

創新的電源分析與測試方案



行業渠道開發經理
陳鑫磊
13816606936

Tektronix[®]



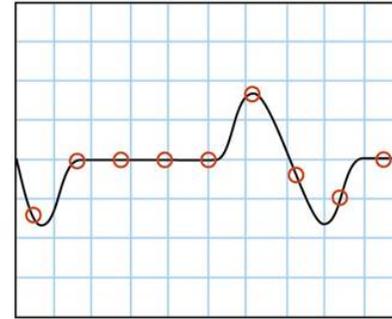
內容

- 電力電子量測的注意事項
 - 如何選擇示波器
 - 安全量測浮地訊號
 - 校驗示波器及探棒偏差
- 以示波器為基礎的 Tektronix 電力電子測試方案
 - 功率和電能品質量測
 - 諧波分析
 - 開關切換和 SOA 測試
 - 輸出漣波量測

示波器性能考量因素

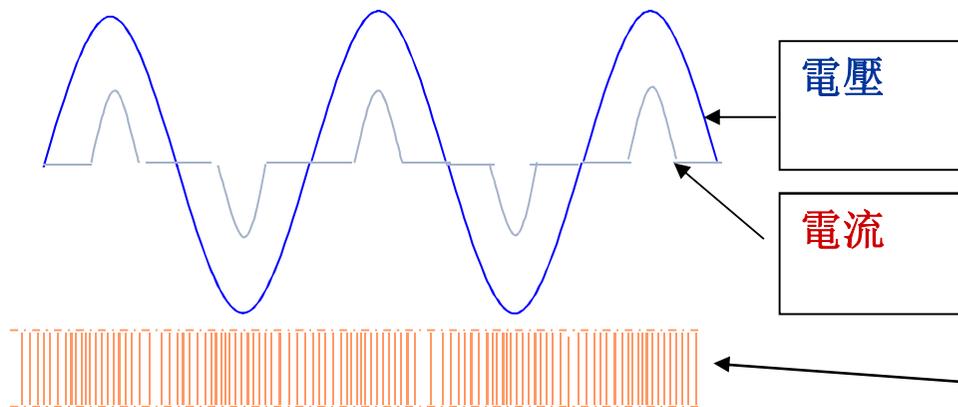
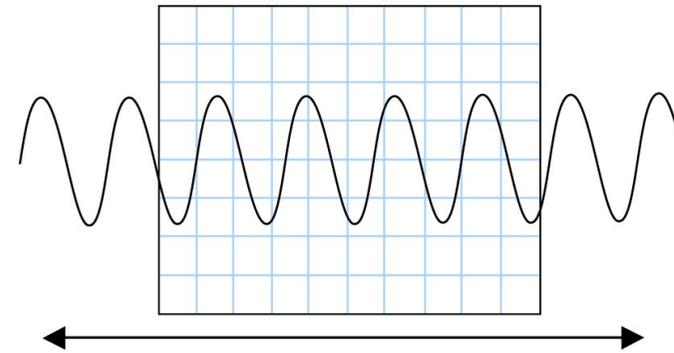
■ 取樣率

- 取樣率越快，分辨率越高，波形越真實



■ 記錄長度

- 確定在取樣率一定時，擷取多長「時間」
- 範例：
 - 50 Hz的一半周期是 10 ms
 - 取樣率為 1 GS/s 時，需要 10 M 點的記錄長度



$$\text{時間} = \frac{\text{記錄長度}}{\text{取樣率}}$$

如何確定需要儲存長度

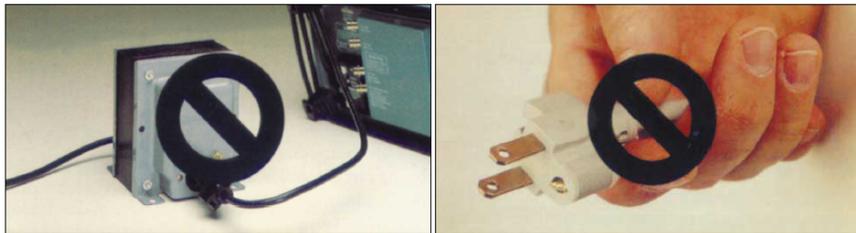
- 取樣速率至少應為被測類比訊號頻寬的 5 倍
- 對於快速變化的 IGBT 切換訊號，在一個邊緣上需要 5-10 個取樣點；100 ns 轉換至少要求 50 MS/s 的取樣速率
- 單次擷取的記錄時間與記錄長度直接成正比

$$\text{記錄時間 (秒)} = \frac{\text{記錄長度 (取樣點數量)}}{\text{取樣速率 (取樣點/秒)}}$$

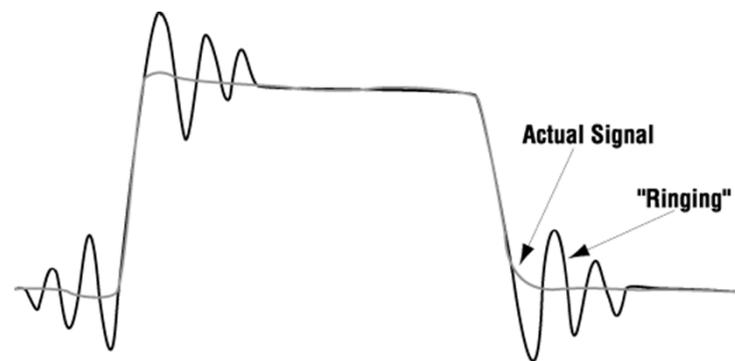
- 為同時查看 50 Hz 功率頻率訊號（一個周期），和 100 ns（10 個取樣點/邊緣）邊緣的 PWM 訊號
- 每個通道 2MB 記錄長度、100 MSa/s 取樣速率的示波器可以滿足此項要求

安全準確地探測「浮動」電壓

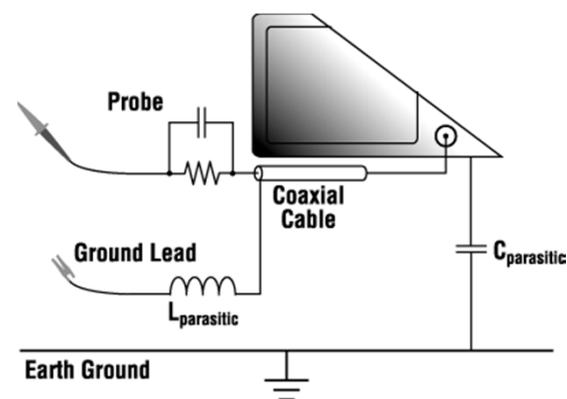
- 交流供電的普通示波器是以「地為參考點的量測」
- 示波器探棒的地線，與示波器的機殼和所有通道輸入端電氣相連
- 剪斷示波器地線或使用隔離變壓器，會有示波器從保護地線浮動起來的**危險**：
 - 操作人員觸電
 - 示波器損毀
 - 測試結果不準確



不可用剪斷示波器接地線的方法進行差動式量測！
不可使用隔離變壓器進行差動式量測！



分布電容和電感還可能帶來原本沒有的振鈴！

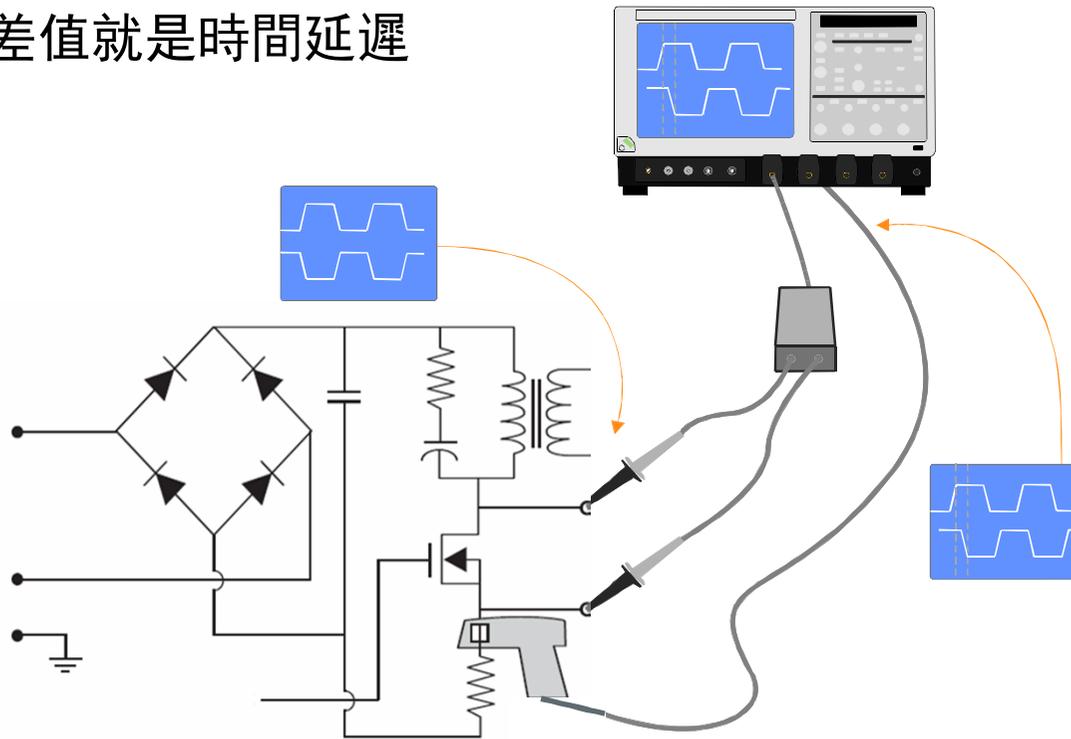


▶ 正確方法：

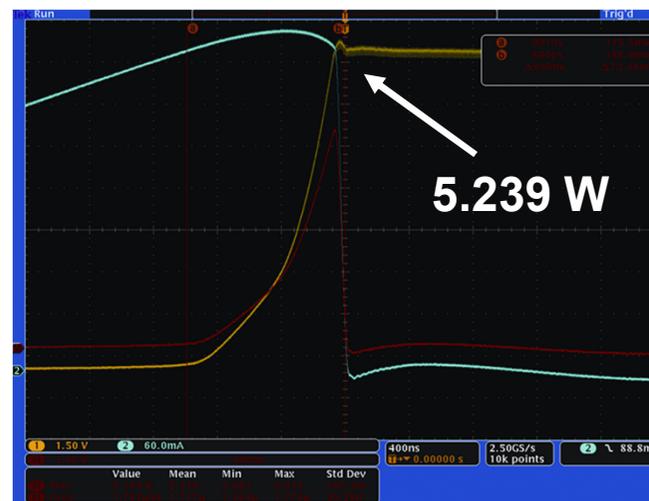
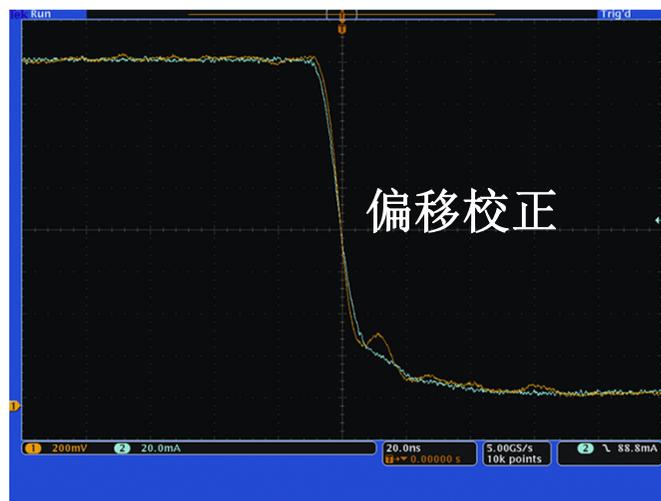
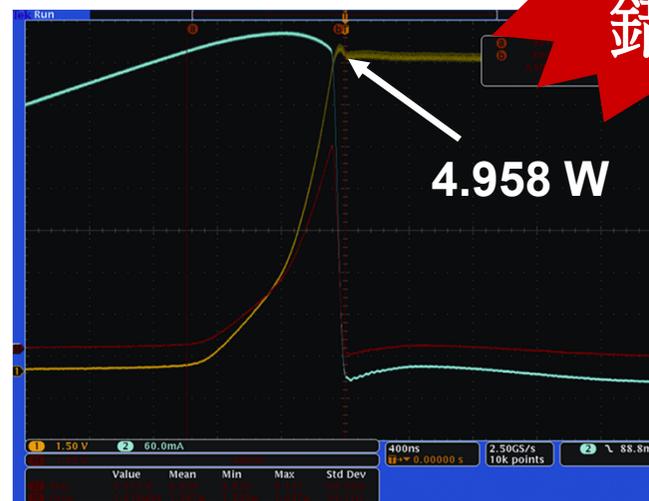
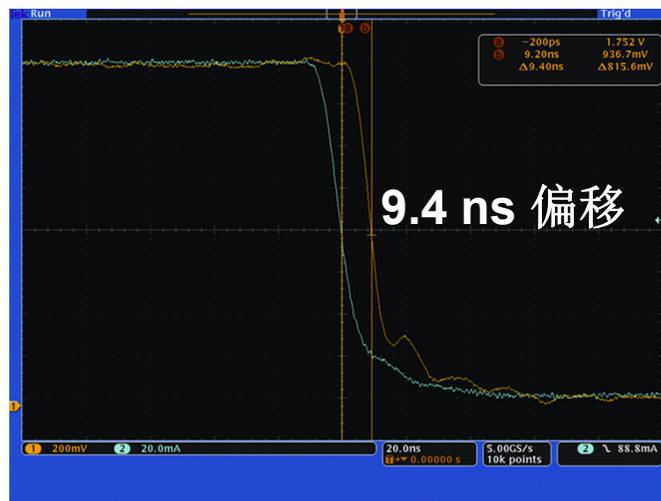
採用差動式探棒或採用隔離通道、電池供電示波器進行安全量測。

