

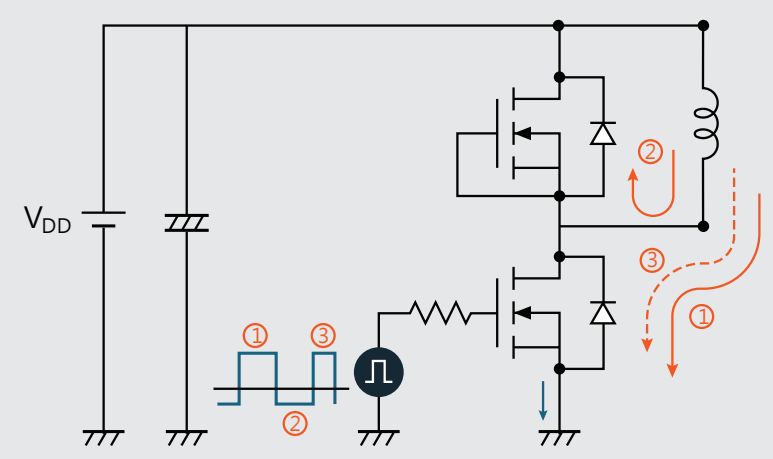
# 雙脈衝測試： 充滿信心地對寬能隙裝置進行特性分析

## 什麼是雙脈衝測試？

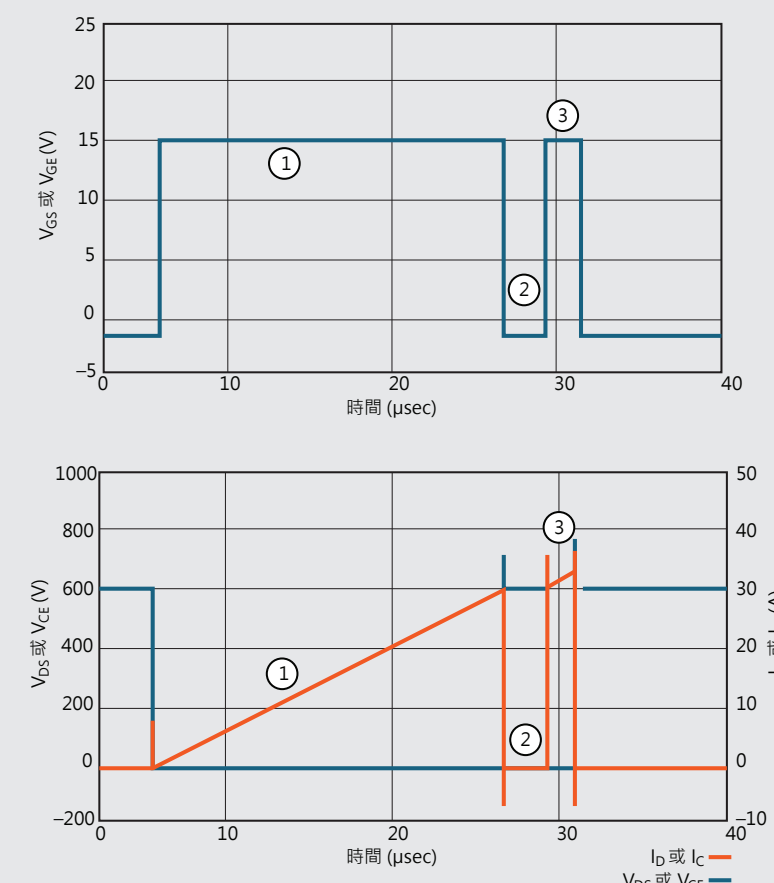
DPT 是分析切換參數以及評估 Si、SiC 與 GaN MOSFET 和 IGBT 動態行為的業界標準方法。隨著 GaN 和 SiC 等寬能隙半導體的興起，這項成熟的技術再次受到重視。DPT 提供了一個受控且具可重複性的環境，用於評估切換行為與能量損耗，使工程師能在目標電流位準下進行測試，同時將自熱效應對裝置接面的影響降至最低。

