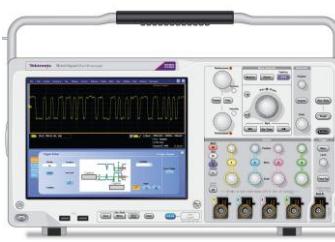
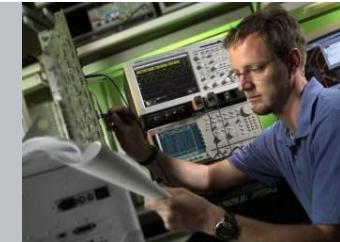


CY2012 Tektronix Innovation Forum

新興綠能電子產業的量測應用

資深經銷經理 吳俊賢 02-26567525
stephen.wu@tektronix.com



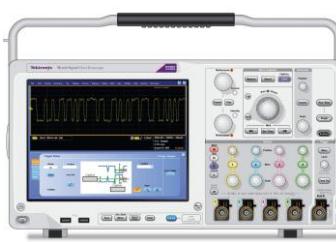
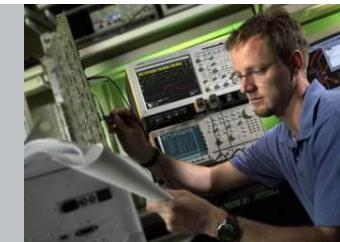
Tektronix®

交換式電源技術涵蓋所有應用

- AC-AC
 - 電子安定器
 - CCFL inverter
- AC-DC
 - 交換式電源供應器SMPS
 - 消費性電子產品適配器 Adaptor
- DC-DC
 - 交換式穩壓器
- DC-AC
 - 不斷電電源 UPS
 - 電動車、太陽能電池電力系統
- 量測儀器必須具備的能力
 - 振幅單位可顯示為安培(電流單位)
 - 高壓差動探棒
 - 電流探棒
 - 探棒延遲時差校正(deskew)
 - 四通道,長記憶體示波器
 - 頻寬限制濾波器及平均的擷取模式
 - 高解析度模式(Hi-res mode)以增加垂直解析度及平均隨機雜訊
 - X-Y 模式
 - 專屬設計的電源分析軟體執行自動量測
 - 串列匯流排觸發及解碼

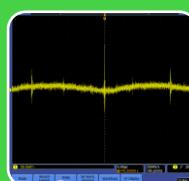
Tektronix®

電能轉換的量測應用考量



Tektronix®

示波器應用於電能轉換量測的四大應用考量



Safety

- 如何安全地使用示波器
- 浮動電壓量測技術

Probing

- 了解探棒的負載效應
- 了解高壓差動探棒的規格及應用技巧
- 了解電流探棒的規格及應用技巧

Acquire

- 示波器的準確度
- 正確的觸發並擷取信號

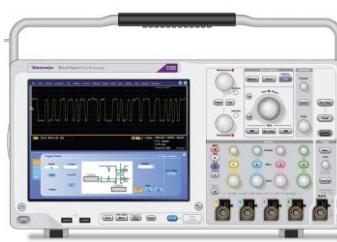
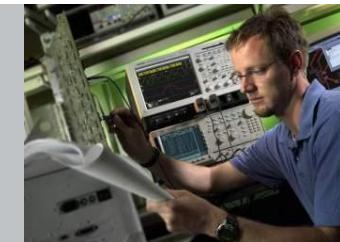
Analysis

- 分項分析的方法
- 快速傅立葉轉換的應用
- 進階運算功能的應用
- 電源分析軟體的應用

Tektronix®

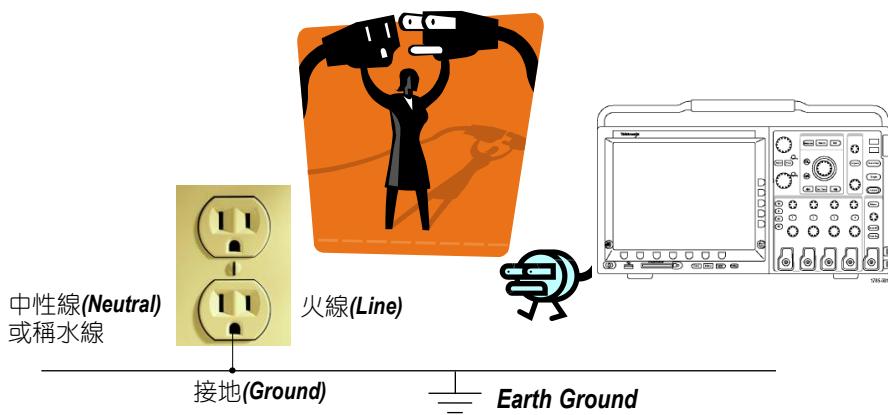
四大量測考量(安全性)

如何安全地使用示波器



Tektronix®

示波器的電源必須正確的接地

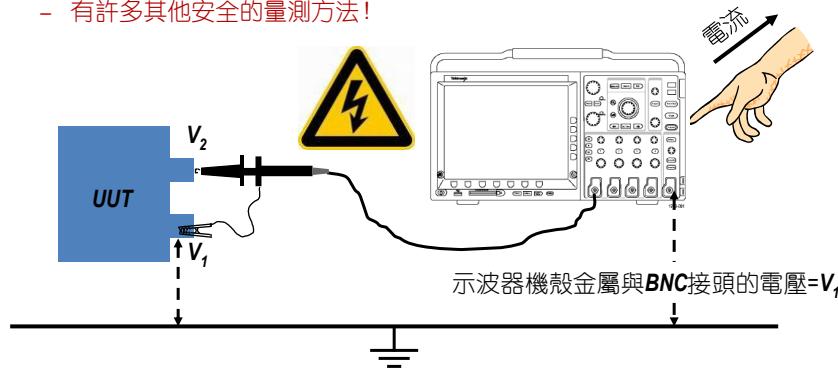


Tektronix®

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！

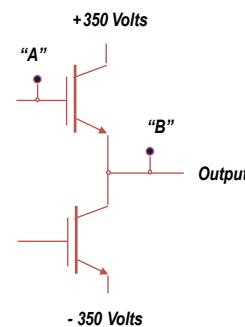
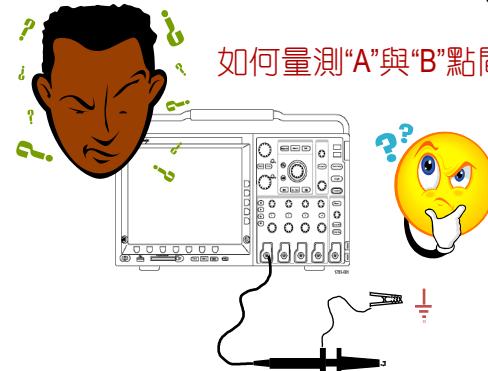
- 這是非常危險的操作
- 會導致得到不正確的量測值
- 可能導致示波器的損壞
- 可能導致待測電路的損壞
- 有許多其他安全的量測方法！



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？

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 馬達控制器(Motor controllers) ■ 換流器(Inverters) ■ 不斷電系統(UPS) | <ul style="list-style-type: none"> ■ 交換式電源(Switching power supplies) ■ 三相電源(3-phase power sources) ■ 程序控制裝置(Process control equipment) |
|--|---|



Tektronix®

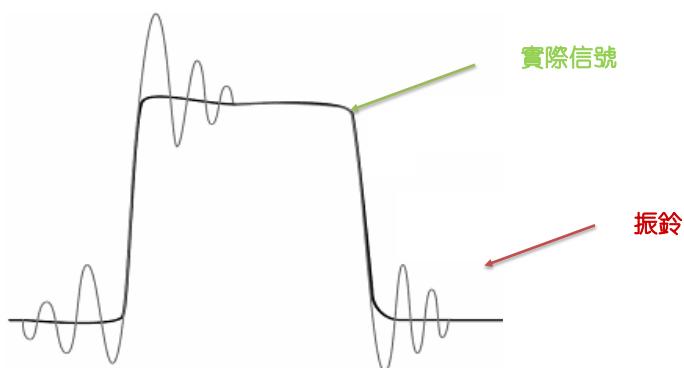
浮接量測的方法

- 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**)示波器與浮接量測

Tektronix®

浮接(**Floating**)示波器

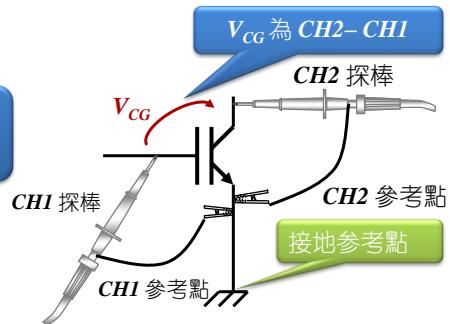
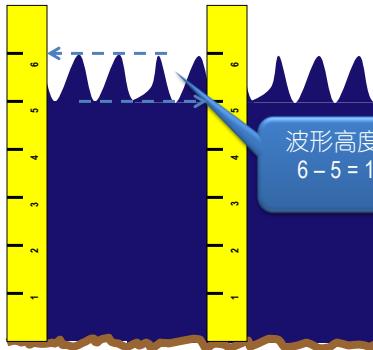
- 這是一種**不安全、不準確**的量測方法
 - 導因於浮接儀器電源與地的寄生電感與電容造成信號的振鈴與失真



