

使用 2460 SourceMeter® SMU 儀器 以高電流量測低電阻裝置

應用摘要



KEITHLEY
A Tektronix Company

Tektronix

簡介

低電阻量測提供了一種良好的方法可識別隨時間變化的電阻元件。通常，這些類型的量測會用於評估裝置或材料是否由於如熱、疲勞、腐蝕、振動等環境因素而退化。在許多應用中，這些量測通常低於 10Ω 。電阻值的變化通常是兩個接觸點之間的某種退化形式的最佳指示。使用高電流所執行的低電阻量測常用於評估高功率電阻器、斷路器、開關、匯流排列、電纜和接頭，以及其他電阻元件。



大多數數位萬用電錶 (DMM) 均缺乏使用高電流進行低電阻量測的能力。您可使用與電源供應器結合的 DMM 來進行，但是這些儀器必須首先整合至一個系統，以便自動化量測程序，然後必須手動計算電阻。

電源量測設備 (SMU) 儀器或 SourceMeter 儀器可利用高電流刺激來簡化低電阻量測程序。SourceMeter 儀器能輸出並量測電流和電壓。Keithley 的機型 2460 高電流 Source Meter SMU 儀器具有可輸出/輸入高電流及量測電壓和電流的靈活性，使其成為需要高達 7A 刺激電流的量測低電阻裝置的完美解決方案。機型 2460 會自動計算電阻，因此您不需手動進行計算。如遠端感應和偏移補償等內建功能將有助於最佳化低電阻量測。機型 2460 可提供 $<1\text{m}\Omega$ 解析度。

您可使用機型 2460 的前面板或背板終端進行低電阻量測，如圖 1 和圖 2 所示。請注意，前面板終端或背板終端僅可使用其中一種，這兩種連接方式不可混合。

請注意，當引線連接到待測裝置 (DUT) 時，FORCE LO 和 Sense LO 連線會連接至其中一組 DUT 引線，而 FORCE HI 和 Sense HI 連線則會連接至另一組引線。感應連線應盡可能靠近待測電阻。此四線量測可消除量測中的測試引線電阻。

圖 1 顯示前面板連接，此連接可由額定為最大電流 (7A) 的四條絕緣香蕉式電纜製成，例如兩組 Keithley 型號 8608 高效能夾式引線組。

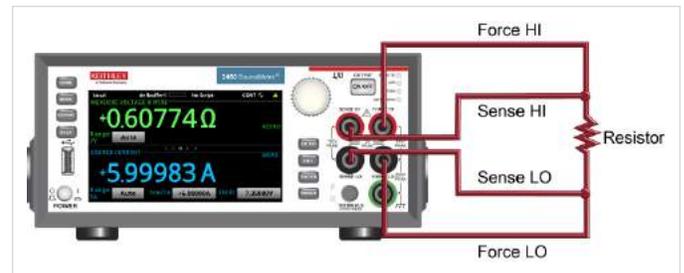


圖 1. 機型 2460 低電阻量測的前面板連接

圖 2 說明背板連接，可以使用型號 2460-KIT Screw 終端接頭套件 (機型 2460 隨附) 或型號 2460-BAN 香蕉測試引線/轉接器電纜 (含適當的電纜)。