探棒之間的時間延遲

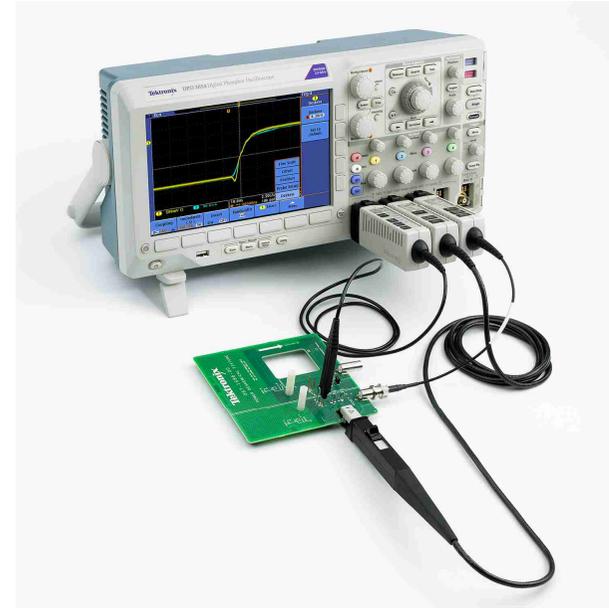
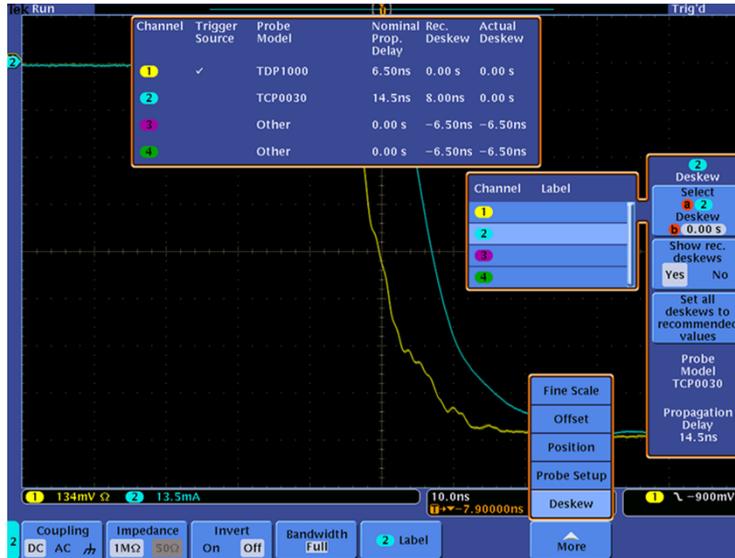
- 針對電力電子裝置進行功率量測時，必須同時量測裝置上的電壓和電流
 - 需要兩個獨立的探棒：電壓和電流
 - 每個探棒有自己的延遲特性
 - 延遲的差值就是時間延遲



時間延遲範例



解決辦法：消除電壓和電流探棒的時間延遲



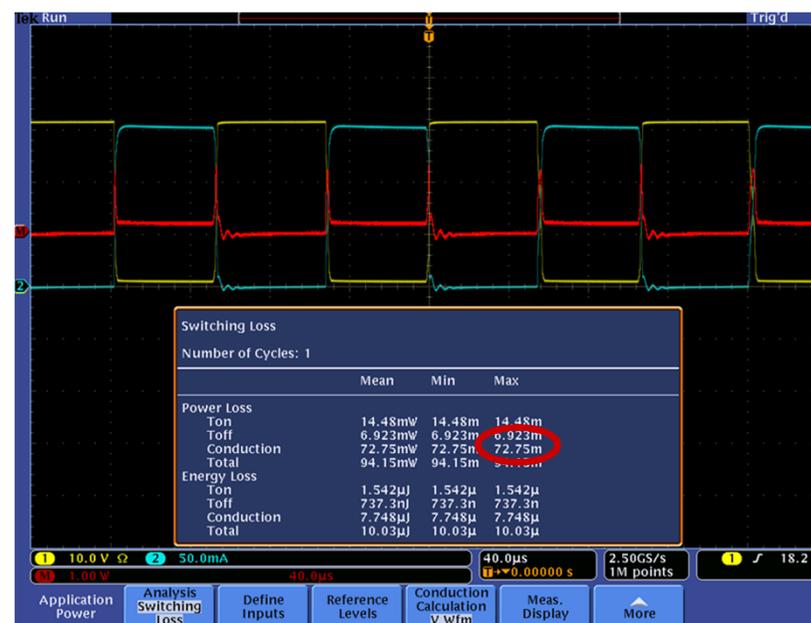
**Tektronix DPO3000
Oscilloscope with TekVPI®
probes and deskew kit**

測試挑戰：直流偏壓

- 示波器、差動式探棒和電流探棒可能有輕微的直流（DC）偏壓
- 需在進行高準確度測試前消除



With 1 V DC offset,
Conduction Loss = 86.13 mW.



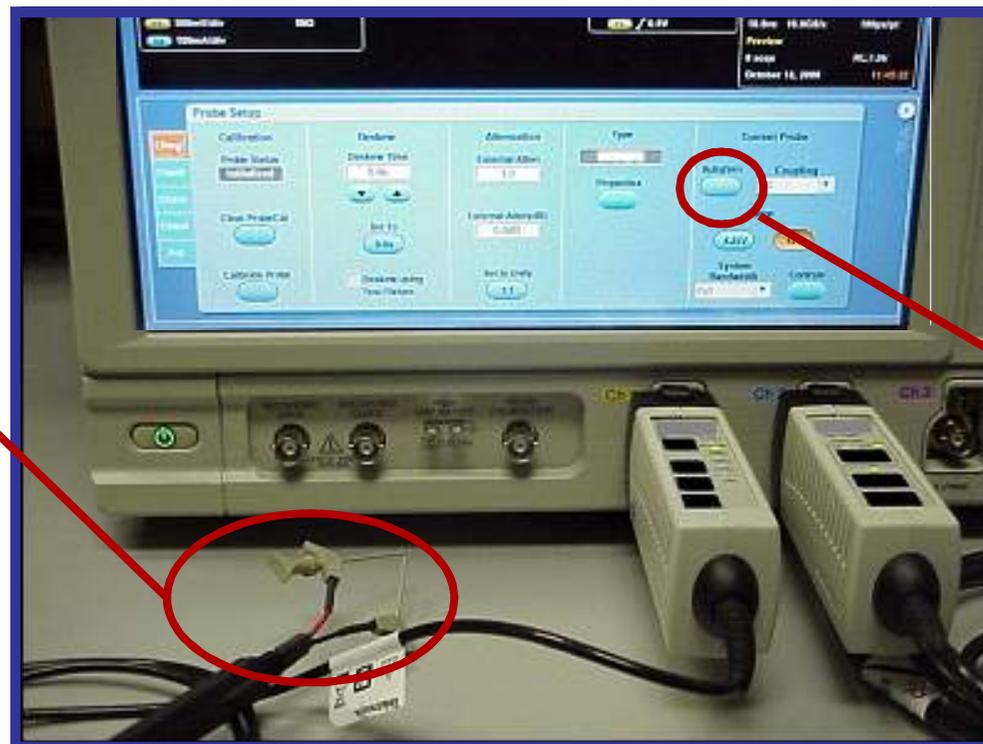
With DC offset removed,
Conduction Loss = 72.75 mW.

示波器直流偏壓的調整方法

- 訊號路徑補償
 - 訊號路徑補償 (SPC) 可修正因溫度變化和 (或) 長期漂移所引起的直流誤差。
1. 示波器**至少預熱 20 分鐘**。刪除從通道輸入的所有 (探棒和電纜) 輸入訊號。輸入訊號的交流分量對 SPC 具有不良影響。
 2. 按下 Utility。
 3. 按下「輔助功能頁面」
 4. 旋轉通用旋鈕 a 選擇「校驗」
 5. 按下螢幕下方功能表中的「訊號路徑」
 6. 按下次功能表中的「OK 執行補償訊號路徑」。OK 執行補償校驗約需 10 分鐘完成。