Tektronix®

“A 減 B”量測法 (又稱為 Pseudo-Differential)

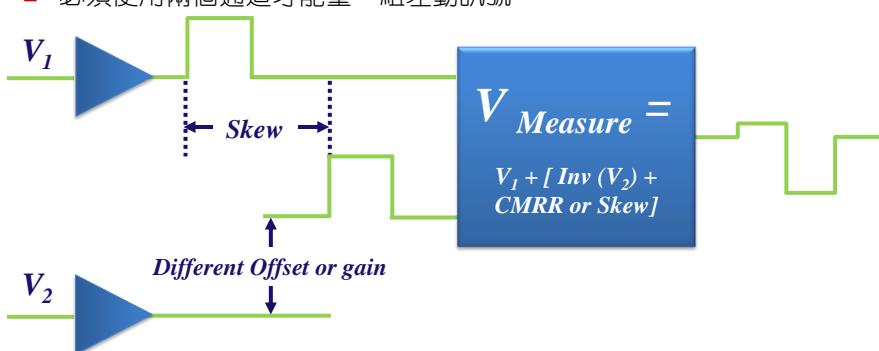
- 非接地的兩點測試，可藉由兩點對地的信號相減而得到這兩點的信號差
- 這是一種安全但不準確的克難量測方法



Tektronix®

“A 減 B”量測法的問題

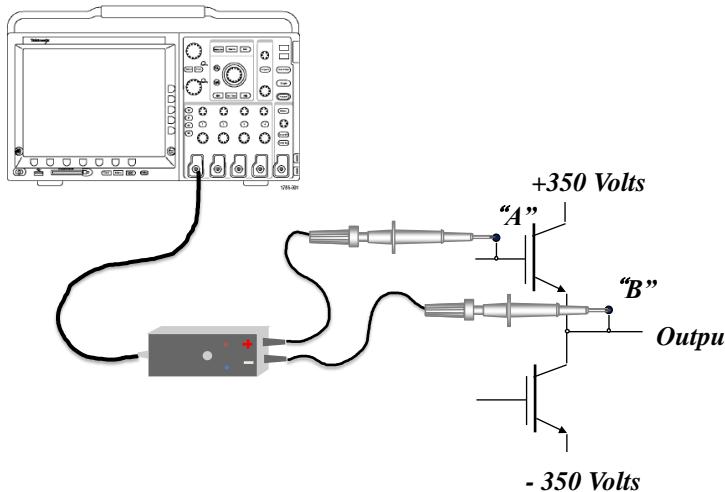
- CMRR 很差**
 - 典型的 CMRR 100:1 @ DC / 20:1 @ 1MHz
 - 相較於差動探棒典型的 CMRR 10,000:1 @ DC / 2000:1 @ 20MHz
- 通道間的傳導延遲時差 (**Skew**) 及不同的偏移或增益
 - 導致振幅及時序誤差
- 必須使用兩個通道才能量一組差動訊號



Tektronix®

差動探棒(Differential Probe)量測技術

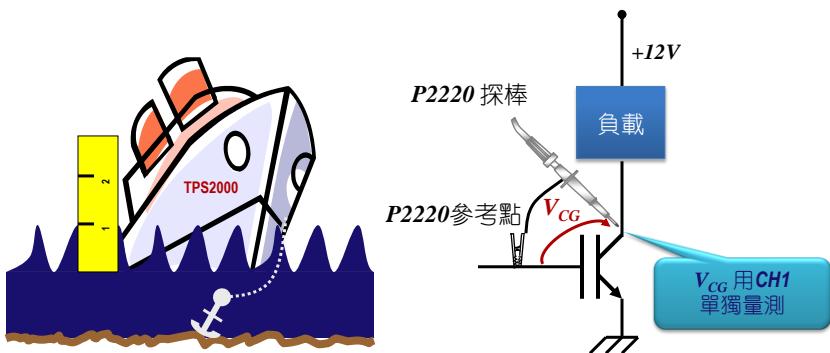
- 這是一種安全、準確的量測方法



Tektronix®

隔離通道(Isolated-input)示波器與浮接量測

- 隔離通道是將大地隔離,所以有了隔離通道就可以作安全的浮接量測.
 - TPS2000 系列是唯一可用來做浮接量測的示波器
 - TPS2000 系列所搭配的標準探棒 P2200 可承受浮接測試電壓高達 $30V_{RMS}$

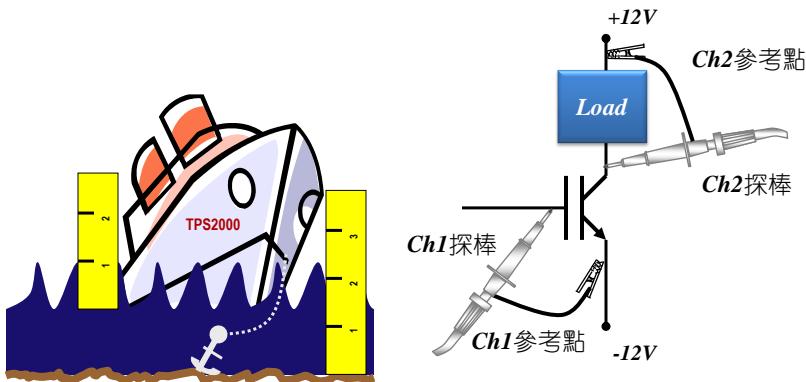


Tektronix®

隔離通道(*Isolated-input*)示波器與浮接量測

- 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.

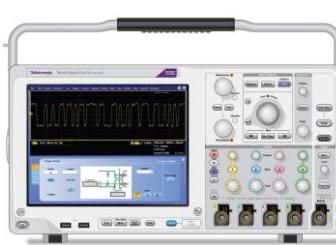
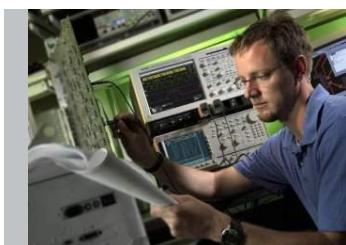
- 提示: 量測電路中的差動電壓應盡量低一些
- 附註: 浮動距離不可超過錨的深度



Tektronix®

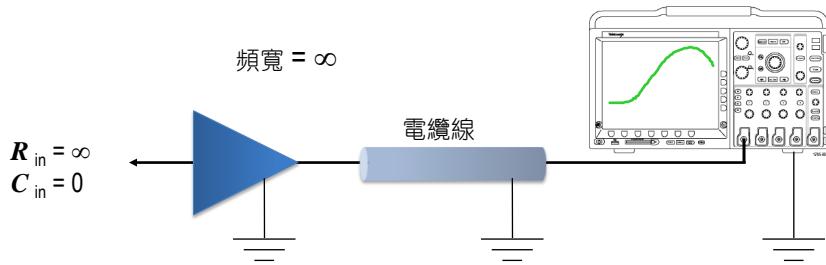
四大量測考量(*Probing*)

了解探棒的負載效應



Tektronix®

理想的電壓探棒

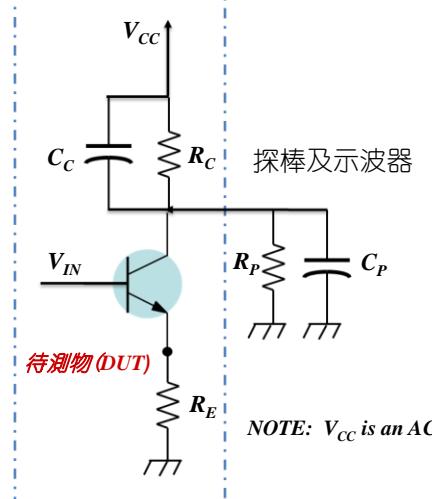


- 理想的電壓探棒模型—理想的探棒是沒有負載效應，也就是不會對測量造成任何影響
 - 頻寬無限大
 - 輸入電容為 0，輸入電阻無限大
 - 動態範圍無限大(Dynamic Range)
 - 1:1無衰減
 - 無延遲、無相位偏移(Phase Shift)
 - 機械結構適合測量應用