## 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。



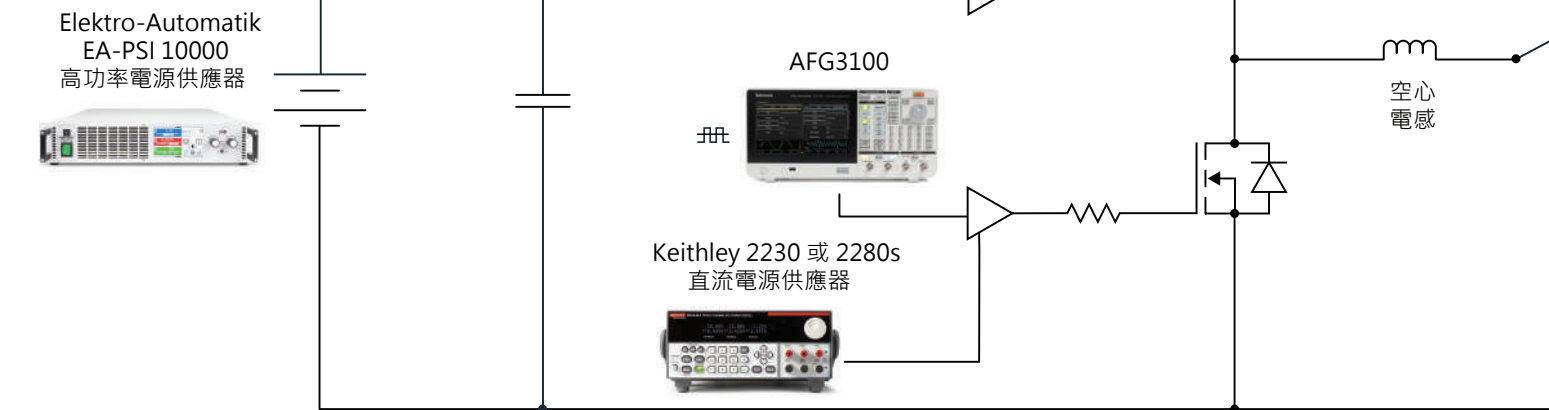
使用 MOSFET 作為 DUT 的電路。雙脈衝測試可分為三個階段，本部分內文中將有相關說明。



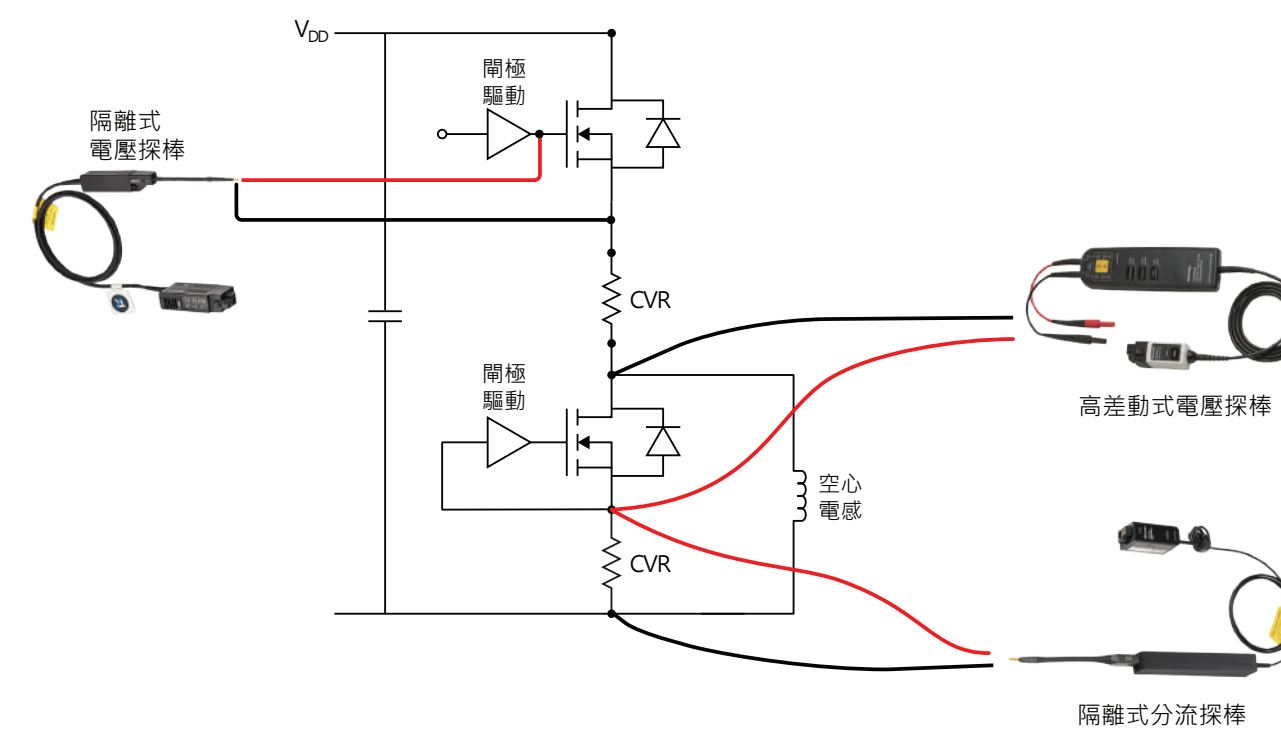
雙脈衝測試波形。頂部的波形顯示施加到開極或開極驅動器的訊號。底部的訊號是對應的汲極電流 ( $I_D$ ) 和汲極至源極電壓 ( $V_{DS}$ )。量測是在第 1 階段和第 2 階段以及第 2 階段和第 3 階段之間的過渡時進行。

