

# Keysight Technologies

使用 Keysight B1505A 和 1500 A  
對 10 kV 高功率 MOSFET 進行特性分析

應用說明



B1505A 功率元件分析儀 / 曲線  
追蹤儀

N1265A 超大電流擴充器 /  
測試夾具  
N1266A HVSMU 電流擴充器

N1268A 超高電壓擴充器

## 簡介

Keysight B1505A 功率元件分析儀 / 曲線追蹤儀是功能強大的量測工具，可測試並分析高功率 MOSFET 等元件的特性。Keysight B1505A 結合寬廣的量測範圍（1500 A 和 10 kV）和先進的特色，以提供高效率的功率元件量測解決方案。

Keysight B1505A 支援多個新的外部模組，可顯著加大量測範圍。這些模組包括：具備 1500 A 最大輸出的超高電流單元（UHCU）、具備 2.5 A/2200 V 最大輸出範圍為的高壓中電流單元（HVMCU），和具 10 kV 最大輸出的超高電壓單元（UHVU）。針對高功率 MOSFET 等功率元件進行測試時，這些功能提供最新的準確度、靈活性和易用性。

改良量測範圍後，Keysight B1505A 可量測絕大多數的功率元件，如圖 1 所示。圖中顯示用於高功率應用之典型 Keysight B1505A 模組的電壓與電流輸出範圍對比圖示。

UHCU 和 HVMCU 模組皆具有 10  $\mu$ s 高功率脈衝功能，可藉由消除元件自熱效應，而達到更精準的量測。

Keysight B1505A 也可在高達 3 kV 直流偏壓的情況下，執行準確的電容對電壓（CV）量測。有了 Keysight B1505A，您可輕鬆地直接量測功率 MOSFET 電容參數。

Keysight B1505A 是靈活且可升級的平台，因此使用者可用最少的配置，滿足其電流功率測試需求。如果需求增加，或是將來需求改變，使用者只需增加必要的模組，便可將配置升級，讓初始和後續投資降到最低。

EasyEXPERT 是基於圖形操作介面的軟體，適用於 Keysight B1505A，可在曲線追蹤儀模式下執行互動和即時掃描控制。EasyEXPERT 可自動萃取功率 MOSFET 參數，如此可省去繁瑣的人工量測後計算。