Tektronix®

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



■ 接上探棒與示波器後

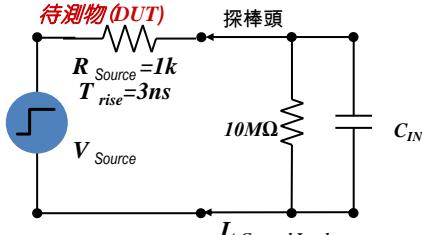
$$\text{Gain} = \frac{-(R_C // R_P)}{R_E}$$

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

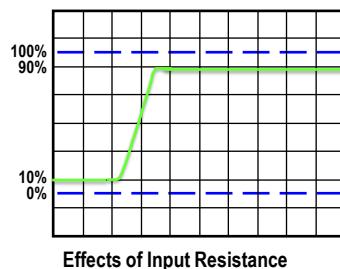
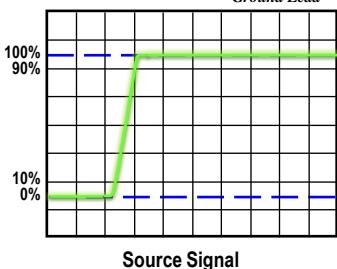
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot (R_C // R_P)(C_C + C_P)}$$

Tektronix®

電阻負載效應會導致振幅降低

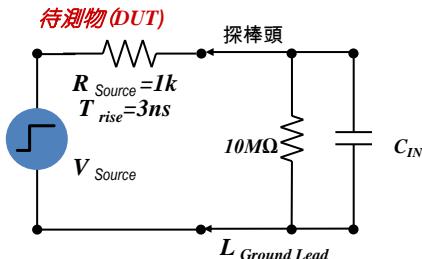


輸入電阻與待測電路會形成一個分壓電路，進而導致上升時間變慢及振幅降低

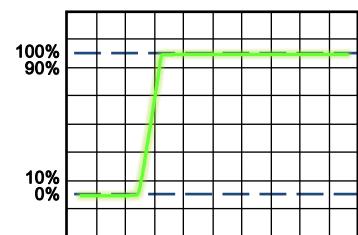
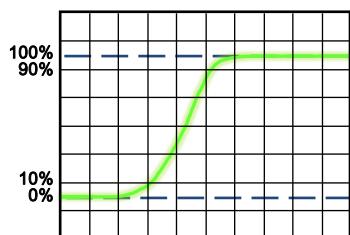


Tektronix®

探棒的電容負載效應導致上升時間增加



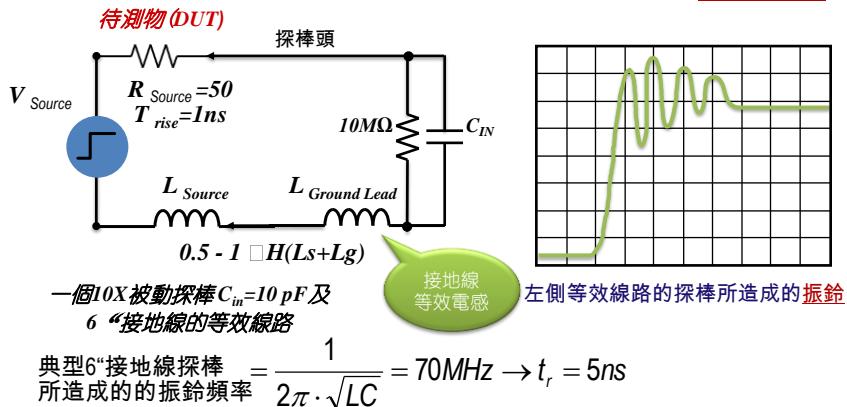
$tr \approx 2.2 (R_{source} \times C_{in})$
 1X 被動探棒
 $C_{in} = 100pF \approx 220\text{ ns}$
 10X 被動探棒
 $C_{in} = 10pF \approx 22\text{ ns}$



Tektronix®

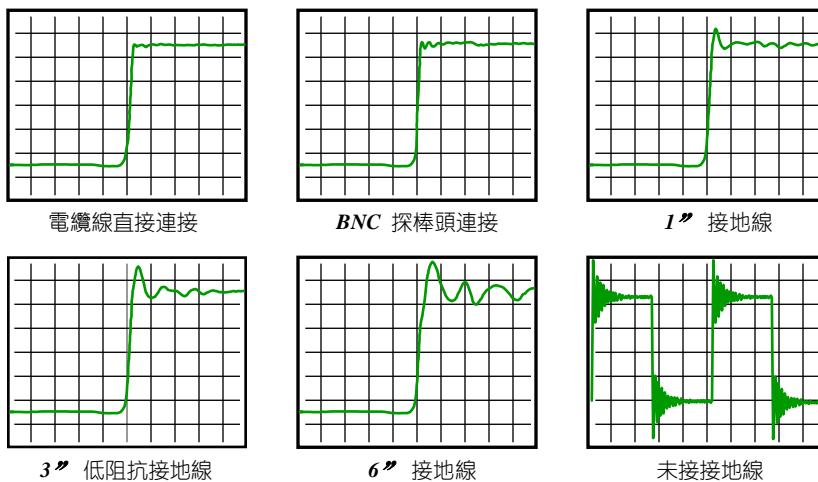
探棒接地線的電感負載效應

- 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)



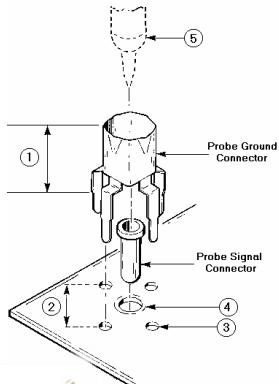
Tektronix®

接地線的電感效應 (導致振鈴)

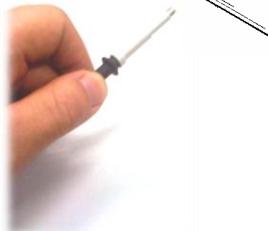


Tektronix®

儘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 2.5mm 超小型探棒
 - P/N 131-2766-03 (package of 2)
 - 尺寸:
 - 1.安裝高度 0.280吋(最大)
 - 2.孔距 0.195吋(最小)至0.205吋(最大)
 - 3.直徑0.034吋(最小)至0.041吋(最大)
 - 4.直徑0.053吋(最小)到0.063吋(最大)
 - 5.探棒直徑 0.094 吋



Tektronix®

儘可能縮短接地線長度



Tektronix®

探棒的種類



**電壓探棒
(Voltage Probe)**

- 被動式: (Z_0 , High Z, High Voltage, Differential)
- 主動式: (Single Ended, Differential)



**電流探棒
(Current Probe)**

- 被動式: (交流)
- 主動式: (交流, 直流)



**邏輯探棒
(Logic Probe)**

- 被動式
- 主動式



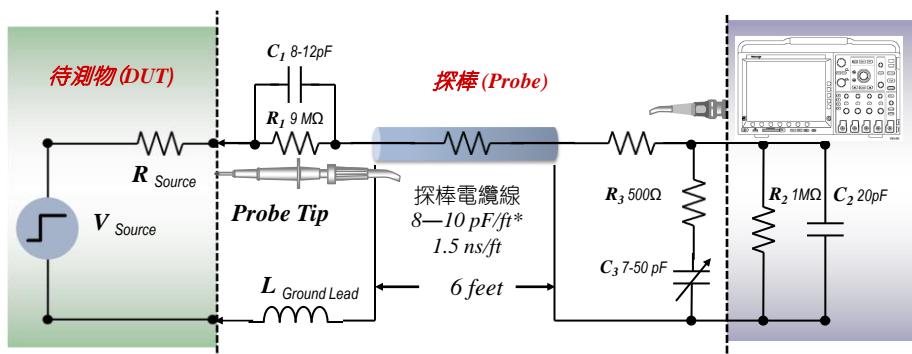
物理量轉電壓之轉換器

- 光電轉換(O/E Converter)
- 其他



Tektronix®

10X 被動式電壓探棒模型



優點：

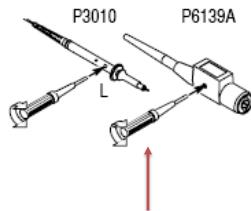
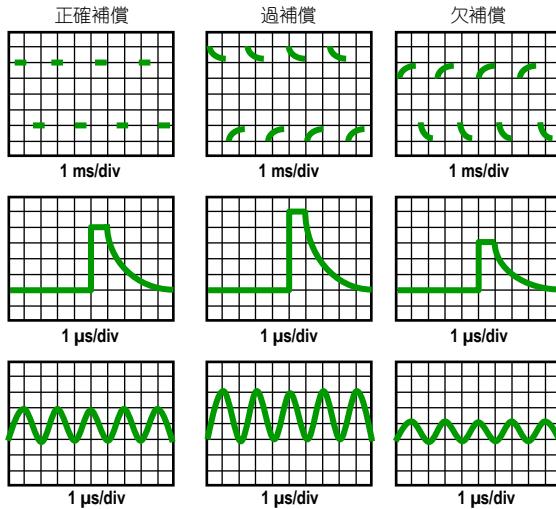
- 高輸入電阻
- 寬動態範圍
- 價格合理
- 機械結構堅固
- 比1X探棒的輸入電容低