## 雙脈衝設定

### 電源和發電機設定



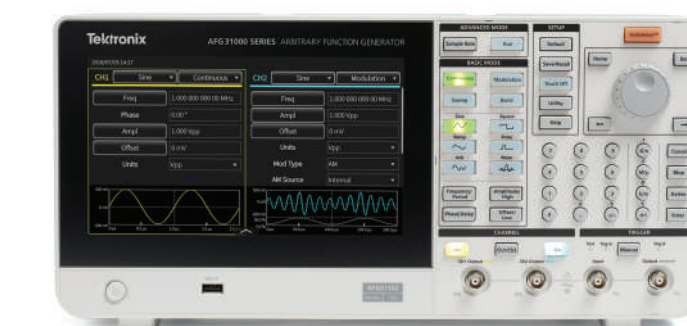
### 逆向復原量測的探棒組態



配備 DPT 分析軟體的示波器 – 訊號擷取與分析



高壓直流電源供應器 – 提供匯流排電壓 ( $V_{DD}$ )

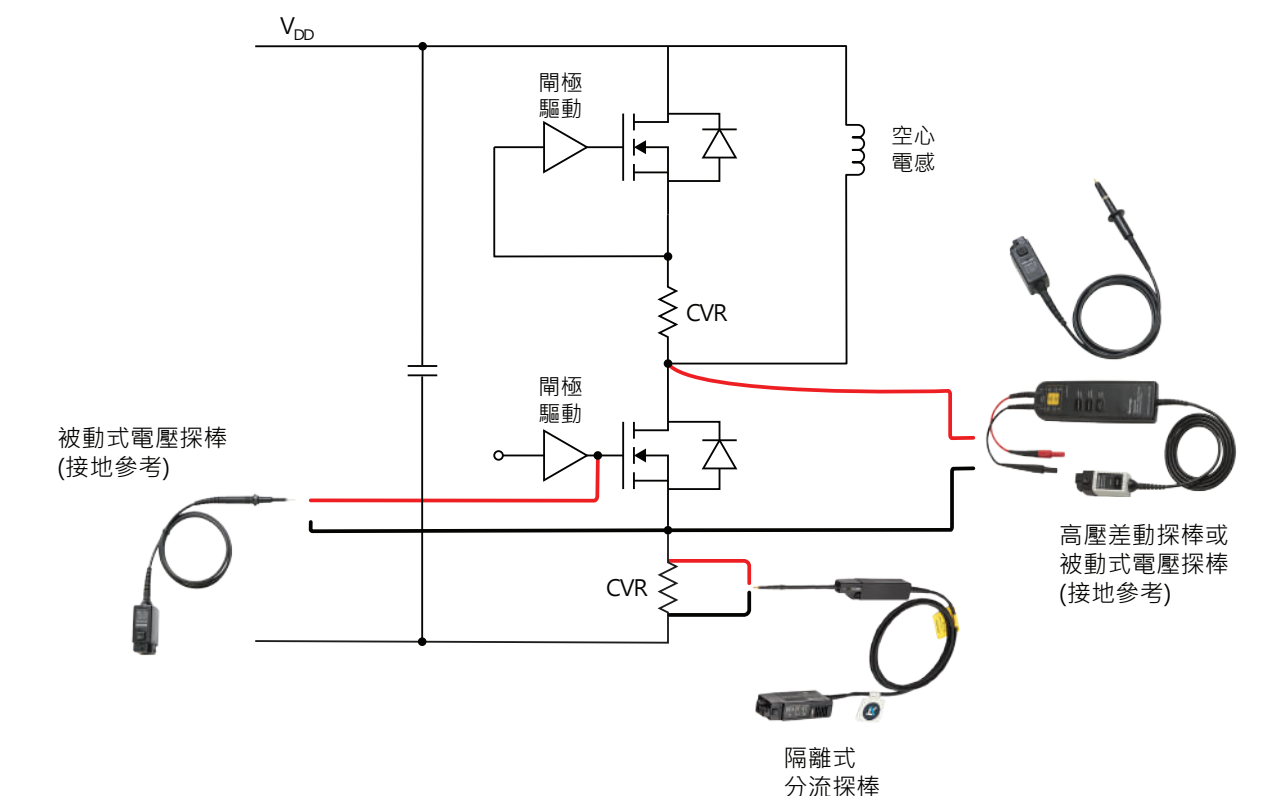


訊號來源 – 提供開極驅動訊號

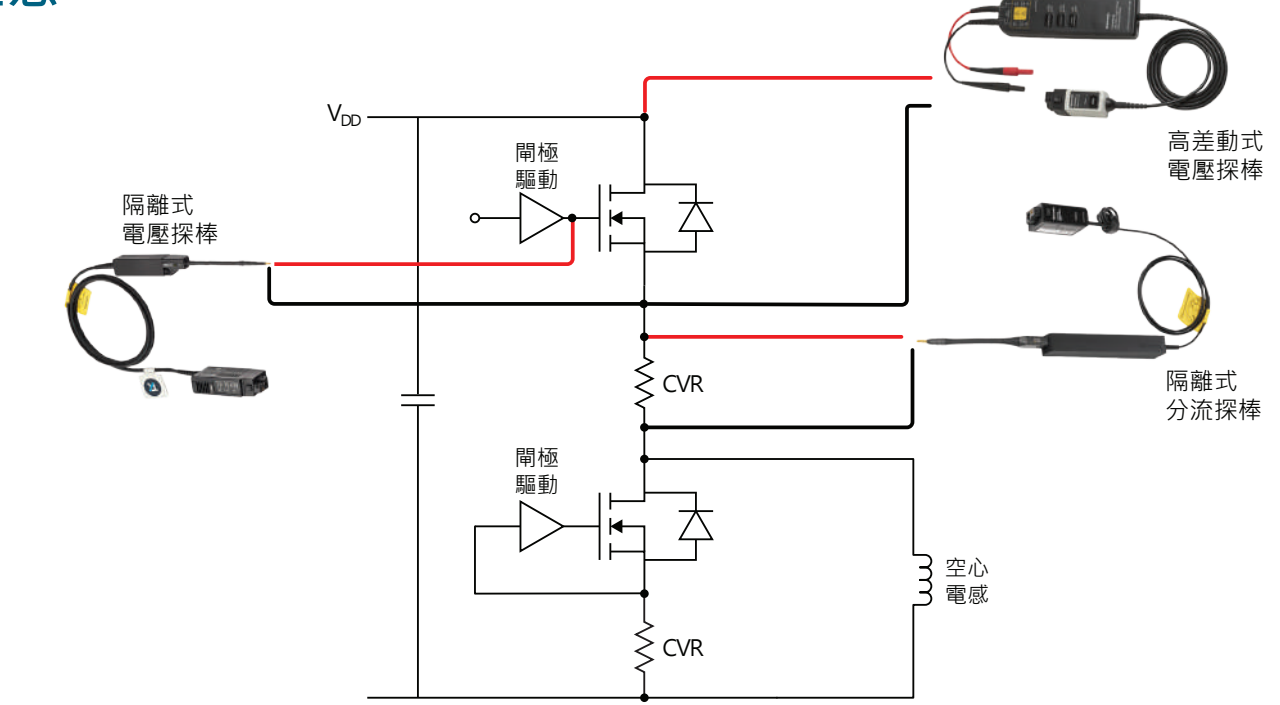


低壓直流電源供應器 – 為開極驅動電路供電

