

雙脈衝測試： 充滿信心地對寬能隙裝置進行特性分析



什麼是雙脈衝測試？

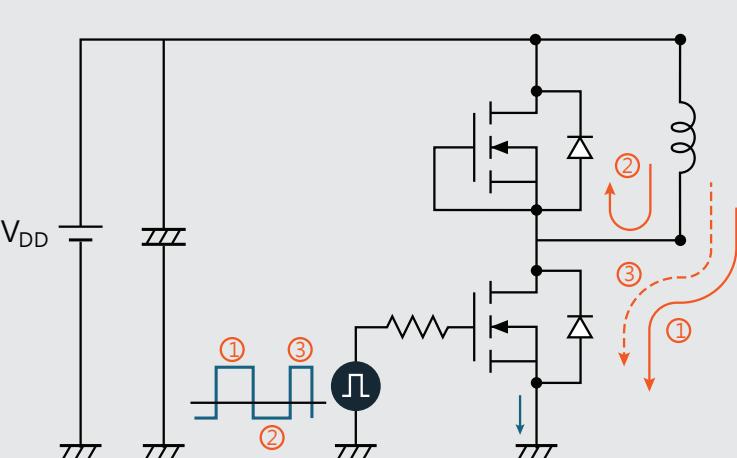
DPT 是分析切換參數以及評估 Si、SiC 與 GaN MOSFET 和 IGBT 動態行為的業界標準方法。隨著 GaN 和 SiC 等寬能隙半導體的興起，這項成熟的技術再次受到重視。DPT 提供了一個受控且具可重複性的環境，用於評估切換行為與能量損耗，使工程師能在目標電流位準下進行測試，同時將自熱效應對裝置接面的影響降至最低。

雙脈衝測試的各個階段

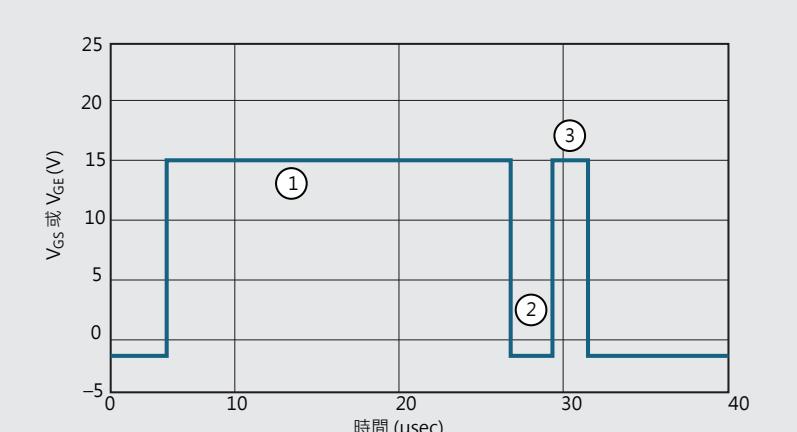
1 建立目標測試電流 (I_D)。調整第一個脈衝的寬度以透過負載電感器輸送所需的測試電流。