這些特色使得 Keysight B1505A 成為可全面取代傳統曲線追蹤儀的強大替代產品，並且提供使用者經過改善的測試效率和量測準確度。

本應用說明解釋如何使用 Keysight B1505A 量測高功率 MOSFET 的典型直流參數。

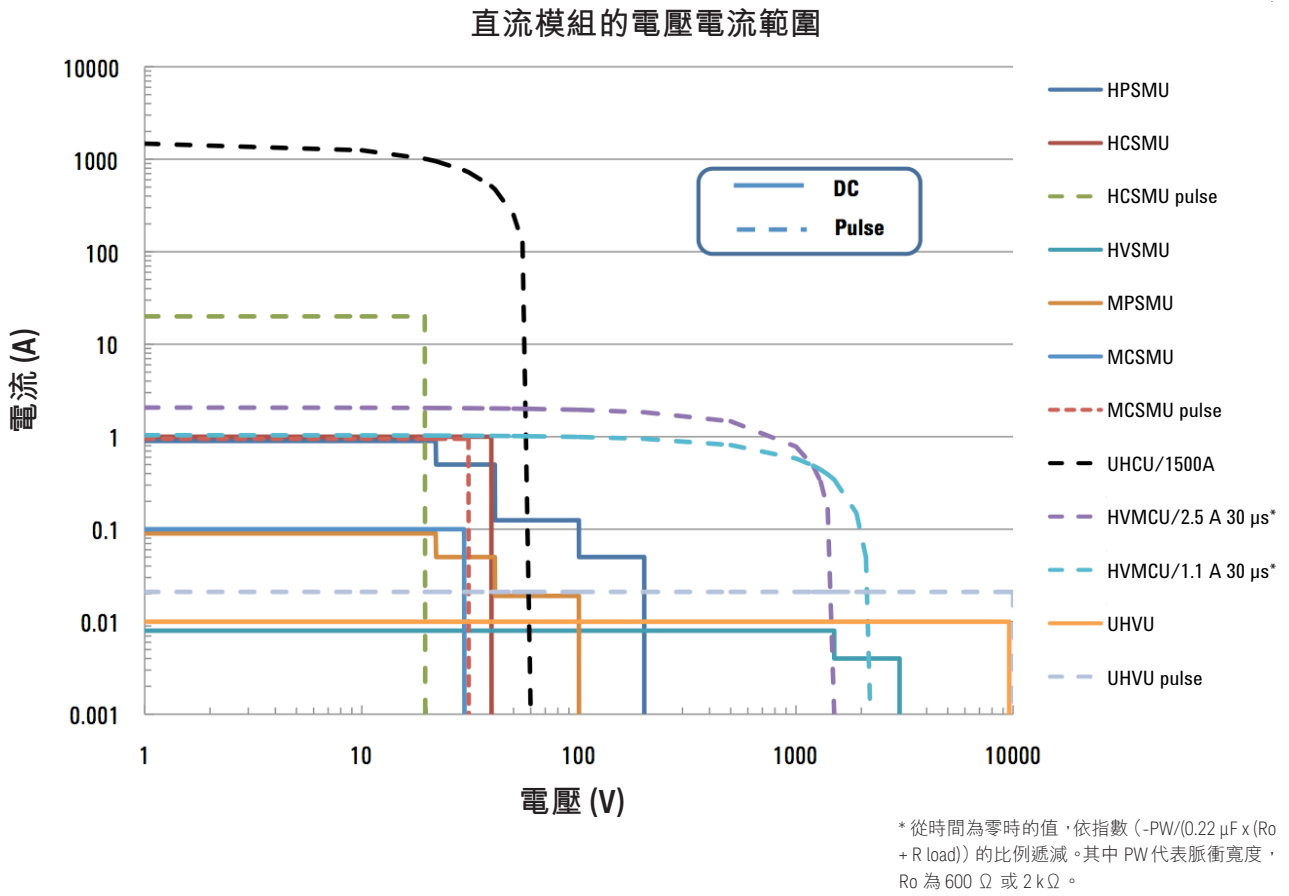


圖 1：Keysight B1505A 的輸出範圍

## 典型的高功率 MOSFET 參數

表 1 簡略列出典型功率 MOSFET 型錄或產品規格書中所列的直流和電容參數。最右欄為 Keysight B1505A 對應到每個參數的量測範圍。

過去使用者必須借助昂貴的製造用功率元件測試儀，或是包含曲線追蹤儀、定電壓儀錶和直流偏壓源的一整組儀器，才能夠量測這些參數。然而，在 Keysight B1505A 問市後，所有這些參數只要透過一部儀器便可輕易完成量測。

表 1：功率 MOSFET 典型的直流和電容參數，以及 B1505A 的相容性

| 典型的高功率 MOSFET 參數 | 符號                  | 單元  | 量測 <sup>1</sup>                | 典型的量測模組 | B1505A 典型的可量測範圍                                 |
|------------------|---------------------|-----|--------------------------------|---------|---|
| 汲極對源極崩潰電壓        | V(BR)DSS            | V   | Id-Vd                          | HVSMU   | -3 kV 至 3 kV <sup>2</sup><br>(最小 200 μV 解析度)    |
| 汲極電流 (直流)        | ID                  | A   | Id-Vd                          | HPSMU   | -1 A 至 1 A<br>(最小 10 pA 解析度)                    |
| 汲極電流 (脈衝)        | IDP, IDM            | A   | Id-Vd                          | UHCU    | -1500 A 至 1500 A <sup>3</sup><br>(最小 2 mA 解析度)  |
| 汲極對源極漏電流         | IDSS                | A   | Id-Vd                          | HVSMU   | -8 mA 至 8 mA <sup>4</sup><br>(最小 10 fA 解析度)     |
| 閘極對源極電壓          | VGSS                | V   | Ig-Vg                          | MCSMU   | -30 V 至 30 V <sup>5</sup><br>(最小 0.2 μV 解析度)    |
| 閘極對源極漏電流         | IGSS                | A   | Ig-Vg                          | MCSMU   | -100 mA 至 100 mA <sup>6</sup><br>(最小 10 pA 解析度) |
| 閘極臨界電壓或者截斷電壓     | VGS(th)<br>VGS(off) | V   | Id-Vg (Vd=Vg)<br>Id-Vg (@ Vds) | SMUs    | -30 V 至 30 V <sup>7</sup><br>(最小 0.2 μV 解析度)    |
| 順向轉移導納或者順向跨導     | yfs <br>Gfs         | S   | Vd-Id @ Vds                    | UHCU    | 1 mS ~ 1000 S <sup>8</sup>                      |
| 靜態汲極對源極導通電阻      | RDS(on)             | ohm | Vd-Vg @ Id                     | UHCU    | 優於 100 μΩ <sup>9</sup>                          |
| 二極體順向電壓          | VSD                 | V   | Is-Vs                          | UHCU    | -10 V 至 10 V <sup>10</sup><br>(最小 100 μV 解析度)   |
| 反向汲極電流           | ISD                 | A   | Is-Vs                          | UHCU    | 約 1500 A <sup>3</sup>                           |
| 輸入電容             | Ciss                | pF  | C-V                            | Yes     | 在 C < 10 nF 時優於 1% <sup>11</sup>                |
| 輸出電容             | Coss                | pF  | C-V                            | Yes     | 在 C < 10 nF 時優於 1% <sup>11</sup>                |
| 反向轉換電容           | Crss                | pF  | C-V                            | Yes     | 在 C < 10 nF 時優於 1% <sup>11</sup>                |