解決辦法：消除探棒偏移

短接探棒頭

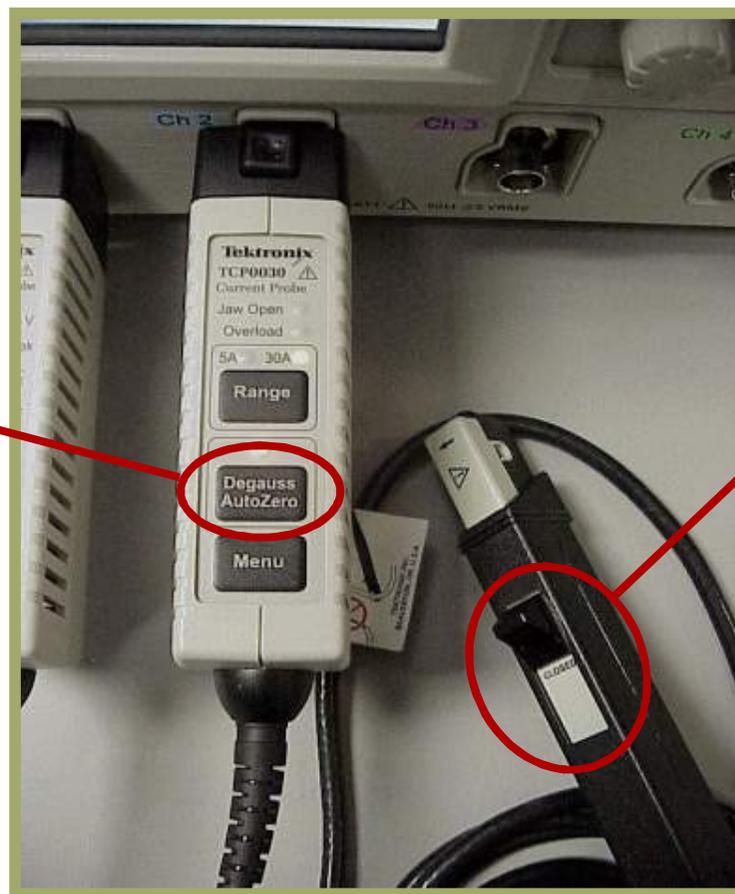


按示波器功能表中的「自動歸零」功能

解決方案：電流探棒的消磁功能

- 消除探棒磁性裝置中的剩餘磁通

按探棒補償盒上的「Degauss AutoZero」鍵



將探棒卡鉗推至「關閉」位置

解決方案：差動式探棒的偏移校正

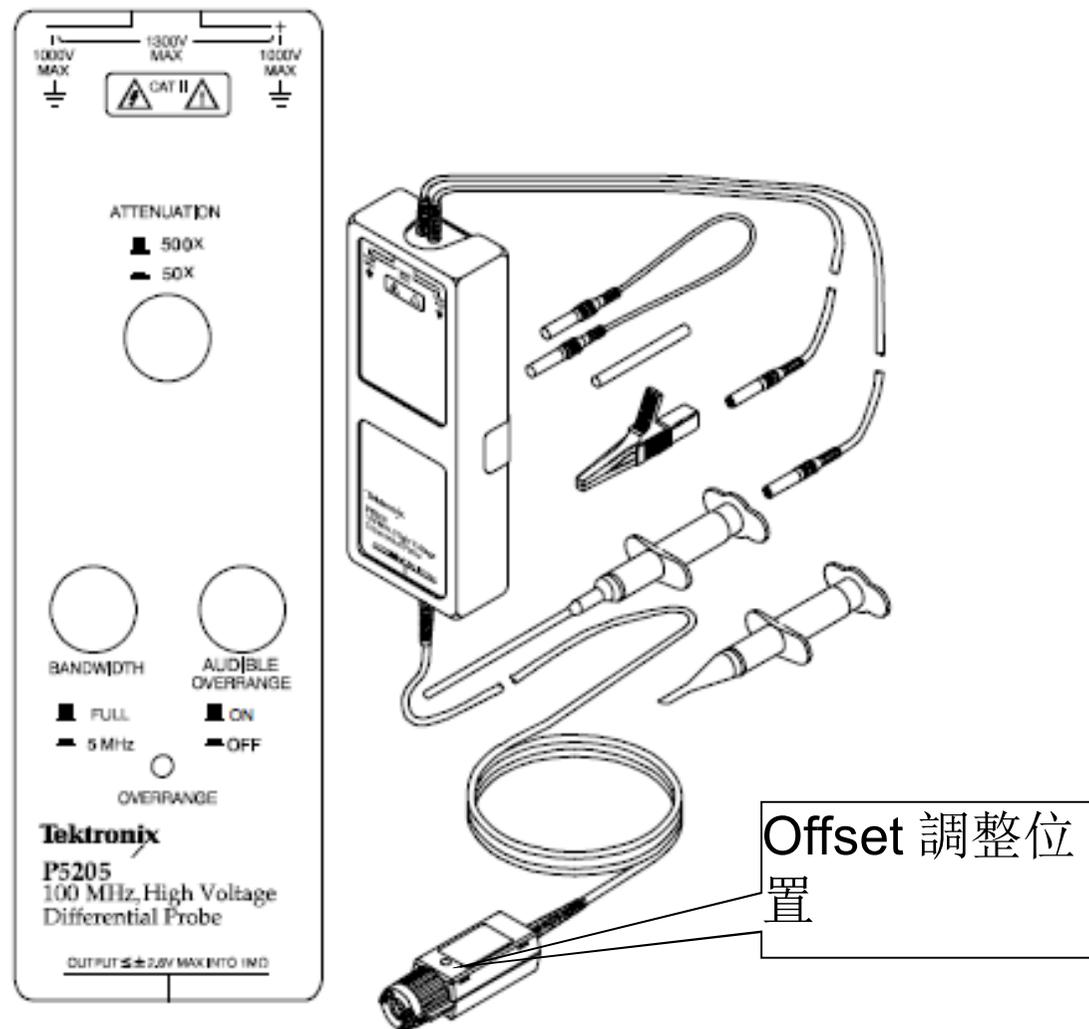
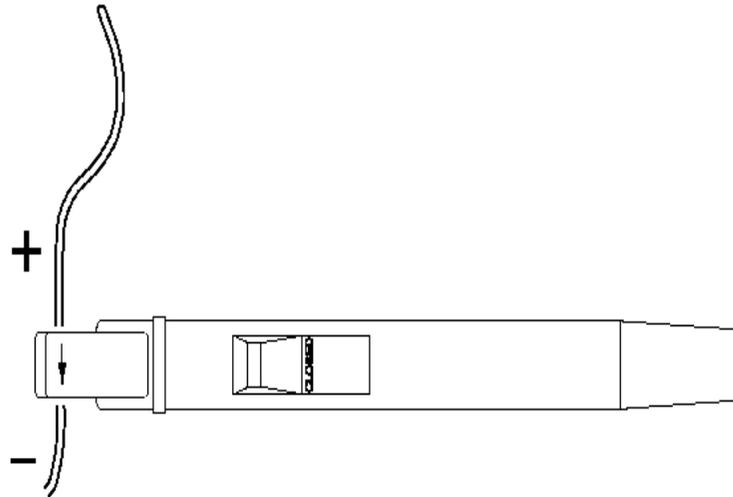


Figure 1: High Voltage Differential Probe

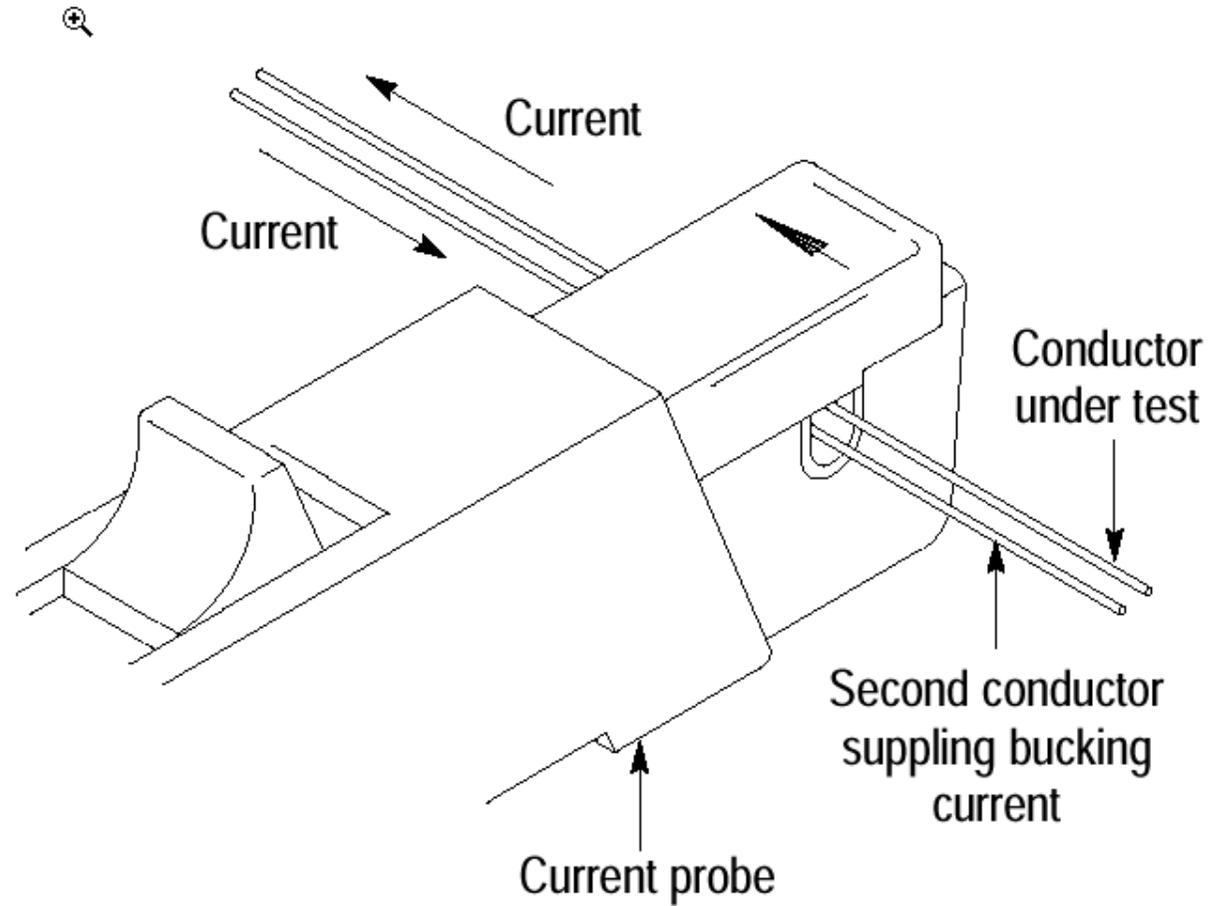
電流探棒的使用

- 請詳讀說明書上的安全注意事項以及探棒量測範圍
- 鉗式電流探棒將測試電路去除，需將滑塊推到底，直到探棒顯示：「CLOSED」。
- 第一次量測之前，需將接上電源的電流探棒**預熱 20 分鐘**以上，方能確保正確的量測結果
- 每一次量測之後，則需進行探棒消磁 (Degauss)，以免剩磁影響量測結果。為提高歸零效果，請將探棒的測試範圍調至最小後再消磁歸零，測試時再調整回正常的範圍。
- 若需更高的量測準確度，請在每次使用前，使用 Tektronix 專用的電流校驗夾具進行校正。



量測大的直流電流

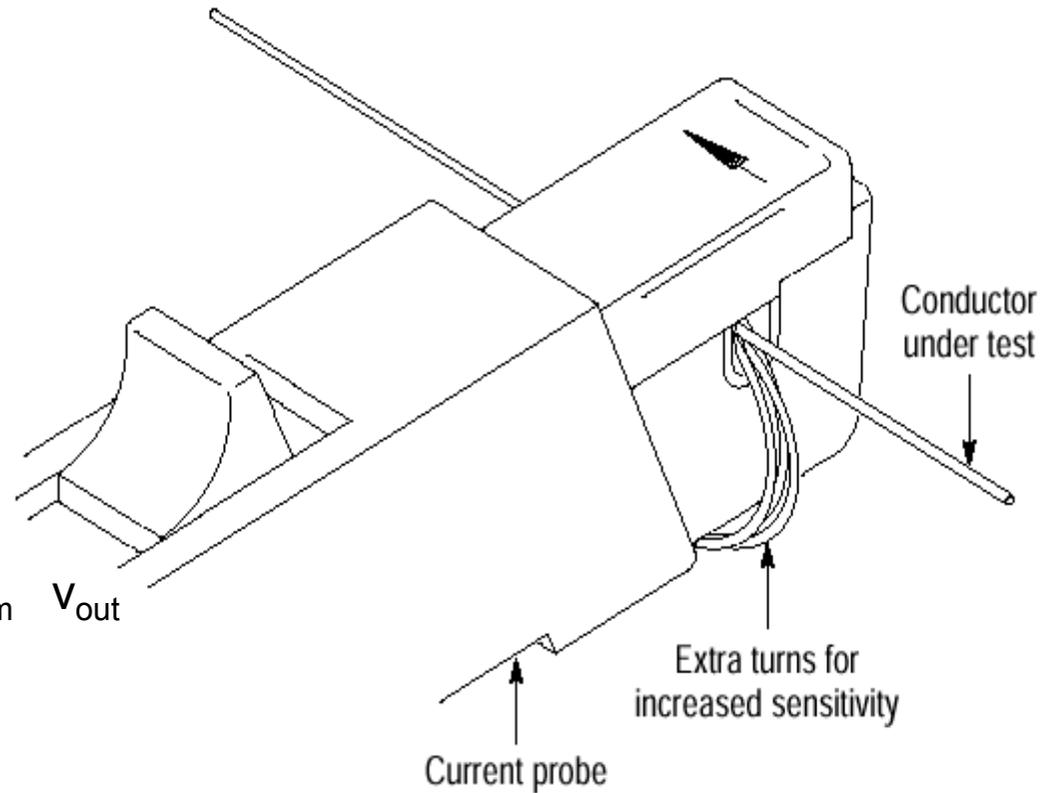
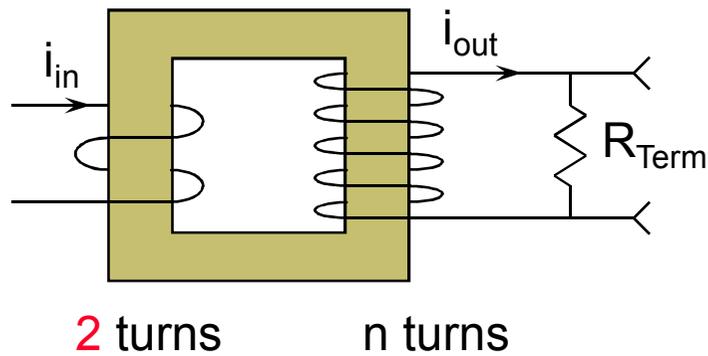
- 通過反向偏流的方法