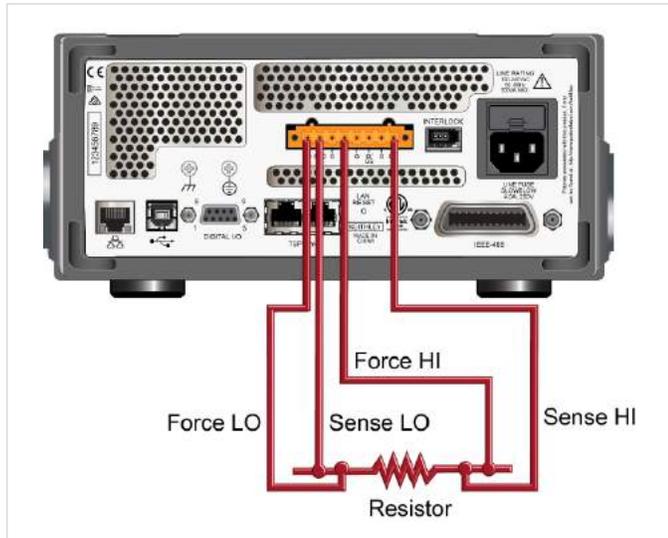


圖 2. 機型 2460 背板上的低電阻連接

常見的低電阻量測誤差來源

低電阻量測受限於來自各種來源的誤差，包括引線電阻、非歐姆接點和裝置加熱。

引線電阻

如圖 3 所示，所有測試引線都有一定的電阻頻率，有些甚至高達數百毫歐姆。如果引線電阻夠高，將可能導致不正確的量測。

熱電電壓

當電路的不同部分處於不同溫度，以及由不同材料製成的導體連接在一起時，即會產生熱電EMF或電壓。實驗室中的溫度波動或敏感電路附近的牽引可能會引起測試電路中出現溫度梯度，進而產生數微伏的電壓。

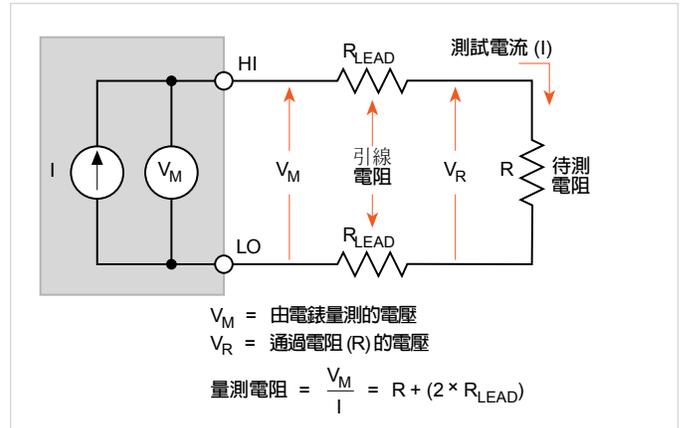


圖 3. 利用 SMU 儀器進行的電阻量測

非歐姆接點

當通過接點的電位差並未與流過接點的電流成線性比例時，即表示存在非歐姆接點。由於氧化膜或其他非線性連接，低電壓電路中即可能發生非歐姆接點。為了防止非歐姆接點，請選擇合適的接點材料，如鈦或金。請確保 SMU 儀器的相容性/限制電壓足夠高，以避免由於輸出接點非線性而導致的問題。為了減少由於電壓計非歐姆接點所引起的誤差，請使用屏蔽和適當的接地，以減少交流拾波(如需深入了解非歐姆接點的相關資訊，請參閱最新版的 Keithley 低頻寬量測手冊)。

裝置加熱

用於低電阻量測的測試電流通常會比用於高電阻量測的電流高得多，因此，如果裝置中的功率耗散夠高，足以使裝置的電阻值改變，則可考慮裝置中的功率耗散。電阻中的功耗可由下列公式得出：

$$P = I^2R$$

從上述關係式中，我們可以發現，每當電流加倍時，裝置中的功率消耗即會增加四倍。因此，盡可能降低裝置加熱影響的一種方式就是使用可能的最低電流，同時仍然維持通過DUT的期望電壓。如果電流頻率無法降低，則考慮使用窄電流脈衝(而非直流訊號)。

如何成功進行低電阻、高電流量測

引線電阻和四線 (Kelvin) 法

執行電阻量測時常使用圖 3 所示的兩線法。測試電流會強制通過測試引線，並量測電阻 (R)。之後通過相同設定的測試引線量測電阻兩端的電壓，並計算電阻值。

使用兩線法進行低電阻量測的主要問題是量測中會增加總引線電阻 (R_{LEAD})。若測試電流 (I) 跨過引線電阻時會引起小但顯著的電壓下降，由電錶所量測的電壓 (V_M) 將不會完全與直接通過測試電阻 (R) 的電壓 (V_R)，進而導致相當大的誤差。典型的引線電阻範圍從 1mΩ 到 10mΩ，因此當待測電阻低於 10Ω 到 100Ω (取決於引線電阻) 時，很難獲得準確的兩線電阻量測。

