

Tektronix 電力電子測試 | 應用大全



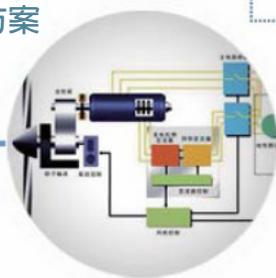
LED 測試解決方案



交換式電源供應器
測試解決方案



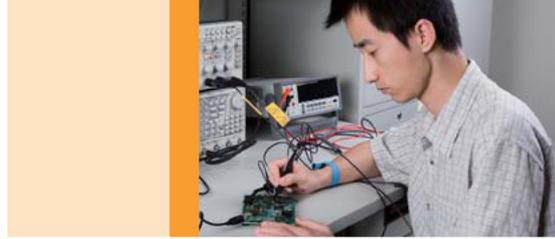
節能設計解決方案



變頻/逆變器測試
解決方案



浮動量測解決方案



Tektronix 科技，全球測試量測領導廠商 縮短與新一代創新的距離



幾乎每次您在瀏覽網站、按一下滑鼠、使用手機通話或打開電視機時，都會接觸到 Tektronix 的技術。60 多年以來，工程師不斷向 Tektronix 尋求測試、量測和監控解決方案，以因應設計挑戰，提高生產效率，大幅縮短產品上市時間。Tektronix 公司創始人在 1946 年發明世界上第一台觸發式示波器，從這個突破性的技術創新開始至今，Tektronix 已經崛起成為全球最大的測試、量測和監控設備供應商之一，為專注於電子設計、製造及先進技術開發的工程師提供支援。

Tektronix 提供了通用測試產品，包括：示波器、誤碼儀、信號源、邏輯分析儀、頻譜分析儀、電源供應器、萬用電錶、計頻器和探棒治具配件，以及各種視訊/音訊測試、量測和監控產品。在示波器市場，Tektronix 是全球銷量最大的公司，也是 80% 工程師的首選品牌。憑藉最廣泛的數位示波器產品種類、最高的量測準確度、最豐富的產品特性、最全面的分析功能以及我們的獲獎服務與支援，Tektronix 能夠滿足您對測試的任何嚴苛需求。

Tektronix 在各領域贏得了廣泛的客戶群，包括全球通訊、電腦和半導體產業，以及航空航太、消費性電子、教育和廣播等，在許多以技術創新馳名的業界巨擘的設計中心、實驗室以及通訊網絡之中，都有 Tektronix 的技術和產品。

- 觀看公司影片介紹
- 下載最新產品目錄
- 搜尋產業類別解決方案

www.tek.com.tw

太克科技股份有限公司

電話: (02) 2656-7559 傳真: (02) 2799-1158

按讚加入太克臉書粉絲團：<http://www.facebook.com/TektronixTW>

目錄

第一章 現代電子電力產業應用方案

a. Tektronix LED 照明驅動測試解決方案.....	5
b. Tektronix 變頻驅動設計除錯方案.....	8
c. Tektronix 伺服數控產業測試方案.....	13
d. Tektronix 交換式電源供應器測試方案	16
e. Tektronix 消費性電子產品節能設計應用	26

第二章 電力電子測試技術與應用技巧

a. 浮動和隔離通道示波器.....	30
b. 電源量測和分析入門手冊	37
c. 差動量測與差動式探棒.....	55
d. 電流探棒使用技巧.....	69
e. 電源供應器漣波量測技巧.....	71
f. 待機和洩漏電流測試	73

第三章 產業培訓講義

a. 交換式電源供應器的量測與驗證	76
b. LED 照明驅動量測技術.....	120
c. Tektronix 變頻器測試方案.....	137
d. 大功率逆變器的測試技術	152

第四章 Tektronix 測試選購指南

a. 示波器及探棒選購指南.....	171
b. Tektronix 高壓探棒	175
c. Tektronix 高壓差動式探棒.....	178
d. Tektronix 電流探棒資料	182

第五章 其他 Tektronix 測試儀器方案介紹

a. MDO4000 系列混合域示波器	195
b. DMM4000 系列數位萬用電錶	198
c. AFG3000 系列任意波形/函數產生器.....	200
d. FCA/MCA3000 系列	201
e. PWS4000/2000 系列可程式直流電源供應器	202–203

第一章

現代電子電力產業應用方案

Tektronix LED 照明驅動測試解決方案

LED (發光二極體) 照明是目前高速發展的新型產業，LED 照明具有節能、環保、長壽命、易控制、免維護等特性，越來越受到市場的喜愛。眾多國家已經制定政策，計畫在數年內採用 LED 照明技術替代白熾燈。隨著 LED 半導體技術的發展，LED 的發光亮度更高，價格更低，LED 照明的普及時代已經到來。

LED 照明驅動面臨的設計要求

LED 本質上是電流驅動裝置，發光強度和顏色都與驅動電流有關。恆流驅動電源供應器是理想的 LED 驅動電源供應器，但出於成本考量，對於發光品質要求不高的場合，也使用部分恆壓驅動電源供應器。LED 的光電轉換效率很高，但驅動電源供應器的效率參差不齊，在整體上制約著 LED 照明系統的整體效率，使 LED 照明系統的節能特性難以充分發揮。隨著社會對供電品質的要求不斷提高，人們越來越關注用電設備帶來的電源品質和諧波問題。如歐盟已經發佈標準，規定功率大於 25W 的電源裝置必須具備功率因數校正電路。

輸入電源品質測試

量測驅動電源供應器的輸入功率、功率因數和諧波有很多方法，使用具有電源分析功能的 Tektronix 示波器產品可以輕鬆完成這些電源品質量測。使用 1 個通道量測輸入電壓，1 個通道量測輸入電流，搭配示波器內建的電源分析軟體，所有的電源品質相關參數可以直接顯示在螢幕上。

驅動電源供應器效率提升與測試

評估 LED 照明系統效率的關鍵在驅動電源供應器，低效率的驅動電源供應器將導致整個照明系統的效率不高，難以發揮 LED 照明高效率的特性。而驅動電源供應器效率和電源供應器內部切換損耗直接相關，在切換裝置損失的能量會轉化為熱量聚集在電源供應器內，因此降低電源裝置的損耗不但是提高電源供應器效率的要求，也

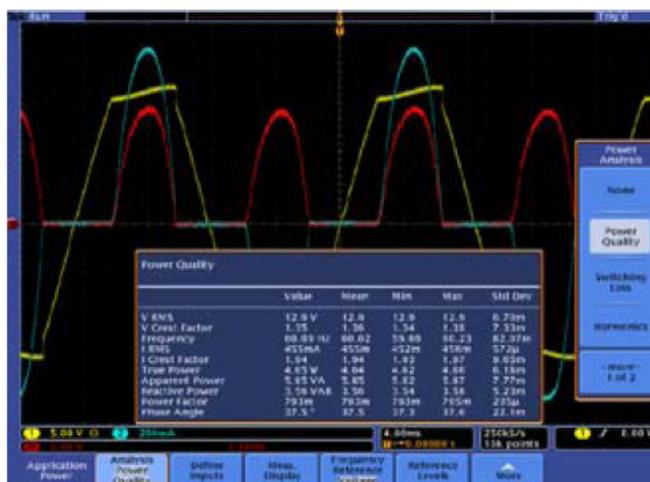


圖 1. 電源品質參數測試

是提高系統熱穩定性和可靠性的關鍵因素。量測電源裝置的切換損耗並不容易，因為裝置在開啓和關閉工作狀態下的電壓振幅相差巨大，一般的示波器產品無法在如此大的動態範圍準確量測開啓狀態下的微小電壓，傳導損耗無從量測。對於高速切換的電源裝置，只能透過電壓和電流相乘得到暫態功率的辦法計算功率。這時電壓和電流必須是同一時間的波形，否則誤差巨大。但電壓探棒和電流探棒的原理和結構不同，對於高速切換訊號的時間延遲也不同，如果不能準確地校正這一時間偏差，示波器的量測結果是不可信的。Tektronix 的示波器功率量測方案具有強大的探棒校驗功能，可完全消除時間延遲誤差。(請參閱相關的應用摘要內容)。

使用 Tektronix 高壓差動式探棒量測 MOSFET 的 V_{ds} ，同時用電流探棒量測 I_{ds} ，即可得到 MOSFET 切換過程的暫態功率波形。透過相關的參數設定得到穩定的週期訊號顯示後，Tektronix 電源分析軟體可以直接提供開啓、關閉、傳導等各時間段的功率和能量損耗值。獨家波形搜尋功能，讓您更輕鬆找到電源或負載變化時最大損耗時間點。

第一章：現代電子電力產業應用方案



圖 2. MOSFET 切換損耗測試



圖 3. 輸出漣波測試

輸出漣波測試

輸出漣波會影響 LED 的光輸出效果。但減小漣波需要使用更高品質和容量的電容。為提高電源供應器整體的使用壽命，設計師往往傾向於採用無電容方案。工程師必須在輸出漣波規格上確定折中方案。因此準確地量測漣波就顯得十分重要。Tektronix 示波器電源測試方案中具有漣波量測功能，可以一鍵完成漣波參數的量測。正如前面提到過的，LED 是恆流驅動裝置，高品質的驅動電源供應器需要有很好的電流漣波規格。頻寬高達 120 MHz 的 Tektronix 電流探棒可以保證使用者準確地測試出輸出電流中的各種頻率漣波，不會遺漏高頻分量。

此外，如果工程師希望透過簡單的數位電錶來完成這項任務，那麼 Tektronix 數位萬用電錶的雙參數量測功能可以輕鬆幫您達成。在量測直流電壓和電流的同時，DMM4000 系列數位萬用電錶可以同時顯示交流電壓或電流分量。



圖 4. 使用 DMM4000 數位萬用電錶的雙參數量測功能測試漣波

準確量測輸出功率

輸出漣波帶來的另外一個問題是對輸出功率量測的影響。傳統的功率量測採用下面的公式量測功率。

$$P = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos \phi$$

由於 LED 驅動電源供應器的輸出具有大量的漣波，普通的功率錶的頻寬是有幾 KHz，對輸出中的高頻訊號會有很大的衰減，遺漏這部分的高頻分量，會造成實際量測結果偏低。

採用示波器暫態功率積分的方法計算功率，可以有效地避免這些問題，輕鬆獲得準確的功率值。

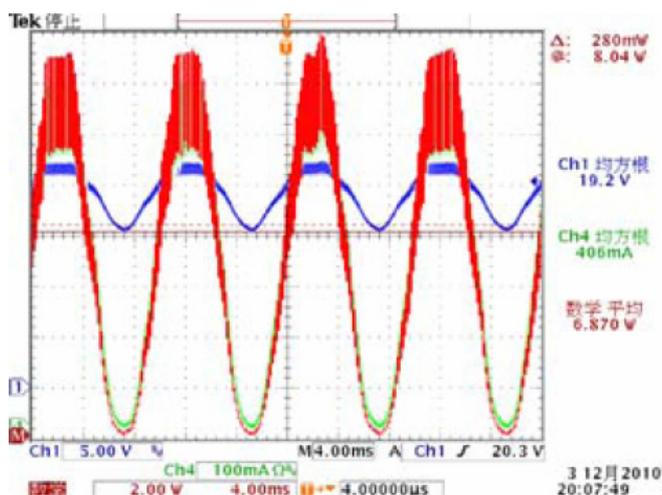


圖 5. 示波器使用暫態功率積分法量測輸出功率

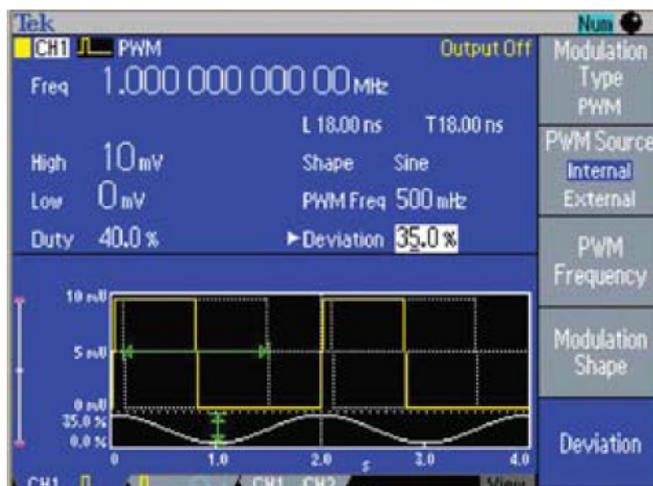


圖 6. AFG3000 的 PWM 訊號輸出功能

調光電路的設計與測試

調光功能是高階 LED 照明產品需要的功能，也是 LED 照明進入家庭照明的必要條件。LED 調光的最新技術是 PWM 調光技術。透過產生不同脈波寬度的 PWM 訊號，控制電源裝置的開啓和關閉的比例，從而達到調整輸出光通量的目的。相較於其他調光方式，PWM 調光不改變 LED 流過的電流大小，燈具不會出現偏色，也避免了電阻調光帶來的能量損失，保持了 LED 照明的高效率。Tektronix AFG3000 任意波形產生器可以輕鬆完成 PWM 訊號的輸出，使用者可以任意改變 PWM 變化的形式、脈波寬度輸出的比例以及變化，只需在面板上按一個鍵，即可完成所有的操作。產生器內建的阻抗調整功能可以適應更多的電路需要。

總結

LED 照明是綠色環保產業，市場需求和國家政策的雙重推動必將帶來 LED 產業的高速發展。工程師面臨了縮短開發時間和降低設計成本的壓力，Tektronix LED 照明驅動測試方案能夠提高測試效率、增加測試準確度，幫助工程師輕鬆完成開發測試。



配置方案

Tektronix LED 測試建議方案	
示波器	DPO4000B/3000 數位螢光示波器 + DPOxPWR 功率分析模組
探棒	TMDP0200 高壓差動式探棒 + TCP0030 電流探棒
數位萬用電錶	DMM4040 6.5 位桌上型數位萬用電錶
任意波形產生器	AFG3022B 任意波形產生器
桌上型電源供應器	PWS4323 系列桌上型可程式電源供應器
軟體	SignalExpress 儀器控制和資料擷取軟體
特性：電源品質、切換損耗、諧波、安全工作區、調變、漣波和轉換率的自動量測；自動校驗探棒偏差，保證測試準確度。輕鬆產生 PWM 訊號，完成調光電路設計	
基本測試方案	
示波器	TPS2012B
探棒	P5201 高壓差動式探棒 + A622 電流探棒
萬用電錶	3.5 位/4.5 位 Fluke 手持式萬用電錶
訊號產生器	AFG3021B
桌上型電源供應器	PWS2323 桌上型電源供應器
特性：達成基本測試，全部工作手動完成，成本低	

Tektronix 變頻驅動設計除錯方案

變頻驅動技術已經廣泛地應用在工業生產和日常生活的各個領域，從冶金、石化、紡織產業，到冰箱、空調和洗衣機，變頻器在我們身邊幾乎無處不在。隨著節能減碳要求的不斷提高，市場需要變頻驅動設備廠商生產出更加高效節能、調速效能更優秀、更加智慧的產品。大容量、高效率、高可靠和智慧化已經成為變頻器市場的發展方向。

作為變頻驅動裝置的開發設計人員，工程師需要一套完善的工具，在設計開發的各個階段，除錯和驗證電路設計。特別是隨著匯流排技術的發展和智慧化要求的不斷提高，密切跟隨負載變化的快速回應功能和工業匯流排控制功能，成為變頻器設計的一個重要部分。在眾多的除錯工具和方案中，Tektronix 以示波器為核心的綜合除錯方案發揮著重要作用。

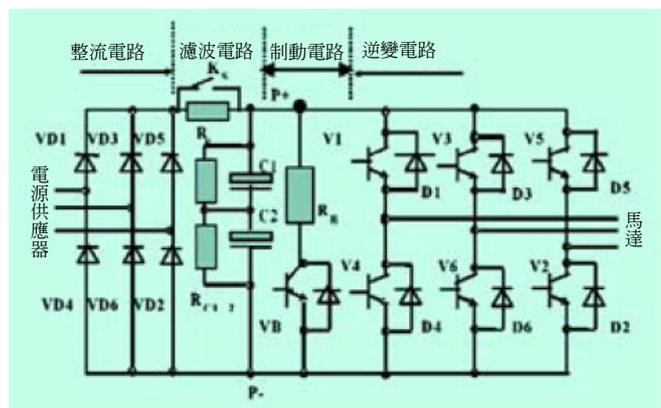


圖 1. 變頻器驅動電路方塊圖

電源品質和切換損耗分析

變頻器是能量轉換和驅動裝置，對變頻器功率和效率量測是不可缺少的。在電氣效率方面，一個重要的影響因素是 IGBT 本身的損耗影響。Tektronix 示波器具有功率量測和損耗量測的功能，搭配業界規格最優秀的 Tektronix 高壓差動式探棒和電流探棒使用，可以準確量測輸入或輸出功率，以及 IGBT 的損耗情形。如果選購 Tektronix 功率分析模組，更可以將這些操作簡化到按幾個鍵即可得到測試結果。主要測試內容包括：實功率、虛功率、視在功率、功率因素、相角、IEC61000 規定的諧波測試、切換損耗、安全工作區，以及 dv/dt、di/dt 結果。



圖 2. 電源品質參數量測



圖 3. 電流諧波分析



圖 4. 儲能電容的漣波量測

電容器選擇與漣波量測

很多變頻裝置的中間儲能環節使用的是電容器，對於電解電容器來說，溫升是影響使用壽命的一個重要因素，而溫升和電容器的電流漣波有效值的平方成正比，因此準確量測並減小電流的漣波十分重要。Tektronix 示波器擁有業界最優秀的電流探棒，擁有高達 120 MHz 頻寬，可以準確量測低達 1 mA 的漣波，使用者可以完全信賴量測結果。

SPWM 訊號測試

SPWM 調變訊號是設計人員必須觀測的訊號，工程師需要偵測實際輸出的 PWM 電壓訊號的基波頻率、波形和有效值是否正確。透過 Tektronix 獨有的 FilterVu 功能或趨勢量測功能，設計人員可以輕鬆看到輸出訊號的實際基波形狀。這與其他公司透過增加濾波器的方式不同，不會帶來其他的相位偏移問題。

變頻驅動系統的現場除錯

變頻器在實際使用時，常常需要根據實際情況調整參數設定，特別是大功率的馬達驅動系統，由於驅動裝置功率大、電壓高，驅動裝置與馬達之間距離較遠，需要補償傳輸線帶來的影響。如果補償措施不當，會造成馬達端的過電壓；此外供電系統的電壓波動還有可能造成系統「脫扣」問題。

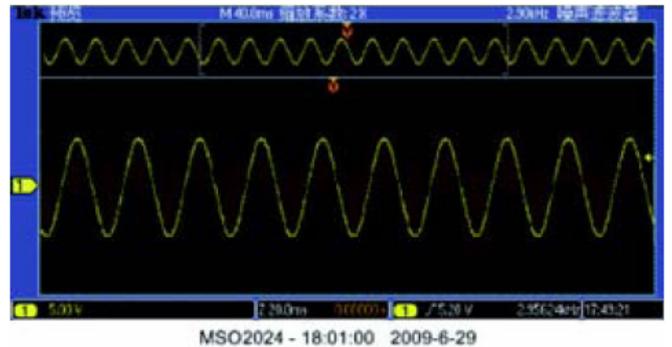


圖 5. 驅動輸出電壓訊號 SPWM 基波測試

解決這些問題示波器無疑是最佳選擇，但傳統的示波器和普通示波器往往不能有效地完成。首先示波器雖然能夠使用電池供電來進行浮動量測，但有限的記憶體長度無法準確地擷取一個功率頻率週期的全部訊號。雖然有些示波器也標榜具有較長的記憶體長度，但由於記憶體重複使用和波形管理的問題，實際使用時不是無法擷取預期長度的波形，就是在眾多的波形中無法發現工程師感興趣的波形點。Tektronix 的 MSO/DPO4000B 示波器擁有每通道獨立的高達 20 M 的記憶體，獨特的波形瀏覽功能可以快速的定位過電壓位置。

第一章：現代電子電力產業應用方案

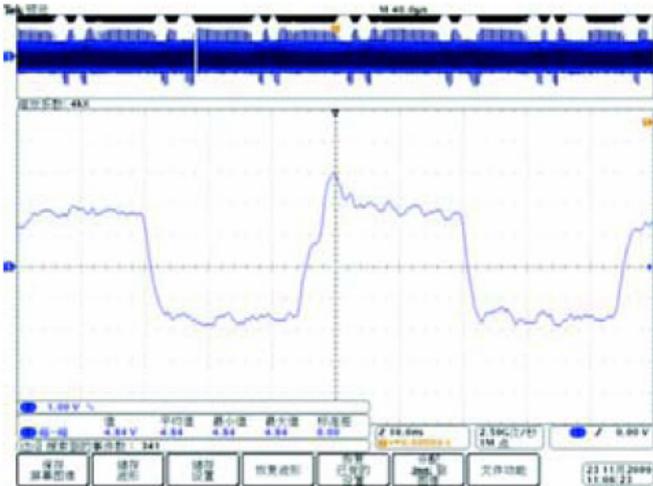


圖 6. 馬達驅動系統驅動電壓的過電壓突波擷取與分析



圖 7. RS485 匯流排的觸發和解碼

通訊串列匯流排解碼

目前很多變頻器與上位機的通訊是使用 RS485 匯流排或 CAN 匯流排達成。Tektronix 的 MSO/DPO 系列示波器具有串列匯流排的解碼和觸發功能，也就是說可以使用一個匯流排傳輸的資料作為觸發條件，查看命令發出之前和之後系統的驅動變化過程。

控制系統除錯

現在的變頻裝置內部廣泛地使用了大量工業匯流排和感測器，變頻器設計已經不再是簡單的功率輸入、輸出電路的偵測。工程師需要在系統級上全面地觀測整個系統的工作狀態。如當上位機發送一個速度設定命令後，裝置是如何反應的？經過多長的時間，輸出訊號達到了設定條件？當變頻器中的某一個溫度感測器發出警告後，系統如何判斷實際發生了什麼問題？系統如何回應？這些問題在一定程度上可以使用軟體模擬的辦法除錯。但工程師都知道軟體除錯和實際的硬體工作是有區別的，特別是當系統出現一些預料之外的問題時。下面將透過控制系統的實例加以說明。

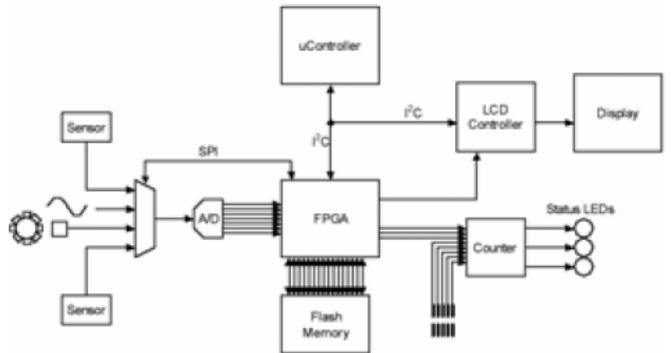


圖 8. 控制系統方塊圖

如圖 8 所示，這是一個空調系統的溫度控制部分，溫度訊號透過多個溫度感測器進入 MUX 多工器，之後完成 A/D 轉換，傳送到 FPGA。MUX 與 FPGA 之間由 SPI 匯流排控制。微控制器透過 I²C 匯流排控制 FPGA 和 LCD 控制器，以顯示實際溫度。FPGA 輸出 3 路並列匯流排，到狀態指示燈 LED。如需溫度調整，則透過其他匯流排控制空調系統的變頻驅動馬達。

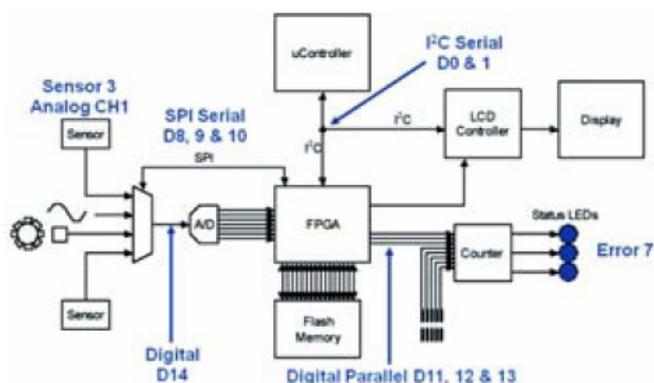


圖 9. #7error 故障和測試連接

工程師遇到的問題是：系統加電後，狀態指示燈全部亮起警告，也就是顯示「111」，因為 111 代表二進位數字的 7，我們稱之為 #7 故障。

為全面瞭解系統到底出現了什麼問題，我們將外部感測器所感應到的類比訊號、MUX OUT 輸出、I²C 匯流排訊號、SPI 匯流排訊號和 3 路並列匯流排訊號，同時載入 Tektronix 的 MSO4000 系列混合訊號示波器，進行系統級分析。當 LED 顯示 111 時，並列匯流排上傳輸的資料應當為「7」，我們將它作為觸發條件進行訊號擷取。我們發現當出現「7」時，MUXOUT 訊號中有一個亮白色的垂直條。Tektronix 示波器顯示方面的特色是：有亮白色代表其中還有細節展示出來，可以放大顯示。展開後發現有一個數位突波 MUXOUT 是外部溫度感測器訊號，對應此時的感測器訊號，沒有發現類似的突波。而對應這一上升突波，在之後一定時間還有一個負向突波。由此我們懷疑這個突波可能與臨近電路的串音有關。我們存取附近的 Xtalk 訊號，發現正是這個訊號的快速變化，在 MUXOUT 電路中感應到串音，造成系統出現 #7 錯誤。修改 PCB 佈線後問題解決。

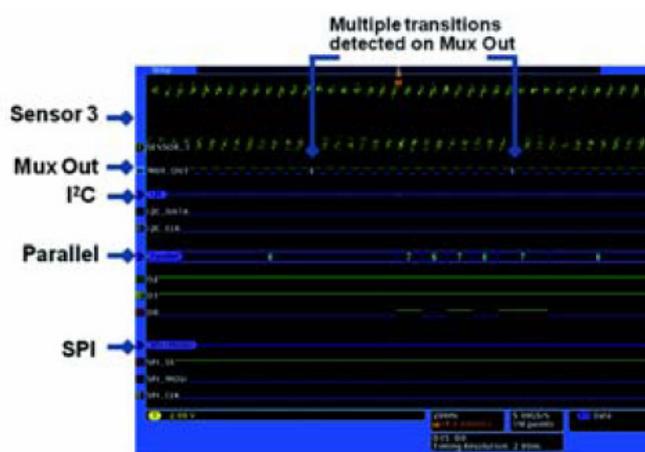


圖 10. 發現「7」前面的白邊

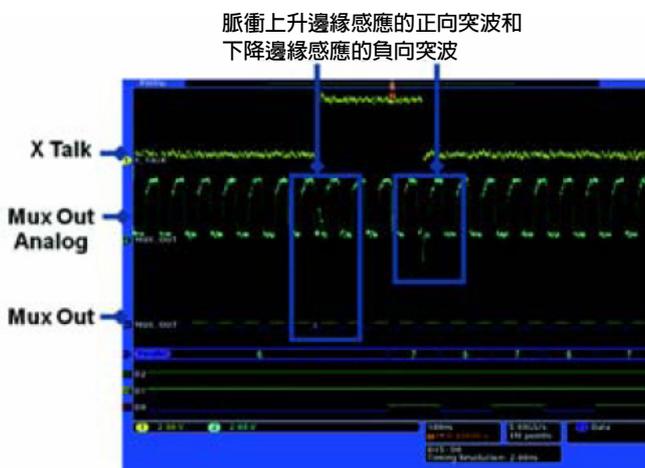


圖 11. 發現串音

透過上面的例子我們可以看出，當前的變頻器設計已經不再局限於功率電路的設計和除錯。功率、效率、損耗、漣波以及系統分析都是工程師面臨的挑戰。Tektronix DPO/MSO 系列混合訊號示波器可以將電力電子分析功能和匯流排分析以及混合訊號分析功能集於一身，配合 Tektronix 優質探棒，幫助開發人員輕鬆完成設計和除錯工作，大幅提高工作效率。

第一章：現代電子電力產業應用方案

Tektronix 建議測試方案

變頻驅動裝置設計驗證建議方案	
示波器	MSO/DPO4000B/3000 數位螢光示波器 +DPOxPWR 功率分析模組 +COMP/EMBD/AUTO 匯流排分析模組 (視使用的匯流排類型而定) * 如沒有並列匯流排測試需求且同時解碼的串列匯流排不超過 2 個，可以選擇 DPO 系列示波器
探棒	TMDP0200 高壓差動式探棒+TCP0030 電流探棒 (低壓 690V 以下小功率系統) THDP0100 高壓差動式探棒+TCP0150 電流探棒 (中壓 690V-1500V 系統) THDP0200 高壓差動式探棒+TCPA400+404XL 電流探棒 (高壓大功率系統)
任意波形產生器	AFG3022B 任意波形產生器產生 PWM 開控驅動訊號 如驅動訊號振幅要求超過 10 V，可以選擇 AFG3011 高驅動電壓型號
數位萬用電錶	DMM4040 6.5 位桌上型數位萬用電錶
軟體	SignalExpress 儀器控制和資料擷取軟體
特性	電源品質、切換損耗、諧波、安全工作區、PWM 調變、漣波和轉換率的自動量測； 驅動電壓訊號突波擷取和分析； 工業控制匯流排分析解碼和觸發； 驅動板所需 PWM 訊號類比發生。
基本測試方案	
示波器	MSO/DPO2000 示波器
探棒	P5201 高壓差動式探棒+A622 電流探棒 (低壓系統，其他電壓等級裝置請參閱 Tektronix 探棒選購表)
訊號產生器	AFG3021B
萬用電錶	3.5 位/4.5 位 Fluke 手持式萬用電錶
特性	達成基本測試，全部工作手動完成，成本低
現場測試方案	
示波器	THS3000 手持式示波器
探棒	P5122 單端高壓探棒、A622/A621 電流探棒
特性	電池供電 7 小時，直接進行現場浮動測試

Tektronix 伺服數控產業測試方案

需求與現狀

隨著工業生產自動化程度的提高，越來越多的機械設備和運動系統需要準確的速度、位置控制。在新設備研發和現有設備的技術改造中，大量使用變頻調速和伺服、數控系統。運動控制成爲當今自動化領域的熱點之一。

從控制原理上看，不論是簡單的步進馬達控制，還是對直流無刷或交流伺服馬達的控制，都是透過控制電路產生特有規律的驅動脈衝，控制驅動器中的 IGBT 等裝置產生馬達的驅動訊號。對於設計人員來說，驗證通過控制演算法產生的驅動脈衝是否符合控制要求，是一項非常重要的工作。此外，IGBT 驅動訊號必須滿足同一橋臂上的兩個驅動脈衝，不能重疊而且保證有一定的死區間隔的要求（否則會造成橋臂短路）。這些問題如果不做檢查驗證，可能會出現驅動電路燒毀的嚴重故障。

作爲控制單元，控制板卡需要和設備中的各種感測器和上位機通訊。板卡中的各種 I/O 介面需要驗證工作的可靠性。對於工控領域至今廣泛使用的 RS485/422/232 匯流排，工程師一直以來缺少得力的工具快速地完成除錯工作。大量的手動解碼，不但花費大量設計時間，還不能有針對性地擷取和分析特定命令下的執行反饋。自動化產業的設計人員需要更方便快捷的除錯工具。

解決方案

Tektronix 的 DPO/MSO 系列示波器擁有獨特的波形搜尋能力，可以透過使用者設定的條件，自動找到一段時間內驅動脈衝的錯誤狀態，如橋臂短路和死區時間不足等。如圖 2 所示，透過設定建立保持時間搜尋條件，示波器自動將距離過近或重疊的驅動脈衝組標記出來。使用此功能，可以從控制電路的設計初期即保證電路的安全性，確保系統的安全穩定工作。

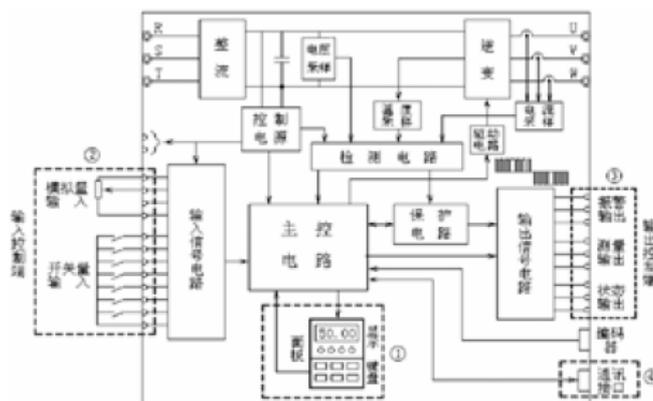


圖 1. 典型的伺服控制電路

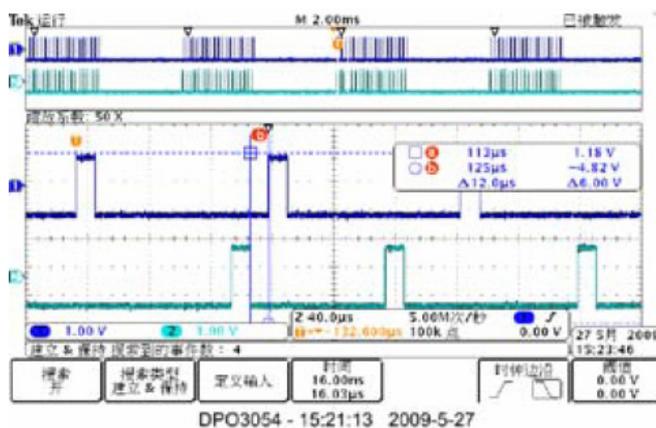


圖 2. 波形搜尋功能自動找到死區時間不足的同橋臂驅動脈衝組

第一章：現代電子電力產業應用方案

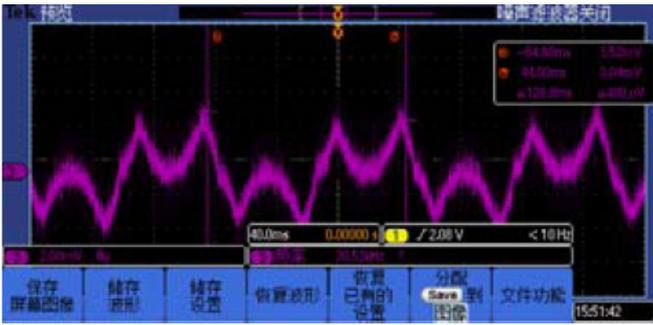


圖 3. SVPWM 調變控制下的輕載狀態電流波形

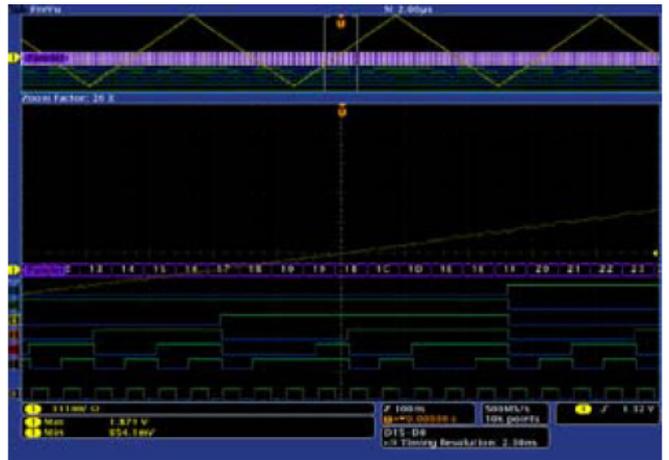


圖 5. 黃色感測器的類比訊號和 A/D 變換後的 6 位數位訊號以及轉換後的 16 進位資料



圖 4. 黃色的 RS232 波形自動解碼，同時測試到一組時脈訊號

伺服驅動系統根據伺服和調速要求，改變驅動脈衝的脈衝寬度和變化規律，使系統的執行機構，按照設定的模式改變驅動電流的大小和波形。Tektronix 示波器獨有的趨勢分析和可變低通濾波功能，可以準確地量測出驅動電流或驅動電壓的 PWM 變化規律，幫助工程師除錯參數或改進設計。

各種 RS485/232 或 CAN 匯流排介面電路的除錯，可以使用 Tektronix 示波器外加 COMP 或 AUTO 串列匯流排分析模組輕鬆完成。DPO/MSO 系列示波器不但能夠自動解碼，以二進位、十六進位或 ASCII 碼顯示匯流排傳輸資訊，還可以根據使用者設定的分隔符號，將資料顯示成分組的命令資訊，與使用者的編程語句十分接近。這些資料可以透過資料表的方式保存下來，方便工程師和編程人員商討故障的真正原因。匯流排觸發功能可以使工程師擷取某一命令發出後的系統執行情況的全部資訊。多通道的 DPO/MSO 示波器更可以在除錯一種匯流排時，同時觀測發生的其他訊號或匯流排的資料，真正做到了系統級的分析。

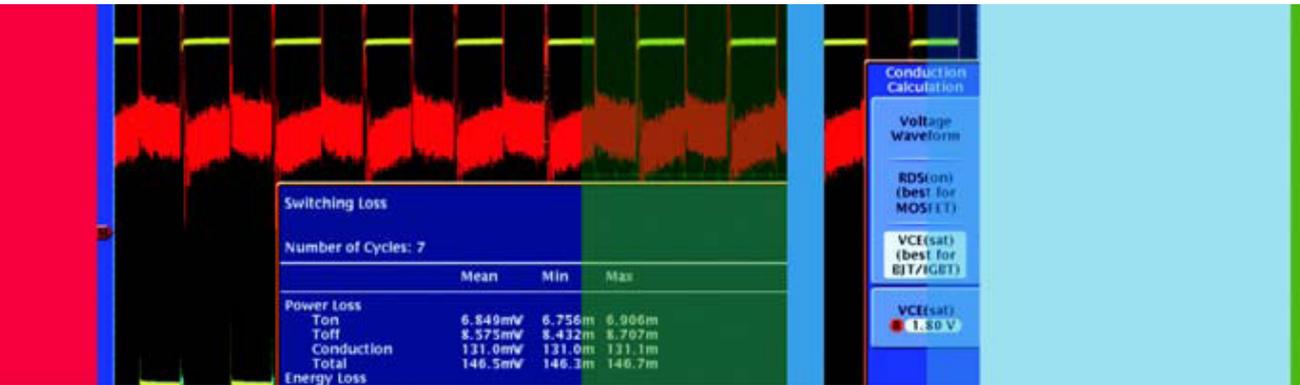
在控制板卡中有大量的感測器輸入電路。Tektronix 示波器的混合訊號除錯功能方便工程師除錯各種 A/D、D/A 電路，如溫度感測器、電流取樣感測器這樣的系統偵測和保護訊號，以及位置和速度控制的旋轉變壓器、編碼器或光柵尺的輸出訊號。對於各種開關量 and 並列匯流排資料，同樣可以輕鬆處理。

典型配置

Tektronix 建議方案	
示波器	MSO4000B/3000 數位螢光示波器 COMP/EMBD/AUTO 匯流排分析模組 (視使用的匯流排類型而定)
探棒	TMDP0200 高壓差動式探棒+TCP0030 電流探棒 (低壓 690V 以下小功率系統) (低壓系統，其他電壓等級裝置請參閱 Tektronix 探棒選購表)
桌上型電源供應器	PWS4323 系列桌上型可程式電源供應器
任意波形產生器	AFG3022B 雙任意波形產生器產生各類感測器訊號
數位萬用電錶	DMM4040 6.5 位桌上型數位萬用電錶
基本測試方案	
示波器	MSO/DPO2000 示波器 (如除錯並列匯流排和 A/D，可選擇 DPO 型號)
探棒	P5201 高壓差動式探棒+A622 電流探棒 (低壓系統、其他電壓等級裝置，請參閱 Tektronix 探棒選購表)
訊號產生器	AFG3021B
萬用電錶	3.5 位/4.5 位 Fluke 手持式萬用電錶
特性：達成基本測試，全部工作手動完成，成本低	

方案比較

	Tektronix MSO/DPO 示波器	ScopeMeter	其他示波器
驅動脈衝故障偵測	有，可自動搜尋並標記	無	無
匯流排通訊解碼和擷取	有，可解碼成命令語句， 具有事件表功能， 兩路以上匯流排同時解碼	無	無或有限 (只能做簡單解碼)， 單路
驅動脈衝趨勢分析	有，可透過 trend 功能 或 FilterView 達成	無	無
A/D、D/A 電路分析	有，具有多種顯示和 分析方法 (MSO 系列)	無	有 (限混合訊號示波器)
控制板卡系統級 聯合除錯	有，用一台示波器 在同一個螢幕上完成	無	無
啟動、制動，運行狀態 變化過渡過程擷取	有，5 M/20 M 每通道的長資料儲存功能， 保障高準確度的長時間擷取	無	無



Tektronix 交換式電源供應器測試方案

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。

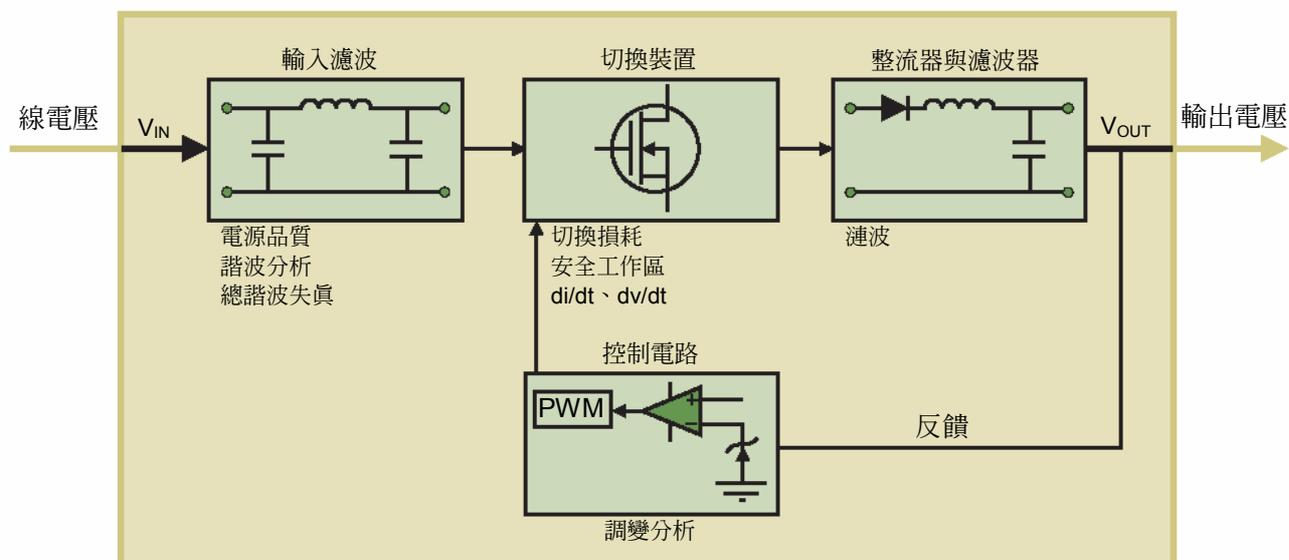


圖 1. 使用 DPOxPWR 功率分析軟體進行特性分析的 SMPS 元件

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

第一章：現代電子電力產業應用方案

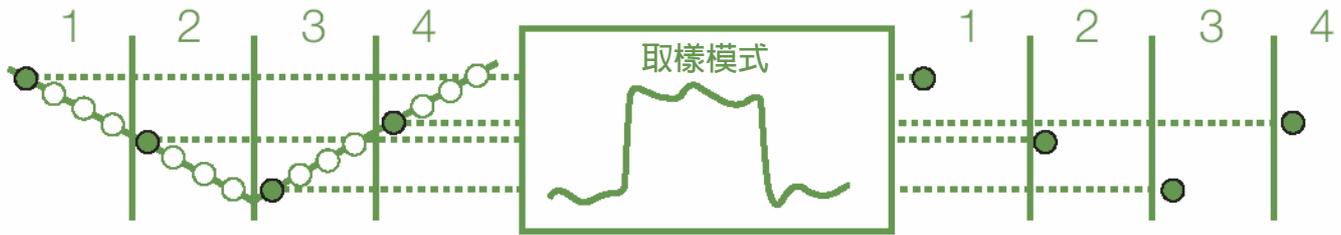


圖 2. 取樣模式



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。

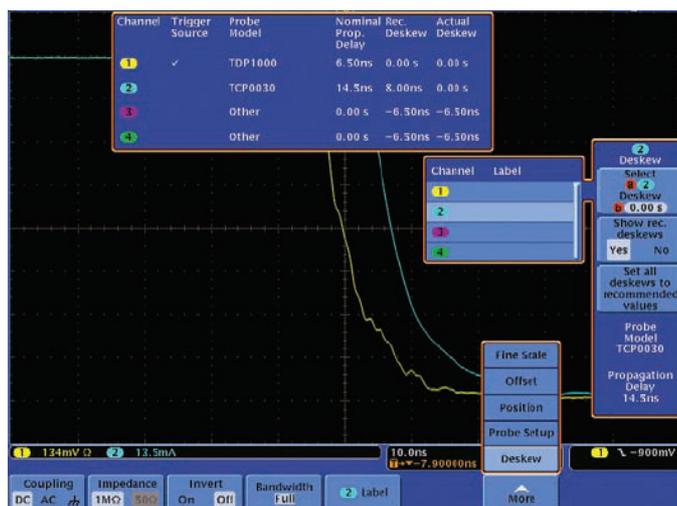


圖 5. 電壓與電流探棒間的預設時脈偏移

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。

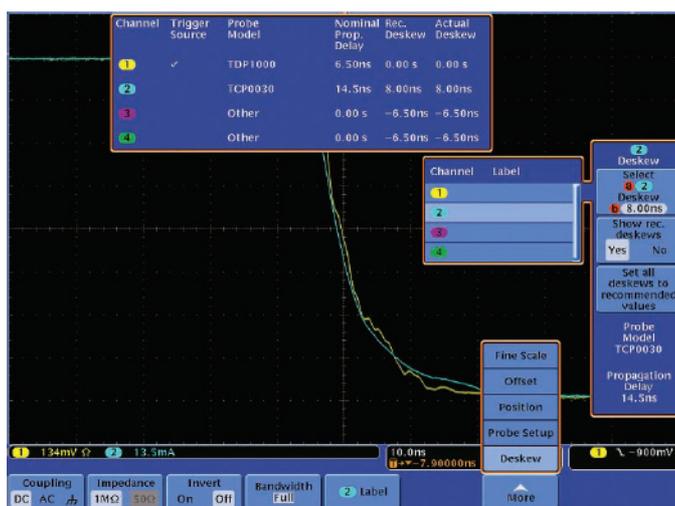


圖 6. 電壓探棒與電流探棒間的時脈偏移額定校正

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）。

第一章：現代電子電力產業應用方案

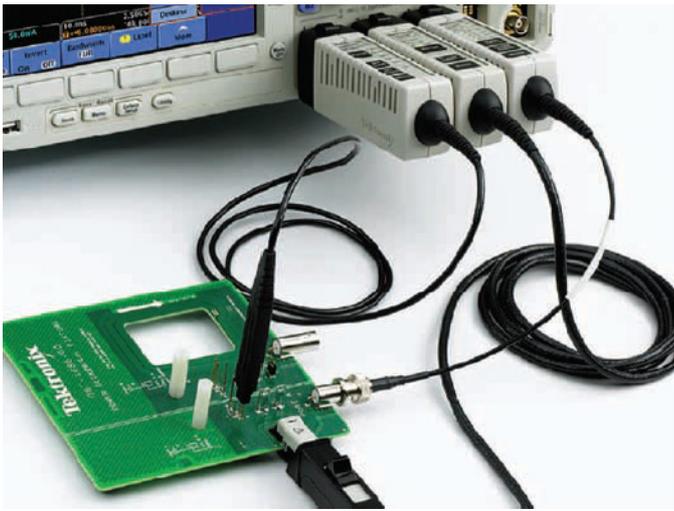


圖 7. Tektronix 偏移校正脈衝產生器和偏移校正夾具

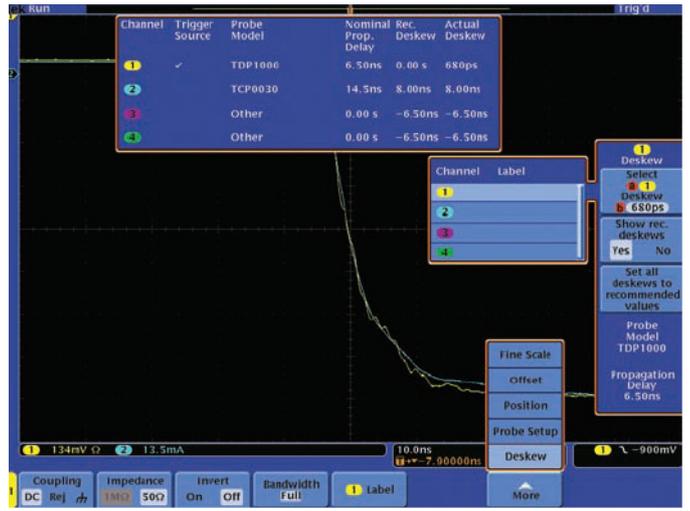


圖 8. 手動消除電壓探棒與電流探棒間的時脈偏移



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。

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。

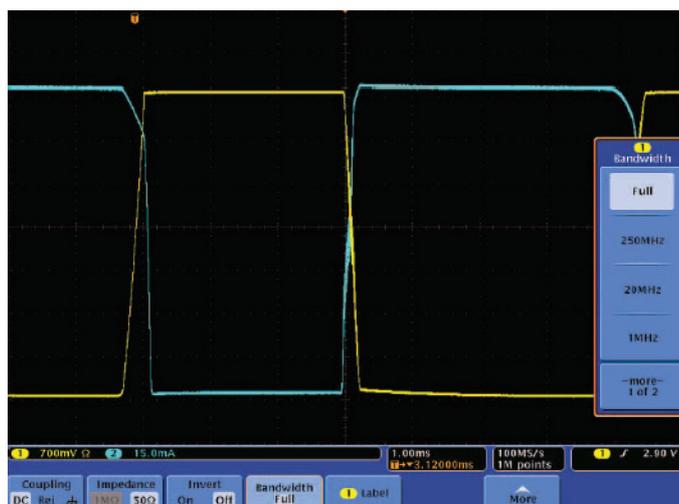


圖 10. 連接 TDP1000 的 MSO/DPO4000 系列示波器所提供的限頻濾波器

消磁 (Degauss)

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

第一章：現代電子電力產業應用方案

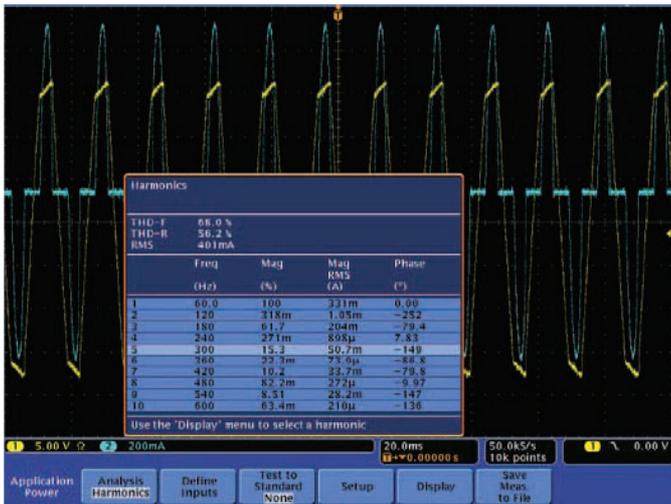


圖 11. DPOxPWR 諧波分析

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。

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。

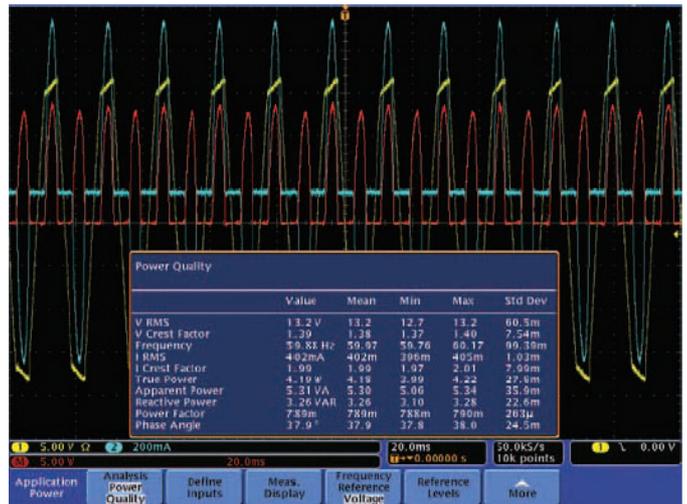


圖 12. DPOxPWR 電源品質量測

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。

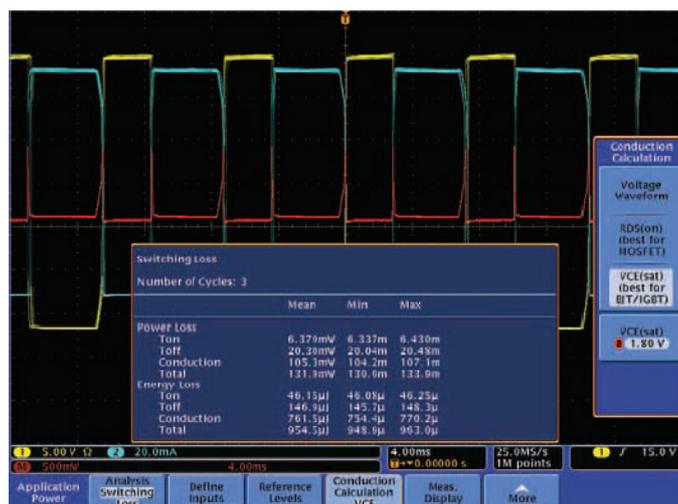


圖 13. 對 IGBT 進行的 DPOxPWR 切換損耗量測

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，像是金屬氧化物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。

第一章：現代電子電力產業應用方案

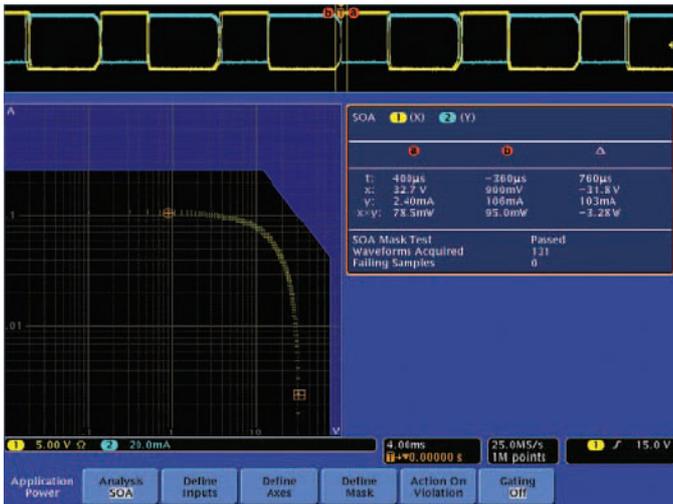


圖 14. DPOxPWR SOA 波罩測試

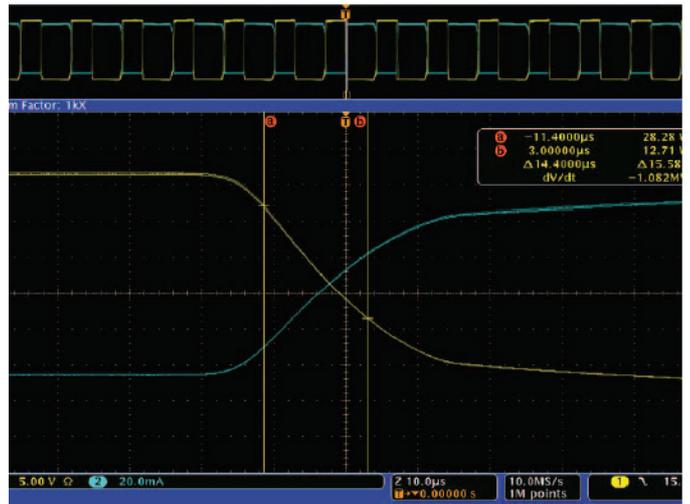


圖 15. DPOxPWR 迴轉率量測

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 $R_{DS(on)}$ (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 $V_{CE(sat)}$ 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。

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。

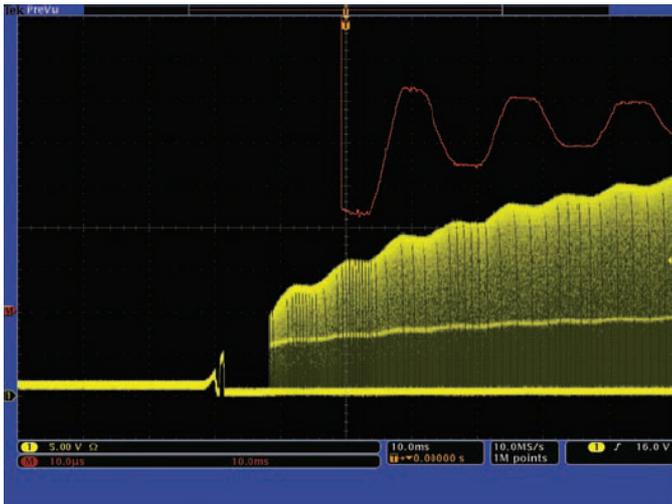


圖 16. 對電源啟動時的 IGBT 閘極驅動進行 DPOxPWR 調變分析

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。

Tektronix 消費性電子產品節能設計應用

節約能源：設計者、消費者和環境的三贏之選

今天，可攜式的電子裝置到處可見 — 家庭、醫院、學校、錢包裏、口袋中。看起來可攜式裝置的清單涵蓋了幾乎所有的事物：從行動電話到筆記型電腦，從照相機到 MP3 播放器，再到手持式遊戲系統等等。隨著可攜式裝置的爆發式增長，消費者對電池使用時間也有了更高的期望。十年前，典型的行動電話在一次充電以後可能可以工作四個小時。而現在，充電一次即可以使用好幾天。

要增加電池的使用時間，就必須使用節能設計。在設計較為簡單的時候，我們強調的是最佳化，包括電源供應器在內的每個裝置都能有最高的效能，且消耗最少的能量。

隨著單一可攜式電子裝置的效能提高、功能增強，使這些裝置的嵌入式系統的複雜程度也明顯提高。這些系統非常複雜，已不再是之前的單個元件，而是包含了多個相互作用、功能各異的裝置。今天新的能源管理技術著重於整個嵌入式系統，以降低總消耗功率。

使用電線供電的設備（包括伺服器和個人電腦等）也整合了這些技術，以滿足商業企業、消費者以及政府對降低能耗的要求。越來越多的人開始使用電子裝置，並且每個人平均擁有的電子裝置數目也不斷增加。消費者和商業企業面對的電力成本急速增加。現在，每年全球的耗電量增加大約 2%，全球的政府需要開發更高的網路容量，以滿足這些日益增加的需求。而提高能效是提供這些額外需要的最快速、最明確、最經濟的方法。

面對普遍並逐漸升高的需求，工程師使用技術創新來回應：新的技術和材料在達到同樣的功能時消耗更少的電力，這樣就創造了能源使用管理的新方法。

能耗

現在能源轉化效率已可達到 90%，很難在此基礎上實現進一步提升。既然能源轉化率已基本達到極致，關注的要點開始轉為最小化嵌入式系統的能耗。

一條降低能耗的途徑是提高設計中每個功能的能效。在很多電子裝置中，顯示器是能耗最高的組件之一，使用 LED 作為背光的新顯示技術能顯著節約能源。另一個例子是，我們可以在訊號的傳輸過程中使用最小化能耗的技術。

驗證、除錯和驗證現今的節能設計，設計人員需要新的、不同於傳統的測試方法。下面的章節中，我們將著眼於這些變化。

一個例子：液晶顯示器的 LED 背光

液晶顯示 (LCD) 技術最重要的一項進步是使用發光二極體 (LED) 來提供背光，以減少能耗。背光的用處是：用於從側面、頂部或背面照亮 LCD 面板。

直到現在，大多數 LCD 顯示器還在使用冷陰極燈管 (CCFL) 作為背光。在這些設計中，典型的顯示系統包括了一個電源逆變器來產生交流高壓，初始的數千伏電壓產生電弧，然後電源供應器提供幾百伏的電壓，以提供維持通過燈氣的電流。燈氣在電流的作用下發射出紫外 (UV) 光，燈泡上的螢光粉塗層吸收這些紫外光的能量，以可見光的方式向外輻射。

相較起來，LED 背光使用並排串聯的 LED 作為光源。對於高解析度顯示器，白色背光應該含有紅色、綠色和藍色 (RGB) 的 LED。在一些要求較低的應用中，白光可以使用包裹有紫外線 LED 的螢光囊來提供；或者使用藍色 LED 和濾光器配合獲得。

LED 背光與 CCFL 背光比較，有幾個顯著的優勢，包括：

■ 更薄、更輕便的 LCD 顯示器

LED 在相似的條件下一般都小於 CCFL，讓設計可以使用更薄的導光板或擴散器。這樣可以大幅減低顯示器的厚度和體積。

■ 機械結構的防衝擊和抗震性更高

CCFL 是玻璃管結構，震動會顯著降低裝置的使用壽命。

■ 減小功耗

雖然 LED 和 CCFL 背光的發光效率 (使用 lm/W 為單位) 相似，但是 LED 輻射的光是單向的，所以這些光可以更有效地耦合到顯示器上。這樣 LED 背光可以使用更少的能量來提供同樣的亮度。同時，LED 背光還讓設計人員可以改變顯示器特定區域的背光亮度 (使用 RGB LED 時甚至可以改變背光的顏色)，以獲得更高的能效。

■ 低壓，降低電磁干擾 (EMI)

CCFL 背光需要電源逆變器來產生 300-400V 的交流電壓。相較起來，典型的 LED 背光可能只需要一個 DC-DC 的電源供應器以產生 30-40V 的直流電壓。在設計中使用非屏蔽的纜線來傳輸這個低壓直流，產生近場 EMI 都可能更低。

驅動 LED 背光

LED 背光從電氣模型上可以看做是正向電壓降固定的多個 LED (典型值為每個 LED 2.5V-3.5V，由元件特性和顏色決定)，而 LED 亮度則由通過元件的電流控制。

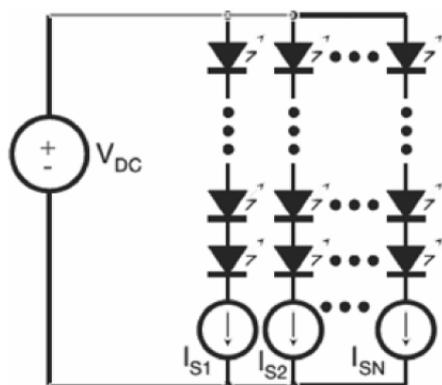


圖 17. LED 恆流源背光驅動器

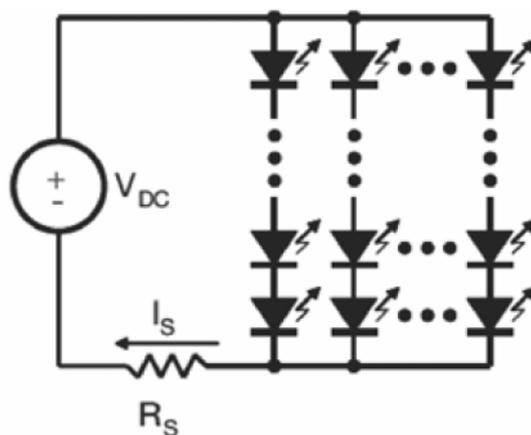


圖 18. LED 背光驅動器，配備限流電阻

使用配備限流電阻的直流電壓驅動背光是最簡單辦法，如圖 18 所示。因為 LED 個體之間的正向電壓降可能有較大不同，所以這種電路可以在每條 LED 串聯鏈結上使用恆流源替代簡單電阻的方法加以改進，如圖 17 所示。

如果應用中要求非常高的顯示亮度，最低的功耗，或能在很大的範圍內控制亮度，則需要使用其他的驅動方式。

按照人視覺系統的兩個已知特性，交流電流可以用來替代直流電流。只要切換頻率高於大約 100 Hz (高於「閃光融合」率)，人將不會感到背光的閃爍。同樣，人眼有影像存留的功能，會試圖「記住」短時間內的峰值亮度，而不是反應長時間內的平均亮度。人眼這樣的特性讓我們可以透過調整峰值電流的占空比來控制感知的亮度。

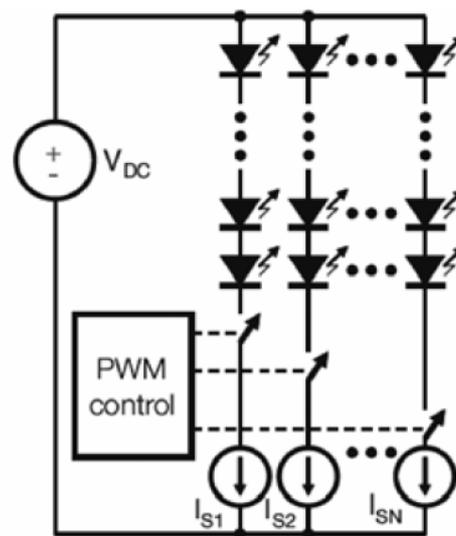


圖 19. 具有調變電流源的背光 LED 驅動器

第一章：現代電子電力產業應用方案

脈衝寬度調變 (PWM) 或電流占空比控制方案，如圖 19 所示，比較之前的簡單恆流源來說有許多優勢。如需感覺較高的亮度，可以在較低的平均功率位準上相應提高 LED 的峰值電流。因為亮度控制是由調整 LED 電流的占空比來控制的，平均電流和亮度可以被控制，而無需改變電源電壓。這樣，設計人員可以著眼於優化電路的 DC-DC 轉換器的效率。最後，因為峰值電流並未改變，LED 工作在相同的電流位準上 (例如，白光 LED 通常為 15-20 mA)，其輻射的顏色也是恆定的。

測試背光功率

由於 CCFL 和 LED 背光驅動器電路在電壓和電流上有顯著區別，所以需要不同的量測裝置。

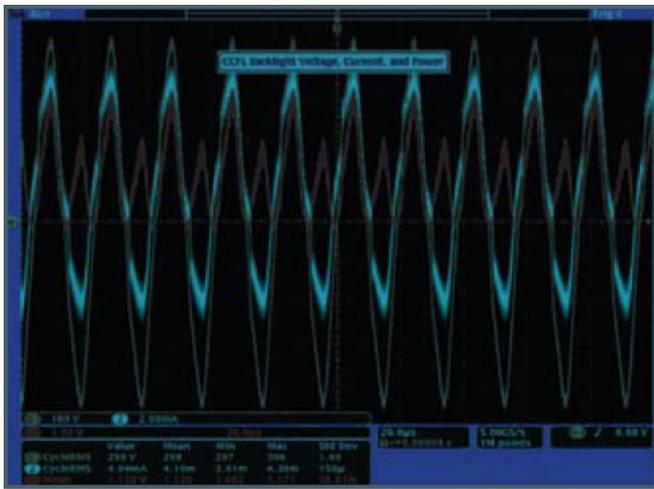


圖 20. 使用 MSO4000 系列示波器進行 CCFL 背光功率測試的顯示介面

圖 20 顯示使用示波器測試 CCFL 背光電路的結果。交流電壓 (黃色波形) 大約是 900 V 峰對峰值，需要使用高壓差動式探棒來探測。此例中使用的是 Tektronix P5200 系列高壓差動式探棒。電流 (藍色波形) 則在毫安培量級，這樣就需要高靈敏度的電流探棒。這裡，使用 Tektronix TCP 系列電流探棒。紅色波形顯示的是 CCFL 管的暫態功率消耗情況，反映出平均功率大約是 1.1 W。



圖 21. 使用 MSO4000 系列示波器進行 LED 背光功率測試的顯示介面

對照前圖，圖 21 顯示使用示波器驗證 LED 背光電路效能的量測結果。如圖，直流電壓 (黃色波形) 大約是 6.4V。這個訊號使用 Tektronix TDP 系列差動式探棒測試。電流 (藍色波形) 在數百毫安培的量級。紅色波形顯示的是 LED 的暫態功率消耗情況，反映出平均功率大約是 900 mW。和 CCFL 背光電路比較，節省大約 200 mW 的功率。

隨著可攜式趨勢的進展，在這些使用電池供電的電子裝置上，與 CCFL 相較，以 LED 為基礎的液晶顯示器擁有顯著的優勢。LED 背光簡化了產品設計，使用它製造的耐用輕便的顯示器顯著降低了能耗。示波器提供評估 LED 背光效能所必須的工具，包括量測和統計隨時間變化的裝置電壓電流效能，以及量測電壓和電流微小變化的靈敏度。

結論

能效設計技術帶來了新的、複雜的測試挑戰，需要設計工程師進行大量的、艱苦的測試，以除錯快速變化的訊號、複雜的協定和電流電壓的微小變化。

驗證、除錯和測試這些設計，強大而完備的量測工具必不可少。最新節能設計技術需要高效能、高效率的測試工具。這些工具包括示波器、邏輯分析儀、探棒、信號源和萬用電錶。簡化複雜量測的自動化套裝軟體也是這套工具的重要組成部分。

隨著對產品能效要求的不斷提高，驗證和除錯現今最新設計的工作通常十分複雜，而合適的量測工具可以簡化並加速這些工作。

第二章

電力電子測試技術與應用技巧



浮動和隔離通道示波器

應用摘要

本應用摘要將介紹電源量測術語，闡述為進行浮動量測提供的不同選項，重點介紹每種選項的優點和缺點。

最嚴苛的浮動量測需求源自電源控制電路，如馬達控制器、不斷電系統和工業控制設備。在這些應用領域中，電壓和電流可能會很大，足以為使用者和 (或) 測試裝置帶來危險。在量測浮動高壓訊號時，有許多選項可以考慮。每個選項都有自己的優點和缺點。

差動量測與浮動量測比較

所有電壓量測都是差動量測。差動量測定義為兩點之間的電壓差。電壓量測分成兩類：

1. 接地參考量測
2. 非接地參考量測 (也稱為浮動量測)

傳統示波器

大多數傳統示波器將「訊號參考」端子連接到保護接地系統上，通常稱為「接地」。透過這種方式，所有應用到示波器的訊號或示波器提供的訊號都會有一個共同連接點。

這個共同連接點通常是示波器機箱，透過 AC 供電裝置電源線中的第三條線接地，來保持在 (或接近) 零伏。這意味著每個輸入通道參考點都連結在一個接地參考源上。

不應該使用傳統被動式探棒，直接在接地參考的示波器上進行浮動量測。根據流經參考引線的電流量，傳統被動式探棒會開始變熱；在電流足夠高時，它會類似保險絲那樣熔化斷開。

浮動量測技術

為進行高壓浮動量測提供的不同選項包括：

- 隔離輸入示波器
- 差動式探棒
- 電壓隔離裝置
- 「A-B」量測技術
- 示波器「浮動」技術

術語表

共模訊號

兩個輸入上共同的輸入訊號成分 (振幅和相位完全相同)。

共模範圍

差動放大器可以抑制的共模訊號的最大電壓 (從接地)。

共模抑制比

衡量差動放大器抑制共模訊號能力的一個效能指標。由於共模抑制一般會隨著頻率提高而下降，因此通常會指定特定頻率的 CMRR。

差動模式或差模

差動放大器兩個輸入之間的不同訊號。差模訊號 (VDM) 可以表達為：

$$VDM = (V+input) - (V-input)$$

差模訊號

兩個輸入之間不同的訊號。

差動量測

兩點之間的電壓差。

差動式探棒

為差動應用專門設計的探棒。主動式差動探棒在探棒頭包含一個差動放大器。被動式差動式探棒與差動放大器一起使用，可以進行校驗，準確匹配兩條訊號路徑中 (包括參考引線) 的 DC 和 AC 衰減。

