之間的任何相對時序偏移（偏移）。
4. **最佳化訊號/雜訊比**：在所有的量測系統中，尤其是在如現代示波器的數位裝置，良好的量測技術需要維持訊號盡可能大（不限幅），以盡量減少雜訊的影響，並盡可能地提高垂直解析度。這包括探測訊號時使用最低的必要衰減並使用示波器的全動態範圍等程序。
5. **訊號調整**：量測品質也可透過調節輸入訊號來改善。頻寬限制功能可用於選擇性地減少感興趣頻率以上的雜訊，並且平均功能可用於減少訊號上不相關或隨機的雜訊。HiRes 擷取模式是一種箱型平均方法，提供頻寬限制和雜訊減少、增加垂直解析度，甚至還可以在單一擷取的訊號上使用。
6. **準確度和安全性**：為了獲得最佳的準確度，請務必在正常的操作範圍內（並低於峰值率）使用設備。而且，為了您的安全，請務必將設備保持在絕對最大規格內，並遵循製造商的使用指示。

量測切換損耗 — 手動設定和內建量測

量測關閉損耗的方法之一即是閘控量測。其目的是在關閉相位期間量測平均的功率耗損。在本例中，MOSFET 的 VDS 是由差動式電壓探棒所擷取，如圖 4 中的黃色部分所示。汲極電流則是由交流/直流電流探棒所擷取，如圖中的藍綠色部分所示。每個通道的垂直靈敏度和偏移均已進行調整，使該訊號佔據超過一半的垂直範圍，但不會超出刻度的頂部和底部。

穩定的顯示畫面對視覺化分析非常重要，所以示波器的邊緣觸發會設為電壓波形上 50% 的點，之後將取樣率設為在訊號邊緣上保證有足夠的時序解析度。在這種情況下，10 MS/s 的取樣率會導致在切換波形的每個邊緣上存在許多取樣點。最後，會啟用 HiRes 擷取模式，以將訊號頻寬減少至約 4.4 MHz，並將垂直解析度增加為約 12 位元。

隨後會使用波形數學，將電流乘以電壓來建立橙色的瞬時功率波形。自動量測會用於量測功率波形的平均值，而游標閘控則用於將量測限制到關閉區域。為了增加平均功率量測的解析度和可重複性，量測值可以跨越多次擷取進行平均，以移除隨機雜訊的影響。在這種情況下，超過 1,000 組的所得關閉功率量測的平均值將會顯示在圖 4 顯示畫面的左下角。



圖 4. 在 MOSFET 切換模式中關閉功率損耗的閘控自動量測。

在本例子中，工程師是以手動方式調節示波器來最佳化關閉損耗量測的品質。日後，此工程師或其他工程師可能會以些微不同的方式來設定量測，從而導致不同的量測結果。若透過電源分析軟體自動化量測程序，將可消除許多變異的來源。



圖 5. DPOPWR 自動切換損耗量測。

使用電源分析軟體量測切換損耗 — 自動

若要持續最佳化設定，並改善量測重複性，則功率量測應用便可能非常實用。在這種情況下，DPOPWR 進階電源分析應用程式可為切換損耗量測提供自訂的自動設定功能，然後按一下按鈕，即可進行整套的切換損耗功率和能量量測。

旋轉率和切換損耗

如從檢測瞬時功率波形所預期，以及由圖 5 中的切換損耗量測值所指示的結果，關閉損耗的確是總切換損耗中的主要損耗機制。出現此高損耗的潛在原因是切換驅動電路的效能。若驅動訊號的過渡時間或旋轉率慢於預期，則切換維持在開啓和關閉狀態之間的時間將長於預期，且切換損耗也將高於預期。

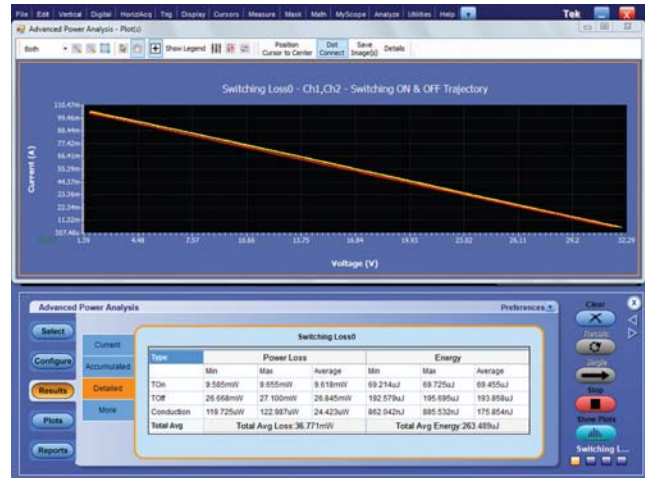


圖 6. DPOPWR 可顯示在多個週期內開啓 (黃色曲線) 和關閉 (紅色曲線) 時的電壓與電流，以查看特性隨時間的變化。此電路的開啓和關閉狀態皆十分緩慢和平衡，所以會呈現線性圖形。