缺點：

- 輸入電容仍太高
- 跟50歐姆系統不相容
- 須低頻補償

Tektronix®

低頻補償效應 (影響振幅量測)



- 使用被動探棒時須確認測棒的低頻補償是否正確
- TDS1000/2000B/TPS2000 可使用探棒檢查精靈確認

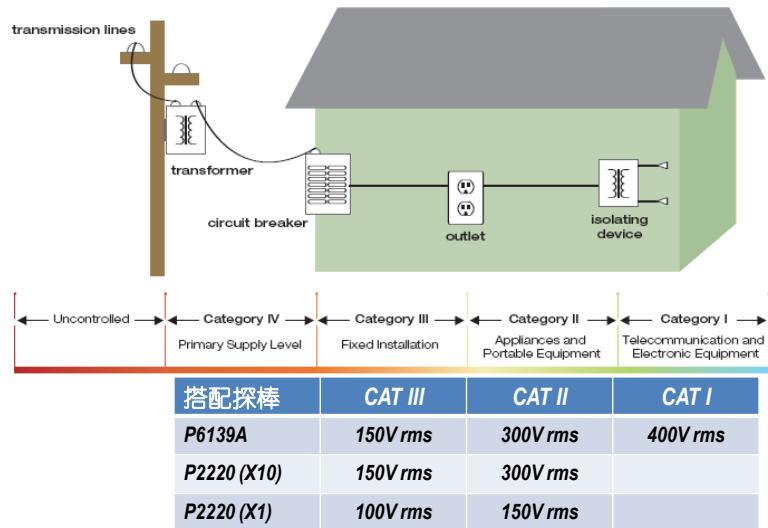
Tektronix®

典型被動式電壓探棒的規格

種類	可量測電壓	頻寬	上升時間	輸入電容	輸入電阻
<i>IX 被動探棒</i>	<i>100 V</i>	<i>15 MHz</i>	<i>23 ns</i>	<i>100 pF</i>	<i>1 M</i>
<i>10X 被動探棒</i>	<i>500 V</i>	<i>100 ~500 MHz</i>	<i>700 ps~3.5 ns</i>	<i>8~13 pF</i>	<i>10 M</i>
<i>100X 被動探棒</i>	<i>2.5 kV</i>	<i>250 MHz</i>	<i>1.8 ns</i>	<i>< 2.75 pF</i>	<i>10 M</i>
<i>1000X 被動探棒</i>	<i>20 kV</i>	<i>75 MHz</i>	<i>4.7 ns</i>	<i>< 3 pF</i>	<i>100 M</i>

Tektronix®

最大量測電壓的範例

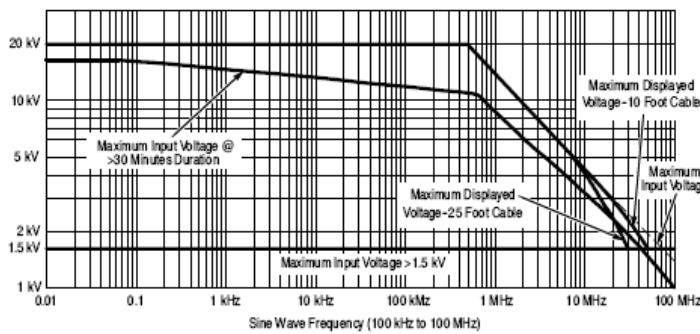


Tektronix®

探棒的額定量測能力下降曲線

■ 額定量測能力下降曲線 (*De-Rating Curve*)

- 輸入電壓與頻率/溫度/濕度/量測時間的關係
- 量測額定能力會隨不同的量測條件而改變，忽略此問題會導致探棒或待測電路的損壞
- 通常被動式探棒與電流探棒都有額定量測能力下降曲線 (*De-Rating Curves*)



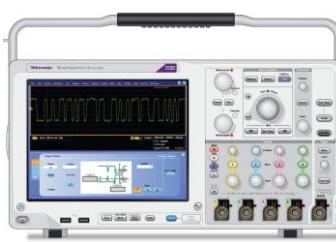
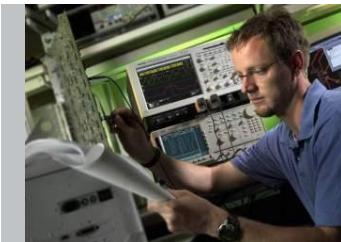
P6015A Instruction Manual

Figure 1-4: Maximum Input Voltage Derating (DC + Peak AC)

Tektronix®

四大量測考量(**Probing**)

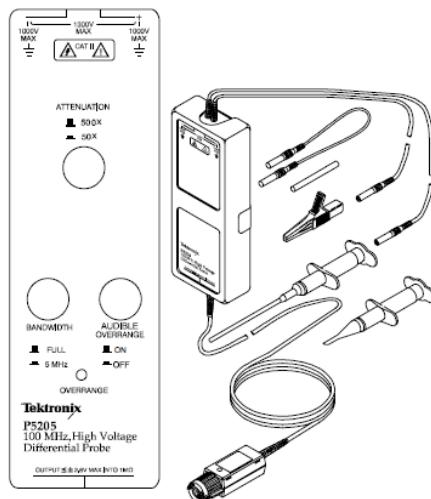
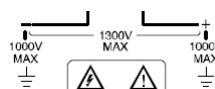
高壓差動探棒的應用須知(以**P5205**為例)



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1000V (Max)
 - 50X差動130V (DC+ Peak AC)
 - 500X差動1300V (DC+ Peak AC)
- 過範圍偵測
 - 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



Tektronix®

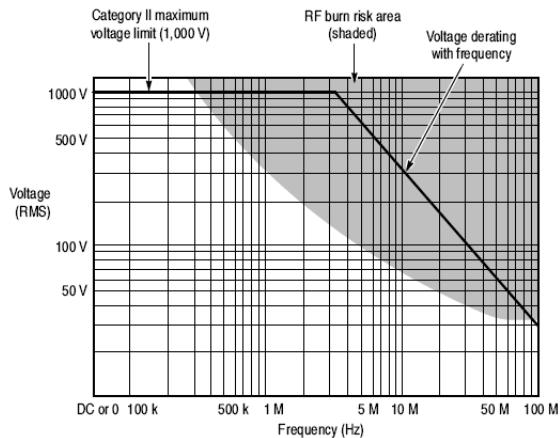
高壓差動探棒的應用須知(以P5205為例)

■ 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

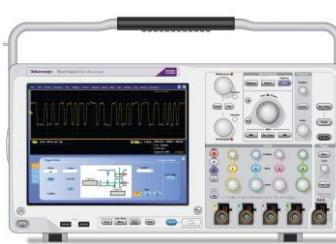
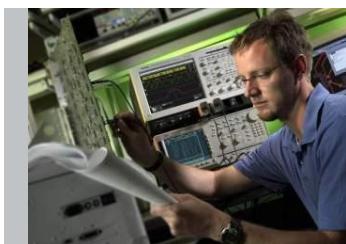
- 連接或移除探棒時須先將待測電路電源關閉以確保安全