浮動量測

任何一點都沒有接地參考 (地電位) 的差動量測。

接地迴路

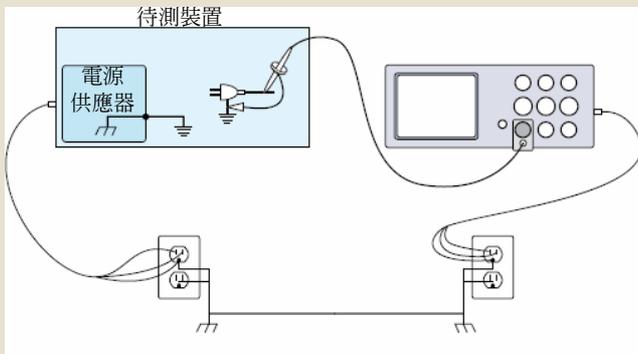
當兩個或兩個以上的單獨接地路徑連結到兩個或兩個以上的點時，會出現接地迴路。結果是一個導體迴路。在存在變化的磁場時，這個迴路會變成變壓器的次級電路，作為短路線圈操作。附近承載非 DC 電流的任何導體都會產生磁場，激發變壓器。許多導線、甚至數位 IC 輸出引線中的 AC 線路電壓都會產生這種激發作用。迴路中迴圈的電流會在迴路內部任何阻抗中積聚電壓。這樣，在任何給定時點上，接地迴路中的各個點都不會位於相同的 AC 電位。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

術語表 (續)

將示波器探棒地線連接到待測電路上，如果電路「接地到」接地裝置，那麼會產生接地迴路。作用在路徑內部阻抗上的迴圈電流會導致電壓電位積聚在探棒接地路徑中。

這樣，示波器輸入 BNC 連接器上的「接地」電位與待測電路中的接地不同 (即「此接地非彼接地」)。這種電位差可以是幾微伏，也可以高達幾百毫伏。由於示波器從輸入 BNC 連接器的外殼上參考量測，因此顯示的波形可能並不表示探棒輸入上的實際訊號。隨著待測訊號的振幅下降，誤差變得更加明顯。



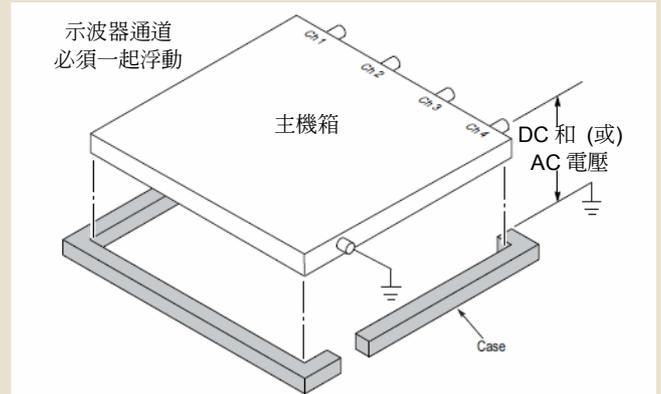
將示波器探棒地線連接到待測電路上，如果電路「接地到」接地裝置，那麼會產生接地迴路。

「單一量測」

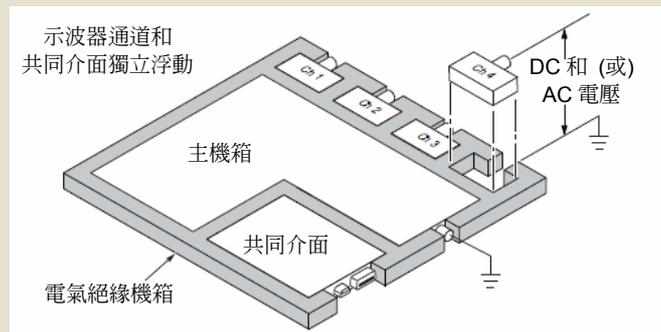
在使用 AC 電源線及使用標準三線電源線操作時，具有接地輸入通道、電池供電的示波器，表現出來的局限性與傳統示波器一樣。然而，在使用電池操作時，這些示波器可以一次進行高達 30 V_{RMS} 的單一安全浮動量測。記住，所有輸入共同源都捆在一起。

共用參考點和隔離通道架構比較

大多數桌上型示波器共用下面所示的架構。在這種架構中，在進行多通道量測時，所有輸入訊號必須有相同的電壓參考，共用的預設參考是「接地」參考。如果沒有差動前置放大器或外部訊號隔離器，這些桌上型示波器則不適合進行浮動量測。



與傳統桌上型示波器架構相較，這種隔離通道架構中的電壓參考沒有在儀器內部連接在一起。因此，使用的輸入的每個參考點必須連接到參考電壓上。獨立浮動隔離輸入仍由寄生電容耦合。這可能會發生在輸入參考和環境之間，及手動發生在輸入參考點之間。基於這一原因，建議將參考點連接到系統接地或另一個穩定電壓上。如果輸入的參考點連接到高速和 (或) 高壓訊號上，那麼您應該瞭解寄生電容。



說明

隔離輸入示波器量測

採用 IsolatedChannel™ 輸入架構的示波器，如 TPS2000B 或 THS3000 系列，提供真正的、完整的通道到通道和通道到電源線隔離能力。每個通道相互單獨隔離，同時與其他非隔離裝置隔離。在使用 IsolatedChannel™ 示

波器進行浮動量測時，必須使用專門設計的被動式探棒（如 TPP0201），進行高達 30 V_{RMS} 的浮動量測；或使用 THP0301，進行高達 300 V_{RMS} 的浮動量測；或使用 P5122/P5150 探棒，進行高達 600 V_{RMS} 的浮動量

測。與大多數傳統示波器使用的被動式探棒不同，這些類型的探棒在 BNC 連接上絕緣，防止發生觸電；參考引線是為耐受額定浮動電壓而設計的。(如需更多資訊，請參閱本應用摘要「注意類別和電壓」一節中的討論)

差動式探棒量測

透過使用差動式探棒系統，可以使 Tektronix TDS/DPO/MSO 和大多數其他接地示波器進行浮動量測。某些差動式探棒（如 P6246、P6247、P6248 和

P6330）是為振幅較低的快速訊號優化的。其他探棒（如 P5200A、P5205A 和 P5210A）則處理速度較慢、電壓振幅較高的訊號。ADA400A 差動前置放

大器即使在多雜訊環境中，仍能顯示低頻率、超低振幅的差動訊號。

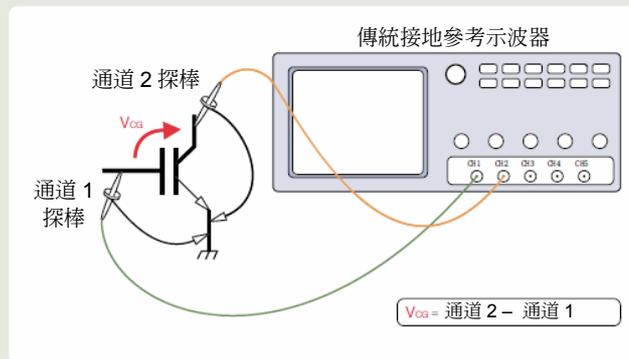
電壓隔離器量測

顧名思義，隔離器在浮動輸入與接地參考輸出之間沒有直接的電

氣連接。訊號透過光分配器/變壓器手段耦合。

「A-B」量測
(也叫虛差動量測)

「A-B」量測技術可以使用傳統示波器及被動式電壓探棒，間接進行浮動量測。一個通道量測「正」測試點，另一個通道量測「負」測試點。從第一個量測值中減去第二個量測值，去掉兩個測試點的共同電壓，以便觀察不能直接量測的浮動電壓。示波器通道必須設定成相同的伏特/格；探棒應與示波器配套，使共模抑制比 (CMRR) 達到最大。

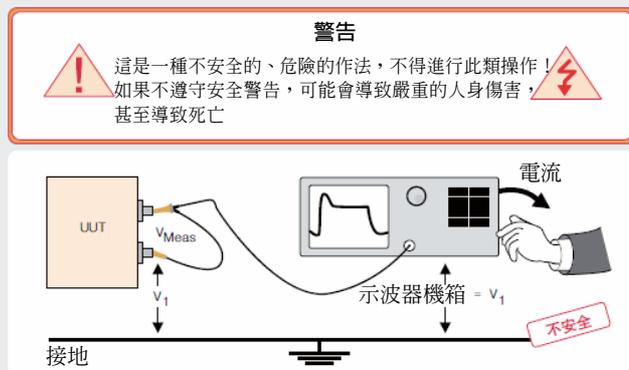


▶ 量測接地參考電壓的兩支探棒實例

「浮動」傳統接地示波器

使用不會將接地傳送到次級電路的隔離變壓器，或透過將示波器的 AC 主電源線接地連接器，是一種常用的有風險的示波器浮動量測方式。

「浮動」接地參考示波器將所有可以接觸的相同電壓的金屬（包括機箱、機殼和連接器）作為探棒參考引線連接的測試點。



▶ 浮動量測，危險電壓發生在示波器機箱上。V1 可能有幾百伏！

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

優點和缺點

優點

隔離輸入通道示波器為進行浮動量測提供一種安全可靠的方式。通道到通道隔離和通道到接地隔離的明顯好處是能夠同時觀察參考到不同電壓的多個訊號。

另一個優點是能夠在不增加專用探棒成本或昂貴笨重的電壓隔離器的情況下實現這一點。通道到電源線隔離消除信號源接地與示波器之間的路徑。

缺點

與差動式探棒不同，隔離輸入通道沒有提供均衡浮動量測。到接地的阻抗在探棒頭 (+) 輸入和參考 (-) 輸入之間是不同的。由於隔離通道的參考 (-) 輸入不像接地示波器那樣有預設的參考位準，因此必須將探棒的參考引線連接到待測裝置的參考點上。

由於沒有到接地的分流，因此螢光燈和大樓佈線放射的功率頻率場可能會在示波器讀數上導致更多的基線雜訊。使用平均擷取模式會減輕這種基線雜訊提高。

優點

差動式探棒為調整接地示波器進行浮動量測提供一種安全的方法。除安全性優勢外，使用這些探棒可以改善量測品質。差動式探棒提供均衡量測輸入電容，因此可以使用任意一條引線安全地探測電路中任何點。在比電壓隔離器更高的頻率上，差動式探棒一般比 CMRR 效能更好。

另一種優點是全面利用示波器的多個通道，同時觀察多個訊號，參考不同的電壓。

缺點

探棒仍有一條到接地的電阻路徑，因此如果電路對洩漏電流靈敏，那麼差動式探棒可能並不是最佳的解決方案。

其他缺點包括增加一層成本 (視示波器功能而定)，可能需要獨立的電源，這增加成本和體積。在出廠時，必須手動確定每種量測的增益和偏壓特性。

優點

電壓隔離器為安全量測浮動電壓提供一種手段，由於隔離器沒有接

地的電阻路徑，因此對洩漏電流異常靈敏的應用來說，它們是一個很好的選擇。

缺點

電壓隔離器增加一層成本。必須使用單獨的電源和隔離放大器箱。

在出廠時必須為每項量測手動確定增益和偏壓特性。

優點

使用「A - B」量測技術的優勢在於，幾乎任何示波器和標準配備探棒都可以簡便地完成這一點。記住，兩個測試點必須接地參考。

因此，如果任意一個測試點都是浮動的，或如果整個系統都是浮動的，那麼不適用這種方法。

缺點

在進行「A - B」量測時，要使用兩個示波器通道。這種技術的主要限制是共模範圍相當小，這源於示波器的垂直通道動態範圍。一般來說，其不到來自接地的伏格設定的 10 倍。在共模電壓大於差模電壓時，「A - B」量測技術可能會被認

為是從兩個大電壓中提取小的差異。這種技術適合共模訊號的振幅與差模訊號相同或低於差模訊號，且共模成分是 DC 或低頻，如 50 Hz 或 60 Hz 電源線的應用。在量測振幅適中的訊號時，它從量測中有效消除接地迴路電壓。

優點

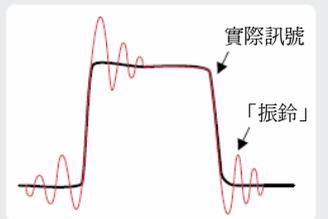
儘管浮動裝置是一種利用現有裝置進行浮動量測，消除頻率較低的訊號上接地迴路的方法，但它是一種不安全的、危險的作法，不應採用這種方法。

即使示波器恢復到正確接地操作，將來仍可能會導致發生危險故障 (電擊和危險)。

在較高的頻率上，切斷接地可能不會中斷接地迴路，因為電源線供電的儀器在接地以上浮動時會表現出大的寄生電容。振鈴可能會破壞浮動量測。浮動示波器沒有均衡輸入。參考一側 (探棒上的「接地」夾) 有一個明顯的接地電容。參考點連接的任何來源阻抗將在快速共模跳變中載入，使訊號發生衰減。更糟糕的是，

高電容可能會損壞某些電路。連接逆電器上方閘極共用的示波器可能會使閘極驅動訊號速度下降，防止待測裝置關閉，防止破壞輸入橋接器。這種故障通常伴隨著工作台上出現小的火花。

另一個缺點是其一次只能進行一項量測。記住，所有輸入參考都連結在一起，一旦浮動一個輸入參考，所有輸入參考都會在同一位準上浮動。



▶ 寄生電感和電容導致的振鈴使訊號失真，使量測無效

Tektronix TPS2000B 和 THS3000 系列 IsolatedChannel™ 示波器

TPS2000B 系列將 Tektronix 經過驗證的桌上型示波器效能與專為量測使用電池供電產品設計的 4 個隔離通道架構結合在一起。這種儀器與選購的電源套件 (TPS2PBD2) 搭配使用，能確保符合同級產品中的進階浮動量測標準。電源套件包括 4 支被動式高壓探棒 (P5122) 及電源量測和分析套裝軟體 (TPS2PWR1)。電源量測和分析套裝軟體提供電源分析量測 (真實功率、虛功率、真實功率因數、相角)、波形分析量測 (RMS、波峰因數、頻率)、諧波量測及切換損耗量測。

THS3000 系列是為使用示波器時需要更高流動性、而又不降低桌上型儀器效能，或執行浮動量測能力的工程師所設計的。這種手持式儀器堅固耐用、重量型，一個電池可連續工作 7 個小時，支援自動量測功能，在實驗室操作和現場操作中都提供很大的通用性。該儀器的隔離通道、高壓擷取 (高達 1000 V_{RMS} CAT II) 及進階波形記錄功能可以安全進行浮動量測，特別適合經常需要將實驗室中的量測與現場中的量測關聯起來的使用者。

注意 CAT 和電壓

為進行浮動量測選擇適當的電壓探棒

如何選擇探棒和示波器組合：

1. 確定量測 (或過壓) 類別

IEC 61010-1 國際標準為電壓量測儀器規定四種過壓類別。第一類到第四類過壓都是依據暫態訊號期間可能存在的電氣能量多少確定的。

在 IEC 61010-1 中，電壓量測儀器根據耐受電壓暫態訊號的能力來劃分等級。

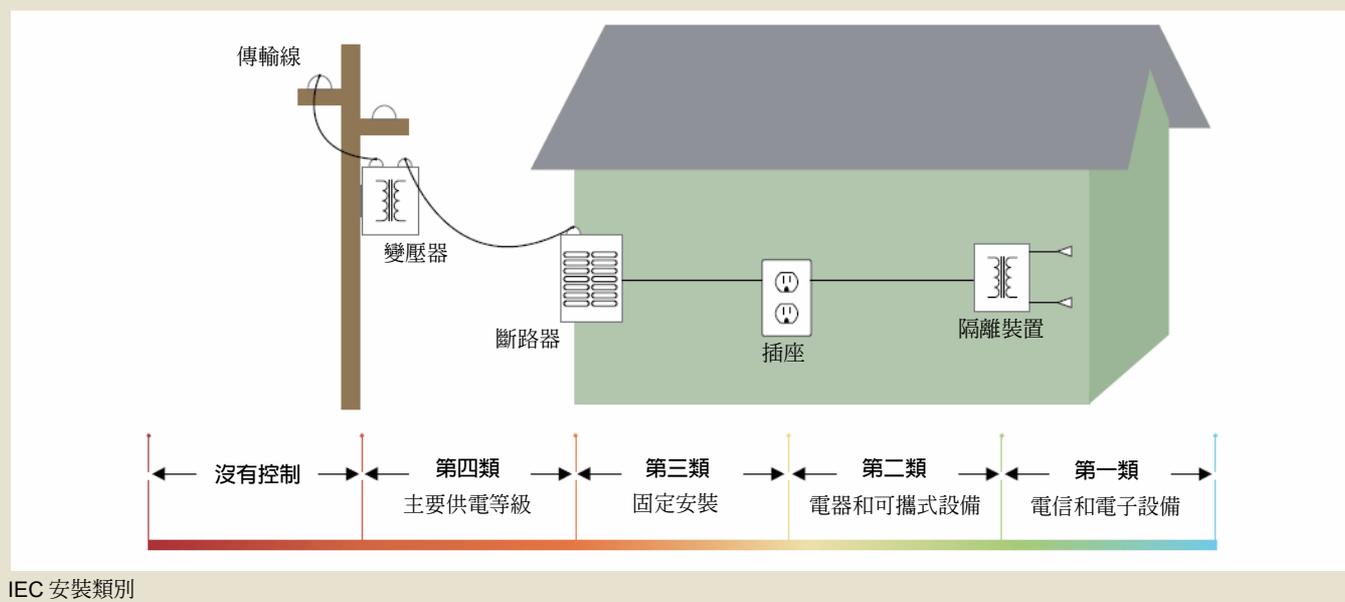
2. 確定最大浮動電壓

類別說明摘要	
第四類	用於對低壓專案中的電壓執行量測 (<1,000 V)。
第三類	用於在建築物系統中執行量測。
第二類	用於在直接連接低壓系統的電路上執行量測。
第一類	用於在沒有直接連接主電路上執行量測。

3. 確定探棒頭到接地最大電壓。

4. 確定從探棒頭到參考引線的最大電壓。

5. 確定螢幕上希望的最大峰對峰值讀數。



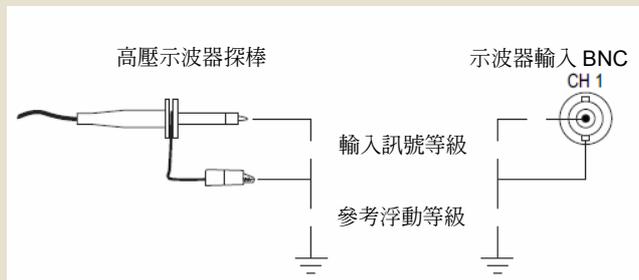
第二章：電力電子測試技術與應用技巧

注意 CAT 和電壓 (續)

為 TPS2000B 和 THS3000 系列示波器選擇適當的電壓探棒

		探棒名稱			
		TPP0201	THP0301	P5150	P5122 ¹
最大探棒頭到接地電壓		300 V _{RMS} CAT II	300 V _{RMS} CAT III	1000 V _{RMS} CAT II	DC 耦合時 1000 V _{RMS} CAT II
最大接地參考 (浮動) 電壓		30 V _{RMS}	300 V _{RMS} CAT III	600 V _{RMS} CAT II	600 V _{RMS} CAT II
衰減設定		10x	10x	50x	100x
頻寬		200 Mhz	300 Mhz	500 Mhz	200 Mhz
探棒類型		被動式	被動式	被動式	被動式
螢幕上峰對峰值電壓 ²	TPS	400 V _{P-P}	400 V _{P-P}	2000 V _{P-P}	2828 V _{P-P}
	THS	849 V _{P-P}	849 V _{P-P}	2828 V _{P-P}	2828 V _{P-P}
螢幕上 RMS 電壓 ²	TPS	141 V _{RMS}	141 V _{RMS}	707 V _{RMS}	1000 V _{RMS}
	THS	300 V _{RMS}	300 V _{RMS}	1000 V _{RMS}	1000 V _{RMS}

¹ P5122 探棒不應該用來在 TPS2000 上對 DC > 300 V 的訊號進行 AC 耦合量測。
² 受到儀器垂直解析度限制 (TPS = 5 V/div, THS = 100 V/div)。



實例：

需要量測線路到線路 240 V_{RMS} 三相 Y 型主動式諧波濾波器上的峰對峰值電壓。

1. 確定所需安裝類別的最大額定輸入電壓：第三類

- 某種類別等級允許的最大輸入電壓一般也適用於較低類別的環境。例如，如果儀器等級為 300 V_{RMS} CAT III，那麼在第二類環境中在 300 V_{RMS} 的儀器上工作也是安全的。
- 對更高的電壓位準，儀器通常會額外確定較低類別的等級值，如同時確定 300 V_{RMS} CAT III 和 600 V_{RMS} CAT II。這種情況並不是通用的，因此使用者必須在儀器文件中明確測試透過多個類別的等級。

2. 確定需要的最大浮動電壓 (接地到參考電壓)

- 這一實例的量測需求為 240 V_{RMS}。
- 因此，只有 THP0301、P5150 和 P5122 探棒適合。

3. 確定最大探棒頭到接地電壓需求

- 在本例中，工程師確定其大約為 140 V_{RMS}。
- 全部四支探棒都滿足這一需求。

4. 確定從探棒頭到參考引線的最大電壓

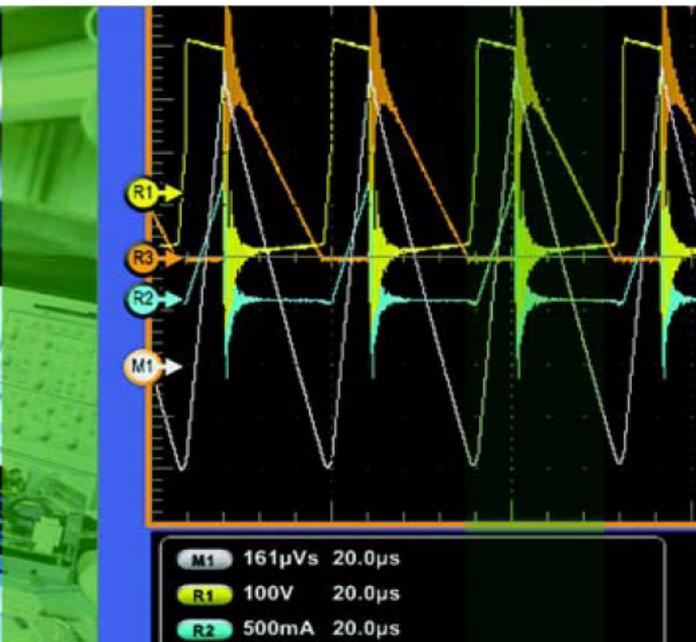
- 預計待測訊號的最大電壓是 240 V_{RMS}。
- 這使探棒僅能從 THP0301、P5150 和 P5122 探棒中選取。

5. 確定需要的衰減

- 計算與 240 V_{RMS} 對應的最大峰對峰值電壓
- 因此，所需的可以觀察的電壓範圍是：
 $240 V_{RMS} \times \sqrt{2} \times 2 = 679 V_{P-P}$
- TPS2000B 系列在螢幕上最大垂直設定為 5V/div，共 8 格。
- THS3000 在螢幕上最大垂直設定為 100V/div，共 8 格。
- 需要的探棒衰減 = 目測電壓 / 最大垂直設定 / 格數。
- TPS2000B: $679 V_{P-P} / 5 / 8 = 17x$ ，僅 P5150 和 P5122 提供足夠的衰減。
- THS3000: $679 V_{P-P} / 100 / 8 = 1x$ ，所有探棒都提供足夠的衰減。

6. 選擇滿足最低需求的探棒

- 對 TPS2000B，P5150 和 P5122 探棒適合這一測試場景。
- 對 THS3000，THP0301、P5150 和 P5122 探棒適合這一測試場景。



電源量測和分析

入門手冊

目錄

簡介.....	38	消除探棒偏移和雜訊.....	46
電源供應設計問題針對量測需要.....	38	自動除去偏移.....	46
切換模式電源供應基礎.....	38	手動除去偏移.....	46
主動元件量測：切換元素.....	39–46	被動元件量測：磁力.....	47–52
切換式裝置的功率耗損理論.....	39	電感基本原理.....	47
關閉耗損.....	39	使用示波器來量測電感.....	47
開啓耗損.....	40	磁性功率耗損基本原理.....	48
功率耗損.....	40	磁心耗損.....	48
安全工作區.....	41	銅耗損.....	48
動態開點電阻.....	41	使用示波器量測磁性功率耗損.....	49
進行主動式元件量測.....	41	磁性性質基本原理.....	49
選擇適當的量測解決方案.....	42	B-H 圖.....	50
示波器的效能指標.....	42	磁性屬性量測.....	51
上升時間.....	42	使用示波器量測磁性品質.....	52
取樣率.....	42	電源線量測.....	53–54
記錄長度.....	42	電源品質量測基本原理.....	53
電源量測和分析軟體.....	42	使用示波器量測電源品質.....	54
電流探棒.....	44	結論.....	54

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

簡介

電源供應器是將電力從一種形式轉變成另一種形式的元件、子系統或者系統；通常是將交流電 (AC) 電源轉換為直流電 (DC) 電源。不管是個人電腦、軍事設備或工業機械等電子儀器，直流電源的效能和可靠性是決定操作能否正常的關鍵。

電源供應器有多種不同的種類和大小；從傳統的類比類型到高效率的切換模式電源供應器都有。而這全都面臨一種複雜、動態的操作環境。各種情況下的裝置負載和需求均不同。就算是一個日用的切換模式電源供應器，也必須能夠在突然遠超過平常操作水準的尖峰供電量中存活下來。設計電源供應器的工程師或是使用電源供應器的系統，必須瞭解他們產品在條件從靜止到最壞情況中的反應。

在過去，描述電源供應器的反應，表示著需使用數位電表量測靜態電流和電壓，並以計算機或者電腦進行艱深的運算。今天大多數工程師轉向使用示波器作為他們優先考慮的功率量測平台。

現今的示波器可配備整合式功率量測功能和分析軟體，因而簡化了量測過程。使用者能自訂關鍵參數、自動化計算並在數秒鐘內看到結果，且不只是粗略的數字。

本入門將著重於以示波器和特定應用軟體所設計的切換模式電源供應器量測。

電源供應設計問題針對量測需要

理想中，每部電源供應器的運作情形，都應與用以設計的數學模型相同。但是在現實世界裡，元件並不完美；負載會變化、線路功率可能失真、環境變化會改變效能。而且，效能的改變和成本需求使得電源供應器的設計更為複雜。細想一下這些問題：

- 電源供應器能承受超過計算負載量多少的瓦數，而且能承受多久？
- 供電時散發出多少熱量、過熱時會發生什麼事、又需要多少冷卻氣流？
- 負載嚴重超出時會發生什麼事？裝置能夠維持預估的輸出電壓嗎？輸出發生短路時供應器會產生什麼反應？
- 供應器的輸入電壓改變時會發生什麼事？

設計師被要求做出比較省空間、降溫、減少生產成本和達到更嚴苛 EMI/EMC 標準的供應器。只有嚴苛的量測才能將工程師導向這些目標。

切換模式電源供應基礎

現代最普遍的直流電源供應器構造是切換模式電源供應器 (SMPS)，它能有效率地處理負載的變化。SMPS 電源的一般訊號路徑包含了被動、主動和磁性元件。SMPS 儘可能少用類似電阻器和線性模式電晶體等耗損性元件，而著重於那些 (理想上) 低失真的元件：切換模式電晶體、電容和磁鐵。

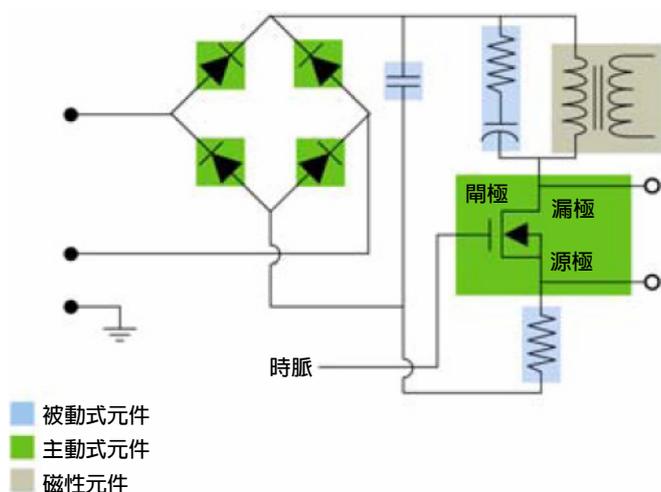


圖 1. 簡化的切換模式電源供應器線路圖

SMPS 裝置也有一個控制區段，包含了像是脈波寬度調變調節器、脈波率調變調節器和反饋迴路¹等元件。控制區段可能有它們自己的電源供應器。圖 1 是一張簡化的 SMPS 線路圖，顯示包含了主動，被動，和磁鐵元件的電力轉換區段。

SMPS 技術是以 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors (MOSFET) 和 Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT) 等電子半導體切換裝置為基礎的。這些裝置提供快速的切換時間並且能禁得住不穩定電壓尖波。同樣重要的是，這些裝置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 整體的效率。切換裝置的關鍵量測包括了：切換耗損、平均功率耗損、安全操作區域和其他。

¹ 本入門討論的是有關電源路徑的量測，包括幫助輸出的內部元件量測。控制區段量測是以比較傳統的波形和邏輯為基礎的觀察且不包含在這份文件中。

主動元件量測：開關單元

切換式裝置的功率耗損原理

電晶體切換電路會在轉換期間耗損能量，因為在切換期間，會釋放二極體儲存的電能，並釋放寄生電感及電容中的能量。「開啓耗損」是指當切換裝置從「關閉」轉換成「開啓」時的能量耗損。「關閉耗損」是指當裝置從「開啓」轉換成「關閉」時的耗損。

關閉耗損

圖 2 以圖解來說明關閉耗損的計算。 t_1 之後，切換電流下降，二極體電流上升。時間 (t_2-t_1) 取決於驅動程式為 MOSFET 之閘極-漏極電容器 C_{gd} 充電的速度有多快。

轉換期間的能量耗損以下列公式來表示：

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

其中：

- E_{off} 是轉換過程中切換損耗的平均能量
- V_g 是閘極電壓
- 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

這個公式假設電壓的線性上升是透過 C_{ds} (從漏極至源極的電容) 和 C_{gd} 。 C_{ds} 和 C_{gd} 是寄生電容。

在實際的裝置中，電容 C_{gd} 和 C_{ds} 是高度非線性的，會依漏極至源極的電壓而有所變化。在某個程度上，這和剛才所看到的理論式計算是不同的。就 IGBT 的例子來看，會因為末端電流現象的關係，而導致電流的下降時間更高。因為這些差異，而使得擷取電壓變化的實際設定更形重要。若示波器配備專用電源量測軟體，則可大大地簡化這些量測作業。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

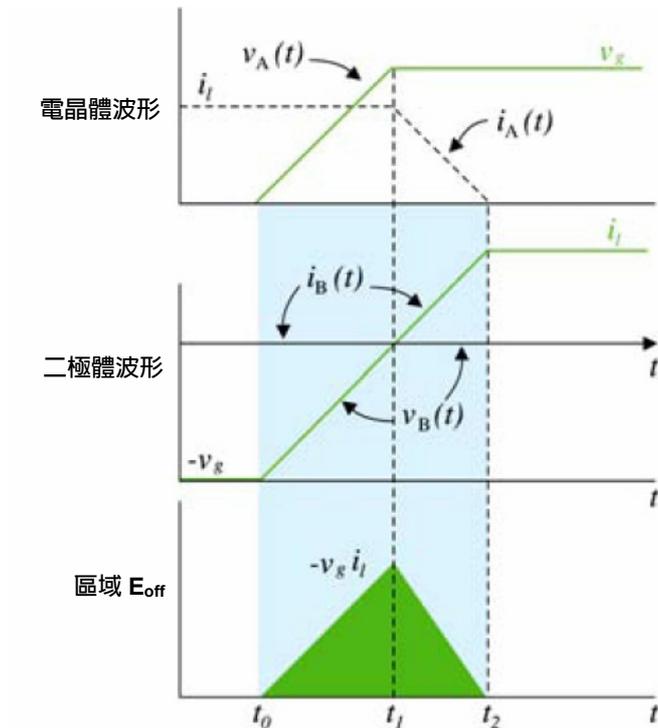


圖 2. 計算關閉耗損

開啓耗損

圖 3 顯示在內含電容負載以及具有二極體復原充電功能的 MOSFET 中，其開啓耗損的情形。當 MOSFET 是以內含電容負載的方式來開啓時，則要等到所儲存的電能回復時，二極體電壓才會增加。因此，二極體會繼續以負極方向來傳導電流，直到它能夠阻斷電壓。這樣會導致切換時大量耗損。反向的復原電流取決於二極體路徑中的外部電路。二極體中的電能取決於順向式電流，以及在二極體關閉轉換期間下降電流的 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 簡化並修改自一份標題為“Fundamentals of Power Electronics”的報告，作者為科羅拉多大學的 Robert A. Erickson。

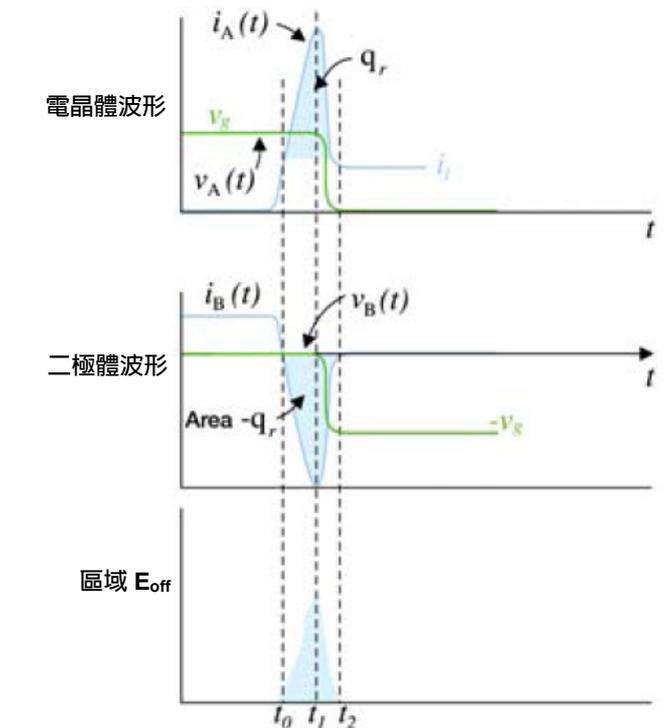


圖 3. 內含電容負載之 MOSFET 中的開啓耗損²

其中：

- E_{on} 是轉換過程中切換損耗的平均能量
- $v_a(t)$ 是暫態開極電壓
- $i_a(t)$ 是流經開關的暫態電流
- t_1 是轉換結束時間
- t_0 是轉換開始時間

功率耗損

總耗損量為切換裝置中的平均功率耗損量。這包括切換耗損和傳導耗損。在總耗損量的計算公式中：

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

其中：

- P_{Loss} 是開關中的平均功率損耗
- V_{switch} 是流經開關的暫態電壓
- I_{switch} 是流經開關的暫態電流
- T_s 是開關週期

安全工作區

切換裝置的「安全工作區 (SOA)」量測標示出電壓和電流，以描繪該裝置的作業區域。通常針對電源可能遇到的不同操作狀況，來建立 SOA 標示圖，是很有用的。

切換裝置製造商的資料表單會概述該切換裝置的特定限制。目的就是要確定切換裝置能夠接受電源必須在其使用者環境中處理的作業限制。SOA 測試變數可能包含各種負載狀況、作業溫度的變化、高低線性輸入電壓等等。圖 4 是 SOA 軌跡實例。

SOA 測試通常會使用下列公式來計算「功率值」：

$$P_n = V_n I_n$$

其中：

- P_n 是即時功率值
- V_n 是電壓值
- I_n 是電流值
- n 是特定端點的樣本

下列公式可計算「平均功率」：

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

其中：

- N 是標示圖中擁有相同值的樣本數

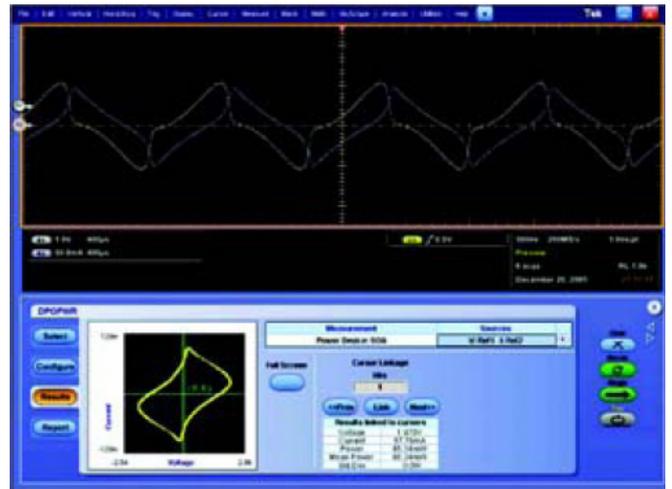


圖 4. 這個範例來自 DPOWPR，說明 SMPS 的 SOA 標示圖。該標示圖可與切換裝置製造商所公佈的資料做比較。

動態開點電阻

可以使用元件產品技術資料中所提供的 $R_{DS(ON)}$ 值，估算開關裝置在「開啓」狀態下的電阻。但是，實際電阻（進而是切換傳導損耗）並不是恆定不變的，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 量測代表切換期間的電流變更率，dv/dt 代表切換期間的電壓變更率。

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來說，電源量測由於頻率相對較低，似乎會比較簡單。但實際上，電源量測帶來了高速電路設計人員前所未有的一系列挑戰。

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

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

選擇適當的量測解決方案

在量測交換式電源供應器時，必需選擇能夠勝任工作的工具。為在測試過程中啟動和關閉 SMPS，可能要求來自信號源的脈衝激勵訊號。為準確地模擬正常工作條件下的閘極驅動訊號，激勵訊號必須有可以調整的占空比、邊緣轉態時間和頻率。為驅動 IGBT 裝置，激勵源必須能夠產生要求的電壓，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，提供在以高時序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個通道，一個用於電壓量測，一個用於電流量測。

將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，使這一系列工具發揮最大功效。

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、取樣率、記錄長度，以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，才能擷取快速轉態的關鍵細節。

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

例如，如果切換訊號的上升時間為 5 ns，那麼示波器的上升時間至少應該是 1 ns，才能準確地進行量測。為提供這麼快的上升時間，示波器的頻寬一般至少要達到 350 MHz。

取樣率

取樣率以每秒樣點數 (S/s) 表示，指數位示波器擷取訊號取樣點的頻率。取樣率越快，波形解析度越高，波形越詳細，遺失關鍵資訊或事件的可能性越低。為驗證 SMPS 切換過程中一般出現的振鈴，示波器的取樣率必須足夠快，以便擷取切換訊號邊緣上的多個取樣點。

記錄長度

示波器在一段時間內擷取事件的功能，取決於所使用的取樣率，以及儲存所收到之訊號取樣的記憶體深度 (記錄長度)。記憶體會直接以取樣率的比例來填滿。若取樣率的設定值夠高，足以提供詳細的高解析度來檢視訊號，則記憶體很快就會填滿了。

就許多 SMPS 功率量測來說，都必須擷取四分之一或二分之一週期 (90 或 180 度) 的功率頻率訊號；有些甚至需要一整週期的功率頻率訊號。60 Hz 功率頻率的 1/2 週期的時間是 8 ms 多。在取樣率為 1 GS/s 時，需要 8 M 點的記錄長度，才能擷取這麼長的時間。

電源量測和分析軟體

應用軟體可以大幅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。

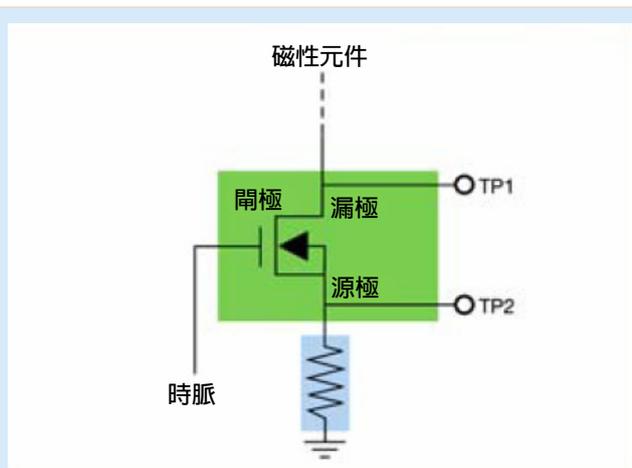


圖 5. MOSFET 切換裝置，顯示量測點

一次擷取同時測得 100 伏特和 100 毫伏

若要透過切換裝置來量測切換耗損和平均功率耗損，示波器必須先分別判讀開啓和關閉期間，通過切換裝置的電壓。

在 AC/DC 轉換器中，通過切換裝置的電壓範圍會有很大的動態變化。開啓狀態期間，通過切換裝置的電壓需視切換裝置的類型而定。圖 5 所示的 MOSFET 中，開啓的電壓是波道電阻和電流的產物。在 Bipolar Junction Transistors (BJT) 和 IGBT 裝置中，電壓主要是依據飽和電壓下降 ($V_{CE_{sat}}$)。關閉狀態的電壓則是依據操作輸入的電壓和切換式轉換器的拓樸。一般專為電算設備所設計的 DC 電源都可以在一般用途的電壓上操作 (從 $80 V_{rms}$ 到 $264 V_{rms}$)。在最大輸入電壓下，通過切換裝置 (TP1 與 TP2 之間) 的關閉狀態電壓可高達 750 伏特。在開啓狀態下，通過相同端子的電壓範圍可從數毫伏到大約一伏特。圖 6 顯示切換裝置上一般訊號的特色。

必須先量測這些關閉和開啓的電壓，才能在切換裝置上精確地量測功率。但是一般 8 位元的數位示波器缺少動態的範圍，無法 (在同一量測週期中) 精確地測得開啓期間的毫伏範圍訊號，以及關閉期間的高電壓。

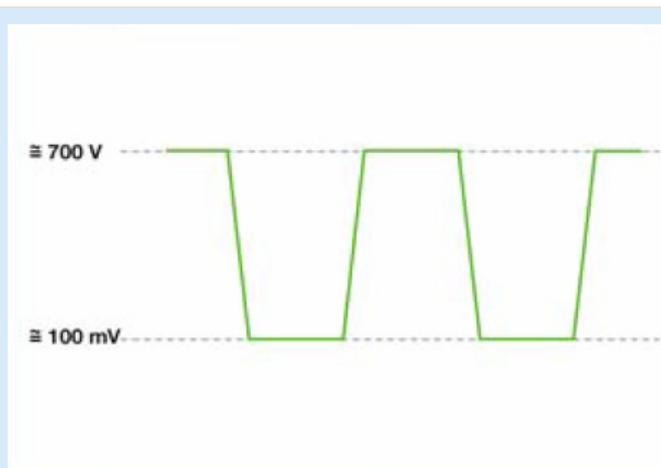
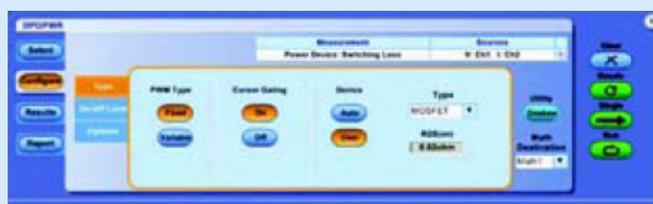


圖 6. 切換裝置上的一般訊號

圖 7. DPOWWR 輸入頁，可讓使用者輸入 $R_{DS_{on}}$ 和 $V_{CE_{sat}}$ 的資料表單值

若要擷取這個訊號，示波器的垂直範圍可設為每格 100 伏特。在這樣的設定下，示波器將會接受高達 1000 伏特的電壓；因此，不需要加強示波器，即可取得 700 伏特的訊號。使用這種設定的問題，就是最高靈敏度 (其可解析的最小訊號振幅) 為 $1000/256$ ，或大約 4 伏特。

Tektronix 以 DPOWWR 應用程式的功能來解決這個問題，它可以讓使用者從裝置資料表單將 $R_{DS_{on}}$ 或 $V_{CE_{sat}}$ 值輸入圖 7 中所示的量測功能表。另外，如果所測得的電壓是在示波器的靈敏度範圍內，DPOWWR 就可以使用所擷取的資料來計算，不需手動輸入那些值。

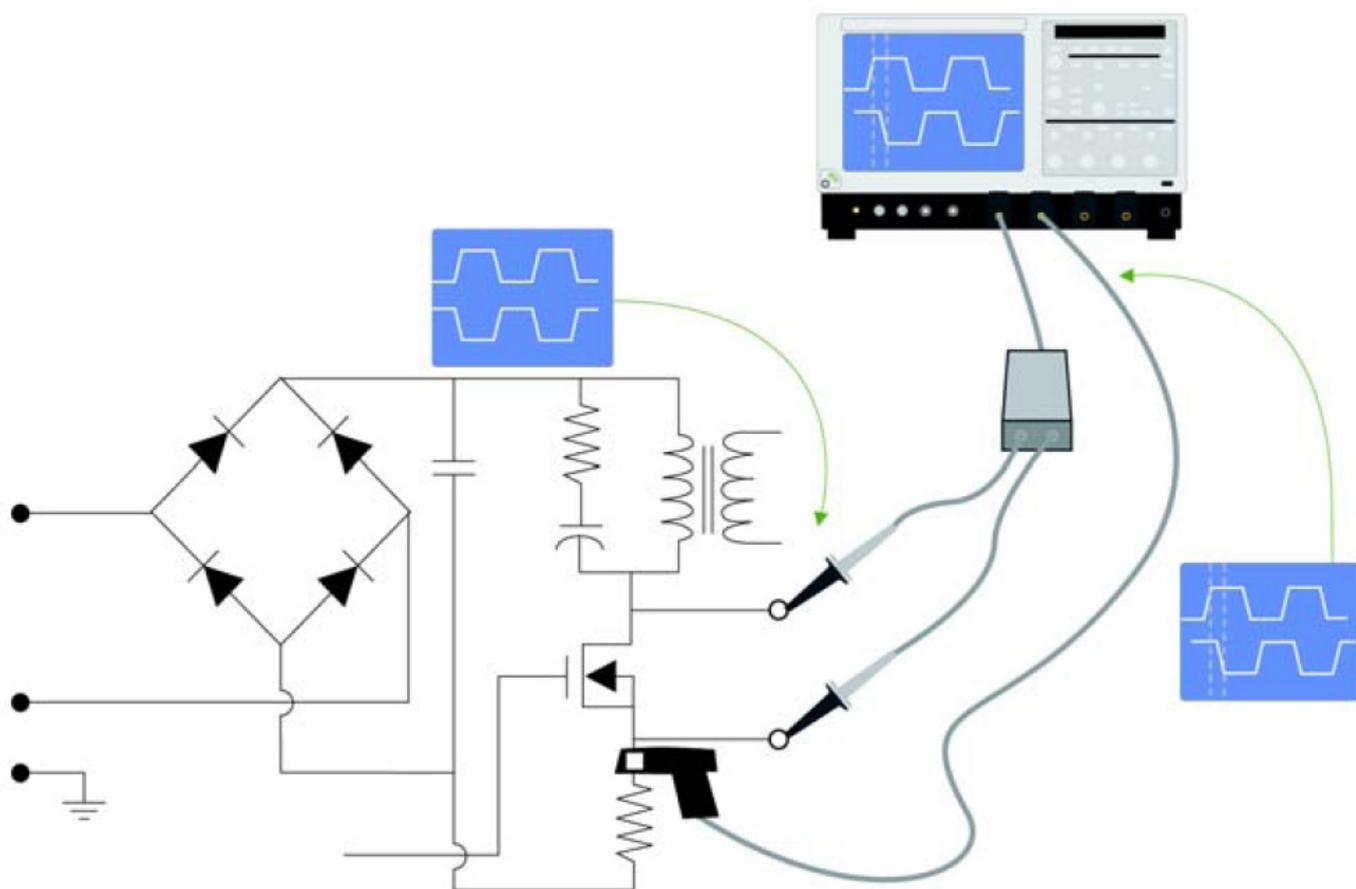


圖 8. 傳播延遲對電源量測的影響

電流探棒

數位示波器進行電源量測時，必需量測流經 MOSFET 開關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支不同的探棒：一支高壓差動式探棒和一支電流探棒，後者通常是非侵入式霍爾效應型的探棒。每種探棒都有自己的傳播延遲特性，這兩種延遲之差稱為偏移，會導致時序量測不準確及功率波形失真。

必需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，那麼結果會不正確。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 所示的測試設定為探棒探針上的訊號（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（上面的軌跡顯示畫面）的比較。

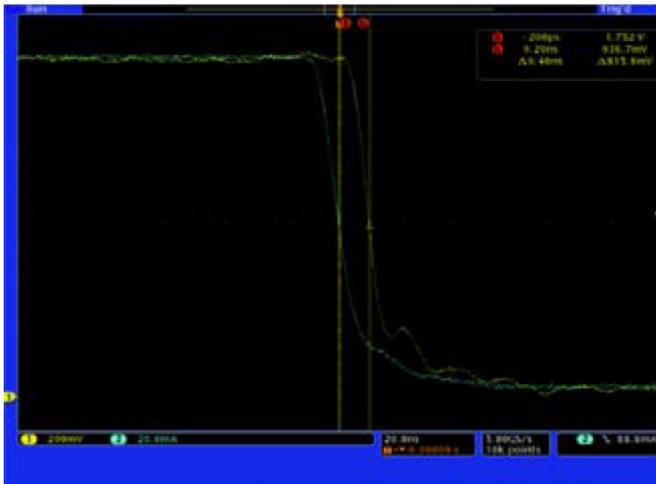


圖 9. 電壓訊號與電流訊號之間 9.4 ns 的偏移

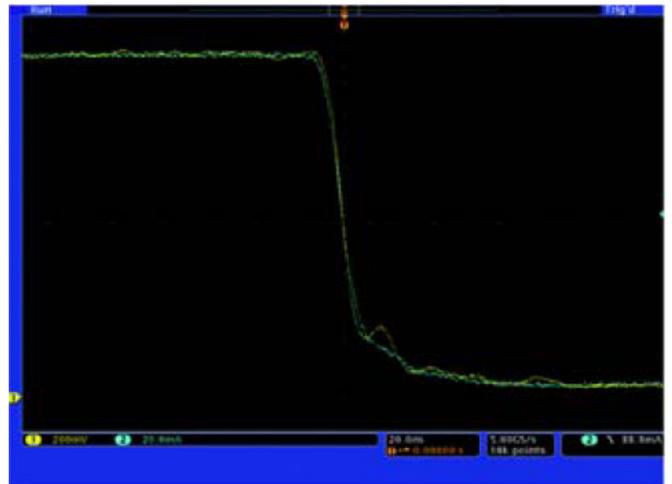


圖 11. 在偏移校正過程後電壓訊號與電流訊號對準

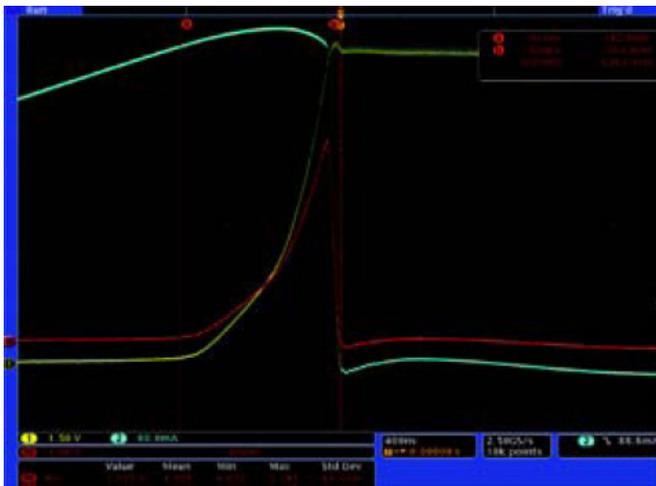


圖 10. 在這一偏移下，功率波形的峰值振幅是 4.958 W

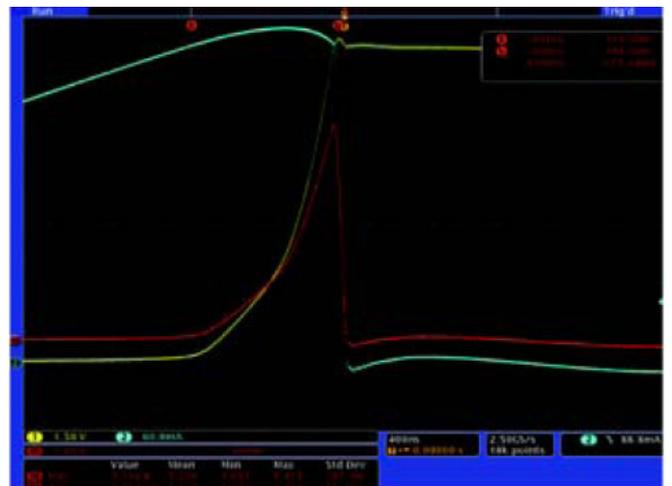


圖 12. 在偏移校正後峰值振幅上升到 5.239 W (高出 5.6%)

圖 9 到圖 12 為探棒偏移影響的實際示波器螢幕畫面。圖 9 顯示電壓探棒和電流探棒之間的偏移，圖 10 則顯示在沒有校正兩支探棒偏移前獲得的量測結果 (4.958 W)。

圖 11 顯示校正探棒偏移的影響。兩條參考軌跡重疊，表示延遲已經均衡。圖 12 中的量測結果說明正確校正偏移的重要性。這一實例證明，偏移導入 5.6% 的量測誤差。準確校正偏移可減少峰對峰值功率損耗量測的誤差。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

DPOPWR 功率量測軟體會自動校準所選擇的探棒組合。該軟體會利用通電中的電流和電壓訊號，來除去電壓和電流探棒之間的傳輸延遲差異，以控制示波器，並調整電壓和電流波道之間的延遲。

另外還有一種靜電校準功能，但需要特定電壓和電流探棒具有持續且可重複的傳輸延遲。靜電校準功能會依據內含的選定探棒傳輸時間表（例如本文件常談到 Tektronix 的探棒），自動調整選定電壓和電流波道之間的延遲。這項技術提供快速又簡單的方法來簡化校準的工作。

消除探棒偏移和雜訊

差動與電流探棒可能會有輕微的偏移。在進行量測前應除去偏移，以免影響精確度。有些探棒具有自動化的內建方法來除去偏移，其他探棒則可能需要手動程序來除去偏移。

自動除去偏移

配備 TekVPI™ 探棒介面的探棒，可與示波器搭配使用，以去除訊號路徑中的所有 DC 偏移錯誤。按 TekVPI™ 探棒上的功能表按鈕，會在示波器上出現探棒控制對話方塊，顯示 AutoZero 功能。



圖 13. TDSPWR3 軟體功能表上的訊號調整選項。此選項會在切換裝置「關閉」期間，將電流設為零。

選擇 AutoZero 選項，將自動除去量測系統中的 DC 偏移錯誤成空值。TekVPI™ 電流探棒在探棒體上也有 Degauss/AutoZero 按鈕，按下 AutoZero 按鈕，將除去所有量測系統中出現的 DC 偏移錯誤。

手動除去偏移

大部分的差動電壓探棒都有內建的 DC 偏移修正控制功能，讓除去偏移的程序變得更簡單。同樣地，在執行量測之前，也必須調整電流探棒。

請注意，這些探棒都是作用中的裝置，而且即使是在沒有活動的狀態下，還是會有低度的雜訊存在。這個雜訊會影響以電壓及電流波形資料為依據的量測值。DPOPWR 軟體套件包含訊號調整功能（圖 13），可降低探棒固有雜訊的效應。

被動元件量測：磁力

被動元件就是沒有放大或切換訊號的元件。電源會使用完整範圍的被動元件，例如電阻器和電容器，但是從量測的角度來看，主要焦點是在磁性元件上 (磁力)，尤其是電感器和變壓器。電感器和變壓器都是以銅線纏繞鐵線圈心而成。

電感器會隨著頻率增加阻抗，阻抗高頻率多於低頻率。如此可以讓它在電源輸入及輸出時，能夠用來過濾。

變壓器將電壓和電流從一次側連結到二次側，以增加或減少訊號訊號位準 (電壓或電流其中之一，不會二種同時進行)。因此，變壓器可以在一次側接受 120 伏特，然後在二次側減少為 12 伏特，並且在二次側增加成比例的電流。請注意，這不能視為增強，因為訊號的淨功率並沒有增加。由於變壓器的主要和二次側並不通電，所以也會用它們來隔離電路元素。

可以幫助判斷電源效能的部分量測值包括：

- 電感
- 功率耗損 (磁力)
- 磁性

電感基本原理

電源供應器使用電感做為能源儲存裝置、濾波器或變壓器。電感被當作變壓器使用時，可協助維持切換模式電力系統中的震盪。設計師必須監視此裝置在特定操作條件下的反應。電感值會隨著電流和電壓源、激發訊號、波形和操作的頻率而改變。電感的定義為：

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

其中：

- L 為電感
- V 為整個電感的電壓
- I 是通過電感的電流
- dt 是訊號的變化率；斜率

電感量測設備有數種不同的類型。以 LCR 計量器為例，它使用內建的訊號產生器激發受測的電感，然後使用橋式平衡技術來量測裝置的阻抗。LCR 計量器使用正弦波波形做為信號源。

但在實際的電源供應器中，訊號是一個高電壓、高電流的方波。因此為取得較精確的圖像，大部分電源供應器的設計師都寧願選擇觀察電感在電源供應器的動態變更環境中的反應。

使用示波器來量測電感

現用電源供應中用於量測電感最方便的工具為示波器。電感量測本身就像探查磁性元件的電壓和所通過電流一樣簡單，很像之前所描述的切換裝置量測。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

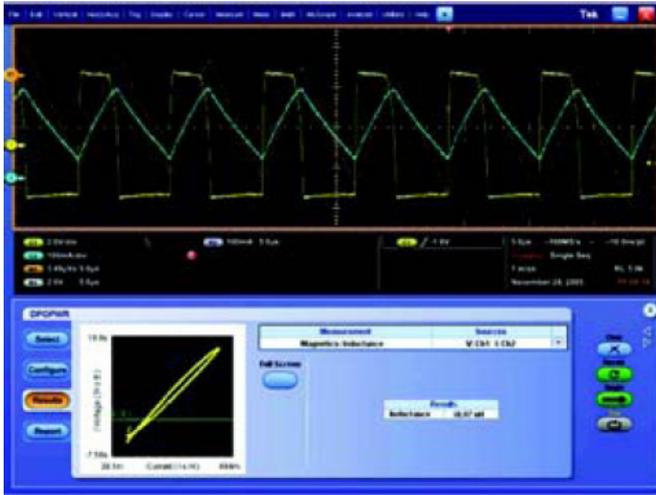


圖 14. DPOWPR 應用軟體所產生的電感量測

圖 14 所示為這類電感量測的結果。此處軟體已計算出電感為 58.97 微亨 (microhenry)。

磁性功率耗損基本原理

磁性功率耗損會影響電源供應器的效率、可靠度和熱效能。與磁性元件相關的功率耗損有兩種：核心耗損和銅耗損。

磁心耗損

磁心耗損包含磁滯耗損和渦流耗損。磁滯耗損與 DC 通量頻率有關。每單位體積的磁滯耗損以下列公式表示：

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

其中：

- P_{Hyst} 為每單位體積的磁滯耗損
- H 為磁場強度
- B 為磁通量密度

鐵心材料

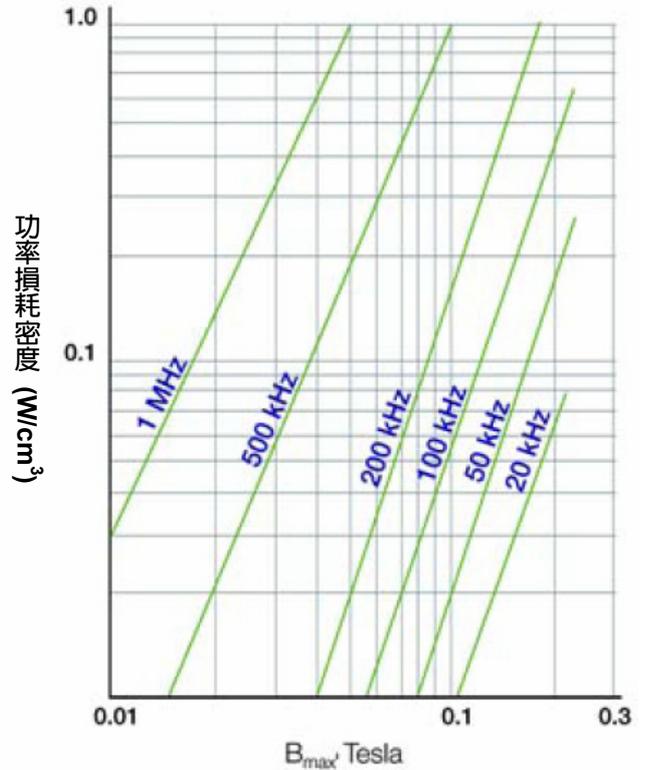


圖 15. 不同切換頻率下磁芯耗損對磁通量密度的分布圖

您可以使用磁心製造商的产品規格表 (如圖 15 所示) 來計算磁心耗損。此處製造商已指定在 I 和 III 象限作業中之正弦波激發的耗損。此外製造商也指定了一個經驗關係式,以計算在不同的 AC 磁通量密度和頻率下的磁心耗損。

銅耗損

造成銅耗損的原因是因為銅線圈中的電阻。計算銅耗損的公式如下：

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

其中：

- P_{cu} 為銅線耗損
- I_{rms} 為通過磁性元件的 rms 電流
- R_{wdg} 為線圈電阻,此電阻會隨著 DC 電阻、集膚效應和鄰近效應而改變

使用示波器量測磁性功率耗損

您可以利用核心廠商產品規格表中所提供的資訊，以及執行功率量測軟體之示波器所產生的結果，快速推導出總功率耗損和核心耗損的值。然後使用這兩個值來計算銅耗損。知道不同的功率耗損元件後，便可以找出磁性元件造成功率耗損的原因。

磁性元件功率耗損的計算方式，有部分會受到所量測元件的類型所影響。受測裝置可能是單線圈電感、多線圈電感或變壓器。圖 16 所示為使用 DPOPWR 軟體量測單一線圈電感的結果。

波道 1 (黃色軌跡) 整個電感的電壓，而波道 2 (藍色軌跡) 則是電流，量測的方式是以非插入式的電流探棒穿過電感來量測。DPOPWR 套件會自動計算和顯示功率耗損圖，如此處所顯示的 173.95 毫瓦。

多線圈電感所需的方式稍微有些不同。總功率耗損為個別線圈耗損的總和。

$$TotalPowerLoss = PowerLoss_{L1} + PowerLoss_{L2} + PowerLoss_{L3} + \dots$$

計算變壓器耗損所用的公式會有更多不同：

$$TotalPowerLoss = PowerLoss_{PR} - (PowerLoss_{S1} + PowerLoss_{S2} + \dots)$$

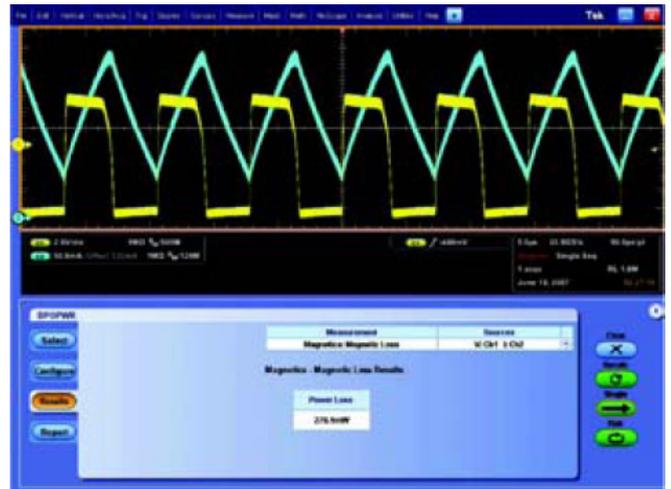


圖 16. 使用 DPOPWR 所測得之單線圈電感的功率耗損

在一次側所測得的功率耗損將包含二次側的反射功率。因此，您必須先量測一次側和二次側的功率後，再使用變壓器方程式來計算功率耗損。

磁性性質基本原理

切換模式的電源供應器必須能夠適應各種操作條件，並且一樣可靠。為了擁有最佳效能，設計師一般都會指定由製造商所提供使用 B-H (磁滯) 曲線的磁性元件，即變壓器和電感。這些曲線定義磁性核心材料發展的效能。包括作業電壓、電流、拓樸和轉換器等因數，都必須維持在磁滯曲線的線性區域內。顯然，有這麼多變數時，這個目標不太容易達成。

驗證磁性元件的工作區域，同時在 SMPS 內保持工作，對確定電源的穩定性至關重要。量測程式包括繪制磁滯迴路軌跡及研究電感器和變壓器的磁性屬性。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

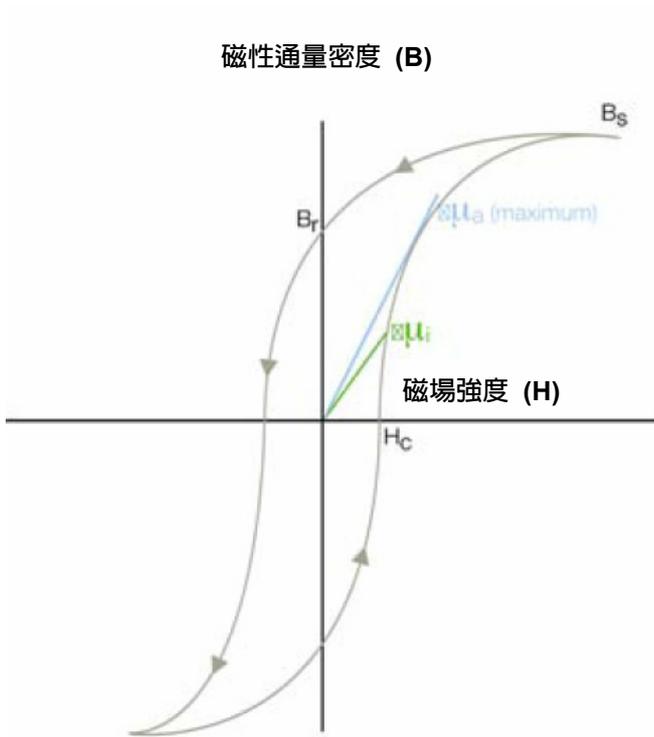


圖 17. 磁性元件的一般 B-H (磁滯) 圖

B-H 圖

B-H 圖為磁性性質的特性。圖 17 所示為正弦波激發的典型 B-H 圖。

若要繪製 B-H 量測圖，開始時必須準備下列資訊：

- 流經磁性元件的電壓 (V)
- 磁性電流 (I)
- 圈數 (N)
- 磁長 (L)
- 截面積 (A)
- 表面積 (S)

這些為圖 17 中的定義所用的變數：

磁場強度 (H) 是用於傳導受測材料中磁通量的磁場。其單位以每公尺的安培數來表示。

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

飽和磁通密度 (Bs) 是材料中所能傳導的最大磁通量密度，不論外部應用磁場 H 的大小為何。

$$\phi_k = \int V(t)_k dt$$

和：

$$B_k(t) = \frac{\phi_k}{N * S}$$

剩餘磁通量密度 (Br) 是外部應用磁場 (H) 在產生磁滯迴路而歸零之後，殘餘在材料中的傳導磁通量密度。

矯磁力 (Hc) 是 H 軸與磁滯迴路的截距上的 H 值，表示在磁滯迴路量測週期時，要使傳導磁通量密度 (B) 歸零所需的外部磁場。Hc 的正負軸對稱。

初始磁導性 (μi) 是傳導磁通量密度 (B) 與 H 到達零時之應用磁場 (H) 的比率。此為磁滯迴路中任一點之 B 與 H 的比率。此外，最大振幅導磁系數是磁滯迴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。

磁性屬性量測

電感器作為電源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。

若要量測磁性性質，必須提供下列資訊：

- 通過磁性元件的電壓 (V)
- 磁化電流 (I)
- 圈數 (N)
- 磁長 (L)
- 截面積 (A)

電感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-to-DC」(直流電對直流電) 的變壓器中，其線圈中的磁通量計算公式如下：

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

和：

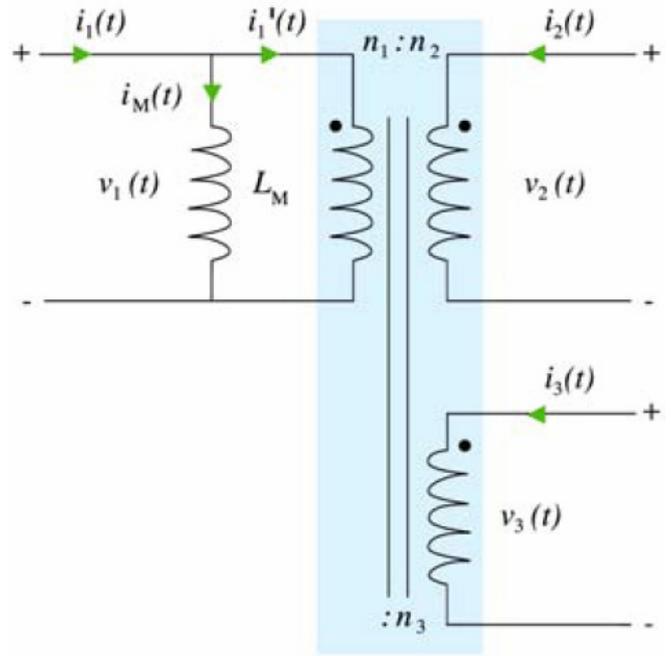
$$\phi_L [(n+1)T_s] = \phi_L [nT_s]$$

圖 18 所示為典型的多線圈磁性元件，此元件可能做為耦合電感或變壓器。計算此電路作業的電氣公式如下：

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

和：

$$i_1(t) \cdot n_1 = -i_2(t) \cdot n_2 - i_3(t) \cdot n_3$$



理想的變壓器

圖 18. 多線圈磁鐵元件

和：

$$i_1(t) = i_M(t) + i_1(t)$$

若要計算網路磁化電流，必須量測 $i_1(t)$ 、 $i_2(t)$ 和 $i_3(t)$ 。若已知網路磁化電流，則 B-H 分析程序就類似於計算單一線圈電感時所用的程序。磁通量會隨著網路磁化電流而改變。在所有線圈中所量測電流的向量總和，即等於磁化電流。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