### 低端量測的探棒組態



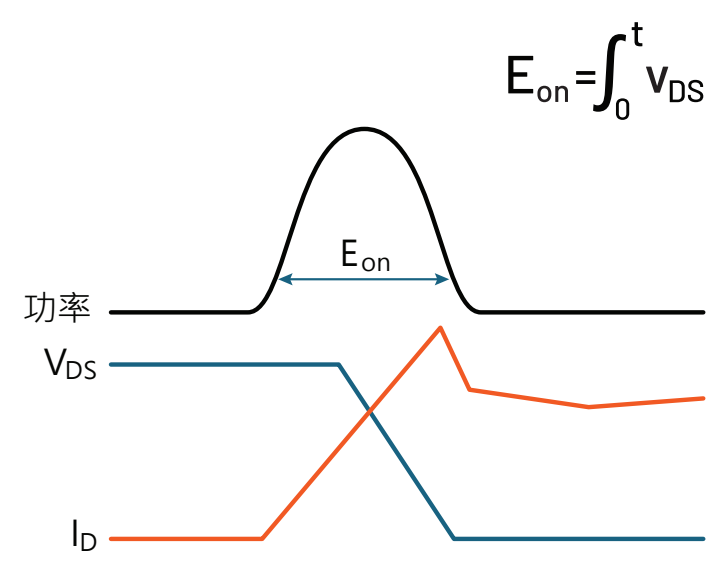
### 高端量測的探棒組態



## 雙脈衝測試中的量測

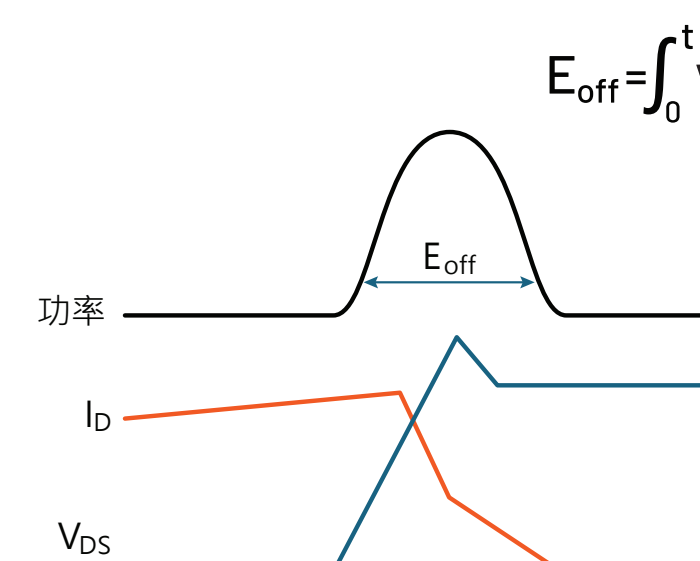
### 開通與關斷能量損耗 ( $E_{on}$ 與 $E_{off}$ )