1. 為萃取參數所進行的量測
2. 4 mA/3 kV。使用 HVMCU 時超過 100 mA/2 kV。使用 UHVU 時可擴充到 10 kV。
3. 1500 A-UHCU。20 A-HCSMU，2 A-HVMCU。
4. 在 3 kV 時最大值為 4 mA。使用 HVMCU 時超過 100 mA/2 kV。
5. 30 V-MCSMU。200 V-HPSMU，100 V-MPSMU。
6. 30 V-MCSMU。
7. Ic：50 mA/MPSMU (Vc < 40 V)。1000 A-UHCU (Vc < 20 V)。
8. 經驗法則 (例如：1 mA/1 V ~ 1 A/1 mV)。
9. 經驗法則 (例如：1 mV/10 A)。
10. 一般來說，在 Ic < 1250 A 為 10 V，在 Ic < 1400 A 時為 3 V，在 Ic < 1500 A 時為 1 V。
11. 使用高壓偏壓 T 轉接器時最大 3 kV 直流偏壓。

## 量測典型的高功率 MOSFET 參數

Keysight B1500A 可輕易量測典型的高功率 MOSFET 參數。以下段落將說明如何量測表 1 所列的某些高功率 MOSFET 參數。

### 多個測試模式可供使用

Keysight B1505A 有 4 個測試模式可供使用：軌跡測試、應用測試、典型測試和快速測試。每個測試模式皆有其獨特的功能，如下面段落所述。

追蹤儀測試模式提供互動的曲線追蹤儀介面，方便您在量測時使用 Keysight B1505A 面板旋鈕修改參數。

追蹤儀測試模式支援傳統曲線追蹤儀所沒有的獨特功能，例如在曲線上準確地放置標記和直線，並以 PC 相容的格式截取螢幕畫面。

應用測試模式內含一個預設的測試程式庫，可免除手動設定多個儀器參數，以便執行相同元件測試（例如 Id-Vds 量測）的麻煩。使用者可透過直覺的「填空」流程進行量測。只要輕鬆點擊量測按鈕，就可進行各項量測，並且自動萃取參數。

經典測試模式方便您全面操控 EasyEXPERT 軟體的量測和分析功能。在追蹤儀測試模式中建立的量測設定，可輸入經典測試模式，並且套用自動分析計算。依此建立的經典測試設定可用於互動式和自動化測試。

快速測試模式非常便利易用，可自動套用在追蹤儀測試、應用測試或者經典測試模式中建立的測試設定，不需要進行任何程式設計。利用配備 EasyEXPERT 的晶圓探測器驅動程式，您可自動執行一系列的測試夾具和整體晶圓的晶圓上測試。

## 量測範例

以下例子使用這些不同的測試模式說明高功率 MOSFET 參數萃取。

### 1. 輸出特性：Id-Vds

圖 2 顯示追蹤儀測試模式如何量測高功率 MOSFET 的 Id-Vds 輸出特性。

此範例顯示如何使用追蹤儀測試模式的旋鈕掃描功能在量測時透過互動方式，即時控制掃描的最大汲極電壓。即便是同一型號的元件，其電壓電流參數與各不相同，而旋鈕掃描是確定汲極和閘