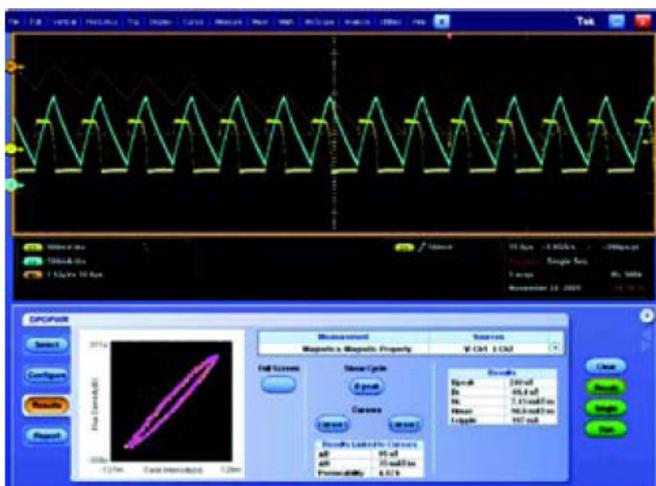


圖 19. 單線圈電感的 B-H 圖

使用示波器量測磁性品質

Tektronix DPOPWR 套件等描述功率量測的軟體，可以利用示波器大幅放大磁性性質的量測。在許多情況下，您只需量測電壓和磁化電流即可。軟體會自動為您計算磁性性質的量測值。圖 19 描述在單一線圈電感上量測 DPOPWR 磁性性質的結果，也可在具備主要與二次側電流來源的變壓器上進行量測。

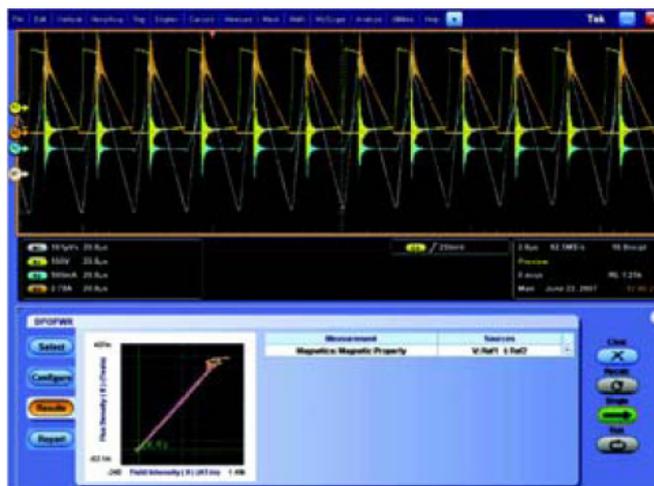


圖 20. 變壓器的 B-H 圖

在圖 20 中，波道 1 (黃色軌跡) 為整個變壓器的電壓，波道 2 (藍色軌跡) 為通過一次側的電流，波道 3 (洋紅色軌跡) 為通過二次側的電流。透過波道 2 和波道 3 的資料，軟體便可算出磁化電流。

某些電源量測軟體可以利用這項資訊建立磁性元件的正確 B-H 圖，並分析其效能的特性。DPOPWR 軟體會在所擷取的記憶體中，計算每個週期的 B-H 圖。

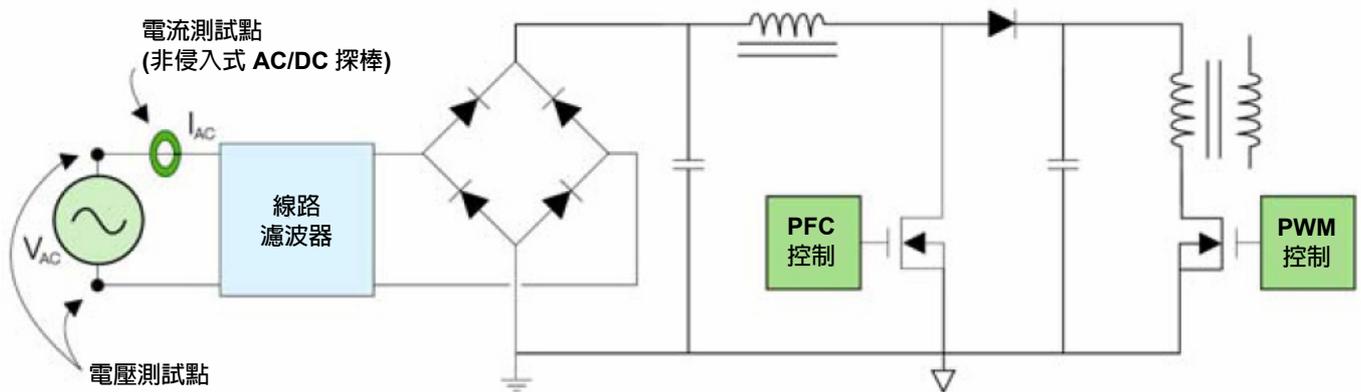


圖 21. SMPS 電源供應器 (只有主要部分) 及其電源品質測量測試點的簡圖。量測電源品質時，必須有同步輸入的 V_{AC} 和 I_{AC} 讀數。

電源線量測

電源線量測可分析供應器與其使用環境互動時的特性。您必須記得電源供應器可以有各種大小，如個人電腦內的小型風扇箱、供應工廠馬達的大型裝置、以及支援電話銀行和伺服器群組的大型供應器。這些裝置每一種都對供應其電力的傳入電源（一般是設備電源）產生相同的效應。

若要判斷插入電源供應器後所產生的影響，必須直接量測輸入電源線上的電源電壓和電流參數。

電源品質量測基本原理

不只單單受到電流產生者的影響。同時也取決於電源供應器的設計和製造商，以及其他終端使用者的負載。電源供應器的電源品質特性，即是此電源供應器的「健康狀態」。

真正的電源線永遠不會產生理想的正弦波，在電線上永遠會有部分失真和不純的波形產生。切換式電源供應器顯示對電源的非線性負載。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。判斷這些失真的效果是電力工程中相當重要的一部分。

若要判斷電源線上電源消耗和失真的情形，必須在輸入階段量測電源品質，如圖 21 中所示的電壓和電流測試點。

電源品質的量測包括：

- 實功率
- 虛功率和無效功率
- 功率因數
- 波峰因數
- 符合 EN61000-3-2 標準的電流諧波量測
- 總諧波失真 (THD)

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

使用示波器量測電源品質

數位示波器 (如 DPO7000 系列) 所執行的 DPOPOWER 等軟體套件, 可取代傳統上用來量測電源品質時所用的功率表和諧波分析器, 是功能相當強大的機種。

與舊式的儀器相較之下, 您不得注意到使用示波器的種種優點。儀器必須能夠擷取諧波元件之基本頻率第 50 個以上的諧波。根據當地的適用標準, 電源線頻率通常都是 50 Hz 或 60 Hz。但在部分軍事和航空設備上, 電源線頻率可能會高達 400 Hz。當然, 訊號差 (signal aberration) 中可能會有更高的頻率。在現今的高速示波器中, 超高取樣 (DPO7000 系列每秒可達 40 Giga 取樣率) 可確保在擷取快速變更的事件時, 同時接收大量的細節 (解析度)。相對的, 傳統的功率表因為反應時間相對較慢, 因此會忽略訊號的細節。即使在取樣解析度很高的情況下, 示波器的記錄長度仍足以擷取整數的週期數。

軟體工具可加速量測的程序, 並將設定時間減到最少。大部分電源品質量測的工作, 可以透過示波器本身所執行的全功能電源量測軟體自動執行, 只要數秒就可以完成冗長的程序。將需要手動計算的程序大幅縮減後, 您也可以將示波器當作多功能和高效率的功率表。圖 22 是強大的電源量測實例。

示波器的探棒也可協助您安全量測出可靠的功率。針對電源應用所設計的高壓差動探棒, 是最適合用來觀察浮動電壓訊號的工具。

需特別考量電流探測。用於電流探測的結構有以下數種：

- AC 電流探棒是以電流變壓器 (CT) 技術為基礎。CT 探棒為非插入式, 但無法感測訊號中的 DC 元件, 此元件可能會使量測的結果不正確。
- 電流分流。此設計需要中斷電流, 並且可能會導致探棒本身中的電壓下降, 因此有可能會影響到功率量測的正確性。
- AC/DC 電流探棒一般都是以霍爾效應感應器技術為基礎。此裝置可以非插入的方式來感測 AC/DC 電流, 並且能夠透過一個連接器同時測到 AC 和 DC 元件的讀數。

在量測切換模式之電源供應器的電源品質方面, AC/DC 電流探棒已成為進行此挑戰性工作的最佳工具。

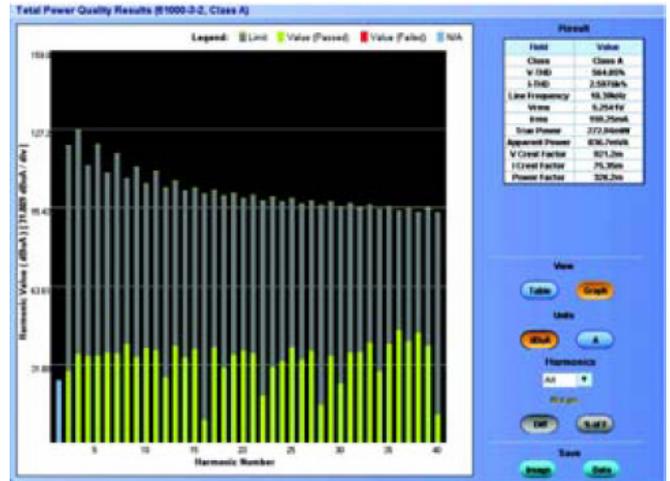


圖 22. 使用 DPOPOWER 量測和分析軟體獲得的電源品質結果, 量測規格包括真實功率、視在功率、波峰因素、總諧波失真、功率因素及電流諧波直方圖。

結論

電源供應器實際上是以線式供電 (linepowered) 之各類電子產品的一部份, 而切換模式的電源供應器 (SMPS) 也已成為數位計算、網路和通訊系統中的主要結構。一個切換模式之電源供應器的效能或故障, 會影響到大型且昂貴的系統的命運。

而量測是確保新一代 SMPS 設計的可靠度、穩定性、相容性和安全性的唯一方法。SMPS 量測主要分成三種類別: 主動裝置量測、被動裝置量測 (大部分為磁性) 和電源品質測試。部分量測可處理浮動電壓和高電流; 而其他則需要使用數學式的分析才能得到有意義的結果。電源供應器量測可以非常複雜。

而現代的數位示波器已成為分析量測和排除量測障礙的最佳工具。配備許多實用的探測工具和自動化量測軟體, 可大幅簡化繁瑣的 SMPS 量測, 並提供快速、正確的答案。

差動量測與差動式探棒

初步介紹差動量測、放大器類型、應用及如何避免常見錯誤

技術說明

前言

所以量測都是兩點量測

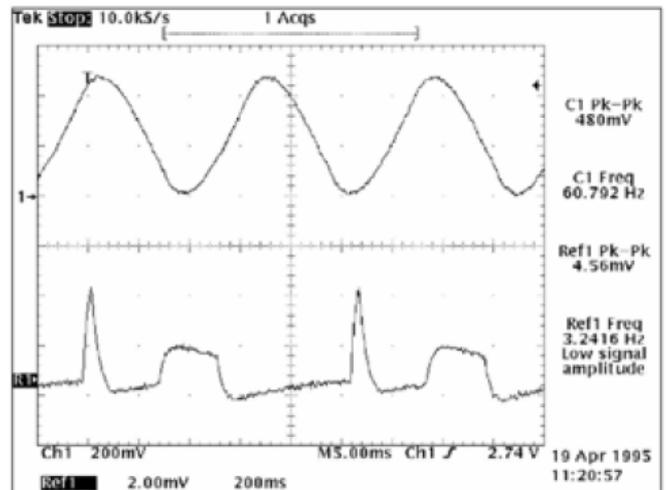
人們一直在一條電路的兩點之間量測電壓，不管是使用電壓錶還是使用示波器。當示波器探棒接觸電路中的一點時，即使沒有連接地線，通常也會在顯示器上出現波形。在這種情況下，量測的參考點是經過示波器機箱的安全接地（通往電路中的電氣接地）。

數位電壓表透過兩支探棒量測兩點之間的電位。由於這兩支探棒彼此隔離，因此這兩點可以位於電路中任何地方。但情況並不總是如此。在數位電壓表出現前，人們使用 VOM（萬用電錶）手持式儀錶量測「浮動」電路。由於這些儀錶是被動式的，因此它們往往會為待測電路帶來負載。使用高阻抗 VTVM（真空管電壓錶），可以執行侵入性較小的量測。VTVM 有一個重大的局限性，即其量測總是以地為參考點。VTVM 外殼接地，並連接到參考引線上。由於固態增益電路的問世，高效能電壓表可以與地線隔離，從而可以執行浮動量測。

目前大多數的示波器，如舊式 VTVM，只能量測以地為參考點的電壓，地線則連接到示波器機箱上。這稱為「單端」量測，探棒地線提供參考路徑。遺憾的是，有時這種局限性會降低量測的完整性，或不可能進行量測。

如果待測電壓位於兩個電路節點之間，而且這兩點均未接地，那就不能使用傳統的示波器探測技術。常見的實例是量測交換式電源供應器中的開極驅動訊號（參見圖 1）。

像普通電話線路中的那種平衡訊號（在兩條引線之間，且沒有接地迴路）是不能直接量測的。我們將會看到，甚至某些「以地為參考」的訊號也不能如實地使用單端技術來量測。



當存在 500mV_{p-p}、60Hz 的共模雜訊時，使用傳統示波器探棒不能量測模擬的 4mV_{p-p} 心跳波形（上圖）。差動放大器則可以從雜訊中擷取訊號。

如果地線不成其為地線

我們都聽說過「接地迴路」，書本上教我們避免「接地迴路」。但「接地迴路」是如何破壞示波器量測的呢？當兩個或多個單獨接地路徑聚結於兩點或多點時，將會產生接地迴路。其結果是導體連成了一個環。當出現變化的磁場時，這個環就成了變壓器的次級，其本質是一個短路線匝。在其附近傳送非直流電流的任何導體都可以產生激勵這個變壓器的磁場。主配線中的交流線電壓、甚至數位積體電路的輸出引線，都可能產生這種激勵。在迴路中循環的電流會在迴路內任何阻抗的兩端產生電壓。這樣，在任何給定的瞬間，接地迴路中的不同點將不處在同一電位。將示波器探棒的地線連接到待測電路的地上，如果電路「接地」到大地，就會形成接地迴路（參見圖 2）。循環電流作用在探棒路徑內部的阻抗上，會在其中產生電壓電位。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

目錄

前言.....	55
差動量測基礎.....	58
差動量測概述.....	58
共模抑制比 (CMRR).....	58
其他指標參數.....	60
差模範圍.....	60
共模範圍.....	60
最大共模轉換速率.....	60
差動放大器和探棒的類型.....	61
內部差動放大器.....	61
高電壓差動式探棒.....	61
高增益差動放大器.....	62
高效能差動放大器.....	62
差動被動式探棒.....	62
高頻寬差動主動式探棒.....	62
電壓隔離器.....	62
差動量測的應用.....	63
功率電子元件.....	63
系統功率分配.....	63
平衡訊號.....	64
感測器.....	64
生物物理量測.....	65
維持量測的完整性.....	65
量測的誤差源.....	65
輸入連接.....	66
接地.....	66
輸入阻抗對 CMRR 的影響.....	67
共模範圍.....	67
量測完全浮動訊號.....	68
頻寬.....	68

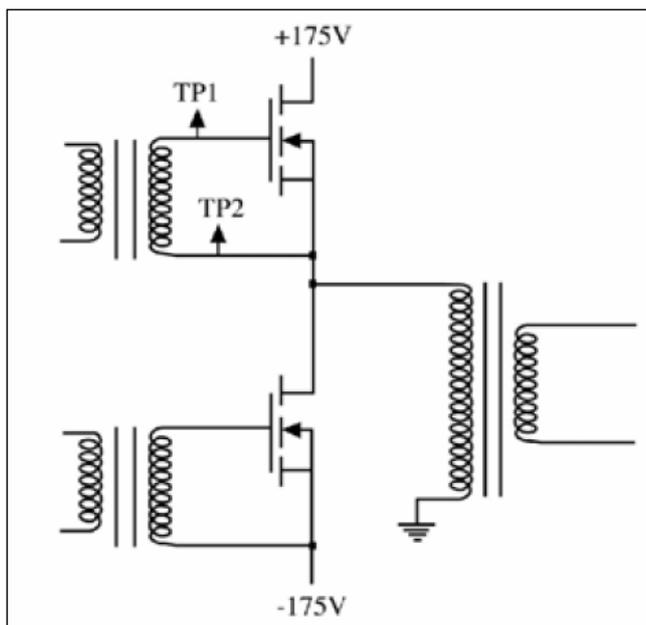


圖 1. 在測試點 TP1 和 TP2 之間量測交換式電源供應器中的閘極驅動訊號。兩點都沒有接地。

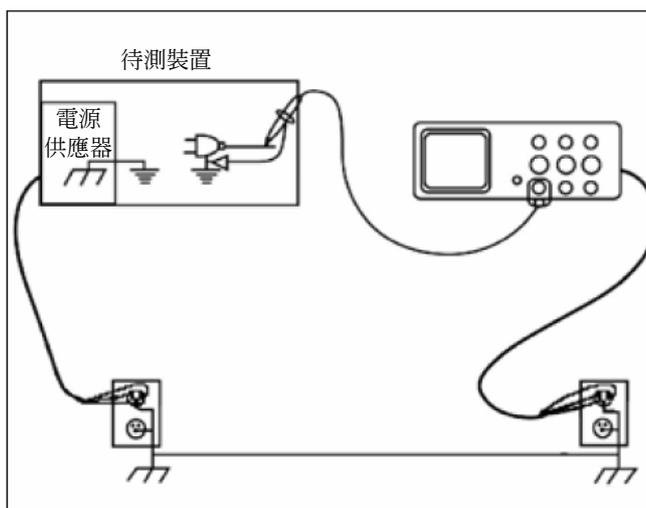


圖 2. 示波器探棒形成的接地迴路。示波器的金屬機箱和待測裝置連接到安全地線和內部公用電源線上。示波器探棒接地則透過輸入端 BNC 連接器連接到示波器機箱上。

這樣，示波器輸入端 BNC 連接器上的「接地」電位就不同於待測電路中的接地電位 (也就是說「地線不成其為地線」)。這種電位差可以是幾微伏，也可以高達幾百毫伏。由於示波器以輸入端 BNC 連接器外殼作為量測參考點，故顯示的波形可能並不代表探棒輸入端上的實際訊號。當待測訊號的振幅下降時，誤差會變得更加明顯，這在感測器和生物醫學量測中十分常見。

在這些情況下，人們經常會移除探棒的接地線。只有在量測頻率極低的訊號時，這種方法才有效。在較高的頻率上，探棒開始在訊號中增加因諧振電路 (由觸點電容和屏蔽電感組成) 產生的「環」(參見圖 3)。(正因為如此，您永遠要使用盡可能短的地線。)

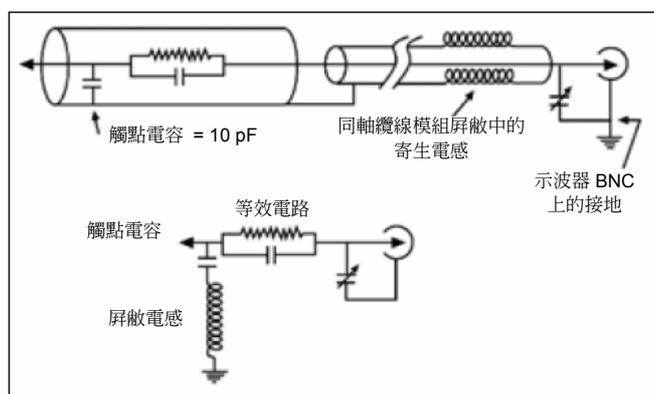


圖 3. 探棒觸點電容和接地電感形成的串聯諧振電路。

我們現在遇到了一種兩難的情況：造成接地迴路，在量測中增加誤差；或移除探棒地線，在波形中增加環！

為了斷開接地迴路而經常試用的第二種方法是「浮動」示波器或「浮動」待測電路。「浮動」是指在待測裝置上或在示波器上使安全接地的導線開路，從而斷開與地的連接。浮動示波器或浮動待測裝置 (DUT) 之後，便可利用短地線使環達到最小，而且不會產生接地迴路。

這種作法本身具有危險性，因為在主配線發生短路時，它會使電擊保護措施失效 (某些專用電池操作的可攜式示波器採用絕緣材料，可以安全進行浮動量測)。在嚴格接地的示波器 (或待測裝置) 的電源線中放一個合適的接地故障斷路器 (GFCI)，可以恢復操作人員的安全。但要知道，如果沒有低阻抗的接地連接，示波器的放射輻射和傳導輻射現在可能會超過政府標準，也會為量測本身造成干擾。在較高的頻率上，斷開接地線也不可能打破接地迴路，因為「浮動」電路實際上透過雜散電容耦合到地上 (參見圖 4)。

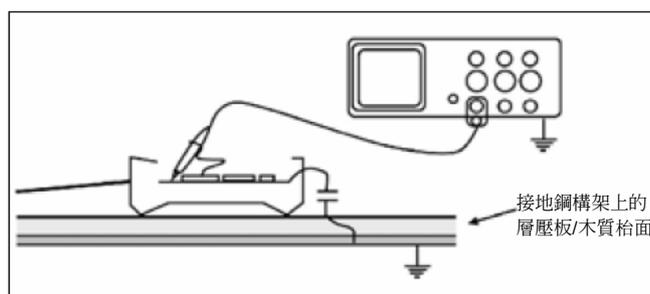


圖 4. 使用接地的示波器探測「浮動的」電池供電手機。手機電路和鋼製工作台構架之間的電容對高頻率構成了虛擬接地迴路。

即使量測系統沒有引入接地迴路，待測裝置內部仍可能存在「地線不成其為地線」的綜合症 (參見圖 5)。大的靜態電流和高頻電流作用在裝置接地路徑中的電阻性元件和電感性元件上，便產生電壓梯度。在這種情況下，電路中某一點的「地」電位將不同於另一點的「地」電位。

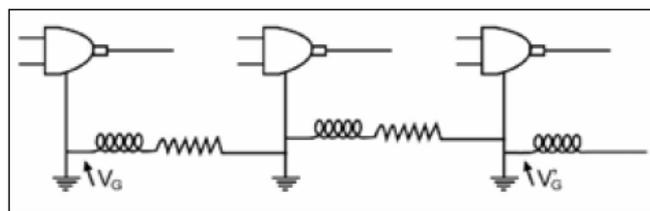


圖 5. 接地佈線系統中的微小寄生電感和電阻導致 $V_G \neq V'_G$

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

例如，系統中高增益放大器的輸入端的地與電源的「地」電位相差幾毫伏。為了準確量測放大器所看到的輸入訊號，探棒必須參考放大器輸入端的地。這些效應多年來一直是靈敏類比系統的設計人員所面臨的挑戰。在快速數位系統中也有同樣的效應。接地佈線系統中的微小電感可能會在其兩端產生電位，導致「接地彈跳」(ground bounce)。維護受到接地電壓梯度影響的系統是非常困難的，因為設計人員不能真正查看各個裝置所「看到」的訊號。將示波器探棒地線連接到裝置的「接地」點上，會導致不確定性，這些不確定性使新路徑的影響添加到接地梯度中。在連接探棒地線時，如果电路中的問題變好 (或變差)，則表示確實發生了變化。我們真正需要的是一種能夠用示波器量測可疑裝置輸入端上的實際訊號的方法。

透過使用適當的差動放大器、探棒或隔離器，可以執行準確的兩點示波器量測，而不會引入接地迴路或使量測失敗、擾亂待測裝置或使使用者面臨電擊危險。

市場上為示波器提供了多種差動放大器和隔離系統，每一種都針對特定的量測進行優化。為了選擇合適的解決方案，必須理解各種術語。

差動量測基礎

差動量測概述

理想的差動放大器放大兩個輸入端之間的「差動」訊號，而且會徹底抑制兩個輸入端共用的任何電壓 (參見圖 6)。其轉換公式是：

$$V_0 = A_V (V_{+in} - V_{-in})$$

其中 V_0 參考接地電位。

受關注的電壓或差動訊號，稱之為差動電壓或差模訊號，表示為 V_{DM} (V_{DM} 就是上述轉換公式中的 $V_{+in} - V_{-in}$)。

兩個輸入端共用的電壓為共模電壓，用 V_{CM} 表示。差動放大器忽略 V_{CM} 的特性稱為共模抑制或 CMR 。理想的差動放大器會抑制所有的共模成分，不管其振幅和頻率是多少。

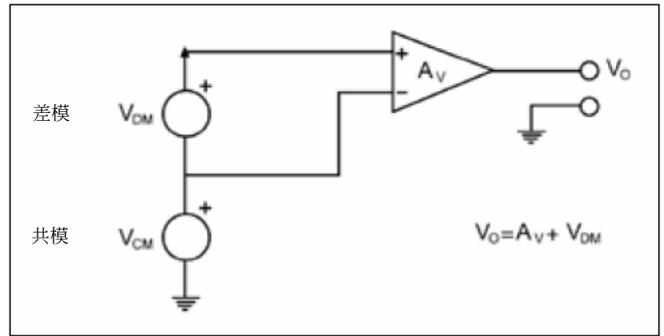


圖 6. 差動放大器

在圖 7 中，差動放大器用於量測逆變器電路中上部的 MOSFET (場效應管) 閘極驅動訊號。隨著 MOSFET 的接通和斷開，源極電壓從正的電源匯流排擺到負的電源匯流排。變壓器可以使閘極訊號以源極為參考點。差動放大器允許示波器以足夠的解析度 (如 2V/分度) 量測實際 V_{GS} 訊號 (擺幅為幾伏)，同時抑制幾百伏的源極到地的轉態。

共模抑制比 (CMRR)

差動放大器的實際實現方案並不能抑制所有的共模訊號。少量共模訊號將作為誤差訊號出現在輸出中，無法從預期的差動訊號中辨別出來。衡量差動放大器消除不希望共模訊號的能力，稱為共模抑制比或簡寫為 $CMRR$ 。 $CMRR$ 的真正定義是「差模增益除以相對於輸入的共模增益」：

$$CMRR = A_{DM} / A_{CM}$$

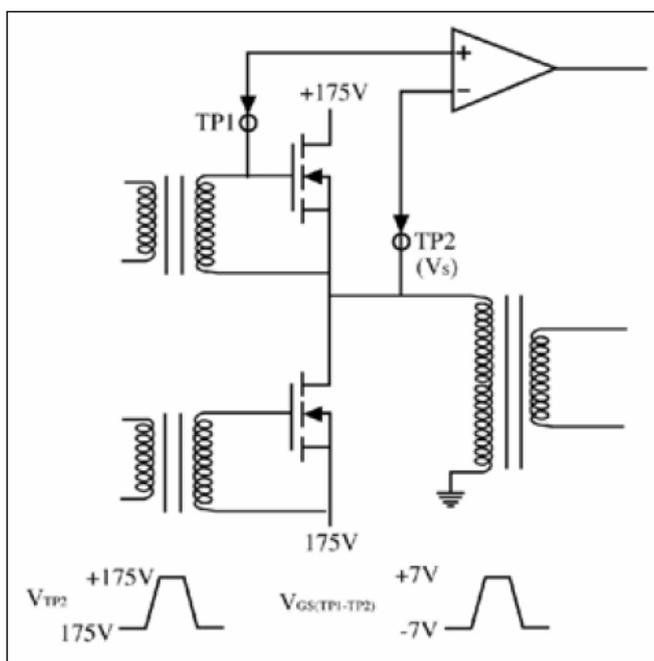


圖 7. 用來量測逆變器橋電路上上部電晶體的開極 - 源極電壓的差動放大器。注意在量測過程中，源極電位變化了 350V。

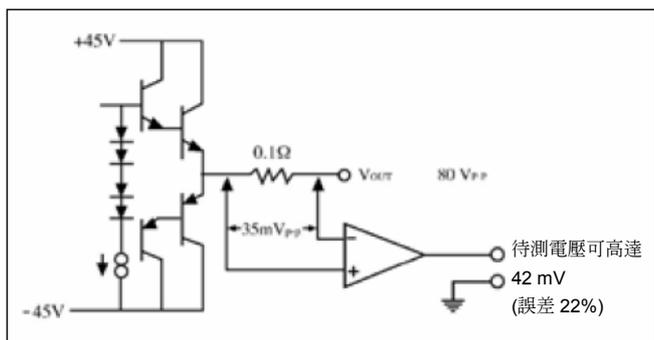


圖 8. CMRR 為 10,000:1 的差動放大器的共模誤差

為了進行評估，我們可以估算出沒有輸入訊號時的 CMRR 效能。於是 CMRR 成為在輸出端看到的 VDM 的表觀值 (由共模輸入產生的)。其值可表示為比率 (10,000:1) 或者以 dB (分貝) 表示：

$$dB=20\log(V_{DM}/V_{CM})$$

10,000:1 的 CMRR 值相當於 80dB。例如，設想我們需要量測圖 8 中的音訊功率放大器輸出阻尼電阻器上的電壓。在滿負載時，阻尼器兩端的電壓 (VDM) 應達到 35 mV，輸出擺幅 (VCM) 為 80V_{p-p}。我們使用的差動放大器的 CMRR 指標為 10,000:1 (1 KHz 時)。用 1 KHz 的正弦波驅動放大器使之達到滿功率，共模訊號的萬分之一將在差動放大器的輸出端錯誤地表現為 VDM，其值為 80V/10,000 或 8mV。對於實際值為 35 mV 的訊號來說，8 mV 意味著高達 22% 的誤差！

CMRR 指標提供的是絕對值，並未規定誤差的極性 (或相位偏移的程度)。所以，使用者不能簡單地從顯示的波形中減去這個誤差。CMRR 通常在直流時取最高值 (最好)，並且隨 VCM 頻率的增加而降低。有些差動放大器用曲線表示 CMRR 指標與頻率的函數關係。

讓我們再看一下逆變器電路。電晶體開關 350 V，而我們期望在開極上有大約 1.4 V 的擺動。逆變器工作在 30 KHz。在試圖估算 CMRR 誤差時，我們很快遇到了問題。逆變器中的共模訊號是一個方波，而 CMRR 指標設想的是正弦的共模成分。由於方波含有比 30 KHz 高得多的頻率的能量，所以 CMRR 可能比 30 KHz 那一點的標定值要差。

只要共模成分是非正弦的，確定 CMRR 誤差範圍最快的方法就是試驗測試法 (參見圖 9)。臨時將兩條輸入線接到 MOSFET 的源極。示波器現在只顯示共模誤差。您現在可以確定誤差訊號的值是否有意義。請記住，這裡並沒有指出 VCM 和 VDM 之間的相位差。所以從差動量測結果中減去所顯示的共模誤差也不能正確地消除誤差項。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

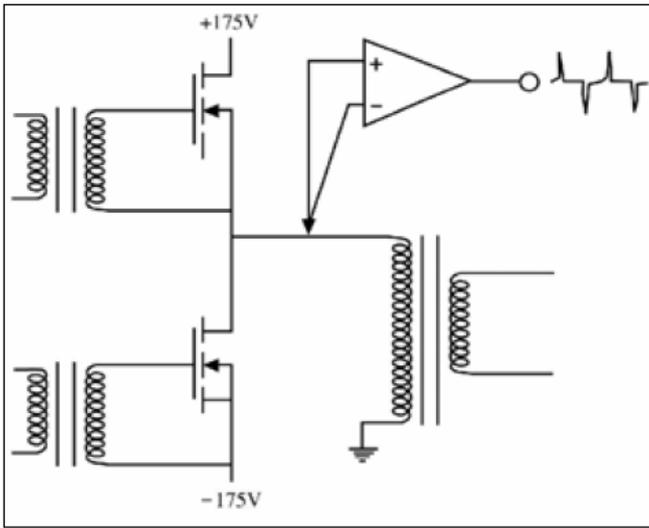


圖 9. 對共模抑制進行試驗測試。由同一點驅動兩個輸入端。殘留的共模出現在輸出端。此項測試沒有發現不同的源極阻抗的影響。

這是在實際量測環境中確定共模抑制誤差範圍的一種便利的測試方法。但有一種效應是這個測試沒有擷取到的。兩個輸入端接到同一點上，在放大器看來驅動阻抗沒有差別。這種情況會產生最佳的 **CMRR**。當差動放大器的兩個輸入端是由差別明顯的源極阻抗驅動時，**CMRR** 值會降低。這種效應的詳情將在以後討論 (參見第 13 頁輸入阻抗對 **CMRR** 的影響)。

其他指標參數

差模範圍相當於放大器或單端示波器輸入端的輸入範圍指標。超出此範圍的輸入電壓將使放大器受到過渡驅動，導致輸出被削波或非線性失真。

共模範圍是放大器能夠抑制共模訊號的電壓視窗。共模範圍通常大於或等於關模範圍。共模範圍有可能隨著放大器增益的不同設定而改變，這取決於放大器的拓撲。

超出放大器的共模範圍可以在輸出端導致各種結果。在有些情況下，輸出波形未被削波，可以產生與真實的輸入訊號非常近似的輸出波形，但有一些附加的偏移。這時顯示的波形與期望的波形非常接近，足以讓使用者毫不遲疑地接受。在進行差動量測前先檢驗共模訊號是否處於可接受的共模範圍之內，總不失為一個好方法。

最大共模轉換速率適用於某些差動放大器和大多數隔離器。這項指標常令人困惑但卻非常重要。一部分困惑緣自儀器製造商之間缺少標準的定義。而且不同的放大器和隔離器在超出最大共模轉換速率時的表現也不盡相同。最大共模轉換速率實質上是對 **CMRR** 指標的補充。本指標的單位一般為 $\text{kV}/\mu\text{s}$ 。

有些類型的差動放大器也像其他放大器一樣，在超出小訊號的頻寬規格之前就超出了大訊號轉換速率的限制。當差動放大器一端或兩端被驅動到轉換速率的極限時，共模抑制就會急劇降低。與 **CMRR** 不同的是，最大轉換速率並不意味著輸出端共模饋通量的增加。一旦超過了最大共模轉換速率，一切均無從談起-輸出就像被鉗位在一個電源匯流排上。

但是對於隔離器來說，這種影響表現得為更加漸進-就像差動放大器中的 **CMR** 一樣。隨著共模轉換速率的增加 (與頻率相對)，有更多的共模成分「饋通」到輸出端。這個指標從直覺上表示的是，在輸出端出現已知的饋通量時的最大共模轉換速率。需要注意的是，某些隔離器的共模轉換速率實際上就是最大非破壞性極限。這一點非常重要。當轉換速率比最大指標低得多時，進行有意義的量測的能力將會受損。在使用隔離器時，最好能在重要的量測之前先測試共模饋通。這很容易做到，只需在探棒觸點和參考線上都用同一共模訊號驅動，並觀察輸出訊號。

差動放大器和探棒的類型

內部差動放大器。很多示波器都能夠用內建的功能進行最簡單的差動量測。這種方式叫做「channel A – channel B」(通道 A 減通道 B) 方式或者「準差」方式。雖然效能上受到限制，這項技術還是適合一些量測的需求的。爲了進行差動量測，要使用兩個垂直通道，一個用於正輸入，一個用於負輸入。用於負輸入的通道被設定成反轉方式，顯示方式則設定爲「ADD Channel A + Channel B」(通道 A 加通道 B)。爲了正常工作，兩個輸入必須設定在相同的刻度係數，兩個輸入探棒也必須是同型號的。現在顯示器上出現的就是兩個輸入端的差電壓。

爲了獲得最大的 CMRR，兩個通道的增益應當匹配。這不難做到，只須將兩個探棒連接到方波信號源，並使信號源的振幅保持在設定的「電壓 / 分度」的動態範圍之內 (大約 ± 6 分度)。將一個通道的增益方式設定爲「uncalibrated-variable」(非校驗-可變)，並調整可變增益控制旋鈕直到顯示的波形成爲平直的軌跡。這項技術的主要局限性在於其共模範圍比較小，這是示波器垂直通道的動態範圍造成的。一般來說，其值小於「電壓/分度」設定值的 10 倍 (相對於地)。只要 $V_{CM} > V_{DM}$ ，獲得了差動結果的這種工作方式就可以認爲是從兩個大電壓中擷取了小差值。

在類比訊號數位化以後，大多數數位儲存示波器是在數位域中完成波形的數學分析。在減去共模訊號後，模數轉換器有限的解析度常常不適用於檢查所得到的差動訊號。由於兩個通道的交流增益沒有準確匹配，高頻的 CMRR 相當低劣。

這項技術適用於共模訊號的振幅等於或低於差模訊號，以及共模成分爲直流或低頻 (如 50 或 60Hz 的供電線) 的情況。在量測中等振幅的訊號時，這項技術可以有效地消除接地迴路。

高電壓差動式探棒。最近，市場上出現了高電壓主動式差動式探棒。一種採用固定衰減 (具可變差動增益) 的新拓撲，可以使這些探棒在所有的增益設定上保持其全部的共模範圍。這種單一的衰減器大幅降低了複雜程度，從而減少使用者的成本。

這種探棒爲量測線連電路 (通常用於交換式電源供應器、功率轉換器、電動機、電燈安定器等) 提供了費用合理而又安全的方法。由於共模範圍高達 1,000 V，這種探棒就不需要極其危險的「浮動示波器」的做法。最近，工作場所意外傷害監控組織，如美國的 OSHA (職業安全和健康條例)，強化了他們對設備接地的檢查，違者將處以高額罰款。

除了安全上的好處之外，這種探棒還可改進量測品質。一個明顯的好處是能夠充分利用示波器的多個通道來同時觀察涉及不同電壓的多個訊號。由於這是真正的差動式探棒，故兩個輸入端均爲高阻抗，即高電阻和低電容。浮動示波器和隔離器不具有平衡式的輸入。參考點 (探棒上的「接地」夾) 有相當大的對地電容。參考點所連接的任何源阻抗在快速共模轉態過程中都會承受負載，並使訊號衰減。

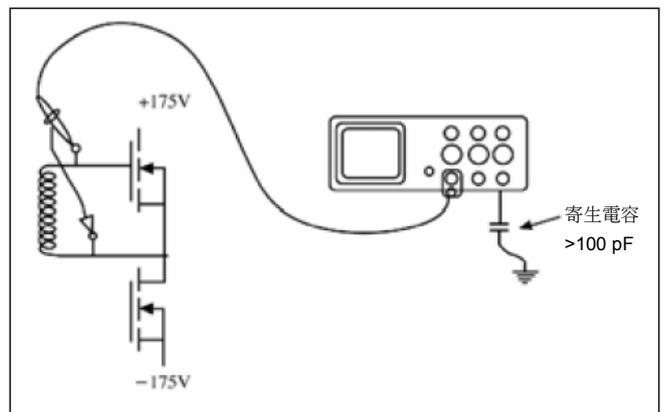


圖 10. 即便示波器處於「浮動」狀態，寄生電容也會形成交流分壓器，從而增加量測的誤差。注意：反轉的探棒引線會爲閘極增加 >100 pF 的電容，有可能破壞電路。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

更有甚者，高電容還可能損壞某些電路（參見圖 10）。將示波器的公共端接到逆變器上部的閘極，可以使閘極驅動訊號延遲後，阻礙裝置的關斷並破壞輸入橋。這種故障通常還會在工作台上出現小火花，很多電力電子裝置的設計人員都可以作證。

使用平衡的低輸入電容的高壓差動式探棒，可以用任何引線安全地探測電路上的任一點。

高增益差動放大器。高增益差動放大器一般來說屬於外接配件，可以使示波器量測振幅極低的訊號，甚至小到幾個微伏。為了避免因接地迴路和接地梯度效應造成的破壞，這些訊號總是以差動的方式進行量測，即便它們是以地為參考。當信號源不以地為參考時，共模訊號可以比有用的差模訊號大幾個數量級。為了克服這個問題，這些放大器的 CMRR 值極高，經常達到 1,000,000:1 或者更高。

有些高增益放大器還具有可以改善低振幅量測完整性的附加功能。可選的低通濾波功能可以使使用者從低頻訊號中去除頻帶外雜訊。差動偏移功能可用於消除引入到輸入配線，或感測器橋的偏移電壓中的伽伐尼電位。為了能用於高驅動阻抗的信號源，有些型號還允許使用者將輸入設定在幾乎無限大的阻抗上。

對任何差動放大器來說，通道增益最輕微的不匹配都會使放大器的高 CMRR 值大幅降低。當應用中需要使用示波器探棒時，只能使用相同的非衰減模式 (1X)，因為衰減的探棒可能匹配得不夠好，不足以保持 CMRR 值。

高效能差動放大器。具有插入式放大器的示波器出現，使得高效能差動放大器的使用成為可能。這種放大器綜合了許多特性，適合於多種應用。校驗的偏壓補償可以使該放大器用於單端模式，其軌跡可以參考距地幾千個分主的位置。

這樣就有可能準確量測電源中的漣波谷值以及功率放大器的淨空度。最先進的高速鉗位電路能使放大器從超標幾百倍的輸入超載中迅速恢復。這就提供了直接量測放大器和 DAC 電路的穩定時間的可能性。

這種放大器的特性是頻寬規格高達 100 MHz 以上，CMRR 特性也很好。但是 CMRR 指標是在兩個輸入端直接連在一起，而且用低阻抗信號源驅動的情況下獲得的。在實際應用中，信號源阻抗和通道增益的差異會使高頻時 CMRR 值明顯降低。

差動被動式探棒。為了儘量減少效能衰減，這些放大器只能使用特別匹配的差動被動式探棒。要保證按照探棒製造商提供的程式，針對該放大器對探棒進行單獨校驗。

高頻寬差動主動式探棒。這種探棒會在其觸點處對訊號進行緩衝，以此保持高頻 CMRR 的品質，故可消除被動式探棒導致的效能下降問題。這種探棒具有高頻寬 (100 MHz 以上)、高靈敏度，而且有極佳的高頻 CMRR 效能。這種探棒一般用於量測磁碟機的讀取電路（其訊號本質上是差動訊號）。由於在搜尋接地彈跳 (ground bounce) 問題時不會改變接地梯度，這種探棒在探查高速數位電路時得到越來越普遍的應用。

電壓隔離器。儘管電壓隔離器不是真正的差動放大器，但它們提供了安全量測浮動電壓的一種手段。與差動放大器比較，隔離器也有一些折衷的優勢，選擇哪一種則取決於應用。如其名稱所示，隔離器並不直接連接浮動的輸入端與接地的輸出端。訊號的耦合是透過光學方法或多路徑的光學/變壓器方法實現的。其實體配置有兩種：整合的單件系統和分離式發送器/接收器系統。

發送器與接收器分離式型號是靠光纖相連。發送器由可充電電池供電，可以遠離接收器。在訊號發源地的環境不適合於人或示波器的情況下，這種方式是很有用的。隔離器還可用於極高的共模電壓。浮動電壓指標通常受手持式探棒的絕緣電壓制約。如果斷電的待測裝置可以連接探棒，則浮動電壓只受發送器與地之間的實際間距限制。

由於隔離器沒有對地的電阻性通路，所以在對洩漏電流極為敏感的應用中是一種很好的選擇。裝有靈敏的 GFCI (接地故障斷路器) 的電路，如醫用電子裝置，在連接到差動放大器時可能引起 GFCI 跳閘。而沒有終止於地的衰減器也使隔離器對靜態 (直流) 共模電壓具有無限的 CMRR。

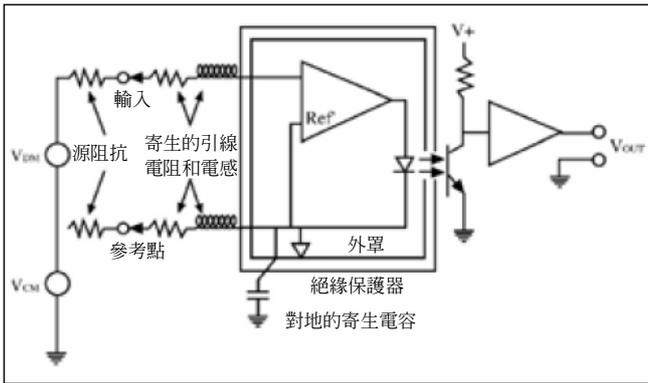


圖 11. 隔離外殼產生的不平衡輸入電容。由此形成的交流分壓器使得探棒夾子處的 $V_{ref} \neq V_{ref}$

隔離器的劣勢在於它不是真正的差動放大器，也就是說，它的輸入是不平衡的（參見圖 11）。量測 (+) 輸入端和參考 (-) 輸入端對接地的電容差別相當大。這就產生了與前述浮動示波器相同的問題。參考引線的源阻抗在高頻段與接地電容形成了一個衰減器。

將參考點連接到電路中驅動阻抗最低的點上（必要時可顛倒示波器的通道以便重新獲得正確的極性）即可使這些問題的影響減至最小。如果隔離器的發送器與接收器是分離的，應盡可能將發送器與接地表面相隔離，以便最大限度地減少對地的電容耦合。將隔離器置於紙板箱或木製板條箱內都可以顯著改進其效能！

差動量測的應用

功率電子元件

高電壓差動放大器是量測線路連接電路的理想的手段，這種電路包括交換式電源供應器的原線圈、電動機、電燈安定器，以及其他類似的系統。這種電路不需要「浮動示波器」這樣的危險做法。低的輸入電容也不會增加開極驅動電路的負載而影響逆變器的運行。

在分析功率交換裝置（如 MOSFET 和 IGBT）特性時，常常要量測動態飽和特性。具有高速輸入鉗位電路的高效能差動放大器能夠準確量測接通飽和度，即當裝置斷開時過驅動（滿刻度的幾百倍）之後的幾奈秒。這樣就可以使用準確量測飽和度特性所需要的高靈敏度。

在量測次級電路時這種放大器也是有用的。透過啟動校驗的偏壓補償（也叫比較電壓），放大器也可用於單端模式，以監視漣波谷和線性穩壓器的淨空度（參見圖 12）。若將偏壓補償設定到輸出電壓，則可以在各種動態負載條件下以高靈敏度直接量測 V_{CE} 淨空度。

系統功率分配

在開發高準確度類比量、混合訊號和高速數位系統時，常常要解決功率分配方面的問題。這種工作可能是設計者最可怕的夢魘。CAD 系統經常也無助於事，因為很難或者根本不可能為引起此類問題的微小寄生效應建立模型。配備差動放大器的示波器是追蹤和識別系統中故障點的最好工具。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

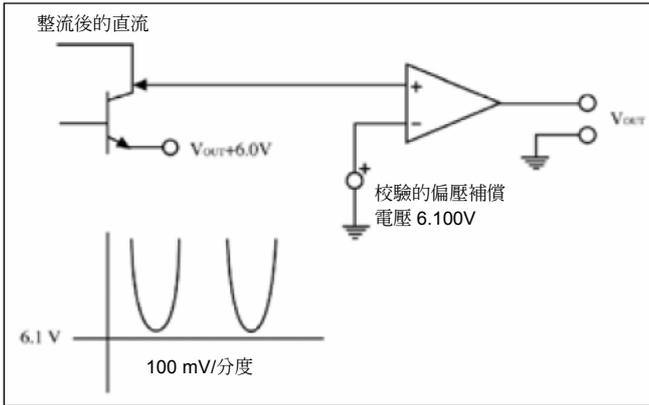


圖 12. 用校驗的偏壓補償準確量測輸出穩壓器集電極上的電源漣波谷。注意：示波器設定在 100mV/分度，地電位在螢幕外 61 個分度。

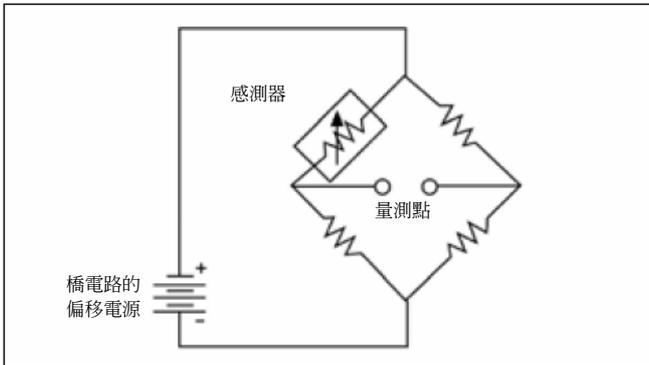


圖 13. 平衡橋電路中的感測器。在兩個分壓支路的抽頭之間進行差動量測。

單端量測常常將功率分配問題隱藏起來，因為這種量測為待測訊號另外提供接地路徑。這不僅使量測發生了變化，而且也常常會影響電路的工作，可能改進也可能降低電路的效能。

將差動式探棒置於積體電路的電源引線上，可以提供裝置電源的真實狀況。邏輯裝置的引線電感常常使積體電路與局部的旁通電容隔離開來。即便電源看似純淨，接地和電源接腳也可能相對於系統中的其他地線發生漂移。行動探棒可以跟蹤單個裝置的地與系統中其他地之間的動態接地電壓梯度。數位系統中的接地彈跳 (ground bounce) 效應可能更容易量測。在積體電路的輸入接腳及接地接腳之間進行探查，就可以提供該裝置所看到的實際訊號的狀況。

平衡訊號

有些系統使用的訊號本質上就是差動訊號。當訊號兩端共有同一的驅動阻抗時就認為這兩端是平衡的。平衡系統在專業音訊設備、電話和磁記錄系統 (類比與數位記憶體) 中是很普遍的，這裡僅提供少數幾例。差動訊號在高速數位系統中也分佈的越來越普遍。如果對這種訊號一次量測一端並將結果「相加」，那麼這種低效率的嘗試充其量是一種容易出錯的方法。當只有訊號的一端承載探棒時，能量就經常轉移到未被量測的一端。以差動方法量測平衡系統可以得到訊號的真實描述。

感測器

差動量測普遍應用於感測器系統。由於訊號振幅小，還需要消除接地迴路，所以就排除了使用單端量測的可能性。「感測器」一詞使人想到了用於量測機械現象的裝置，如量測加速度、振動、壓力等等。差動量測技術的應用已超出了這一範圍，還包括視訊和醫療用影像裝置、麥克風、化學感測器，等等，不一而足。

電阻值可以發生變化的感測器經常工作在所謂平衡橋的配置中 (參見圖 13)。這種配置是利用三個已知電阻器和感測器構成一對分壓器。橋電路電源為這對分壓器提供偏壓，而在分壓器的抽頭之間進行差動式的電壓量測。這種配置的好處是消除了電源波動的影響。在系統被激勵之前，感測器經常產生一個代表其穩態的直流輸出電壓。為了獲得高解析度，最好是將直流成分去掉。如果需要量測極低的頻率成分 (<2Hz)，在放大器輸入端採用交流耦合是無效的。為了適應這種需求，很多高增益差動放大器都有差動偏移功能。這種功能實際上是在一個輸入端串接一個浮動的可調電源，這樣就允許放大器保持直流耦合。偏移控制的範圍相當大，在較高的增益設定中可達到 ± 100 萬分度。

生物物理量測

警告：不要在人體上接入包括差動放大器在內的任何電子儀器，除非這種儀器是專為人而設計的。合適的裝置應被確認符合由所在國批准的專門的法規。

量測神經活動所形成的電訊號面臨著諸多挑戰。這種訊號的振幅極低，常常小於 1 毫伏。共模成分可能比有用訊號大幾百倍甚至幾千倍。源阻抗也相當高。差動訊號通常被高振幅的雜訊破壞。所幸的是高增益差動放大器可以用來量測這些訊號。1,000,000:1 或者更高的 CMRR 指標可以有效地消除共模成分。

爲了應付輸入訊號的高阻抗，可將放大器的輸入電阻配置爲無限大 (注意：如果標本未經其他設備接地，應當使用透過 100kΩ 電阻接地的單獨探棒，以便減少共模範圍超載的機會)。皮膚觸點一般採用銀/氯化銀電極，這樣可以建立與皮膚的離子連接，還可產生半電池電壓爲 400mV 的伽伐尼電池，以便使量測加入偏移電壓。放大器的差動偏移可用於去除偏壓同時又保持低頻回應特性。由於大多數生物物理活動發生在 20Hz 以下的頻率，可以利用有限頻寬濾波器減少高頻差動雜訊，但不會使有用訊號發生改變。

維持量測的完整性

量測的誤差源

像其他的量測方法一樣，差動量測也受到產生誤差的條件的制約。這些誤差在結果中也許很明顯，也許並非顯而易見，還有可能被誤認爲是想要的量測結果。下面將討論一些比較常見的誤差源。爲了瞭解產生誤差的原因和避免的方法，首先需要對差動示波器或探棒的內部運作情況有一個基本的瞭解。

系統的核心是差動放大級 (參見圖 14)。其圖示符合與運算放大器相同。差動放大器像運算放大器一樣可以抑制輸入的共模訊號，而只放大兩個輸入端的電壓差。與運算放大器不同的是，差動放大器具有已知的、有限的增益。在有些配置中，增益可由使用者選擇。輸出是單端的，而且以地爲參照。爲了獲得很高的阻抗，輸入部分常採用 FET (場效應管)。輸入訊號可以透過高阻抗的衰減器，使大訊號減小到放大器可以處理的範圍。對於衰減器的要求要比單端放大器高很多。兩端必須有相同的直流和交流衰減。衰減量的不匹配對 CMRR 具有第一位的影響。例如，爲了保持 100,000:1 的 CMRR 指標，衰減器的匹配度必須好於十萬分之一 (0.001%)；這樣就在差動放大器中不給誤差留下餘地！當然，還需要從信號源開始全程保持這種匹配度。

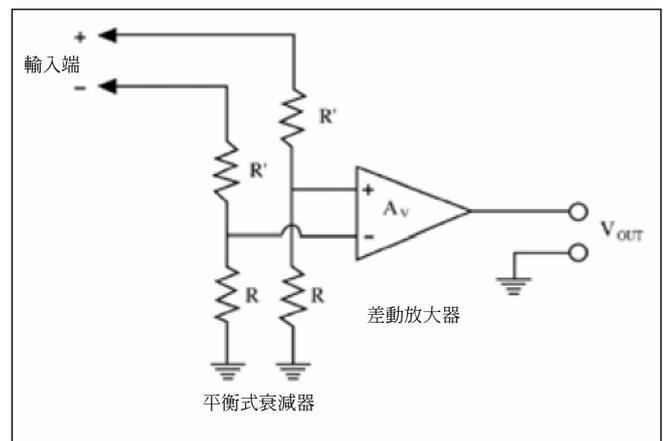


圖 14. 具衰減器的差動放大器簡圖

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

輸入連接

一般來說，差動放大器或探棒與信號源的互連是產生誤差的最大來源。為了維持輸入的匹配，兩個通道應盡可能一樣，兩個輸入端的任何接線長度都應相同，如果使用探棒，其型號與長度也應相同。在量測高共模電壓的低頻訊號時，應避免使用具衰減的探棒，在高增益時則完全不能使用這種探棒，因為不可能準確平衡它們的衰減量。當高電壓或高頻率的應用需要衰減時，應使用為差動放大器專門設計的專用被動式探棒，這種探棒具有準確調整直流衰減和交流補償的裝置。為獲得最佳的效能，每一個特定的放大器都應專用一套探棒，而且要根據這套探棒隨附的程式對該放大器進行校驗。

一種常用的方法是將 + 和 - 輸入纜線成對絞扭在一起。這樣可減少拾取線路頻率干擾和其他雜訊的可能。以間隔方式佈線的輸入纜線 (參見圖 15) 的作用相當於變壓器的一個線圈。穿過這個迴路的任何交流磁場都會感應出一個電壓，此電壓作為差動成分出現在放大器的輸入端，而且會如實地合計到輸出上去！若將輸入引線絞接在一起 (如圖 16)，則感應電壓往往出現在 VCM 通道，可以被差動放大器抑制。

在共模訊號超量的高頻量測中可以將兩條輸入線繞在鐵氧體磁環上而得到改善。這樣作可衰減兩個輸入端共有的高頻訊號。由於差動訊號是在兩個方向上穿過磁心，因此不受影響。

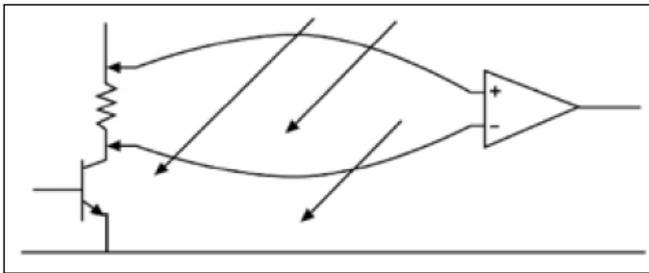


圖 15. 隨時間變化的磁場穿過間隔開的引線時感應出電壓，猶如變壓器的線圈。此電壓作為差動成分輸入放大器，並累加到真正的 VDM 訊號上。

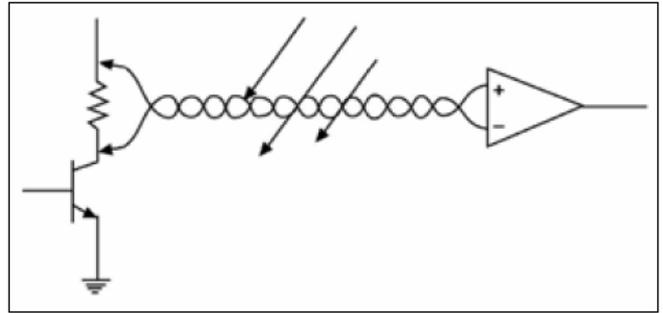


圖 16. 將輸入引線絞扭在一起，迴路面積非常小，故穿過其中的磁場較少。感應電壓往往出現在 VCM 通道，可以被差動放大器抑制。

接地

大多數差動放大器的輸入連接器是外殼接地的 BNC 連接器，在使用探棒或同軸輸入纜線連接時，總會有如何接地的問題。由於量測應用非常廣泛，故沒有嚴格的標準可循。

在量測低頻的低電位訊號時，地線一般最好是只接在放大器一側，而不要接在兩個輸入端上。這樣可為感應到的屏蔽層電流提供返回的通路但又不會形成接地迴路，對量測或待測裝置形成干擾。

在高頻部分，探棒的輸入電容與引線電感形成串聯「空腔」諧振電路，並可能結成環狀。在單端量測中，使用盡可能短的接地線可使這種效應減至最小。這樣會降低電感量，有效地增高諧振頻率，使其有望超出放大器的頻寬。差動量測是在兩個探棒接觸點之間進行的，其中並不涉及接地的概念。然而如果因為共模成分的快速上升而產生了環，則使用短的接地線可減少諧振電路中的

電感量，從而減少了環狀成分。在有些情況下，也可以用附加接地線的方法減少快速差動訊號所產生的環。如果共模源在高頻時對地的阻抗很低，也就是被電容器旁通，就屬於這種情況。如其不然，附加地線可能會使情況變得更糟！如果發生了這種事，可試著將探棒一起在輸入端接地。這樣可以透過屏蔽降低有效電感。

當然，將探棒的接地線接到電路上可能會產生接地迴路，在量測高頻訊號時這通常不會產生問題。量測高頻時的最好忠告就是試著不使用接地引線進行量測，然後採用能提供最好結果的設定。將探棒接地引線接到電路時，要切記將它接地！在使用差動放大器時很容易忘記地線的連接在那裡，因為它們可以探查電路的任何地方，而不會有發生損害的危險。

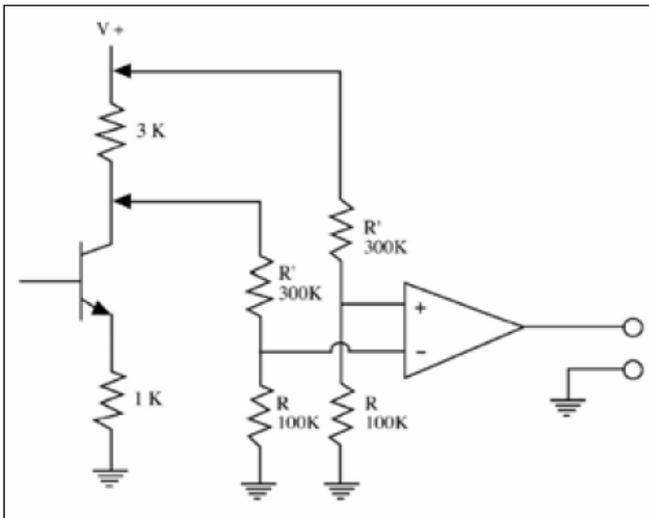


圖 17. 源阻抗不平衡所造成的影響。+ 輸入衰減器是從 $0\ \Omega$ 驅動的，但輸入衰減器是從 $3\ \text{k}\Omega$ 以下驅動的。結果與 $900\ \text{k}\Omega$ 相加，使衰減增加而 CMRR 降低。

輸入阻抗對 CMRR 的影響

任何源阻抗的作用就是與輸入電阻（直流）和輸入電容（交流）組成一個分壓器。對單端量測來說，阻抗的影響一般可以忽略，因為誤差很少能達到 1%。但對差動量測，這個小的誤差造成輸入增益的不匹配，這會減少共模抑制的能力（參見圖 17）。

量測差動放大器的 CMRR 指標通常是經過 T 型 BNC 連接器共同驅動兩個輸入端。這樣向輸入端看進去的阻抗差實際為零。現實中的信號源理應具有相同的驅動阻抗。但這很難做到。於是，CMRR 的實際效能要比放大器的指標低得多。

如果放大器的輸入阻抗、衰減倍數和源阻抗全都已知，那麼透過計算，每個輸入分支的分壓比就可以確定實際的 CMRR。不過，若只對量測的效能做出主觀的判斷會更容易些。

很多高增益放大器都可以配置成儀器用放大器。儀器用放大器沒有輸入衰減器，本身的輸入電阻是無限大 ($>10^{12}\ \Omega$)。在源阻抗相當高時（如生理學實驗）這種方式可以大幅改善低頻的 CMR。儘管儀器用放大器的輸入電阻為無限大，其輸入電容還是有的。隨著共模頻率的增加，信號源的高阻抗對 CMR 的改善效果將迅速退化。由於儀器用放大器沒有輸入衰減器，其共模範圍和差模範圍都比較狹窄。

共模範圍

任何放大器都有可能被過驅動，並引起輸出的「鉗位」。當輸入的差模訊號大到足以強制放大器超出其輸出動態範圍時，差動放大器也會發生同樣的效應。差動放大器還要承受另一種超載，即超出輸入共模範圍。當預期的訊號所依附的電壓 (VCM) 超出了放大器的輸入共模範圍時就會發生這種情況。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

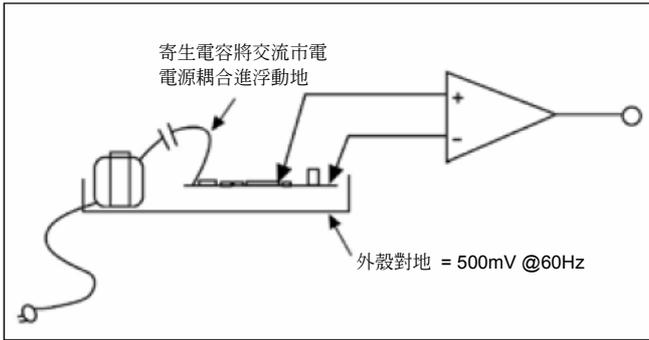


圖 18. 消費性音訊電子元件中的 VCM。這些設備通常使用雙芯電源線，其機箱和電路都是浮動的。

由於放大器抑制了共模訊號，所以動態範圍受到輸入級而不是輸出擺幅的限制。具輸入衰減器的放大器共模範圍比差模範圍大。由於共模成分在量測中是看不到的 (但願如此)，所以共模範圍超載對於使用者可能並不明顯。當共模成分為直流時尤其如此。在超出 VCM 範圍時，有些放大器的拓撲仍然約略提供具有明顯增益誤差的差動訊號。由於波形貌似正確，很多使用者被這種錯誤的量測結果所愚弄。

有些放大器具有超載指示器以警告使用者發生了共模超載的情況。一個好的方法就是在進行重要的量測之前，先檢驗共模是否在規定的範圍之內。只要將一個輸入端接地，並且用放大器本身量測共模成分，就可以很容易地進行檢驗。然後再對另一個輸入端重複此過程。

量測完全浮動訊號

完全浮動 (沒有任何接地) 的信號源在使用差動放大器進行量測時會造成特殊的問題。常見的例子有電池供電的電子裝置、消費性音訊元件和實驗用生理標本。由於沒有分支阻抗接地，該地區的任何交流電場都可以通過電容耦合到待測裝置 (參見圖 18)。在這種量測環境中充斥著從螢光燈和建築物配線中輻射出來的線路頻率電場。當這種電場耦合到待測裝置中時，便產生了共模電壓。若耦合量足夠大而放大器的輸入阻抗又比較高，就可能不經意間超出了放大器的共模範圍。當放大器配置成儀器用放大器時尤其如此，因為對線路頻率的負載阻抗近乎無限大。

透過提供分支阻抗接地、減少電容性耦合或者減少磁場強度等都可以避免出現超載的情況。增加到地的並聯支路是最為容易的方法。這種方法不需要直接短路，通常有 10 k Ω 的電阻就足夠了。如果加入分支阻抗對待測裝置或量測過程造成干擾，可以試著將待測裝置用接地的金屬屏蔽物封裝起來以減少電容性耦合。這實際上是加了一個給交流電場提供接地通路的法拉第屏蔽。最後一個方法是設法將磁場強度減至最小。作為一個好的開始，可以用白熾燈替代螢光燈，以及使用電路配線與待測裝置之間保持最大距離。

頻寬

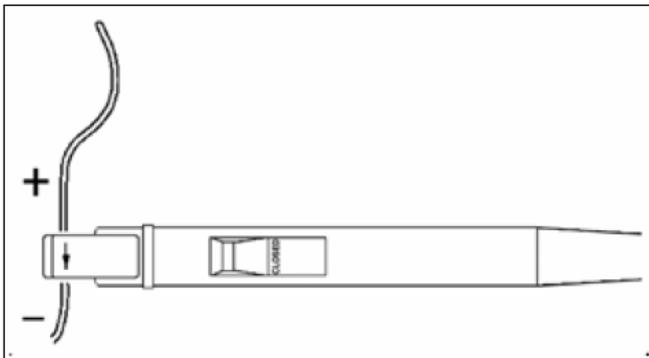
差動放大器和單端示波器放大器一樣，常可以對頻寬限制進行控制。高增益放大器可以提供低通頻率的選擇。頻寬限制可減少高頻雜訊成分並使低頻的降低減至最小。頻寬限制濾波位於輸入訊號被轉換為單端之後。所以，使用頻寬限制不會增加高頻的輸入共模範圍。

電流探棒使用技巧

應用摘要

使用電流探棒的注意事項

1. 請仔細閱讀說明書上的安全注意事項以及探棒量程。
2. 鉗式電流探棒必須將滑桿推到底，直到探棒顯示：「CLOSED」。
3. 每次量測前需將主動式電流探棒預熱 20 分鐘以上，確保量測結果準確。
4. 每次量測後需對探棒進行消磁 (Degauss)，以免剩磁影響量測結果。
5. 如需更高的量測準確度，在每次使用前，請使用 Tektronix 專用的電流校驗夾具進行校正。
6. 注意電流方向。



探棒的消磁與平衡

為進行準確的量測，您必須經常對探棒進行消磁與平衡調整。消磁可以消除探棒鐵心內的寄生磁場，否則將造成零點的漂移和量測誤差。每次進行消磁後都需要調整探棒的零點平衡，消除存在的偏移。在下列各種條件下都需要進行消磁與平衡：



- 每次打開示波器進行 20 分鐘預熱以後
- 每當發生超載的時候
- 每當探棒暴露在強磁場中
- 每次發現空載直流偏移非零時

消磁與平衡調整步驟：

1. 將示波器輸入通道設為零參考點。
2. 將探棒的輸出連接示波器，如果是 TCPA 系列或者 TCP202 電流探棒，同時使用 Tektronix TDS3000 以上型號的示波器，示波器將該通道顯示刻度設為安培/格。
3. 探棒不鉗任何導線的情況下，將滑桿推到底，直到顯示 CLOSED。
4. 按 DEGAUSS (消磁) 按鍵。

將示波器轉到最小刻度，例如 1mA/格或 10mA/格。調整平衡旋鈕，直到波形軌跡線與零點吻合。

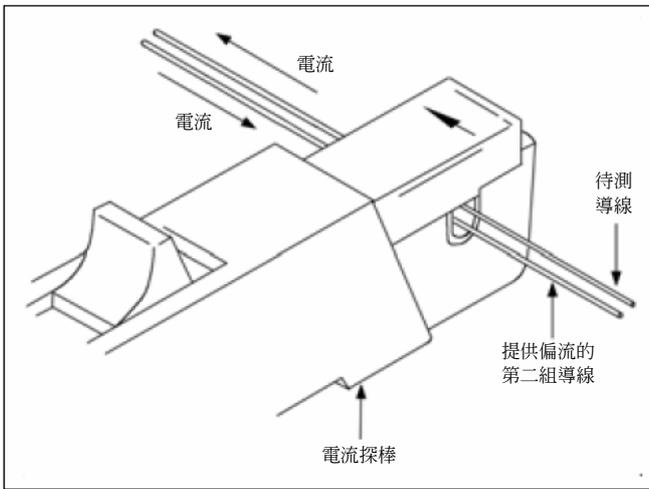
第二章：電力電子測試技術與應用技巧

如何量測大的直流電流

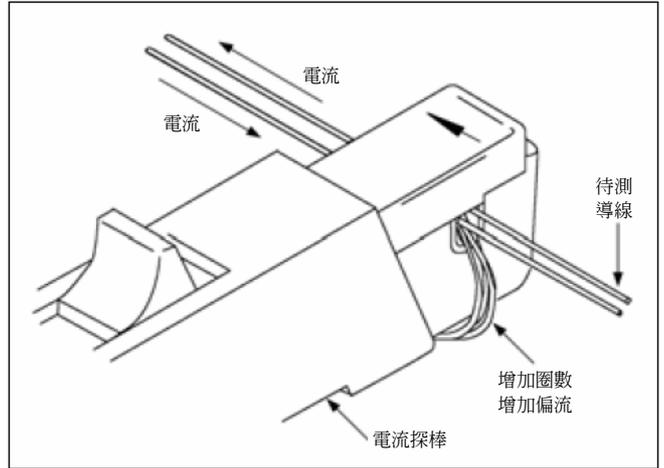
如果您需要量測重疊在大的直流訊號上的交流成分，或者您希望擴充您探棒的直流量測範圍，您可以使用第二條導線增加偏流來達成。

透過增加偏移電流，量測的直流電流就是二組導線電流之間的差值，現在將測得的數值加上偏移直流電流的數值就可以算出實際電流的值。

您可以將另外一條只通過直流成分的導線與待測導線一起放在鉗口內，需要第二條導線電流的方向與待測訊號相反。參見下圖：

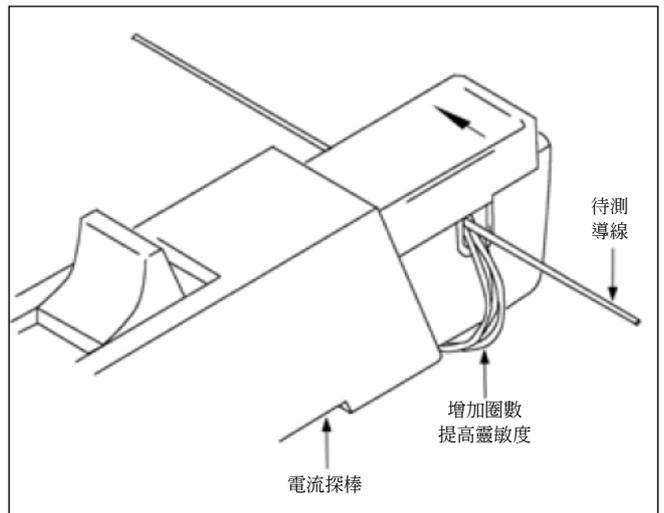


您可以透過在鉗口多繞幾圈的方法提高直流偏移的數值。現在直流偏移的數值將等於流過導線的直流乘以圈數。例如，如果第二條導線電流為 100mA 直流，繞鉗口 5 圈，那麼等效的直流偏移電流就是 100mA 乘以 5，為 500mA 直流。