由於兩線法的限制，圖 4 所示的四線 (Kelvin) 連接方法通常較適合用於低電阻量測。利用此組態，測試電流 (I) 會經由一組測試引線強制通過測試電阻 (R)，同時通過 DUT 的電壓 (V_M) 是透過的第二組引線 (稱為感應引線) 進行量測。雖然一些小電流可能流經感應引線，但通常可忽略，且通常針對所有實際目的均可忽略這類小電流。通過感應引線的電壓下降可忽略不計，所以由電錶量測的電壓 (V_M) 與通過電阻 (R) 的電壓 (V_R) 基本上相同。因此，相較於兩線法，使用四線法可更精確地確定電阻值。請注意，電壓感應引線應盡可能靠近待測電阻，以避免在量測中增加測試引線的電阻。

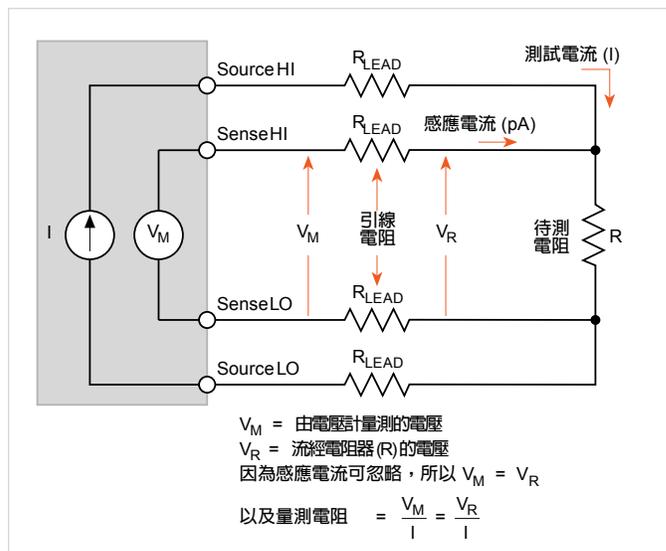


圖 4. 利用 SMU 儀器進行四線電阻量測

熱電電壓 (EMF) 和偏移補償歐姆法

偏移補償歐姆法是一項用於最小化熱電 EMF 的技術。如圖 5a 所示，輸出電流僅會在週期的一部分期間施加到量測電阻。當輸出電流導通時，儀器量測的總電壓 (圖 5b) 包括通過電阻器的電壓下降以及任何熱電 EMF。在量測週期的後半段，輸出電流設為零安培，而電錶中量測的唯一電壓 (圖 5c) 即是電路中存在的任何熱電 EMF。若 V_{EMF} 在週期的後半段準確地量測，則可從在週期前半段期間所進行的電壓量測中扣除，因此偏移補償電壓量測即為：