極之汲極電壓與電流的快速工具。請注意圖 2 顯示的量測將功率相容性設為 3.5 kW（如紅線所標示）。如此可在脈衝模式下避免超出最大額定功率（SOA 限制）。

二條白色虛線分別標出輸出電壓和電流法規限制。您可在高電壓和低電壓下對元件進行量測，但請務必考慮低電流量測所限定的最大的電壓限制。

電流限制功能可保證您不超出元件的額定最大電流值。

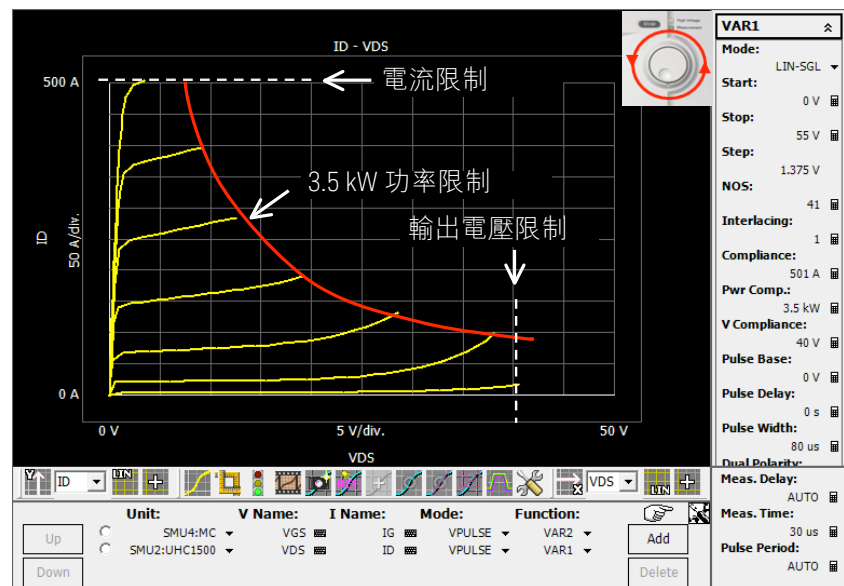


圖 2：Id-Vds 追蹤儀測試範例（UHCU）

## 2. 高電流特性：Id-Vds

圖 3 顯示典型高功率 MOSFET 的 Id-Vds 大電流特性。

圖中標記所在的點顯示在 1,342 A 為 2.52 V。

最大的 UHCU 輸出電壓設為 60 V。然而，實際用於待測裝置的電壓與設定電壓不同。您需要考慮 UHCU 輸出端電阻所造成的壓降（通常為 40 mΩ）。在低電流區，電壓相容性（電壓限制）設為 4.5 V，以免除不必要的量測。

## 3. ON 特性：Rds-Vgs

Rds-Vgs 汲極至源極的 ON 特性是切換應用的重要參數。圖 4 顯示 Rd-Vgs ON 特性中，以 50A 的間隔從 50A 切換到 200A 的 4 個定汲極電流參數。

圖中標示的 Rds 讀值顯示在 1.6mΩ 時，所有 Id 的 Vgs 為 10 V。

這項量測使用 UHCU 作為連接到汲極的定電流源。傳統曲線追蹤儀無法使用定電流，因為它只有電壓源模式。過去，這類量測只能使用昂貴的製造用功率元件測試儀來執行。然而，Keysight B1505A UHCU 可輕易執行這類量測。