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。



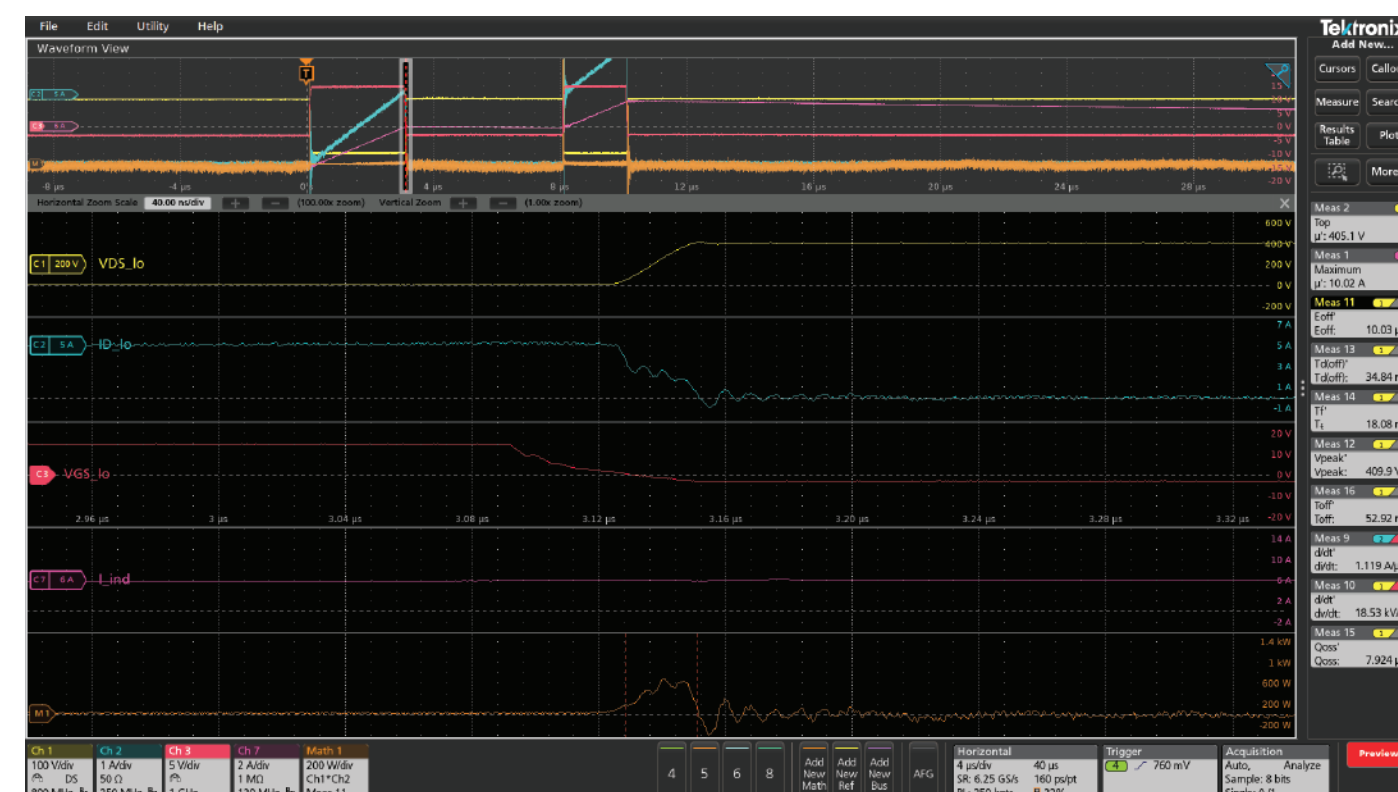