$$V_M = V_{M1} - V_{M2}$$

$$V_M = (V_{EMF} + I_R) - V_{EMF}$$

$$V_M = I_R$$

以及，

$$R = V_M / I$$

再次提醒，請注意，量測過程消除了熱電 EMF 項 (V_{EMF})。

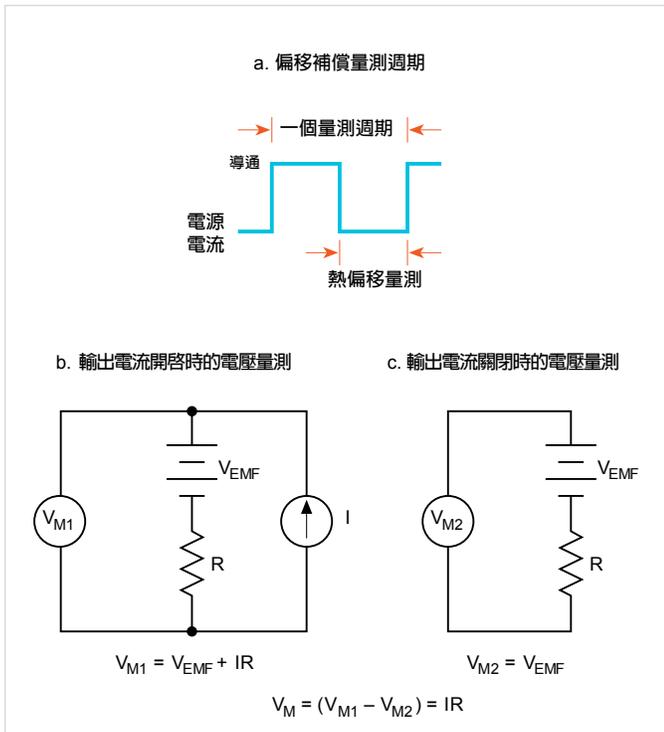


圖 5. 偏移補償歐姆法

儀器限制

即使是如 SMU 儀器等可以提供高達 7A 直流電流的硬體，也會限制其可輸出的總功率，這可能會影響可量測的電阻值。此限制是固有設備設計的功能，且通常取決於設計參數，諸如儀器本身內部的電源供應器的最大輸出、儀器中使用的離散組件的安全操作區域 (SOA)、儀器內部印刷電路板上的金屬線的間距等。這些設計參數分別會受到最大電流限制、最大電壓限制和最大功率 ($I \times V$) 等不同限制的約束。

圖 6 顯示了機型 2460 在各種工作點的最大直流電流和功率。例如，SMU 電源包絡中的最大電流為 7A (圖中 A 點)，最大電壓為 100V (D 點)。SMU 可輸出的最大功率為 D 點 ($1A \times 100V$) 的 100W。在 A 點，功率低於 49W。

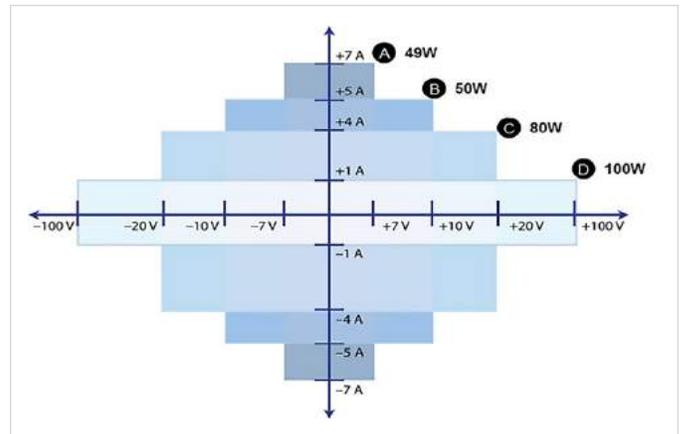


圖 6. 機型 2460 高電流 SMU 儀器功率包絡

利用 2460 SourceMeter 儀器的高電流能力量測低電阻裝置

您可以從前面板或透過遠端介面，使用 SCPI 程式碼或 TSP 程式碼進行低電阻量測，其中包括以下步驟：

- 重設儀器。
- 選擇輸出電流和量測電阻功能。
- 設定電流輸出值。
- 選擇四線 (遠端感應) 模式。這消除了引線電阻對量測準確度的影響。
- 啟用偏移補償。這減少了由熱電壓引起的偏移。
- 開啟電源輸出，並開始量測。
- 從前面板或遠端介面產生讀數。
- 關閉電源輸出。

從前面板設定量測

從前面板設定應用程式：

將機型 2460 連接至待測裝置。

1. 重設儀器：
 - a. 按下 MENU 鍵。
 - b. 在 System 下，選擇 Manage。
 - c. 選擇 System Reset。
 - d. 選擇 OK。
2. 按下 FUNCTION 鍵。
3. 在 Source Current and Measure 下，選擇 Resistance。
4. 按下 HOME 鍵。
5. 在 SOURCE CURRENT 區中，選擇 Source 旁的按鈕。選擇輸出值。
6. 按下 MENU 鍵。在 Measure 下，選擇 Settings。
7. 針對 Sense Mode，選擇 4-Wire Sense。
8. 在 Offset Comp 旁，選擇 On。
9. 按下 HOME 鍵。
10. 按下 OUTPUT ON/OFF 開關以啟用輸出並開始進行量測。
11. 按下 OUTPUT ON/OFF 開關以停用輸出並停止進行量測。