如何提高量測小電流的準確度

如果量測非常小的電流成分，您可以透過在鉗口多繞幾圈的方法提高量測靈敏度，這時探棒的靈敏度即為繞的圈數（倍數），在示波器上觀測波形時，相應電流除以這一倍數就得到正確地讀數，例如，如果導線環繞鉗口 5 圈，示波器讀出的電流是 50mA，實際值就應該是 10mA。



電源供應器漣波量測技巧

應用摘要

目前交換式電源供應器已取代傳統電源供應器，成為大多數電子產品的電源元件，廣泛地使用於桌上型電腦、顯示器、筆記型電腦、傳真機、影印機等設備上。最主要的原因是交換式電源供應器具有體積小、重量輕及效率高等多項優點，缺點則是輸出雜訊較大，本文的目的就是來探討直流交換式電源供應器的輸出雜訊。

電源漣波雜訊的定義

輸出雜訊定義：此雜訊是附著於直流成分上的交流成分，此交流成分包含週期性與隨機性訊號，英文稱為 PARD (Periodic And Random Deviation)，其波形如下圖：

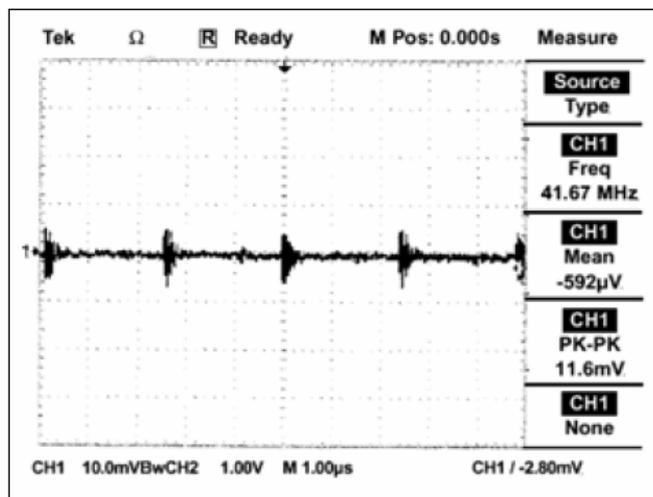


圖 1. 交換式電源供應器的輸出雜訊波形

由於交換式電源供應器採用高頻切換 (20 KHz 以上) 技術，配合脈衝寬度調變 (PWM) 及輸出濾波電路，可以將市電轉換成 IC 電路所需的直流電壓，例如 +5V、+12V、-5V、-12V、+3.3V 等電壓，但經此種轉換的副作用是在直流成分中含有少許的交流成分，若此交流成分 (以下稱為雜訊) 過大則會使應用電路產生誤動作。以 5V 為例，若直流中心電壓為 5.00V，雜訊若為 1.0 V_{p-p}，則任何瞬時值的電壓可能已經超過 4.75V – 5.25V 的容許範圍，(此為一般邏輯 IC 正常之工作電壓範圍)，因而可能誤動作或當機出現，因此輸出雜訊影響不可謂不大。一般而言，交換式電源供應器的輸出雜訊規格為其輸出直流電壓的 1% 以下，以+5V、+12V 為例，其輸出雜訊規格分別為 50m V_{p-p} 與 120m V_{p-p}。

輸出雜訊的控制

通常交換式電源供應器在設計時，便需將輸出雜訊控制在這一規格內，才算完成，而產品量產時，可能因為零件 (如輸出變壓器、快速二極體、濾波電容器等) 材質規格不同，或誤裝、漏裝，等因素造成雜訊 (漣波) 超過規格，為避免這些情況，在檢測時將交換式電源供應器每個輸出的雜訊列為測試項目是必須的。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

輸出漣波的檢測

示波器是最普遍，常用的檢測裝置，測試時應注意下述規格，否則其檢測結果差異甚大。

避免接地迴路影響

應儘量使用差動輸入或浮動示波器。因為一般示波器的輸入 BNC 負端是與示波器機殼相連通的，而示波器機殼又與輸入電源的接地端連接，若直接用探棒量測輸出端，可能造成接地迴路電流，因而影響量測結果，因此應該避免。採用差動輸入的示波器是正確的檢測接法，如圖 2 為 INTEL 建議的檢測連接圖。

測試條件

在測試規格中應明確說明是否在待測端加入旁通電容器及其材質、容量、數量等，如圖 2 中 INTEL 即加入 10uf 及 0.1uf 電容器，以便模擬主機板上的系統電容。這部分並沒有通則要求，視需求條件而定，在測試時應說明是否有旁通電容器，否則測試值會有不小差異。

頻寬

示波器的頻寬會影響檢測結果，一般規格為 20MHZ 或 30MHZ (INTEL 要求規格)，數位示波器之取樣速率必須高 PARD 頻率 2 倍以上。

衰減選擇

由於漣波雜訊一般較小，使用較大衰減的探棒會造成訊號過小，量測結果不準確。建議選擇 1:1 探棒，交流耦合方式。

輸入阻抗

低輸入阻抗 (如 50 Ω) 可以比高輸入阻抗 (如 1 MΩ) 防止其他訊號的干擾。此部分並無通則要求，但測試時應說明其輸入阻抗，否則數值會有不小之差異。

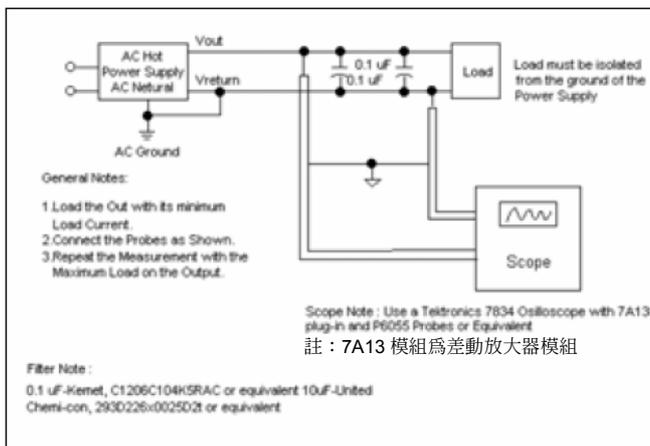
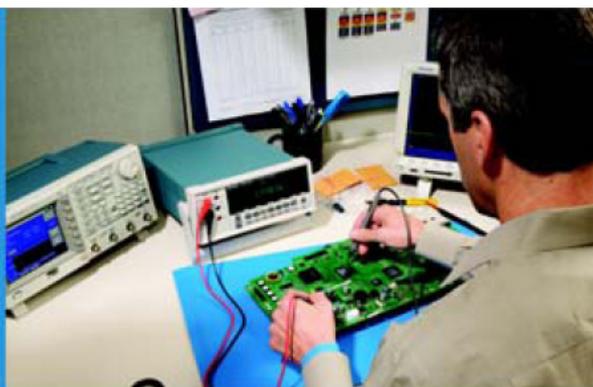


圖 2. INTEL 建議的 PARD 差動檢測連接圖



待機和洩漏電流測試

應用摘要

在當前電子裝置中，量測待機功率或電流洩漏是設計驗證和除錯過程中的一項常見工作。由於消費者需要電池工作時間更長、能耗效率更高的產品，設計工程師必須認真管理電流洩漏中遺失的能量，這需要準確地進行量測。

裝置中通常會設計有待機電流洩漏，這是提供「即時開機」功能的產品，具有一直啟動的時脈顯示器的消費性電子，以及充電器等功率轉換裝置的副作用。由於能量是功率乘時間，即使待機功率位準低，其在長時間週期內也可能會消耗大量的能量，耗用 AC 電源電量，耗乾電池。

準確量測毫微安培級的低位準洩漏電流，是大多數數位萬用電錶面臨的一個挑戰。Tektronix DMM4020 萬用電錶提供了一個專用電路，可以以 1 nA 的解析度量測洩漏電流，解決這一挑戰。

量測待機電流洩漏

量測待機電流看上去像是一份容易的任務。它只需將優質萬用電錶 (DMM) 的引線連接到相應端子上，直接量測電流安培數就可以了。但事實上，這一任務並不是這樣簡單，因為電流洩漏一般很低，只有幾毫微安培，使用傳統 DMM 進行量測可能會不準確。

DMM 量測電流的方式通常是以與待測電路串聯的分流電阻形式應用已知電阻，允許電流流過電路。在電流流動時，DMM 會量測經過分流電阻器的電壓下降量，使用歐姆定律計算電流。這種分流電阻器方法在分流裝置中引入下降電壓，稱為負載電壓，如圖 1 所示。負載電壓成為誤差來源，因為根據基爾霍夫電壓定律 (KVL)，要從電路中提供的電壓中減去這個負載電壓，可能會出現 50% 以上的誤差。

透過使用較低的分流電阻，可以減少錯誤數量，高端 DMM 則提供了可變分流值，允許選擇電流量程。但是，使用低分流電阻值會提高測得的電壓靈敏度，使量測變得不準確、不穩定。

第二章：電力電子測試技術與應用技巧

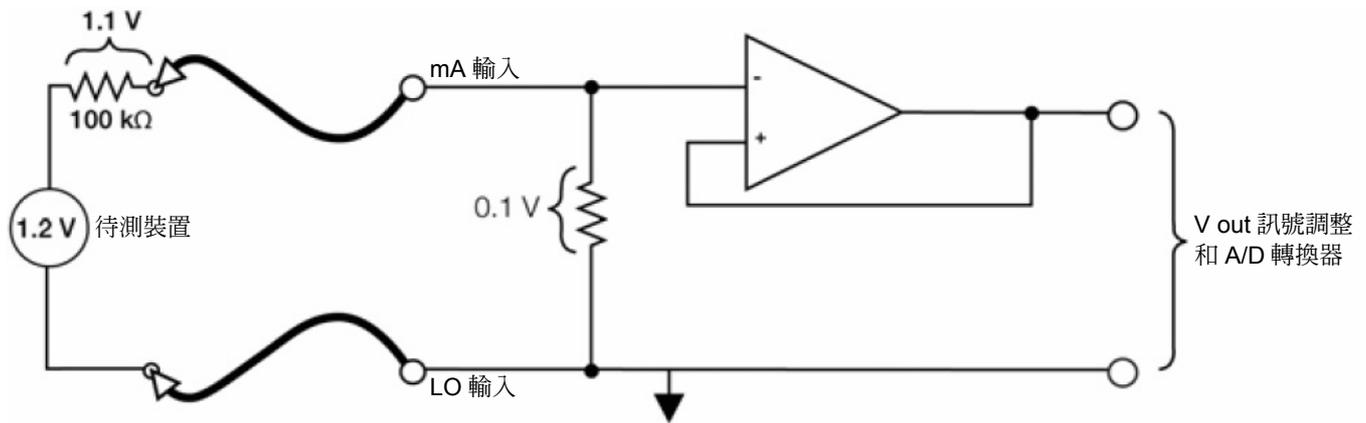


圖 1. 分流萬用電錶電路作為安培計使用

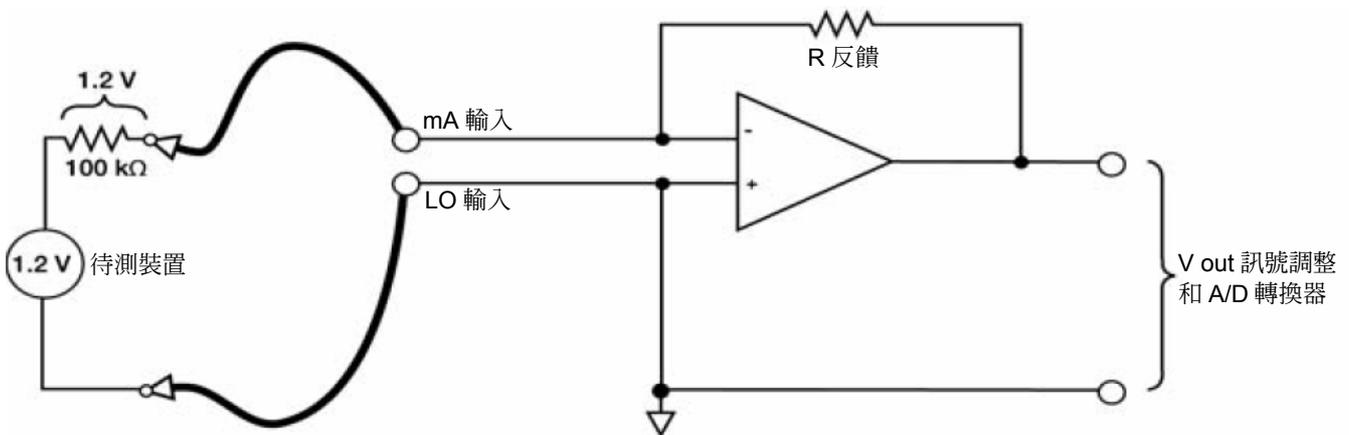


圖 2. 反饋 DMM 中的電路作為低電流安培計使用。Tektronix DMM4020 萬用電錶就是這樣一種工具。

透過使用與電路串聯的電流到電壓放大器（運算放大器）轉換技術，在低電流應用中作為安培計使用 DMM，可以大幅改善準確度，如圖 2 所示。例如，1.2 V dc 電源的電路及 100 k Ω 測試負載的裝置，計算得到的電流為 12 μ A。但是，由於增加了串聯儀錶分流電阻（10 k Ω ），測得經過待測裝置的電流將下降到 10.909 μ A。為改善低電流量測的靈敏度，安培計設計工程師將提高分流電阻；隨著分流電阻提高，誤差也會提高。

Tektronix DMM4020 數位萬用電錶在兩個低直流量程中採用電流到電壓運算放大器：2000 μ A 和 200 μ A。在這些量程中，運算放大器在電路中引入低阻抗，將未知輸入電流轉換成電壓，而不需要低電阻分流裝置，從而消除了負載電壓。結果，對指定量程的低電流量測，儀器提供高達 1 nA 的解析度及 0.03% 的準確度，對量測負載影響達到最小。現在，透過使用 Tektronix DMM4020 桌上型萬用電錶，可以準確地量測待機電流。

注意誤差來源

在進行低電流量測時，要瞭解可能的量測誤差來源及如何防止這些誤差來源影響量測。常見誤差點包括：

- 外來的洩漏電流，如塵土、油脂、助焊劑等污染物導致的洩漏電流。不管是待測裝置、測試儀器本身、還是測試纜線或連接器，污染物都可能會為電流提供其他的流動路徑，從而在量測中引入誤差。在進行低電流測試時，應使用酒精清潔所有可能被污染的表面。
- 任何類型的雜訊都可能會在低電流讀數中引入誤差：
 - AC 電源雜訊可能會壓倒靈敏的放大器，導致讀數不準確。濾波有一定幫助，使用同軸纜線或屏蔽雙絞線測試纜線可以減少錯誤的讀數。
 - 任何類型的噪音都可能會為量測過程引入振動。而振動則會導致導體相對於絕緣體運動，在電路中產生雜訊，進而引起誤差。
 - 在分流裝置或待測裝置的熱能刺激電路中的電子隨機運動和碰撞時，會產生熱雜訊。得到的電壓和電流與電路中的電阻的平方成比例（來自待測裝置和量測電路）。使用電阻較低的分流裝置有一定幫助。

第三章

產業培訓講義

交換式電源供應器的量測與驗證

太克科技股份有限公司

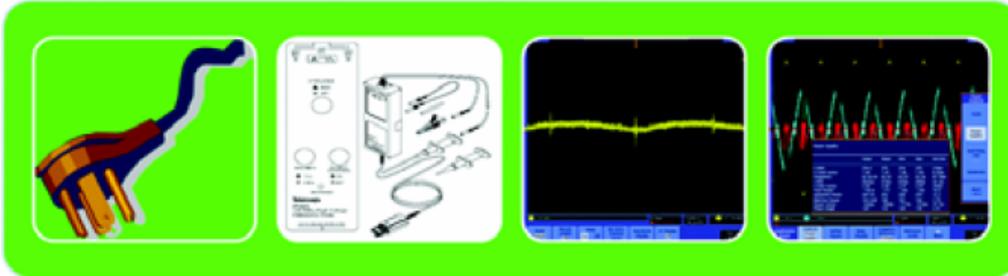


Tektronix

交換式電源供應器測試儀器

- 數位萬用電錶：電壓、電流、頻率
- 可程式電源供應器：AC、DC、任意波形
- 函數產生器
- 電子負載：CC 恆電流、CV 恆電壓、CR 恆電阻、CP 恆功率
- LCR 錶：電阻、電容、電感
- 阻抗分析儀：電阻、電容和電感阻抗
- 頻譜分析儀：頻域測試
- 功率錶：功率分析、電壓、電流、頻率
- 示波器：時域、頻域分析

示波器應用於電源供應器電路量測的四大考量



安全

- 如何安全地使用示波器
- 浮動電壓量測技術

探棒

- 瞭解探棒的負載效應
- 瞭解高壓差動探棒的規格及使用技巧
- 瞭解電流探棒的規格及使用技巧

擷取

- 示波器的準確度
- 擷取模式的應用

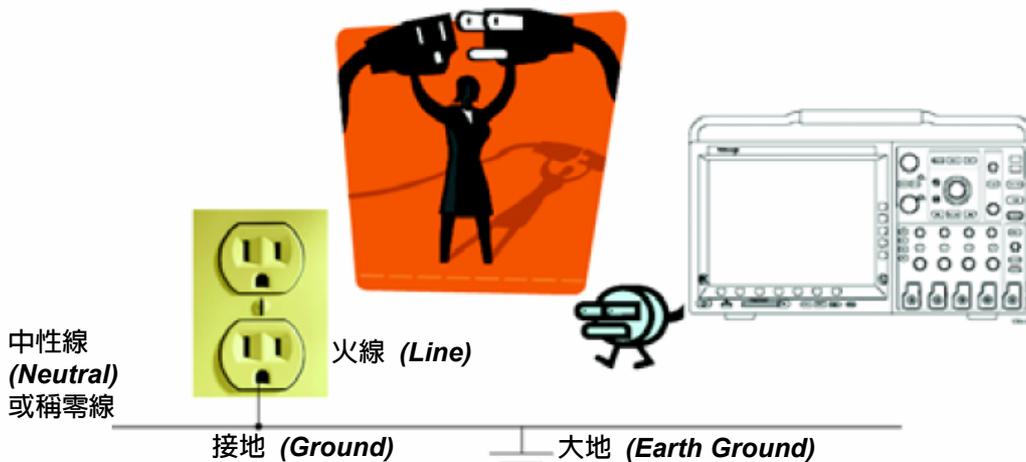
分析

- 快速傅立葉轉換的使用
- 進階數學運算的使用
- 電源分析軟體的應用

3

Tektronix

四大量測考量 — 安全：示波器的電源必須正確的接地



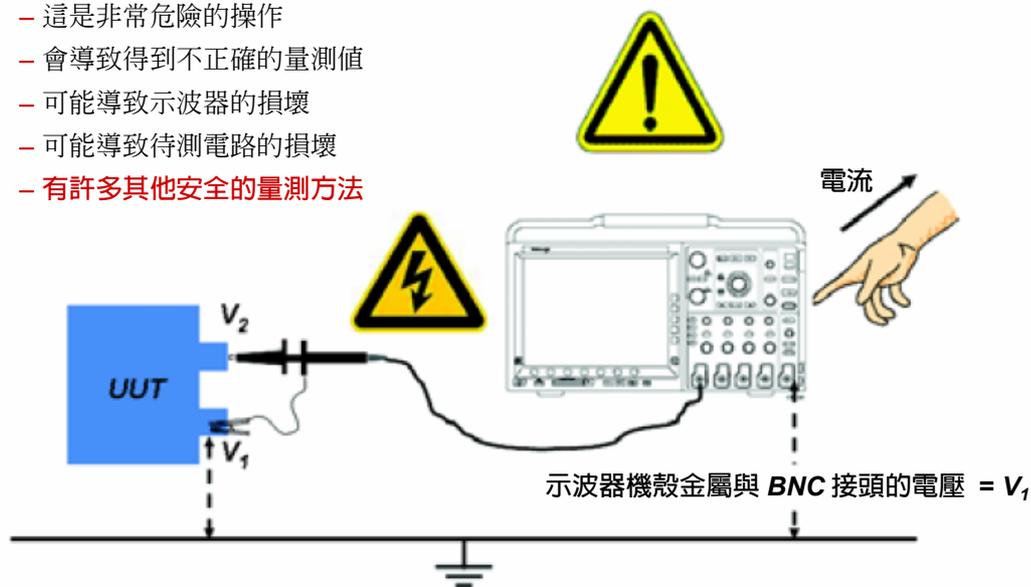
4

Tektronix

安全量測：千萬不要浮接您的示波器！

■ 不可剪斷或損壞示波器電源線的接地！

- 這是非常危險的操作
- 會導致得到不正確的量測值
- 可能導致示波器的損壞
- 可能導致待測電路的損壞
- 有許多其他安全的量測方法



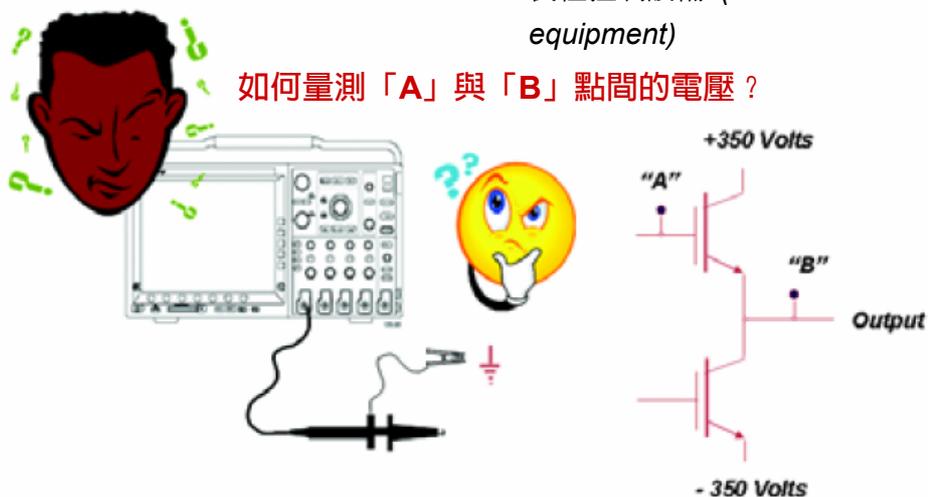
5

Tektronix

在電力電子領域單端量測並不可行 如何安全地執行量測工作？

- 馬達控制器 (Motor controllers)
- 換流器/逆變器 (Inverters)
- 不斷電系統 (UPS)
- 交換式電源供應器 (Switching power supplies)
- 三相電源 (3-phase power)
- 製程控制設備 (Process control equipment)

如何量測「A」與「B」點間的電壓？

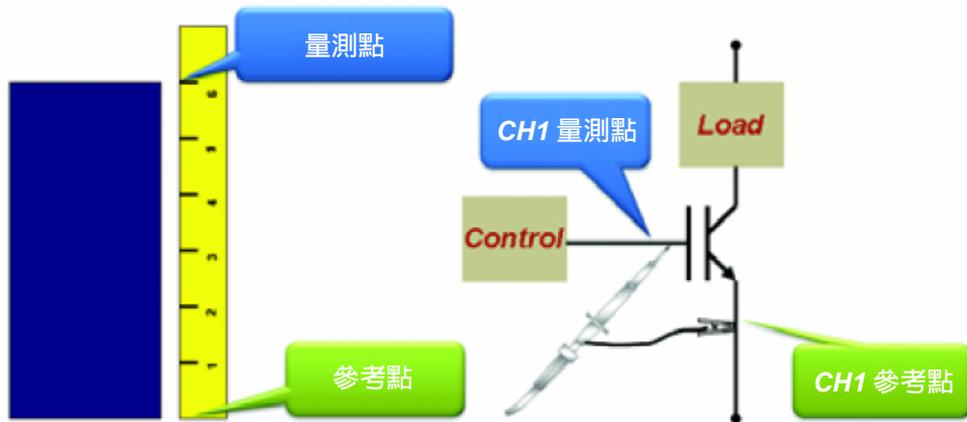


6

Tektronix

差動量測概念

- 所有高度和電壓的量測都是差動的
 - 因為所有的量測都必須有一個參考點

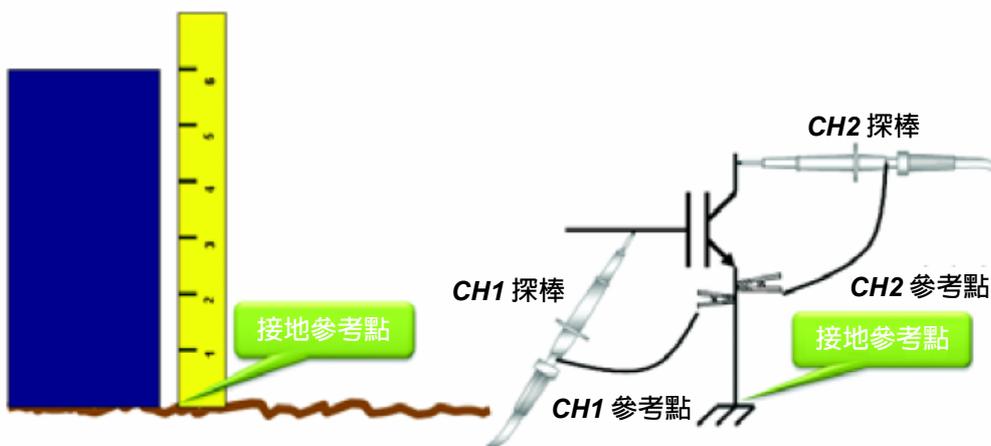


7

Tektronix

接地參考點量測

- 接地是一般常見的參考點
 - 一般示波器都是使用「接地」作為參考點



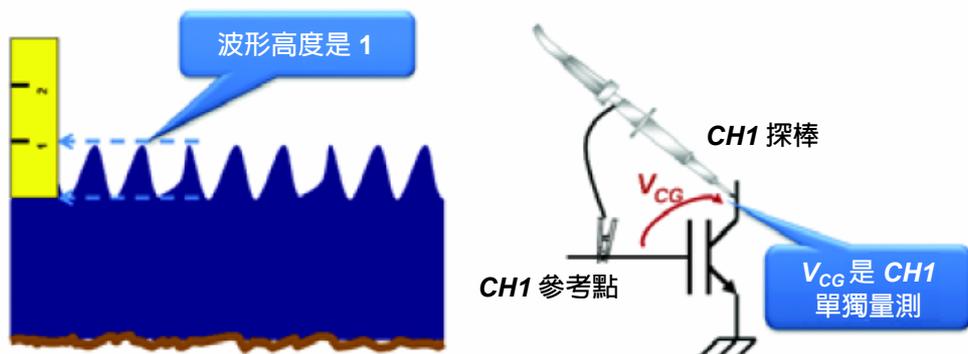
8

Tektronix

浮動量測 (非接地參考點量測)

- 浮動量測亦是差動量測，但是由於參考點並不是「接地」，而是參考點與地之間已有一高度或電壓存在

● 危險！不要拿一般示波器和被動式探棒來測試！



9

Tektronix

浮動量測的方法

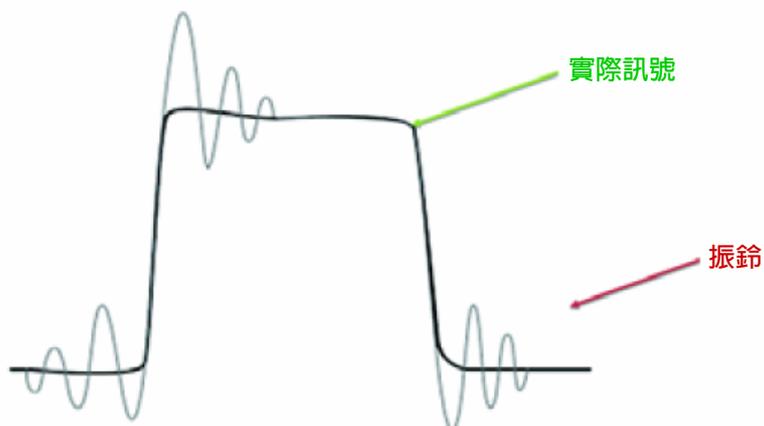
- 浮接 (Floating) 示波器
- 「A 減 B」量測技術 (又稱為 *Pseudo-Differential*)
- 差動探棒 (*Differential Probe*) 量測技術
- 隔離通道 (*Isolated-input*) 示波器與浮動量測

10

Tektronix

浮動 (Floating) 示波器

- 這是一種**不安全、不準確**的量測方法
 - 由於浮動儀器電源與地的寄生電感與電容造成訊號的振鈴與失真

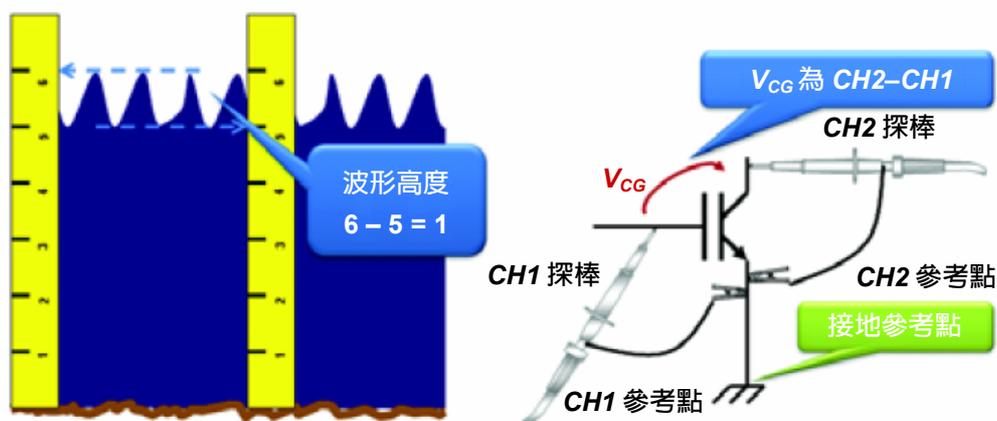


11

Tektronix

「A 減 B」量測法 (又稱為偽差動)

- 非接地的兩點測試，可藉由兩點對地的訊號相減而得到這兩點的訊號差
- 這是一種安全但不準確的替代量測方法

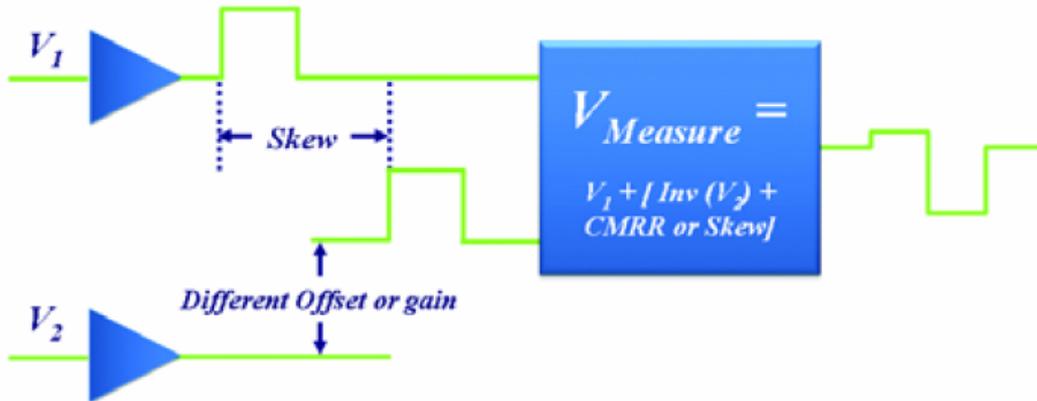


12

Tektronix

「A 減 B」量測法的問題

- CMRR 很差
 - 典型的 CMRR 100:1 @ DC / 20:1 @ 1 MHz
 - 相較於差動探棒典型的 CMRR 10,000:1 @ DC / 2000:1 @ 20 MHz
- 通道間的傳導延遲時差 (Skew) 及不同的偏移或增益
 - 導致振幅及時序誤差
- 必須使用兩個通道才能量測一組差動訊號

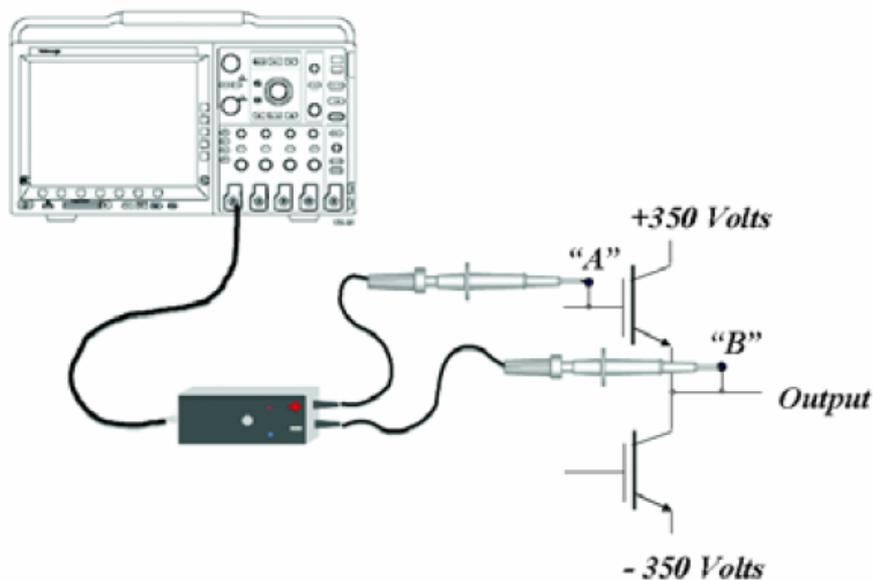


13

Tektronix

差動探棒 (Differential Probe) 量測技術

- 這是一種安全、準確的量測方法

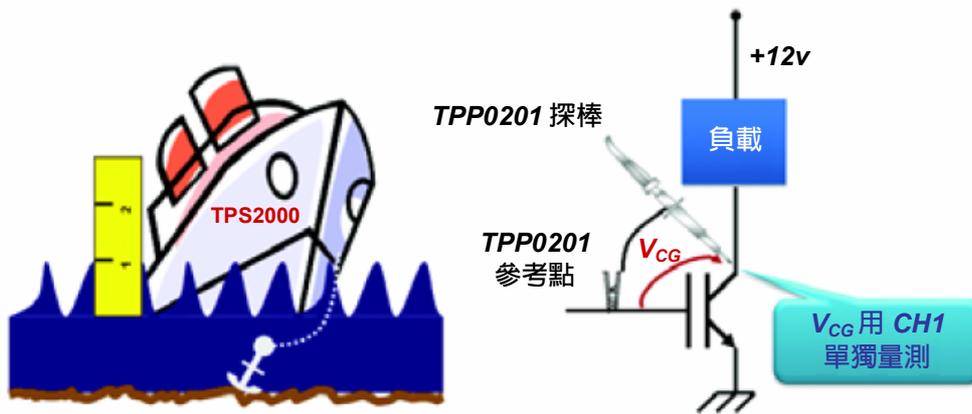


14

Tektronix

隔離通道 (Isolated-input) 示波器與浮動量測

- 隔離通道是將大地隔離，所以有了隔離通道就可以做安全的浮動量測
 - TPS2000B 系列是唯一可用來做浮動量測的示波器
 - TPS2000B 系列所搭配的標準探棒 TPP0201 可承受浮動測試電壓高達 30 V_{RMS}

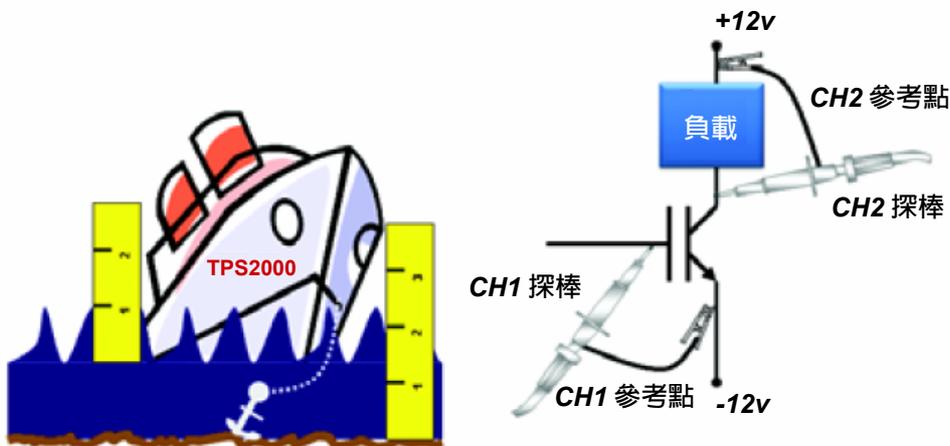


15

Tektronix

隔離通道 (Isolated-input) 示波器與浮動量測

- 因為是隔離通道，所以每個通道都能夠單獨量測不同的參考點
 - 提示：量測電路中的差動電壓應盡量低一些
 - 附註：浮動距離不可超過錨的深度

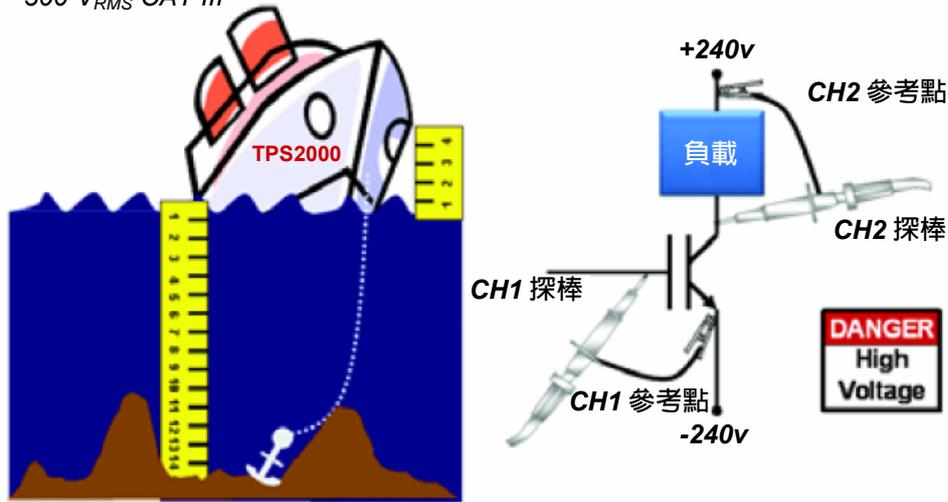


16

Tektronix

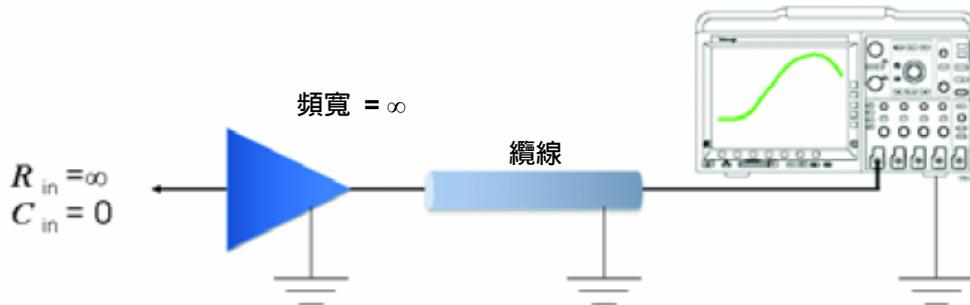
隔離通道的安全

- 不可超過儀器或探棒規定的電壓範圍！
 - TPS2000B 系列所搭配的標準探棒 TPP0201 可承受浮動測試電壓高達 $30 V_{RMS}$
 - TPS2000B 系列所搭配的探棒 P5122 可承受浮動測試電壓高達 $600 V_{RMS}$ CAT II 或 $300 V_{RMS}$ CAT III



17

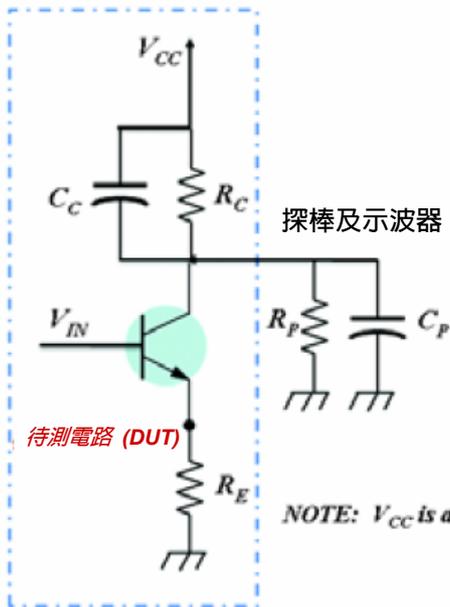
四大量測考量 — 探棒：理想的電壓探棒



- 理想的電壓探棒模型 — 理想的探棒是沒有負載效應，也就是不會對量測造成任何影響
 - 頻寬無限大
 - 輸入電容為 0，輸入電阻無限大
 - 動態範圍無限大 (*Dynamic Range*)
 - 1:1 無衰減
 - 無延遲、無相位偏移 (*Phase Shift*)
 - 機械結構適合量測應用

18

探棒不僅影響量測系統也影響待測電路



- 未接探棒與示波器時

$$\text{Gain} = \frac{-R_C}{R_E}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R_C C_C}$$

- 接上探棒與示波器後

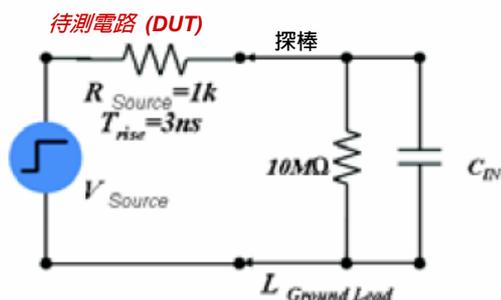
$$\text{Gain} = \frac{-(R_C \parallel R_P)}{R_E}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot (R_C \parallel R_P)(C_C + C_P)}$$

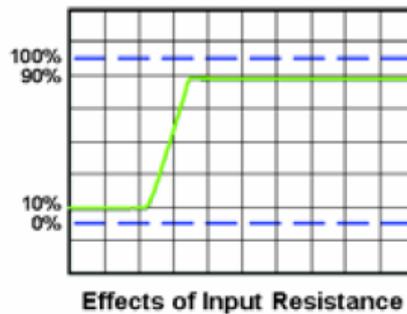
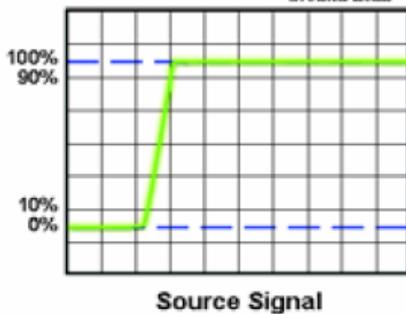
19

Tektronix

電阻負載效應會導致振幅降低



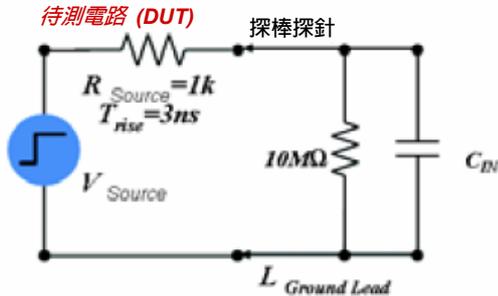
輸入電阻與待測電路會形成一個分壓電路，進而導致上升時間變慢及振幅降低



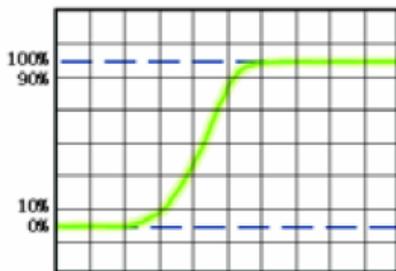
20

Tektronix

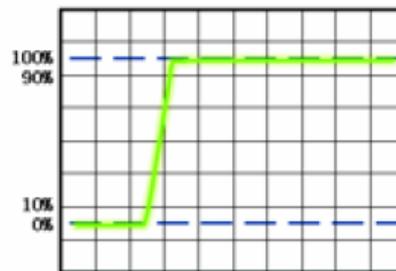
探棒的電容負載效應導致上升時間增加



$t_r \approx 2.2 (R_{source} \times C_{in})$
 1X 被動式探棒
 $C_{in} = 100pF \approx 220ns$
 10X 被動式探棒
 $C_{in} = 10pF \approx 22ns$



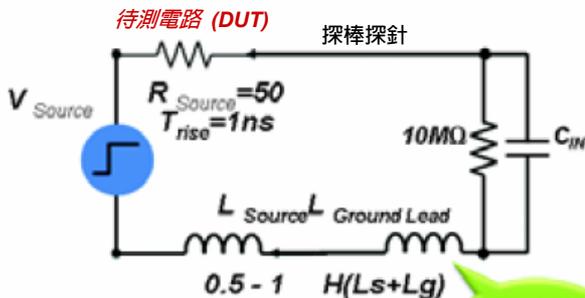
■ 1X 被動式探棒的上升時間波形



■ 10X 被動式探棒的上升時間波形

探棒接地線的電感負載效應

- 電感效應造成阻抗不匹配，頻寬越寬影響越大
- 接地線的長短會影響電感效應的大小，結果會產生脈波訊號的振鈴 (Ringing)



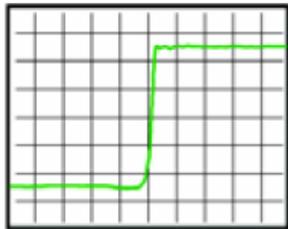
一個 10X 被動式探棒 $C_{in} = 10 pF$ 及
 6 英寸接地線的等效線路

接地線
 等效電感

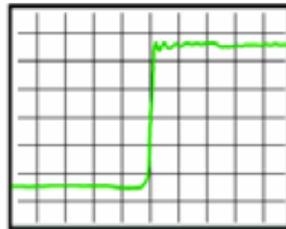
左側等效線路的探棒造成的振鈴

典型 6 英寸接地線
 探棒造成的振鈴頻率 $= \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} = 70MHz \rightarrow t_r = 5ns$

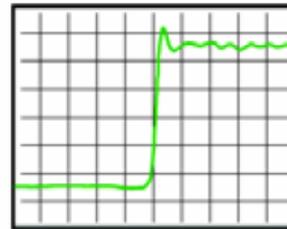
接地線的電感效應 (導致振鈴)



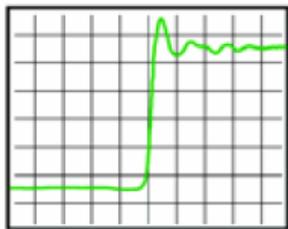
纜線直接連接



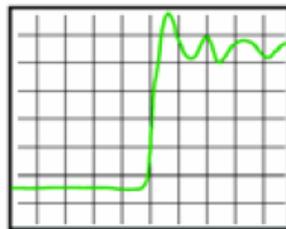
BNC 探棒探針連接



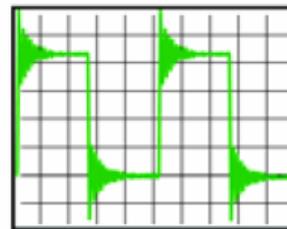
1 英寸接地線



3 英寸低阻抗接地線



6 英寸接地線

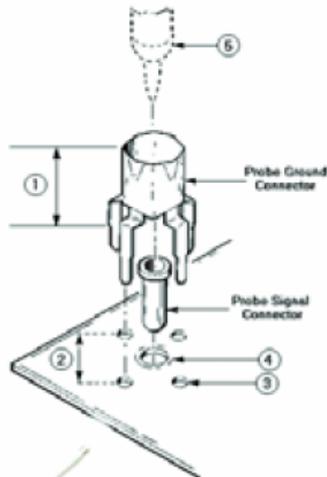


未接接地線

23

Tektronix

盡可能縮短接地線長度



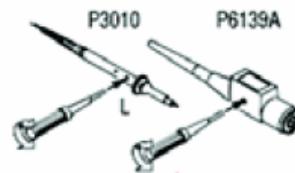
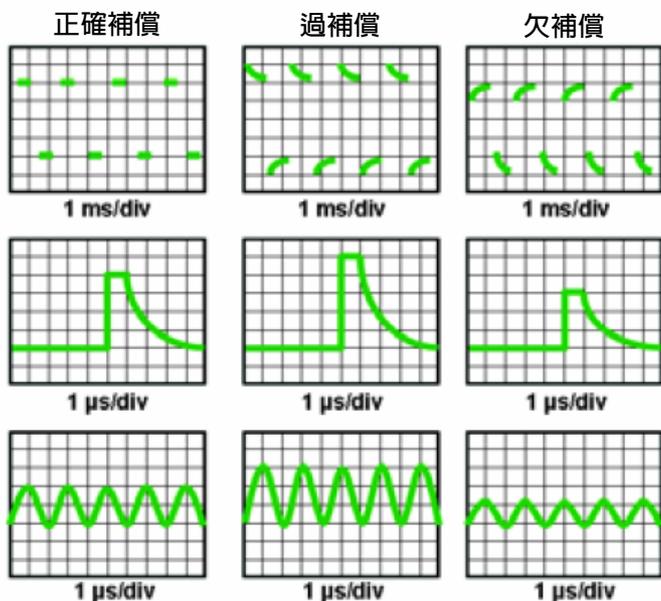
- 使用彈簧狀的短接地套件
- 使用電路板測試點轉接器
 - Tektronix 2.5 mm 超小型探棒
 - P/N 131-2766-03 (package of 2)
 - 尺寸：
 1. 安裝高度 0.280 英寸 (最大)
 2. 孔距 0.195 英寸 (最小) 至 0.205 英寸 (最大)
 3. 直徑 0.034 英寸 (最小) 至 0.041 英寸 (最大)
 4. 直徑 0.053 英寸 (最小) 至 0.063 英寸 (最大)
 5. 探棒直徑 0.094 英寸



24

Tektronix

低頻補償效應 (影響振幅量測)



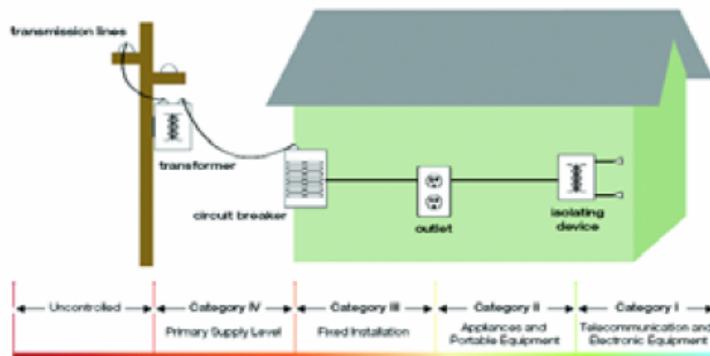
- 使用被動式探棒時須確認探棒的低頻補償是否正確
- TDS1000/2000B/TPS2000 可使用探棒檢查功能確認

25

Tektronix

CAT 等級

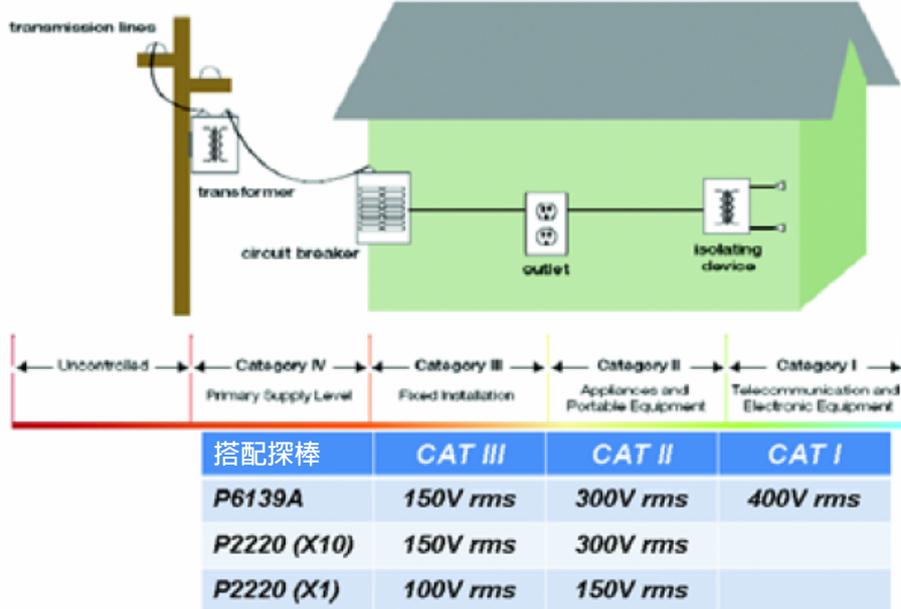
- CAT 等級，根據 IEC 61010 的定義，描述儀器設備在設計時在電氣環境中可承受的瞬間電壓範圍
- 根據所在的配電系統位置，可預估瞬間電壓的大小
 - CAT IV：戶外、三相電壓進入建築物之前 (瞬間到 $6 kV_{pk}$)
 - CAT III：電力配線、固定安裝 (瞬間到 $4 kV_{pk}$)
 - CAT II：屋內插座、電源設備、手提式設備 (瞬間到 $2.5 kV_{pk}$)
 - CAT I：特定電子裝置、通訊、電子設備的訊號位準 (瞬間到 $500 V_{pk}$)



26

Tektronix

最大量測電壓的範例

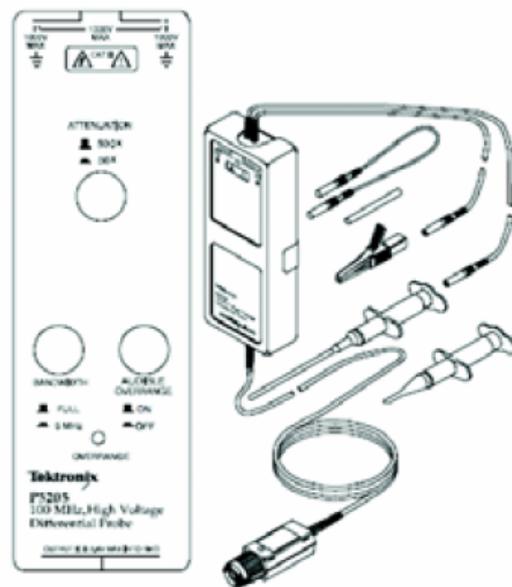


27

Tektronix

高壓差動探棒的應用須知 (以 P5205 為例)

- 安全限制 (*voltage between either input and earth ground*)
 - 單端 1000 V (Max)
 - 50X 差動 130 V (DC+ Peak AC)
 - 500X 差動 1300 V (DC+ Peak AC)
- 超量程偵測
 - 需注意僅偵測差動電壓是否過範圍
 - 無法偵測單端是否過範圍



28

Tektronix

差動探棒

- 不絞合探棒纜線
- 絞合探棒纜線
- 加 CM 扼流圈

No Stranded Wire:
 $V_{DS-peak} = 436V$

Stranded Wire:
 $V_{DS-peak} = 435V$

CM Filter:
 $V_{DS-peak} = 394V$

Tektronix

高壓差動探棒的應用須知 (以 P5205 為例)

- 導線必須雙絞以降低電感負載效應
- 注意延長線對高頻的影響
 - 量測頻率超過 10 MHz 時不建議使用延長線
 - 頻寬選擇為 5 MHz 時使用延長線不會影響效能
 - 不可僅接一條延長線

With extension leads

Without extension leads

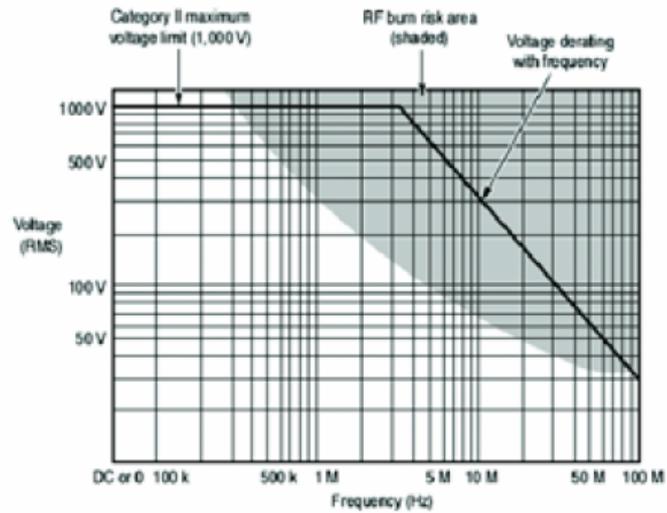
250 mV/div

50 ns/div

Tektronix

高壓差動探棒的應用須知 (以 P5205 為例)

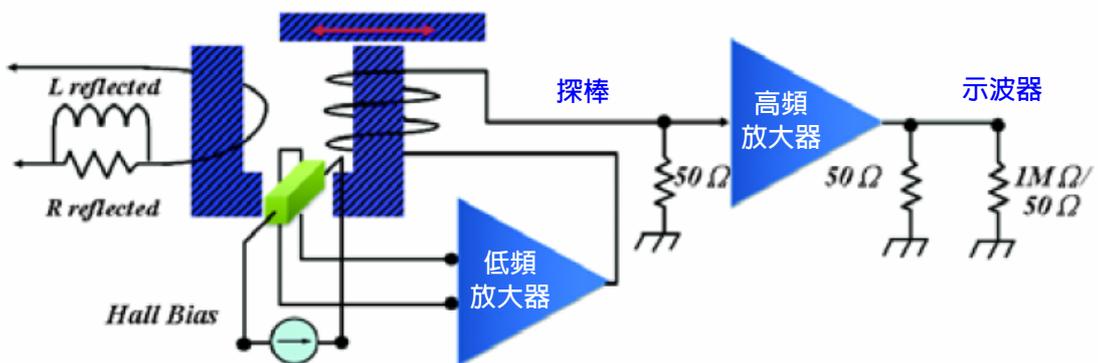
- 額定量測能力下降曲線
 - 隨量測頻率變高而導致的電壓量測能力下降
- 注意陰影區域 (RF Burn) 的量測步驟
 - 連接或移除探棒時須先將待測電路電源關閉以確保安全



31

Tektronix

電流探棒的應用須知：主動式電流探棒模型



32

Tektronix

TCP0030/TCP0150 — 交流/直流電流探棒

■ TCP0030

- 直接連接 TekVPI 示波器
 - DPO2000/DPO3000
 - DPO4000B/DPO5000/DPO7000
- 量測範圍：1 mA 到 30 A (動態範圍寬廣)
- 頻寬：直流至 120 MHz
- 50 A 峰值脈衝功能



■ TCP0150

- 直接連接 TekVPI 示波器
 - DPO2000/DPO3000
 - DPO4000B/DPO5000/DPO7000
- 量測範圍：150 A (RMS)
- 頻寬：直流至 20 MHz
- 500 A 峰值脈衝功能

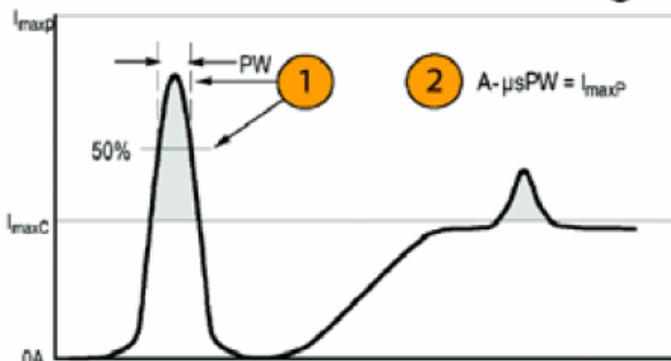
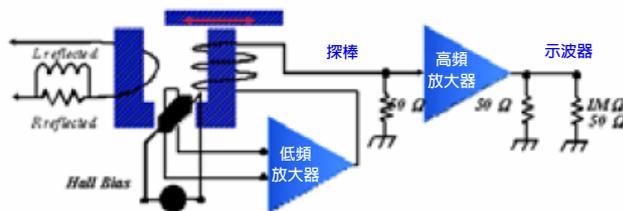


33

Tektronix

電流探棒的最大量測電流

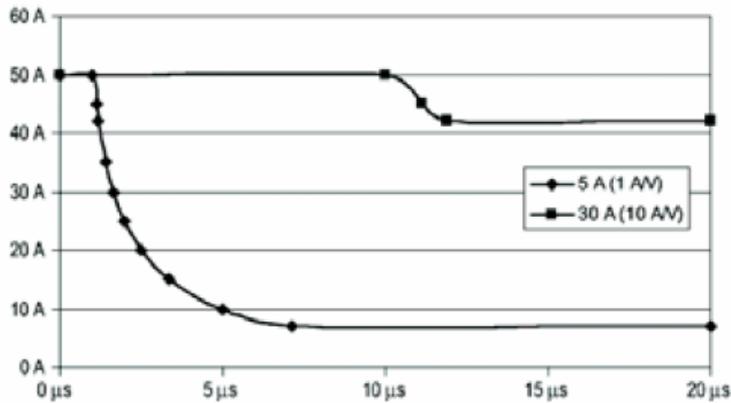
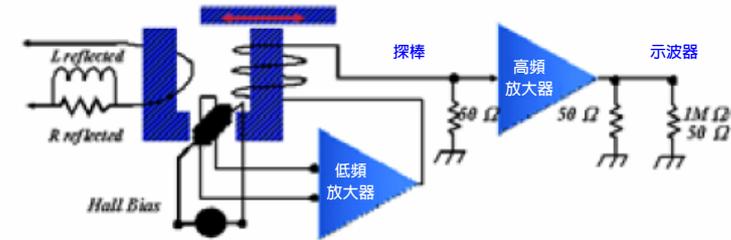
- 最大脈波電流
 - 需注意隨頻率及溫度變化的額定量測能力下降曲線
- 最大連續電流
- 安培-秒 乘積



34

Tektronix

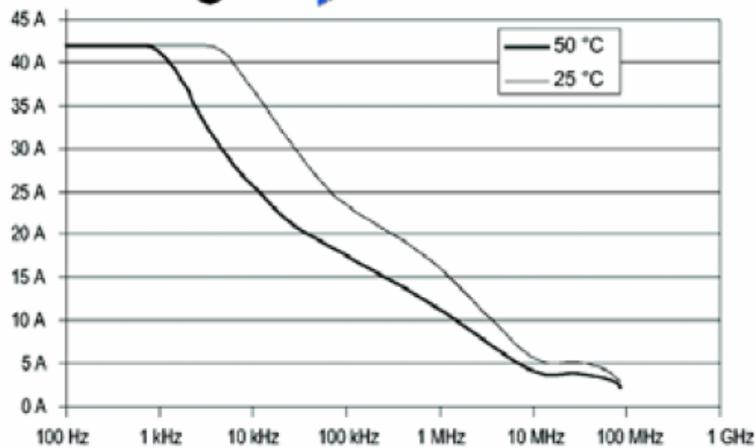
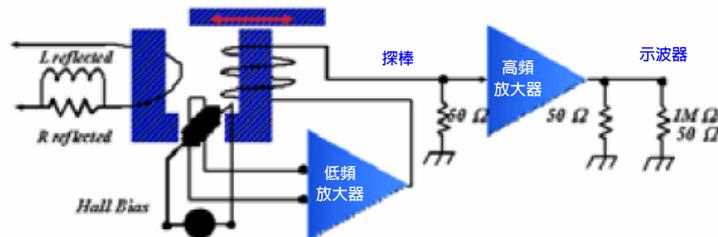
峰值電流與脈波寬度之關係圖



35

Tektronix

峰值電流與頻率間的額定量測能力下降曲線



36

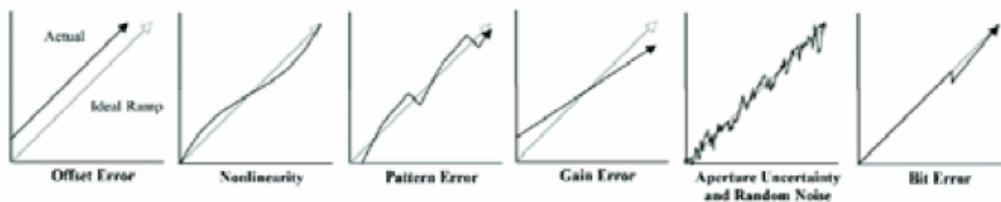
Tektronix

四大量測考量—擷取：示波器的準確度

A/D 垂直位元	最小解析度	滿刻度準確度%
6 bits	1/64	1.56%
8 bits	1/256	0.39%
10 bits	1/1024	0.097%
12 bits	1/4096	0.024%

大多數示波器為 8 位元
水平準確度

但為何最佳的示波器垂直準確度僅為 1–1.5%
內部頻率及取樣率決定水平準確度

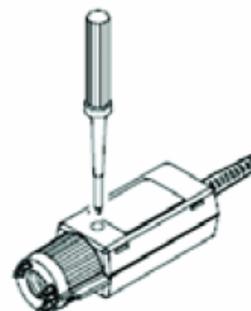


37

Tektronix

未執行系統校正對量測的影響

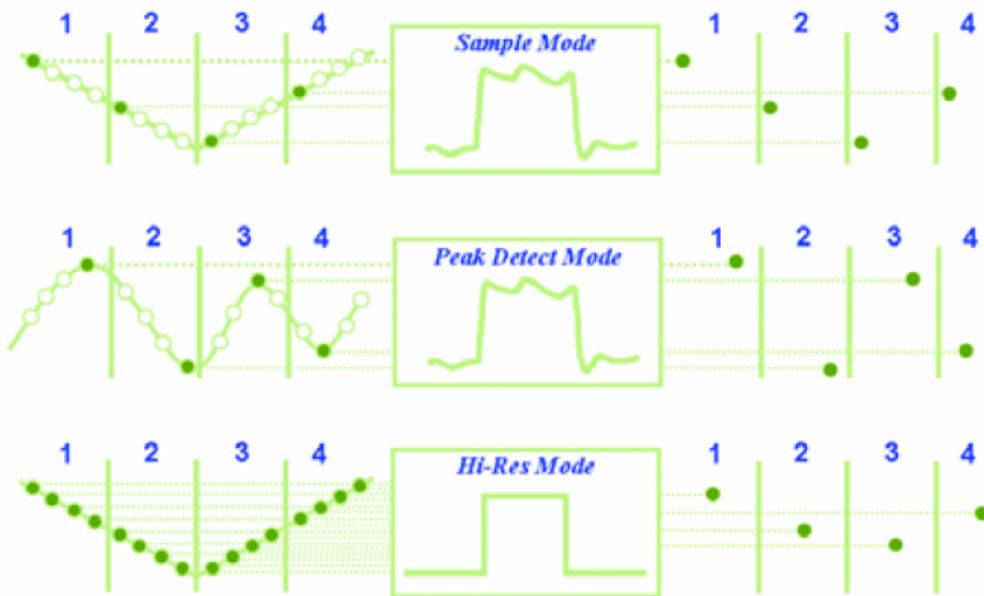
- 示波器及探棒的偏移歸零校正
 - 影響傳導損耗的準確度
- 探棒延遲時差校正
 - 影響切換損耗的準確度



38

Tektronix

擷取模式的種類



39

Tektronix

擷取模式的應用

- 取樣模式 (*Sample mode*) — 示波器一般的操作模式
 - 適用於大多數的情形
- 平均模式 (*Average mode*) — 將多次擷取的波形平均
 - 降低隨機雜訊，穩定量測值
 - 但是訊號必須是重複的、穩定的、持續存在的
- 高解析度模式 (*Hi Res mode*) — 平均取樣間隔中的取樣點
 - 必須有額外的取樣率才能工作，僅適用於中、低速時基 (取樣率小於 100 MS/s)
 - 於擷取的波形上以額外的取樣率來平均波形，所以適用於單擊或非重複性訊號的隨機雜訊平均
 - 藉由平均可增加量測解析度
- 峰值偵測模式 (*Peak Detect mode*) — 於取樣間隔擷取最大值/最小值
 - 可在低速的時基 (*time/div*) 發現突波 (*Glitch*) 訊號
- 包絡模式 (*Envelope mode*) — 堆疊取樣間隔擷取之最大值/最小值
 - 長時間觀察訊號的變化

40

Tektronix

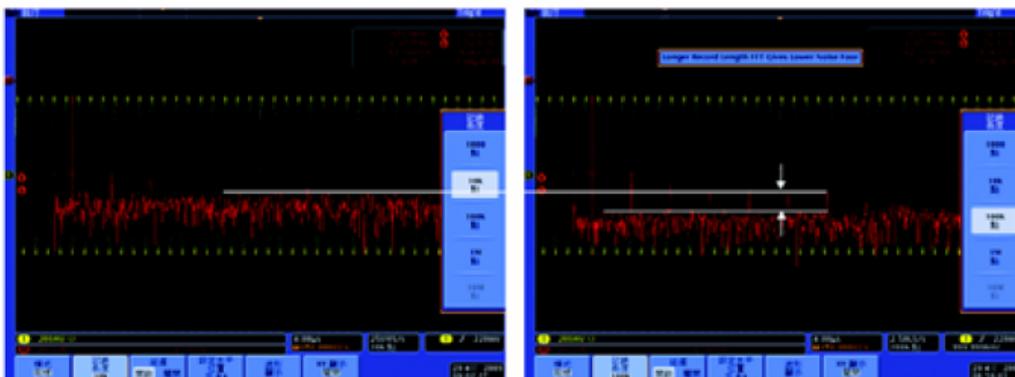
快速傅立葉轉換的應用

- *FFT* 的應用
 - 訊號的失真與諧波
 - 找出系統雜訊來源
 - 電源的諧波分析
- 記錄長度對快速傅立葉轉換的重要性 (需注意示波器記錄長度於 *FFT* 時的設定範圍)
 - 較長的記錄長度可降低基準雜訊 (*Noise Floor*)
 - 記錄長度可維持取樣率使頻率解析度提高
- 視窗的應用
 - *Rectangular*
 - *Hamming*
 - *Hanning*
 - *Blackman / Harris*
- 其他注意事項

41

Tektronix

較長的記錄長度可降低基準雜訊 (*Noise Floor*)



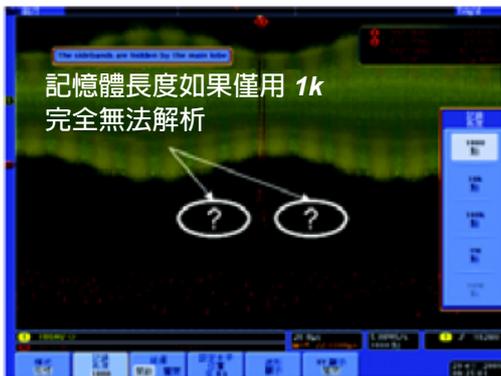
記憶體：10 k
時基：4 μ s/div
取樣率：250 MS/s

記憶體：100 k
時基：4 μ s/div
取樣率：2.5 GS/s

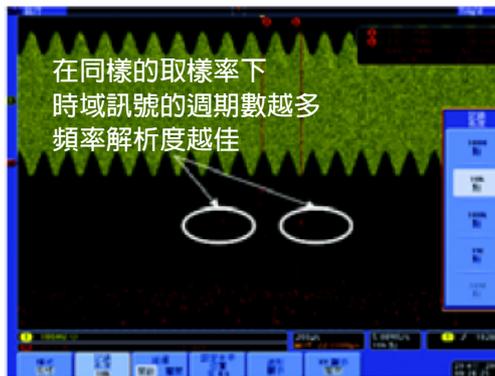
42

Tektronix

記憶體長度可維持取樣率使頻率解析度提高 (範例 1)