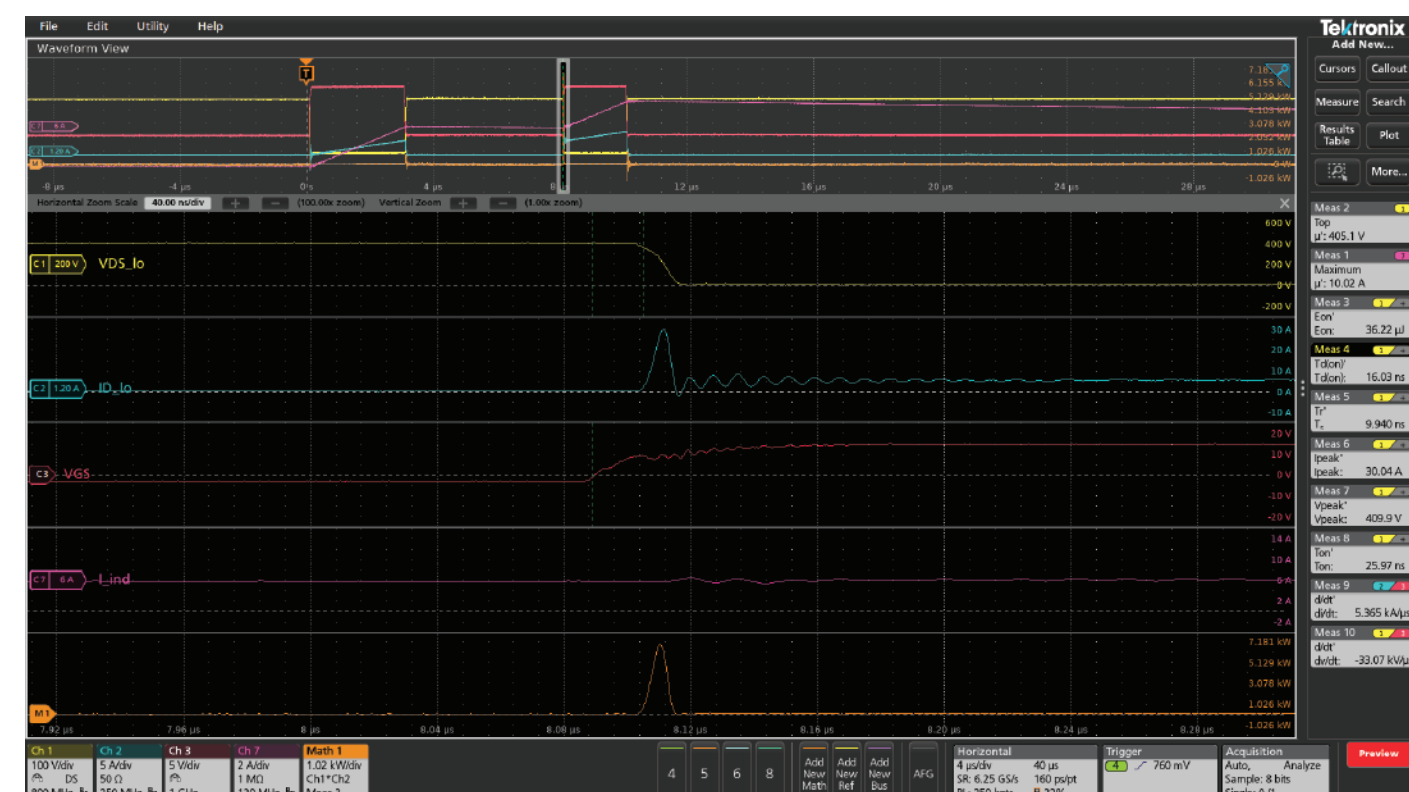
$$E_{on} = \int_0^t V_{DS} i_D dt$$