您還可使用 EasyEXPERT 的數學運算功能（Rev 5 或更新的版本支援此功能）來計算 Rds。

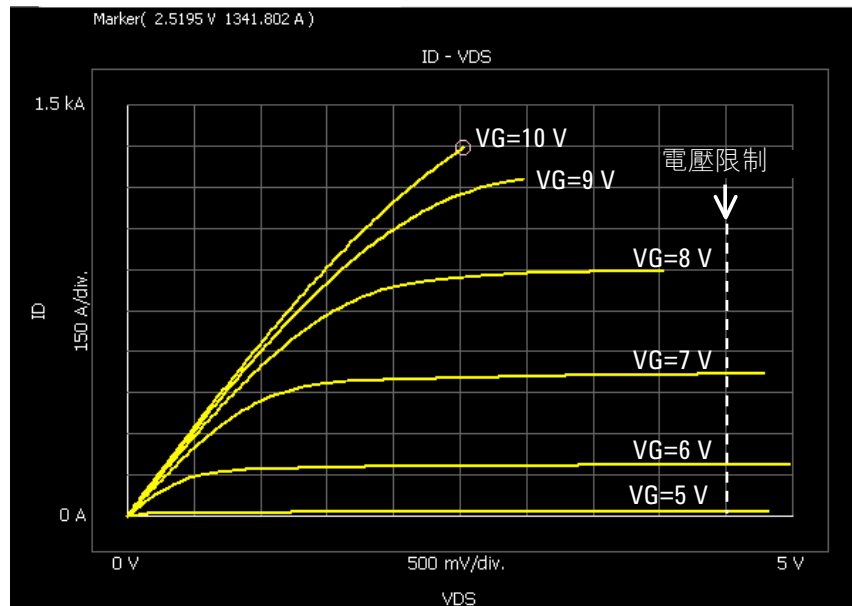


圖 3：高功率 MOSFET（UHCU）的大電流輸出特性

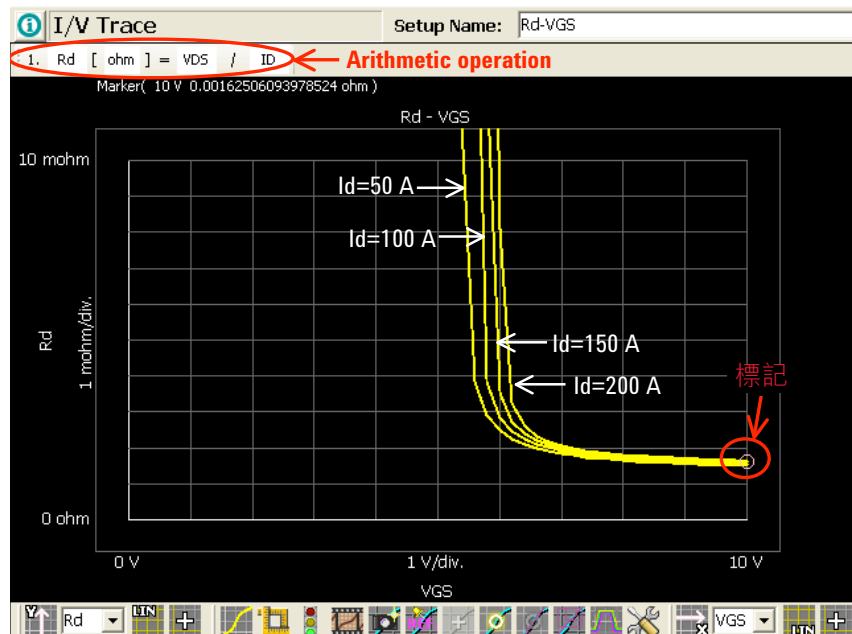


圖 4：高功率 MOSFET（UHCU）的 Rd-Vgs ON 特性

#### 4. 高電壓 MOSFET 的近崩潰特性

圖 5 顯示使用 HVMCU 量測高電壓 MOSFET 的近崩潰特性的範例。

黃色曲線顯示量測時將電壓限制在 1.6 kV，以免不超出測試元件的崩潰電壓。藍色曲線代表該元件真正的崩潰電壓的參考曲線。藉由設定限電壓，您可量測接近崩潰時的特性，以避免實際遭遇崩潰情形。HVMCU 的輸出端有一個內建的輸出電阻器（在 2200 V 範圍為 2 kΩ），讓您能安全地進行崩潰量測，即便裝置突然崩潰也沒問題。