記憶體：1 k
 時基：20 $\mu\text{s}/\text{div}$
 取樣率：5 MS/s



記憶體：10 k
 時基：200 $\mu\text{s}/\text{div}$
 取樣率：5 MS/s

43

Tektronix

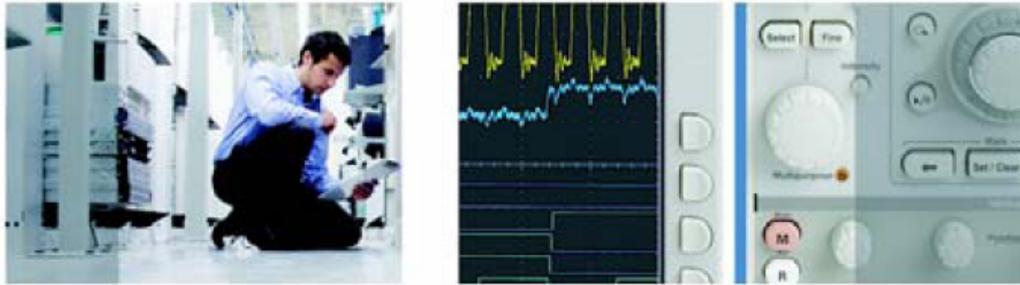
不同視窗的應用選擇

視窗種類	頻率解析度	振幅解析度	應用
RECTANGULAR	最佳 (1) 幾乎等於 無視窗	最差 (4)	事件前後訊號位準幾乎不變的瞬時或叢集 (<i>Burst</i>) 振幅相等、頻率接近的正弦波頻譜變化緩慢的寬頻隨機雜訊
HAMMING	次佳 (2)	次差 (3)	正弦、週期性及窄頻隨機雜訊事件前後訊號位準不同的瞬時或叢集 (<i>Burst</i>)
BLACKMAN/HARRIS	最差 (4)	最佳 (1)	檢查單頻訊號的高次諧波

44

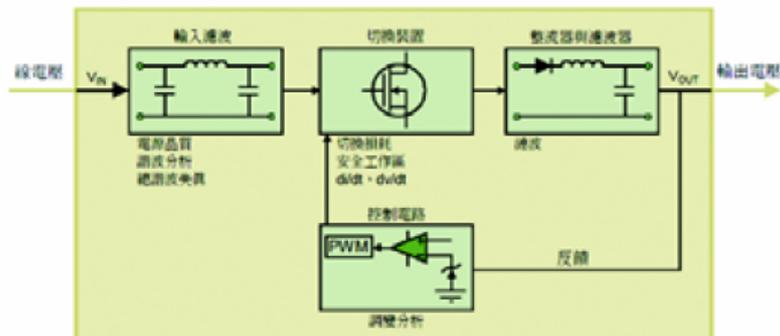
Tektronix

四大量測考量 — 分析



四大量測考量 — 分析：示波器的測試項目

- 輸入端：電源品質、諧波
 - 示波器？功率分析儀？
- 切換裝置：切換損耗、安全工作區 (SOA)、迴轉率
- 輸出端：漣波及雜訊
- 反饋電路：調變
- 磁性元件 (磁心損耗和 BH 曲線)
 - 頻譜分析和高功率搜尋引擎
- 各類瞬間時序：設定和保持時間



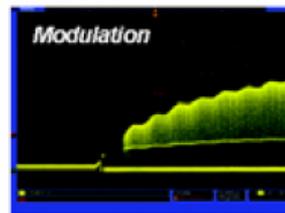
		TPS2000B 系列	TDS3000C 系列	DPO/MSO3000 系列	DPO/MSO4000 系列	DPO/MSO5000 系列
规格	带宽	100M-200MHz	100-500MHz	100-500MHz	350M-1GHz	350M-2GHz
	内存深度	2.5k	10k	5M	20M	12.5M/最高 250M
	最高取样率	1G/2GS/s	1.25G/5GS/s	2.5GS/s	2.5G/5GS/s	最高10GS/s
电能质量测量	V rms	■	■	■	■	■
	I rms	■	■	■	■	■
	有功功率(True Power)	■	■	■	■	■
	视在功率(Reactive Power)	■	■	■	■	■
	无功功率	■	■	■	■	■
	功率因素	■	■	■	■	■
	相位因素	■	■	■	■	■
	相位角	■	■	■	■	■
	谐波分析	■	■	■	■	■
认证测试	EN61000-3-2预认证测试	■	■	■	■	■
	符合MIL-STD-1399标准环境测试	■	■	■	■	■
有源器件测量	开关损耗测量	■	■	■	■	■
	安全工作区	■	■	■	■	■
	动态电阻(dv/dt, di/dt)	■	■	■	■	■
	调变分析	■	■	■	■	■
无源器件测量	电感	■	■	■	■	■
	磁珠					■
	磁通密度					■
	B-H磁滞曲线					■

47



DPO/MSO4000B 及 3000 系列电源分析方案

- 自动量测电源相关分析如下
 - 电源品质 (Power Quality)
 - 谐波 (Harmonics)
 - 切换损耗 (Switching Loss)
 - 安全工作区 (SOA)
 - 迴转率 (Slew Rate)
 - 漣波 (Ripple)
 - 调变 (Modulation)
- 快速执行探棒延迟时差校正



48



TPS2000B 系列可攜式電源除錯方案

- 隔離通道，可用一般被動式探棒安全量測浮動電壓
- 輕巧設計，兩顆電池的總操作時間可達八小時
- 電源量測功能包含
 - 顯示 W 、 VA 、 VAR
 - 諧波分析 (Harmonics)
 - 切換損耗分析 (Switching Loss)

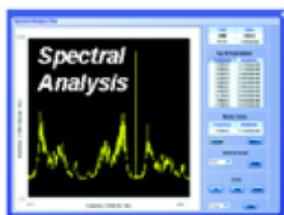


49

Tektronix

DPO5000 及 DPO7000 系列電源分析方案

- 自動量測電源相關分析如下
 - 電源品質 (Power Quality)，諧波 (Harmonics)
 - 切換損耗 (Switching Loss)，安全工作區 (SOA)
 - 迴轉率 (Slew Rate)
 - 漣波 (Ripple)
 - 調變 (Modulation)
 - 磁性元件 (磁心損耗和 BH 曲線)
 - 頻譜分析和高功率搜尋引擎
- 快速執行探棒延遲時差校正
- 客戶自訂報告



50

Tektronix

交換式電源供應器設計驗證及相關電氣量測應用

- 輸入參數
 - 諧波分析、湧浪電流、驟升驟降、電源品質、功率效率
- 功率量測
 - 切換損耗、磁性損耗
- 可靠性
 - 保護

51

Tektronix

IEC61000-3-2 設備分類

設備輸入電流 $\leq 16 A$ 每相

Class A :
馬達驅動設備，
三相平衡負載設備

Class C :
照明設備，
包括調光設備

Class B :
可攜式工具，
電弧焊接設備

Class D : ($P \leq 600 W$)
個人電腦，
電視接收器

52

Tektronix

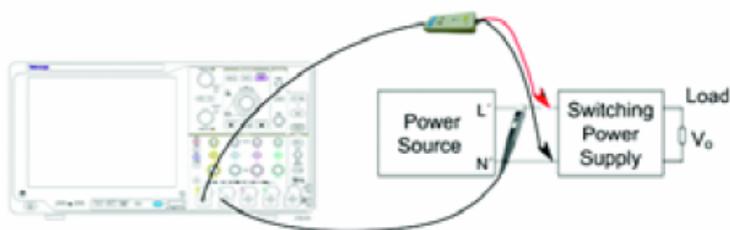
諧波標準：IEC61000-3-2

諧波次數 (n)	Class-A	Class-D	
	最大允許諧波電流 (A)	每瓦允許的最大諧波電流 (mA/W)	最大允許諧波電流 (A)
奇次諧波			
3	2.30	3.4	2.30
5	1.14	1.9	1.14
7	0.77	1.0	0.77
9	0.40	0.5	0.40
11	0.33	0.35	0.33
13	0.21	使用下列公式	
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$		
$13 \leq n \leq 39$ (Class D)		$3.85/n$	$2.25/n$
偶次諧波			
2	1.08	不適用	
4	0.43		
6	0.30		
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \times 8/n$		

53

Tektronix

量測輸入電流諧波

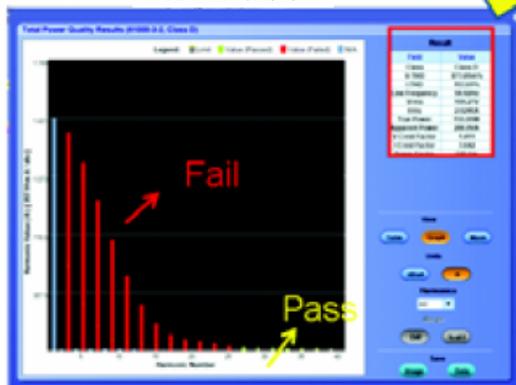


Field	Value
Class	Class D
V-THD	873.85m%
I-THD	153.61%
Line Frequency	59.92Hz
Vrms	109.27V
Irms	2.6246A
True Power	155.00W
Apparent Power	286.8VA
V Crest Factor	1.411
I Crest Factor	3.642
Power Factor	540.5m

諧波列表



諧波長條圖

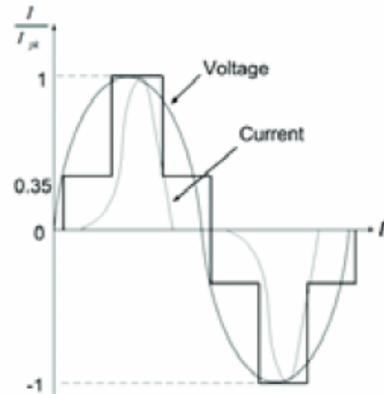
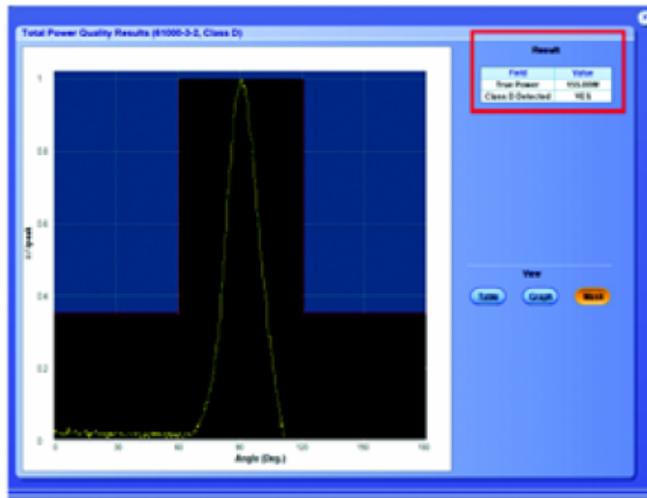


54

Tektronix

量測 Class-D 標準需求

Result	
Field	Value
True Power	155.00W
Class D Detected	YES



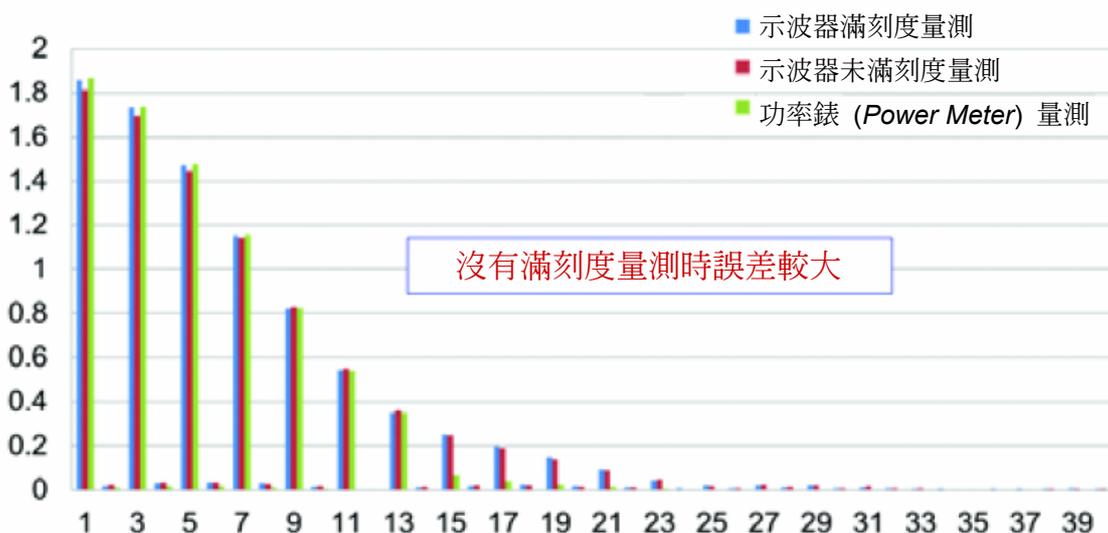
D類標準的需求

1. $P_{in} < 600 W$
2. 至少 95% 輸入電流波形在包絡以內



55

示波器和功率錶量測諧波結果比較



56

示波器和功率錶量測諧波結果比較

	示波器	功率錶	誤差 (%)
V_{RMS} (V)	109.26	110 V	0.67%
I_{RMS} (A)	2.62	2.64 A	0.75%
電源頻率 (Hz)	59.92 Hz	60 Hz	0.13%
有效功率	154.99	159.3	2.7%
視在功率 (VA)	286.78 VA	290.7 VA	1.34%
功率因數	0.54	0.547	1.28%
V 波峰因數 (%)	1.411%	1.42%	0.63%
I 波峰因數 (%)	3.642%	3.65%	0.71%

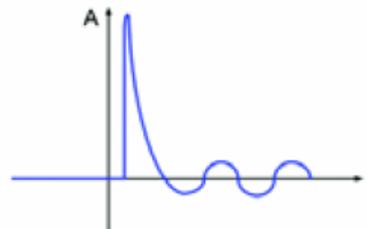
57

Tektronix

浪湧電流

➤ 什麼是浪湧電流？

浪湧電流指電氣設備開機時從濾波電容產生的最大瞬間輸入電流



➤ 浪湧電流影響

- 燒壞保險絲
- 斷路器跳閘
- 電路可能損壞

➤ 改進

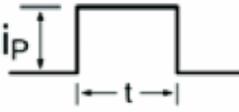
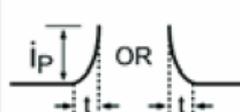
- 浪湧限制器
- 軟啓動裝置
- 負溫度係數熱敏電阻

58

Ref: <http://www.ametherm.com/inrush-current/inrush-current-faq.html>

Tektronix

保險絲選擇

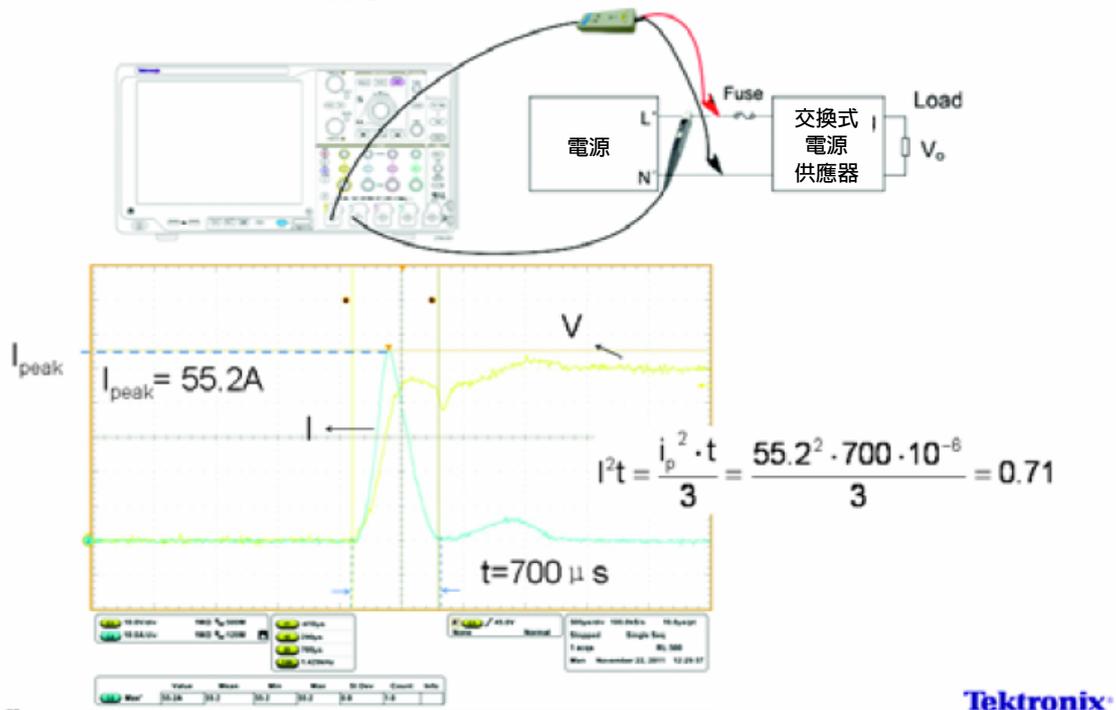
波形	公式	波形	公式
	$I^2 \cdot t = i_p^2 \cdot t$		$I^2 \cdot t = \frac{i_p^2 \cdot t}{3}$
	$I^2 \cdot t = \frac{(i_p^2 + i_p \cdot i_b + i_b^2) \cdot t}{3}$		$I^2 \cdot t = \frac{i_p^2 \cdot t}{5}$
	$I^2 \cdot t = \frac{1}{2} \cdot i_p^2 \cdot t$		$i = i_p \cdot e^{-kt}$ $I^2 \cdot t \approx \frac{i_p^2 t}{2}$

Ref: http://www.littelfuse.com/data/en/Short_Form_Product_Catalogs/LF_elec_prod_guide.pdf

59



浪湧電流：預觸發



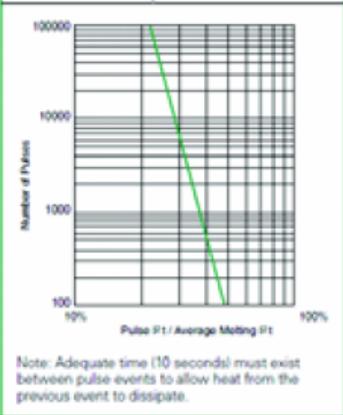
60



保險絲選擇

Chart 3

100,000 Pulses	Pulse I ² t = 22% of Nominal Melting I ² t
10,000 Pulses	Pulse I ² t = 29% of Nominal Melting I ² t
1,000 Pulses	Pulse I ² t = 38% of Nominal Melting I ² t
100 Pulses	Pulse I ² t = 48% of Nominal Melting I ² t



$$I^2t = \frac{i_p^2 \cdot t}{3} = \frac{55.2^2 \cdot 700 \cdot 10^{-6}}{3} = 0.71$$

$$0.71 \div 22\% = 3.227$$

$$I^2t > 3.227 \text{ A}^2\text{S}$$

ORDERING INFORMATION:

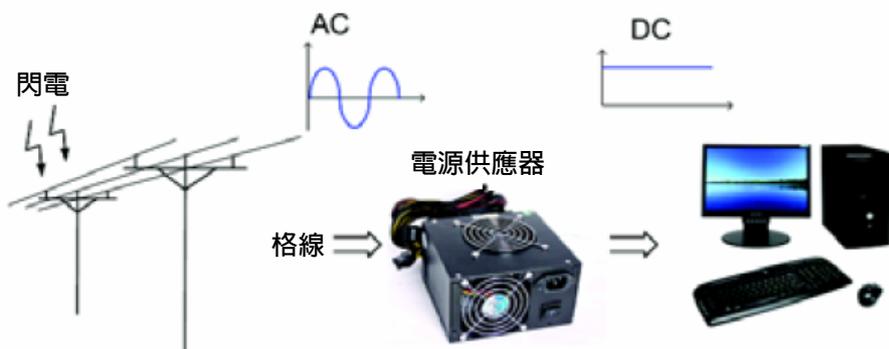
Std. Type Catalog Number	Mil. Type Catalog Number	Ampere Rating	Voltage Rating	Nominal Resistance Cold Ohms	Nominal Melting I ² t A ² Sec.
0251 062	0253 062	1/16	125	7.0	0.000113
0251 125	0253 125	1/8	125	1.70	0.00174
0251 250	0253 250	1/4	125	0.665	0.0116
0251 375	0253 375	3/8	125	0.395	0.0296
0251 500	0253 500	1/2	125	0.280	0.0598
0251 750	0253 750	3/4	125	0.175	0.153
0251 001	0253 001	1	125	0.128	0.256
0251 1.25		1 1/4	125	0.100	0.390
0251 01.5	0253 01.5	1 1/2	125	0.0823	0.587
0251 002	0253 002	2	125	0.0473	0.405
0251 02.5		2 1/2	125	0.0360	0.721
0251 003	0253 003	3	125	0.0290	1.19
0251 03.5		3 1/2	125	0.0240	1.58
0251 004	0253 004	4	125	0.0204	2.45
0251 005	0253 005	5	125	0.0155	4.44
0251 007	0253 007	7	125	0.0105	10.4
0251 010	0253 010	10	125	0.00705	25.5
0251 012		12	32	0.0055	45.2
0251 015	0253 015	15	32	0.00448	68.8

Note: Higher Ampere Ratings Available. Contact Technical Assistance for Details

61 Ref: <http://datasheet.octopart.com/251001-Littelfuse-datasheet-1594.pdf>



電源品質



• 電源品質

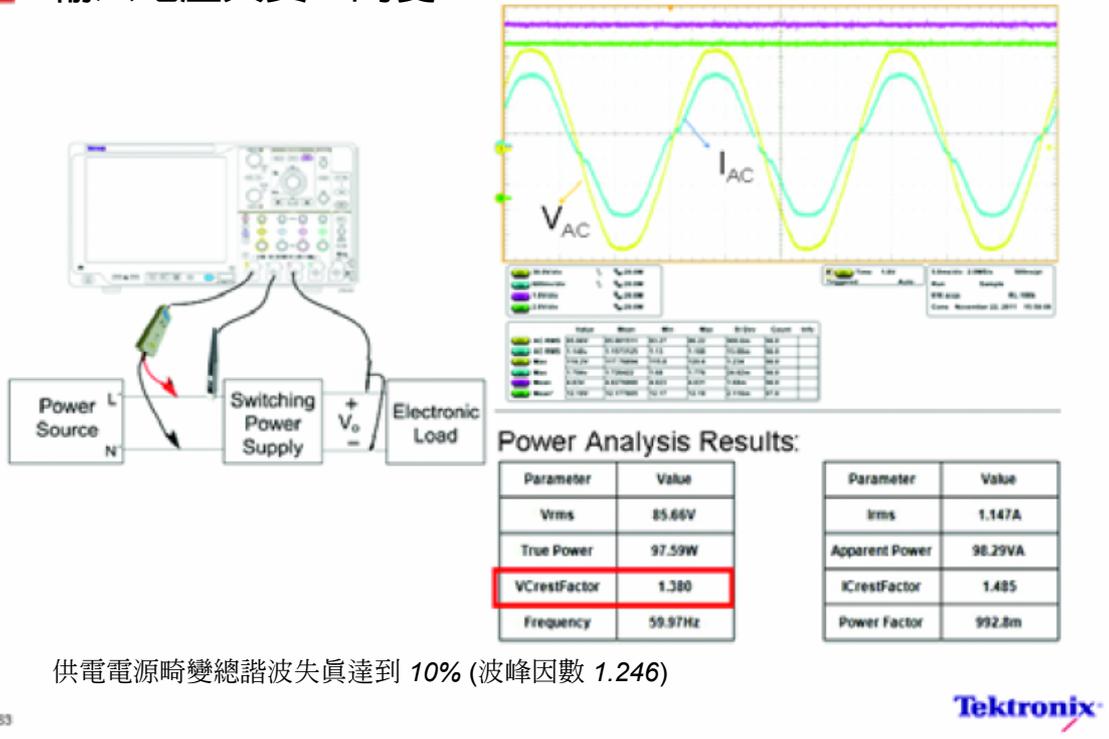
- 電力擾動 *Disturbance*
- 干擾 *Perturbation*
- 電力系統異常 *Irregularities*
- 驟升與驟降 *Surges and Sags*

- 電壓諧波失真 *Distortion*
- 欠電壓 *Brownout*
- 故障 *Fault*

62

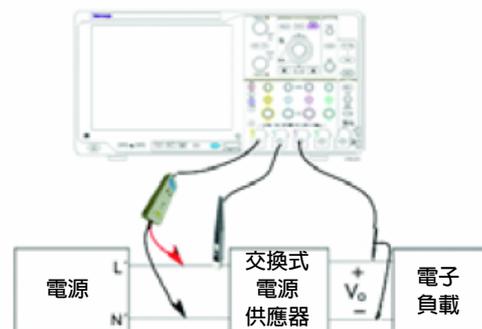


輸入電壓失真、畸變

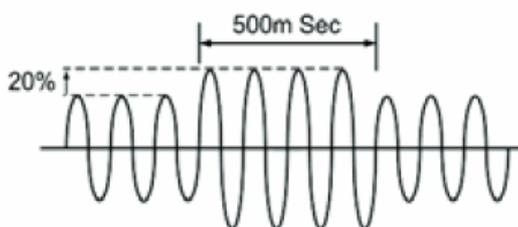


輸入電壓驟升驟降

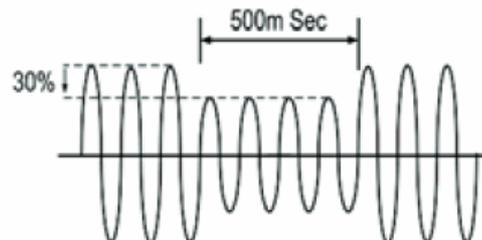
- 驟升：500 毫秒為 264 V_{ac} 至 293 V_{ac}，然後回到 264 V_{ac}
- 驟降：500 毫秒為 100 V_{ac} 至 70 V_{ac}，然後回到 100 V_{ac}



電壓驟升



電壓驟降

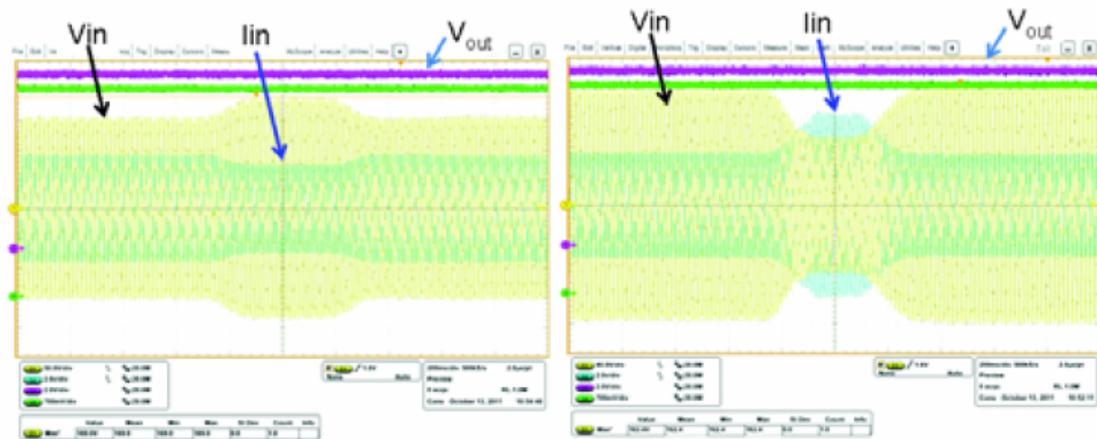


64

Tektronix

輸入電壓驟升驟降

1. 選擇 *Tring*
2. 選擇 *Runt*



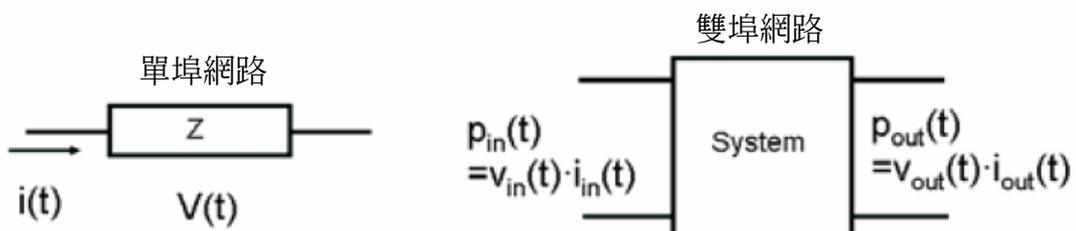
65

Tektronix

功耗計算基本原理

瞬間功率：
$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

平均功率：
$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt$$



- 一切回到基本原理

66

Tektronix

電源系統效率



$$p_{in}(t) = v_{in}(t) \cdot i_{in}(t)$$

$$p_{out}(t) = v_{out}(t) \cdot i_{out}(t)$$

$$P_{in,avg} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_{in}(t) \cdot i_{in}(t) dt$$

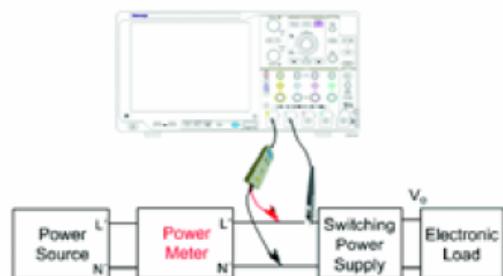
$$P_{out,avg} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_{out}(t) \cdot i_{out}(t) dt$$

$$\text{效應} = \frac{P_{out,avg}}{P_{in,avg}}$$

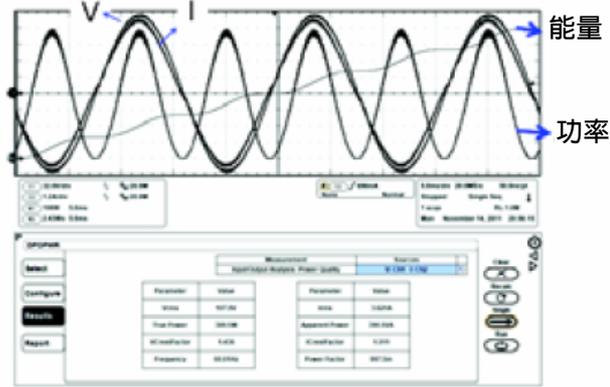
67

Tektronix

功率分析



Power Quality (@Load=300W)			
V _{rms}	107.9V	I _{rms}	3.621A
True Power	389.5W	Apparent Power	390.5VA
V-CF	1.436	I-CF	1.511
f	60.01	PF	0.9975

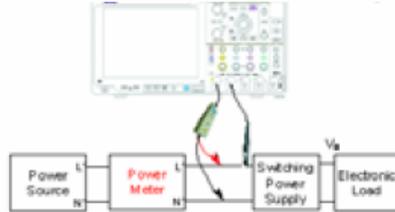


$$\begin{aligned} \text{Efficiency} &= \frac{P_{out,avg}}{P_{in,avg}} \\ &= \frac{300W}{389.5W} \\ &= 77\% \end{aligned}$$

68

Tektronix

示波器和功率錶量測結果比較



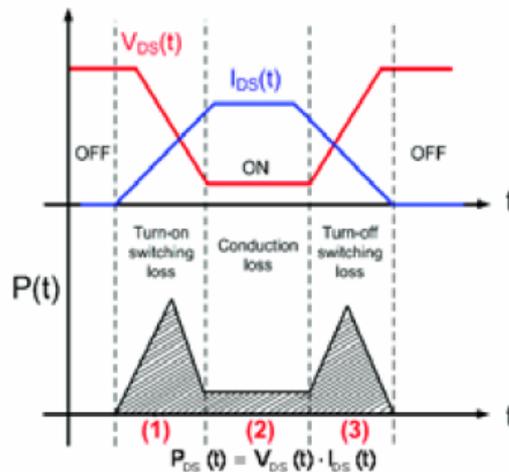
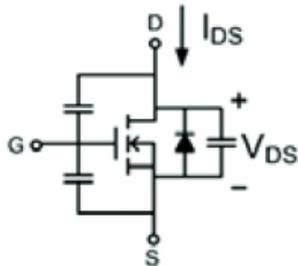
	示波器	功率錶	Error(%)
V_{rms} (V)	107.9V	108.27V	0.3%
I_{rms} (A)	3.621A	3.634A	0.35%
Line Frequency (Hz)	60.01Hz	60Hz	0.01%
True Power	389.5W	392.3W	0.71%
Apparent Power (VA)	390.5VA	393.4VA	0.73%
Power Factor	0.9975	0.9974	0.1%
V Crest Factor (%)	1.436	1.417	1.3%
I Crest Factor (%)	1.511	1.483	1.8%

Tektronix

切換損耗分析

➤ MOSFET

- 開啓損耗
- 傳導損耗
- 關斷損耗



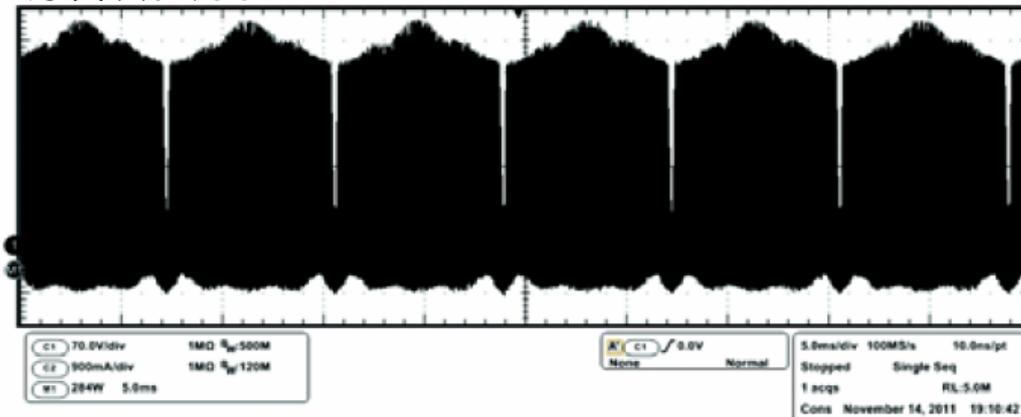
$$\begin{aligned} \text{切換功率損耗} &= \text{開機切換損耗 (1)} \\ &+ \text{傳導損耗 (2)} \\ &+ \text{關機切換損耗 (3)} \end{aligned}$$

切換頻率 \uparrow \rightarrow

開機和關機切換損耗 \uparrow

Tektronix

切換損耗分析



Type	Power Loss			Energy		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average
t_{on}	269mW	5.10W	3.38W	4.52uJ	85.6uJ	56.7uJ
t_{off}	0.0W	787mW	451mW	0.0J	13.2uJ	7.56uJ
Total Avg	Avg Loss : -11.1W			Avg Energy : -187uJ		

71



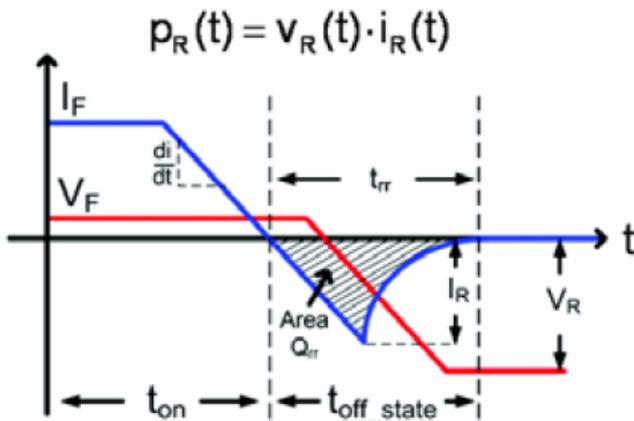
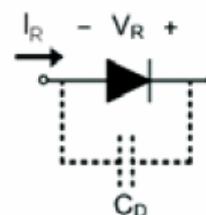
二極體的損耗計算

➤ 二極體

最大瞬間正向電壓： V_F

最大瞬間反向電流： I_R

最大響應時間： t_{rr}



$$P_{cond} = \frac{1}{t_{on}} \int V_F(t) \cdot I_F(t) \cdot dt$$

$$P_{off_state} = \frac{1}{t_{off_state}} \int V_R(t) \cdot I_R(t) \cdot dt$$

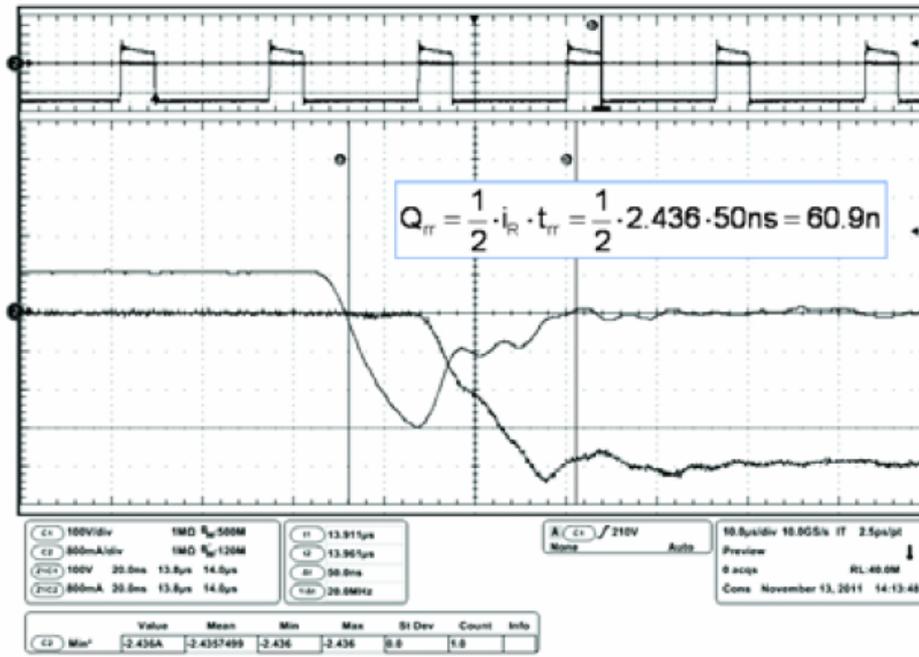
$$Q_{rr} = \frac{1}{2} \cdot I_R \cdot t_{rr}$$

72

Ref: <http://ecee.colorado.edu/~rwe/papers/APEC00.pdf>



二極體損耗計算

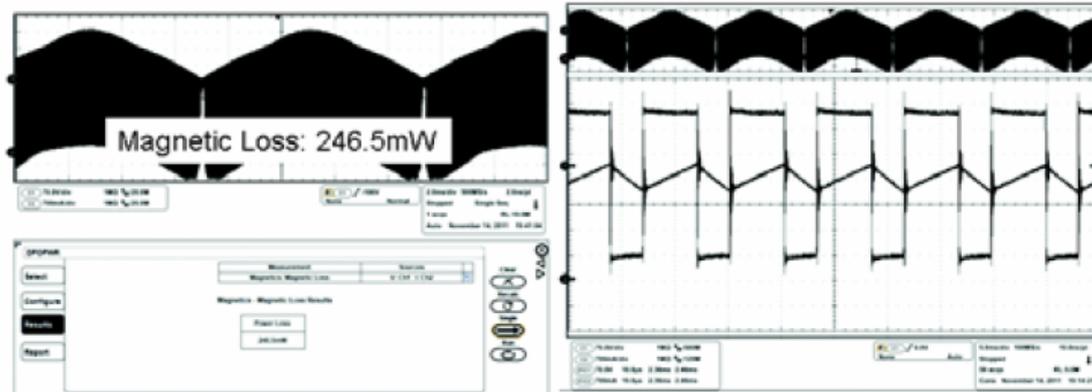
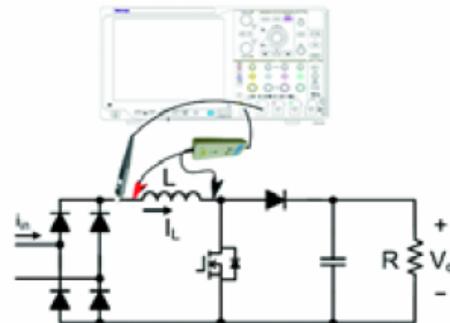


73

Tektronix

磁性裝置損耗

1. 選取 **Analyze > Power Analysis**
2. 選取 **Select**
3. 選取 **Magnetics > Magnetic Loss**



74

Tektronix

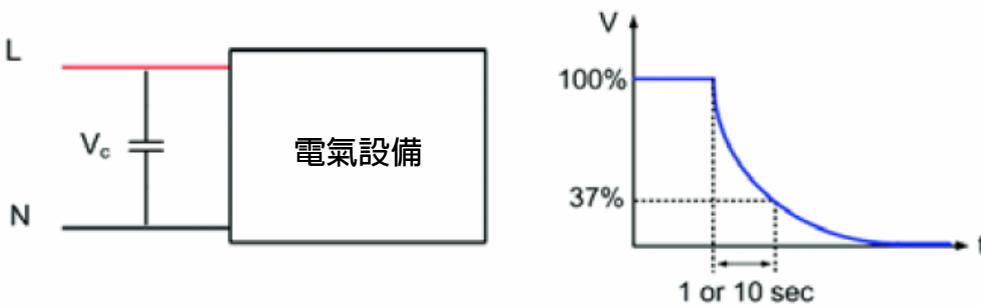
保護

- 安全法規 *Safety Regulatory*
- 電磁干擾 *Electromagnetic Interference (EMI)*
- 靜電放電 *Electrostatic Discharge (ESD)*
- 短路 *Short Circuit*
- 過電流 *Overcurrent*
- 過電壓 *Overvoltage*

75

Tektronix

電容放電電壓



標準放電時間 (IEC60950, UL60950)

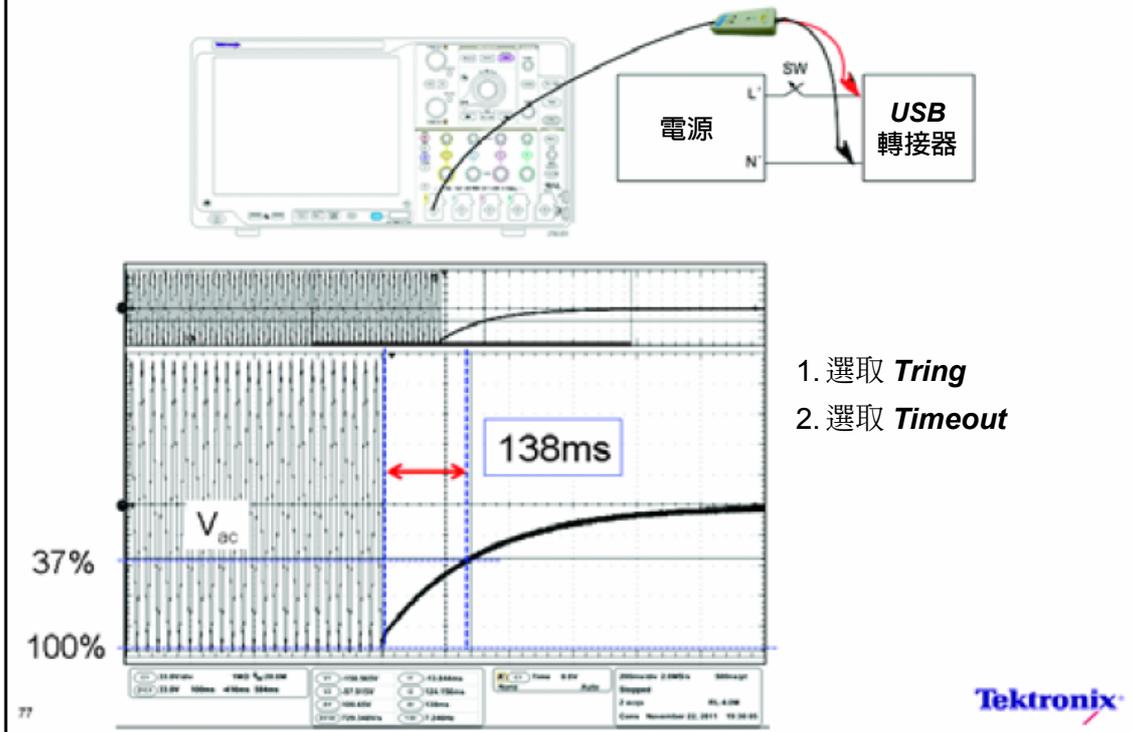
1 秒	可插式設備
10 秒	永久連接設備

76

IEC60950 2.1.1.7 主電路電容放電國際標準

Tektronix

量測輸入電容的放電時間



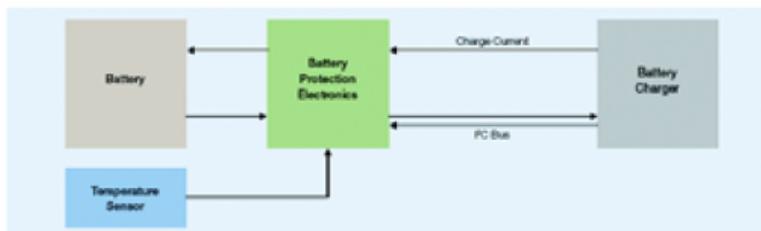
挑戰電源設計中的 *Pmbus* 和 *Smbus*

- *I²C*：1980 年代由飛利浦公司創立
- *Smbus*：由 *I²C* 演變而來，增加了 *SMBALERT* 中斷訊號線
- *SBS*：Smart Battery System，以 *Smbus* 為基礎。1996 年由 *Intel* 和 *Duracell* 創立
 - 負責智慧型充電器、智慧型電池和智慧型選擇器之間的通訊
 - 監控電池的容量和條件屬性
 - 設定充電器的輸出電壓和電流
- *Pmbus*：Power Management bus 在 2004 年創立
 - 也是以 *Smbus* 匯流排為基礎
 - 包含可選的控制線和寫入保護訊號線 (*write-protect*)
 - 允許管理和控制電源子系統

嵌入式系統實例：串列匯流排控制鋰電池充電器

■ 概述

- 鋰電池充電非常關鍵
- 電池溫度應控制充電速度



■ 目標

- 量測充電器對溫度變化的響應
- 確認電流變化期間的控制穩定性

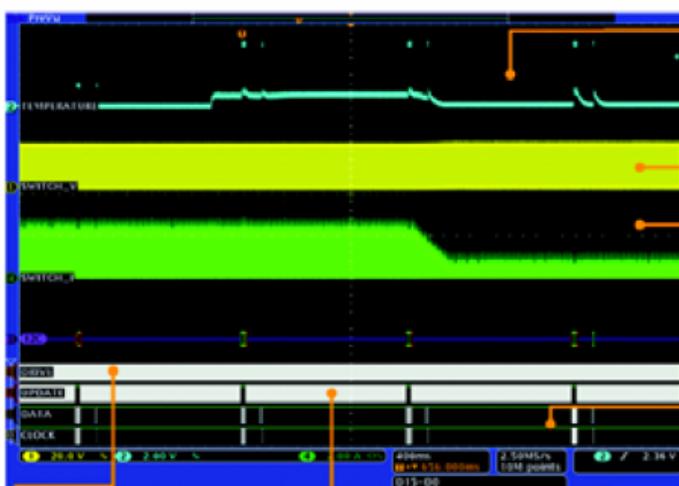
■ 挑戰

- 解碼 I²C 消息，確認讀數正確
- 擷取整個電流校正週期中的資料

79

Tektronix

充電操作概述



■ 溫度

- 電池上取樣的類比讀數

■ 電壓和電流

- 電晶體的電壓
- 電晶體的電流
- 對充電電流進行脈寬調變控制

■ 解碼的 I²C 匯流排

- 透過標為「DATA」和「CLOCK」的兩條數位線路監控
- 解碼的資料顯示在電流軌跡下面，以簡化流量的除錯作業

■ 數位訊號

- 驅動電晶體的閘極

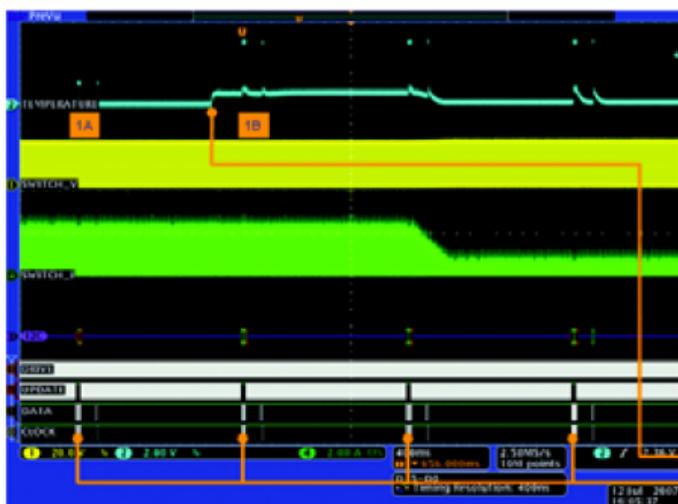
■ 暫時標記

- 在微型控制器軟體中插入
- 在充電器進行電流控制校正時，可以量測系統響應

80

Tektronix

在溫度變化導致的電流變化期間充電器的運行情況

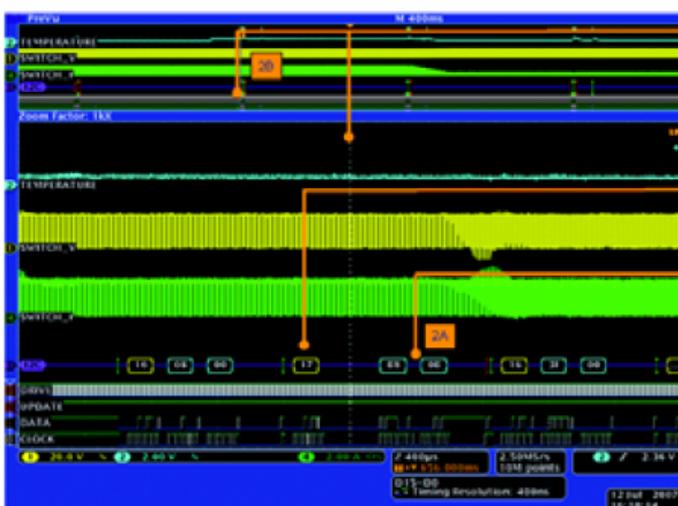


- 週期
 - 螢幕顯示充電器 4 秒中的運行情況，顯示對溫度變化作出響應
- 完整的視圖
 - 激勵 (溫度)
 - 通訊 (I^2C)
 - 對充電器交換式電源供應器的影響 (電壓和電流)
 - 監測控制迴路中的線路 (更新)
- 對變化的響應
 - 溫度變化
 - 由充電器讀取

81

Tektronix

從初始讀數中解碼 I^2C 資料

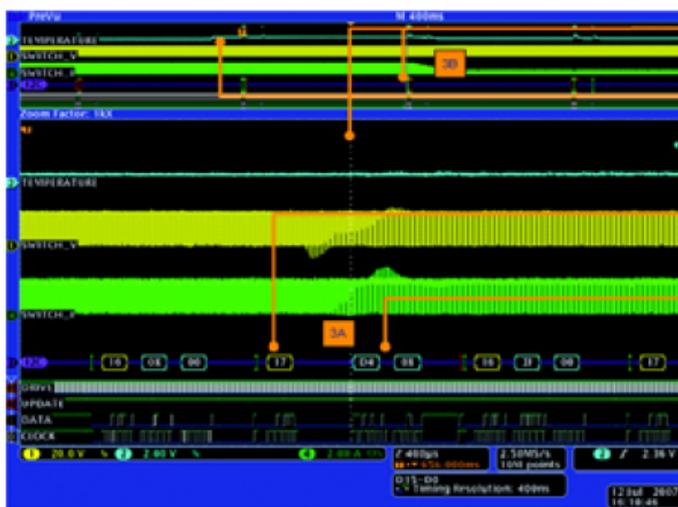


- 放大的匯流排解碼位置
 - 一直持續查看總軌跡時間
- 讀命令 (0x17)
- 原來的溫度值 (0x0BB8)
 - 先從低位元開始
- 還沒有變化
 - 此 I^2C 讀數為電池保護電子裝置在量測新溫度之前所獲得
 - 因此，資料還沒有變化 (0x0BB8)

82

Tektronix

在讀取溫度後解碼 I²C 資料

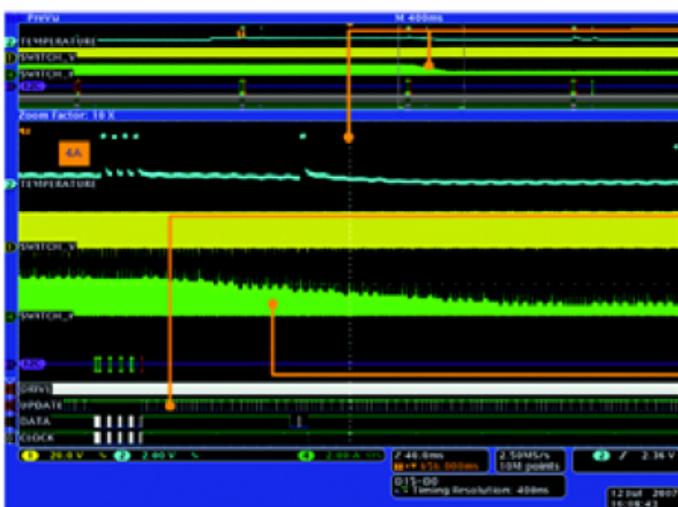


- 下一個取樣放大的位置
- 發生在電池保護電子裝置量測溫度變化之後
- 讀命令 (0x17)
- 更新的溫度值 (0x08D4)

83

Tektronix

電流逐漸下降

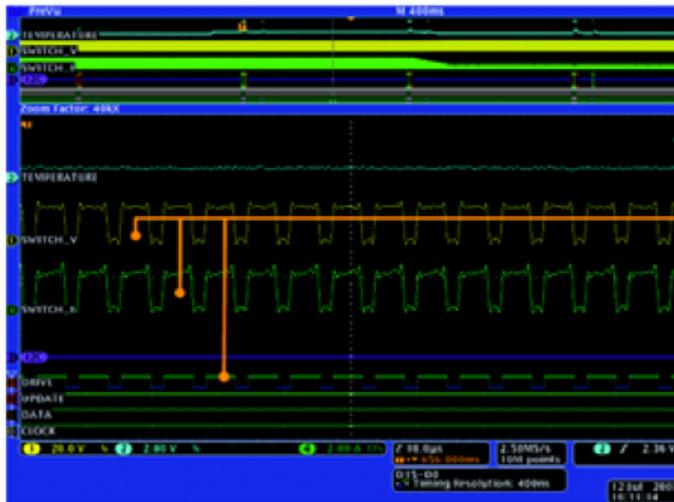


- 放大的視圖
- 獲得 I²C 讀數之後，週期中顯示逐漸調整的電流
- 電流更新
- 每個「Update」脈衝會遞增校正電流，直到電流達到較低溫度要求的新的較低值
- 從高到低平穩調整電流位準
- ~ 10 ms 間隔
- ~ 200 ms 跳變
- 從 ~ 2 A 變成 ~ 0.25 A

84

Tektronix

交換式電源供應器電流和電壓波形



- 深度記憶體的優點
 - 放大同一擷取資料，顯示詳細的電流波形和電壓波形
- 完整的視圖
 - 與類比訊號同時顯示數位驅動訊號，因此可以量測驅動延遲和切換時間
 - 電流漣波量測結果顯示，在電流由高位準跳變到低位準期間可以很好地控制電源電感器漣波

85

Tektronix

鋰電池充電器應用總結

- 達成的目標
 - 量測充電器對溫度變化的響應
 - 在溫度變化大約 200 毫秒後電流變化
 - 解碼的 I^2C 資料正確顯示了溫度
 - 確認電流變化期間的控制穩定性
 - 電流從 2 安培平穩變成 0.25 安培
- 我們瞭解了哪些內容
 - 示波器 I^2C 解碼功能對觀察採用該通訊系統的系統具有重要意義
 - 單一擷取顯示整個變化週期，同時也顯示交換式電源供應器的詳細運行情況

86

Tektronix

經銷產品簡介

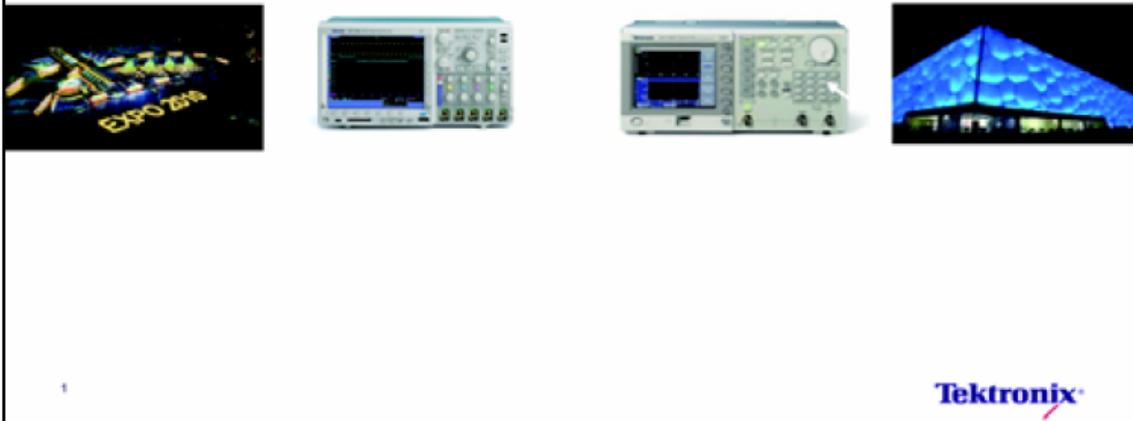
	4000B系列 DPOMSO	3000系列 DPOMSO	2000系列 DPOMSO	TDS3000C系 列	TPS2000B系 列	TDS2000C系 列	TDS1000B系 列
模拟通道	2,4(DPO)	2,4(DPO)	2,4(DPO)	2,4	2,4 isolated	2,4	2
数字信道	16(MSO)	16(MSO)	16(MSO)	-	-	-	-
带宽	350MHz至 1GHz	100MHz至 500MHz	100MHz至 200MHz	100MHz至 500MHz	100MHz至 200MHz	60MHz至 200MHz	40MHz至 100MHz
上升时间	1.0 ns至350 ps	3.5 ns至700 ps	3.5 ns至2.1 ns	3.5 ns至700 ps	3.5 ns至2.1 ns	5.8 ns至2.1 ns	8.4 ns至3.5 ns
垂直准确度	±1.5%	±1.5%	±3%	±2%		±3%	
水平准确度	±5ppm	±10ppm	±25ppm	±20ppm		50ppm	
实时采样率	2.5或5GS/s	2.5GS/s	1GS/s	1.25至5GS/s	1或2GS/s	1或2GS/s	500M或 1GS/s
时序逻辑分析	16.5GS/s MagniVu On	8.25GS/s MagniVu On	1GS/s	N/A	N/A	N/A	N/A
独立内存	20M	5M	1M	10k	2.5k	2.5k	2.5k
波形导航功能	标准配备			N/A			
系列特色	Flexray解码	内置75Ω阻 抗	FilterVu	Wave Alert, 交替触发	智能型自动设定(Smart Autoset), Auto Ranging, 探棒检查精灵, 终生保固		
标准触发	边缘, 串行逻辑, 脉冲宽度, 滤波, 多通道设定和保 持, 上升/下降时间, 视频, 并行总线(MSO)			边缘, 脉冲, 逻辑, 视频	边缘, 脉冲, 视频		
选购触发解码	I2C, SPI, UART, RS232/422/485, CAN/LIN			N/A	N/A	N/A	N/A
选购触发解码	I2S, 高级视频		N/A	高级视频	N/A	N/A	N/A
功率量测	DPO4PWR	DPO3PWR	N/A	N/A	TPS2PWR	N/A	N/A

87

Tektronix

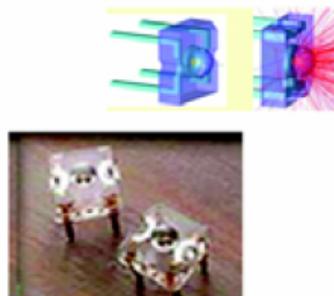
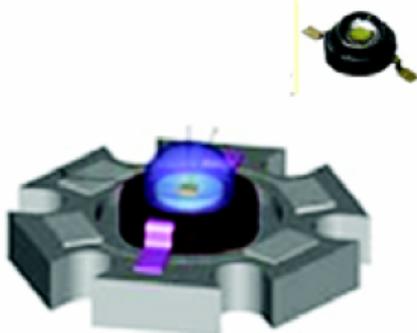
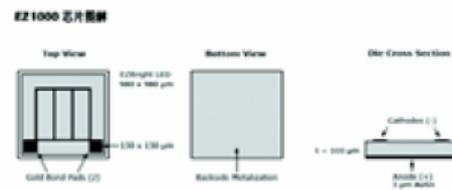
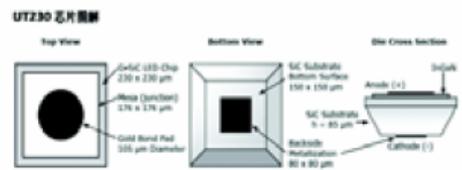
LED 照明驅動量測技術

太克科技股份有限公司



發光二極體 (LED)

半導體照明 (發光二極體，*light-emitting diode* 英文簡稱 *LED*) 是一種新型的固態光源，已經在特殊照明領域顯現出節能效果



LED 的特性

- 節能
 - 「綠色照明」，其發光效率達到 40%
- 光照效率高
 - 光的方向性強，光的利用率高，光學部分做好了，光效可達 95%以上
- 使用壽命長
 - LED 的壽命理論上可達 10 萬個小時
- 環保
 - LED 光的方向性強，利用率高，減少了光的漫射，也就減少了光的污染
 - LED 光源為半導體材料，不含任何有害物質
- 色彩豐富
 - LED 光源的顏色幾乎可以覆蓋整個光譜
- 可控性
 - 可以利用控制系統進行各種控制
- 反應速度快

Tektronix

LED 的應用

LED 顯示螢幕



LED 汽車
照明和車燈



LED 照明
商業、通用、
路燈等



LED 指示
儀器、設備、
道路交通等



LED 背光源



Tektronix

幾種照明方式效能比較

品名	壽命 (小時)	光效 (lm/w)	起動特性	頻閃	電磁干擾	環保	抗震性	易損性
白熾燈	1000	15	快	嚴重	無	—	差	玻璃材質易損壞
螢光燈 (T8)	5000	50	慢	重	大	汞污染	差	玻璃材質易損壞
節能燈 (輕巧型)	6000	80	慢	輕	大	汞污染	差	玻璃材質易損壞
LED	10000	150	極快	無	小	綠色	好	金屬體不易損壞

LED 照明成本分析

LED	2002	2007	2012	2020	白熾燈	螢光燈
投資成本 (\$/Mlm-h)	12	1.25	0.30	0.13	1.25	0.18
運行成本 (\$/Mlm-h)	3.50	0.93	0.47	0.35	4.38	0.82
擁有成本 (\$/Mlm-h)	15.50	2.18	0.77	0.48	5.63	1.00

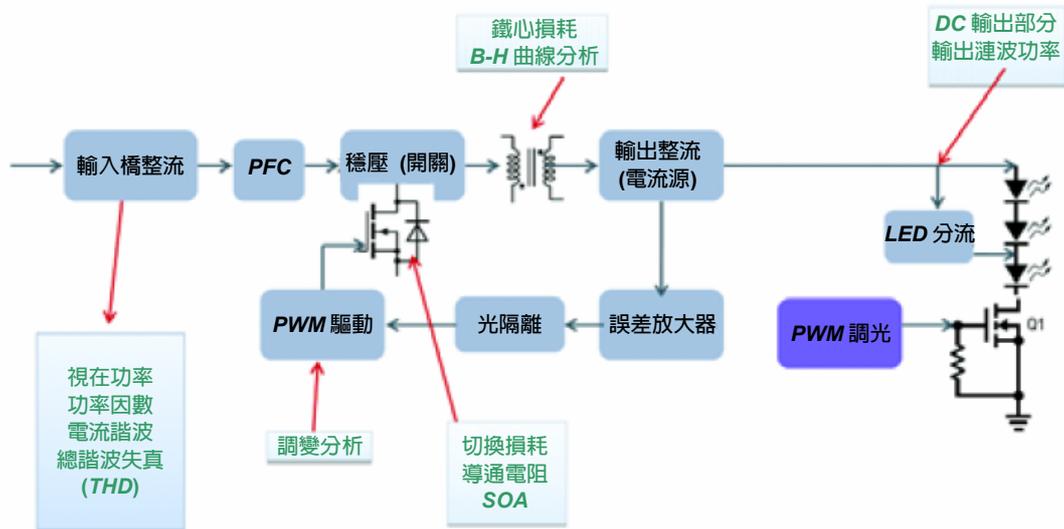
Tektronix

LED 照明對驅動電源的要求

- 高可靠性
- 高效率
- 高功率因數
- 驅動方式
 - 恆電壓供電
 - 恆電流供電
- 浪湧保護
- 保護功能
- 防護方面
- 使用壽命長
- 要符合安規和電磁相容的要求

Tektronix

LED 照明驅動電源測試技術



7

Tektronix

電源品質的測試

- 量測項目
 - RMS 值
 - 波峰因數
 - 有效功率
 - 無效功率
 - 視在功率
 - 功率因數
 - 電壓和電流相角量測
- 儀器配置
 - 儀器：DPO4000B/DPO3000
 - 配件：5200A+TCP0030/TCP202
 - PWR 電源模組

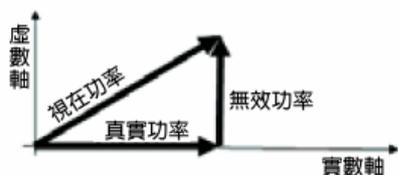


8

Tektronix

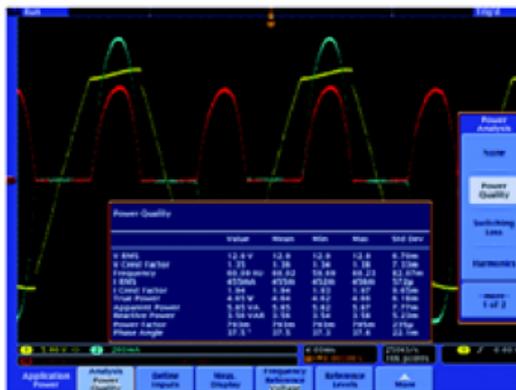
電源品質量測

■ 視在功率 = $I_{rms} * V_{rms}$



■ 功率因數 = $\frac{\text{真實功率}}{\text{視在功率}}$

■ 波峰因數 = $\frac{V_{peak}}{V_{rms}}$

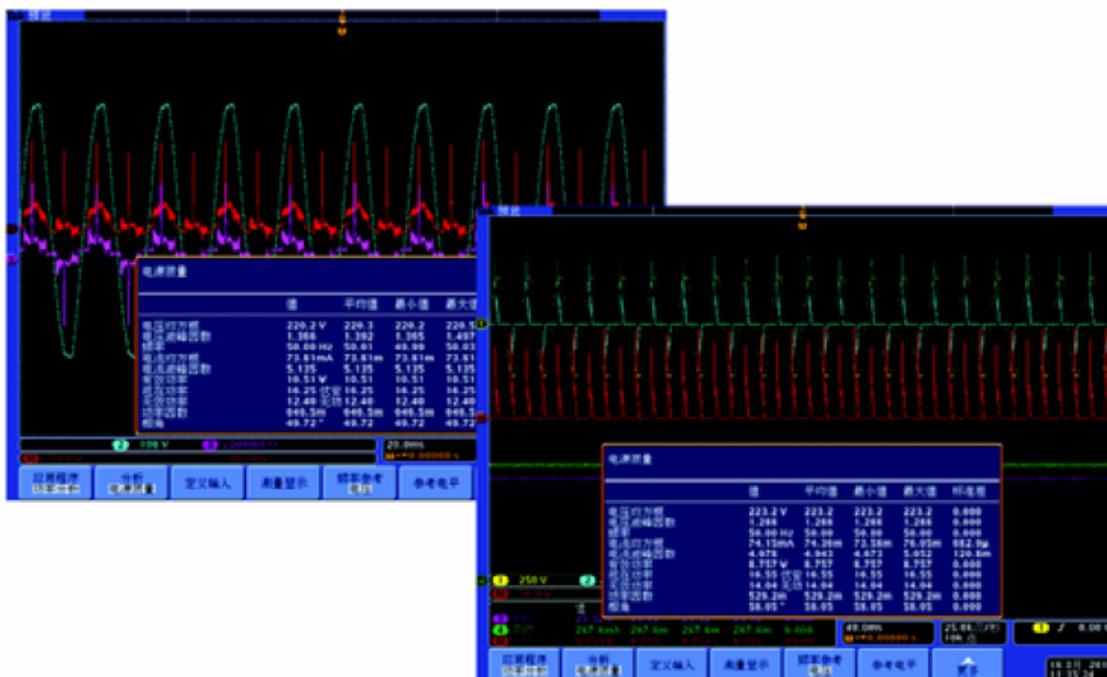


具DPO4PWR的Tektronix MSO/DPO4000示波器

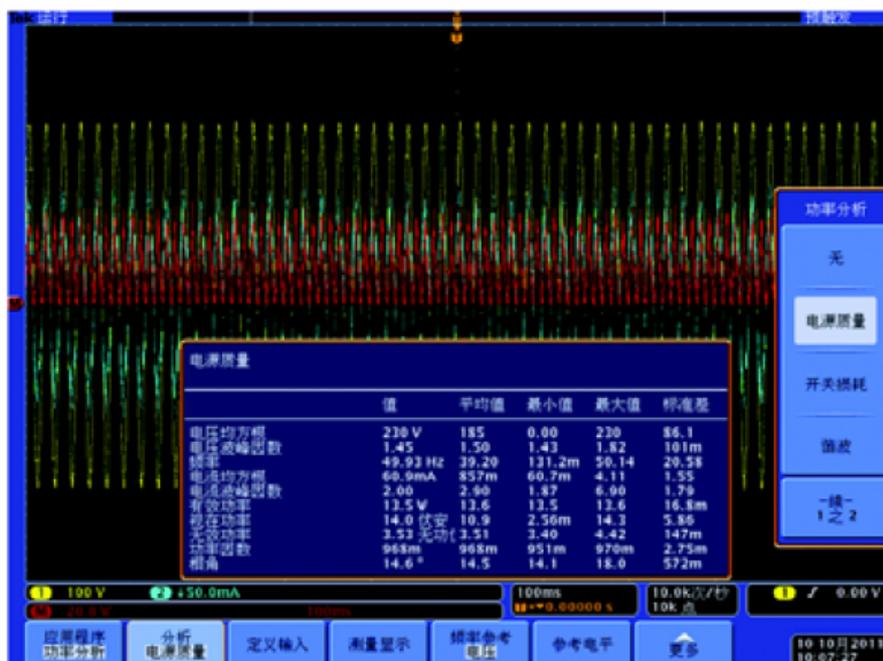


電源品質量測

AC 輸入電壓和電流



電源品質量測

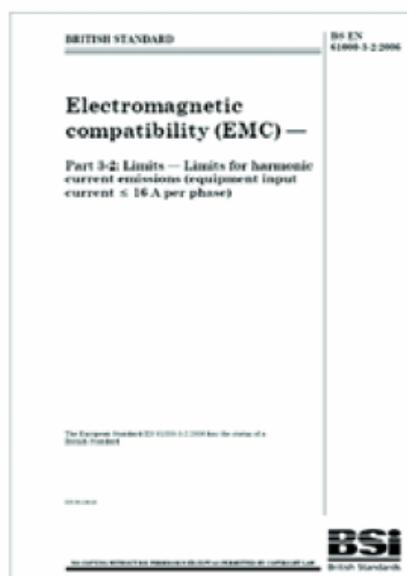


11

Tektronix

諧波量測

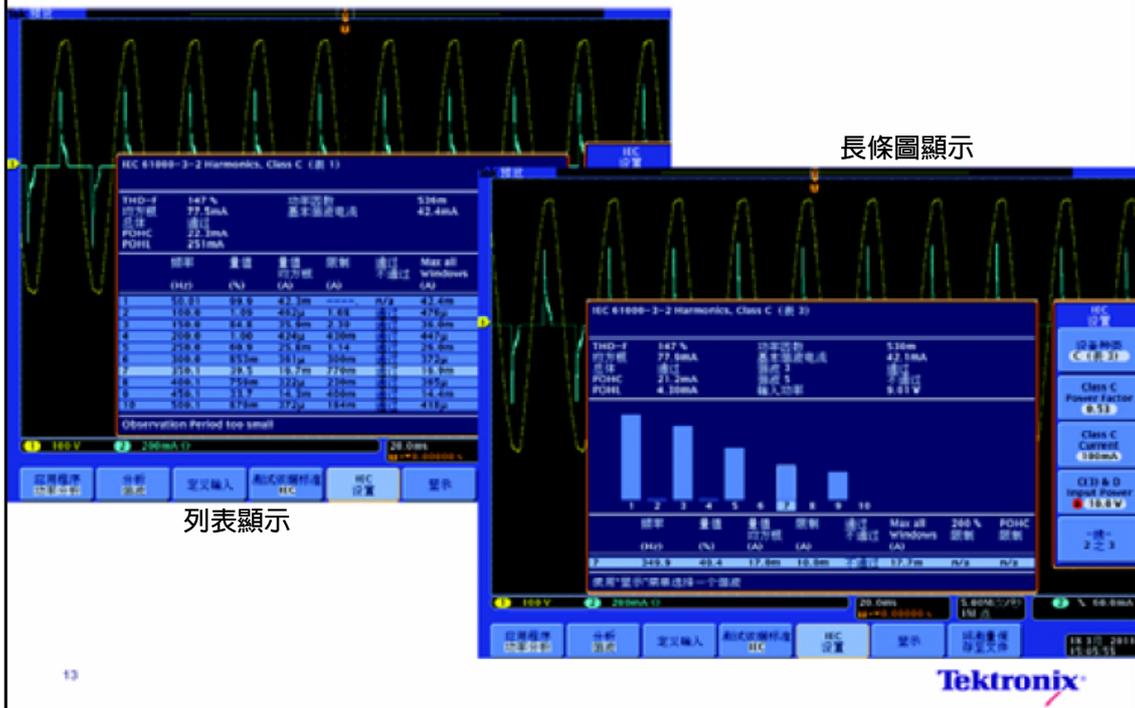
- 量測項目
 - THD-F、THD-R
 - RMS 量測及每個諧波的振幅和相位
 - IEC 61000-3-2 標準進行測試
- 儀器配置
 - 儀器：DPO4000B/DPO3000
 - 配件：P5200A+TCP0030/TCP202
 - PWR 電源模組