量測微小電流

- 通過增加線組的方法

$$V_{\text{out}} = 2 (i_{\text{in}} / n) R_{\text{Term}}$$

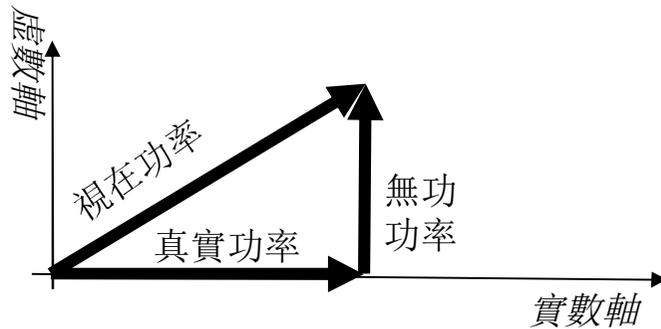


電能品質量測

- 事實上，輸入電壓和電流波形並不是完全相同的
 - 實際環境中的電源線永遠不會提供理想的正弦波
 - SMPS 是相對於電源的非線性負載
- 電源類產品都會在輸入電流波形上生成諧波，諧波的大小不得違反如 EN61000-3-2 的標準
- 電源品質量測包括：
 - 真實功率
 - 無功功率
 - 視在功率
 - 功率因數
 - 波峰因數
 - 電流諧波量測
 - THD

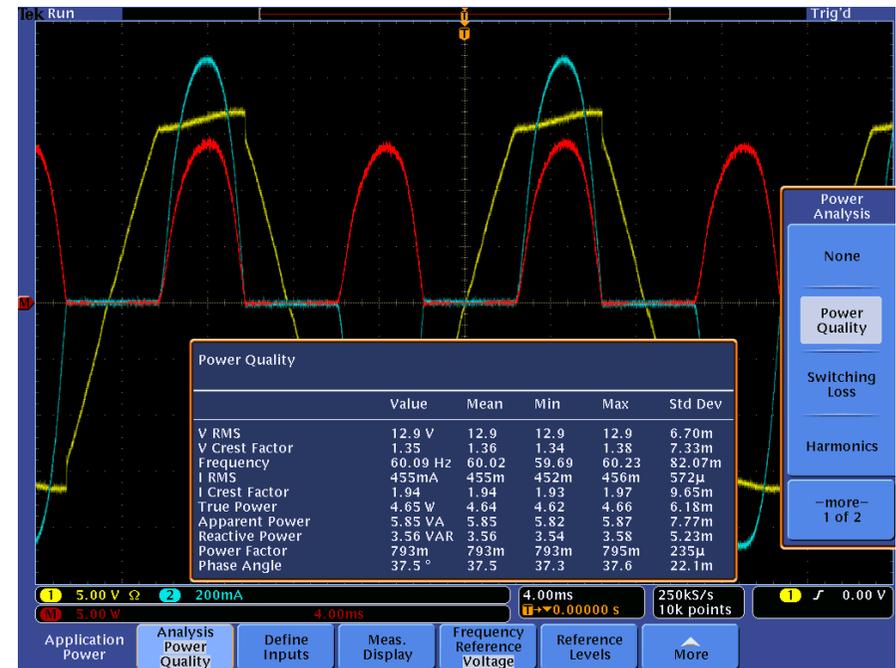
電源品質量測

- 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 = $\frac{V_{peak}}{V_{rms}}$