在高電壓區，HVMCU 的中電流量測功能也可有效測試高溫下的漏電流。

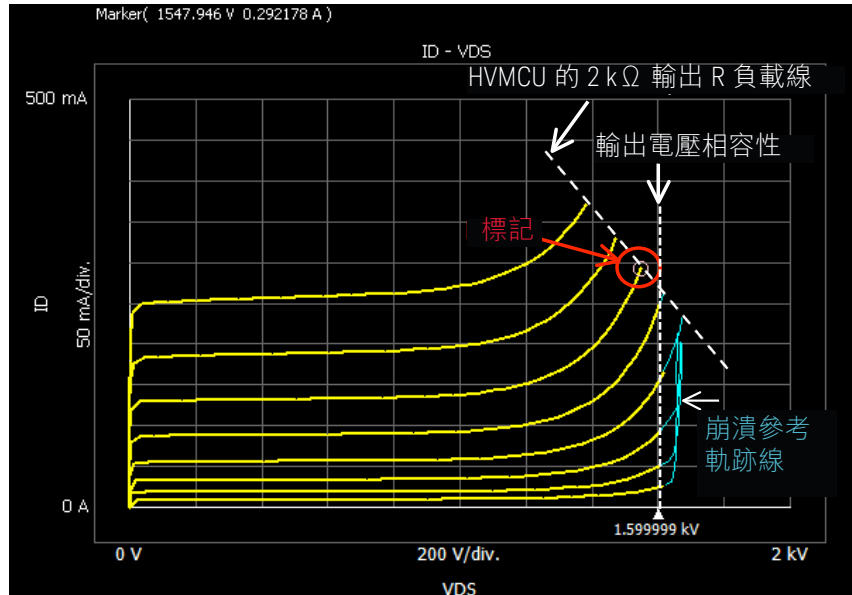


圖 5：高電壓 MOSFET (HVMCU) 的近崩潰特性

#### 5. Id-Vgs 輸出特性

Id-Vgs 量測通常是在固定的汲極電壓下進行。

由於曲線追蹤儀具有內建的輸出電阻，如果汲極電流因輸出端電阻 IR 壓降而產生變化時，曲線追蹤儀將無法提供定電壓。

標配的 Keysight B1505A EasyEXPERT 程式庫提供 Id-Vgs 應用測試，並可自動補償輸出電阻造成的壓降（參見圖 6）。

註：在圖 6 中，左邊的視窗顯示測試參數設定的圖形操作介面，而右邊的視窗顯示量測結果。

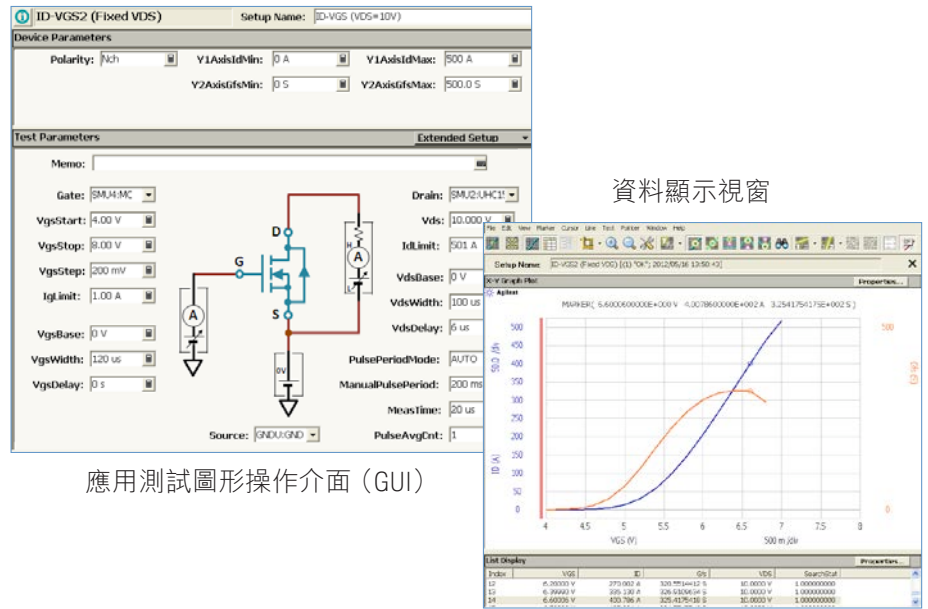


圖 6：透過應用測試來量測 Id-Vgs 高功率 MOSFET 傳送特性

## 6. 崩潰測試

圖 7 顯示使用 HVSMU 進行崩潰測試的範例。此量測使用測試夾具內建的 100 kΩ 電阻器進行。藉由使用簡單的數學運算功能可消除電阻器所造成的壓降。

藍色參考曲線顯示 100 kΩ 串列電阻器所造成的壓降，而黃色曲線則顯示消除壓降後真實的崩潰特性。

註：使用內建的 100 kΩ 串列電阻器的好處是，您甚至可量測負電阻或驟迴 (snap back) 崩潰特性。

如果 HVSMU 的 3 kV 測試電壓不敷使用，可使用 UHVU 將測試電壓提高到 10 kV。

## 其他特色

### 示波器檢視功能

Keysight B1505A 的 EasyEXPERT (第 5 版或更新的版本) 支援示波器檢視功能 (參見圖 8)，方便您以 2 μs 的解析度，監控脈衝量測波形。

它具有下列特色：

- 可同時被顯示 I/V 曲線和脈衝波形
- 可監測任何一點上的波形量測脈衝
- 可使用標記線讀取電壓與電流讀值
- 在量測時可改變脈衝量測條件，並可立即驗證所產生的波形