Tektronix®

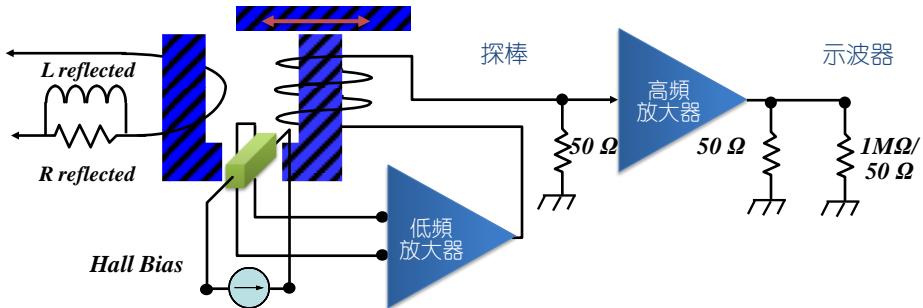
四大量測考量(**Probing**)

電流探棒的應用須知(以TCP0030為例)



Tektronix®

主動式電流探棒模型



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：1mA 到 30A(動態範圍寬廣)
- 頻寬：直流至 120 MHz
- 50A 峰值脈衝功能



■ TCP0150

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



Tektronix®

電流探棒需注意的規格

電流探棒的最大量測電流

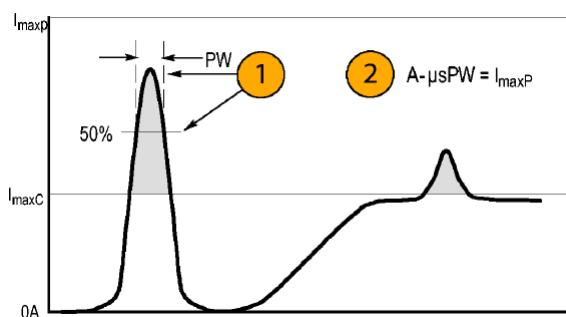
- 最大脈波電流
 - 需注意隨頻率及溫度變化的額定量測能力下降曲線
- 最大連續電流
- 安培-秒 乘積

最小量測靈敏度

- 1mA的最小靈敏度必須搭配示波器具有1mV/div的放大器方能發揮此靈敏度

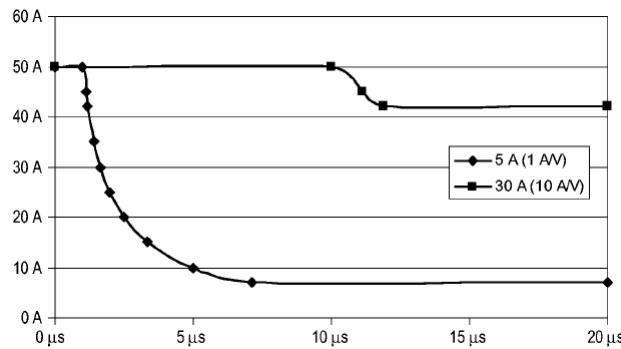
Tektronix®

安培-秒 乘積



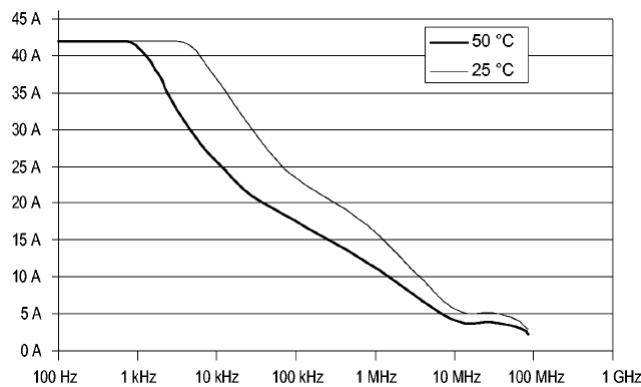
Tektronix®

峰值電流與脈波寬度之關係圖



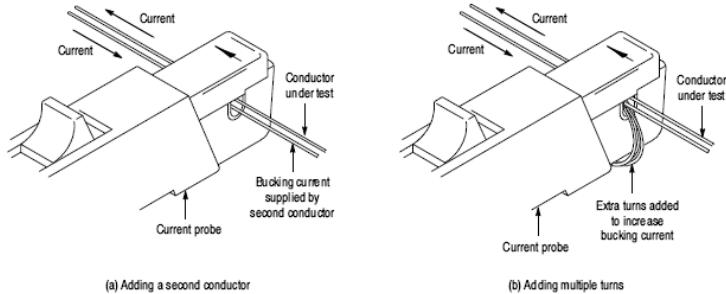
Tektronix®

峰值電流與頻率間的額定量測能力下降曲線



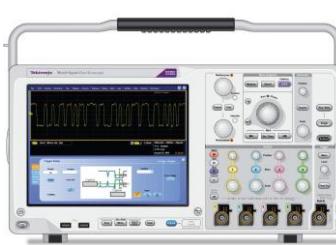
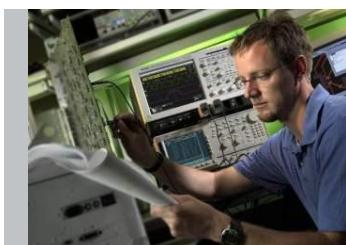
Tektronix®

如何增加電流探棒的直流量測範圍與靈敏度



Tektronix®

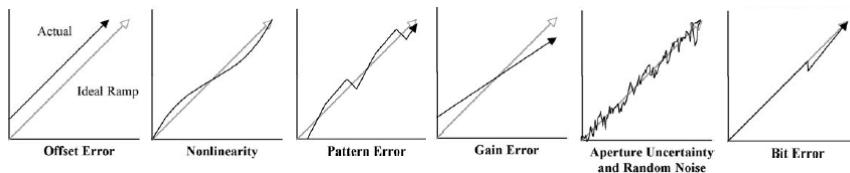
電能轉換的分項分析與量測實務



Tektronix®

示波器的準確度

A/D 垂直位元數	最小解析位階	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%
大多數示波器為八位元	但為何最佳的示波器垂直準確度僅為1-1.5%	
水平準確度	內部時脈及取樣率決定水平準確度	



Tektronix®

A/D轉換器的位元數不等於垂直準確度

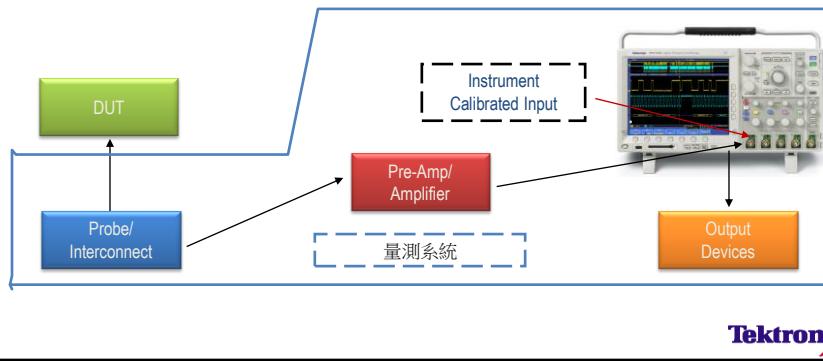


- **PXI-H 10-bit High-Speed Digitizing Scope**
- **10-bit resolution**
- **2 independent channels at up to 2 GS/s real-time each**
- **Channel interleaving mode at up to 4 GS/s real-time**
- **DC accuracy**
 - **± 2.5% FS in 50 mV full scale range**
 - **± 2% FS in full scale ranges ≥ 100 mV**

Tektronix®

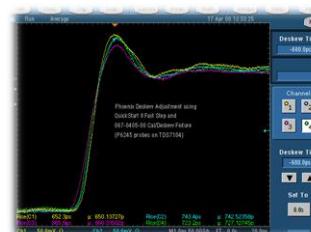
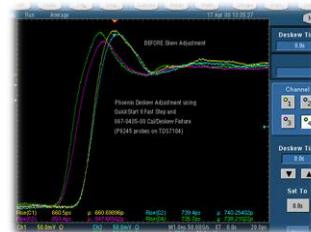
分項分析的量測準確度

- 確認系統誤差的年度校正：通常示波器及探棒的校正週期為一年一校，但大多數人並未將探棒及轉接器(Adapters)包含於定期校正中
- 終端用戶必須執行
 - 示波器及探棒的Offset校正(否則會造成**Conduction Loss**的量測誤差)
 - 信號路徑補償**SPC (Signal Path Compensation)**
 - 高壓差動式探棒必須具備**Offset**調整功能
 - 電壓探棒及電流探棒必須執行延遲時差(**Deskew**)校正(否則會造成**Switching Loss**的量測誤差)
 - 被動式探棒必須執行低頻補償校正(**Low Frequency Compensation**)