12

Tektronix

諧波量測表 EN61000-3-2



諧波量測表 EN61000-3-2

諧波文件儲存

Tektronix DPO9014, version v2.23, serial number C012698

Class C (Table 3)

Item	Value	Limit	Pass/Fail	Max all windows	POHC Limit
THD-F	158.17%				
RMS	0.056958 A				
POHC	0.014059 A				
POHL	0.002846 A				
Frequency (measured)	49.983217 Hz				
Frequency (rated)	50 Hz				
Observation Period	10.000000 s				
1.5s Filter	ON				
Harmonic Grouping	ON				
Power Factor (measured)	0.504675				
Power Factor (rated)	0.6				
Power Factor method	MEASURED				
Fundamental Current (measured)	0.030037 A				
Fundamental Current (rated)	1.000000 A				
Fundamental Current method	MEASURED				
Harmonic 3	Fail				
Harmonic 5	Fail				

Freq Hz	Mag %	MagRMS A	Limit A	Pass/Fail	Max all windows A	POHC Limit
1	49.983217	99.92449	0.030037	nan	n/a	0.030037 n/a
2	99.966434	2.552578	0.000767	nan	n/a	0.000904 n/a
3	149.949651	90.591637	0.027211	0.022497	Fail	0.027236 n/a
4	199.932868	2.407126	0.000723	nan	n/a	0.000882 n/a
5	249.916086	79.825092	0.022174	0.012572	Fail	0.0222 n/a
6	299.899303	2.201421	0.000661	nan	n/a	0.000831 n/a
7	349.88252	54.351405	0.016325	0.006617	Fail	0.016353 n/a
8	399.865737	2.059303	0.000619	nan	n/a	0.000771 n/a
9	449.848954	38.519434	0.01151	0.003308	Fail	0.011583 n/a
10	499.832171	2.02915	0.000609	nan	n/a	0.000708 n/a
11	549.815388	31.597834	0.009491	0.002316	Fail	0.009565 n/a
12	599.798605	2.000591	0.000601	nan	n/a	0.000681 n/a
13	649.781822	32.20678	0.009674	0.001596	Fail	0.009762 n/a
14	699.765039	2.010419	0.000604	nan	n/a	0.000686 n/a
15	749.748257	32.789844	0.009649	0.001690	Fail	0.009948 n/a
16	799.731474	1.903077	0.000672	nan	n/a	0.000652 n/a
17	849.714691	30.179196	0.009065	0.001499	Fail	0.009112 n/a
18	899.697908	1.751795	0.000526	nan	n/a	0.000617 n/a
19	949.681125	25.573912	0.007582	0.001341	Fail	0.007729 n/a
20	999.664342	1.674765	0.000503	nan	n/a	0.000587 n/a
21	1049.647559	21.479589	0.006451	0.001213	Fail	0.006518 n/a
22	1099.630776	1.685413	0.000506	nan	n/a	0.000583 n/a
23	1149.613993	19.414913	0.005832	0.001108	Fail	0.005905 n/a
24	1199.59721	1.829836	0.00055	nan	n/a	0.000619 n/a
25	1249.580428	18.419707	0.005533	0.001019	Fail	0.005598 n/a
26	1299.563645	1.900768	0.000571	nan	n/a	0.000642 n/a
27	1349.546862	16.859562	0.005064	0.000944	Fail	0.005122 n/a
28	1399.530079	1.885234	0.000566	nan	n/a	0.000638 n/a
29	1449.513296	14.428879	0.004334	0.000878	Pass	0.004381 n/a
30	1499.496513	1.870417	0.000562	nan	n/a	0.000629 n/a
31	1549.47973	12.192582	0.003662	0.000822	Pass	0.003697 n/a
32	1599.462947	1.72437	0.000518	nan	n/a	0.000591 n/a
33	1649.446164	10.930637	0.003283	0.000772	Pass	0.003309 n/a
34	1699.429381	1.62563	0.000488	nan	n/a	0.000549 n/a
35	1749.412599	10.303029	0.003095	0.000728	Pass	0.00312 n/a
36	1799.395816	1.857282	0.000468	nan	n/a	0.000523 n/a
37	1849.379033	9.300246	0.002793	0.000689	Pass	0.002834 n/a
38	1899.36225	1.410692	0.000424	nan	n/a	0.000484 n/a
39	1949.345467	7.764231	0.002332	0.000653	Pass	0.002383 n/a
40	1999.328684	1.988381	0.000417	nan	n/a	0.000464 n/a

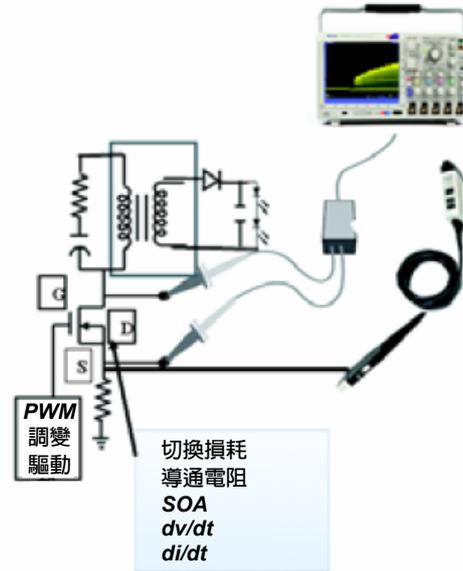
功率裝置量測和分析

■ 量測項目

- 開啓、關斷、傳導損耗
- 總功率及能量損耗
- 安全工作區
- 調變分析
- $B-H$ 曲線分析、磁損
- dv/dt 、 di/dt 量測

■ 儀器配置

- DPO5000/4000B/3000
- P5200A+TCP0030/TCP202
- PWR 電源模組



15

Tektronix

切換損耗量測

■ 開啓損耗

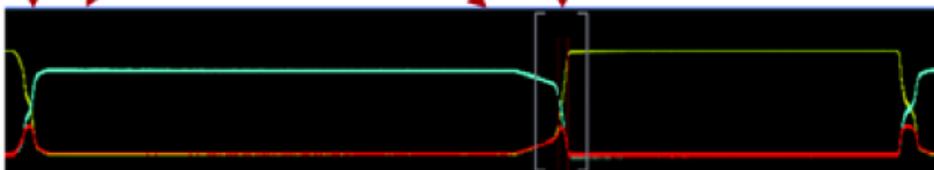
- 切換裝置從非傳導狀態變成傳導狀態時的能量損耗

■ 傳導損耗

- 切換裝置在飽和時的損耗

■ 關斷損耗

- 切換裝置從傳導狀態變成非傳導狀態時的能量損耗

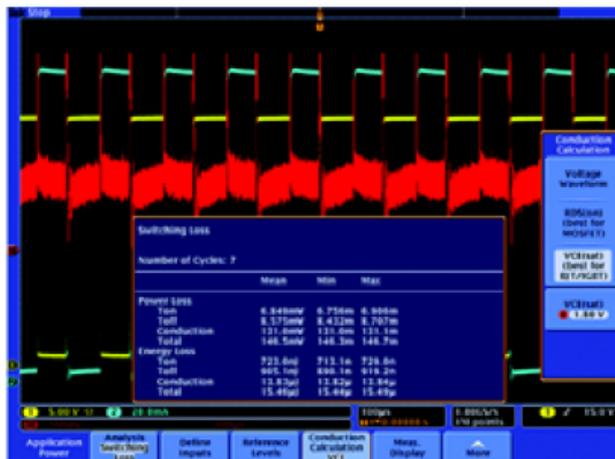


16

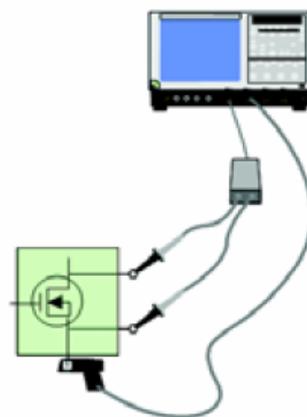
Tektronix

切換損耗量測

- 簡單的切換損耗量測是量測流經切換裝置的電壓及流經切換裝置的電流
- 電源分析軟體將計算開啓損耗、關斷損耗和傳導損耗
- 警告：電壓波形和電流波形之間的時序必須準確



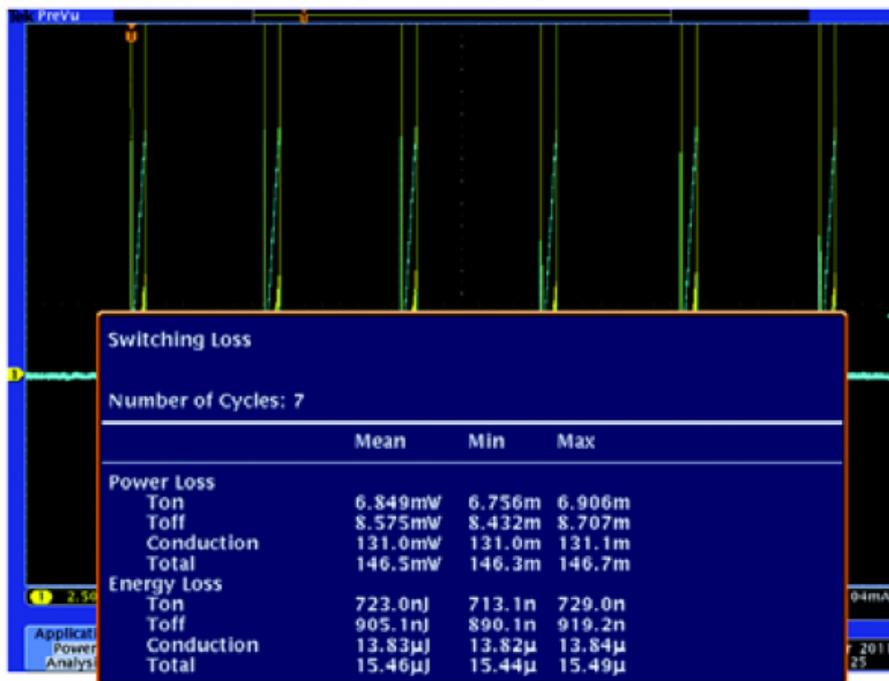
具 DPO4PWR 模組的 Tektronix MSO/DPO4000 示波器



Tektronix

交換式電源供應器和能量損耗量測

總和 = 開啓損耗 + 關斷損耗 + 傳導損耗



18

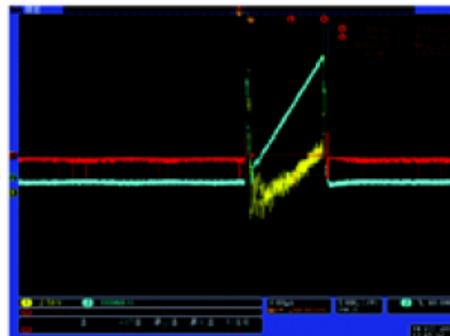
Tektronix

RDS ON 或 Vset 的測試

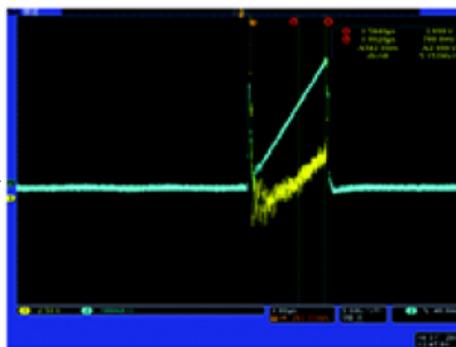
測試

- P5205 預熱後收不到訊號
調整直流偏壓
- 設 I_{ds} 為觸發源
- P5205 接 V_{ds} 在 DUT 不通電的條件下再做一次直流偏壓調整
- 選擇高解析度模式
- 通電後盡可能垂直放大 V_{ds} (以通道不飽和為基準)

量測的 $R_{ds} = 7.2 \Omega$



量測的 $V_{set} = 3.7 V$



19

Tektronix

安全工作區範本測試

使用者自訂範本

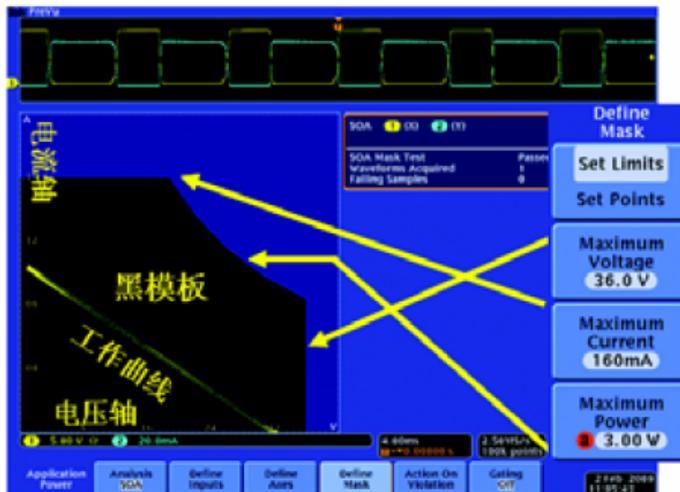
- 驗證裝置的工作區域
- 使用下面的公式計算瞬間功率：

$$P_n = V_n I_n$$

■ 其中：

- P_n 是瞬間功率
- V_n 是電壓
- I_n 是電流
- n 是取樣點

- 量測變量可以包括不同的負載、工作溫度、高和低線路輸入電壓等等



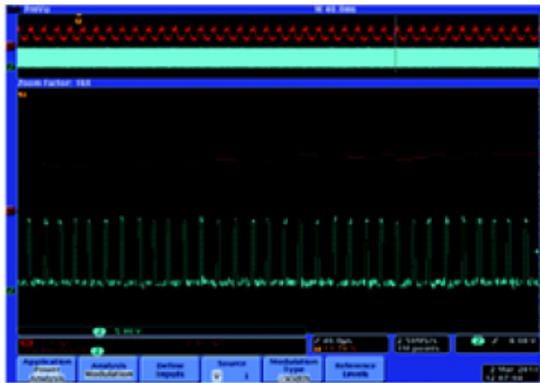
20

Tektronix

調變分析

開關的控制訊號電壓

- 調變在控制迴路的反饋系統中具有重要意義
 - 調變太多會導致迴路變得不穩定
 - 在調頻較低的區域中，波形較暗



觀察到的 PWM 及對脈寬、週期和
工作週期 (Duty cycle) 的分析



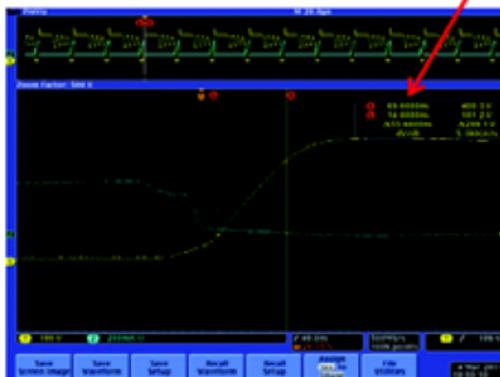
以持續累積功能觀察 PWM 訊號

21

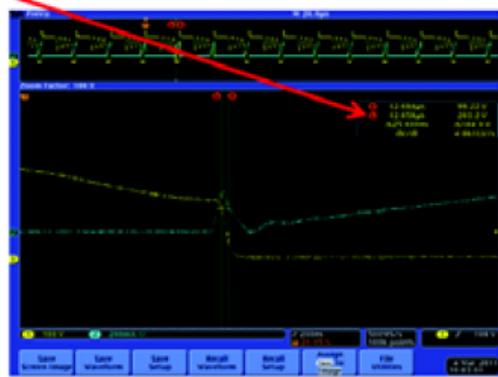
Tektronix

dv/dt、di/dt 的量測

游標讀取 dv/dt



上升邊緣



下降邊緣

Parameter	Symbol	Value	Unit
Drain Source voltage slope	dv/dt	50	V/ns
$V_{DS} = 640 \text{ V}, I_D = 8 \text{ A}, T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$			

22

Tektronix

驅動輸出的參數測試

- 量測項目：
 - DC 輸出的漣波電壓和漣波電流
 - DC 輸出的電流穩定度
 - DC 輸出功率
- 儀器配置
 - DPO4000B/3000/2000
 - DMM4020/4040
 - TCP0030+TPP0502

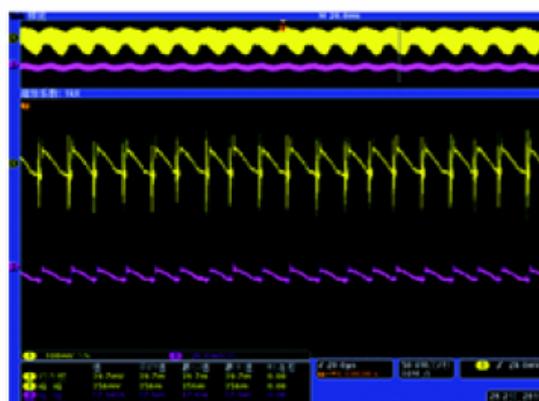
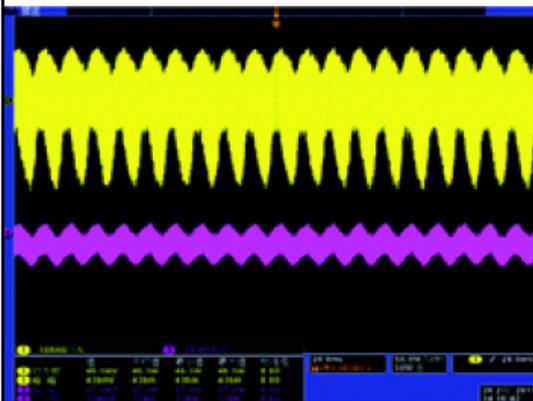


23

Tektronix

DC 輸出漣波電流量測

- LED 的驅動一般多採用恆流驅動，才能發揮其亮度效率及色彩亮麗的優勢
- LED 製造商建議：漣波電流應介於正向電流的 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$
- 漣波電流越大，LED 的熱能損耗越大，對接面溫度以及壽命會影響很大

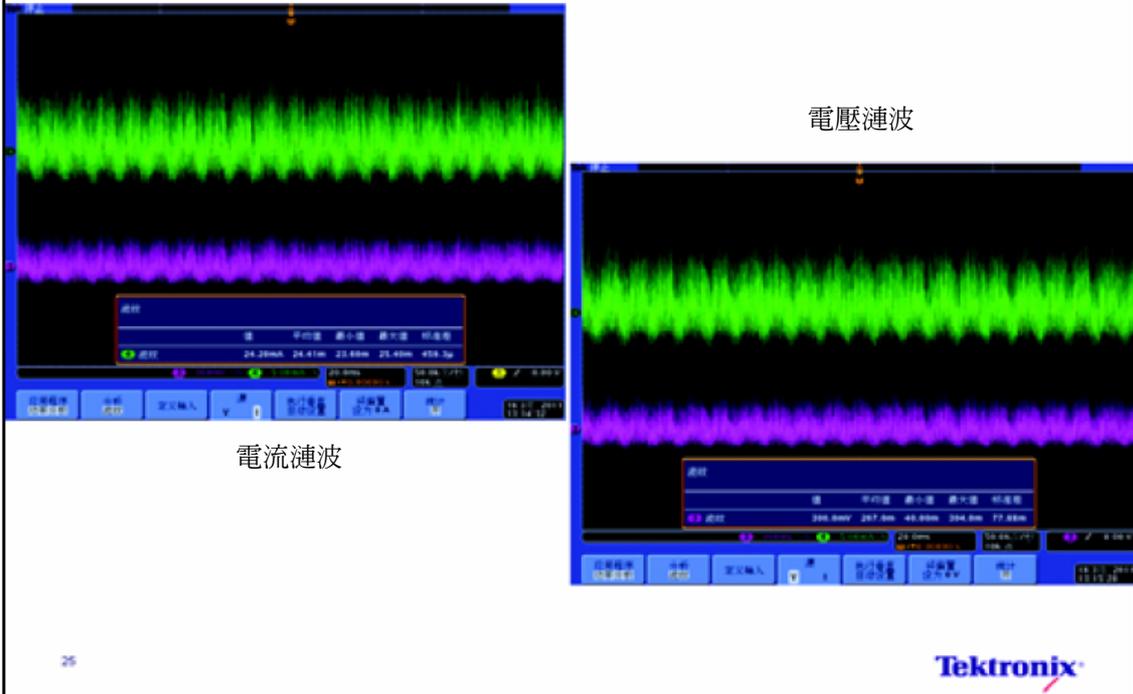


CH1：電壓漣波 CH3：電流漣波

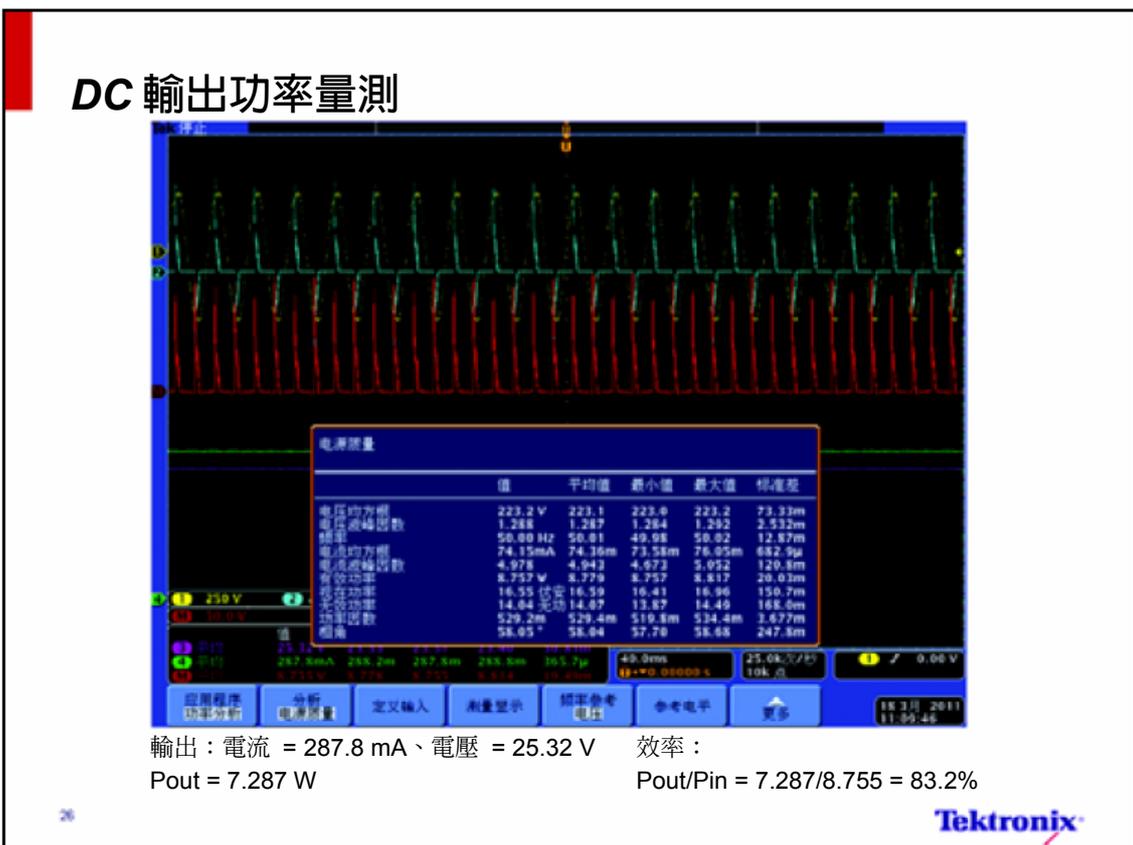
24

Tektronix

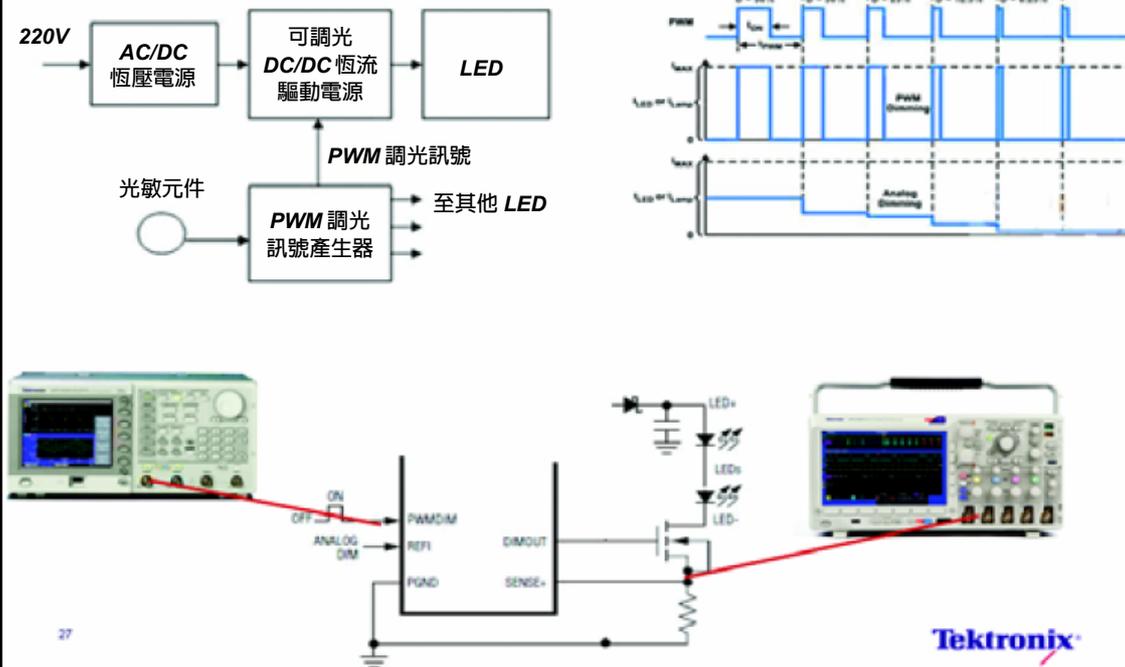
DC 輸出漣波電壓量測



DC 輸出功率量測

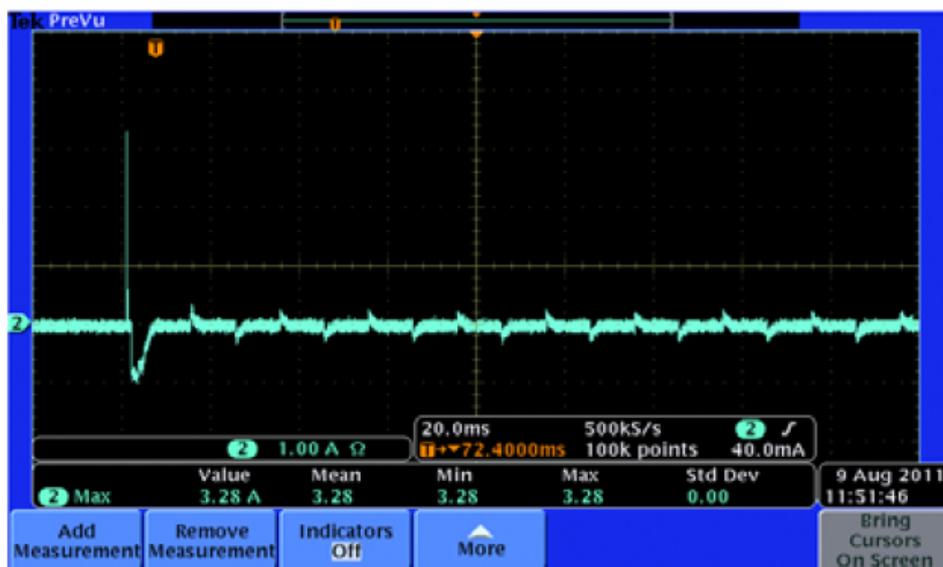


PMM 調光測試



Tektronix

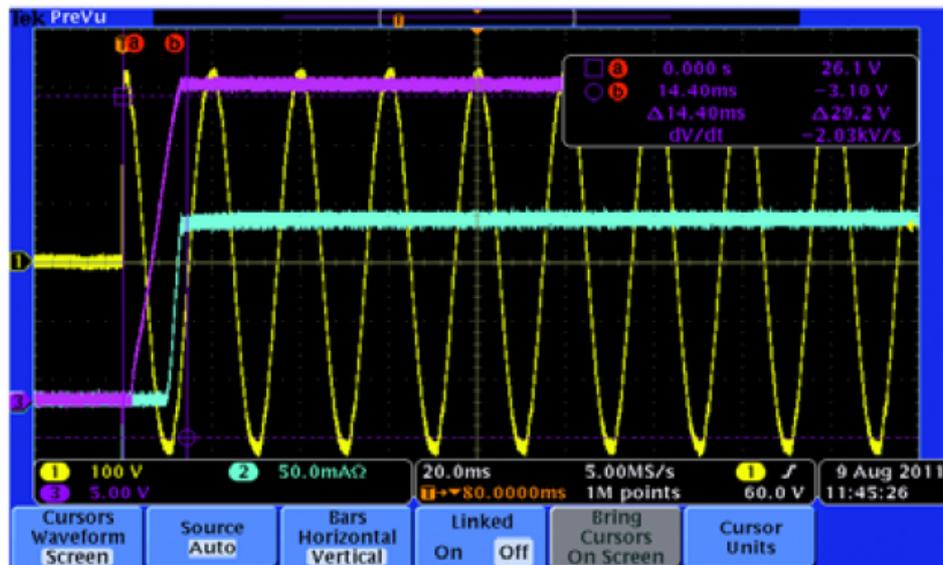
其他項目量測 — 輸入衝擊電流的量測



28

Tektronix

其他項目量測 — 啟動、關斷時間的量測



29

Tektronix

Tektronix 的測試方案和優勢

■ 優勢

- ✓ 最爲完整的產品系列：示波器、萬用電錶、DC 電源供應器、函數信號源
- ✓ 完整的探棒配件方案：電流探棒、高壓探棒、差動式探棒
- ✓ 最長的記憶體深度：20 M
- ✓ 最佳的電流漣波量測方案
- ✓ 專業的電源分析功能：電源參數、諧波、調變、裝置損耗、漣波、磁性材料

■ 儀器配置

- ✓ DPO5000/4000B/3000/2000、TPS2000B+PWR
- ✓ TCP0030/TCP202
- ✓ P5200A/P5201
- ✓ DMM4020/4040
- ✓ PWS4000
- ✓ AFG3021B

30

Tektronix

電流探棒
TCP0030
TCPA300+TCP312
TCP202



DPO2000

電壓探棒
P5200、P5205
P2221、TPP0502



DPO4000



DMM4000



AFG3021B

**Tektronix 的
LED 照明測試方案
及特性**

PWR 電源量測和分析模組



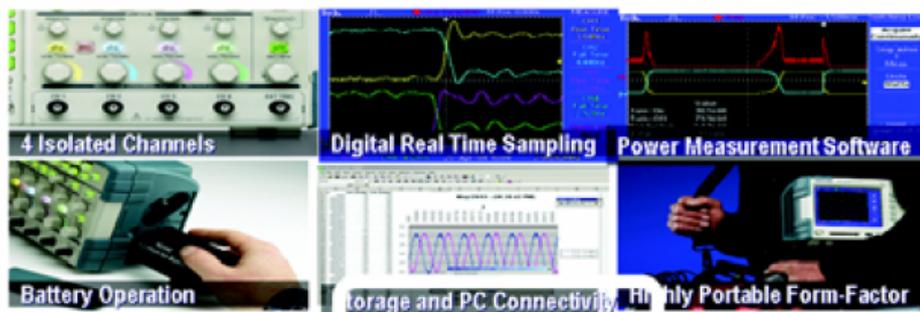
Tektronix 的測試項目

類別	測試項目	常用儀器	Tektronix 儀器	優點
電源品質量測	RMS 值、波峰因數、真實功率、無效功率、視在功率、功率因數及電壓和電流相角量測	功率錶	DPO+PWR+PROBES	一鍵量測
諧波量測	THD-F、THD-R 和 RMS 量測及每個諧波的振幅和相位，IEC61000-3-2 標準進行測試	功率分析儀	DPO+PWR+PROBES	
切換裝置量測	開啓、關斷、傳導損耗和總功率及能量損耗；安全工作區；調變分析；B-H 曲線分析	—	DPO+PWR+PROBES	完整的探棒配件
漣波量測	漣波電壓和電流	—	DPO+PWR+PROBES	獨有 1 mA 的電流量測，高頻響應的電壓量測
PWM 調光分析	調光比	—	AFG3021B、DPO	滿足未來需求
效率		—	DPO+PROBES*2	一台儀器實現量測
電流	輸出電流準確度和穩流範圍	DMM	DMM4020	小電流量測能力



TPS2000B 系列的獨特效能

TPS2000B 可以提供



	TPS2012B	TPS2014B	TPS2024B
隔離通道	2	4	4
頻寬	100 MHz	100 MHz	200 MHz
取樣率	1 GS/s	1 GS/s	2 GS/s
電池工作 (1 顆電池)	5.5 小時	4.5 小時	4.5 小時
保固	3 年	3 年	3 年

33

Tektronix

完美的測試平台

協助您輕鬆因應複雜的設計除錯



34

Tektronix

Tektronix 變頻器測試方案

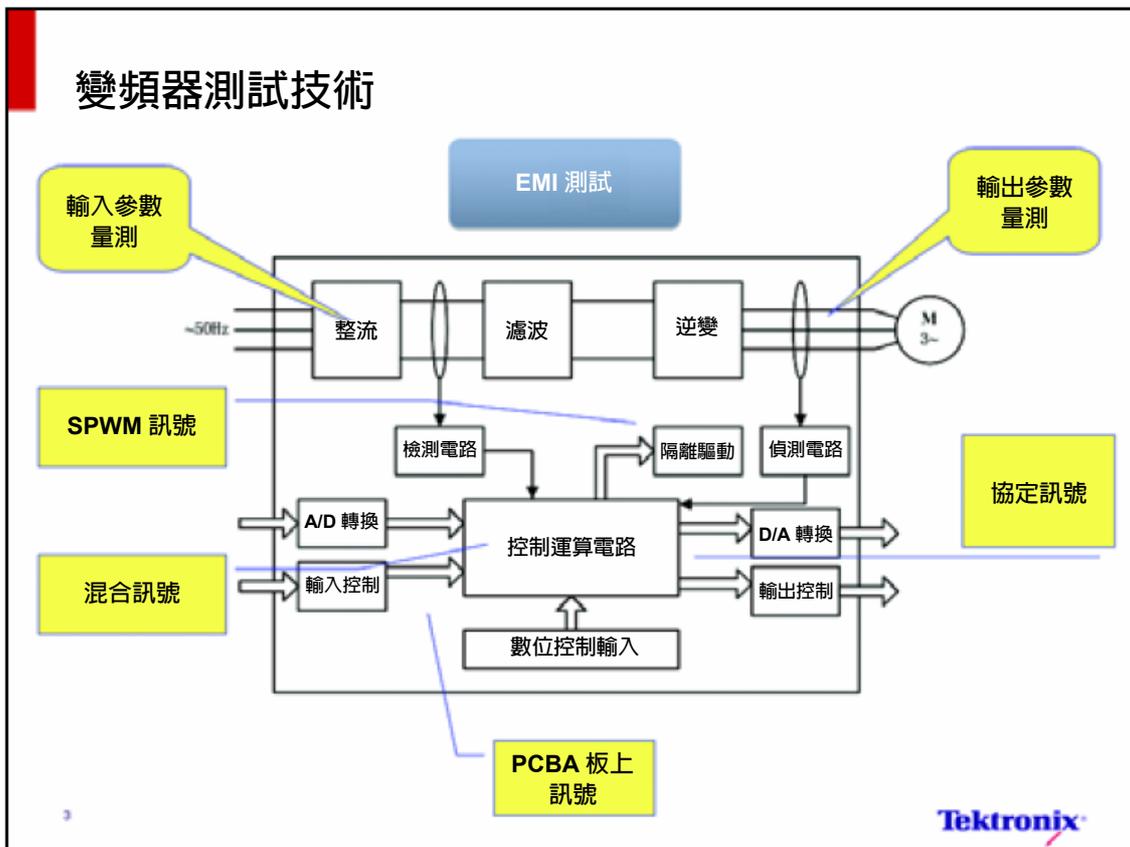
太克科技股份有限公司



Tektronix

大綱

- 變頻器量測技術
 - 整流部分測試
 - 濾波部分測試
 - 逆變部分測試
 - 驅動部分測試
 - 控制部分測試
 - 介面部分測試
 - 系統的診斷
- Tektronix 變頻器測試方案及特性



變頻器測試技術

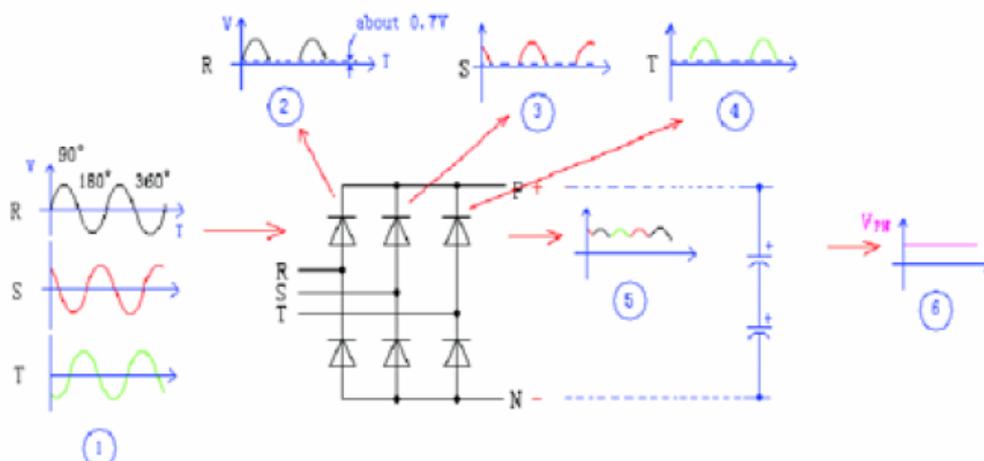
類別	測試項目	常用儀器	Tektronix 儀器	優點
整流側	整流輸出波形量測	示波器	DPO	
	漣波量測	示波器	DPO	
	諧波量測 (失真)	功率分析儀	DPO+PWR	同時顯示波形和量測參數
	視在功率、有效功率量測、功率因素	功率分析儀	DPO+PWR	同時顯示波形和量測參數
	內部控制電源的輸出電壓、漣波	示波器		
逆變側	IGBT 損耗量測	功率錶	DPO+PWR	同時顯示波形和量測參數
	磁性元件損耗及 B-H 特性	變壓器測試儀	DPO+PWR	同時顯示波形和量測參數
	驅動脈衝振幅、死區量測	示波器	DPO	
	輸出電壓和電流量測、輸出功率量測	功率錶	DPO2000	FilterVu 功能
控制部分	SPWM (SVPWM) 輸出電路	示波器	DPO	
	速度反饋單元正交編碼電路	信號源	AFG+MSO	雙通道產生正交訊號，輸入和輸出同時觀察
	A/D、D/A 電路 (電壓取樣、輸出電流取樣、IPM 模組的溫度取樣)	萬用電錶	MSO	
	混合訊號 (MCU、DSP 和類比) 分析	混合訊號示波器	MSO	
	FPGA 測試	晶片廠商提供	MSO+FPG AView	內核測試，占用資源少
	介面匯流排電路 RS232 SPI		DPO+AUTO +EMBD+ COMP	

5

Tektronix

三相全橋整流電路

交—直—交電路的整流和濾波



- 變頻器的進線電源可以是三相 380–500V，或三相 200–240V，也可以是單相 200–240V；也可以是 690V。
- 電源電壓在 690V 以下稱為低壓變頻器，1000V 以上稱為中壓或高壓變頻器。
- 進線電源的相位順序不影響馬達的轉向。
- 大多數變頻器採取三相全波整流，整流裝置為功率二極體。

6

Tektronix

變頻器測試技術 — 諧波量測標準

- GB/T14549-93：變頻器電網側諧波電壓符合 GB/T14549-93 電源品質公用電網諧波要求
- IEEE Std 519-1992：變頻器電網側諧波電流量符合 519-1992

中、高壓電力系統中畸變負載發射限值的評估 (GB/Z 17625.4—2000) (IEC 61000-3-6)

注入公共連接點諧波電流允許值 單位: A

標準電壓/kV	基準短路容量/MV·A	諧波次數及諧波電流允許值							
		5	7	11	13	17	19	23	25
0.38	10	62	44	28	24	18	16	14	12
6	100	34	24	16	13	10	9.0	7.4	6.8
10	100	20	15	9.3	7.9	6.0	5.4	4.5	4.1

各國諧波管理標準比較

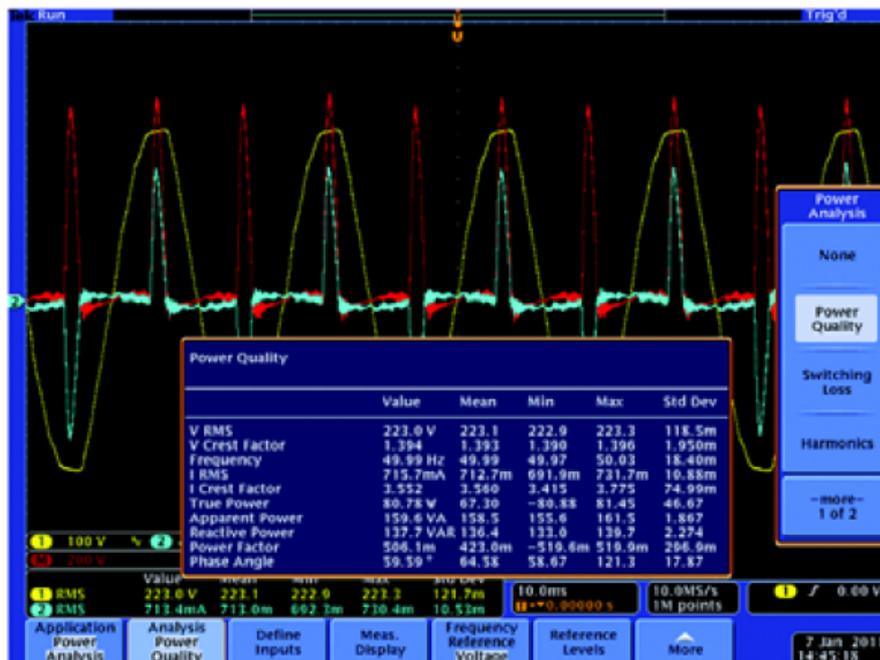
	電壓畸變率 %	諧波		系統電壓 /kV
		奇次%	偶次%	
英國	4	3	1.95	6.6-11
美國	一般電力為 5 專用為 8	—	—	2.4-69
德國	5.8	5 次 7 次 11 次 13 次	—	10-30
澳大利亞	5	4	2	<33
日本	3	1	0.75	配電系統
中國	10	5	2	配電系統

IEC 變頻器相關技術標準			
電網電壓/kV	電壓總諧波畸變率 THD%	各次諧波含有率%	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2
6-10	4.0	3.2	1.6

7

Tektronix

變頻器量測技術 — AC 輸入電壓和電流



8

Tektronix

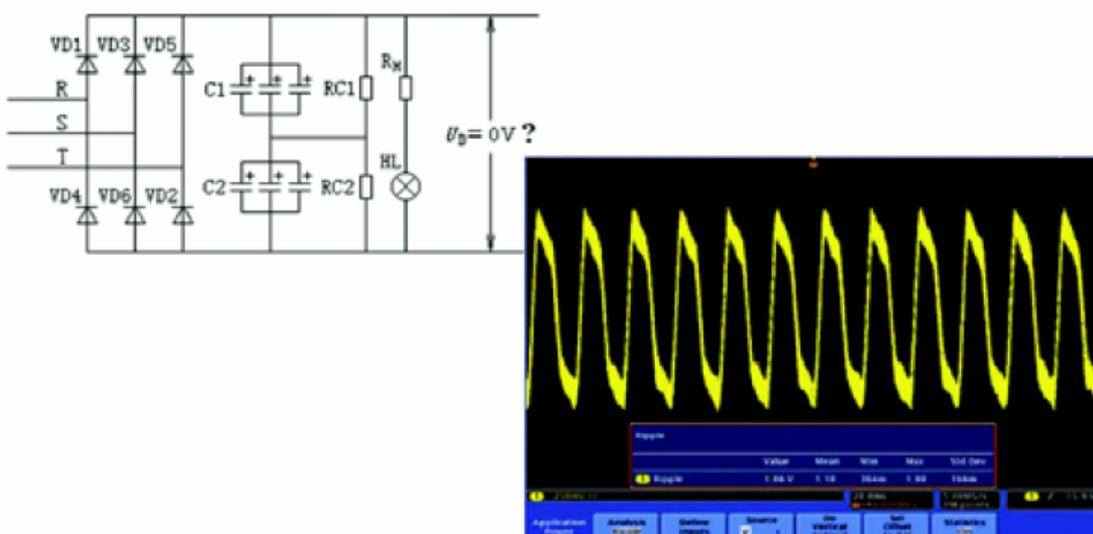
變頻器量測技術 — 諧波量測表



9



變頻器量測技術 — 漣波量測



電壓值 $\sqrt{2}$ 線電壓，6 倍功率頻率的脈動波形

DPO2000 的 FilterVu 功能可以幫助濾除高頻漣波的干擾

10



變頻器量測技術 — 漣波電流量測

量測的必要性：電容器在實際使用時如果超過電容器規定的最大容許漣波電流，產品溫度就會升高，超出其最高使用溫度，就會對電容器效能產生影響，從而影響整個電路和裝置。

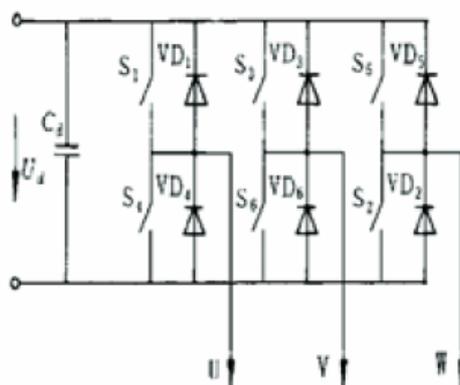
R. V. (V) 額定電壓		35			
Cap. (μ F) 容量	Ripple Current 漣波電流	Case size Φ DxL (mm) 產品尺寸			
		22	25	30	35
3,300	1.43	22x25			
3,900	1.65	22x30			
4,700	1.89	22x35	25x25		
5,600	2.02	22x40	25x30		
6,800	2.28	22x45	25x35		
8,200	2.67	22x50	25x40	30x30	
10,000	2.92		25x45	30x35	
12,000	3.26		25x50	30x40	35x30
15,000	3.74			30x45	35x35
18,000	4.16				35x40
22,000	4.92				35x50

11

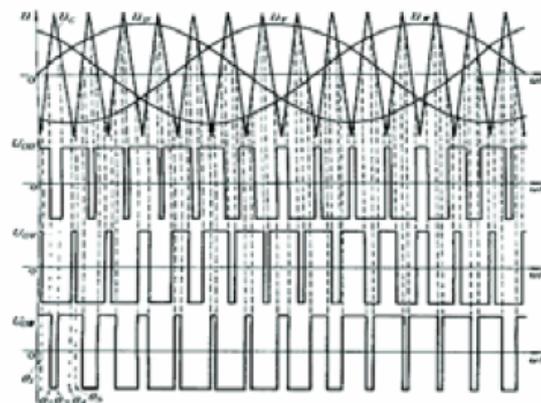
Tektronix

變頻器逆變電路工作原理

交—直—交電路的逆變電路



三相正弦脈衝寬度調變波形



逆變器的功能：

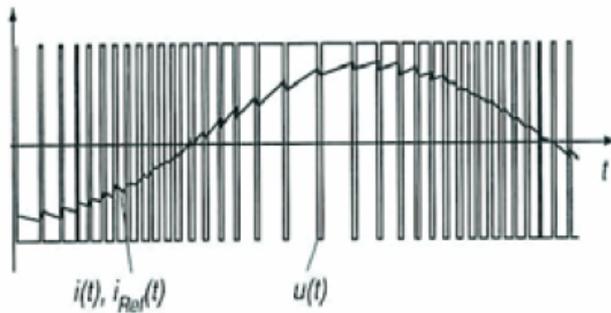
- 透過改變開關管導通時間改變輸出電壓的頻率
- 透過改變開關管導通順序改變輸出電壓的相位順序

12

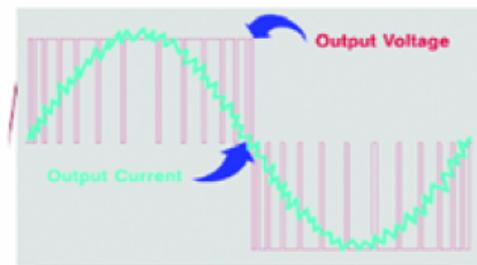
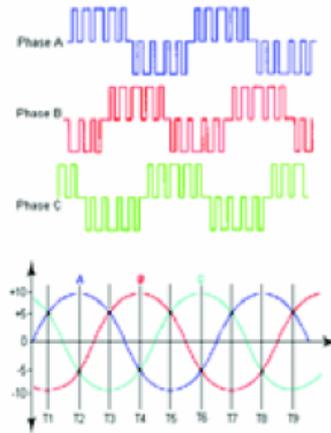
Tektronix

逆變輸出波形

- 變頻器的輸出波形



變頻器輸出電壓方波經 L/R 積分為電流波形近似為正弦波

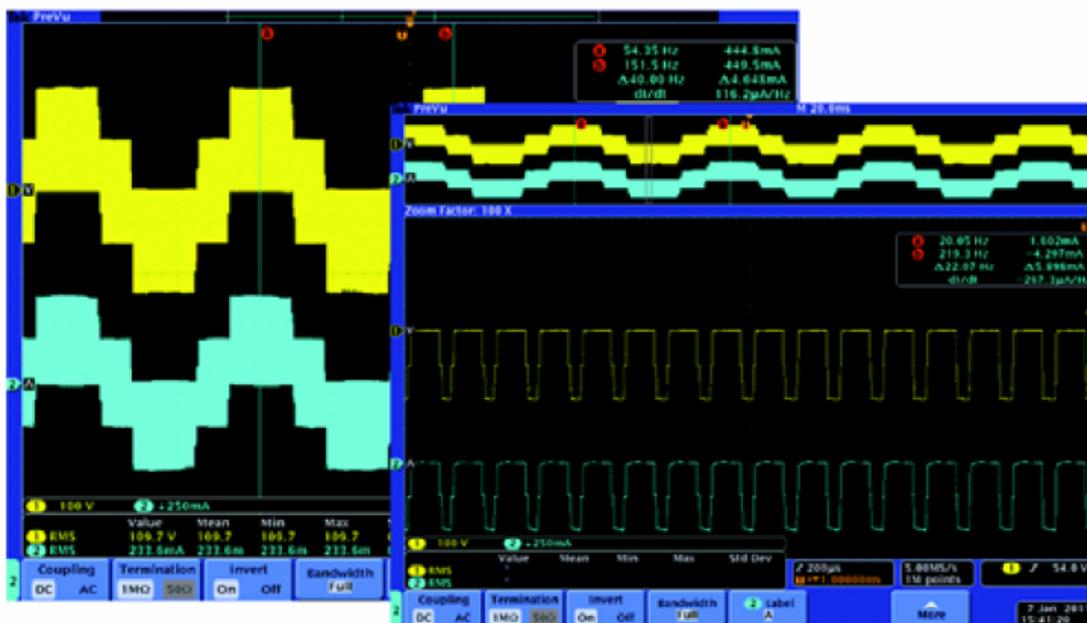


Tektronix

13

逆變輸出波形

- 變頻器輸出波形



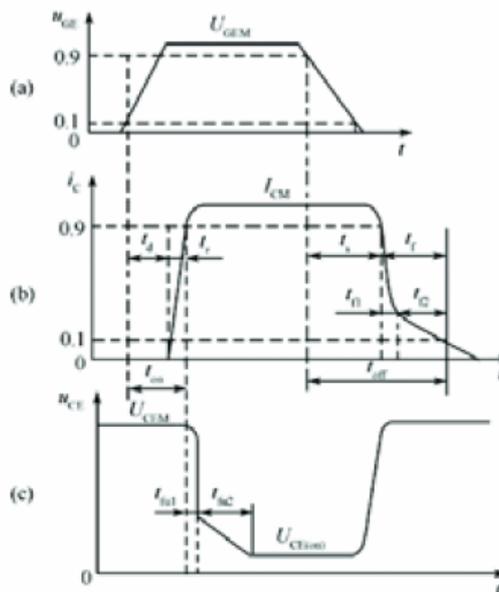
Tektronix

14

IGBT 損耗量測技術

■ IGBT 的損耗量測

- 電壓範圍 1/2Vd 對於 380V 三相系統 < 270V 對於單相系統 < 160V
- 電流視變頻器的容量而定，幾安培到一兩百安培，視變頻器容量和負載而定



15

Tektronix

IGBT 驅動控制 — 調變

■ PWM (Pulse Width Modulation) 調變

- PWM 調變：利用半導體切換裝置的導通和關斷將直流電壓調變成電壓可變、頻率可變的電壓脈衝串
- SPWM 調變：採用三角波和正弦波相交獲得的 PWM 波形直接控制各個開關，可以得到脈衝寬度和各脈衝間工作週期可變的呈正弦變化的輸出脈衝電壓，能獲得理想的控制效果：輸出電流近似正弦
- 載波頻率必須高，才能保證調變後得到的波形與調變前效果相同



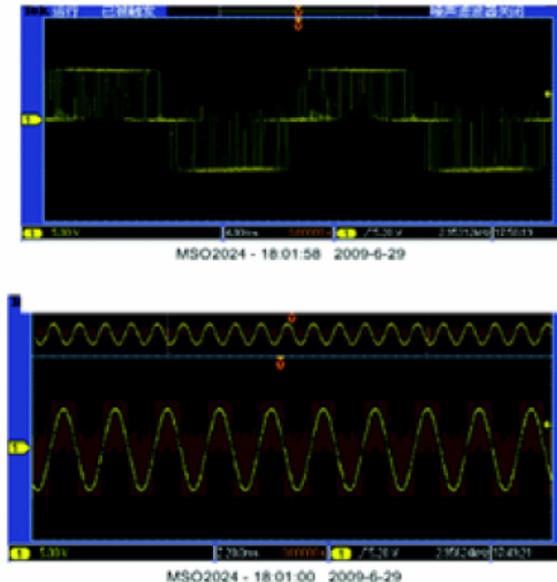
16

Tektronix

PWM 調變規律測定

■ 驅動部分量測

- 量測每個 IGBT 開極接受到的驅動訊號及其傳輸延時和訊號畸變
- 觀測同組驅動脈衝時間上的一致性
- 觀測同橋接驅動脈衝之間的死區互鎖裝置和保護機制是否奏效



17

Tektronix

變頻器控制電路量測

控制部分量測

- I/O 訊號 A/D、D/A
- 速度反饋訊號
- 旋轉編碼器的測試
- 電流反饋回路

量測儀器及配置

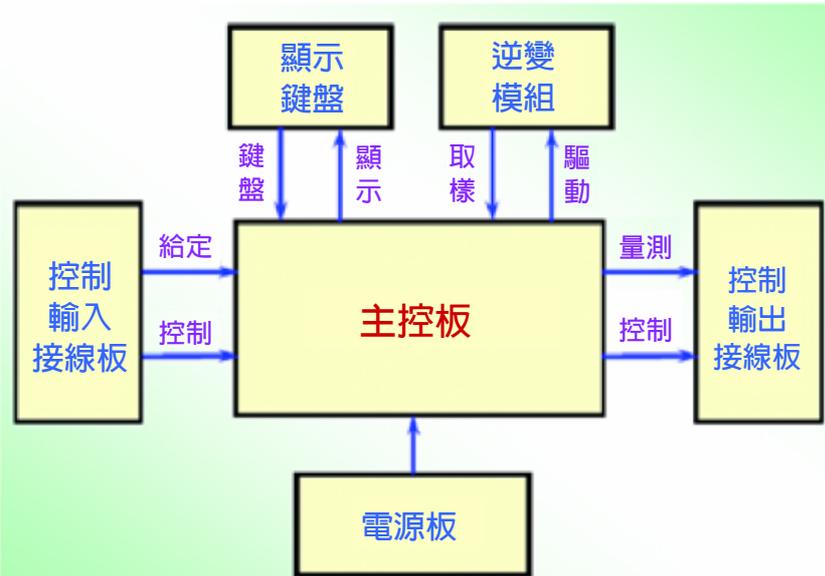
- MSO4000B、MSO3000
- AFG3022B

18

Tektronix

變頻器驅動與控制電路

控制和驅動電路

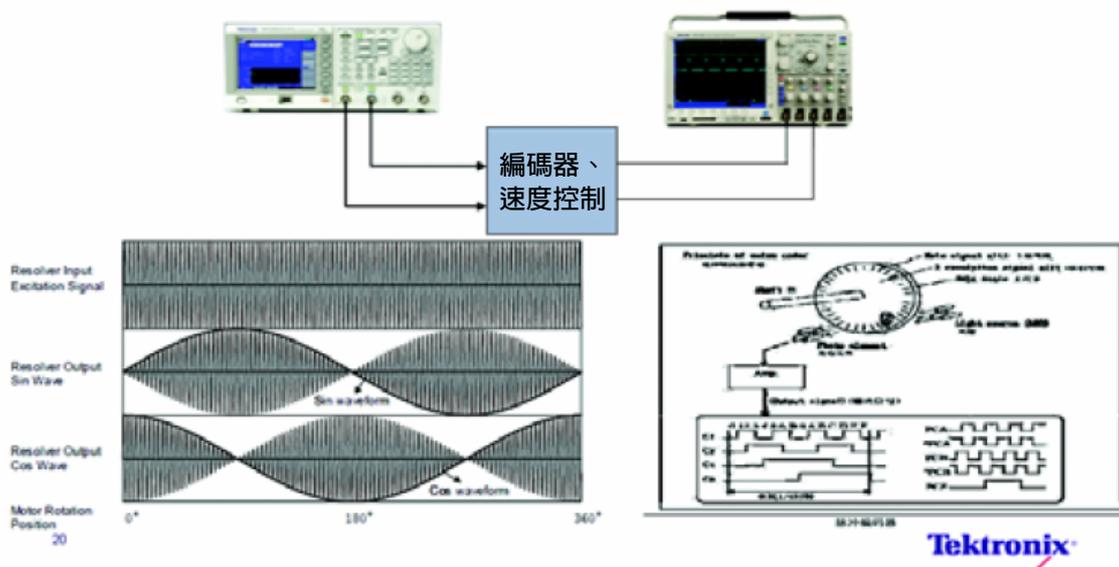


19

Tektronix

變頻器控制電路模擬與量測

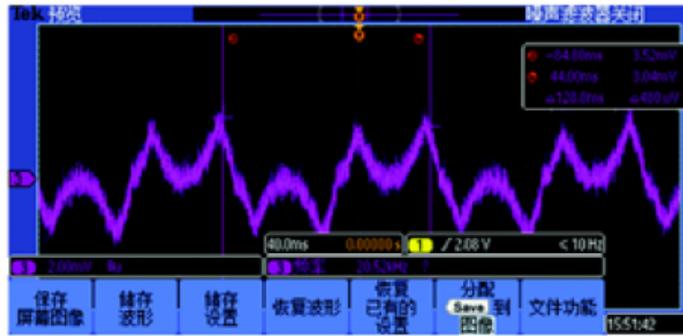
- 速度反饋單元正交編碼電路
- 旋轉變壓器的輸出和取樣



Tektronix

控制電路 A/D 轉換電路測試

- A/D、D/A 電路量測 (電流反饋、電壓反饋)



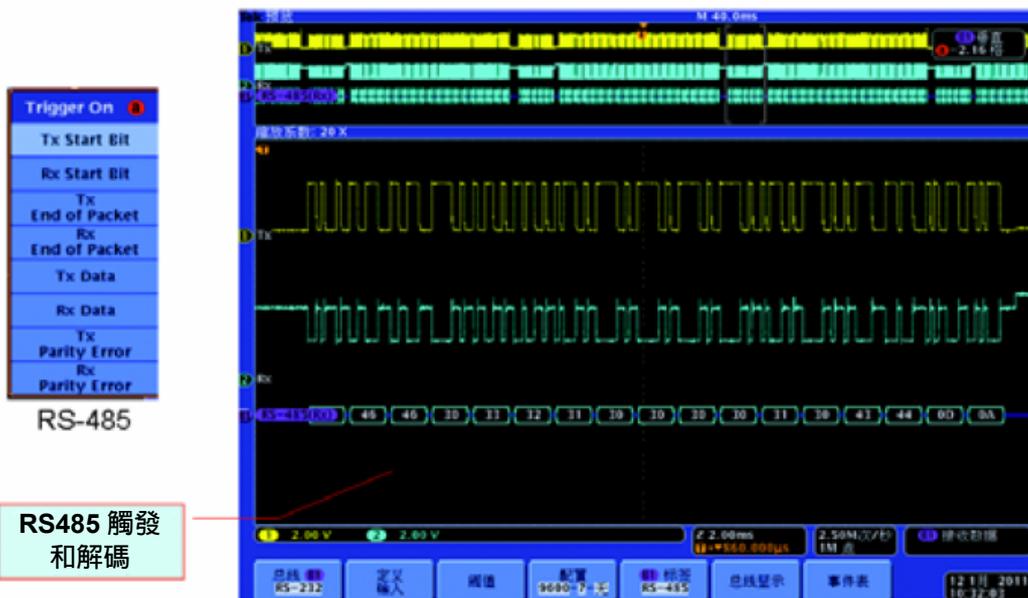
SVPWM 調變控制下輕載狀態的電流波形

21

Tektronix

介面與通訊協定的測試和診斷

RS-232/422/485/UART 觸發和解碼



RS485 觸發和解碼

22

Tektronix

並列匯流排觸發、解碼和搜尋

- 觸發並列匯流排資料
 - 含時脈輸入或不含時脈輸入
- 以十六進位或二進位查看解碼後的資料
- 使用 Wave Inspector 搜尋和標記特定資料值
- 使用事件表格式查看資料



23

Tektronix

色碼數位波形顯示

- 邏輯值高以綠色表示
邏輯值低以藍色表示
- 波形分組，簡化在螢幕上定位數位波形的的工作
- 數位通道指標帶有色碼，顏色與數位探棒上的通道標籤一致



24

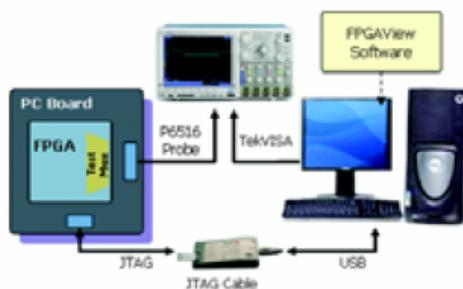
Tektronix

Tektronix FPGAView 除錯方案

- **FPGAView™**
 - Supports Xilinx and Altera FPGA devices
 - Software package developed by First Silicon Solutions (www.fs2.com)
 - Runs on Windows 2000 and Windows XP machines

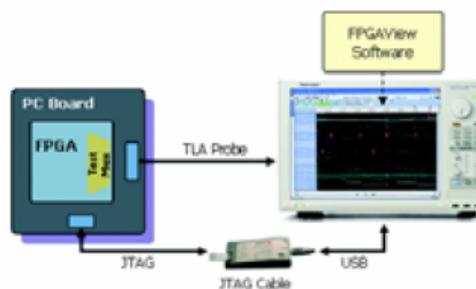
Function	Solution
Multiplexer	Xilinx: FS2 TestCore Altera: Quartus® II v5.1
Control Software	FS2 FPGAView™
Test Equipment	MSO4000 Mixed-Signal Oscilloscope, or TLA Series Logic Analyzer (>v4.3)
JTAG Cable	Xilinx: Platform Cable USB and Others Altera: USB-Blaster™ or ByteBlaster™

▶ Mixed-Signal Oscilloscope



27

▶ Logic Analyzer



Tektronix

Tektronix 變頻器測試解決方案

產品階段	研發	生產	服務和維修
關注焦點	技術	投資回報率，成本降低	成本
測試要求	高效能	低成本，足夠的效能	通用性
Tektronix 解決方案	MSO4000B MSO3000 AFG3000 DMM4040 DMM4050	TDS2000 DPO2000 DMM4020	TDS2000C TPS2000B
配件需求	PWR、FPGA、COMP、EMBD P5200、P5205 TCP300/400/A62X/TAP0150	P5200、P5205、P5210、 A621/2、TCP404XL、 TCP0150	
優勢	方案完整、配件齊全 快速系統診斷和測試 (混合訊號) 動態範圍大 (抗飽和能力) 波形導航和搜尋能力 最長的記憶體深度 (20 M) 方便的進階函數運算	獨特的 FilterVu 濾波通道隔離	品牌及價格

28

Tektronix

完美的測試平台

協助您輕鬆因應複雜的設計除錯



29

變頻器研發典型測試儀器

研發和測試設備

類別	主要裝置
效能測試裝置	電流測試系統、三相 PWM 測試儀、示波器、可彎曲軟式電流探棒、功率分析儀、電子負載、AC SOURCE、DC SOURCE、高壓直流電源供應器、LCR 錶
熱測試裝置	熱影像儀、精密測溫儀、紅外線測溫儀
EMC 測試裝置	靜電測試裝置、電源浪涌測試 (SURGE) 裝置、電快速脈衝測試 (EFT) 裝置、高頻雜訊測試儀、EMI 測試系統、BCI 測試系統、近場探棒、屏蔽房
安規測試裝置	安規綜合測試儀、耐壓測試儀、接地連續性測試儀、絕緣電阻測試儀、100KV 衝擊電壓測試系統
環境試驗測試裝置	程控溫濕度箱、快速溫變箱、高低溫衝擊箱、溫度低氣壓實驗箱、鹽霧實驗箱、高溫烘箱、小功率振動台、5 噸大推力振動台

30

Tektronix

大功率逆變器的測試技術

太克科技股份有限公司



Tektronix

逆變器

- 概念：逆變器是一種將直流電 (DC) 轉換為交流電 (AC) 的裝置。
 - 交流側接電網為主動式逆變
 - 交流側接負載為被動式逆變
- 分類：逆變器根據發電源的不同分為
 - 煤電逆變器
 - 太陽能逆變器
 - 風能逆變器
 - 核能逆變器

逆變技術的應用

- 新能源的開發和利用：如光伏、風能等
- 交流馬達調速用變頻器
- UPS 不斷電系統、感應加熱電源供應器
- 電網諧波補償
- 交換式電源供應器和各種專用電源供應器

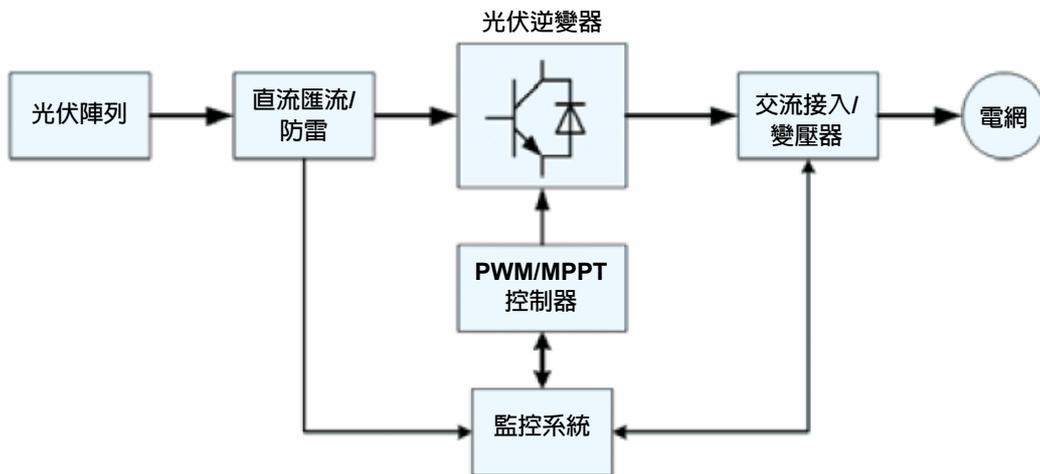
Tektronix

光伏系統的逆變器

- 光伏發電系統中的逆變器，包括被動式逆變和主動式逆變兩種形式。
- 被動式逆變：用於孤立型光伏發電站，透過逆變器將直流逆變為方波或經 SPWM 調變為正弦波交流電，直接向交流負載供電。
- 主動式逆變器：用於並網光伏發電，透過逆變器以 SPWM 的方式產生交流調變正弦電源，並使輸出正弦波的電壓振幅、頻率及相位等變量與公共電網一致。
- 光伏發電系統中的逆變器
 - 按輸入側直流儲能元件類型可進一步劃分為電壓型逆變和電流型逆變兩類：
 - 按拓撲架構又可分為單相半橋逆變電路、單相全橋逆變電路和三相全橋逆變電路三種。