2 關斷第一個脈衝並進行關斷量測。

3 導通第二個脈衝並進行導通量測。



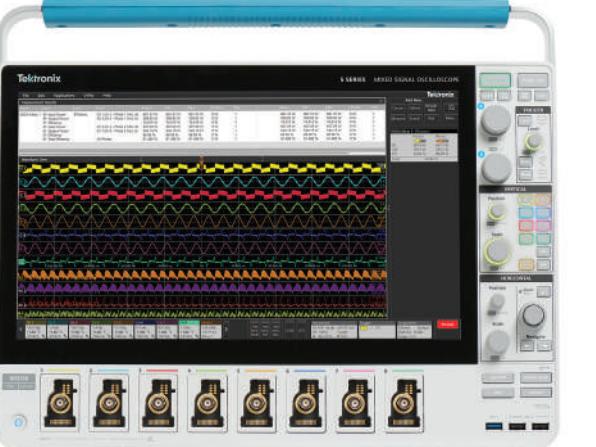
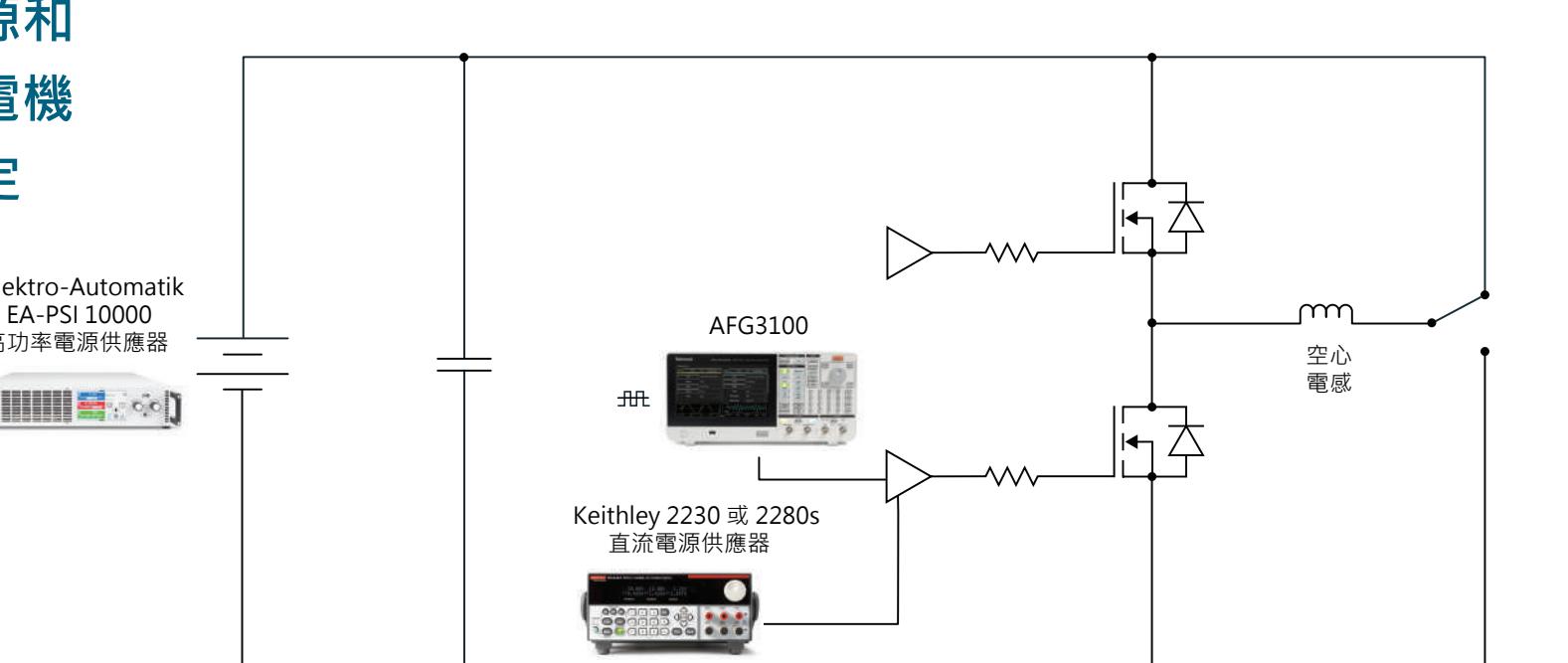
使用 MOSFET 作為 DUT 的電流。雙脈衝測試可分為三個階段，本部分內文中將有相關說明。



雙脈衝測試波形。頂部的波形顯示施加到閘極或閘極驅動器的訊號。底部的訊號是對應的汲極電流 (I_D) 和汲極至源極電壓 (V_{DS})。量測是在第 1 階段和第 2 階段以及第 2 階段和第 3 階段之間的過渡時進行。