配備 DPO4PWR 的
TektronixMSO/DPO4000 示波器

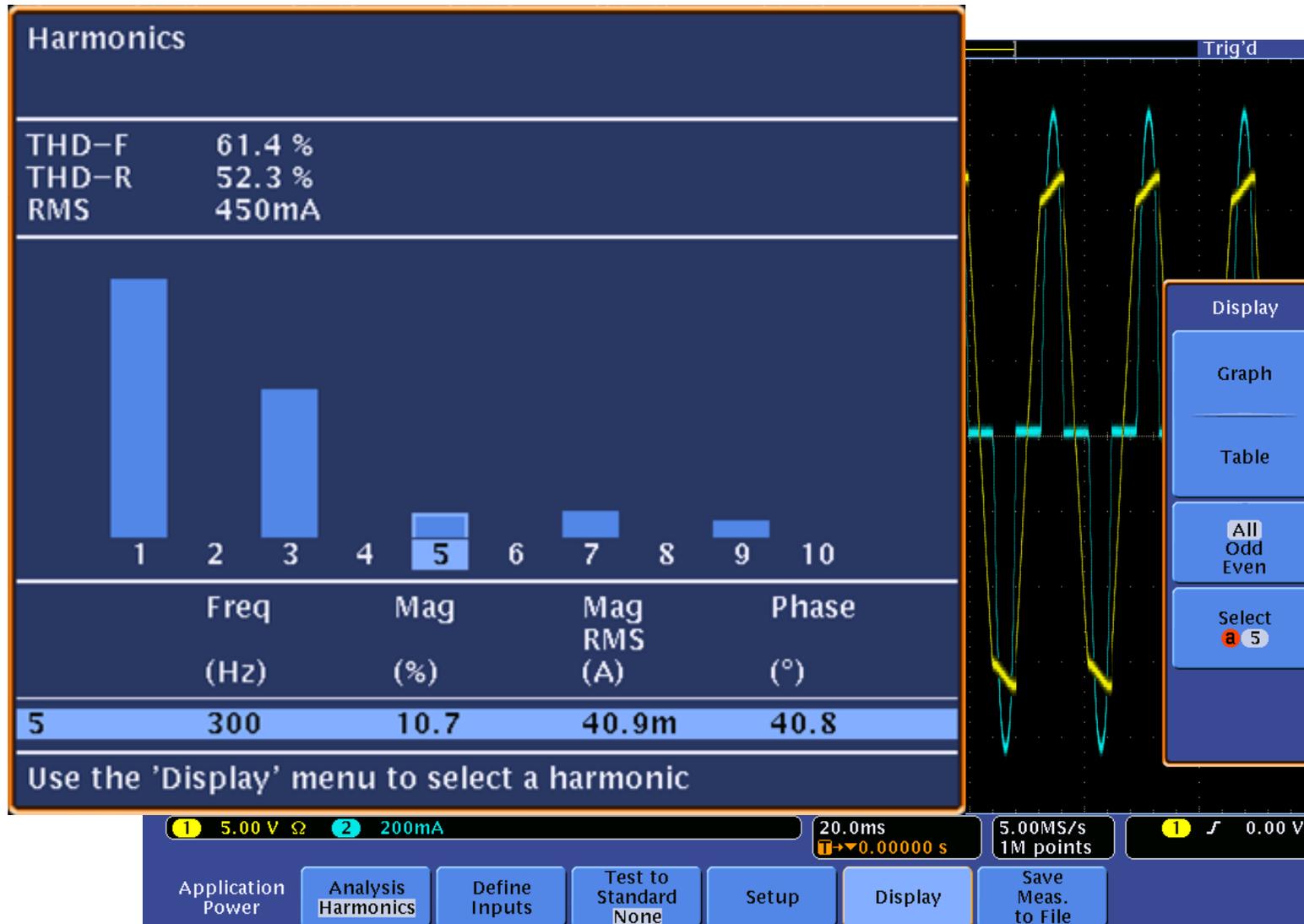
電源品質測量

AC 輸入電壓和電流



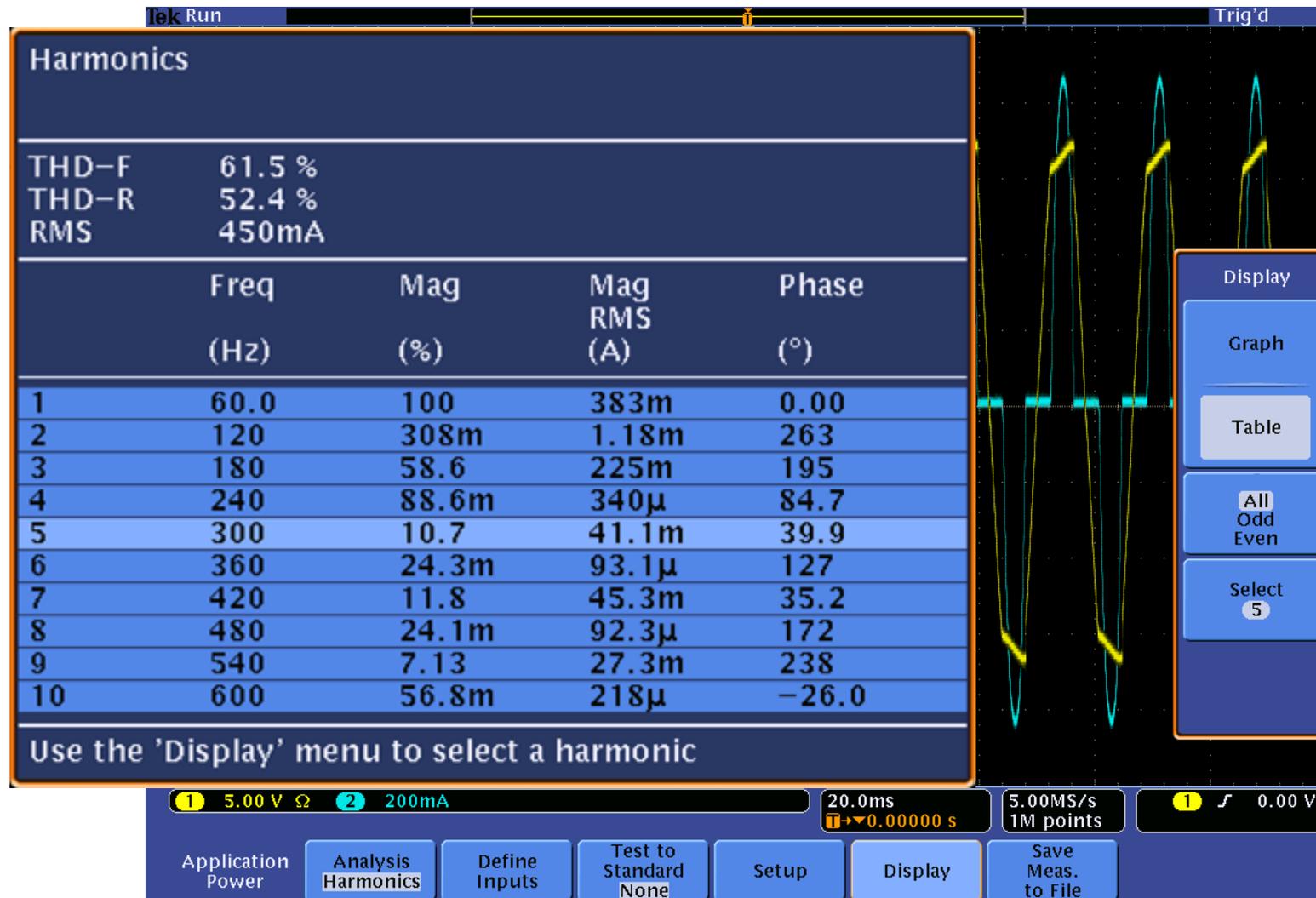
諧波量測圖

AC 輸入

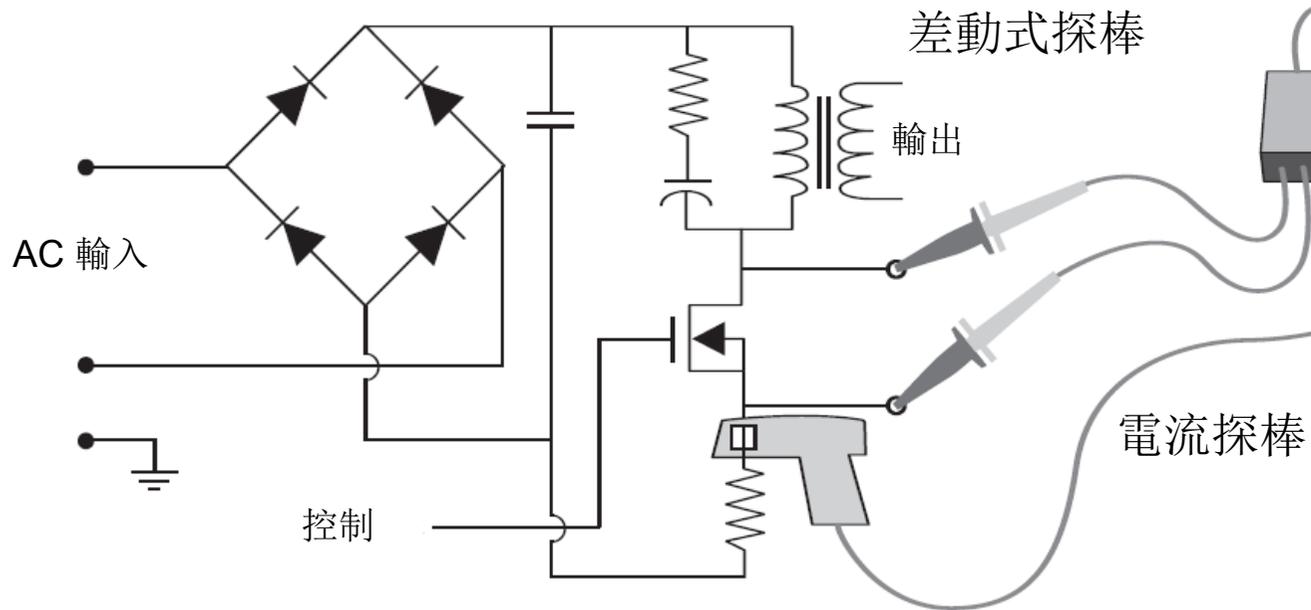
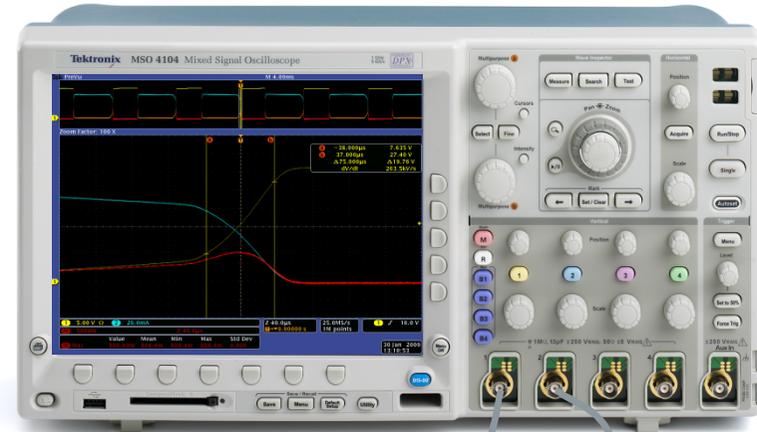


諧波量測表

AC 輸入



開關裝置的開關切換量測、轉換速率和安全工作區

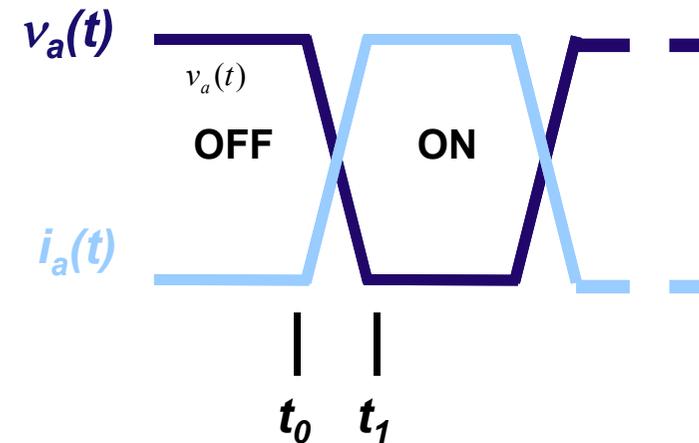


開關切換基礎知識

- 可以使用下列公式估算轉換過程中的能量切換：

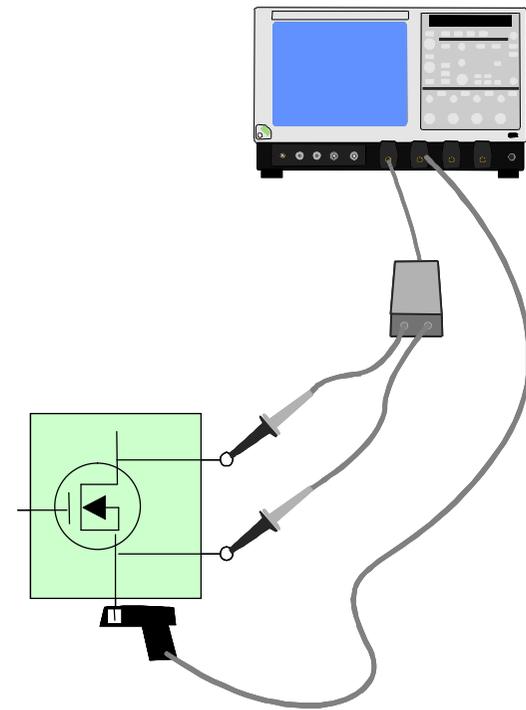
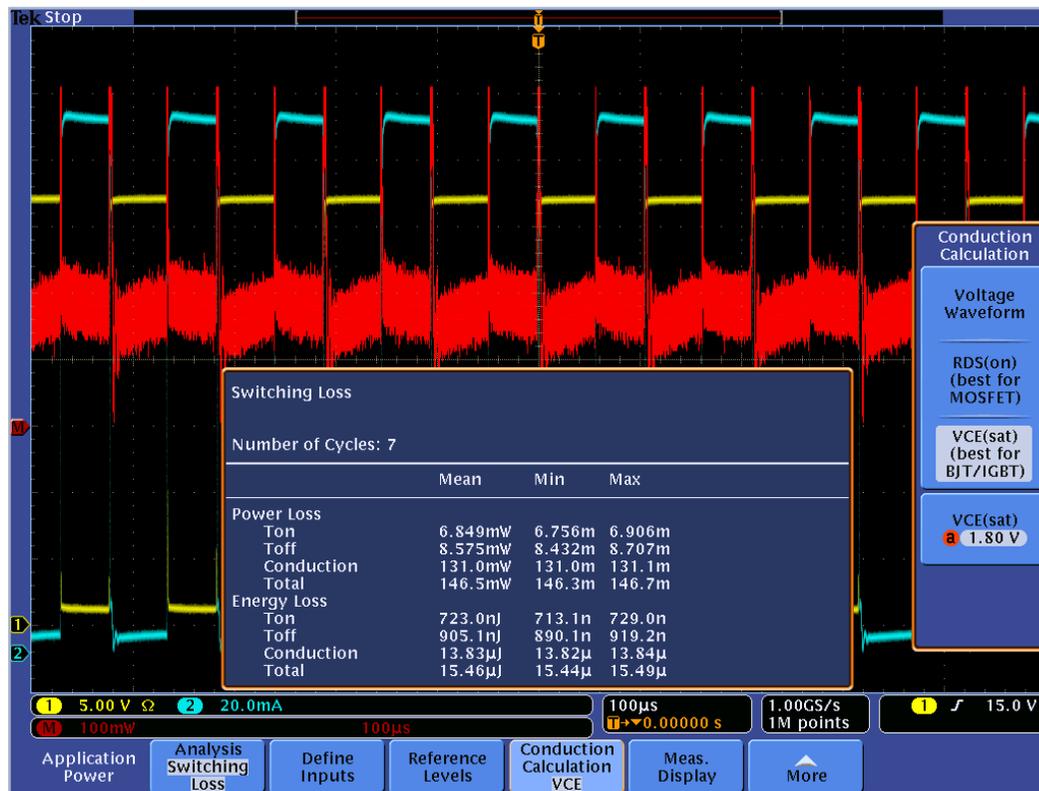
$$E_{on} = \int_{t_0}^{t_1} v_a(t) \cdot i_a(t) \cdot dt$$

- 其中：
 - E_{on} 是開關在轉換過程中切換的能量。
 - $v_a(t)$ 是流經開關的瞬間電壓。
 - $i_a(t)$ 是流經開關的瞬間電流。
 - t_1 是轉換結束時間。
 - t_0 是轉換開關時間。
- E_{off} 的公式類似