儀器會在主螢幕的量測電壓區域中顯示量測。



圖 7. 機型 2460 主螢幕前面板視圖

在前面板、TREND 滑動螢幕和完整的 GRAPH 螢幕上檢視量測。

您可透過前面板查看電阻量測結果和輸出的電流。

您可在 TREND 滑動螢幕上以時間函數查看電阻量測。若要存取此螢幕，請將主螢幕底部向右滑動。螢幕上隨即將出現類似於圖 8 中的圖形。

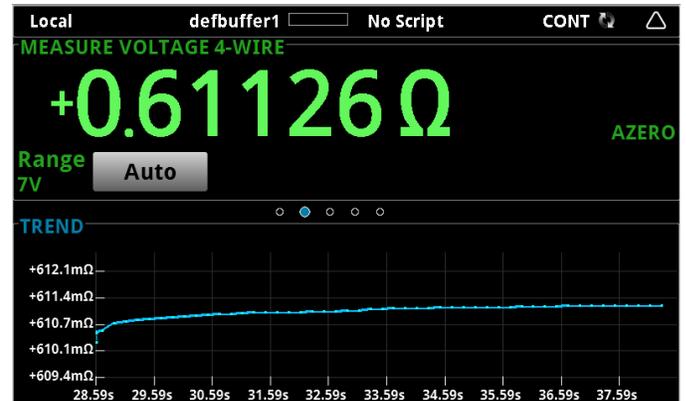


圖 8. 機型 2460 TREND 滑動螢幕

若要在全螢幕模式下查看圖形，請在 TREND 滑動螢幕上向上滑動以開啟圖形螢幕。

在前面板上查看緩衝區統計資料。

機型 2460 前面板 STATISTICS 滑動螢幕顯示各種量測統計資料，包括：

- 緩衝區名稱
- 最小、最大和平均讀數值
- 標準偏差



圖 9. 機型 2460 STATISTICS 滑動螢幕

使用 SCPI 指令設定低電阻應用。

下列 SCPI 指令序列是透過輸出電流和量測電阻來進行 100 次低電阻量測。在本範例中，輸出電流幅值和限制電壓均為自動設定。遠端指令則用於變更前面板顯示器以顯示 TREND 滑動螢幕，此螢幕允許查看螢幕頂部的數值資料和螢幕底部的圖形資料。

此程序碼可能需要進行某些變更才能在特定的程式設計環境中執行。針對此範例應用傳送下列指令：

指令	說明
*RST	重設機型 2460。
TRIG:LOAD:LOOP:SIMP 100	配置簡單循環觸發機型範本以產生 100 個讀數。
SENS:FUNC "RES"	設為量測電阻。
SENS:RES:RANG:AUTO ON	開啟自動範圍。
SENS:RES:OCOM ON	啟用偏移補償。
SENS:RES:RSEN ON	設為使用 4 線感應模式。
DISP:SCR PLOT	顯示 TREND 滑動螢幕。
OUTP ON	開啟輸出。
INIT	啟動讀數。
*WAI	等待直到完成。
TRAC:DATA? 1, 100, "defbuffer1", READ, REL	從 defbuffer1 讀取電阻和時間值。
OUTP OFF	關閉輸出。

使用 TSP 指令設定低電阻應用。

下列 TSP 程式碼是專為從 Keithley 的 Test Script Builder (TSB) 執行所設計。您可透過 Keithley Instruments 網站取得 TSB 軟體工具。安裝後，您即可使用 TSB 編寫程式碼並開發相關指令集，以用於已啟用 TSP 的儀器。如需有關如何使用此工具的資訊，請參閱 TSB 的線上說明文件和《機型 2460 參考手冊》的「TSP 操作簡介」部分。