寄生效應 (例如測試配置的纜線電感) 可能會導致施加於汲極的大電流信號失真，並帶來意料之外的量測結果。

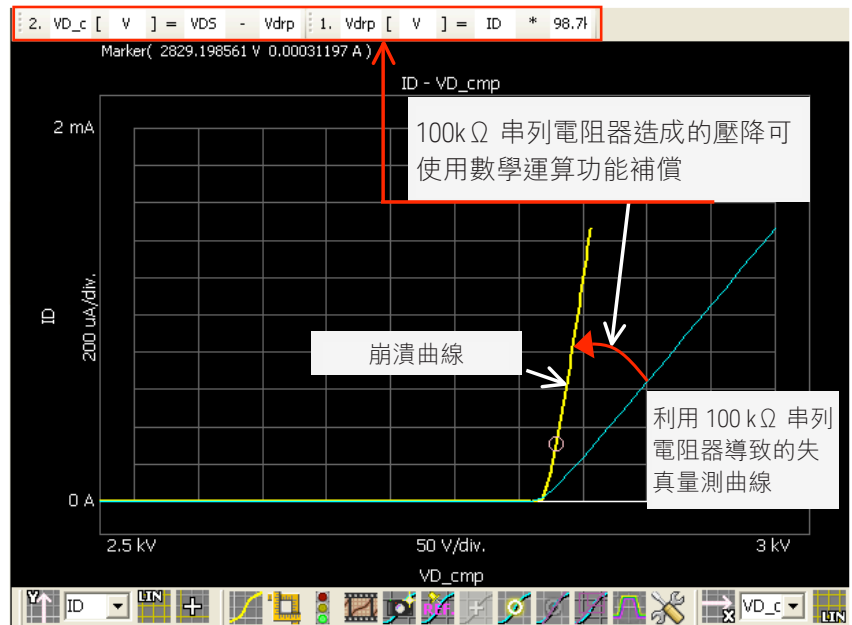


圖 7：崩潰測試 (HVSMU)

### 產品特色

- 可同時顯示 I/V 曲線和脈衝波形
- 可監測任何一點上的波形量測脈衝
- 可使用標記線讀取電壓與電流讀值
- 在量測時可改變脈衝量測條件，並可立即驗證所產生的波形

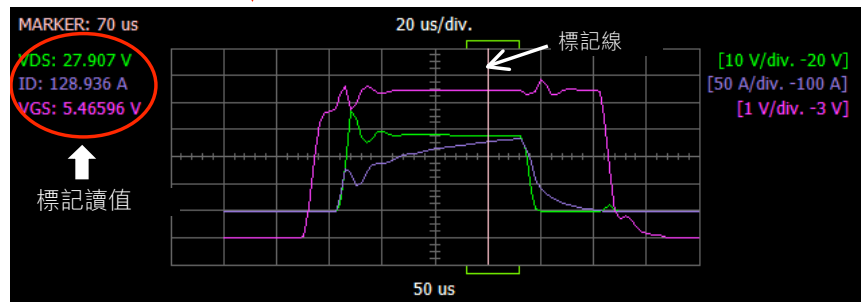
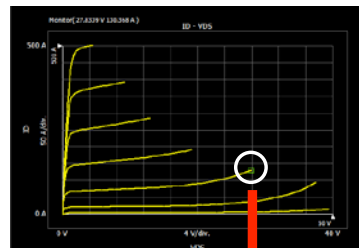


圖 8：示波器檢視功能

示波器檢視功能可提供確切的波形形狀，以及汲極和閘極信號的相對位置，藉以避免出現上述情況。如此一來，您可調整時序參數，以獲致最佳的量測。

示波器檢視功能增進除錯的能力，減少除錯所需的時間。



### 汲極電源選擇器

執行高功率 MOSFET 量測時，需將寬廣的電壓與電流範圍套用於汲極，因此必須不斷切換圖 9 顯示的測試模組。

圖 9 顯示 Keysight N1265A UHC 擴充器或測試夾具模組選擇器的簡易方塊圖。有了 N1265A，您在執行不同類型的量測時，再也不用頻繁地連接纜線，同時還可消除所有人為誤差。

EasyEXPERT 軟體可根據指定的測試，自動選擇正確的模組。

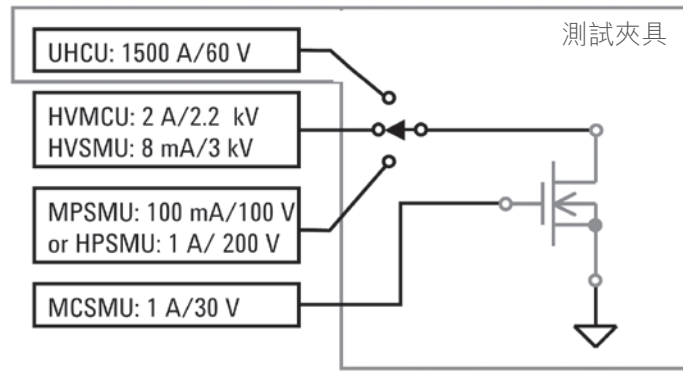


圖 9：在不改變接線的情況下，可輸出高達 1500 A 和 3 kV 的電流和電壓

### 晶圓上量測

Keysight B1505A 支援超過 200 A 電流和高達 10 kV 電壓的晶圓上量測。晶圓探測器的探棒，而非 B1505A，可限制最大電流。

選配的 Keysight N1254A-524 超高電流探量系統纜線可支援超過 500 A 和 3 kV 的電流與電壓。圖 10 為使用此纜線延伸方式的晶圓探測器纜線連接示意圖。在恆溫試驗室中進行超高電流量測時也可使用這種纜線延伸方式。