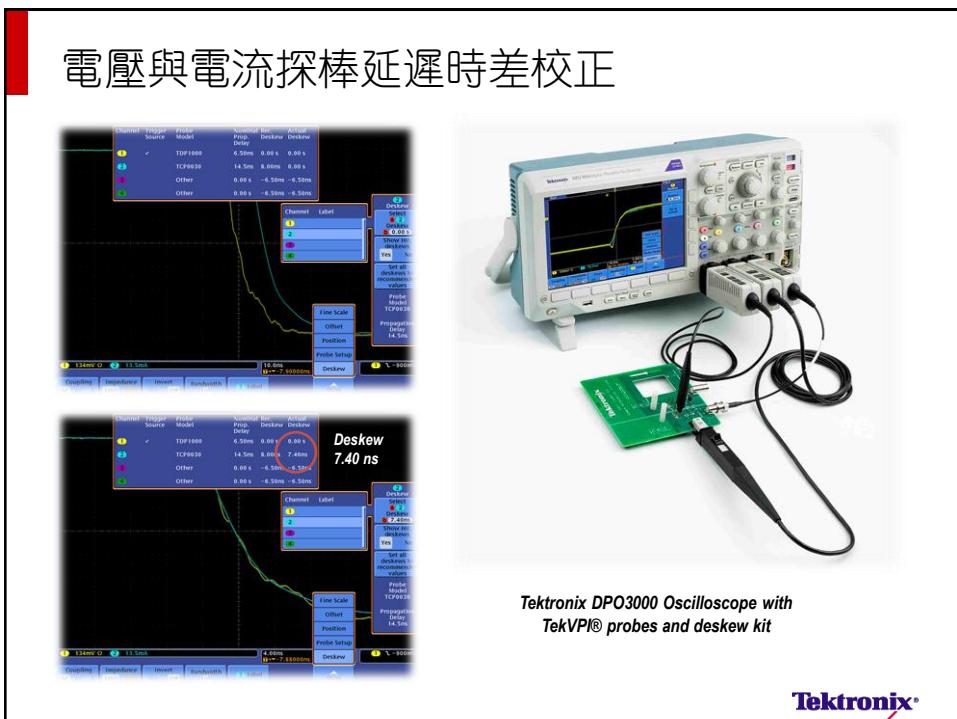
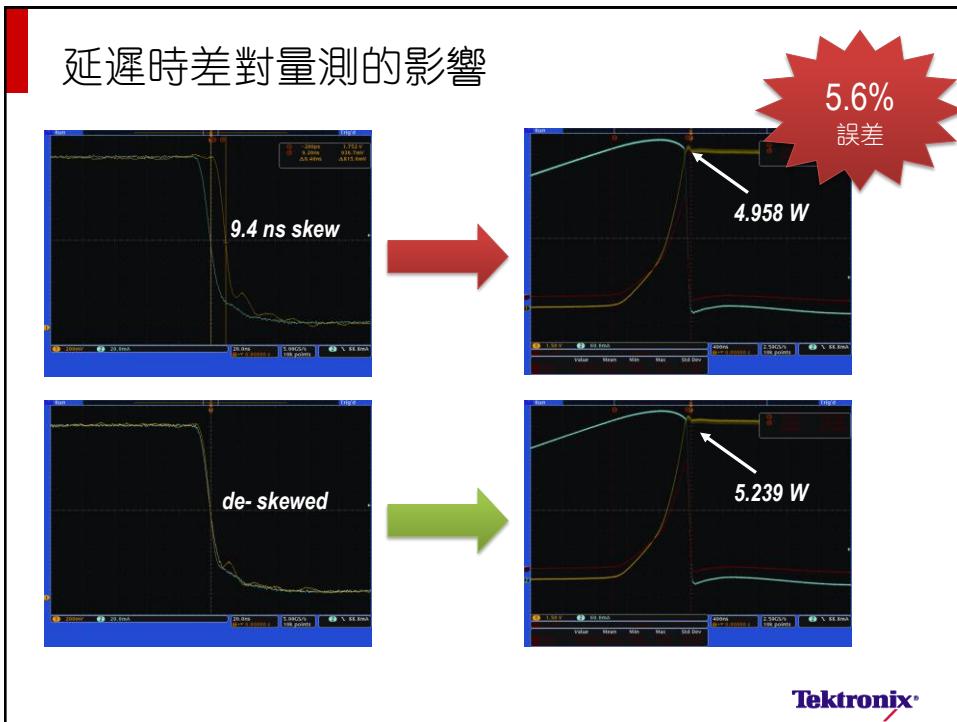


探棒間的延遲時差(**De-Skew**)校正

- 下列量測一定要執行此校正
 - 時序/相位/傳導延遲的量測
 - A-B的差動量測(**Pseudo-differential**)
 - 通道間的運算
- 盡可能使用同型號或同系列的探棒
- 記得必須把實際量測時所使用的探棒附件一起校正
- 必須使用上升時間快速的信號源作為校正參考



Tektronix®

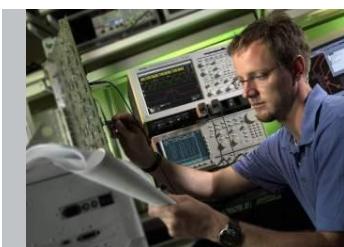


觸發型式(Trigger Types)

- 邊緣 (**Edge**)
- 脈波 (**Pulse**)
 - 脉波寬 (**width**), 矮波 (**runt**), 轉態 [**Transition**或稱轉動率 (**slew rate**)].....
- 逾時 (**Time Out**): 可用來觀察關機瞬間的暫態
- 低速串列匯流排觸發 (**I^C**, **SPI**, **PS**, **UART**, **RS232**, **RS485**, **CAN**, **LIN**, **Flexray**)
 - CAN (圖框開始、圖框的類型、識別碼、資料、**Id**與資料、圖框結尾、遺失確認) 應用於電信級電源
 - I^C (啟動、重複啟動、停止、遺失確認、位址、資料、位址/資料)
 - SPI (SS作用中、**MOSI**、**MISO**或**MOSI**與**MISC**)
- 設定/保持時間 (**Setup / Hold time**)
- 上升/下降時間 (**Rise / Falling time**)
- 邏輯 (**Logic**) (**AND**, **OR**, **NAND**, **NOR**)
 - 圖樣 (**Pattern**), 狀態 (**State**)..
- 視訊 (**TV / HDTV / Video**) (**option**)
 - 圖場選擇
 - 水平線計算
- 通訊 (**Communication**) (**option**)
 - ITU-T, T102, SDH/SONET, Fibre Channel, Ethernet