Tektronix

光伏發電應用

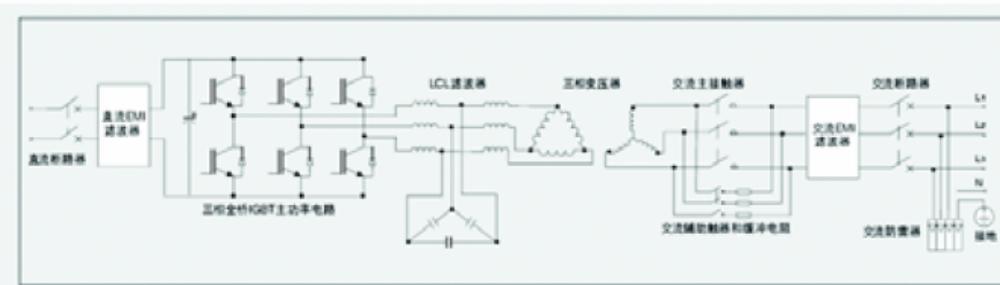


並網型 (主動式逆變) 光伏電站構成原理圖

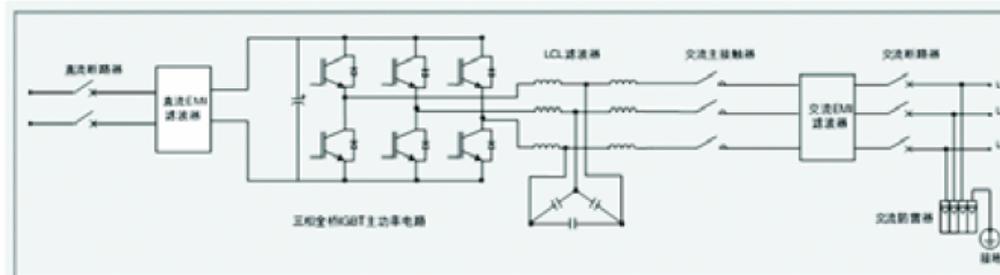
5

Tektronix

光伏逆變器的拓撲圖



採用功率頻率變壓器隔離的大功率三相並網逆變器



無變壓器隔離的大功率三相並網逆變器 (輸出電壓可以從 270 V~400 V)

6

Tektronix

風力發電應用方式

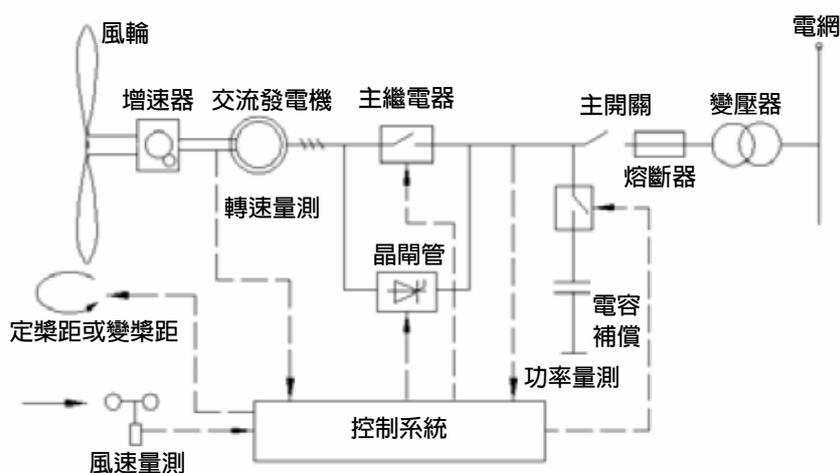
- 微型風力機
 - 風機、蓄電池、控制器、逆變器
- 大型風力機
 - 葉輪；傳動系統；發電機；煞車系統；偏航系統；塔架；控制監測系統
- 大型風電場
 - 並網供電

7

Tektronix

並網運行的風力發電機組

並網運行的水平軸式風力發電機組由風輪、增速齒輪箱、發電機、偏航裝置、控制系統、塔架等元件組成，其結構如圖所示



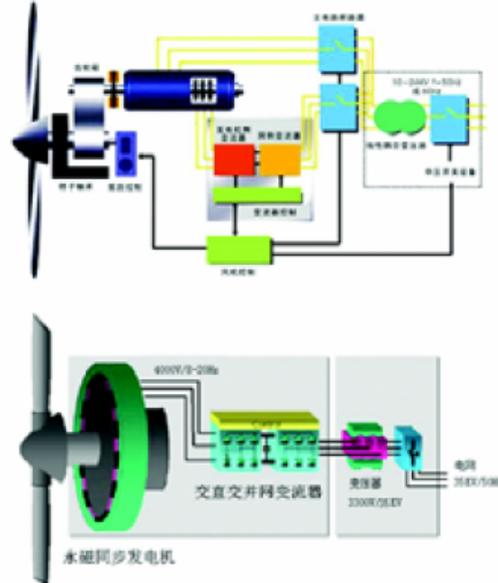
並網運行的水平軸風力發電機組的原理方塊圖

8

Tektronix

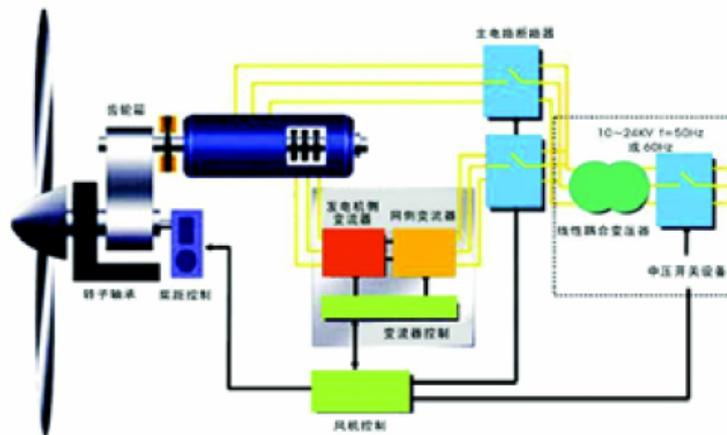
逆變器電氣測試需求

- 風電技術高速發展，新技術不斷湧現
 - 恆速恆頻型發展為變速恆頻型
 - 定槳距發展為變槳距
 - 主流 MW 級風力發電機
 - 雙饋型非同步發電機變速恆頻系統
 - 直驅式永磁同步發電系統
- 設計電氣系統的新要求
 - 大容量，四象限運行的變流器設計的測試與分析
 - 軟並網過程的檢測與分析
 - 直流母線電壓波動的測試
 - 變流器 SPWM 調變分析測試
 - 伺服驅動系統的測試 (變槳距、偏航系統)



Tektronix

示波器在風電設備開發中的作用



在高電壓大電流的電力電子裝置測試中，示波器是不可缺少的必需設備，此外在觀測 PWM 調變規律、測試電力電子裝置損耗、擷取暫態異常訊號，結合匯流排控制訊號的類比轉數位聯合除錯的工作中，示波器有著不可替代的作用。

10

Tektronix

如何選擇示波器類測試工具

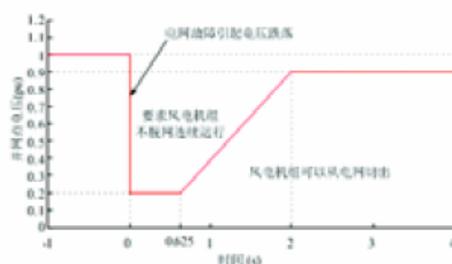
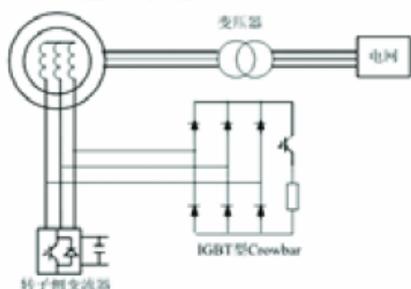
- 足夠的記憶體長度
 - 保證每個轉換的邊緣可擷取到 8-10 個樣點
 - 至少完整擷取半個功率頻率週期的訊號
- 異常波形的發現和擷取能力
 - 偶然發生的異常波形的顯示和擷取能力
 - 長記憶體條件下的異常自動搜尋能力
- 完善的探棒方案和探棒偏差校驗能力
 - 高壓差動和電流探棒
 - 探棒的自校驗和時間偏差校驗功能
- 結合常用工業匯流排的類比轉數位聯合除錯能力
 - 常用匯流排解碼和觸發功能
 - 類比轉數位混合訊號除錯能力

11

Tektronix

應用 — 擷取低電壓穿越 LVRT 過程 (電壓異常響應特性)

- 低電壓穿越
 - 指在發電機並網點電壓降的時候，逆變器能夠保持並網，甚至向電網提供一定的無效功率，支援電網恢復，直到電網恢復正常，從而「穿越」這個低電壓時間(區域)。
- Tektronix 長記憶體示波器可以擷取電網電壓降和 CROWBAR 電路切入工作的全部過程

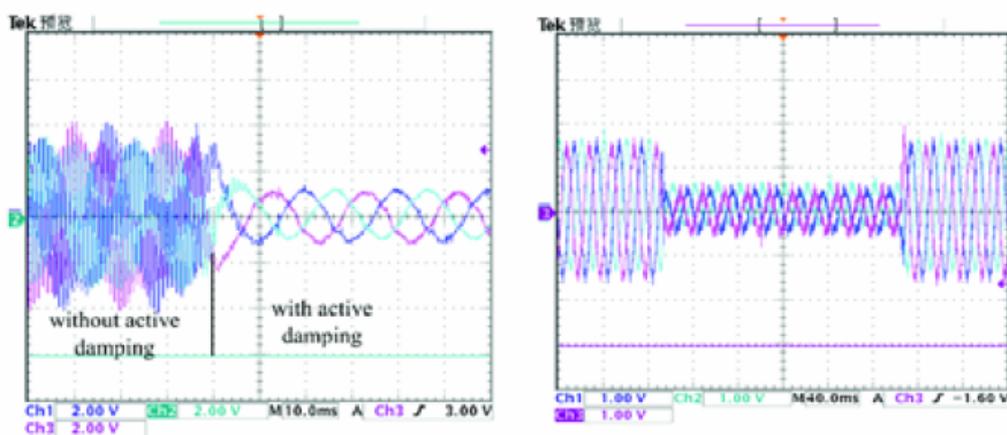


12

Tektronix

低電壓穿越 (LVRT)

參考試驗波形



13

Tektronix

應用二 頻率異常響應特性測試

■ 過/欠頻狀態

- 並網條件下的變流器在電網電壓頻率低於或高於一定頻率變化範圍時，要及時從電網中切斷，防止電網崩潰

頻率範圍	運行需求
< 48 Hz	根據逆變器允許運行的最低頻率或電網需求而定
48 – 49.5 Hz	每次低於 49.5 Hz 時能連續運行 10 分鐘
49.5 – 50.2 Hz	連續運行
50.2 – 50.5 Hz	每次高於 50.2 Hz，應具有連續運行 2 分鐘的能力，同時具有 0.2 s 內停止向電網供電的能力
> 50.5 Hz	0.2 s 內停止向電網供電，且不允許再並網

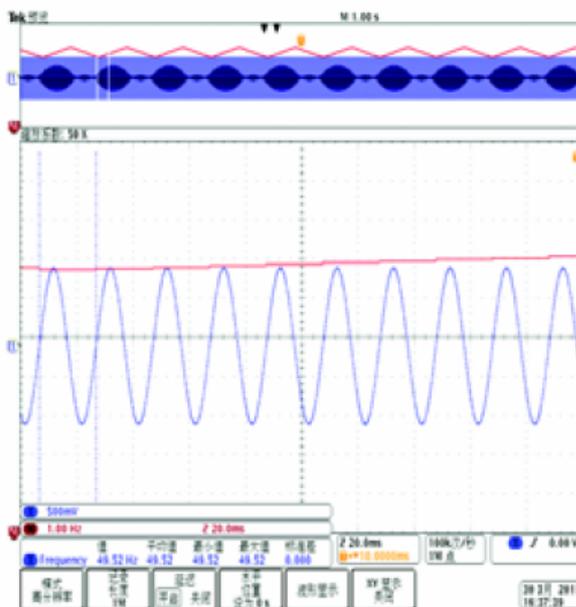
以上資料摘自國家電網公司關於光伏特並網的規定

14

Tektronix

應用二 頻率異常響應特性測試

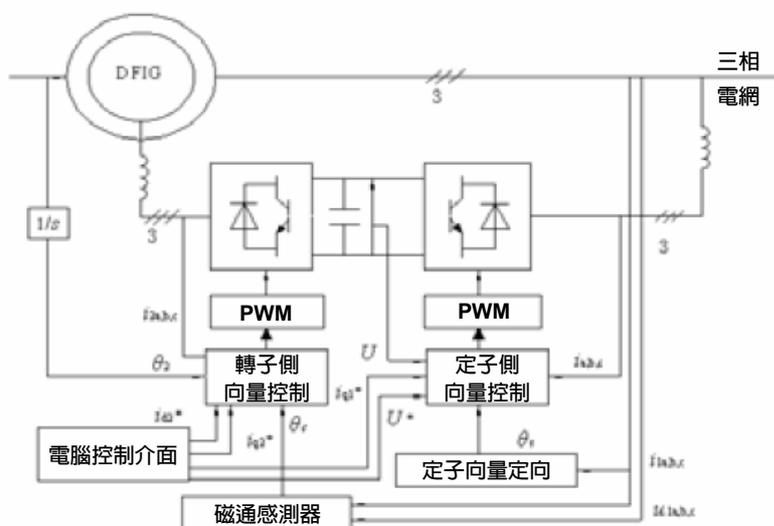
- 計算整個過程的頻率變化曲線，測試從頻率超標點到變流器切斷的過程。
 - 高解析度擷取
 - 使用頻率趨勢計算，得到整個過程中每個週期的頻率
 - 公式：Trend (Freq (CH1))
 - 定位頻率最大變化點
 - 量測頻率超標到系統切出的過程



15

Tektronix

應用三 PWM 調變測試



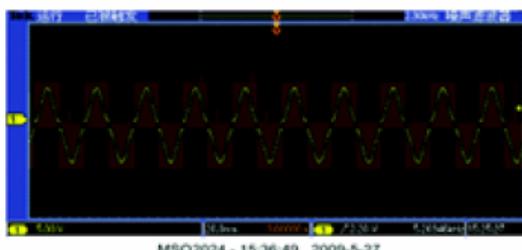
設計人員需要量測變流器的 IGBT 裝置的驅動脈衝訊號是否按照設定的規律運行，需要一種直覺觀測 PWM 訊號的方法，特別是轉子側在不同工况下的驅動情況。

16

Tektronix

應用三 PWM 調變測試 (FilterVu 功能)

- SPWM、SVPWM、直接轉矩控制等控制理論的本質是 IGBT 閘極驅動按照設計規律變化
- 工程師需要量測變頻輸出電壓與 PWM 訊號是否一致
- Tektronix 方案
- Tektronix 示波器獨特的 FilterVu 功能可以濾掉輸出電壓訊號的 PWM 方波波形，顯示出 PWM 變化趨勢

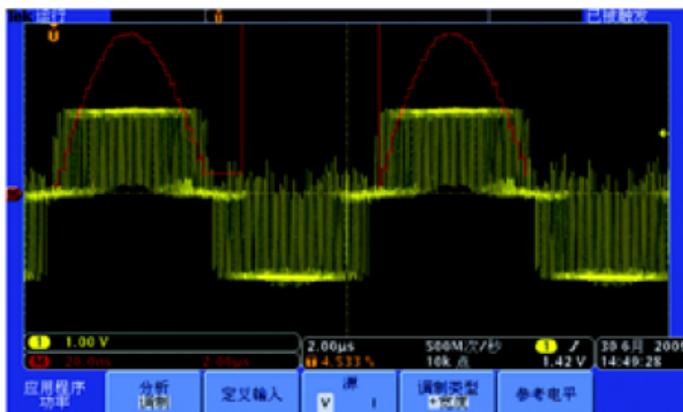


17

Tektronix

應用三 PWM 調變測試 (趨勢量測功能)

- 使用 DPOPOWER 的趨勢功能，觀察 PWM 輸出。
- 如果使用 DPO3000 以上示波器+PWR 模組，可以使用調變分析的功能，利用正/負脈衝寬度，正負工作週期的趨勢量測，達到上一節試驗的效果。
- 注意，需要根據實際情況，調整參考位準值，正半週時參考位準為正值，負半週時，參考位準為負值。

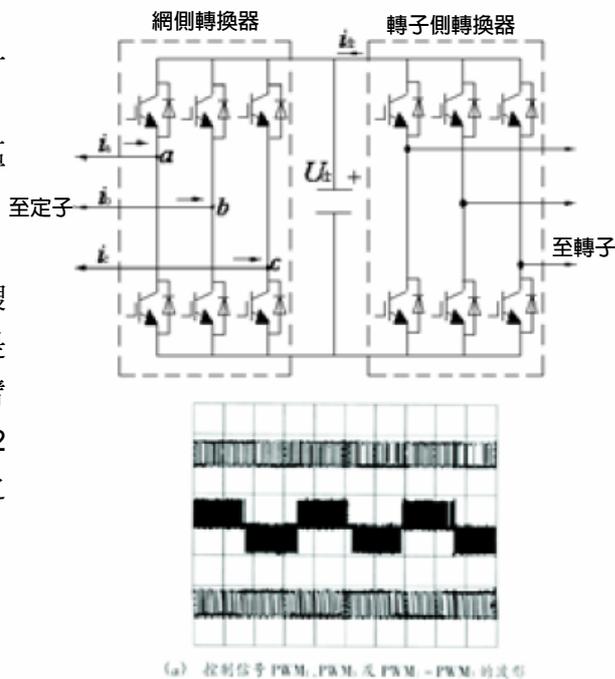


18

Tektronix

應用四 驅動脈衝量測

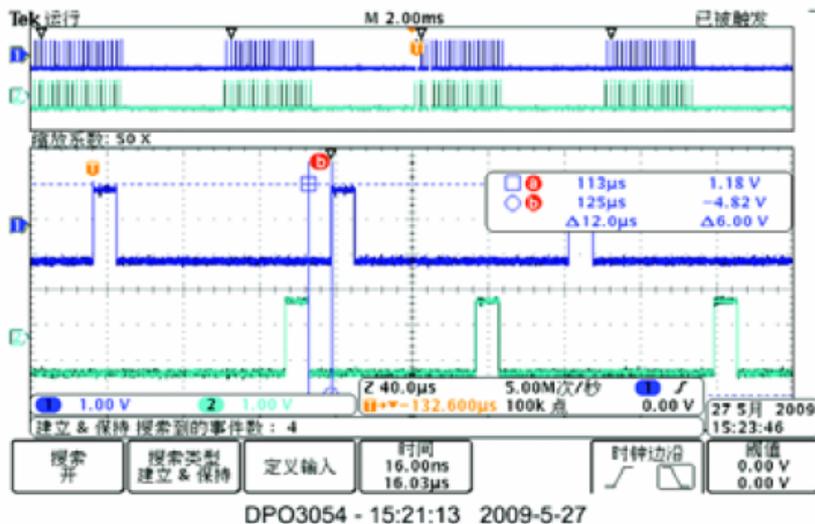
- 觀測同組驅動脈衝時間上的一致性
- 觀測同橋臂驅動脈衝間的死區互鎖和保護機制是否奏效
- DPO 系列示波器
- 優點：使用邏輯關係的波形搜尋功能，查詢長時間視窗下是否存在同時驅動同一橋臂 IGBT 的情況 (CH1 高且 CH2 也為高，或者 CH1 與 CH2 之間的死區互鎖延時過短)



19



應用四 驅動脈衝量測

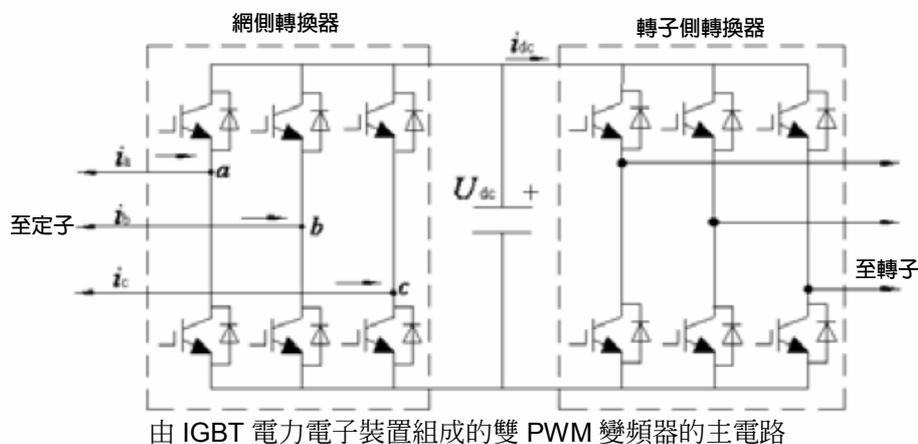


- 使用 Tektronix 示波器獨有的波形搜尋功能，可以快速找到長時間範圍內同一橋臂上可能存在的驅動脈衝重疊

20



應用五 功率裝置測試 (切換損耗量測)



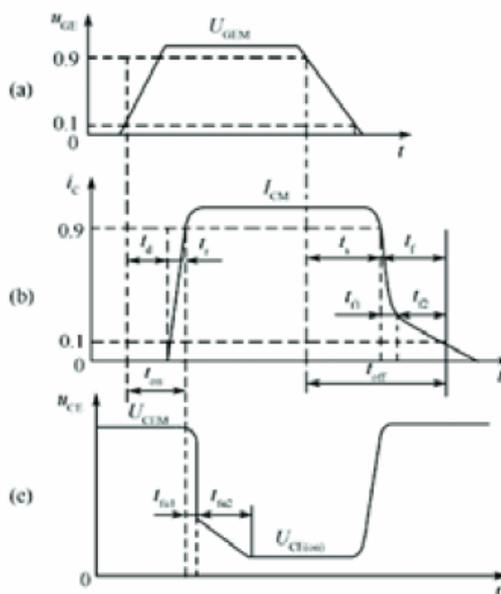
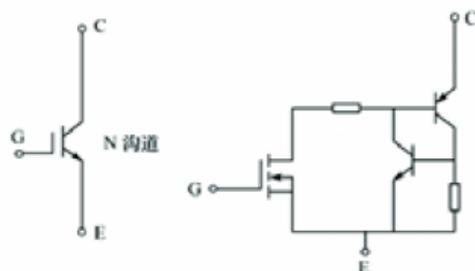
- 變流器的主要原件是 IGBT，IGBT 本身的損耗不但是造成能量損失的重要原因，過高的損耗還會造成裝置溫升過高，影響裝置的正常工作

21

Tektronix

應用五 功率裝置測試 (切換損耗量測)

- IGBT 的損耗量測
- 在閘極的控制下，源極和漏極應當快速的接通和斷開。否則，開啓和關閉的過程會消耗一定的功率，當功率達到一定程度，可能會燒毀 IGBT，損失在 IGBT 上的功率也是變流裝置本身功耗的一項重要來源



22

Tektronix

Tektronix 的逆變電路損耗量測方案

- DPO 系列示波器+THDP/P52 系列高壓差動探棒+TCP 系列電流探棒
- 優點：
 - 長記憶體長度能擷取整個功率頻率週期的上千次切換過程
 - 波形搜尋功能協助使用者快速找到最小或最大的損耗時刻
 - 進階數學運算和積分功能，協助使用者量測一個功率頻率週期或選定的一段時間內的總損耗
 - 長記憶體+波形搜尋可以實現在負載變化時找到高功率點

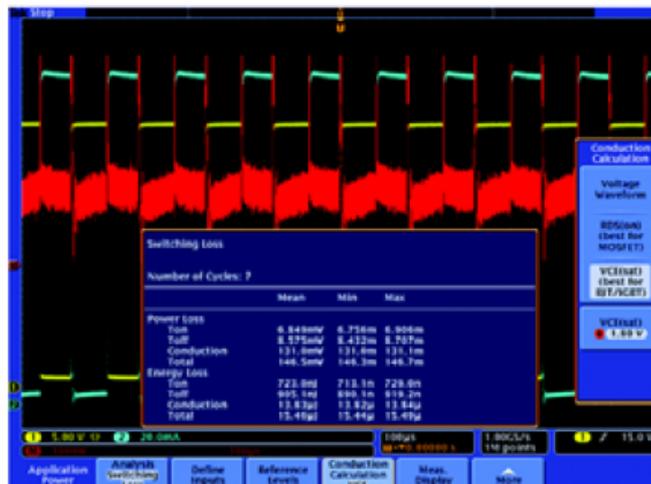


23

Tektronix

應用五 功率裝置測試 (切換損耗量測)

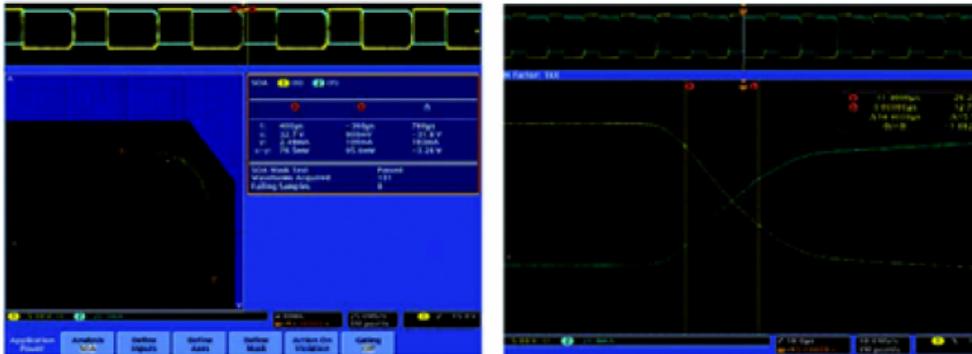
- 切換損耗測試
- 量測 IGBT 工作狀態下的損耗功率和能量
 - Ton
 - Toff
 - Tconduction
 - Ttotal
- 透過波形搜尋功能找到高功率損耗點



24

Tektronix

應用五 功率裝置測試 (安全工作區和 dv/dt、di/dt)



- 安全工作區測試，檢測最大電壓、最大電流和最大功率點
 - 使用者可自訂工作區
- 量測和查看 dv/dt、di/dt 時刻，簡化開極驅動的驗證

25

Tektronix

應用六 直流母線的電流波動量測

- 能源行業的眾多設備中的儲能環節使用電解電容，其使用壽命與溫度直接相關

$$L = L_0 \times 2^{\frac{T_{max} - T_a}{10}} \quad \text{--- 4.1}$$

L : Estimated life(Hr)
 L₀ : Life at rated temperature (Hr)
 T_{max} : Rated Temperature (°C)
 T_a : Ambient Temperature (°C)

- 電容器內部溫升與漣波電流的平方成正比

$$\Delta T_c = \frac{I^2 \times R}{\beta \times S} \quad \text{--- 4.2}$$

ΔT_c : Surface heat rise (°C)
 I : Ripple current (Arms)
 R : ESR of capacitor (Ω)
 S : Surface area of capacitor (cm²)
 β : Heat radiation factor (W/°C·cm²)

- 控制漣波電流能有效提升變流裝置的整體壽命

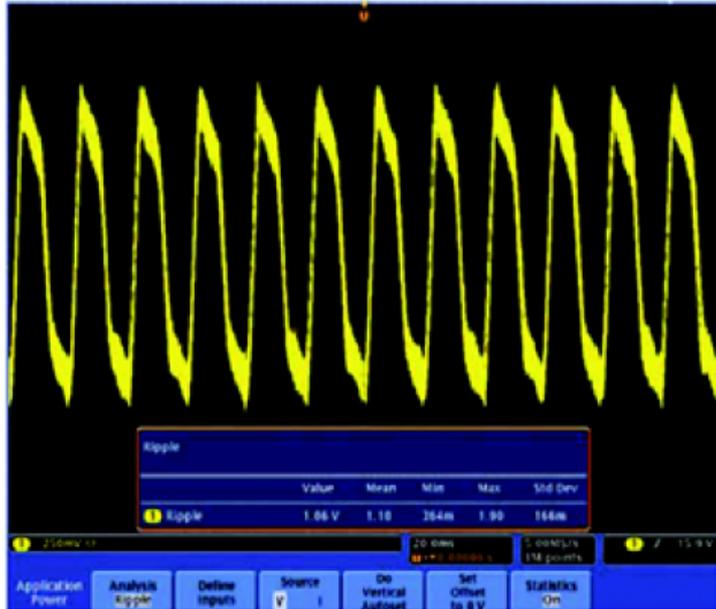
26

Tektronix

應用六 直流母線的電流波動量測

直流波動量測

- 直接顯示百分比或有效值、峰峰值
- 具統計功能
- 電壓和電流波動均可量測

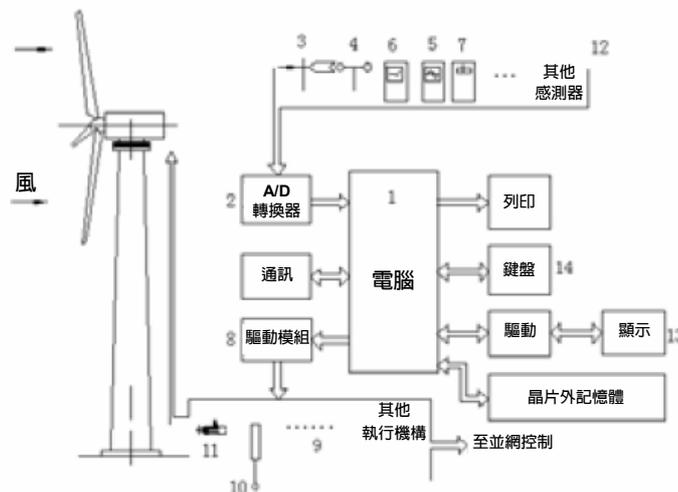


27

Tektronix

應用七 伺服驅動系統除錯

- 變槳距系統、偏航系統都是典型的伺服系統
- 變槳距系統多為電液伺服系統
- 偏航系統有角度、纜線纏繞等感測器控制

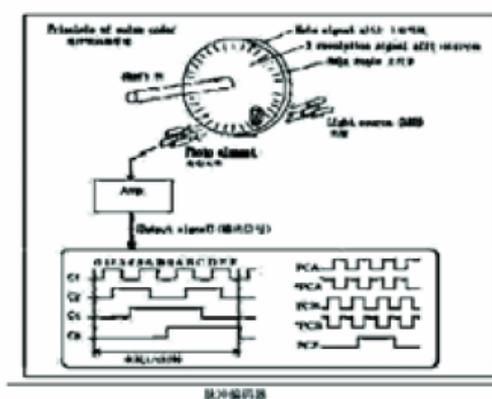


28

Tektronix

應用七 伺服驅動系統除錯

- 風速、角度和位置感測器是伺服系統的重要組成部分，此外轉子電流、網側電壓等訊號也需要量測
- 使用 MSO 示波器的邏輯通道，檢測感測器的編碼電路輸出是否正確。配合長記憶體示波器，可以調變當位置或角度變化為某一值時 (並列匯流排的一種解碼資料) DSP 發出啟動或終止馬達工作的訊號

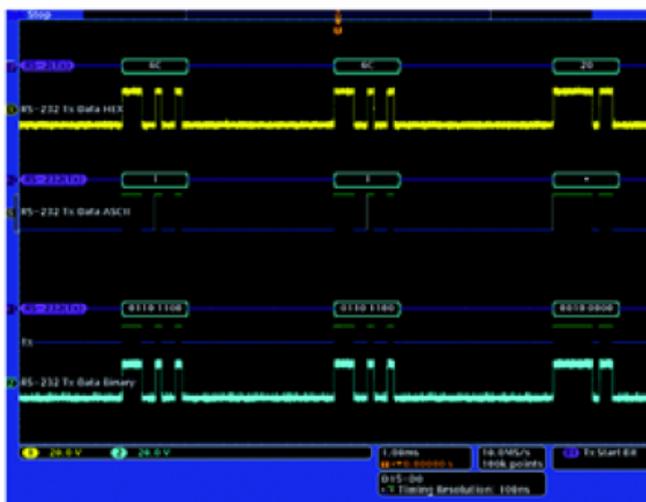


29

Tektronix

應用七 伺服驅動系統除錯 (匯流排除錯)

- 現代風力機組採用大量工業匯流排用於通訊，如 CAN、RS232/485
- Tektronix 示波器具有匯流排解碼功能，可以將 I²C、SPI、RS232/422/45、CAN/LIN、並列匯流排解碼、觸發，並和類比訊號一起完成系統級的除錯



30

Tektronix

應用八 電源品質量測

- 有效功率定義：

$$P = u \cdot I \cdot \cos \phi$$

U 是電壓的有效值 (Urms)、I 是電流的有效值 (Irms)、 ϕ 是電壓和電流的相角

- 瞬間功率積分法 (示波器的功率量測方法)

$$p = u \cdot i$$

一定時間內的功率

$$P = \int u \cdot i dt$$

- 使用第一種方法，電壓和電流必須是有效值。對於含有高次諧波的情況，很難準確量測有效值
 - 普通的功率量測儀器只量測功率頻率有效功率，儀器的頻寬只有幾 KHz，無法量測出高次諧波
 - 量測變流器輸出功率，測試儀器必須有足夠高的頻寬

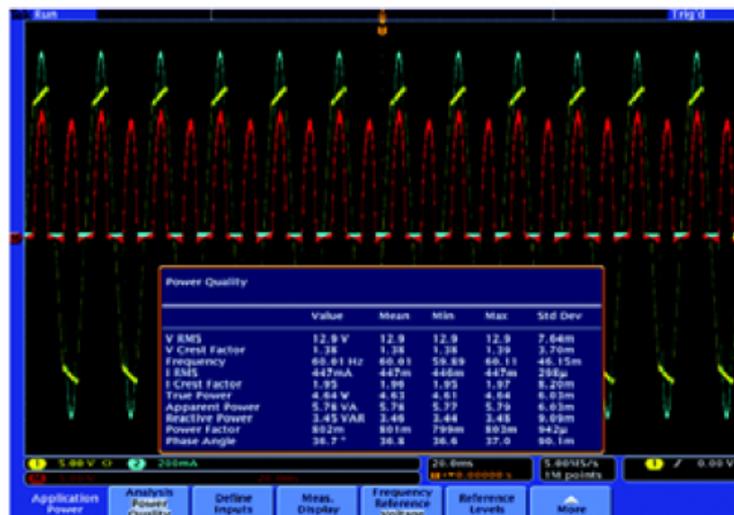
31

Tektronix

應用八 電源品質測試

電源品質測試：

- 電壓有效值
- 電流有效值
- 電壓的波峰因數
- 電流的波峰因數
- 有效功率
- 視在功率
- 無效功率
- 功率因數
- 相角



32

Tektronix

並網電流諧波要求

國網公司對於光伏電站並網電流的諧波要求

表 2 注入公共連接點的諧波電流允許值

標稱電壓 (kV)	基準短路容量 (MVA)	諧波次數及諧波電流允許值 (A)											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24
6	100	43	34	21	34	14	21	11	11	8.5	16	7.1	13
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7
66	300	16	13	8.1	13	5.1	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5
110	750	12	9.6	6	9.6	4	6.8	3	3.2	2.4	4.3	2	3.7
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	3.7	4.1	3.2	6	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	300	2.3	2.6	2	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1	1.9

表 1 零次諧波電流含有率限值

零次諧波次數	含有率限值 (%)
2 nd -10 th	4.0
11 th -16 th	2.0
17 th -20 th	1.5
21 th -30 th	0.6
30 th 以上	0.3

表 2 偶次諧波電流含有率限值

偶次諧波次數	含有率限值 (%)
2 nd -10 th	1.0
11 th -16 th	0.5
17 th -20 th	0.375
21 th -30 th	0.15
30 th 以上	0.075

總諧波 < 5%

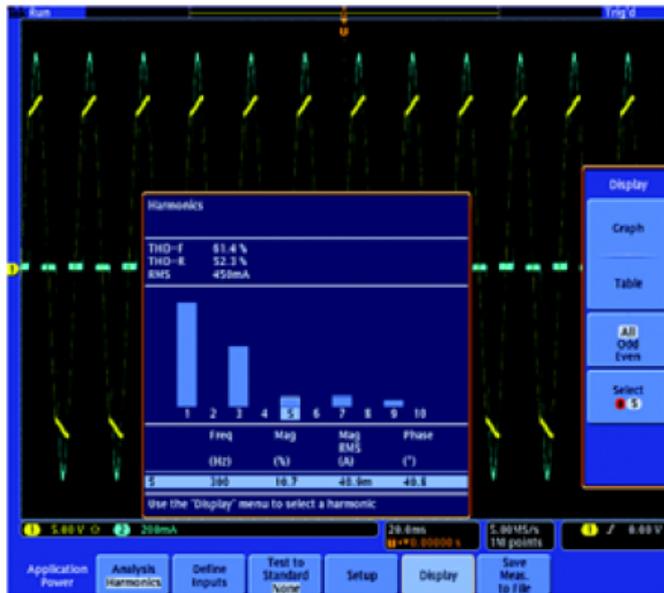
33

Tektronix

應用八 電源品質測試

諧波測試

- 量測電壓或電流的諧波
- 顯示 THD 和真有效值資料
- 基波可以是 50 Hz、60 Hz、400 Hz 或使用自訂
- 最多顯示 51 次諧波
- 採用 IEC61000-3-2、MIL-STD-1399 標準，也可使用者自訂
- 長條圖顯示或圖表顯示
- 結果可以存成檔案



34

Tektronix

MSO/DPO 系列示波器



	4000B 系列	3000 系列	2000 系列
頻寬	1 GHz、500 MHz、350 MHz	500 MHz、300 MHz、100 MHz	200 MHz、100 MHz
通道數量	4 個類比通道 16 個數位通道 (MSO 系列)	2 條或 4 條類比通道 16 條數位通道 (MSO 系列)	2 條或 4 條類比通道 16 條數位通道 (MSO 系列)
記錄長度	20 M 點	5 M 點	1 M 點
波形擷取速率	>50,000 wfm/s	>50,000 wfm/s	5,000 wfm/s
並列匯流排分析	是 (MSO 系列)	是 (MSO 系列)	是 (MSO 系列)
串列匯流排分析 (選購)	<ul style="list-style-type: none"> ■ I²C、SPI ■ CAN、LIN、FlexRay ■ RS-232/422/485/UART ■ I²S/LJ/RJ/TDM ■ LAN、1553 	<ul style="list-style-type: none"> ■ I²C、SPI ■ CAN、LIN ■ RS-232/422/485/UART ■ I²S/LJ/RJ/TDM 	<ul style="list-style-type: none"> ■ I²C、SPI ■ CAN、LIN ■ RS-232/422/485/UART
分析軟體磁片 (選購)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電源分析 ■ HDTV 和自訂視訊 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電源分析 ■ HDTV 和自訂視訊 	

35

Tektronix

Tektronix – 測試儀器專家

逆變設計，Tektronix 提供給您的不只是示波器



36

Tektronix

第四章

Tektronix 測試選購指南

示波器及探棒選購指南

		TPS2000B 系列 加 TPS2PWR1 模組	TDS3000C 加 TDS3AAM 模組	DPO/MSO4000B DPO/MSO3000 系列 加 DPOxPWR 模組	DPO/MSO5000 加 DPOxPWR 選項
技術規格	頻寬	100M–200MHz	100M–500MHz	100M–1GHz	350M–2GHz
	記錄長度	2.5K	10K	20M/5M	12.5M/125M (選項)
	取樣率 所有通道同時打開	2Gs/s	5Gs/s	5Gs/s、2.5Gs/s	10Gs/s
	示波器最大輸入電壓	300V _{rms}	150V _{rms}	300V _{rms}	300V _{rms} 、425V _{peak}
專用功能	自動化探棒校驗			√	√
	隔離和浮動通道	√			
	Windows 操作系統				√
	電池供電操作	√	√		
	FFT 分析功能	√	√	√	√
電源品質量測	V _{rms}	自動	自動	自動	自動
	I _{rms}	自動	自動	自動	自動
	有效功率	自動	手動	自動	自動
	無效功率	自動		自動	自動
	視在功率	手動	手動	自動	自動
	功率因數	自動	手動	自動	自動
	波峰因數	自動	手動	自動	自動
	相角	自動	手動	自動	自動
	諧波	自動	手動	自動	自動
總諧波失真	自動		自動	自動	
輸入輸出分析	功率頻率漣波	手動	手動	自動	自動
	開關雜訊	手動	手動	自動	自動
諧波一致性測試	EN61000-2-3 一致性預測試	手動		自動	自動
	ML 1399	手動		自動	自動
主動式裝置測試	切換損耗測試	手動	手動	自動	自動
	安全工作區測試 (SOA)	手動	手動	自動	自動
	動態電阻測試 (di/dt、dv/dt)	手動	手動	自動	自動
	調變分析			自動	自動
被動式裝置測試	電感測試				自動
	磁性功率損耗				自動
	磁通量密度		手動	手動	自動
	B-H 曲線				自動

	DPO/MSO4000B DPO/MSO3000 系列	DPO/MSO2000 系列	TPS2000B 系列	TDS3000C
高壓探棒	頻寬	100M—1GHz	100M—200MHz	100M—500MHz
	記錄長度	20M/5M		
	取樣率 (所有通道同時打開)	5Gs/s、2.5Gs/s	2Gs/s	5Gs/s
	示波器最大輸入電壓	300V _{rms}	300V _{rms}	150V _{rms}
專用功能	自動化探棒校驗	V		
	隔離和浮動通道		V	
	Windows 操作系統			
	電池供電操作		V	V
	FFT 分析功能	V	V	V
	V _{rms}	自動	自動	自動
	I _{rms}	自動	自動	自動
	有效功率	自動	自動	自動
	無效功率	自動	自動	自動
	視在功率	自動	自動	自動
高壓差動探棒	功率因數	自動	自動	自動
	波峰因數	自動	自動	自動
	相角	自動	自動	自動
	諧波	自動	自動	自動
	總諧波失真	自動	自動	自動
	工率頻率漣波	自動	自動	自動
	開關雜訊	自動	自動	自動
	EN61000-3-2 一致性預測試	自動	自動	自動
	MIL 1399	自動	自動	自動
	開關損耗測試	自動	自動	自動
電流探棒	安全工作區測試 (SOA)	自動	自動	自動
	動態電阻測試 (di/dt、dv/dt)	自動	自動	自動
	調變分析	自動		
	電感測試			
工業電流探棒	磁性功率損耗			
	磁通量密度	手動		
	B-H 曲線			

Tektronix 電流測試解決方案

頻寬 Hz	峰值脈衝 A	最大交流 峰值	最大直流		安培秒積 A*S	鉗口直徑		介面形式	MDO4000/ DP-OMSO 4000B/3000	MSO/DPO 2000	TDS3000C	TFS2000B	TDS2000C /1000C-SC	其他廠牌 示波器
			A	A		mm	mm							
電流測試系統														
TCPA300 TCP312	50A	60A	5A @ 1A/V 30A @ 10A/V	50A* μ S 500A* μ S	50A* μ S 500A* μ S	3.8	TekProbe II 和 BNC	•	•	•	•	•	•	•
TCPA300 TCP305	50A	100A	25A @ 5A/V 50A @ 10A/V	500A* μ S --	500A* μ S --	3.8	TekProbe II 和 BNC	•	•	•	•	•	•	•
TCPA300 TCP303	150A	424A	25A @ 5A/V 150A @ 50A/V	3000A* μ S 15000A* μ S	3000A* μ S 15000A* μ S	21X25	TekProbe II 和 BNC	•	•	•	•	•	•	•
TCPA400 TCP404XL	750A	1414A	750A	--	--	21X25	TekProbe II 和 BNC	•	•	•	•	•	•	•
直接連接型電流探棒														
TCP0030	50A	84A	5A 30A	50A* μ S 500A* μ S	50A* μ S 500A* μ S	3.8	TekVPI	•	• + P					
TCP0150	150A	424A	25A @ 25A/V 150A @ 150A/V	3000A* μ S 15000A* μ S	3000A* μ S 15000A* μ S	21X25	TekVPI	•	• + P					
TCP202	50A	40A	15A	500A* μ S	500A* μ S	3.8	TekProbe II	• + A		•	• + 1103	• + 1103	• + 1103	• + 1103
其他電流探棒														
P6021	120-60M	250A	15A	0.5A	500A* μ S	3.8	BNC	•	•	•	•	•	•	•
P6022	935-120	100A	6A	0.2A	9A* μ S	3.58	BNC	•	•	•	•	•	•	•
CT1	25K-1G	12A	1.4A	0.3A	1A* μ S	1.78	BNC	•	• Ω	•	•	•	•	•
CT2	1.2K-200K	36A	7A	0.3A	50A* μ S	1.32	BNC	•	• Ω	•	•	• Ω	•	• Ω
CT6	250K-2G	6A	0.7A	0.2A	0.25A* μ S	0.8	BNC	•	•	•	•	•	•	•
A621	5-50K	2000A	4000A	--	1A* μ S	54	BNC	•	•	•	•	•	•	•
A622	DC-100K	100A	200A	100A	--	11.8	BNC	•	•	•	•	•	•	•

- 可以直接連接使用
 - + Δ 連接 TPA-BNC 轉接器使用
 - + P 可以直接連接使用，主機需要加配 TEK/PI 電源轉接器
 - Ω 透過 50 歐姆終端轉接器連接
 - + 1103 連接 1103 電源使用
- 純交流探棒
 交直流探棒
- 相關資訊請參閱：<http://www.tektronix.com/zh-tw/products/accessories>

高壓與高壓差動探棒選購表

類型	型號	最大輸入電壓 DC+ACpk	最大浮動電壓 V	頻寬 MHz	上升時間 ns	衰減比	輸入阻抗	介面形式	MDO4000/ DPOMSO 4000B/3000	MDO/DPO 2000	TDS3000C	TPS2000B	TDS2000C /1000C-SC	其他廠牌 示波器
被動式高壓	P5100A	1000V 2500Vpk		500	1.75ns	100X	40MΩ 1.5pF	BNC	•	•	•	•	•	•
被動式高壓	P5122	1000V	600V _{rms} CATIII	200	2.2ns	100X	100MΩ 4pF	BNC	•	•	•	•	•	•
被動式超高壓	P6015A	20KV 40KVpk		75	4ns	1000X	100MΩ 3pF	BNC	•	•	•	•	•	•
被動式高壓	TPP0850	1000V 2500Vpk		800	<700ps	50X	40MΩ 1.5pF	TEK-VPI	•					
被動式高壓/ 連波訊號	TPP0502	300V		500	<700ps	2X	2MΩ 12.7pF	TEK-VPI	•					
類型	型號	差動輸入電壓 DC+ACpk	共模輸入電壓 V	頻寬 MHz	共模抑制比 CMRR	衰減比	輸入阻抗	介面形式	MDO4000/ DPOMSO 4000B/3000	MDO/DPO 2000	TDS3000C	TPS2000B	TDS2000C /1000C-SC	其他廠牌 示波器
中壓差動	TMDP0200	± 750V ± 75V	550V CATI 300V CATIII	200	> -60dB	250X 25X	5MΩ <2pF	TekVPI	•	• + P				
中壓差動	P5202A	± 640V ± 64V	640CATII	100	> -50dB	200X 20X	5MΩ <4pF	TEKPROBE	• + △	• + △ + P	•	• + 1103	• + 1103	• + 1103
高壓差動	THDP0200	± 1500V ± 150V	1000V CATII 600V CATIII	200	> -60dB	500X 50X	10MΩ <2pF	TekVPI	•	• + P				
高壓差動	P5201	± 1300V ± 130V	1000 CATII	25	> -50dB	500X 50X	4MΩ <5.5pF	BNC	•	•	•	•	•	•
高壓差動	P5200A	± 1300V ± 130V	1000 CATII	50	> -50dB	500X 50X	5MΩ <4pF	BNC	•	•	•	•	•	•
高壓差動	P5205A	± 1300V ± 130V	1000 CATII	100	> -50dB	500X 50X	5MΩ <4pF	TEKPROBE	• + △	• + △ + P	•	• + 1103	• + 1103	• + 1103
超高壓差動	THDP0100	± 6000V ± 600V	2300 CATI 1000 CATIII	100	> -60dB	1000X 100X	40MΩ <2.5pF	TekVPI	•	• + P				
超高壓差動	P5210A	± 5600V ± 560V	2200 CATII	50	> -50dB	1000X 100X	20MΩ <3pF	TEKPROBE	• + △	• + △ + P	•	• + 1103	• + 1103	• + 1103

• + △ + P 連接 TPA-BNC 轉接器使用，主機需要加配 TEKVP1 電源轉接器

• + 1103 連接 1103 電源使用

相關資訊請參閱：<http://www.tektronix.com/zh-tw/products/accessories>

• 可以直接連接使用

• + △ 連接 TPA-BNC 轉接器使用

• + P 可以直接連接使用，主機需要加配 TEKVP1 電源轉接器

Tektronix 高壓探棒

P5100A • TPP0850 • P5120 • P5122 • P6015A 產品規格表



P5120

特色與優點

P5100A

- 直流至 500 MHz
- 2500 V_{Peak} , 1000 V CAT II
- Tektronix 示波器可直接判斷 100 倍的衰減倍率
- 符合 UL3111-1、EN61010-1、IEC61010-2-031、CSA1010.1、CSA1010.2.031 等安規
- 補償範圍：7 至 30 pF

TPP0850

- 直流至 800 MHz
- 2500 V_{Peak} , 1000 V CAT II
- 50X，支援讀數編碼
- 專門設計供 MSO/DPO5000 和 MSO/DPO4000B 系列示波器使用

P5120

- 用於 TPS2000 系列
- 直流至 200 MHz
- 1000 V_{RMS} CAT II
- 浮動電壓高達 600 V_{RMS} CAT II 或 300 V_{RMS} CAT III
- 衰減 20 倍
- 補償範圍：15 至 25 pF
- 符合 UL61010B-2-031、EN61010-2-031、IEC61010-2-031、CSA61010.2.031 等安規

P5122

- 僅專用於 TPS2000 系列
- 直流至 200 MHz
- 直流耦合時為 1000 V_{RMS} CAT II
- 浮動電壓高達 600 V_{RMS} CAT III
- 衰減 100 倍
- 符合 IEC61010-031 安規

P6015A

- 高壓 – 20 KV 直流 / 40 KV 峰值 (100ms 脈波寬度)
- 高頻寬 – 直流至 75 MHz
- 矽樹脂絕緣介質
- 1000X，支援讀數編碼 (選購)
- 寬廣的補償範圍：7 至 49 pF
- 重型通用地線和鱷魚夾

第四章：Tektronix 測試選購指南

應用

- 電源供應器設計
- 馬達驅動器設計
- 電子安定器
- 功率半導體
- 交換模式控制
- 不斷電系統
- 電源轉換器

*1 P5122 探棒不能用於 300 V 以上直流偏移訊號的交流耦合量測；
P5120 探棒建議用於量測高壓直流電源供應器的漣波。

P5100A 高壓探棒

P5100A 是一支專為較高頻率應用設計的低輸入電容高壓探棒 (2.5 kV)，可以 7–30 pF 的額定輸入電容對插入元件及示波器進行補償，具備多種旋轉式配件可方便連接待測裝置。

TPP0850 高壓探棒

TPP0850 為業界目前量測高壓 (高達 2500 V_{p-p}) 應用中頻寬最高的探棒 (800 MHz)，增加切換速度以減少功耗，是目前功率半導體與交換式電源供應器的設計需求。量測高壓的快速上升時間訊號一直是業界頭痛的問題，TPP0850 的推出是解決這些新興電源應用的良方。

P5120 和 P5122 IsolatedChannel™ 應用

在進行量測時，重要的是能夠隔離接地及通道之間共同電壓所產生的雜訊。P5120 或 P5122 探棒搭配 TPS2000 系列數位儲存示波器，可在進行量測時能同時完全隔離接地及通道之間的雜訊。P5120 探棒建議用於量測高壓直流電源供應器的漣波。P5122 探棒不能用於 300 V 以上直流偏移訊號的交流耦合量測。



P6015A

P6015A 高壓探棒

P6015A 是業界標準耐用的高效能探棒，其電壓量測值超過 2.5 kV。您可以量測高達 20 kV_{RMS} 直流電壓及高達 40 kV 脈衝 (峰值，持續時間 100 ms)，而 75 MHz 頻寬使您能夠擷取快速、高壓訊號。

P6015A 使用對環境無害的矽樹脂絕緣介質，永不需補充。其他功能如下：具 7–49 pF 補償範圍、適用於鄰近放大器輸入的小型補償盒，以及供 Tektronix 數位示波器使用的讀數選項。有了讀數選項，顯示的電壓振幅值便是實際的訊號值，而不需要手動設定或換算量測值。

附註：使用其他非 Tektronix 數位示波器讀數版本可能會導致錯誤的讀數顯示。

特性

P5100A/TPP0850/P5120/P5122/P6015A

探棒	實際長度	衰減	頻寬	上升時間 (典型)	載入 阻抗	最大輸入電壓 DC 或 RMS	最大浮動電壓	補償範圍 (單位 pF)	讀數
P5100A	2 公尺	100 倍	500 MHz	1.75 ns	40 MΩ / 1.5 pF	2.5 kV _{Peak} 1000 V CAT II	不提供	7 至 30	是
TPP0850	1.3 公尺	50 倍	800 MHz	< 700 ps	40 MΩ / 1.5 pF	2.5 kV _{Peak} 1000 V CAT II	不提供	不提供	是
P5120	3 公尺	20 倍	200 MHz	2.2 ns	5 MΩ / 11.2 pF	1000 V _{RMS} CAT II	600 V _{RMS} CAT II、 300 V _{RMS} CAT III	15 至 25	否
P5122	1.2 公尺	100 倍	200 MHz	2.2 ns	100 MΩ / 4.0 pF	1000 V _{RMS} CAT II	600 V _{RMS} CAT III	10 至 22	否
P6015A	3 公尺	1000 倍	75 MHz	4.0 ns	100 MΩ / 3 pF	20 kV	不提供	7 至 49	否
P6015A (選購) 1R	3 公尺	1000 倍	75 MHz	4.0 ns	100 MΩ / 3 pF	20 kV	不提供	7 至 49	是

訂購資訊

P5100A/TPP0850

100 倍高壓探棒 (2 公尺)

包括：纜線標記組、鱷魚夾、調整工具、探鉤探棒頭 (小)、探鉤探棒頭 (大)、18 英寸接地線、6 英寸接地線、使用手冊 (070-8151-04)

建議選購的配件

配件	說明
013-0291-xx	探棒頭至 BNC 轉接器
206-0060-xx	直徑 0.080 英寸彈簧探棒頭

P5120

20 倍高壓探棒 (適用於 TPS2000 系列)

包括：大型可伸縮探鉤、小型可伸縮探鉤、6 英寸普通引線、18 英寸普通引線、大鱷魚夾、彩色纜線標記、調整工具、使用手冊 (071-1463-xx)

P5122

100 倍高壓探棒 (適用於 TPS2000 系列)

包括：大型可伸縮探鉤、小型可伸縮探鉤、6 英寸普通引線、18 英寸普通引線、大鱷魚夾、彩色纜線標記、調整工具、使用手冊 (071-1463-xx)

P5120、P5122 建議選購的配件

請參見 P5120、P5122 探棒配件

P6015A

1000 倍高壓探棒 (3 公尺)

包括：探鉤 (206-0463-xx)、香蕉型插頭 (134-0016-xx)、可插入接地線的鱷魚夾 (344-0461-xx)、接地線 (196-3363-xx)、提箱 (016-1147-xx)、使用手冊 (070-8223-xx)

選項 (僅 P6015A)

選項	說明
選項 1R	3 公尺長 (含讀數)

服務 (僅 P6015A)

選項	說明
選項 C3	3 年校驗服務
選項 C5	5 年校驗服務
選項 D1	校驗資料報告
選項 D3	3 年校驗資料報告 (需先購選項 C3)
選項 D5	5 年校驗資料報告 (需先購選項 C5)
選項 R3	3 年維修服務
選項 R5	5 年維修服務

Tektronix 高壓差動式探棒

TMDP0200 • THDP0200 • THDP0100 • P5200A • P5202A • P5205A • P5210A



功能與特色

- 頻寬高達 200 MHz
- 高達 6000 V 差動 (DC + pk AC)
- 高達 2300 V (一般, RMS)
- 超出範圍指示器
- 安全認證
- 可切換的衰減
- 可切換的頻寬限制

應用

- 浮動量測
- 切換式電源供應器設計
- 馬達驅動裝置設計
- 電子安定器設計
- CRT 顯示器設計
- 電源轉換器的設計和服務
- 電源裝置評估

安全高壓探棒解決方案

Tektronix 提供廣泛的高電探測解決方案產品組合，讓使用者能夠安全準確地進行浮動量測。

Tektronix THDP0100 和 P5210A 擁有最大的差動動態範圍功能，讓使用者能夠安全量測高達 ± 6000 V 的電壓。THDP0100 支援高達 100 MHz 的頻寬及 1/1000 增益時高達 2500 V/ns 的迴轉率。這些探棒均配備兩種尺寸的探鉤，並有一個超出範圍即會顯示及發出聲音的指示器，以在使用者量測值超過探棒線性範圍時發出警告。

THDP0200 和 P5205A 是主動式差動探棒，能夠安全量測高達 1500 V 的差動電壓，非常適用於如馬達驅動裝置和電源轉換器這類的 IGBT 電路。THDP0200 支援高達 200 MHz 的頻寬及 1/250 增益時高達 275 V/ns 的迴轉率。

TMDP0200 和 P5202A 專用於中壓應用，其差動需求高達 ± 750 V，具有較低的衰減範圍，並提供最佳訊號雜訊比。

P5200A 可用於任何示波器，讓使用者能夠安全地量測與他們示波器接地的浮動電路。P5200A 主動式差動探棒可將浮動訊號轉換成低壓接地參考訊號，讓您可以輕鬆安全地在任何接地參考的示波器上顯示這些訊號。

警告：為了安全起見，請勿將 P5200A 高壓差動探棒與具有浮動輸入 (隔離輸入) 的示波器一起使用，例如 Tektronix TPS2000 和 THS3000 系列示波器。P5200A 高壓差動探棒需搭配具接地輸入的示波器或其他量測儀器使用才行。

連接選項

TMDP 和 THDP 系列探棒均配備 TekVPI[®] 介面，允許示波器和探棒之間進行智慧型的通訊。按壓探棒功能表按鈕，將會啟動示波器顯示器上的探棒控制功能表，讓您存取所有探棒相關設定和控制功能。這些探棒專用於 TekVPI[®] 示波器，不需連接 TPA – BNC 轉接器即可使用。

P52xxA 系列探棒均配備 Tektronix TekProbe[®] 介面，能將小數位數資訊傳送到示波器。可直接連接配置 TekProbe[®] 介面的示波器，或是使用 1103 TekProbe[®] 電源供應器的任何示波器。

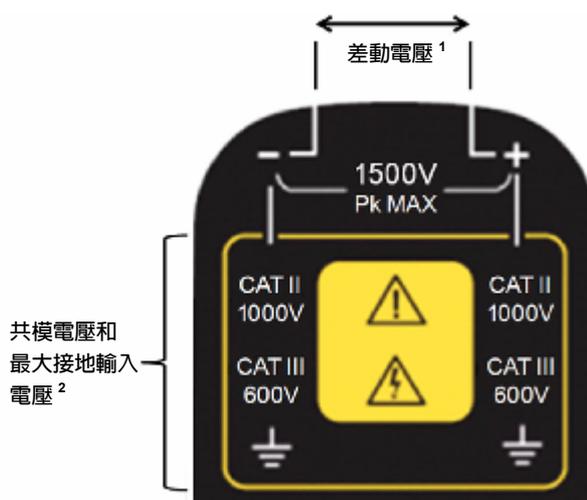
特性

探棒 (附 TekVPI® 介面)

特性	TMDP0200	THDP0200	THDP0100
衰減	25X / 250X	50X / 500X	100X / 1000X
差動電壓	250X : ±750 V 25X : ±75 V	500X : ±1500 V 50X : ±150 V	1000X : ±6000 V 100X : ±600 V
共模電壓	±750 V	±1500 V	±6000 V
最大輸入接地電壓	550 V CAT I 300 V CAT III	1000 V CAT II 600 V CAT III	2300 V CAT I 1000 V CAT III
頻寬	200 MHz	200 MHz	100 MHz
上升時間	<1.8 ns	<1.8 ns	<3.5 ns
週轉率	1/250 增益時為 <275 V/ns	1/500 增益時為 <650 V/ns	1/1000 增益時為 <2500 V/ns
探棒頭輸入阻抗	5 MΩ <2 pF	10 MΩ <2 pF	40 MΩ <2.5 pF
典型 CMRR	DC : > -80 dB 1 MHz : > -60 dB 3.2 MHz : > -30 dB 50 MHz : > -26 dB	DC : > -80 dB 1 MHz : > -60 dB 3.2 MHz : > -30 dB 50 MHz : > -26 dB	DC : > -80 dB 1 MHz : > -60 dB 3.2 MHz : > -30 dB 100 MHz : > -26 dB
纜線長度	1.5 公尺	1.5 公尺	1.5 公尺

探棒 (附 TekVPI® 介面)

特性	P5200A	P5202A	P5205A	P5210A
衰減	50X / 500X	20X / 200X	50X / 500X	100X / 1000X
差動電壓	500X : ±1300 V 50X : ±130 V	200X : ±640 V 20X : ±64 V	500X : ±1300 V 50X : ±130 V	1000X : ±5600 V 100X : ±560 V
共模電壓	±1300 V	±640 V	±1300 V	±5600 V
最大輸入接地電壓	1000 V CAT II	450 V CAT I 300 V CAT II	1000 V CAT II	2300 V CAT I 1000 V CAT III
頻寬	50 MHz	100 MHz	100 MHz	50 MHz
差動輸入阻抗	10 MΩ, 2 pF	5 MΩ, 2 pF	10 MΩ, 2 pF	40 MΩ, 2.5 pF
每個輸入端與接地端之間的輸入阻抗	5 MΩ, 4 pF	2.5 MΩ, 4 pF	5 MΩ, 4 pF	20 MΩ, 5 pF
典型 CMRR	DC : > 80 dB 100 KHz : > 60 dB 3.2 MHz : > 30 dB 50 MHz : > 26 dB		DC : > 80 dB 100 KHz : > 60 dB 3.2 MHz : > 40 dB 50 MHz : > 30 dB	
纜線長度	1.8 公尺			



THDP0200 探棒標籤

1. 此為探棒 (+) 和 (-) 輸入引線之間最大的量測範圍，超過這些限制的輸出將會被裁剪。
2. 最大共模電壓和最大輸入接地電壓 (RMS) 是最大電壓，每條輸入引線 (+/-) 可接地。

訂購資訊

P5200A、P5202A 和 P5205A

高壓差動式探棒。

包括：2 個掛鉤夾 (AC280-FL)、2 個鉗形夾 (AC283-FL)、2 個鱷魚夾 (AC285-FL)、2 條延長纜線 (196-3523-00)。

附註：請在訂購時註明電源線選項。

電源插頭選項 (僅 P5200A 型號)

選項	說明
選項 A0	美國電源插頭
選項 A1	歐洲電源插頭
選項 A2	英國電源插頭
選項 A3	澳洲電源插頭
選項 A5	瑞士電源插頭
選項 A6	日本電源插頭
選項 A10	中國電源插頭
選項 A11	印度電源插頭
選項 A12	巴西電源插頭

TMDP0200 和 THDP0200

高壓差動式探棒

包括：2 個掛鉤夾 (AC280-FL)、2 個鉗形夾 (AC283-FL)、2 個鱷魚夾 (AC285-FL)、2 條延長纜線 (196-3523-00)、2 條測試引線 (TP175-FL)、1 個高壓差動瀏覽器 (THV-BROWSER)，以及 1 個探棒支架 (TPH1000)。

THDP0100 和 P5210A

高壓差動式探棒

包括：2 個探針、2 個大掛鉤夾、2 個小掛鉤夾、2 個探棒頭 (再訂購的套件編號 020-3070-00)。

第四章：Tektronix 測試選購指南



196-3523-00：延長引線 (1.5 公尺)



AC283-FL：鉗形夾。



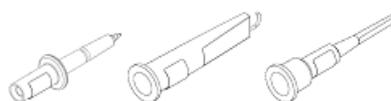
AC280-FL：掛鉤夾。



AC285-FL：鱷魚夾。

服務選項

選項	說明
選項 C3	3 年校驗服務
選項 C5	5 年校驗服務
選項 D1	校驗資料報告
選項 D3	3 年校驗資料報告 (需要選項 C3)
選項 D5	5 年校驗資料報告 (需要選項 C5)
選項 R3	3 年維修服務
選項 R5	5 年維修服務



020-3070-00：掛鉤夾套件。

探棒和配件降額表 (搭配 P52xxA 系列探棒使用時的共同模式與接地相關規定)

配件	說明	TMDP0200 / P5202A	THDP0200 / P5200A	THDP0100 / P5210A
		450 V CAT I 300 V CAT II	/ P5205A 1000 V CAT II 600 V CAT III	2300 V CAT I 1000 V CAT III
196-3523-00	2 倍延長引線 (1.5 公尺)	標準	標準	標準
	2300 V CAT I 1000 V CAT III	450 V CAT I 300 V CAT II	1000 V CAT II 600 V CAT III	2300 V CAT I 1000 V CAT III
AC280-FL	2 倍掛鉤夾	標準	標準	選購
	1000 V CAT III 600 V CAT IV	450 V CAT I 300 V CAT II	1000 V CAT II 600 V CAT III	1000 V CAT I 1000 V CAT III
AC283-FL	2 倍鉗形夾	標準	標準	選購
	1000 V CAT III 600 V CAT IV	450 V CAT I 300 V CAT II	1000 V CAT II 600 V CAT III	1000 V CAT I 1000 V CAT III
AC285-FL	2 倍鱷魚夾	標準	標準	選購
	1000 V CAT III 600 V CAT IV	450 V CAT I 300 V CAT II	1000 V CAT II 600 V CAT III	1000 V CAT I 1000 V CAT III
020-3070-00	掛鉤夾套件	選購	選購	標準
	2300 V CAT I 1000 V CAT II	450 V CAT I 300 V CAT II	1000 V CAT II 600 V CAT II	2300 V CAT I 1000 V CAT II
TP175-FL	2 倍測試引線	標準 (TMDP0200)	標準 (TMDP0200)	選購
	1000 V CAT III 600 V CAT IV	550 V CAT I 300 V CAT III	1000 V CAT II 600 V CAT III	2300 V CAT I 1000 V CAT III



P52xxA 系列探棒為任何示波器提供了高壓差動量測解決方案。

CE



Tektronix 由 SRISRI Quality System Registrar 註冊 ISO9001 和 ISO 14001。

Tektronix 電流探棒資料



主要功能和特性

- AC/DC 電流量測
- DC 到 2 GHz 頻寬
- 1 mA 到 20,000 A 量測範圍
- 分離鐵心 (鉗式) 和固定式結構

應用

- 馬達驅動器
- 交換式電源供應器
- 磁碟機
- 電子安定器
- 逆變器
- 航空航太
- 資料儲存裝置讀出通道
- 半導體特性分析
- 高頻類比電路設計
- ESD 測試
- 訊號注入
- 差動電流量測
- 單次和低重複率電流脈衝量測
- 波群延遲量測

電流量測

Tektronix 提供最廣泛的高效能電流探棒產品。Tektronix 的電流探棒提供同時的交直流電流量測，頻寬覆蓋從直流到 2GHz，振幅從 1mA 到 20000A。

電流探棒量測電子流過導體產生的電場。在電流探棒的動態範圍內，導體周圍的磁場強度被轉換為線性的電壓輸出，並可以在示波器或其他儀器上進行顯示和進一步分析。

Tektronix 提供交流或交直流電流量測系統，有固定和滑塊式可分離鐵心二種形式。

交流和直流電流量測

交流電流在變壓器中，隨著電流方向的變化，產生電場的變化，並感應出電壓。交流電流探棒屬於被動式裝置，無需外接供電。穩定的直流電流卻不能在變壓器中感應出電流。利用霍爾效應，電流偏流的半導體裝置將產生與直流電場對應的電壓。所以，直流電流探棒是一種主動式裝置，需要外接供電。

兩種電流感應裝置在一些輸出點都會存在非線性問題。特定的交流電流探棒在最大振幅點或最大頻率點，同時在最小振幅點和最小頻率點都會產生這種非線性下滑現象。直流電流探棒從直流到最大頻率點都會是線性的，但是也會有最大和最小量測靈敏度。由於我們經常會遇到同時包含交流和直流成分的訊號，透過同一支探棒量測交直流成分非常重要。另外，看上去像是交流的波形(如方波)，會傳導和開啓，但是不會低於零安培，實際上包含了明顯的直流成分，不能使用只含變壓器的交流電流探棒進行準確的擷取。Tektronix 獨特的解決方案是整合霍爾元件和變壓器於一體，提供更加靈活的量測範圍。



TCP202 交直流電流探棒

分離式鐵心 (鉗式) 與固定式鐵心

為準確量測磁場強度，我們需要探棒鐵心完全環繞導線。Tektronix 提供二種機械結構的探棒類型：分離式鐵心和固定式鐵心。分離式 (鉗式) 提供更大的靈活性。透過精密的加工與生產，分離式鐵心探棒可以夾住導線，而不需要斷開導線。

固定式鐵心電流互感器 (CT) 提供小尺寸和非常高的頻率回應，量測非常快，小振幅的電流脈衝和交流訊號。它們是專門用以永久性或半永久性安裝在電路中的裝置，並有纜線方便地連接或斷開。

安培秒乘積

正如前面介紹的，當電流「太大」的時候，變壓器鐵心材料會由於飽和而產生非線性。「太大」是電流振幅和頻率共同作用的結果。電流平均振幅和乘以脈衝寬度稱為「安培秒乘積」。

每一探棒都有安培秒規格 (參閱電流探棒選購指南表)。如果訊號不超過這此規格，電壓輸出將會是線性的，量測結果就是準確的。

Tektronix 的電流量測系統中還使用一種利用相反的電流互相抵消的現象的特別的技術。電流放大器感應導體中的電流值，並提供一個與之大小相等，方向相反的電流與之抵消。這一「偏壓電流」消除變壓器中的電流，消除可能的鐵心損耗。

簡便的暫態功率量測

透過採用 P5205 或 P5210 差動探棒和 TCP202 電流探棒及相應的 TDS 示波器，可輕鬆即時量測功率。還可以在螢幕上計算和顯示功率能量。探棒上的傳播時間延遲相互匹配，可以根據時間校驗電流波形和電壓波形。透過使用示波器的抗偏移功能，還可以實現額外的準確度。



TCP300/400 系列電流探測系統

用於任何示波器的 AC/DC 電流探棒 – TCP300/400 系列 TCP312、TCP305、TCP303 具有電流放大器、功率模組及可供選擇的四種鉗式電流探棒，從 DC 到 100 MHz 達成準確的 AC 和 DC 波形量測。霍爾效應裝置電路與 Tektronix 電路技術相結合，保證廣大客戶預期的 Tektronix 電流探棒卓越效能。

通用電流探棒

A600 系列電流探棒可以用於 DMM、Tek Meter[®]或示波器。

用於任何示波器的 AC 電流探棒

分芯 P6021 和 P6022 電流探棒在廣泛的頻率上提供通用 AC 電流量測功能。這些探棒可以用於 1 MΩ 系統。

用於 Tektronix TDS 示波器的 AC/DC 電流探棒

TCP202 是為直接連接 TEKPROBE 示波器介面專門設計的通用分芯 AC/DC 電流探棒。



CT-6 線上電流探棒

線上電流探棒

CT-6 電流探棒具有非常小的波形因數，可以接入當前的讀/寫前置放大器。CT-1 和 CT-2 電流探棒是為永久或半永久線上安裝而設計的。實芯變流器帶有一個小孔，在電路組裝過程中，傳送電流的導體將穿過這個小孔。CT-1 和 CT-2 包括一條 107 公分 (42 英寸) 的 P6041 探棒纜線。

AC/DC 電流探棒

TCP0030 產品技術資料



主要功能和特性

- 簡便易用，準確地進行 AC/DC 電流量測
- 直接連接採用新型 TekVPI™ 探棒介面的 DPO7000 和 DPO4000 系列示波器
- 在示波器顯示畫面上自動確定單位刻度和讀數
- 分芯結構，輕鬆連接電路
- DC – >120 MHz 頻寬
- 30 A_{RMS} 最大電流功能
- 50 A 峰值電流功能

- 典型 DC 增益誤差低於 1%，準確度高
- 準確量測低達 1 mA 的電流位準
- 低雜訊和 DC 漂移
- 輕鬆消磁和自動歸零
- 透過探棒硬體存取簡便的示波器 UI 顯示功能表，設定控制和探棒狀態 / 診斷指示燈
- 經過美國和加拿大安全認證

應用

- 電源
- 半導體裝置
- 逆電器 / 電源轉換器
- 電子安定器
- 工控電子 / 消費性電子
- 行動通訊
- 馬達驅動器
- 交通運輸系統

TCP0030

TCP0030 是一種簡便易用的高效能 AC/DC 電流探棒，是為用於及直接連接 DPO7000 和 DPO4000 系列示波器上使用的 TekVPI™ 探棒介面設計的，而無需使用額外的電源。這款 AC/DC 電流量測探棒提供了 >120 MHz 的頻寬，並可以選擇 5 A 和 30 A 量程。它還提供了傑出的低電流量測功能，支援低達 1 mA 的電流位準準確度，這對滿足當前極具挑戰性的電流量測需求至關重要。

特性頻寬 – DC - \geq 120 MHz上升時間 – \leq 2.92 ns

最大 RMS 電流 – 30 A

最大峰值脈衝電流 – 50 A

最低靈敏度 –

1 mA (在支援 1 mV/div 設定的示波器上)

AC 耦合 (在支援 ACD/DC 耦合的示波器上)

電流範圍 – 5A 和 30A

最大裸線電壓 – 僅使用絕緣線

典型特性**DC 準確度** – \pm 1% 典型值 \pm 3% 保障值最大安培秒乘積 – 500 A* μ s (在 30A 範圍內)

插入阻抗 –

10 KHz 時 1m Ω 100 KHz 時 3.5 m Ω 1 MHz 時 0.08 Ω 10 MHz 時 0.15 Ω 100 MHz 時 0.7 Ω 120 MHz 時 0.85 Ω

訊號延遲 – 14.5 ns

環境**溫度** –

工作溫度：0 °C – +50 °C

非工作溫度：-40 °C – +75 °C

濕度 –

工作濕度：+30 °C 及以下時 5% – 95% 相對濕度 (RH)；

30 °C – +50 °C 時 5% – 85% 相對濕度，無冷凝。

非工作濕度：+30 °C 及以下時 5% – 95% 相對濕度

(RH)；30 °C – +75 °C 時 5% – 85% 相對濕度，無冷凝。

高度 –

工作高度：最高 3,000 公尺 (10,000 英尺)

非工作高度：最高 12,192 公尺 (40,000 英尺)

法規標準**標準標籤** –

CE (歐盟)

WEEE (歐盟)

實體特性

探棒探針尺寸	公分	英寸
高	3.2	1.25
寬	1.6	0.625
長	20	7.77

其他外觀尺寸

纜線長度	200	79
最大導線直徑	0.38	0.15
重量	公斤	磅
淨重	1.55	3.44

功率需求

TCP0030 由配備 TekVPI™ 探棒介面的 DPO7000 和 DPO4000 系列示波器直接供電

建議示波器

配備 TekVPI™ 探棒介面的 DPO7000 和 DPO4000 系列示波器。

標準配備保固

1 年保固，包括零件和人工費用。

訂購資訊**TCP0030**

AC/DC 電流探棒

包括：使用手冊 (071-1812-xx 英文，或 071-1813-xx 日文，或 071-1814-xx 簡體中文)^{*1}，保護蓋 (016-1923-xx)，探棒地線 – 長 6 英寸 (196-3120-xx)，尼龍提袋 (016-1952-xx)。^{*1} 在訂購時請註明手冊語言。**語言選項**

選項 L5 – 日文使用手冊

選項 L7 – 簡體中文使用手冊

服務選項

選項 C3 – 3 年校驗服務

選項 C5 – 5 年校驗服務

選項 D1 – 校驗資料報告

選項 D3 – 3 年校驗資料報告 (需選項 C3)

選項 D5 – 5 年校驗資料報告 (需選項 C5)

選項 R3 – 3 年維修服務

選項 R5 – 5 年維修服務

建議配件電流迴路，1 圈，50 Ω ，配備 BNC 連接器，用於效能檢驗 – 訂購 015-0601-50。

Tektronix 通過 SRI Quality System Registrar 的 ISO9001 和 ISO14001 認證

AC/DC 電流探棒

TCP0150 產品技術資訊



TCP0150

主要功能和特性

- 簡便易用，準確地進行 AC/DC 電流量測
- 直接連接配備 TekVPI 探棒介面的 DPO4000、MSO4000 和 DPO7000 系列示波器
- DC – 20 MHz 頻寬
- 150 A_{RMS} 最大電流功能
- 500 A 峰值電流功能
- 典型 DC 增益誤差低於 1%，準確度高
- 準確量測低達 5 mA 的電流位準
- 低雜訊和 DC 漂移

- 在示波器顯示畫面上自動確定單位刻度和讀數
- ATE 系統遠端可程式 GPIB 控制
- 分芯探棒探針結構，輕鬆連接電路
- 輕鬆消磁和自動歸零
- 透過探棒硬體存取簡便的示波器 UI 顯示功能表，設定控制和探棒狀態 / 診斷指示燈

應用

- 電源
- 半導體裝置
- 逆電器 / 電源轉換器
- 電子安定器
- 工控電子 / 消費性電子
- 馬達驅動器
- 交通運輸系統
- 註：需要 DPO7000 系列 3.0.2 或以上版本的韌體；以及 MSO/DPO4000 2.06 或以上版本的韌體。

TCP0150 是一種簡便易用的高效能 150 A AC/DC 電流探棒，是為用於及直接連接 DPO4000、MSO4000 和 DPO7000 系列示波器上使用的 TekVPI™ 探棒介面設計的，而無需使用額外的電源。這款 AC/DC 電流量測探棒提供了 20 MHz 的頻率頻寬，並可以選擇 25 A 和 150 A 量程。它還提供傑出的低電流量測功能，支援低達每格 5 mA 的電流位準準確度，這對實現高位準和低位準量測訊號的寬動態電流範圍至關重要。

特性

保障特性

特性	說明
頻寬	DC – ≥ 20 MHz (-3 dB)。額定頻寬隨著頻率提高而下降。參見表 1。(從公式上升時間頻寬 = .35/上升時間計算得出)
上升時間	≤ 17.5 ns
最大 RMS 電流	150 A
最大峰值脈衝電流	500 A
最低靈敏度	5 mA (在示波器 1 mV/div 設定上)。AC 耦合 (在支援 ACD/DC 耦合的示波器上)
電流範圍	25A 和 150A
最大裸線電壓	600 V _{RMS} CAT I 和 II 300 V _{RMS} CAT III

典型特性

特性	說明
DC 準確度	$\pm 1\%$ 典型值 $\pm 3\%$ 保障值
最大安培秒乘積	
25 A 範圍	3,000 A μ s
150 A 範圍	15,000 A μ s
插入阻抗	1 MHz 時 0.03 Ω 5 MHz 時 0.075 Ω 10 MHz 時 0.125 Ω 20 MHz 時 0.3 Ω
訊號延遲	≈ 21 ns
顯示的 RMS 雜訊	$\leq 500 \mu$ A _{RMS} (僅探棒)

環境

特性	說明
溫度	
工作溫度	0 °C – +50 °C
非工作溫度	-40 °C – +75 °C
濕度	
工作濕度	+30 °C 及以下時 5% – 95% 相對濕度 (RH) ; 30 °C – +50 °C 時 5% – 85% 相對濕度，無冷凝
非工作濕度	+30 °C 及以下時 5% – 95% 相對濕度 (RH) ; 30 °C – +75 °C 時 5% – 85% 相對濕度，無冷凝
高度	
工作高度	最高 2,000 公尺 (6,560 英尺)
非工作高度	最高 12,00 公尺 (40,000 英尺)

實體特性

外觀尺寸	公分/公尺	英寸
纜線長度	2 公尺	79 英寸
探棒頭部尺寸		
長	26.8 公分	10.55 英寸
寬	4.1 公分	1.6 英寸
高	15.6 公分	6.13 英寸
最大導線直徑	2.1 x 2.5 公分	0.83 英寸 x 1.0 英寸
重量	公斤	磅
毛重	0.7865	1.734
功率需求	TCP0150 由配備 TekVPI 介面的 DPO4000、MSO4000 和 DPO7000 系列示波器直接供電	

建議示波器

配備 TekVPI 探棒介面的 DPO4000、MSO4000 和 DPO7000 系列示波器。

註：需要 DPO7000 系列 3.0.2 或以上版本的韌體；以及 MSO/DPO4000 2.06 或以上版本的韌體。

第四章：Tektronix 測試選購指南

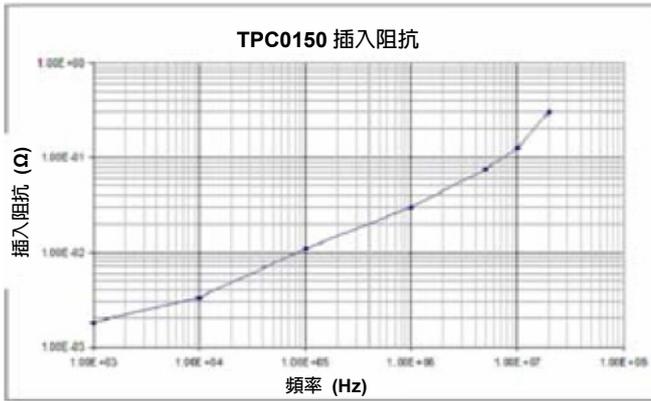


圖 1.