導通參數：  
– 導通延遲， $t_{d(on)}$   
–  $V_{DS}$  下降時間， $t_r$   
– 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  $R_{DS(on)}$



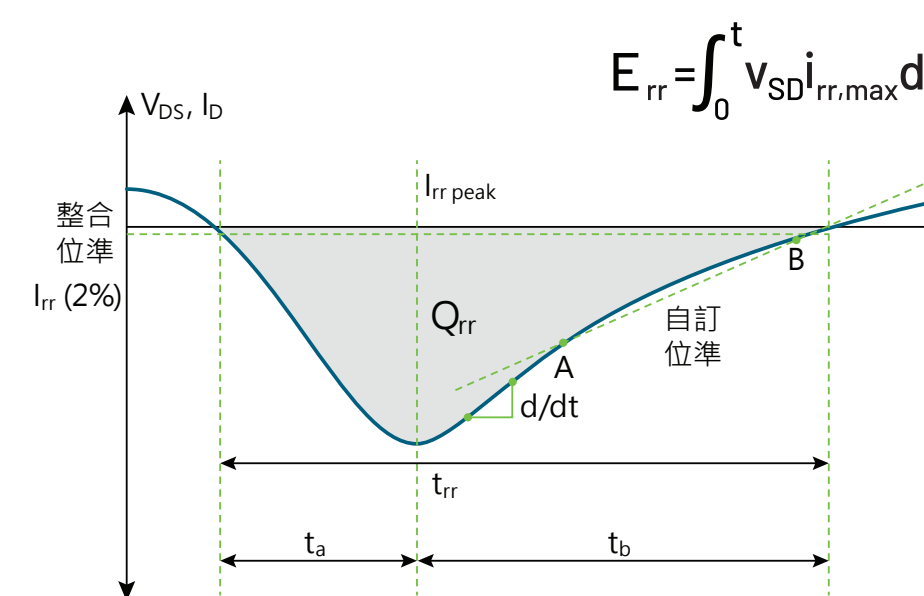
$$E_{off} = \int_0^t V_{DS} i_D dt$$

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， $Q_{oss}$



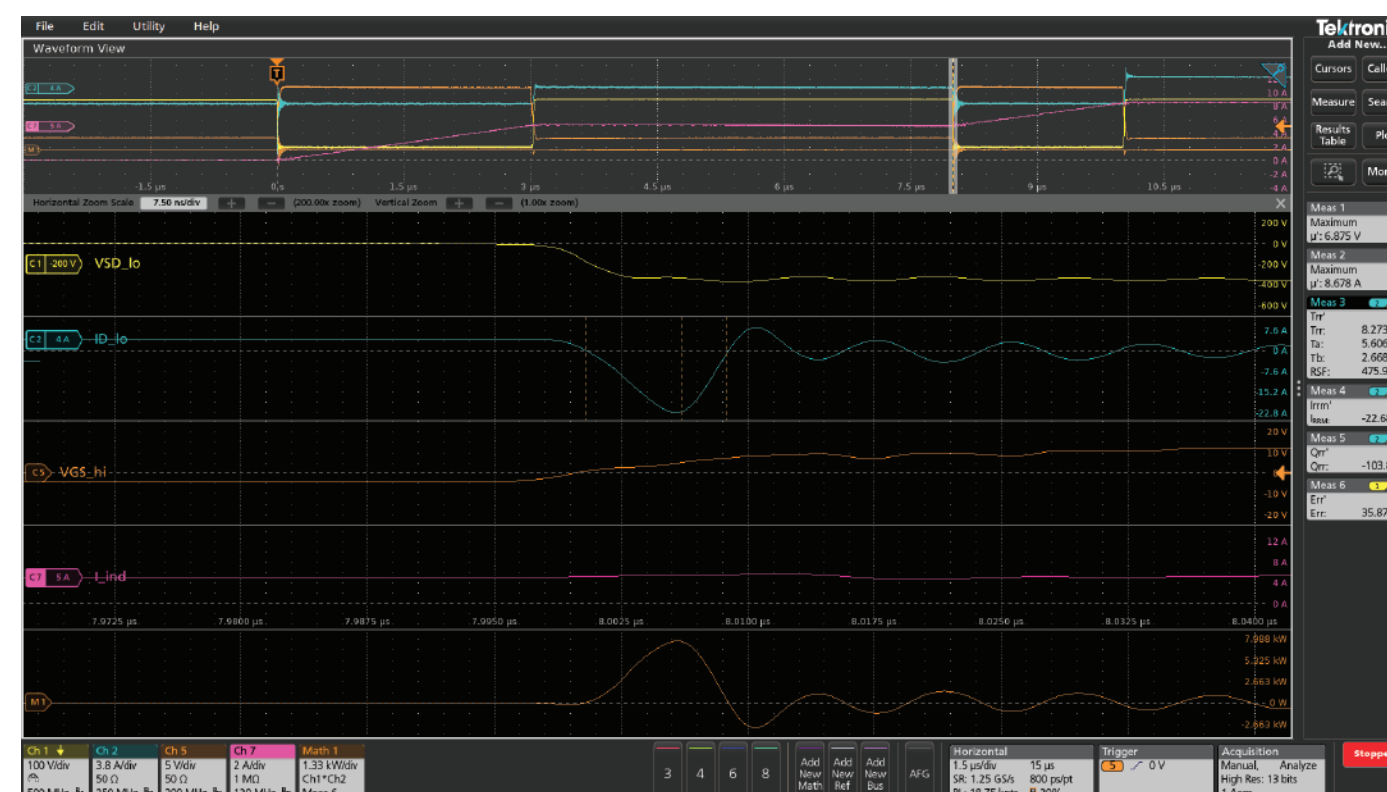
### 逆向回復量測

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。



$$E_{rr} = \int_0^t V_{SD} i_{rr,max} dt$$

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)。
- ✓ **縮短電纜長度**  
減少快速切換事件中的電感和干擾。
- ✓ **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。
- ✓ **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。
- ✓ **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。
- ✓ **遵循測試標準**  
根據 IEC/JEDEC 規範驗證開極驅動與時序參數，以確保一致性。