註：如欲在 3 kV 到 10 kV 範圍內進行量測，必須繞過模組選擇器，並將 UHVU 直接連接到待測裝置。

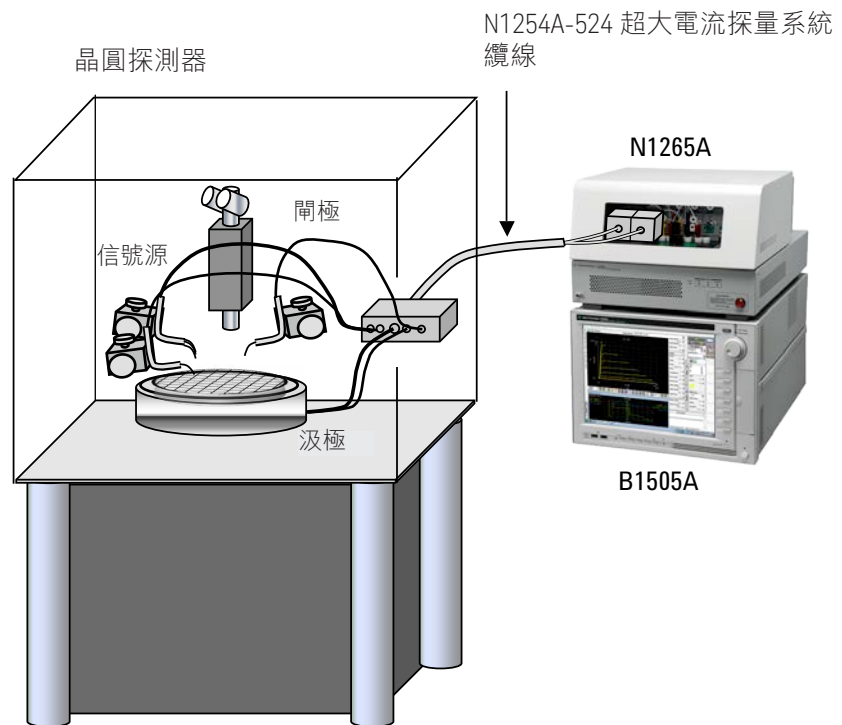


圖 10：使用 Keysight N1254A-524 超高電流探量系統纜線連接探測器

## 結語

此應用說明解說了如何使用 Keysight B1505A 對商用高功率 MOSFET 產品規格書所列的典型直流參數進行量測。

Keysight B1505A 提供的四個測試模式分別為：曲線追蹤測試模式、應用測試模式、經典測試模式、快速測試模式。它們提供使用者不同的選項，以使用最大的量測靈活性進行元件評估。

Keysight B1505A 的量測範圍高達 10 kV 和 1500 A。

Keysight N1265A 內建的選擇器簡化了量測模組切換到功率 MOSFET 汲極供電的流程。B1505A 支援高達 10 kV 和超過 200 A 的晶圓上量測。

示波器檢視功能提供了外接示波器所無法提供的強大功能。在執行可靠而準確的元件量測時，可協助您建立量測配置和設定參數，是非常實用的功能。

這些功能結合 B1505A 的眾多資料分析特性，打造出了最尖端的功率 MOSFET 量測工具，遠遠超越傳統曲線追蹤儀的能力。

myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊



三年保固

是德科技的卓越產品與長達 3 年保固服務的完美結合，助您一臂之力達成業務目標：增強操作便利性，降低持有成本，增強量測信心。



五年保固延長計劃

[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

是德科技提供經濟實惠的五年保固保證，確保儀器的運作達到規格要求，您可持續信賴儀器的量測準確度。



[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/quality)

是德科技—DEKRA Certified ISO 9001:2008 品質管理系統。

是德科技銷售夥伴

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

兩全其美：是德科技專業的量測技術與齊備的產品，搭配是德科技銷售夥伴的服務與彈性價格。

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

[www.keysight.com.tw/find/contactus](http://www.keysight.com.tw/find/contactus)

台灣是德科技網站：

[www.keysight.com.tw](http://www.keysight.com.tw)

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段 2 號 7 樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園市平鎮區高雙路 20 號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路 6 號 25 樓之 1

電話：(07) 535-5035