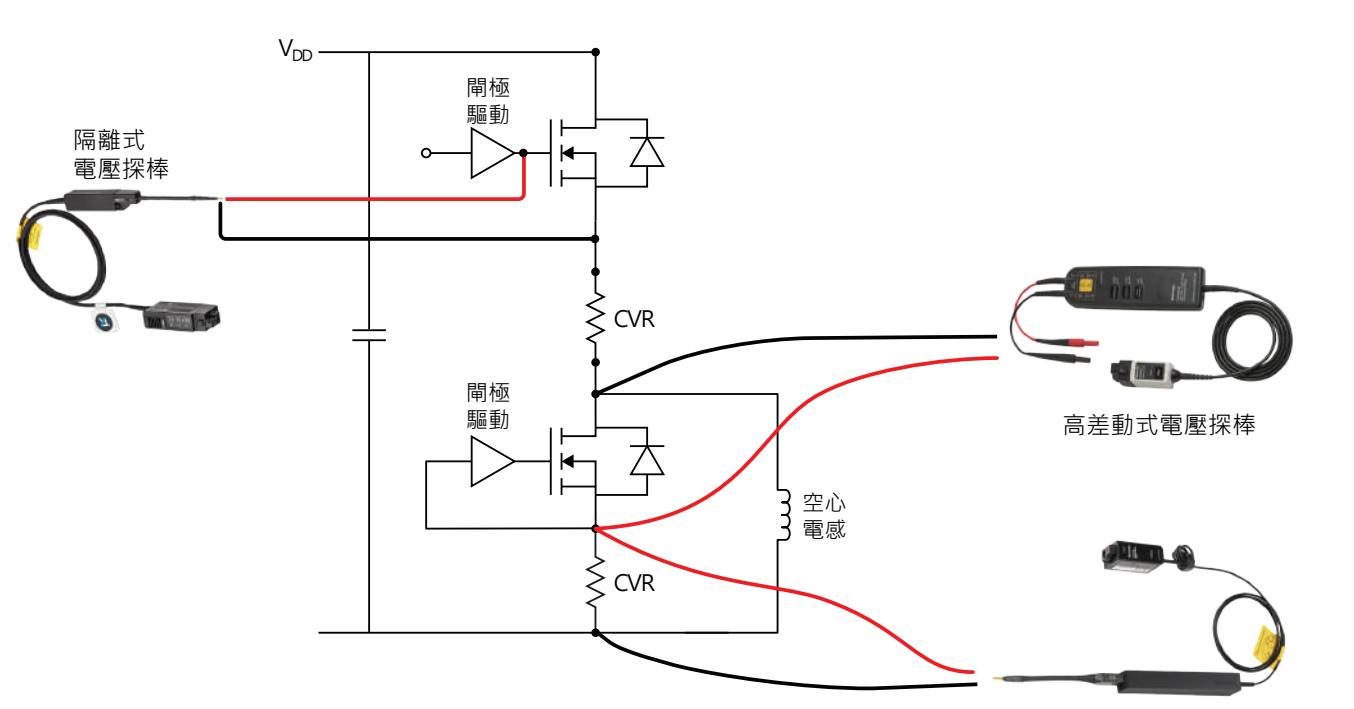
雙脈衝設定

電源和發電機設定

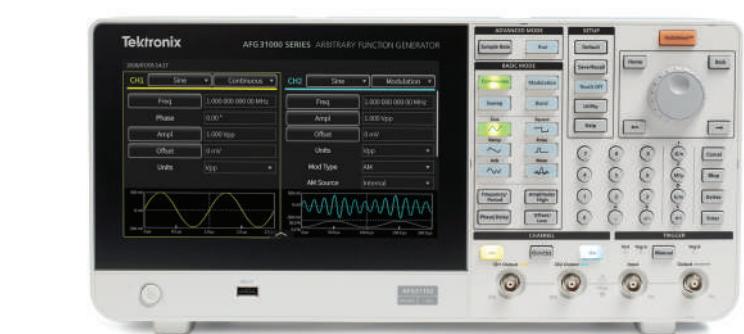


配備 DPT 分析軟體的示波器
- 訊號擷取與分析

逆向復原量測的探棒組態

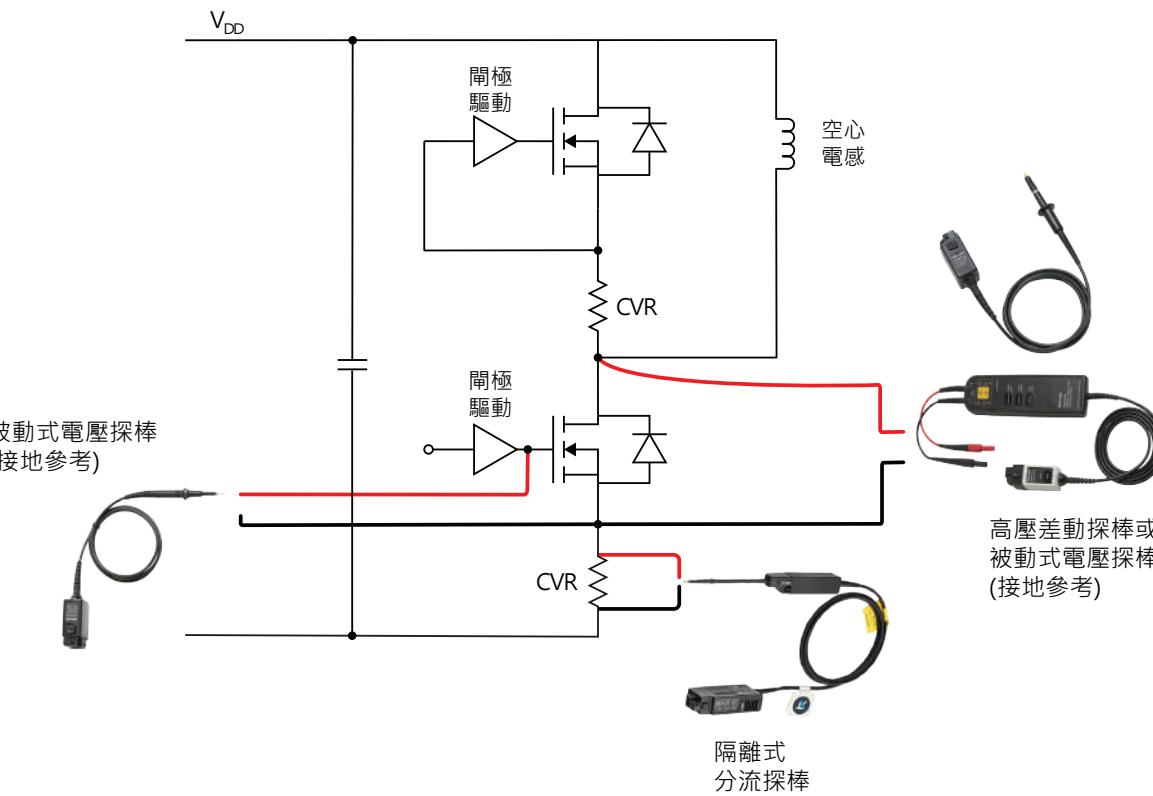


高壓直流電源供應器 - 提供匯流排電壓 (V_{DD})