Tektronix®

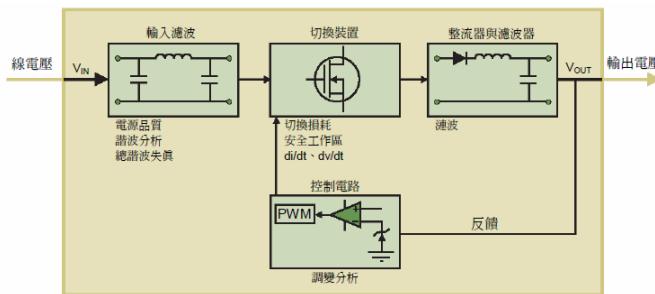
電能轉換的分項分析與量測實務



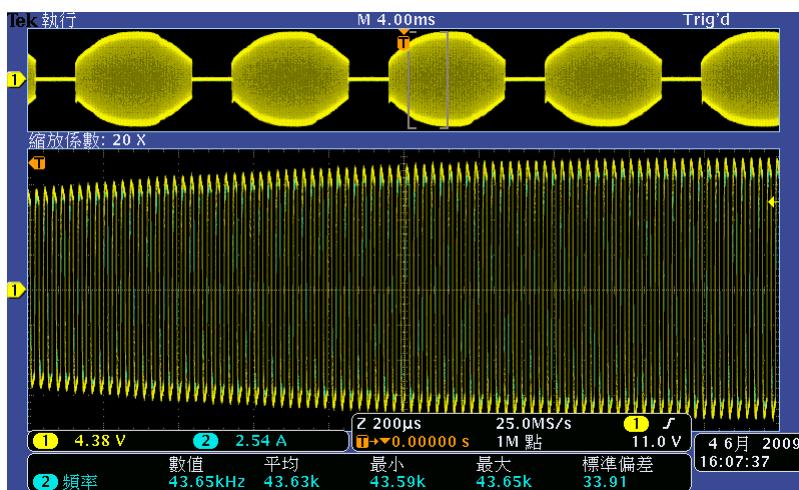
Tektronix®

示波器應用於分項分析的測試項目

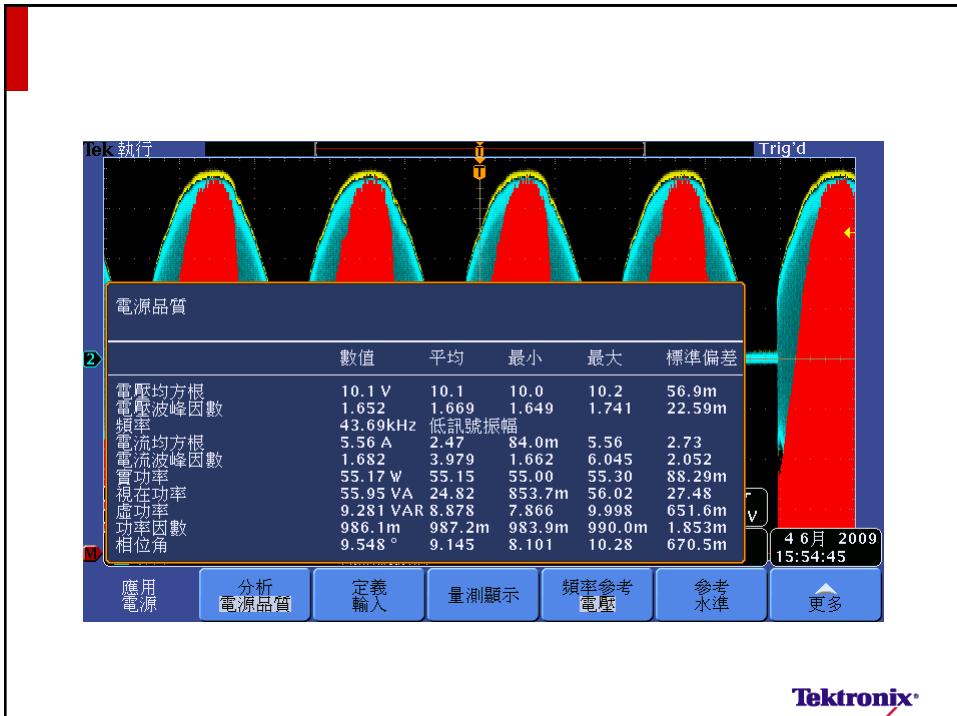
- 輸入端: 電源品質(Power Quality), 諧波(Harmonics)
 - 示波器? 功率分析儀?
- 切換元件: 切換損失(Switching Loss), 安全工作區(SOA), 爬升率(Slew Rate)
- 輸出端: 漣波(Ripple)及雜訊
- 迴授路徑: 調變(Modulation)
- 磁性元件 Magnetic components (core loss and BH curves)
 - Spectral Analysis and Hi-Power Finder
- 各類暫態時序: Setup Time and Hold Time.



Tektronix®



Tektronix®



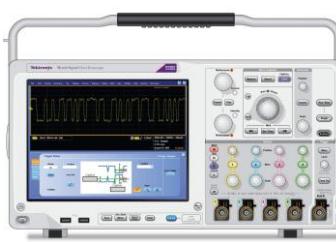
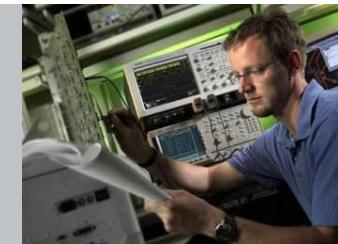
Tektronix®

諧波分析結果可儲存為CSV檔由Excel開啟								
Tektronix MSO4104, version v2.28, serial number C001217 IEC6100-3-2 Class A								
THD-F	4.70%	Freq	Mag	Mag RMS	Limit	Pass/Fail	Max all windows	200% Limit
RMS	4.997085 A	Hz	%	A	A		A	POHC Limit
Overall	Pass	1	59.988008	99.968603	4.97824 nan	n/a	4.979804 n/a	n/a
POHC	0.543337 A	2	119.976015	1.615105	0.080429	1.08 Pass	0.083955 Pass	n/a
POHL	0.251375 A	3	179.964023	1.471679	0.073287	2.3 Pass	0.074257 Pass	n/a
Frequency (measured)	59.988008 Hz	4	239.95203	0.776388	0.03868	0.43 Pass	0.040888 Pass	n/a
Frequency (rated)	60 Hz	5	299.940038	3.719062	0.185202	1.14 Pass	0.187636 Pass	n/a
Observation Period	10.000000 s	6	359.929045	0.344768	0.017169	0.3 Pass	0.017794 Pass	n/a
1.5s Filter	ON	7	419.916053	0.609646	0.030225	0.77 Pass	0.031299 Pass	n/a
Harmonic Grouping	ON	8	479.90406	0.37647	0.018747	0.23 Pass	0.021265 Pass	n/a
		9	538.892098	1.021563	0.05072	0.4 Pass	0.051699 Pass	n/a
		10	599.880075	0.226719	0.01129	0.184 Pass	0.011644 Pass	n/a
		11	659.868083	0.374667	0.01865	0.33 Pass	0.019391 Pass	n/a
		12	719.856069	1.182179	0.009072	0.153333 Pass	0.00971 Pass	n/a
		13	779.844068	0.242054	0.021577	0.124 Pass	0.022389 Pass	n/a
		14	838.822062	0.201842	0.014251	0.14242 Pass	0.018239 Pass	n/a
		15	898.820113	0.352034	0.017446	0.15 Pass	0.018331 Pass	n/a
		16	959.80812	0.200513	0.009985	0.115 Pass	0.010611 Pass	n/a
		17	1019.796128	0.28222	0.014054	0.132353 Pass	0.014524 Pass	n/a
		18	1079.784135	0.175171	0.008723	0.102222 Pass	0.009104 Pass	n/a
		19	1139.772143	0.237191	0.01812	0.118421 Pass	0.012465 Pass	n/a
		20	1199.760151	0.180203	0.018117	0.118421 Pass	0.012465 Pass	n/a
		21	1259.748159	0.170744	0.008503	0.107143 Pass	0.009149 Pass	n/a
		22	1319.736165	0.203173	0.010118	0.083636 Pass	0.012365 Pass	n/a
		23	1379.724173	0.170134	0.009472	0.097826 Pass	0.008773 Pass	n/a
		24	1439.712118	0.167377	0.00833	0.076667 Pass	0.008706 Pass	n/a
		25	1499.700188	0.169057	0.008419	0.09 Pass	0.009226 Pass	n/a
		26	1559.688195	0.162905	0.008112	0.070769 Pass	0.008455 Pass	n/a
		27	1619.676163	0.162023	0.008112	0.070769 Pass	0.008455 Pass	n/a
		28	1679.664041	0.155142	0.007766	0.069714 Pass	0.008407 Pass	n/a
		29	1739.652128	0.176765	0.008948	0.077586 Pass	0.009425 Pass	n/a
		30	1799.640225	0.183563	0.009141	0.061333 Pass	0.010582 Pass	n/a
		31	1859.628233	0.174443	0.00868	0.072581 Pass	0.009236 Pass	n/a
		32	1919.61624	0.16253	0.008994	0.0575 Pass	0.008562 Pass	n/a
		33	1979.604248	0.157384	0.007837	0.063182 Pass	0.008326 Pass	n/a
		34	2039.592255	0	0	0.064286 Pass	0.008186 Pass	n/a
		35	2099.580233	0	0	0.064286 Pass	0 Pass	n/a
		36	2159.568237	0	0	0.051111 Pass	0 Pass	n/a
		37	2219.556278	0	0	0.069811 Pass	0 Pass	n/a
		38	2279.544285	0	0	0.048421 Pass	0 Pass	n/a
		39	2339.532233	0	0	0.057692 Pass	0 Pass	n/a
		40	2399.520301	0	0	0.046 Pass	0 Pass	n/a

Tektronix®

雜訊分析的應用

快速傅立葉轉換的應用



Tektronix®

快速傅立葉轉換的應用

■ FFT的應用

- 信號的失真與諧波
- 找出系統雜訊來源(電源的切換雜訊 **Switching Noise** 是導致系統發生抖動 **Jitter** 的原因之一)
- 電源的諧波分析

■ 記憶體對快速傅立葉轉換的重要性(需注意示波器記憶體於FFT時的設定範圍)