開關切換量測

- 簡單的開關切換量測是量測流經開關設備的電壓與電流。
- 電源分析軟體將計算開點切換、閉點切換，和傳導切換。
- 警告：電壓波形和電流波形之間的定時必須準確。



配備 DPO4PWR 模組的 TektronixMSO/DPO4000 示波器

開關電源和能量切換量測

總和 = 開點切換 + 閉點切換 + 傳導切換



安全工作區量測

- 檢定設備的工作區域
- 使用下列公式計算瞬間功率：

$$P_n = V_n I_n$$

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

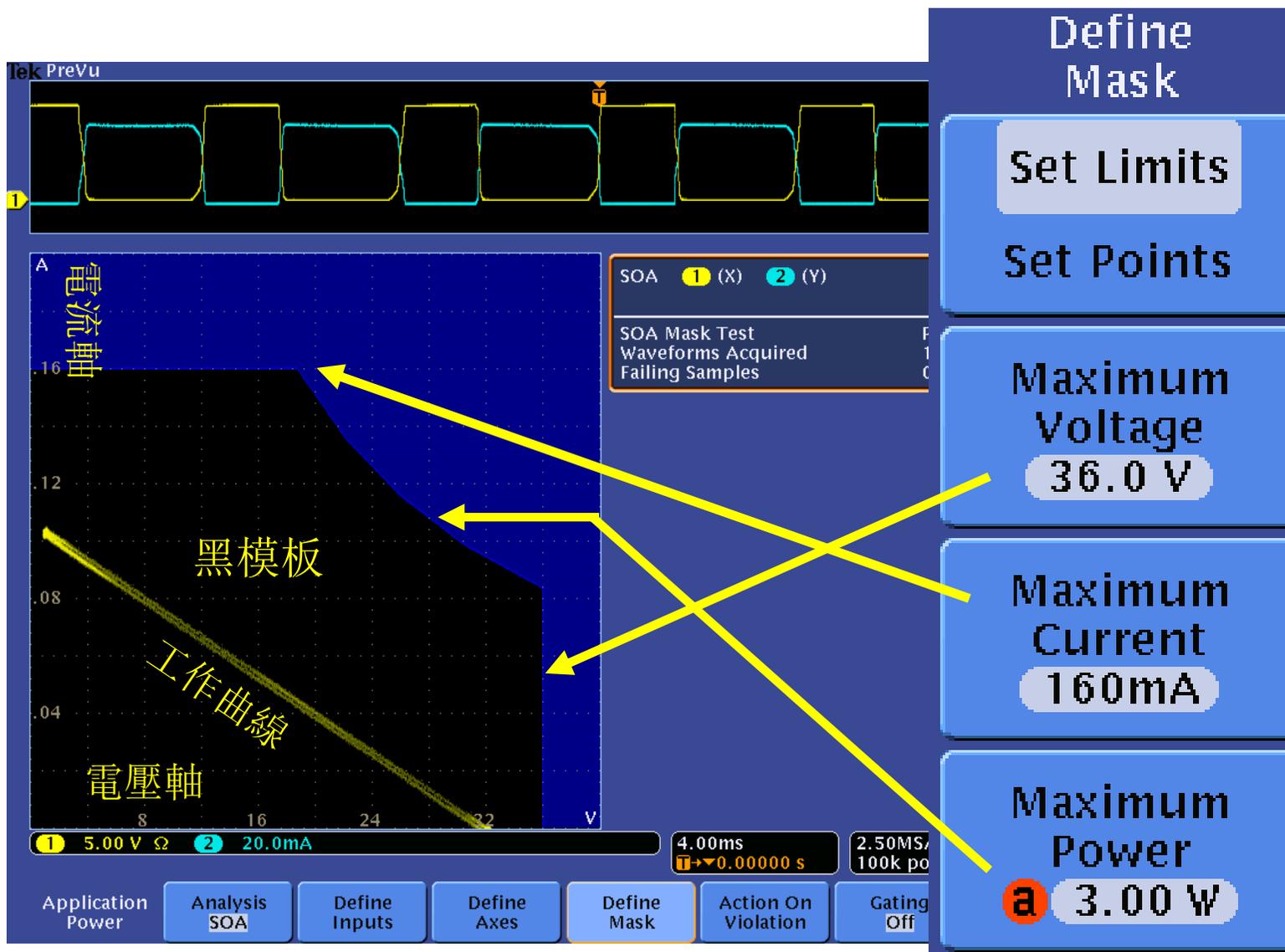
- 量測變量可以包括不同的負載、工作溫度、高和低線路輸入電壓等



配備 DPO4PWR 的 TektronixMSO/DPO4000 示波器

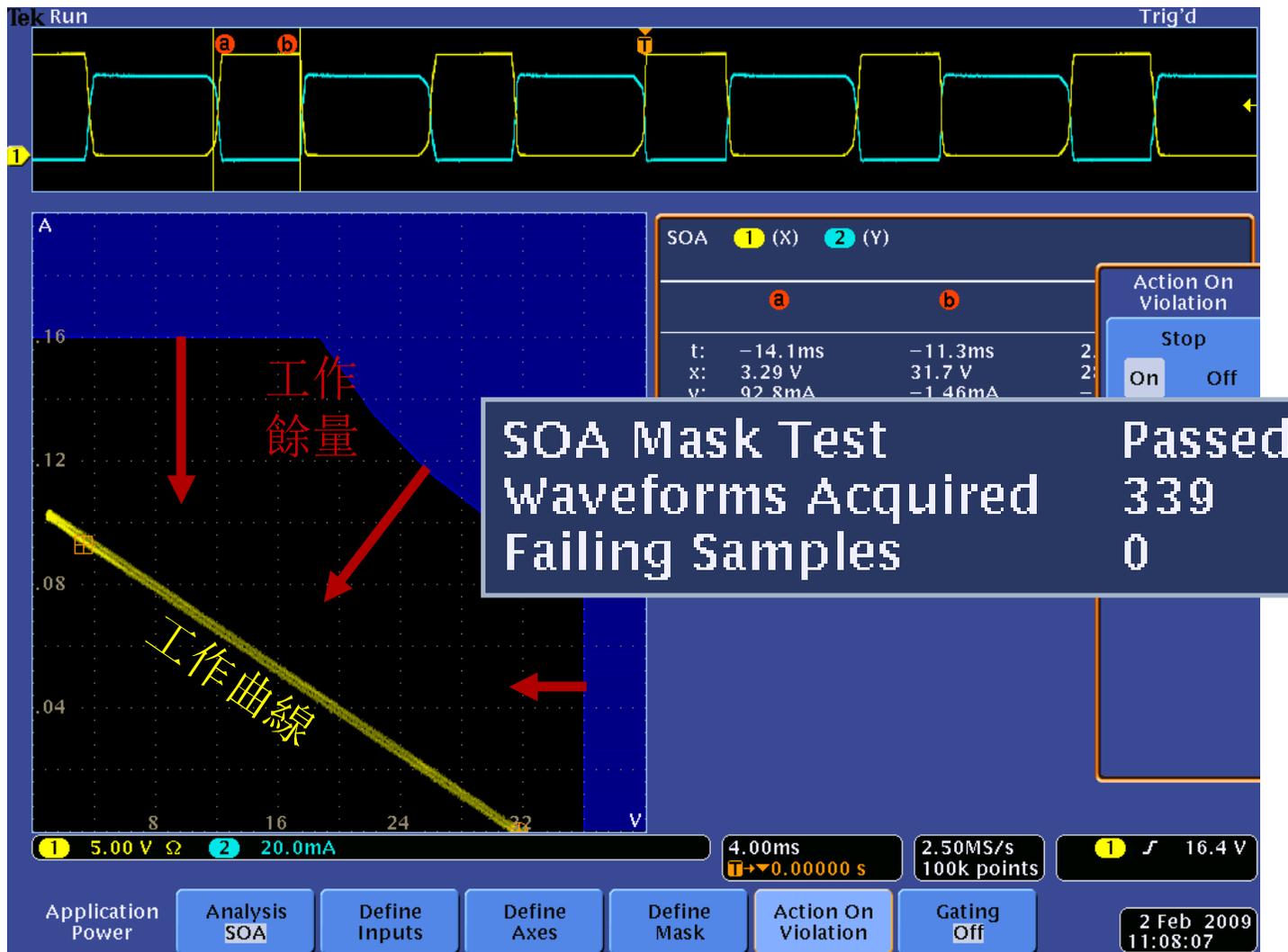
安全工作區模板測試

使用者自行定義模板



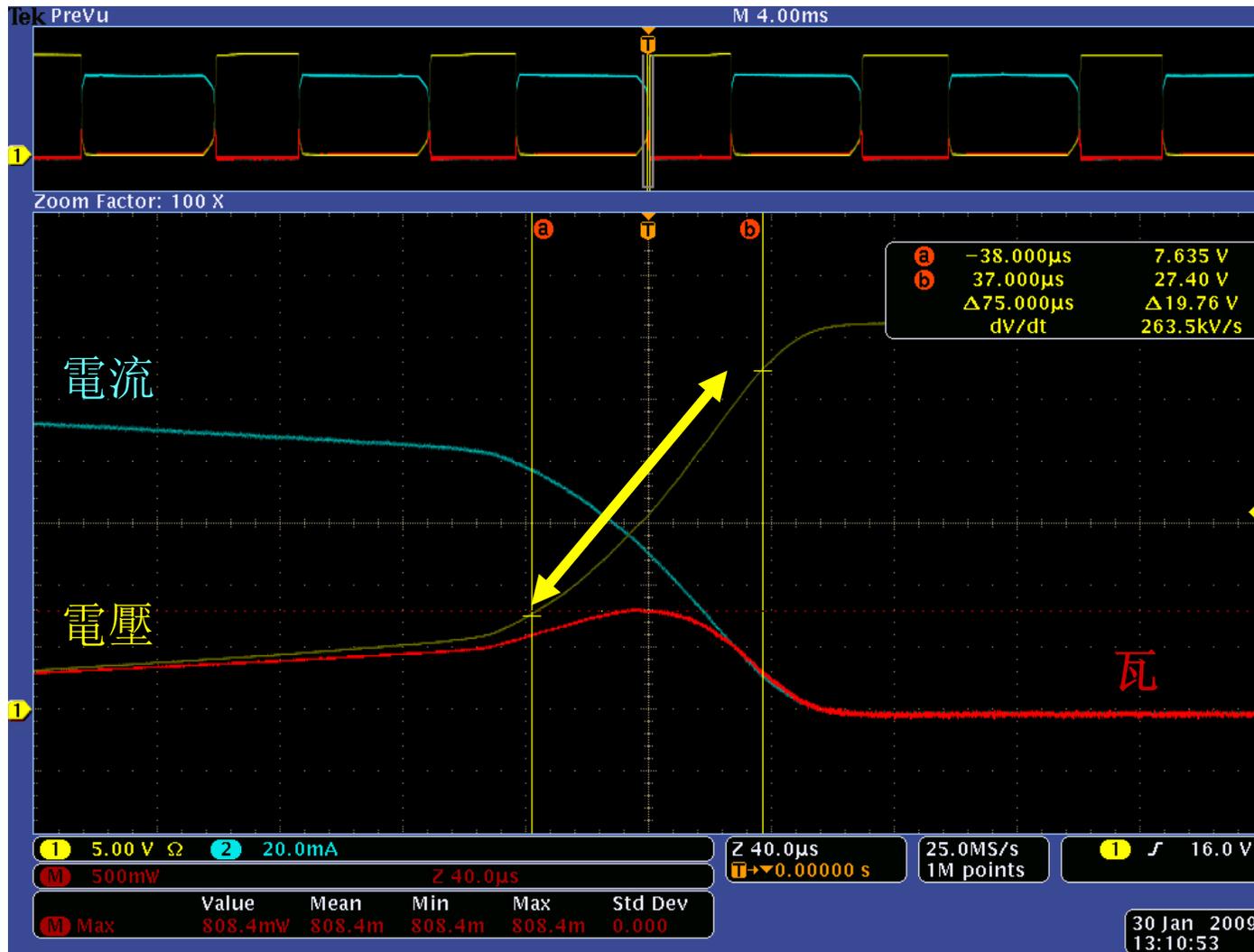
安全工作區模板測試

通過/失敗結果



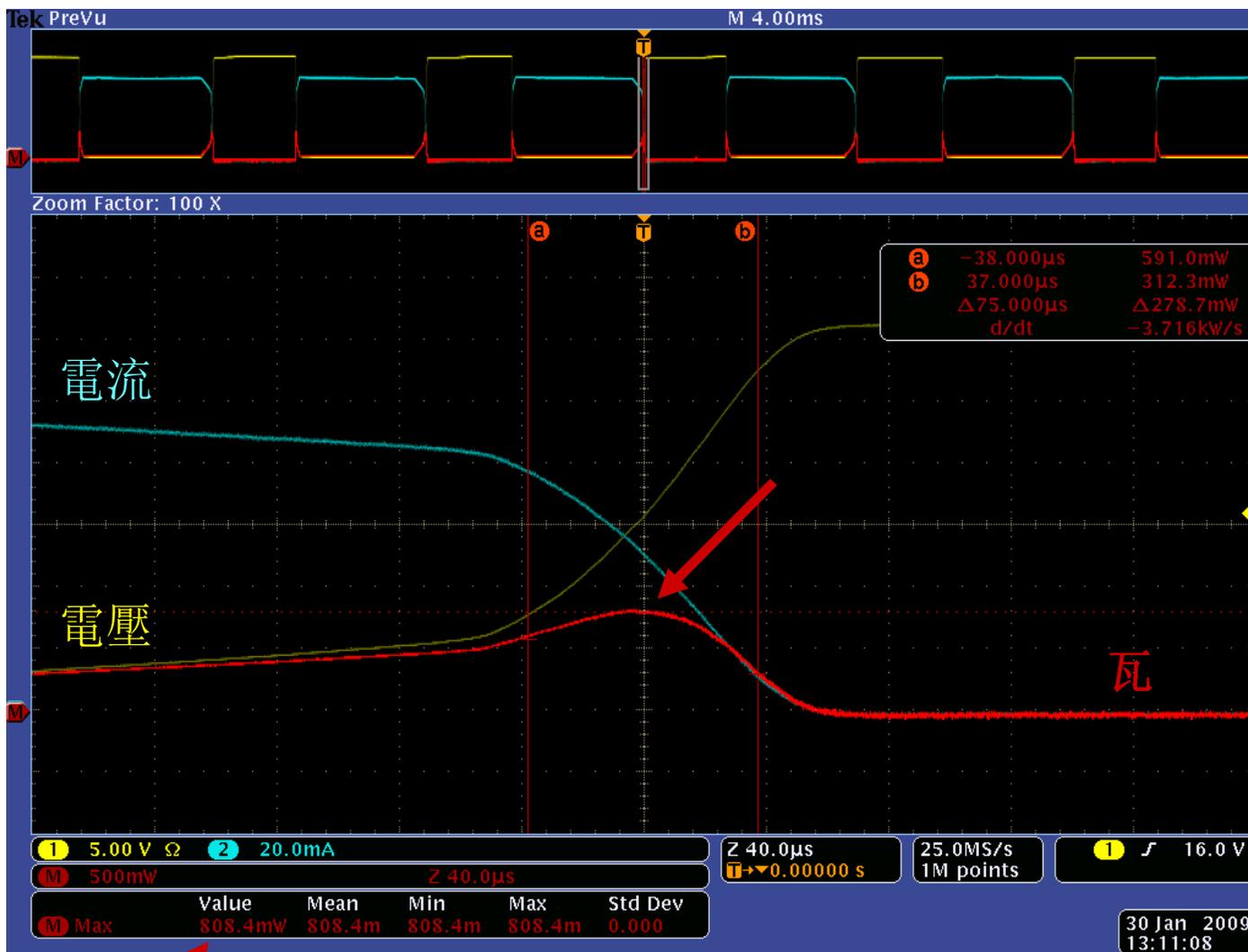
開關設備電壓轉換速率量測

關閉 $\Delta V / \Delta t = 263.5 \text{ kV/s}$

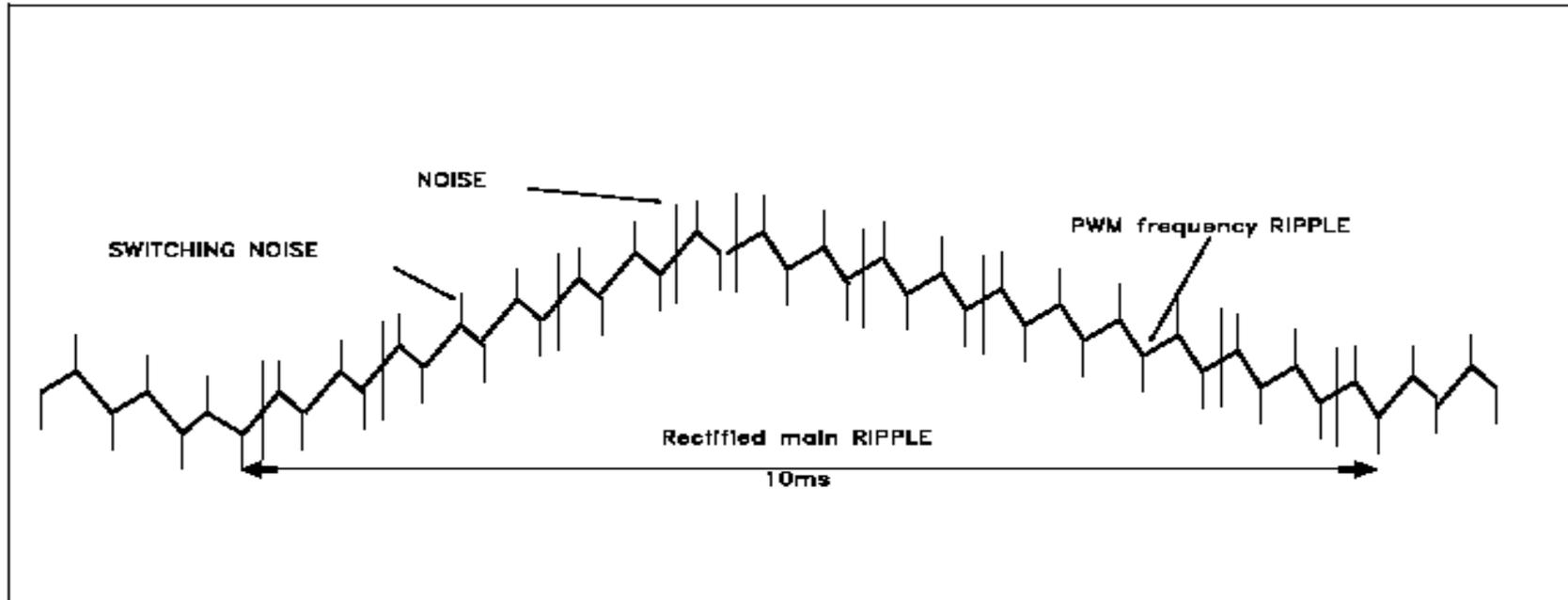


採用數學運算波形的切換功率

808.4 mW 處的閉點最大功率峰值



輸出紋波量測