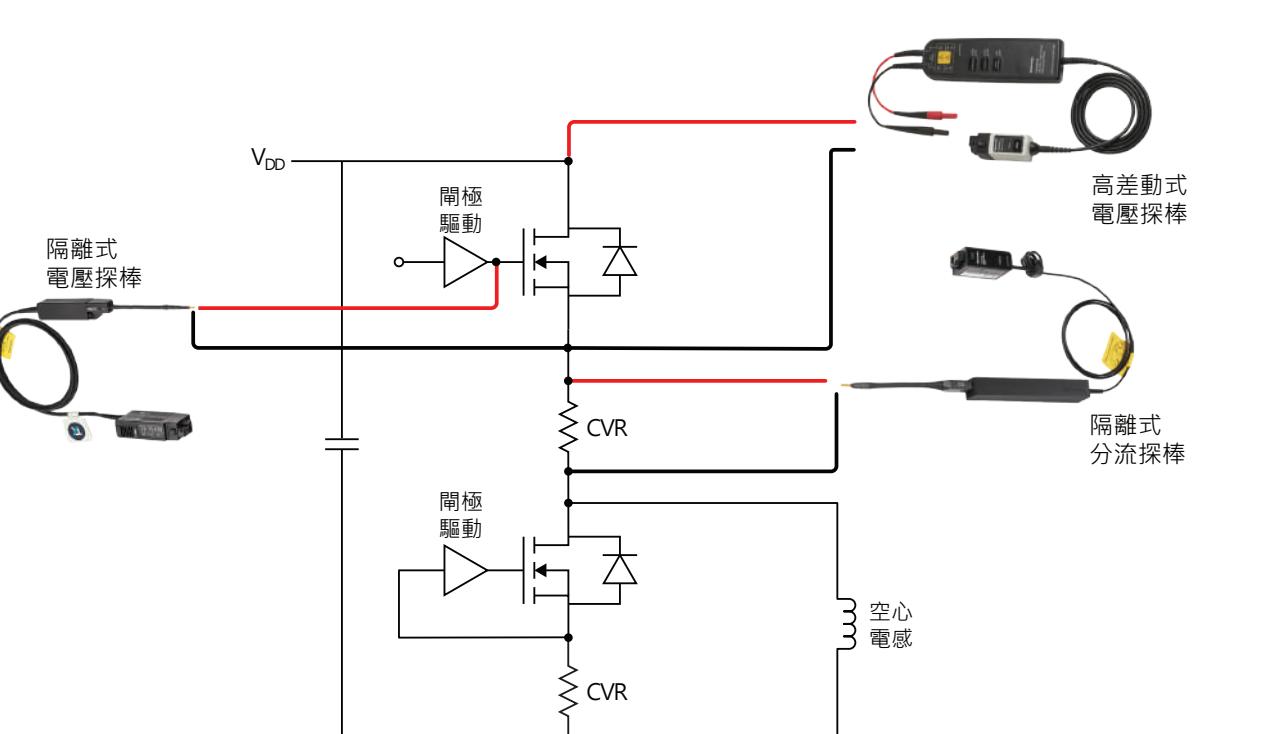


低壓直流電源供應器 - 為閘極驅動電路供電

低端量測的探棒組態



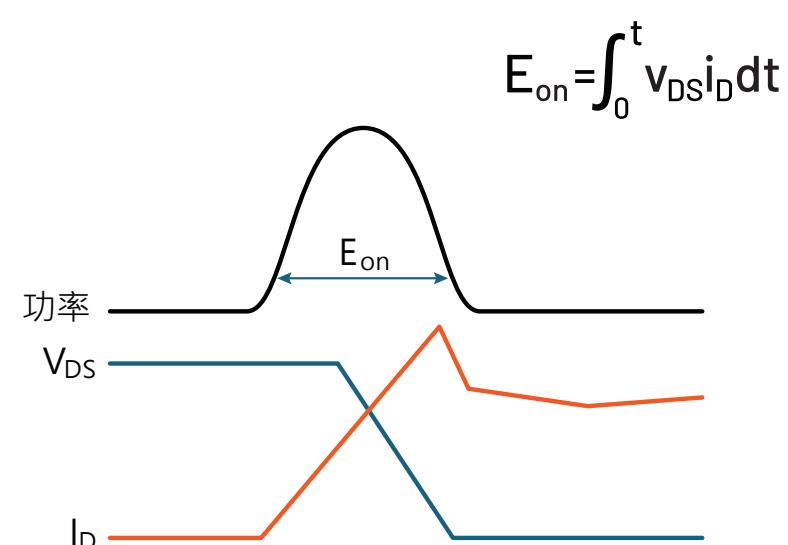
高端量測的探棒組態



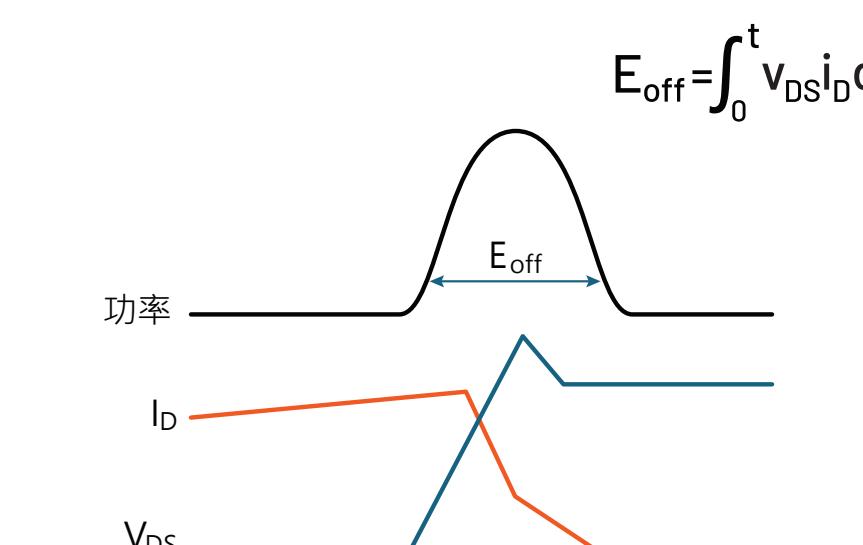
雙脈衝測試中的量測

開通與關斷能量損耗 (E_{on} 與 E_{off})