旋轉率量測值是在給定的時間間隔 (通常介於邊緣上 10% 和 90% 的點之間) 內的電壓變化，單位為 V/s。因為數學導數在本質上是一個高通濾波器，並會加重雜訊，建議您使用平均值，以減少隨機雜訊對這些量測的影響。

您可以使用游標手動進行旋轉率量測：將一個波形游標放在訊號邊緣 10% 的點，另一個游標則放在波形邊緣 90% 的點上。之後，將電壓量測之間的差值除以游標之間的時間差來計算旋轉率。此技術需要使用者估計波形上 10% 和 90% 的點並計算結果。



圖 7. 在 MOSFET 閘上的自動旋轉率量測。

許多示波器可以利用自動量測來改善此程序。自動振幅和上升時間量測可用於確定訊號的振幅，在該振幅的 10% 和 90% 位置設定量測臨界值，然後量測訊號的上升時間。若為複雜的訊號，游標閘控功能可以用於將量測聚焦在波形的特定部分。然後將振幅乘以 80% 並除以上升時間量測值，即可計算旋轉率。

然而，電源分析軟體可輕鬆進行旋轉率量測設定，當設計工程師調整電路中的組件值時可減少量測結果中的變異。

MOSFET 閘上的游標閘控旋轉率量測 (VGS，顯示為圖 7 通道 3 上的紫色部分) 顯示因為切換裝置的閘上的訊號高於預期電容，使得切換訊號比設計規格要慢得多。



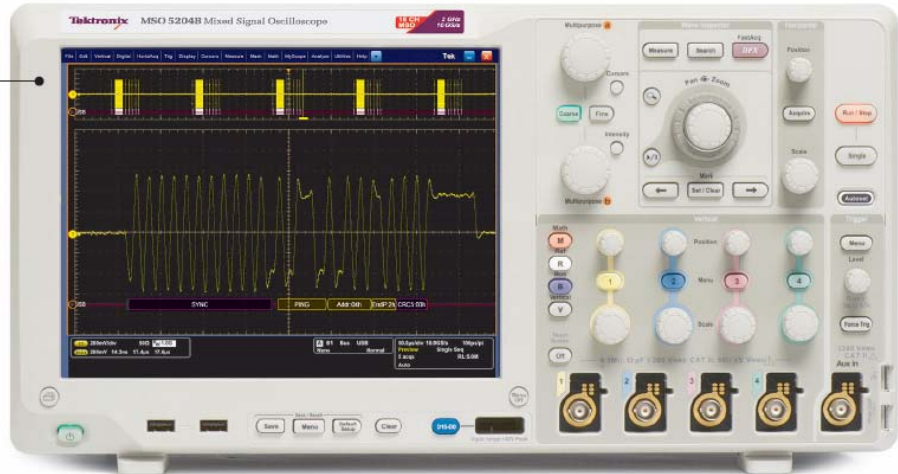
圖 8. DPOWPR 自動切換損耗量測，呈現顯著的改善。

圖 7 中垂直游標之間所顯示的指數衰減是由閘極驅動電路的輸出阻抗、切換 MOSFET 裝置內的寄生閘電容及閘電路電容所組成的函數。當驅動訊號的速度增加時，降低閘極驅動輸出阻抗和閘節點電容，該切換損耗將可改善約 30%，如圖 8 所示。

切換損耗量測是最佳化切換模式電源供應器效率的重要組成部分。使用良好的量測技術和自動化電源量測，您可輕鬆地執行一系列複雜的切換損耗量測，不僅快速，又可重複執行。

本應用摘要中所顯示的量測均是使用下列測試設備進行：

MSO5204B 混合訊號示波器



DPOWPR 進階電源分析
應用程式



TDP1000 1 GHz 差動式探棒



TCP0030A 120 MHz 交流/直流電流探棒



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
愛爾蘭* 00800 2255 4835
印度 000 800 650 1835
義大利* 00800 2255 4835
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
澳門 400-820-5835
蒙古 400-820-5835
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 (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+7 (495) 7484900
新加坡+65 6356-3900
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 2656 6688
英國* 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 2 月

46T-60010-0

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 臺北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-1158

太克網站：www.tektronix.com.tw

Tektronix