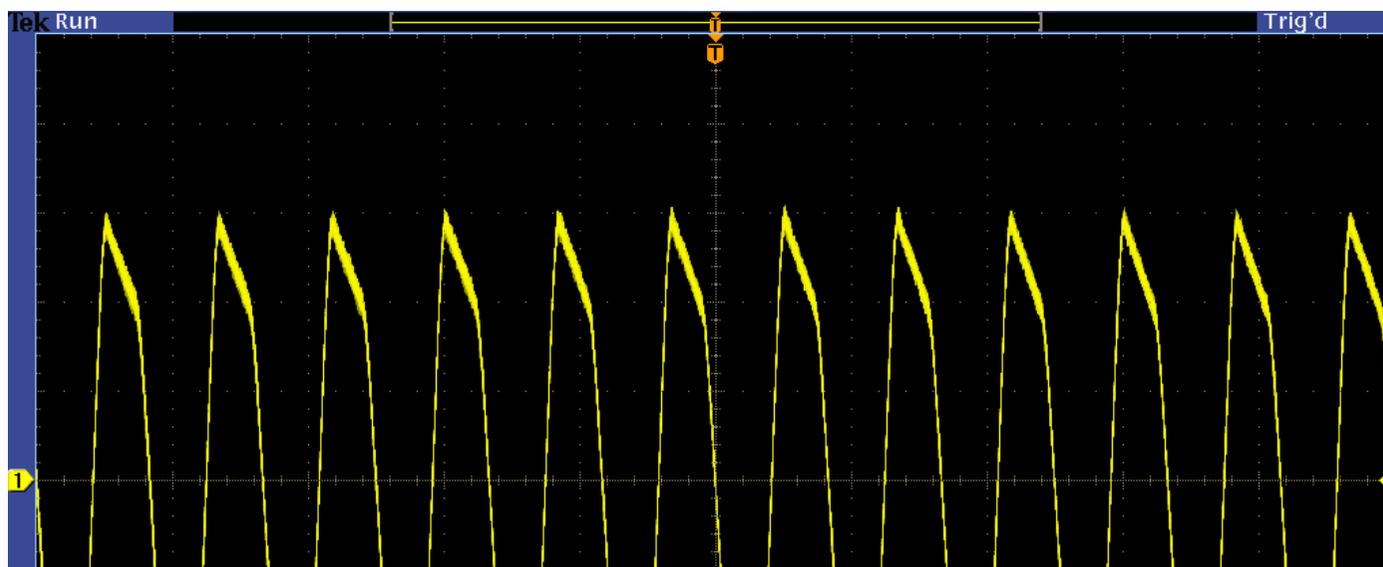
- 低頻漣波：功率頻率的 2 倍頻 (100Hz)
- 高頻漣波：脈寬調變開關電路帶來的漣波
- 切換雜訊：與 PWM 訊號同頻率的雜訊
- 隨機雜訊：功率頻率或切換頻率相關的雜訊

輸出紋波量測

- 漣波的量測一般使用峰值
- 一般使用 20 MHz 頻寬的示波器進行量測
- 漣波的典型值是輸出電壓的 1-2%
- 欲進行載波測試，必須使用示波器探棒時，需注意下列事項：
 - 盡量減少示波器探棒接地線的影響。使用 BNC 到探棒頭轉換或者至少拔掉探棒帽，去掉探棒地線
 - 示波器務必接地
 - 推薦探棒 TPP0502：500 MHz 頻寬、2* 衰減比、300Vrms 動態範圍

在直流輸出上進行漣波量測

自動統計量測



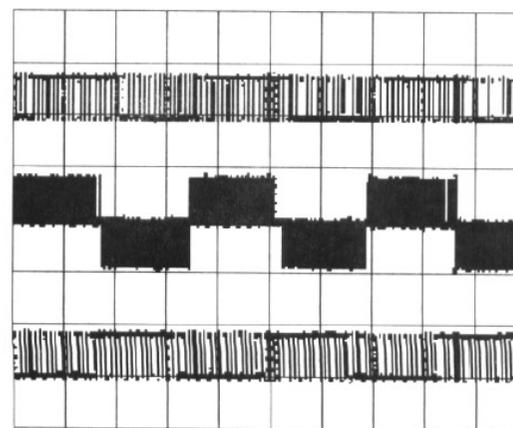
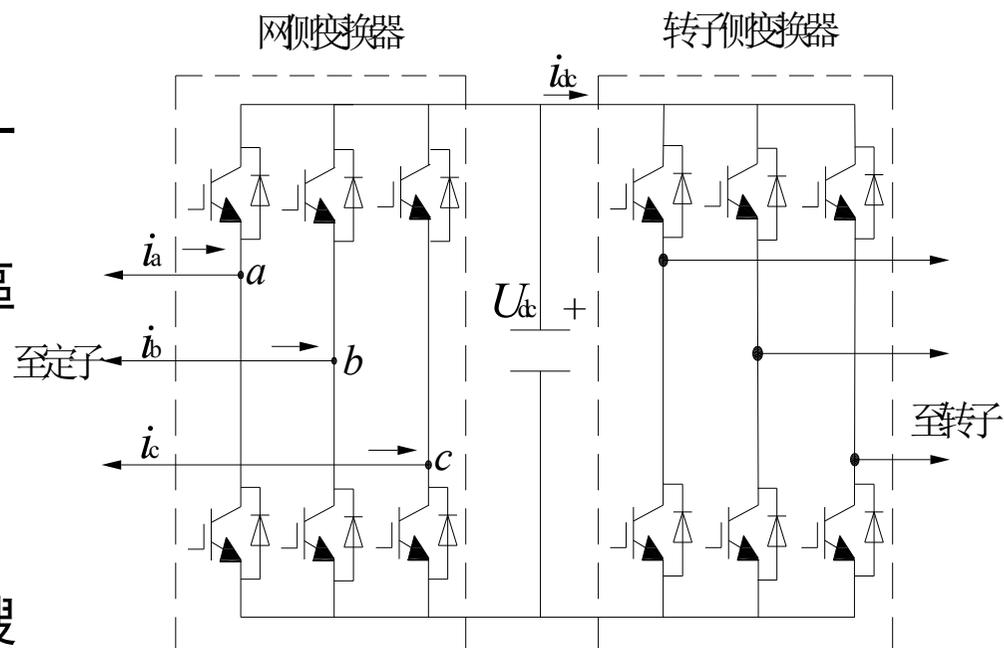
Ripple						
	Value	Mean	Min	Max	Std Dev	
1	Ripple	1.390 V	1.376	556.0m	1.400	77.03m

1 250mV Ω 20.0ms \rightarrow 0.00000 s 5.00MS/s 1M points 1 \int 16.0 V

Application Power Analysis Ripple Define Inputs Source V I Do Vertical Autoset Set Offset to 0 V Statistics On