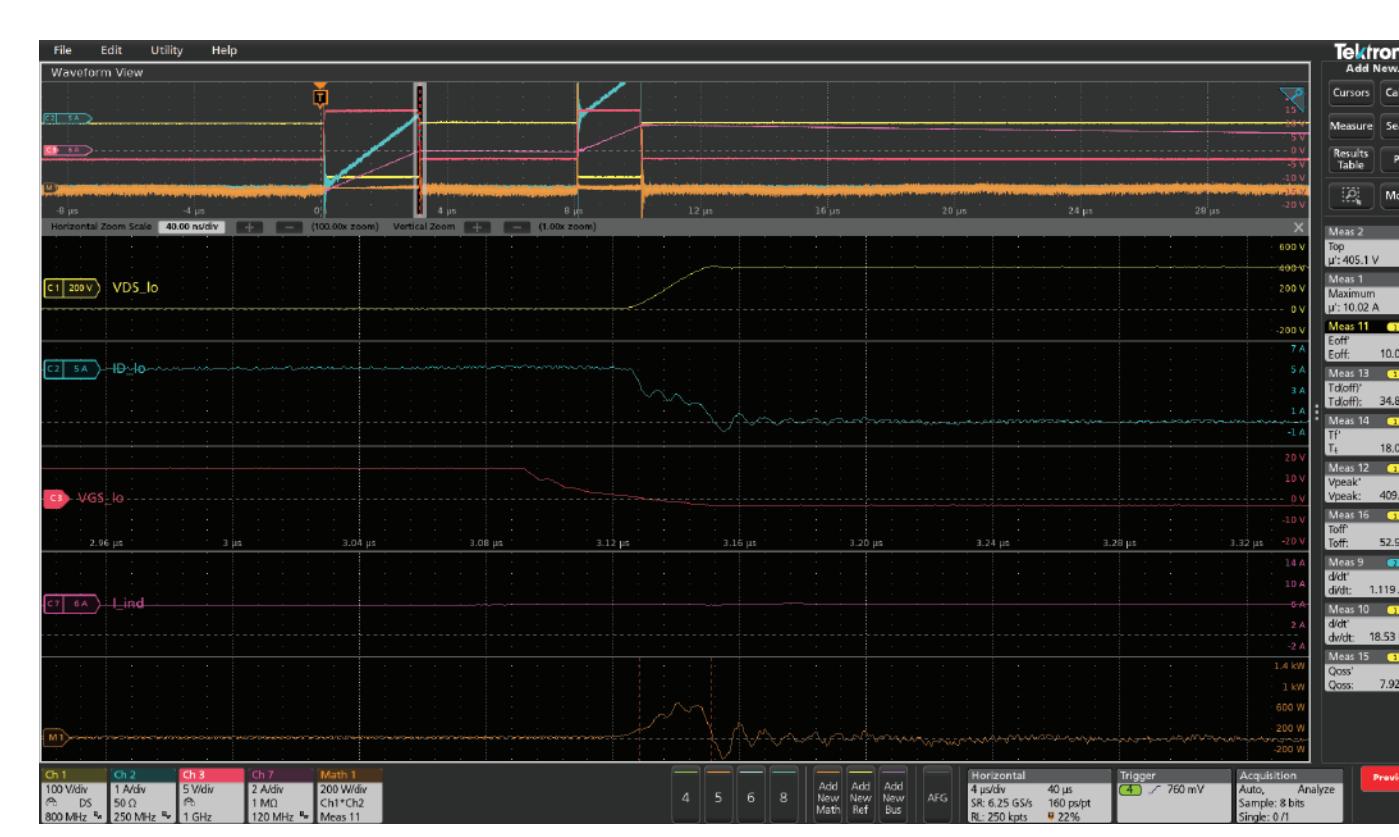
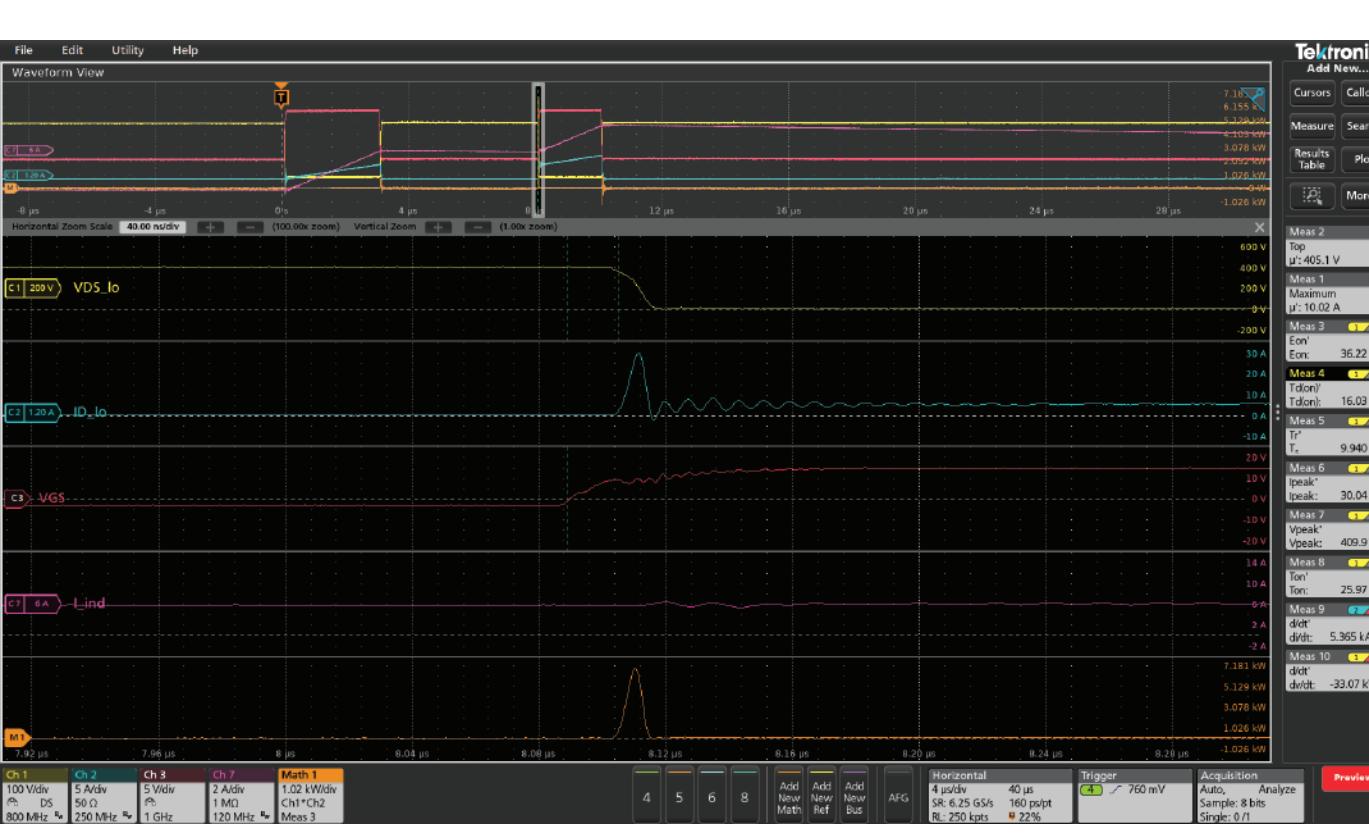
為了計算導通和關斷參數，我們將重點放在切換裝置的第一次關斷和隨後的導通。在這些點處， I_D 應該處於測試的目標電流位準。透過對導通期間取樣的功率波形進行積分來計算導通能量。透過對關斷期間取樣的功率波形進行積分來計算關斷能量。