若要使用其他程式設計環境，您可能需要修改範例 TSP 程式碼。根據預設，機型 2460 是配置為使用 SCPI 指令集。在將 TSP 指令傳送至儀器之前，請務必先選擇 TSP 指令設定。

若要啟用 TSP 指令：

1. 按下 Menu 鍵。
2. 在 System 下，選擇 Settings。
3. 針對指令集，選擇 TSP。
4. 在提示重新啟動時，請選擇 Yes。

此 TSP 指令序列是透過輸出電流和量測電阻來進行 100 次低電阻量測。在本範例中，輸出電流幅值和限制電壓均為自動設定。遠端指令則用於變更前面板顯示器以顯示 TREND 滑動螢幕，此螢幕允許查看螢幕頂部的數值資料和螢幕底部的圖形資料。執行程式碼後，資料即會顯示在 Test Script Builder 的儀器控制台內。

針對此範例應用傳送下列指令：

```
--Reset the instrument to the default settings
reset()
--Configure the Simple Loop trigger model
template to make 100 readings.
trigger.model.load("SimpleLoop", 100)
--Change the view on the front panel to the
TREND swipe screen.
display.changescreen(display.SCREEN _
PLOT _ SWIPE)
--Set to measure resistance, use 4-wire sense,
--and offset compensation.
smu.measure.func = smu.FUNC _ RESISTANCE
smu.measure.sense = smu.SENSE _ 4WIRE
smu.measure.offsetcompensation = smu.ON
--Turn on the output
smu.source.output = smu.ON
--Initiate trigger model and wait
until nished.
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Turn off output
smu.source.output = smu.OFF
--Read the resistance and time values from
defbuffer1.
print("Resistance:\tTime:")
for i = 1, 100 do
print(string.format("%f\t%f", defbuffer1[i],
defbuffer1.relativetimestamps[i]))
end
```

結論

因其四象限設計、高功率輸出，以及能夠精確地測量電流和電壓等特性，使得機型2460 SourceMeter SMU儀器成為分析高電流、低電阻裝置和組件特性的理想工具。使用單一儀器執行此類測試可有效簡化測試設定，減少程式設計時間，並節省了機架空間。

Tektronix 聯絡方式：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900
奧地利* 00800 2255 4835
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777
比利時* 00800 2255 4835
巴西 +55 (11) 3759 7627
加拿大 1 (800) 833 9200
中東歐、烏克蘭及波羅的海諸國 +41 52 675 3777
中歐與希臘 +41 52 675 3777
丹麥 +45 80 88 1401
芬蘭 +41 52 675 3777
法國* 00800 2255 4835
德國* 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
印度 000 800 650 1835
義大利* 00800 2255 4835
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 52 (55) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777
荷蘭* 00800 2255 4835
挪威 800 16098
中國 400 820 5835
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
南韓 001 800 8255 2835
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
南非 +27 11 206 8360
西班牙* 00800 2255 4835
瑞典* 00800 2255 4835
瑞士* 00800 2255 4835
台灣 886 (2) 2656-6688
英國與愛爾蘭*00800 2255 4835
美國 1 800 833 9200

* 歐洲免付費電話，若沒接通，請撥：+41 52 675 3777

最後更新日 2013 年 6 月

若需進一步資訊，Tektronix 維護完善的一套應用指南、技術簡介和其他資源，並不斷擴大，幫助工程師處理尖端技術。請造訪 www.tektronix.com.tw



Copyright © Tektronix, Inc. 版權所有。Tektronix 產品受到已經簽發及正在申請的美國和國外專利的保護。本文中的資訊代替以前出版的所有資料。技術規格和價格如有變更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc 的註冊商標。本文提到的所有其他商標均為各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

2016 年 10 月

1KT-60883-0

KEITHLEY
A Tektronix Company

Tektronix

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 台北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-8558

太克網站：www.tektronix.com.tw