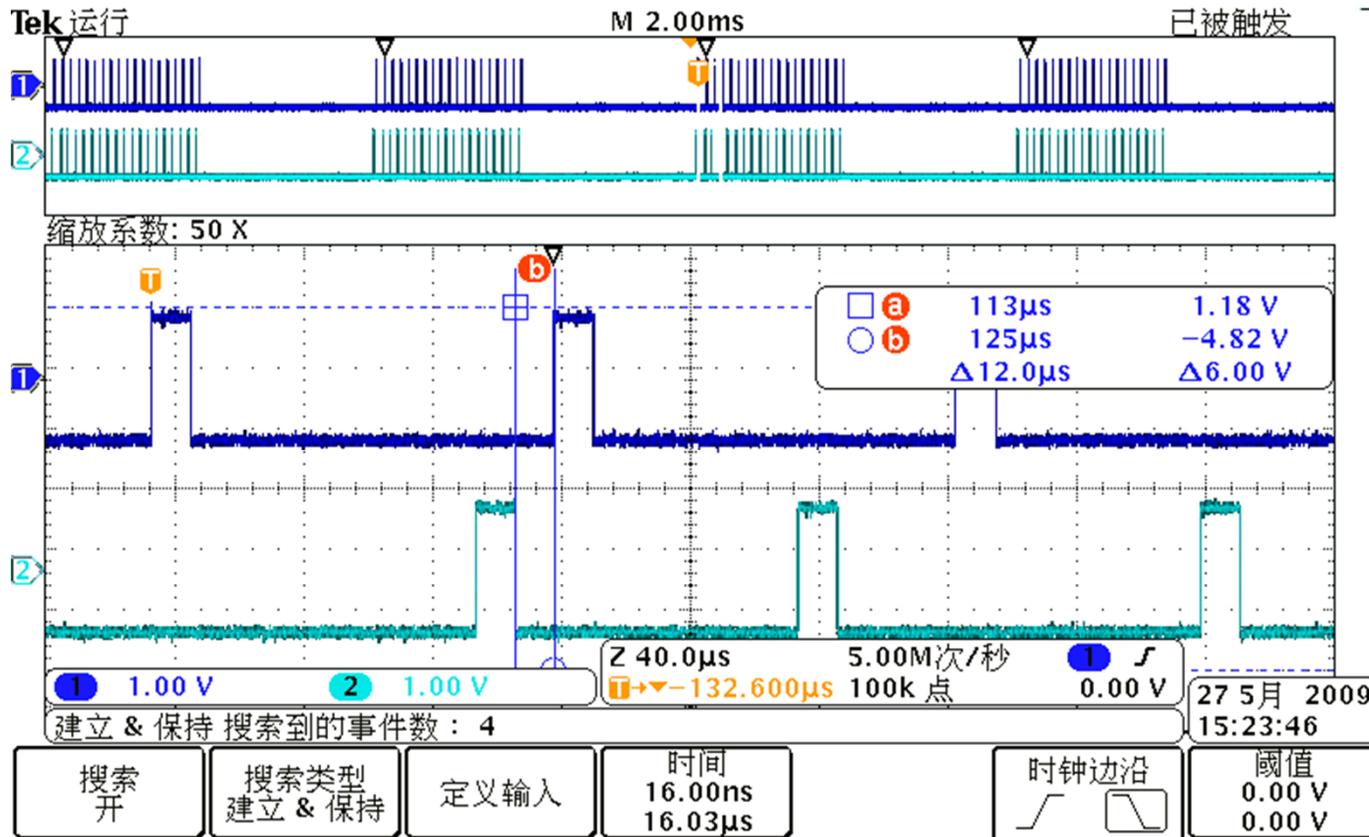
驅動脈衝量測

- 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，查詢長時間時段內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）



(a) 控制信号 PWM₁、PWM₃ 及 PWM₁ - PWM₃ 的波形

驅動脈衝量測

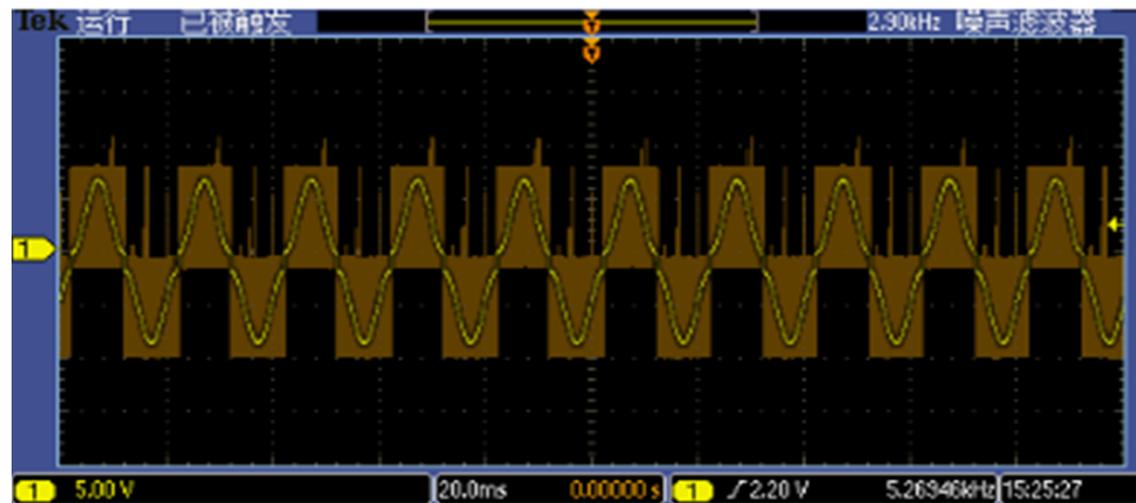
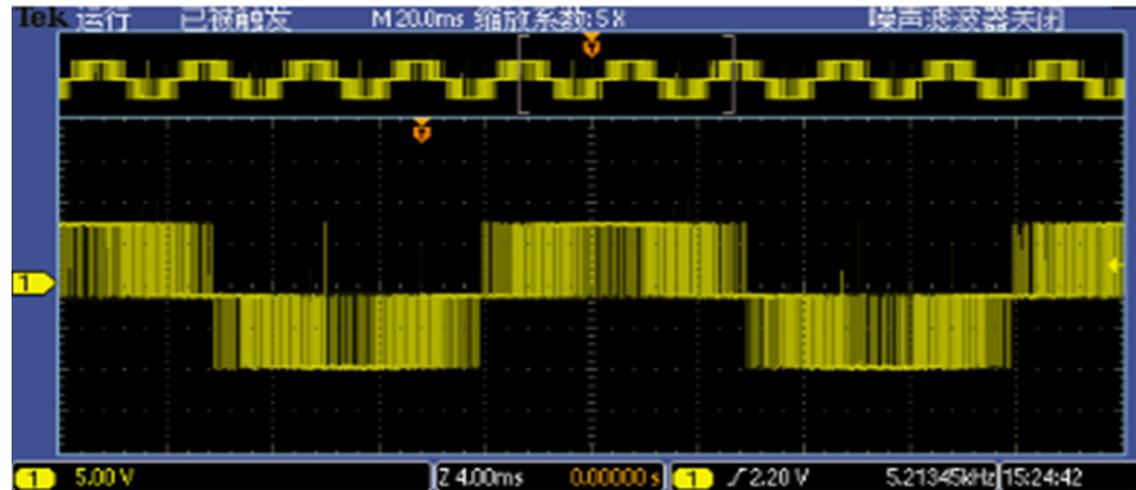


DPO3054 - 15:21:13 2009-5-27

- 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

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 門級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



MSO2024 - 15:36:49 2009-5-27

Tektronix 全面的電源探測解決方案

差動式探棒和電流探棒

DPO系列示波器配有 Tektronix 通用探棒介面 (VPI)。TekVPI 探棒用途廣泛、功能豐富，簡便易用

- TekVPI 高電壓差動式探棒

- TDP1000 和 TDP0500

- 提供 GHz 性能，分析切換式電源供應器 (SMPS) 設計
- 廣泛的待測裝置 (DUT) 連接能力和簡便易用性

- TekVPI 電流探棒

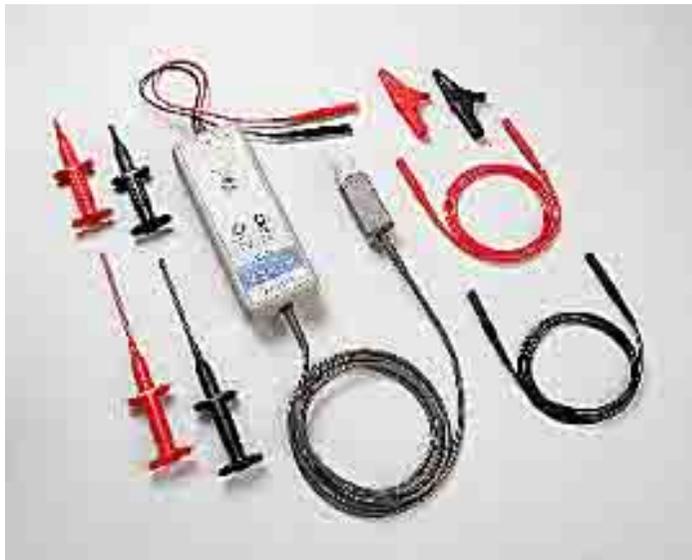
- TCP0030 和 TCP0150

- 傑出的頻寬 (DC - 120 MHz) 和寬動態範圍 (幾毫安到幾百安)。
- 分芯結構，可以更簡便、更迅速地連接待測裝置 (DUT)



高電壓探棒和電流探棒

- 高電壓差動式探棒電流探棒
 - P5205A/THDP0200 - 量測高達 1000 VRMS CAT II 的電壓
 - P5210A/THDP0100 - 量測高達 4400 VRMS 的電壓
 - 在示波器接地的情況下，安全地量測浮動電路或提升電路
 - 從幾毫伏到幾千伏的寬動態電壓範圍



- 電流測試系統
 - TCPA300 電流放大器配合 TCP303/TCP305/TCP312 以及獨立的 TCP202
 - 變壓器和霍爾效應技術增強了 AC/DC 量測功能
 - 從幾毫安到幾千安的寬動態電流範圍



更新！高電壓探棒

	類型	頻寬 MHZ	介面形式	衰減比	差動式輸入電壓 DC+ACpk
P5200A	高電壓差動式	DC-50	BNC	500X 50X	1300V
P5205A	高電壓差動式	DC-100	TEKPROBE	500X 50X	1300V
P5210A	高電壓差動式	DC-50	TEKPROBE	1000X 100X	5600V
P5202A	高電壓差動式	DC-100	TEKPROBE	20x 200x	640V
P5201	高電壓差動式	DC-25	BNC	20X 200X	1400V
TMDP0200	高電壓差動式	DC-200	TEKVPI	25X 250X	750V
THDP0200	高電壓差動式	DC-200	TEKVPI	50X 500X	1500V
THDP0100	高電壓差動式	DC-100	TEKVPI	100X 1000X	6000V
TDP0500	高頻差動式	DC-500	TEKVPI	50X 5X	±42V ±4.2V
TDP1000	高頻差動式	DC-1000	TEKVPI	50X 5X	±42V ±4.2V
P6246	高頻差動式	DC-400	TEKPROBE	10X 1X	±8.5V ±850mV
P6247	高頻差動式	DC-1000	TEKPROBE	10X 1X	±8.5V ±850mV
ADA400A	微伏差動式 最小分辨率 10uV/格	DC-1M	TEKPROBE	X100 X10 X1 10X	±10V ±10V ±40V ±40V

電流探棒

	頻寬 Hz	電流量程 A	鉗口直徑 mm	介面類型
電流測試系統				
TCPA300 TCP312	DC-100M	5A (DC+AC峰值) 30A (DC+AC峰值)	3.8	BNC
TCPA300 TCP305	DC-50M	25A (DC+AC峰值) 50A (DC+AC峰值)	3.8	BNC
TCPA300 TCP303	DC-15M	25A (DC+AC峰值) 150A (DC+AC峰值)	21X25	BNC
TCPA400 TCP404XL	DC-2M	750A (DC+ AC峰值)	21X25	BNC
直接連接型電流探棒				
TCP0020	DC-50M	20 (DC+AC峰值)	5	TEKVPI
TCP0030	DC-120M	5A (DC+AC峰值) 30A(DC+AC峰值)	3.8	TEKVPI
TCP2020	DC-50M	20A(DC+AC峰值)	5	BNC
TCP0150	DC-20M	25A(DC+AC峰值) 150A(DC+AC峰值)	21x25	TEKVPI
TCP202A	DC-50M	15 A(DC+AC峰值)	5	TEKPROBE
其他電流探棒				
P6021	120-60M	15A (峰值)	3.8	BNC
P6022	935-120	6A (峰值)	3.58	BNC
CT1	25K-1G	450mA	1.78	P6041BNC 電纜
CT2	1.2K-200	2.5A	1.32	P6041BNC 電纜
CT6	250K-2G	120mA	0.8	SMA-BNC 電纜
A621	5-50K	2000A (峰值)	54	BNC
A622	DC-100K	100A (DC+AC峰值)	11.8	BNC

提問時間



Tektronix