導通參數：
- 導通延遲 · $t_{d(on)}$
- V_{DS} 下降時間 · t_f
- 導通時間 · t_{on}
- 最大汲極電流 · $I_{D,max}$
- dv/dt
- di/dt
- 導通能量 · E_{on}
- 動態 $R_{DS(on)}$

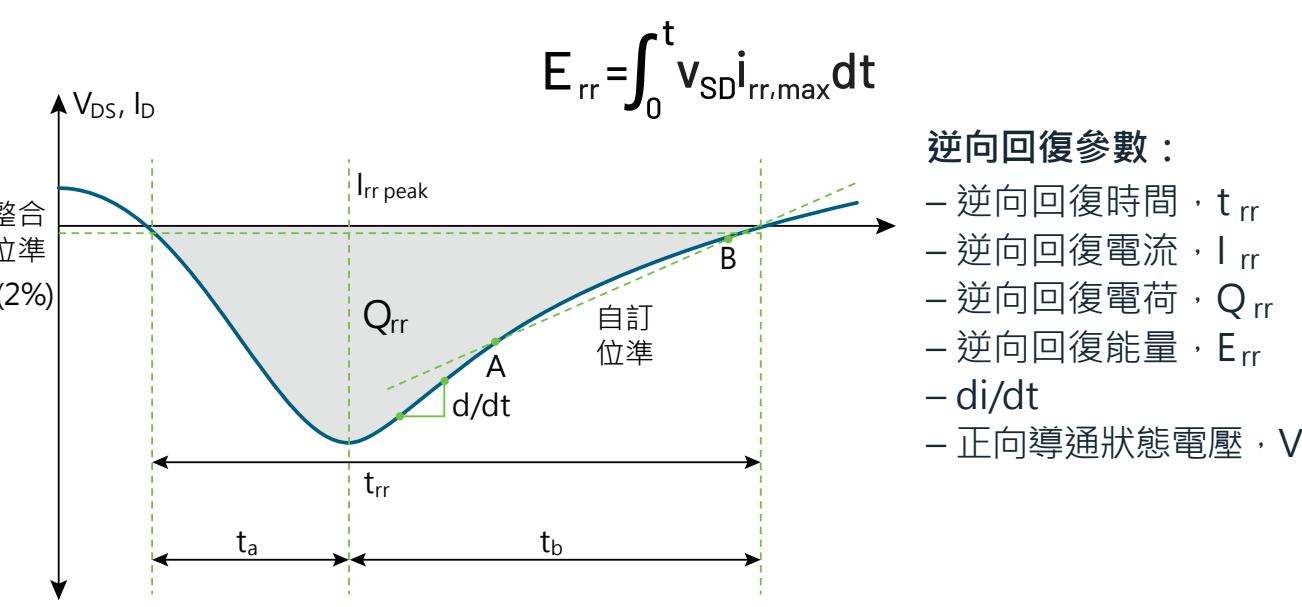


關斷參數：
- 關斷延遲 · $t_{d(off)}$
- V_{DS} 上升時間 · t_r
- 關斷時間 · t_{off}
- 最大汲極至源極電壓 · $V_{DS,max}$
- dv/dt
- di/dt
- 關斷能量 · E_{off}
- 輸出電荷 · Q_{oss}