- 較長的記憶體可降低雜訊水平(**Noise Floor**)
- 記憶體可維持取樣率使頻率解析度提升

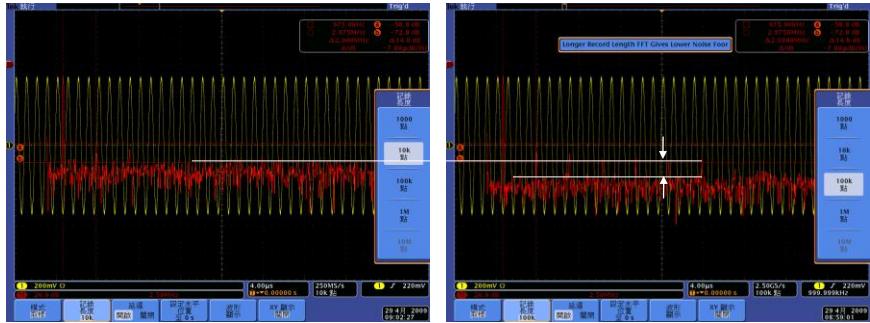
■ 視窗的應用

- **Rectangular**
- **Hamming**
- **Hanning**
- **Blackman/Harris**

■ 其他注意事項

Tektronix®

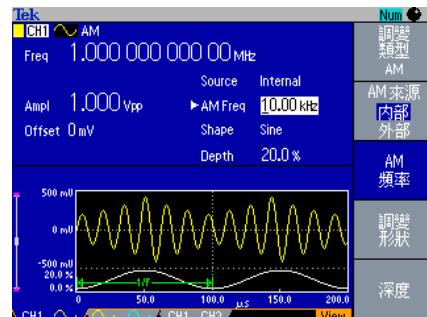
較長的記憶體可降低雜訊水平(Noise Floor)



Tektronix®

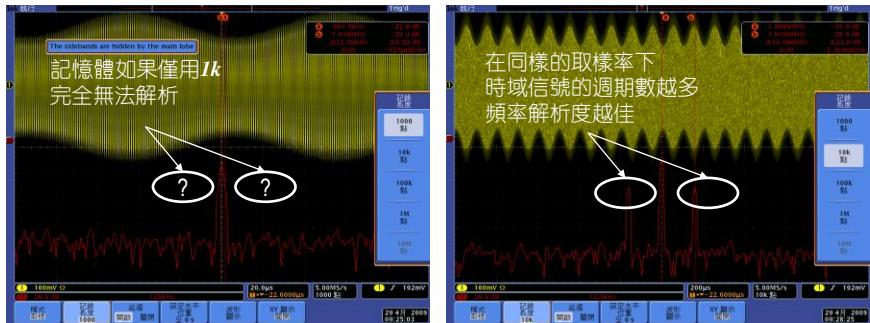
記憶體可維持取樣率使頻率解析度提升

- 測試信號
 - 調幅 (AM)
 - 載波頻率 **1MHz**
 - 調變信號頻率 **10kHz**
- 運用 **FFT** 觀察載波及旁波帶 (Sideband) 信號
- 取樣率 **5MS/s**



Tektronix®

記憶體可維持取樣率使頻率解析度提升(範例1)

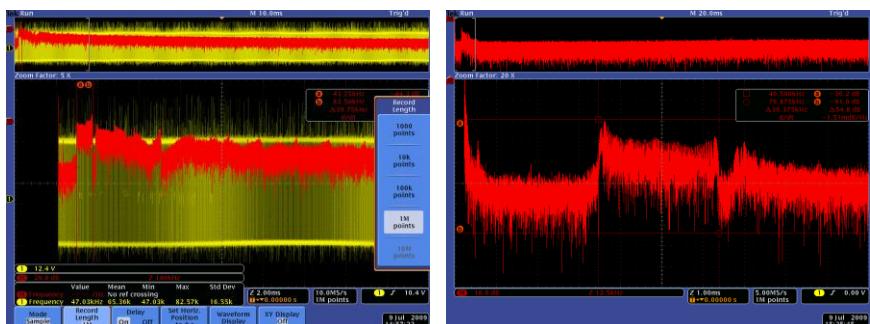


記憶體：**1k**
時基：**20us/div**
取樣率：**5MS/s**

記憶體：**10k**
時基：**200us/div**
取樣率：**5MS/s**

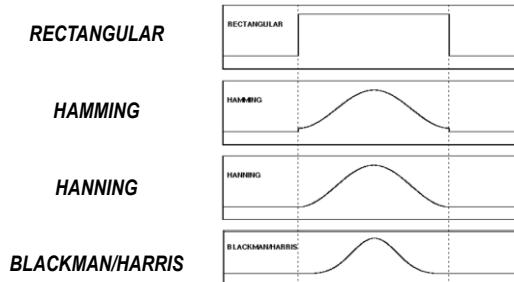
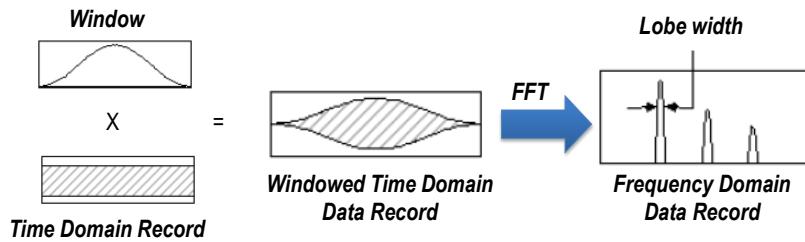
Tektronix®

記憶體可維持取樣率使頻率解析度提升(範例2)



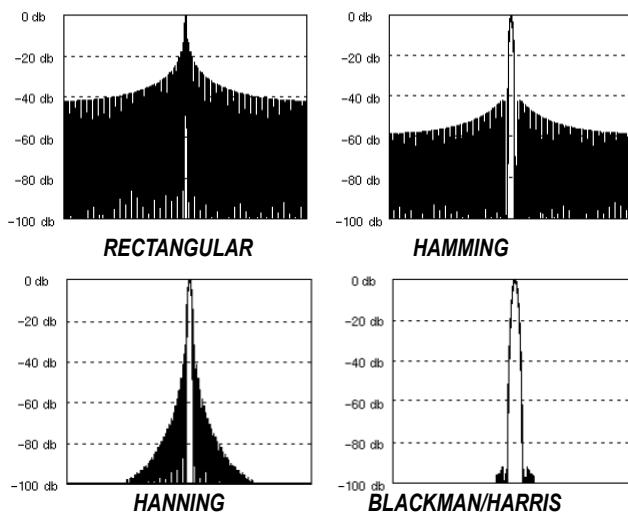
Tektronix®

FFT視窗的應用



Tektronix®

不同視窗在頻域中的形狀



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 的暫態或叢集(Burst) 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
HANNING	次差(3)	次佳(2)	事件前後訊號位準不同的 暫態或叢集(Burst)
BLACKMAN/HARRIS	最差(4)	最佳(1)	檢查單頻信號的高次諧波

Tektronix®





		TPS2000 系列	TDS3000C 系列	DPO/MSO3000 系列	DPO/MSO4000B 系列	DPO/MSO5000 系列
規格	頻寬	100M-200MHz	100-500MHz	100-500MHz	350M-1GHz	350M-2GHz
	記憶體深度	2.5k	10k	5M	20M	12.5M/最高250M
	最高取樣率	1G/GS/s	1.25G-5GS/s	2.5GS/s	2.5G/5GS/s	最高10GS/s
線路供電品質量測	V rms	■	■	■	■	■
	I rms	■	■	■	■	■
	實功率(True Power)	■	■	■	■	■
	無効功率(Reactive Power)	■	■	■	■	■
	虛功率	■	■	■	■	■
	功率因素	■	■	■	■	■
	波峰因數	■	■	■	■	■
	相位角	■	■	■	■	■
	諧波分析	■	■	■	■	■
	總諧波失真	■	■	■	■	■
放電燈認試	EN61000-3-2 預認證測試	■	■	■	■	■
	符合MIL-STD-1399 標準環境測試	■	■	■	■	■
主動元件量測	切換損失量測	■	■	■	■	■
	安全工作區	■	■	■	■	■
	動電阻($dV/dt, dI/dt$)	■	■	■	■	■
	調變分析	■	■	■	■	■
	電感	■	■	■	■	■
被動元件量測	磁損	■	■	■	■	■
	磁通密度	■	■	■	■	■
	B-H 磁滯曲線	■	■	■	■	■

Tektronix®