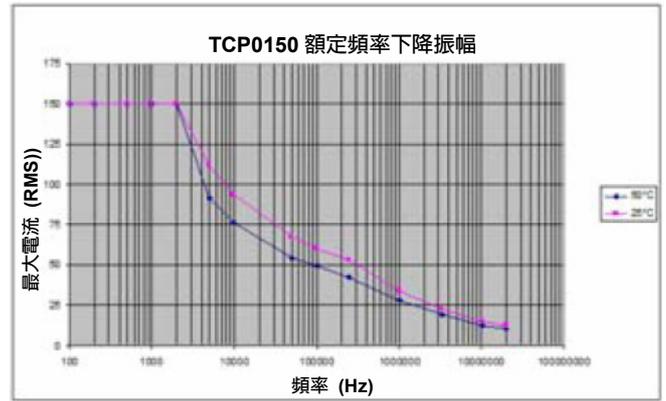


圖 3. 施加大於最大連續電流的電流時間不要超過 10 秒，以將加熱效應降到最小。

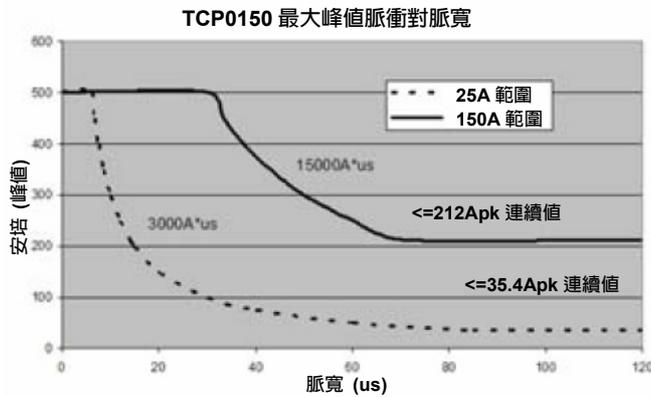


圖 2.

訂購資訊

TCP0150

AC/DC 電流探棒 (附 TekVPI 介面)。

包括：保護蓋 (016-1924-xx)，可追溯的校驗和資料標準認證。

選項

選項	訂購
選項 L0	英文使用手冊 (071-xxxx-xx, 標準配備)
選項 L5	日文使用手冊
選項 L7	簡體中文使用手冊

建議配件

訂購	配件
015-0601-50	電流迴路，1 圈，50Ω，配備 BNC 連接器，用於效能檢驗
067-1701-xx	TekVPI 校驗治具
067-1686-xx	DPO7000/70000 系列校驗/偏移校正治具

服務選項

選項	說明
選項 CA1	校驗一次
選項 C3	3 年校驗服務
選項 C5	5 年校驗服務
選項 D3	3 年校驗資料報告 (需要選項 C3)
選項 D5	5 年校驗資料報告 (需要選項 C5)
選項 R3	3 年維修服務
選項 R5	5 年維修服務



Tektronix 通過 SRI Quality System Registrar 的 ISO9001 和 ISO14001 認證



產品遵守 IEEE 標準 488.1-1987, RS-232-C，Tektronix 標準編碼和格式

直流耦合電流探棒

TCP202



TCP202 電流探棒

主要功能和特性

- 操作簡便
- 透過 TEKPROBE™ BNC 接頭直接與 TDS 系列示波器連接，直接探棒識別
- 直流到 50 MHz 頻寬
- 15 安培直流 + 峰值交流電流
- 50 安培峰值脈衝電流
- 500×10^{-6} 安培秒乘積
- 安全認證

應用

- 馬達驅動器
- 交換式電源供應器
- 磁碟機
- 電子安定器
- 逆變器

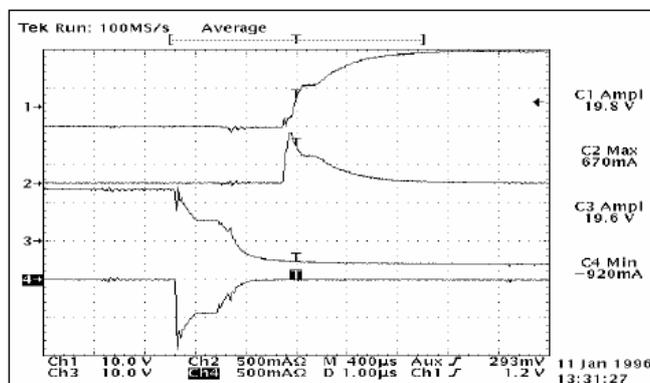
TCP202 直流耦合電流探棒

配合 Tektronix 的 TDS 系列數位示波器，TCP202 讓使用者可以直接在示波器上讀出直流和交流電流值，帶來更加清晰準確的顯示和量測結果的記錄。

TCP202 是顯示和量測電子電路電流的通用探棒。是理想的電源供應器、馬達驅動器及其他裝置的測試工具。

提高電流量測的準確度

TCP202 交直流電流探棒的準確度通常是 3%。但是，如果探棒配合專用的 TDS 示波器使用，使用選購的校準器（產品編號：015-0672-50）對整個系統進行校驗，其測試準確度可以達到 1%。這一準確度提高適合 Tektronix 的 TDS 系列示波器，如：TDS5000、TDS7000 系列示波器。



量測 IGBT 電流和電壓波形

技術參數

- 頻寬 – DC 到 50 MHz
- 最大直流 + 峰值交流電流 – 15A
- 最大峰值脈動電流 – 50 安培
- 最小靈敏度 – 10 mA/div
- 直流準確度 – $\pm 1\%$ (經過探棒校準器校正), $\pm 3\%$
- 最大裸線電壓 – 300 V (CAT I)
- 典型值：
- 插入損耗 – 0.002 歐姆/1 KHz ; 0.1 歐姆/5 MHz
- 波群延遲 – 17 ns
- 最大線徑 – 3.8 mm (0.15 in.)
- 靜電防護 – (IEC 801-2) >8 kV
- 安培秒乘積 – 500×10^{-6} 安培*秒
- 上升時間 – ≤ 7.0 ns

實體尺寸

- 重量 – 0.19 公斤 (0.44 磅)
- 纜線長度 – 2.2 公尺 (7.2 英尺)
- 供電 – TCP202 透過 TDS 示波器的 TEK PROBE 介面供電

安全

- UL 3111-1、CSA1010.1、EN61010-1、IEC61010-1、EN61010-2-032、IEC61010-2-032

訂購資訊

TCP202 直流耦合電流探棒

包括：操作指南 (070-9542-00)，參考手冊 (070-9543-02)

建議配件

探棒校準器 – 015-0672-50

交流 / 直流量測系統

TCPA300 • TCP312 • TCP305 • TCP303 • TCPA400 • TCP404XL



主要功能和特性

- 交流/直流量測功能
- DC – 100 MHz 電流探棒放大器 (TCPA300)，當使用：
 - DC – 100 MHz，30 A DC (TCP312)
 - DC – 50 MHz，50 A DC (TCP305)
 - DC – 15 MHz，150 A DC (TCP303)
- DC – 50 MHz 電流探棒放大器 (TCPA400)，當使用：
 - DC – 2 MHz，750^{*1} A DC (TCP404XL)
(500 A 直流連續電流)
- 直接確定刻度和單位^{*2} – 示波器螢幕讀數透過消除手動計算，減少了量測誤差
- 交流/直流輸入耦合
- 插入阻抗低 – 降低了待測裝置的負載
- 機械尺寸小 – 節省桌面空間，貯存和處理更加簡便
- 滑塊式結構 – 電路連接簡便
- 狀態指示燈可以通知潛在錯誤條件
- 降低了直流漂移和雜訊
- 經過美國、加拿大和歐洲認證

^{*1} 額定值隨工作週期 (duty cycle) 上升而下降

^{*2} 需要 TDS TEKPROBE 示波器或配備 TCA-BNC 的 TekConnect 示波器

應用

- 電源供應器、半導體裝置、逆電器/變電器、電子安定器、工控/消費性電子、行動通訊、馬達驅動器、交通運輸系統的開發和分析

更高的效能，更簡單的操作

TCP300 和 TCP400 系列交流/直流量測系統，是為滿足當前電流量測需求設計的非常先進的電流量測系統。這種滑塊式探棒採用變壓器和霍爾效應技術，提供了從 DC 到 100MHz 的寬頻量測功能，其量測的電流可以低達 1 mA，也可以高達幾千安培 (在與 CT4 變流器一起使用時)。在連接到配備 TEKPROBE Level II 或 Tek Connect (含 TCA-BNC) 介面的 Tektronix TDS 示波器時，可以簡單方便地執行電流量測和計算。

透過增加 TDSPWR2 功率量測軟體等外掛程式，使用者可以獲得額外的量測功能。由於這種量測功能，電流量測變得前所未有的簡便。

滿足當前的交流 / 直流量測應用需求

TCPA300 放大器在與 TCP312、TCP305 或 TCP303 探棒一起使用時，提供廣泛的一系列電流量測功能，彌補小電流量測產品與超高電流量測產品之間的空白。這三款探棒提供 30A、50A 和 150A 的連續直流量測功能。對更高的電流位準，配備 TCP404XL 電流探棒的 TCPA400 則可以量測 500A 的連續直流電流和 750A 的連續直流電流，其額定值會隨著工作週期上升而下降。

具 TCPA300 的 TCP312 可達成更高頻率的效能，提供 ≥ 100 MHz 的頻寬及最高 30A 的直流電流。

第四章：Tektronix 測試選購指南

全面消除量測誤差和手動計算工作

這種全新系列的電流量測工具為 Tektronix TDS3000、TDS400A、TDS500、TDS600、TDS700、TDS5000、TDS6000 和 TDS7000 系列示波器系統的使用者，提供自動控制功能及螢幕刻度和單位。狀態 LED 可以迅速顯示 TCP300/400 系列的運行狀態，或在過去可能會導致量測錯誤的潛在錯誤條件。

TCP300/TCP400 電流量測系統可以無縫整合 TDS 系列示波器和 TDSPWR2 軟體，讓您輕鬆執行耗時的功率量測和計算。

即使非 TEKPROBE 系統也可以使用 TCPA 300/400 系列，執行相應的電流量測，使用者只需將示波器上測得的輸出電壓乘以 TCPA 300/400 系列量程設定值即可。

特性

	TCP312 (配備 TCPA300)	TCP305 (配備 TCPA300)	TCP303 (配備 TCPA300)	TCP404XL (配備 TCPA400)
頻寬 (-3 dB)	DC – 100 MHz	DC – 50 MHz	DC – 15 MHz	DC – 2 MHz [†]
上升時間	≤ 3.5 ns	≤ 7 ns	≤ 23 ns	≤ 175 ns
最大額定電流：				
高電流靈敏度範圍	10 A/V 量程	10 A/V 量程	50 A/V 量程	1A/mV 量程
DC (連續)	30A	50A	150A	500A (750A ²)
RMS (正弦)	21.2A	35.4A	150A	500A
峰值脈衝	50A	50A	500A	750A
低電流靈敏度範圍	1 A/V 量程	5 A/V 量程	5 A/V 量程	無
DC (連續)	5A	25A	25A	
RMS (正弦)	3.5A	17.7A	17.7A	
峰值脈衝	50A	50A	500A	
DC 準確度 (工作溫度 0 °C 到 50 °C)	± 3% 的讀數	± 3% 的讀數	± 3% 的讀數 (10 °C 到 50 °C) +3%/-6% 的讀數 (0 °C 到 <10 °C)	± 3% 的讀數
典型 DC 準確度 (工作溫度 23 °C ± 5 °C)	± 1% 的讀數	± 1% 的讀數	± 1% 的讀數	± 1% 的讀數
額定值				
最大裸線電壓	僅搭配絕緣導線使用		600V _{RMS} CAT I & II 300V _{RMS} CAT III	
可量測的最低電流	1 mA	5 mA	5 mA	1A
(在 ± 3% 的 DC 準確度時)	示波器設為 1mV/ 格及 20 MHz 限制頻寬		示波器設為 1mV/ 格及 20 MHz 限制頻寬	
插入阻抗 (參見下面的曲線)	1 MHz 時 0.08Ω 10 MHz 時 0.15Ω 50 MHz 時 0.27Ω 100 MHz 時 0.7Ω	1 MHz 時 0.035Ω 10 MHz 時 0.12Ω 50 MHz 時 0.4Ω	1 MHz 時 0.01Ω 5 MHz 時 0.025Ω 15 MHz 時 0.1Ω	10 MHz 時 0.1mΩ 100 MHz 時 0.6 mΩ 1 MHz 時 8 mΩ 2 MHz 時 16 mΩ
典型值				
最大安培秒乘積 (視放大器量程設定而定)	50A*μS – 1A/V 500A*μS – 10A/V	500A*μS – 5A/V NA – 10A/V	3,000A*μS – 5A/V 15,000A*μS – 50A/V	NA – 1A/mV
AC 耦合低頻頻寬	< 7 Hz (低通 -3 dB 點)			
顯示的 RMS 雜訊 (在 20 MHz 限制頻寬時)	≤ 250 μA _{RMS}	≤ 1.25 mA _{RMS}	≤ 2.5 mA _{RMS}	≤ 250 mA _{RMS}
訊號延遲 (BNC 輸出延遲)	17 ns	19 ns	53 ns	103 ns
輸入 (探棒放大器)	1			
探棒開路指示器	支援			
過載指示器	支援			
中止指示器	支援			
不相容探棒指示器	支援			

第四章：Tektronix 測試選購指南

特性 (續)

	TCP312 (配備 TCPA300)	TCP305 (配備 TCPA300)	TCP303 (配備 TCPA300)	TCP404XL (配備 TCPA400)
安全認證				
列入美國 NRTL 清單	UL3111-1 (放大器)		UL3111-2-032 ; UL3111-1 (探棒和放大器)	
加拿大認證	CAN/CSA C22.2 No.1010.1 (放大器)		CAN/CSA C22.2 No.1010.2.032 CAN/CSA C22.2 No.1010.1 (探棒和放大器)	
歐盟標準	歐盟標準 EN61010-1/A2 (放大器)		EN61010-1/A2 ; EN61010-2-032 EN61010-1/A2 (探棒和放大器)	
其他	其他 IEC61010-1/A2 (放大器)		IEC61010-2-032 IEC61010-1/A2 (探棒和放大器)	
電磁相容能力	符合：歐盟委員會規定 89/336/EEC，FCC Part 15，Subpart B Class A，AS/NZS 2064.1/2			
供電需求 (TCPA300/TCPA400 放大器)	90 V 到 264 V；47 到 440 Hz；50 W 最大 CAT II (自動切換)			
供電需求 (探棒)	需要 TCPA300 放大器		需要 TCPA400 放大器	
探棒型號	TCP312	TCP305	TCP303	TCP404XL
保固	1 年			
探棒機械特性				
探棒纜線長度	1.5 公尺 (60 英寸)		2 公尺 (78.7 英寸)	8 公尺 (315 英寸)
探棒測試夾規格 (最大線號)	3.8 公釐 (0.15 英寸)		21 x 25 公釐 (0.83 x 1.0 英寸)	
長	20 公分 (7.87 英寸)		26.8 公分 (10.55 英寸)	26.8 公分 (10.55 英寸)
寬	1.6 公分 (0.625 英寸)		4.1 公分 (1.60 英寸)	4.1 公分 (1.60 英寸)
高	3.2 公分 (1.25 英寸)		15.6 公分 (6.13 英寸)	15.6 公分 (6.13 英寸)
重	0.15 公斤 (0.33 磅)		0.66 公斤 (1.45 磅)	0.88 公斤 (1.90 磅)
TCPA300 和 TCPA400 機械特性				
長		17.3 公分 (6.8 英寸)		
寬		16.7 公分 (6.6 英寸)		
高		9.14 公分 (3.6 英寸)		
重		1.14 公斤 (2.5 磅)		
環境特性				
工作溫度	0 °C 至 +50 °C (32 °F 至 122 °F)			
非工作溫度	-40 °C 至 +75 °C (-40 °F 至 167 °F)			
工作濕度	5% 至 95% 相對濕度，最高 +30 °C (86 °F) 時 5% 至 85% 相對濕度，最高 +30 °C 至 +50 °C (86 °F 至 122 °F) 時			
非工作濕度	5% 至 95% 相對濕度，最高 +30 °C (86 °F) 時 5% 至 85% 相對濕度，最高 +30 °C 至 +75 °C (86 °F 至 167 °F) 時			
工作高度	最高 2000 公尺 (6800 英尺)			
非工作高度	最高 12,192 公尺 (40,000 英尺)			

¹ 從上升時間中計算得出

² 額定值隨工作週期和頻率上升而下降

訂購資訊

TCP312

探棒；交流/直流，DC 至 100 MHz；30A DC (需要 TCPA300 放大器)

TCP305

探棒；交流/直流，DC 至 50 MHz；50A DC (需要 TCPA300 放大器)

TCP303

探棒；交流/直流，DC 至 15 MHz；150A DC (需要 TCPA300 放大器)

TCP404XL

探棒；交流/直流，DC 至 2 MHz；500A DC (750A DC，額定值隨工作週期上升而下降) (需要 TCPA400 放大器)

所有 TCP300/TCP400 電流探棒均包括：交流/直流探棒；說明書；探棒保護蓋；可追溯的校驗證書。

TCPA300

放大器；交流/直流探棒，DC 至 100 MHz (需要 TCP305、TCP312 或 TCP303 探棒)

TCPA400

放大器；交流/直流探棒，DC 至 50 MHz (需要 TCP404XL 探棒)

所有 TCPA300/TCPA400 電流探棒放大器均包括：交流/直流探棒放大器；操作指南/維修手冊；TEKPROBE 介面纜線；插頭對插頭 BNC 纜線 (50W)；50W 饋通端子；可追溯的校驗證書。

選項

TCPA300/TCPA400

電源插頭選項

選項 A1 – 歐洲插頭，220V，50 Hz

選項 A2 – 英國插頭，240V，50 Hz

選項 A3 – 澳大利亞插頭，240V，50 Hz

選項 A5 – 瑞士插頭，220V，50 Hz

選項 A6 – 日本插頭，100V，110/120V，60 Hz

選項 AC – 中國插頭，50 Hz

選項 A99 – 不附電源線

語言選項

選項 L5 – 日文手冊

所有 TCP300/TCPA300/TCP400/TCPA400 系列

服務選項

選項 C3 – 3 年校驗服務

選項 C5 – 5 年校驗服務

選項 D1 – 校驗資料報告

選項 D3 – 3 年校驗資料報告 (需要選項 C3)

選項 D5 – 5 年校驗資料報告 (需要選項 C5)

選項 R3 – 3 年維修服務

選項 R5 – 5 年維修服務

建議配件

016-1923-00 – 小型探棒保護蓋；(適用於 TCP305、TCP312、A6302、A6302XL、A6312、TCP202)

016-1924-00 – 大型探棒保護蓋；(適用於 TCP303、TCP404XL、A6303、A6303XL、A6304XL)

016-1922-00 – 手提箱；電流量測系統

011-0049-02 – 50W 饋通終端器

012-0117-00 – 50W BNC 到 BNC 同軸纜線

012-1605-00 – TEKPROBE 介面纜線，將 TCPA300 或 TCPA400 放大器連接到 TDS 系列示波器上

015-0601-50 – 電流迴路，1 圈，50W，BNC 連接器 (適用於 TCP305、TCP312、A6302、A6302XL、A6312、TCP202、TCP303、A6303、A6303XL)

174-4765-00 – TCPA300/TCPA400 放大器校驗轉接器

067-1478-00 – 功率量測偏移校正治具，適用於 TCP202、TCP305、TCP312、TCP303、A6302、A6312、A6303 系列探棒

CT4 – 交流變流器，20 kA (需搭配 TCP305、TCP312、TCP202、A6302、A6312 使用)

TDSPWR2 – 功率量測和分析軟體，適用於 TDS5000 和 TDS7000 示波器

欲在購買示波器時訂購：

訂購：TDS5052PW2、TDS5054PW2、TDS7054PW2、TDS7104PW2

欲作為升級產品訂購：

訂購：TDS5UP PW2、TDS7UP PW2

第五章

其他 Tektronix 測試儀器方案介紹

MDO4000 系列混合域示波器

全球首創！

可以同時擷取時間關聯的類比訊號、數位訊號和匯流排訊號、RF 訊號的示波器誕生了！

- RF 基本效能**
- 頻率範圍：兩種型號，分別為 50 KHz ~ 3 GHz 與 50 KHz ~ 6 GHz
 - 特寬擷取頻寬：1 GHz 以上
 - DANL：-152 dBm/Hz (典型值)

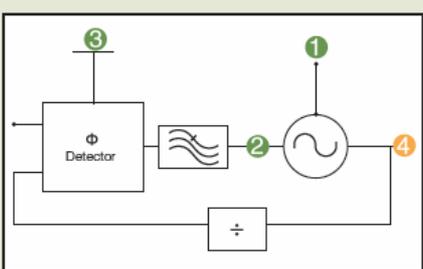


分析模組插槽

專用的 RF 操作部分
中心頻率、RBW 等設定變得非常簡單

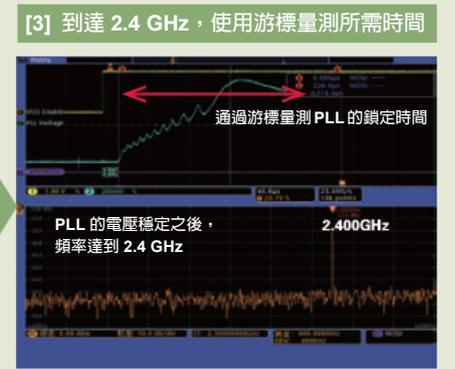
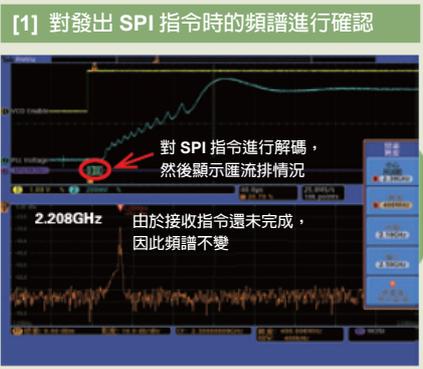
Frequency & Span	Amplitude	Bandwidth
Center Frequency: 1.50GHz	Ref Level: 0.00 dBm	RBW Mode: Auto Manual
Span: 3.00GHz	Vertical: 0.00 div (10.0 dB/div)	RBW: 3.00MHz (Auto)
Start: 0.00 Hz	Vertical Units: dBm	Span: RBW 1000:1
Stop: 3.00GHz	Auto Level	Window: Kaiser
To Center		

USB 主機連接埠 **數位通道輸入位置** **TekVPI 介面** **獨立 RF 輸入 N 型連接器**
 寬：43.9 公分 高：22.9 公分 長：14.7 公分
 重：5 公斤 **匯流排分析按鍵**



例如，可以列舉下面的用法：~VCO、PLL 控制驗證實例~

在上面的 MDO4000 系列產品畫面中，按下 VCO (1) 的啟動鍵之後，用於控制的 SPI 訊號 (3) 可對 PLL 發出在 2.4 GHz 範圍中改變頻率的指令，在 VCO 上增加電壓 (2) 之後，可以擷取到頻譜 (4) 變到 2.4 GHz 的情形。現在只需使用一台量測儀器，即可確認 VCO 的電壓電平，另外還可以量測控制指令是否正常發出，頻譜是否按指定的功率標準輸出，PLL 的鎖定時間有多長，等等。



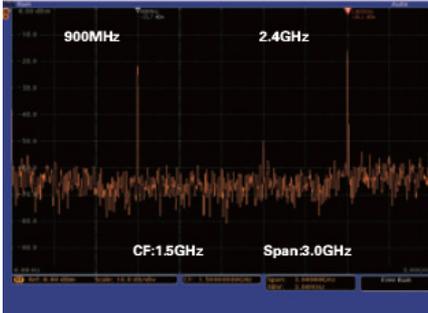
MDO4000 系列適用於以下用途：

- 用來制定降低 EMI 的方案
- 複雜的無線技術除錯，尤其是跳頻與突發通訊技術除錯
- Zigbee 與 Bluetooth 除錯
- 動態分析控制使用的與基頻訊號聯動的通訊 RF 頻譜

第五章：其他 Tektronix 測試儀器方案介紹

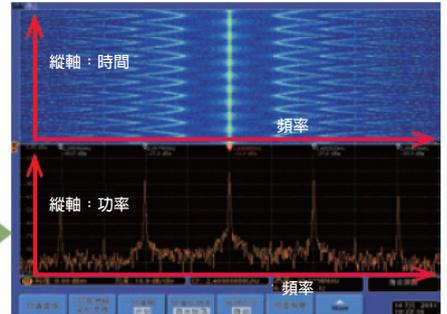
MDO4000 特性：1 擷取寬頻 RF 訊號

一次最多讀取 3 GHz 的寬頻範圍



中心頻率：1.5 GHz、頻距：3.0 GHz、RBW：以 3.0 MHz 進行量測、一次可以讀取 900 MHz 與 2.4 GHz 兩種 ISM 波段的 RF 頻譜

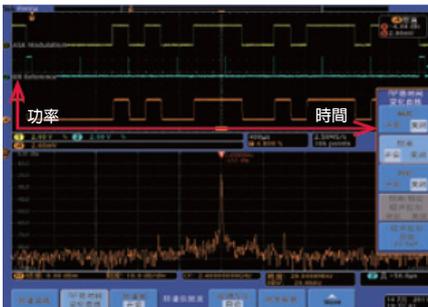
頻率時間變化使用頻譜時間顯示。可以對頻率變化進行簡單確認。



* 頻寬是普通頻譜分析儀與量測儀器頻寬 (大約 10 MHz) 的 300 倍

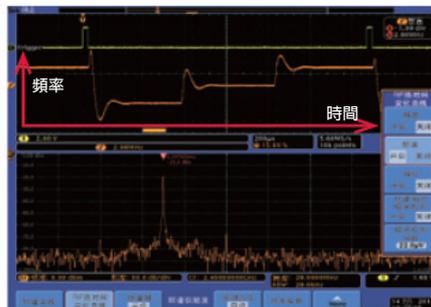
MDO4000 特性：2 量測 RF 訊號的時域特性

可以顯示 RF 的功率、頻率和相位隨時間變化的軌跡，同時顯示頻譜 (橙色的波形表示 RF 輸入)



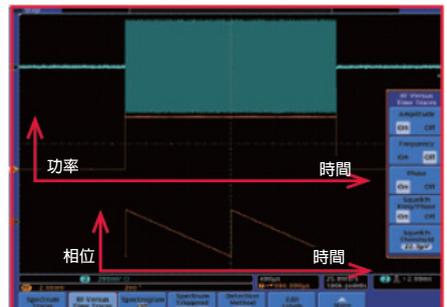
功率隨時間變化顯示

分析 RF 訊號的振幅調變特性



頻率隨時間變化顯示

分析 RF 訊號頻率隨時間變化的特性，如跳頻、FSK 等

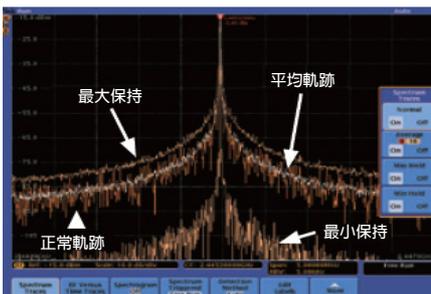


相位隨時間變化顯示

分析 RF 訊號相位隨時間變化的特性

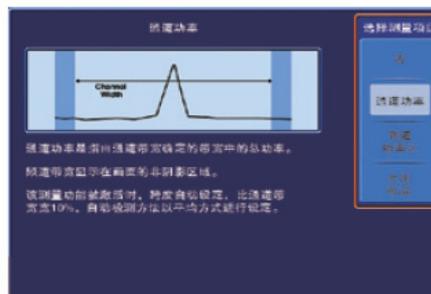
MDO4000 特性：3 完備的頻譜分析、觸發與探測功能

四種頻譜軌跡顯示



顯示 RF 訊號頻譜的四種常用軌跡

RF 訊號自動量測功能



可以自動量測通道功率、鄰道功率比、占用頻寬

自動峰值標記功能



最多可以顯示 11 個頻點的頻率、功率參數

如果使用手動標記顯示功能，還可以顯示量測雜訊密度和相位雜訊參數

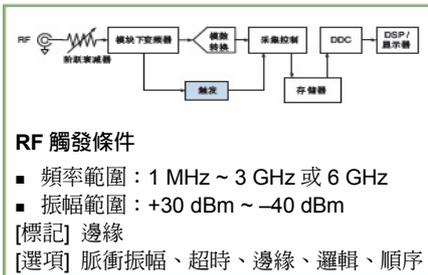
另外還提供成套近場探棒

[型號：119-4146-00]



- 頻率範圍：100 KHz ~ 1 GHz
- 阻抗：50 Ω

使用 RF 訊號作為觸發源



使用示波器探棒作為頻譜分析儀探棒



無需使用外部電源，增加 TekVPI 轉接器，可以將 TekVPI 介面的主動式探棒、差動式探棒或電流探棒 (50 歐姆阻抗) 作為頻譜分析儀探棒使用

MDO4000 技術規格

特性	MDO4054-3	MDO4104-3	MDO4054-6	MDO4104-6
類比通道	4 個類比通道			
頻寬	500 MHz	1 GHz	500 MHz	1 GHz
取樣率 (1-2 通道)	2.5 GS/s	5 GS/s	2.5 GS/s	5 GS/s
取樣率 (3-4 通道)	2.5 GS/s			
數位通道	16 個數位通道			
RF 通道	1			
頻率範圍	50 KHz – 3 GHz		50 KHz – 6 GHz	
即時擷取頻寬	≥1 GHz 超寬擷取頻寬			
頻距	1 KHz – 3/6 GHz, 1-2-5 順序			
解析頻寬	20 Hz – 10 MHz, 1-2-3-5 順序			
參考位準	-140 dBm – +30 dBm, 5 dBm 步進			
垂直量程	1 dB/div – 20 dB/div, 1-2-5 順序			
垂直位置	-10 divs – +10 divs			
垂直度量單位	dBm、dBmV、dBμV、dBμW、dBmA、dBμA			
顯示的平均雜訊位準 (DANL)	50 KHz – 5 MHz : <-130 dBm/Hz (<-134 dBm/Hz 典型值) 5 MHz – 3 GHz : <-148 dBm/Hz (<-152 dBm/Hz 典型值) 3 GHz – 6 GHz : <-140 dBm/Hz (<-143 dBm/Hz 典型值)			
寄生訊號響應				
二階和三階諧波失真 (>30MHz)	<-55 dBc (<-60 dBc 典型值)			
二階互調失真	<-55 dBc (<-60 dBc 典型值)			
三階互調失真	<-60 dBc (<-63 dBc 典型值)			
其他模數轉換寄生訊號	<-55 dBc (<-60 dBc 典型值)			
映像和 IF 抑制	<-50 dBc (<-55 dBc 典型值)			
殘餘響應	<-78 dBm			
示波器通道至 RF 通道串音	≤1 GHz 輸入頻率: 從參考位準 <-68 dB >1 GHz – 2 GHz 輸入頻率: 從參考位準 <-48 dB			
2 GHz CW 時相位雜訊	10 KHz : <-90 dBc/Hz、<-95 dBc/Hz (典型值) 100 KHz : <-95 dBc/Hz、<-98 dBc/Hz (典型值) 1 MHz : <-113 dBc/Hz、<-118 dBc/Hz (典型值)			
位準量測不確定性 (+10 dBm – -50 dBm 輸入位準)	20 C° – 30 C° : ± 1 dB (± 0.5 dB 典型值) 超出工作範圍時: ± 1.5 dB			
殘餘 FM	100 ms 中 ≤ 100Hz 峰峰			
最大工作輸入位準				
平均連續功率	+30 dBm (1 W)			
損壞前最大 DC 電壓	±40 V DC			
損壞前最大功率 (CW)	+33 dBm (2 W)			
損壞前最大功率 (脈衝)	+45 dBm (32 W) (<10 μs 脈衝寬度、<1% 工作週期、≥+10 dBm 參考位準)			
功率位準觸發				
頻率範圍	1 MHz – 3 GHz		1 MHz – 6 GHz	
振幅範圍	+30 dBm – -40 dBm			
極限	CF 1 MHz – 3.25 GHz : 從參考位準 -35 dB CF >3.25 GHz : 從參考位準 -15 dB			
最小脈衝時間週期	10 μs 開點時間, 10 μs 最小穩定閉點時間			
RF 至類比通道偏移	<5 ns			
頻域軌跡類型	一般、平均、最大保持、最小保持			
時域軌跡類型	振幅隨時間變化、頻率隨時間變化、相位隨時間變化			
偵測方式	+Peak、-Peak、Average、Sample			
自動標記	根據使用者可調整臨界值和漂移值確定 1-11 個峰值			
手動標記	兩個手動標記, 指示頻率、振幅、雜訊密度和相位雜訊			
標記讀數	絕對值或相對值			

* 所有 MDO4000 系列示波器效能與功能和 MDO4000B 完全相同, 除同時使用 3/4 通道時, 其取樣率為 2.5 GS/s。

■ 建議配件

探棒說明

- 119-4146-00 – 成套近場探棒, 100 KHz – 1 GHz
- 119-6609-00 – 軟單極天線
- TPA-N-VPI – N 至 TekVPI 轉接器
- 077-0585-xx – 維修手冊 (僅英文版)
- SIGEXPTE – NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版軟體 (完整版)
- FPGAView-xx – MSO 支援 Altera 和 Xilinx FPGA

- TPA-BNC – TekVPI 至 TekProbe BNC 轉接器
- TEK-USB-488 – GPIB 至 USB 轉接器
- ACD4000B – 軟質提袋
- HCTEK54 – 硬殼提箱 (需要 ACD4000B)
- RMD5000 – 機架安裝套件
- TEK-DPG – 偏移校正脈衝產生器
- 067-1686-xx – 偏移校正夾具

■ 多個真正的業界第一

- 業界首創 整合頻譜分析儀的示波器
- 業界首創 整合的類比、數位、RF 擷取系統
- 業界首創 實現頻譜分析時間
- 業界首創 實現最高達 3 GHz 的擷取頻寬
- 業界首創 擁有綜合 RF 觸發
- 業界首創 擁有自動 RF 標記
- 業界首創 提供電流、電壓、差動 RF 探棒

■ 建議探棒

Tektronix 提供 100 多種不同的探棒, 可以滿足您的不同應用需求。如需瞭解 Tektronix 提供的完整的探棒清單, 請造訪

www.tek.com/zh-tw/products/accessories/。

探棒說明

- TPP0500 : 500 MHz, 10 X TekVPI 被動式電壓探棒, 3.9 pF 輸入電容
- TPP0502 : 500 MHz, 2 X TekVPI 被動式電壓探棒, 3.9 pF 輸入電容
- TPP0850 : 2.5 kV, 800 MHz, 50 X TekVPI 被動式高壓探棒
- TPP1000 : 1 GHz, 10 X TekVPI 被動式電壓探棒, 3.9 pF 輸入電容
- TAP1500 : 1.5 GHz TekVPI 主動式單端電壓探棒
- TAP2500 : 2.5 GHz TekVPI 主動式單端電壓探棒
- TAP3500 : 3.5 GHz TekVPI 主動式單端電壓探棒
- TDP0500 : 500 MHz TekVPI 差動式電壓探棒, ± 42 V 差動輸入電壓
- TDP1000 : 1 GHz TekVPI 差動式電壓探棒, ± 42 V 差動輸入電壓
- TDP1500 : 1.5 GHz TekVPI 差動式電壓探棒, ± 8.5 V 差動輸入電壓
- TDP3500 : 3.5 GHz TekVPI 差動式電壓探棒, ± 2 V 差動輸入電壓
- TCP0030 : 120 MHz TekVPI 30 AAC/DC 電流探棒
- TCP0150 : 20 MHz TekVPI 150 AAC/DC 電流探棒
- P5200A : 1.3 kV, 50 MHz 高壓差動探棒
- TMDP0200 : 750V 200MHz TekVPI 高壓差動探棒
- THDP0200 : 1500V 200MHz TekVPI 高壓差動探棒
- THDP0100 : 6000V 100MHz TekVPI 高壓差動探棒
- P5100A : 2.5 KV, 100 X 高壓被動式探棒

- 3 年保固, 包括所有零件和人工費用, 不包括探棒。



DMM4000 系列數位萬用電錶

來自 Tektronix 的數位萬用電錶，精量測、大儲存、詳分析

桌上型量測儀器系列詳細介紹

<http://www.tektronix.com/zh-tw/extraordinary>



示波器、萬用電錶、計頻器、電源供應器、訊號產生器等桌上型系列儀器已相繼出現一個又一個新產品。在一台多功能儀器中實現多種不同的功能，有助於減少除錯時間。*隨附 SignalExpress 軟體，讓 PC 連線儀器可以集中管理整個檢測標準。

產品特色 使用 DMM4000 系列萬用電錶的理由



DMM4000 系列數位萬用電錶，提供最高 6.5 位解析度，讓您可以準確進行電壓、電流、電阻、頻率、週期、電容和溫度量測。

您還可以監控和記錄量測指標在量測期間的變化或環境範圍，查看統計值，瞭解電路效能如何變化。此外，專用前面板按鈕可以快速存取常用功能和參數，縮短設定時間。Tektronix 數位萬用電錶可為最嚴苛的量測提供多功能工具和準確度。

DMM4000 系列的不同之處

不要錯過這三點

千萬不要錯過

您可以做什麼？

分析模式

- TrendPlot™、直方圖，以及統計量測和分析 (DMM4040、DMM4050 型號)

- 繪製量測趨勢，以圖形方式確定漂移程度和間歇性事件。
- 作為直方圖查看結果，發現穩定性或雜訊問題。
- 查看多個統計值，如平均值、最小值、最大值和標準偏差，瞭解訊號如何變化。

管理軟體

- NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版軟體 Tektronix 標準配備的基本版本

- 使用多個介面埠量測資料記錄
- 從一組測試探棒，量測同一訊號的兩個不同參數
- 複雜的自動化量測和還原過程

USB 儲存器埠

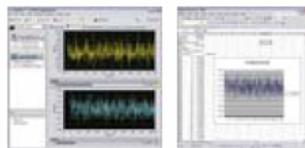
- 前面板 USB 埠可以更容易地儲存資料和設定 (DMM4040、DMM4050 型號)

- 使用前面板埠
- 資料和使用者設定可直接記錄到 USB 隨身碟

TrendPlot™ 有豐富的分析功能



使用 SignalExpress 軟體，從一個軟體環境內部連接和控制多台儀器



前面板 USB 主機埠。高效能的資料儲存

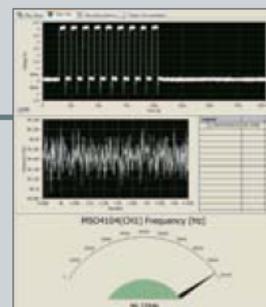


*SignalExpress 還擁有專業的版本。

自動量測，完整分析，易於報告

NI LabVIEW SignalExpress™ 版軟體

- 內建功能超過 200 項：
 - 時間和頻域
 - 擴充分析
 - 量測發展趨勢
 - 自動掃描功能
 - 極限測試
 - 資料記錄
- 直覺的拖放介面
- 可自訂圖表
- USB 隨插即用 PC 連接



第五章：其他 Tektronix 測試儀器方案介紹



寬度：217mm 高度：88mm 厚度：297mm
重量：約 2.21 公斤 (DMM4020 型號)，約 3.6 公斤 (DMM4040/4050 型號)

DMM4020 型號：

- 5.5 位解析度
- 高達 0.015% 的基本 VDC 準確度 (1 年)
- 真實有效的數值交換
- 量測頻率範圍：20Hz–1MHz
- 六個設定按鈕
- 極限比較模式：指定測試合格/不合格

DMM4040/4050 型號：

- 6.5 位解析度
- 高達 0.0024% 的基本 VDC 準確度 (4050 型號，1 年)
- 真實有效的數值交換
- 頻率、週期整合量測
- 電容和溫度整合量測 (4050 型號)
- TrendPlot™ 無紙化記錄器模式、直方圖模式、統計模式
- USB 主機前面板埠

基本規格	DMM4020	DMM4040	DMM4050
解析度	5.5 位	6.5 位	6.5 位
基本 VDC 準確度	0.0150%	0.0035%	0.0024%

詳細規格	DMM4020	DMM4040	DMM4050
輸入	2 x 4 歐姆 4 線量測技術		
	前面板	正面和背面	
直流電壓輸入範圍	200mV – 1000V	100mV – 1000V	
最大輸入電壓	1000V	1000V	
最大解析度	1µV	100nV	
交流電壓輸入範圍	200mV – 750V	100mV – 1000V	
最大輸入電壓	750V _{rms}	1000V _{rms}	
最大解析度	1µV	100nV	
輸入範圍電阻	200Ω – 100MΩ	10Ω – 1.0GΩ	
最大解析度	0.001Ω	10µΩ	
直流電流輸入範圍	200µA – 10A	100µA – 10A	
最大解析度	1nA	100pA	
交流電流輸入範圍	20mA – 10A	100µA – 10A	
最大解析度	0.1µA	100pA	
量測項目	交流電壓、直流電壓、直流電流、交流電流、電阻、連續性、二極體、頻率		
擴充量測	–	週期	週期、電容、溫度
數學函數	Null、dBm、dB、Min、Max	Null、dBm、dB、Min、Max、Avg、Std Dev、mX+B	
分析能力	上限比較	界限比較、趨勢圖、柱狀圖、統計	
顯示	雙 (號)	雙 (數字/圖)	
外部儲存裝置	–	USB	
控制埠	後面板 RS-232 快速連接 PC (標準配備一條 USB 到 RS-232 介面轉接器纜線)	後面板 RS-232、LAN 和 GPIB，快速連接 PC (標準配備一條 USB 到 RS-232 介面轉接器纜線)	
最大外部量測速度	100	995	
隨附軟體	NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版軟體 (基礎版)		

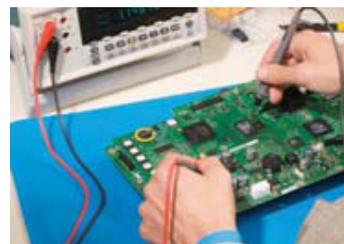
配件：196-3520-XX (TL710) 測試線組 x 1、備用保險絲、安全性/手動安裝、RS-232 的 USB 轉接器纜線、NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版軟體 (基礎版)、電源線、校驗規格聲明

■ 建議配件

- 196-3520-xx —— 測試線組 (TL710)
- TL705 —— 1000V 電阻量測用的 2 x 4 歐姆導線
- TL725 —— 2 x 4 歐姆導線表面貼裝裝置
- TP750 —— 100Ω RTD 溫度探棒 (只適用於 4050 型號)
- SIGEXPET —— NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版軟體 (專業版)
- HCTEK4321 —— 儀器硬殼提箱 (建議搭配儀器軟質提袋使用)
- ACD4000 —— 儀器軟質提袋
- RMU2U —— 機架安裝套件

建議要點

專用 DC 洩漏電流量測 (4020 型號)



前面板 USB 主機埠。
高效率資料儲存



DMM4040/4050 配備 TrendPlot™，
有豐富的解析功能



- 3 年保固，包括所有零件和人工費用，
不包括探棒。



一系列功能，以滿足您的需要！

請參閱 DMM4000 技術系列叢書，以瞭解最全面的功能。

<http://www.tektronix.com/zh-tw/products/oscilloscopes/bench/>

「Raretera 擷取小的漏電流……」

→ DMM4000 使您衡量自己的電平

「可更輕鬆準確地量測電阻……」

→ 如用 DMM4000 可以將量測誤差降至最小

「電路的穩定性將是隨著時間的推移……」

→ DMM4000 可將此一趨勢記錄下來

「Raretera 的統計輸出功率穩定……」

→ DMM4000 的統計資料功能令人感到驚訝



AFG3000 系列任意波形 / 函數產生器

新一代訊號產生技術



寬度：330mm 高度：156mm 深度：168mm 重量：約 4.5kg

- 雙通道型號
- 輸出頻率：10MHz、25MHz、100MHz、240MHz 的正弦波
- 輸出頻率：5MHz、12.5MHz、50MHz、120MHz 的脈衝波
- 上升/下降時間可變脈衝 (高達 2.5ns)
- 14 位，250MS/s、1GS/s 或 2GS/s 的任意波形
- 5.6 吋顯示器

- 小巧輕便，操作簡單
- USB 儲存裝置插入前面板中
- 大螢幕一目瞭然顯示所有相關波形參數和波形圖
- 使用者可以選擇 12 種不同的標準波形
- 可作為脈衝產生器
- 到 50 歐姆輸入的振幅高達 20Vp-p

基本規格	高輸出型		通用模式				
	AFG3011	AFG3021B	AFG3022B	AFG3101	AFG3102	AFG3251	AFG3252
頻道	1	1	2	1	2	1	2
雜訊頻寬 (-3dB)	10MHz	25MHz		100MHz		240MHz	
振幅 (50Ω)	20mV _{p-p} – 20V _{p-p}	10mV _{p-p} – 10V _{p-p}		20mV _{p-p} – 10V _{p-p}		50mV _{p-p} – 5V _{p-p} (200MHz 以下)	
輸出範圍	±20V	±5V		±10V		±5V	

詳細規格	高輸出型		通用模式			
	AFG3011	AFG3021B	AFG3022B	AFG3101	AFG3102	AFG3251
波形	正弦波、方波、鋸齒波、脈衝、和其他 (sin(x)/x、指數增長、指數下降、Gaussian、Lorenz、Haversine)、DC、雜訊、任意波形					
正弦波	1μHz – 10MHz	1μHz – 25MHz		1μHz – 100MHz		1μHz – 240MHz
方形波	1μHz – 5MHz	1μHz – 12.5MHz		1μHz – 50MHz		1μHz – 120MHz
鋸齒波	1μHz – 100KHz	1μHz – 250KHz		1μHz – 1MHz		1μHz – 2.4MHz
其他波形	1μHz – 100KHz	1μHz – 250KHz		1μHz – 1MHz		1μHz – 2.4MHz
雜訊類型	White Gaussian					
DC (50Ω)	-10V – +10V	-5V – +5V		-5V – +5V		-2.5V – +2.5V
脈衝	1mHz – 5MHz	1mHz – 12.5MHz		1mHz – 50MHz		1mHz – 120MHz
脈衝寬度	80.00ns – 999.99s	30.00ns – 999.99s		8.00ns – 999.99s		4.00ns – 999.99s
解析度	10ps 或五位數					
脈衝工作週期	0.001 至 99.1000% (受脈衝寬度限制)					
邊緣過渡時間	50ns – 625s	18ns – 625s		5ns – 625s		2.5ns – 625s
解析度	10ps 或四位數					
其他波形	1mHz – 5MHz	1mHz – 12.5MHz		1mHz – 50MHz		1mHz – 120MHz
其他波形 (突發模式)	1mHz – 2.5MHz	1mHz – 6.25MHz		1mHz – 25MHz		1mHz – 60MHz
有效類比頻寬 (-3dB)	8MHz	34MHz		100MHz		225MHz
非揮發性記憶體	4 波形					
波形記憶體和任意取樣率	2 – 128K : 250MS/s		16K – 128K : 250MS/s 2 – 16K : 1GS/s		16K – 128K : 250MS/s 2 – 16K : 2GS/s	
垂直解析度	14 位					
上升/下降時間	80ns 以下	20ns 以下		8ns 以下		3ns 以下
脈寬 (RMS)	4ns	4ns		1ns (1GS/s) 4ns (250MS/s)		500ps (2GS/s) 4ns (250MS/s)
調變	AM/FM/PM/FSK/PWM					
其他輸出模式	掃描 (線性、對數)、脈衝組 (觸發器、截止)					
頻率/解析度設定	1μHz 或 12 位數					
時基穩定性	±1ppm/年					
振幅解析度	輸入/輸出					
外部參考	輸入/輸出	僅輸入		輸入/輸出		輸入/輸出
介面	USB1.1/LAN/GPIB (SCPI-1999.0、IEEE488-3 標準相容)					

配件：快速入門使用者手冊、USB 線、CD-ROM 光碟 (內含程式設計員手冊、維修手冊、LabVIEW/IVI 驅動程式)、ArbExpress® 軟體光碟、電源線、校驗證書 (英文版)

建議配件

- RM3100 ——— 機架安裝套件
- 013-0345-XX ——— 保險絲轉接器，BNC-P 至 BNC-R (僅 AFG3011 使用)
- 159-0454-XX ——— 保險絲 3 件組，0.125A
- 012-0482-XX ——— BNC 纜線 (單保護)，0.9 公尺
- 012-1256-XX ——— BNC 纜線 (單保護)，2.7 公尺
- 012-0991-XX ——— GPIB 纜線 (雙保護)

- 3 年保固，包括所有零件和人工費用，不包括探棒。



建議要點

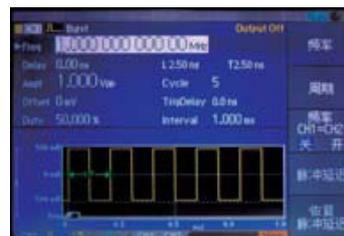
攜帶方便



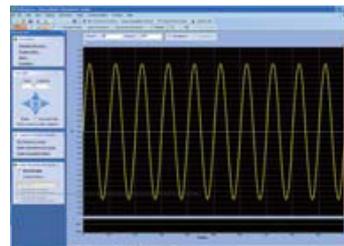
雙通道型號



可作為脈衝產生器



ArbExpress® 軟體，可輕鬆產生任意波形



FCA / MCA3000 系列

計頻器 / 分析儀微波計頻器 / 分析儀

Tektronix 計頻器，更準更快、超越同儕



寬度：210mm 高度：90mm 深度：395mm 重量：2.7kg

- 通用、高效能、波形快速反應，所有 8 個型號都具備這三項特性
- 頻率解析度：12 位/秒
- 單次時間解析度：50ps (3100 型號)
- 100ps (3000 型號)
- 記憶體的最大量測速度：250kS/s
- 高速傳輸的 GPIB/USB 介面

- 多參數顯示
- 多達 3 個輸入通道
- 多達 14 種自動量測功能
- 完善的分析功能
- 整合功率錶 (MCA 系列)

詳細規格	通用模式			高效能模式			微波模式	
	FCA3000	FCA3003	FCA3020	FCA3100	FCA3103	FCA3120	MCA3027	MCA3040
頻率範圍	400MHz	400MHz 和 3GHz	400MHz 和 20GHz	400MHz	400MHz 和 3GHz	400MHz 和 20GHz	400MHz 和 27GHz	400MHz 和 40GHz
解析時間	100ps			50ps			100ps	
V _{max} 、V _{min} 解析度	3mV			1mV			3mV	
解析頻率	12 位/秒			12 位/秒			12 位/秒	
自動量測項目	頻率、週期、頻率比、時間間隔、時間間隔誤差、脈衝寬度、上升/下降時間、相角、工作週期、最大電壓、最小電壓、峰值電壓							
其他自動量測						總計量測		整合功率錶功率範圍： -35 +10 dBm
分析	統計、直方圖、趨勢圖							
顯示	雙顯示方式、數字、圖片 (含輔助參數)							
外部介面	GPIB/USB							
量測速度	250kS/s			250kS/s			250kS/s	
記憶體	750k 點			3.75M 點			750k 點	
GPIB/USB 匯流排的 量測速度	5kS/s (模組式)			15kS/s (模組式)			5kS/s (模組式)	
保固	3 年							
軟體	NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版，調變域分析軟體 TimeView™							

配件：電源線、校驗證書 (英文版)、快速入門使用手冊、使用手冊光碟、程式、技術規格、TimeView™ 調變域分析軟體 (試用版)、NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版軟體 (基礎版)

■ 建議配件

- HCTEK4321 —— 硬殼提箱
- ACD4000 —— 軟質提袋
- 174-4401-XX —— USB 主機到裝置纜線 (90 公分)
- 012-0991-XX —— GPIB 纜線 (屏蔽雙絞線，1 公尺)
- 012-1256-XX —— BNC 接腳 (Ma)、BNC 接腳 (Ma) 纜線、屏蔽纜線、2.7 公尺、50Ω
- 012-0482-XX —— BNC 接腳 (Ma)、BNC 接腳 (Ma) 纜線、屏蔽纜線、90 公分、50Ω
- SIGEXPTE —— NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix 版互動量測軟體 (專業版)
- TVA3000 —— TimeView™ 調變域分析軟體
- RMU2U —— 機架安裝套件

■ 建議選項

		FCA 系列	MCA 系列
MS	中等穩定性	O	標準配備
HS	高度穩定性	O	O
US	超高度穩定性	O	O
RP	後面板連接器	O	X

選項 D1：校驗資料報告 (英文版)

選項 R5：5 年保固期

- 3 年保固，包括所有零件和人工費用，不包括探棒。



建議要點

可以根據使用場合選擇微波總體效能

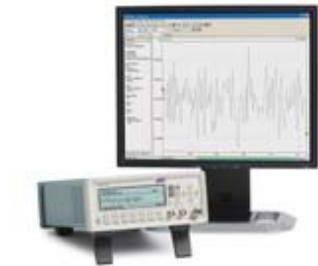


高準確度量測，誤差最小



選配 TimeView™ 調變域分析軟體

將 FCA/MCA 系列轉換為調變域分析儀。可以擷取非常小的頻率和時間變化。



完善的分析模式，高效的測試



PWS4000 系列可程式直流電源供應器

Tektronix 直流電源供應器，準確穩定輸出，功能豐富，操作簡便



寬：214mm 高：88mm
厚：355mm 重量：約 9kg

- 線性穩壓電源
- 高達 72V 輸出電壓
- 0.03% 基本電壓準確度
- 0.05% 基本電壓準確度
- <5mV_{p-p} 漣波和雜訊

- 在明亮的顯示器上同時顯示輸出電壓、電流和極限
- 可以調整過壓保護
- 透過數字鍵盤直接輸入參數
- 最多儲存 40 種使用者自訂設定
- 列表模式，逐步透過儲存的設定，執行測試順序
- 遠端感應，補償引線電阻

特性	說明
通訊	USB 裝置埠、B 型連接器、相容 USBTMC GPIB、選配 (需 TEK-USB-488GPIB 至 USB 轉接器)
輸出、感應、狀態和控制	可拆式螺絲端子台傳送下列訊號：
輸出通道	複製前面板輸出
遠端感應線路	遠端感應連接
控制輸入	多功能 TTL 輸入，可作為觸發輸入、輸出控制線路或數位輸入使用
狀態輸出	多功能 TTL 輸出，可作為故障指示或數位輸出使用

建議要點

準確輸出

90-150W 功率；寬電壓/電流範圍；
精確 1m/0.1mA 解析度

穩定輸出

恆電壓 (線性穩壓)，恆電流；
穩定的負載/線性調整率



功能豐富

內建電壓/電流序列掃描功能；
遠端補償功能；
USB 介面和 NI Signal Express 智慧型控制



操作簡便

旋鈕以及直接輸入鍵盤；
40 項自訂設定；
雙功能顯示，同時顯示設定和讀回電壓和電流儀錶讀數或極限



電氣技術資料	PWS4205	PWS4305	PWS4323	PWS4602	PWS4721	
DC 輸出 額定值	電壓	0 – 20V	0 – 30V	0 – 32V	0 – 60V	0 – 72V
	電流	0 – 5A	0 – 5A	0 – 3A	0 – 2.5A	0 – 1.2A
	最大功率	100W	150W	96W	150W	86W
負載穩定	電壓	<0.01%+2mV				
	電流	<0.05%+0.1mA	<0.05%+1.5mA	<0.05%+0.1mA	<0.05%+0.5mA	<0.05%+0.1mA
線路穩定	電壓	<0.01%+1mV	<0.01%+1mV	<0.01%+1mV	<0.01%+2mV	<0.01%+1mV
	電流	<0.05%+0.1mA	<0.05%+0.1mA	<0.05%+0.1mA	<0.05%+0.05mA	<0.05%+0.1mA
漣波和雜訊 (20Hz – 7MHz)	電壓	<1mV _{rms} <3mV _{p-p}	<1mV _{rms} <4mV _{p-p}	<1mV _{rms} <4mV _{p-p}	<1mV _{rms} <5mV _{p-p}	<1mV _{rms} <3mV _{p-p}
	電流	<3mA _{rms}	<4mA _{rms}	<3mA _{rms}	<3mA _{rms}	<3mA _{rms}
設定解析度	電壓	1mV	1mV	1mV	1mV	2mV
	電流	0.1mA				
設定準確度	電壓	±0.03%+3mV	±0.03%+3mV	±0.03%+3mV	±0.03%+6mV	±0.03%+6mV
	電流	±0.05%+2mA	±0.05%+2.5mA	±0.05%+2mA	±0.05%+1.5mA	±0.05%+1mA
儀錶解析度	電壓	0.1mV	0.1mV	0.1mV	0.1mV	0.5mV
	電流	0.05mA	0.05mA	0.01mA	0.05mA	0.01mA
儀錶準確度	電壓	±0.02%+3mV	±0.02%+2.5mV	±0.02%+3mV	±0.02%+6mV	±0.02%+5mV
	電流	±0.05%+2mA	±0.05%+2.5mA	±0.05%+2mA	±0.05%+1.5mA	±0.05%+1mA
電壓暫態 響應， 穩定時間	負載變化	從 0.1A 變為 1A 後，變到 75mV 最後值以內的時間 <150µs				
	設定變化 上升	從 1V 變為 11V 後，變到 75mV 最後值以內的時間 <150µs				
	設定變化 下降	從 11V 變為 1V 後，變到 75mV 最後值以內的時間 <150µs				
過壓保護	範圍 (典型值)	1V – 19V	1V – 29V	1V – 31V	1V – 59V	1V – 71V
	準確度 (典型值)	± (0.5% 的設定值 +0.5V)				
	響應時間 (典型值)	<10ms				

配件：電源線 – (請註明插頭選項) 可追溯校驗證書；快速入門使用手冊；文件光碟 – 內容含使用者手冊、程式設計員手冊、技術參考資料和 NI LabVIEW Signal ExpressTektronix 版軟體 (限定版) 光碟。

- 3 年保固，包括所有零件和人工費用，不包括探棒。

PWS2000 系列可程式直流電源供應器

Tektronix 直流電源供應器，準確穩定輸出，功能豐富，操作簡便



高：106mm 寬：256mm
厚：386mm 重量：約 6.7kg

- 線性電源
- 高達 72V 的輸出電壓
- 0.05% 基本電壓準確度
- 0.2% 基本電流準確度
- 10mV/10mA 可程式解析度
- <math><3V_{p-p}</math> 漣波和雜訊

- 明亮的真空螢光顯示器
- 16 種使用者自訂設定儲存
- 透過數字鍵盤直接輸入參數
- 以使用者選擇的步進改變電壓或電流

輸入電源特性	說明	
110V AC 設定	99V _{rms} – 132V _{rms}	
220V AC 設定	198V _{rms} – 264V _{rms}	
頻率	47Hz – 63Hz	
功耗	PWS2185/2323/2721	350VA
	PWS2326	700VA

電氣指標	PWS2185	PWS2323	PWS2326	PWS2721	
DC 輸出	電壓	0 – 18V	0 – 32V	0 – 32V	0 – 72V
	電流	0 – 5A	0 – 3A	0 – 6A	0 – 1.5A
負載調整率	電壓	≤0.02%+5mV	≤0.02%+5mV	≤0.02%+6mV	≤0.02%+4mV
	電流	≤0.1%+2mV (典型值)			
電源調整率	電壓	≤0.1%+5mV (典型值)			
	電流	≤0.1%+2mV (典型值)			
漣波和雜訊 (20Hz – 7MHz)	電壓	≤1mV _{rms} /3mV _{p-p} (典型值)			
	電流	≤5mA _{rms}			
設定解析度	電壓	10mV			
	電流	10mA			
設定準確度 (25°C ± 5°C)	電壓	≤0.05%+10mV			
	電流	≤0.2%+10mA (典型值)			
讀回解析度	電壓	10mV	10mV (<20V) ; 100mV (≥20V)		
	電流	10mA			
讀回準確度 (25°C ± 5°C)	電壓	≤0.05%+15mV 典型值	≤0.05%+15mV (<20V) (典型值) ≤0.05%+120mV (≥20V) (典型值)		
	電流	≤0.1%+15mA (典型值)			
保固期	3 年				

配件：電源供應器、電源線、校驗方法說明、使用者手冊。

- 3 年保固，包括所有零件和人工費用，不包括探棒。



建議要點

準確輸出

90–150W 功率；寬電壓/電流範圍；
精確 1mV/0.1mA 解析度

穩定輸出

恆電壓 (線性穩壓)，恆電流；
穩定的負載/線性調整率



功能豐富

內建電壓/電流序列掃描功能；
遠端補償功能；
USB 介面和 NI Signal Express 智慧型控制



操作簡便

旋鈕以及直接輸入鍵盤；
40 種自訂設定；
雙功能顯示，同時顯示設定和回饋電壓和電流儀錶
讀數或極限



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**

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。

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