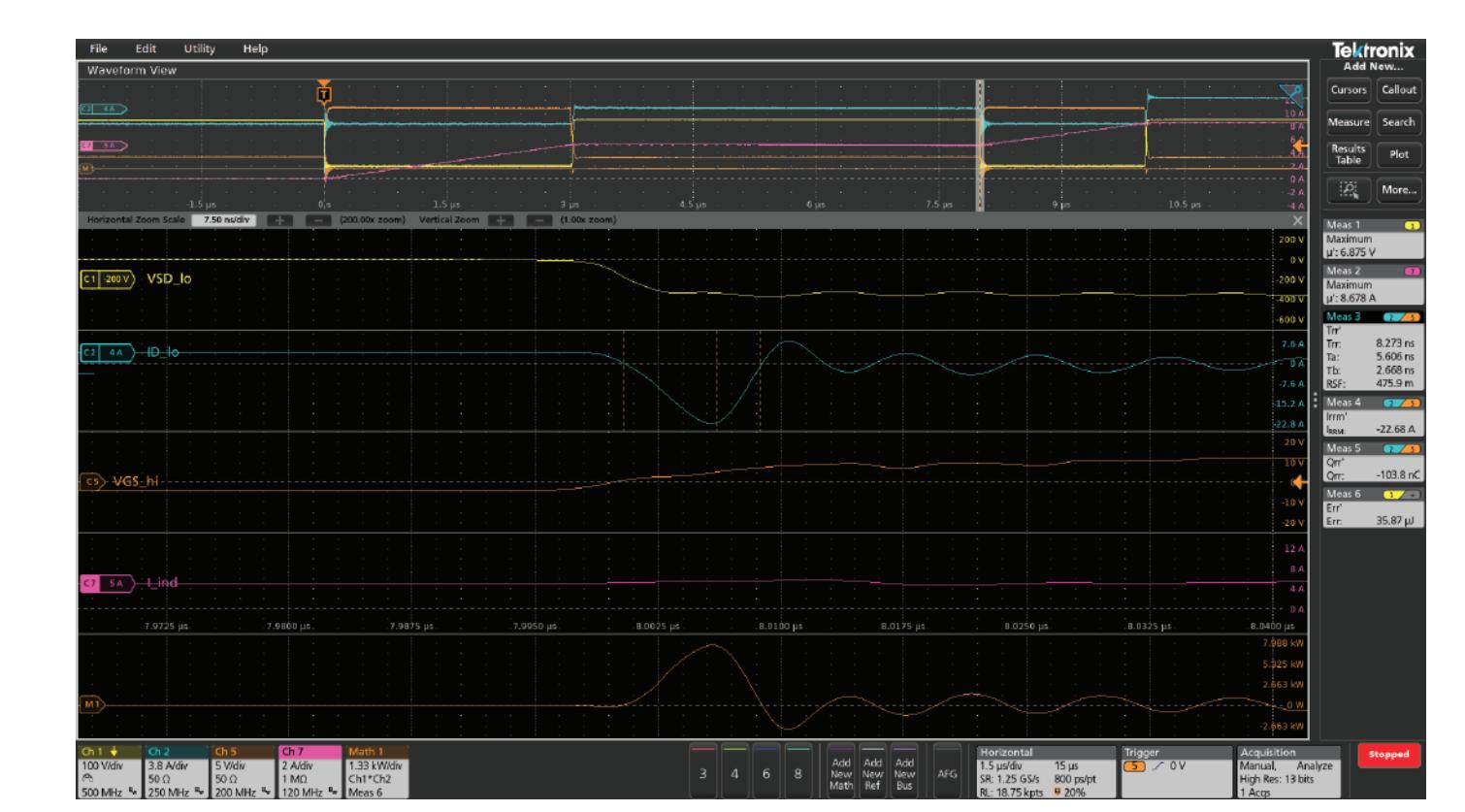


逆向回復量測

每當二極體從正向偏壓（導通）切換到逆向偏壓（關斷）時，逆向回復電流就會短暫地流過二極體。



逆向回復參數：
- 逆向回復時間 · t_{rr}
- 逆向回復電流 · I_{rr}
- 逆向回復電荷 · Q_{rr}
- 逆向回復能量 · E_{rr}
- di/dt
- 正向導通狀態電壓 · V_{SD}



雙脈搏測試的重要標準

標準	裝置類型	涵蓋內容
JEDEC JEP182	GaN MOSFET	切換參數和可靠性
IEC 60747-8	SiC MOSFET	切換時間量測
IEC 60747-9	IGBT	性能規格，包括開通/關斷行為

這些標準提供了測試定義、量測方法和閾值條件，對於驗證功率裝置效能極為重要。

避免常見的雙脈衝測試陷阱

- ✓ 安全至上 小心處理高壓/高速設定；使用適當的隔離措施和個人防護裝備 (PPE)。
- ✓ 確保準確的浮動電壓與電流量測 準確量測 V_{GS} 等浮動電壓和 I_D 等浮動電流，並避免共模電壓問題，特別是針對高端量測。
- ✓ 確保正確接地 建立乾淨的迴路路徑，以最小化接地反彈並減少擷取訊號中的振鈴現象。

- ✓ 縮短電纜長度 減少快速切換事件中的電感和干擾。
- ✓ 探棒偏斜校正 消除電壓與電流探棒之間的時間偏差，以進行準確的能量量測。
- ✓ 遵循測試標準 根據 IEC/JEDEC 規範驗證閘極驅動與時序參數，以確保一致性。