

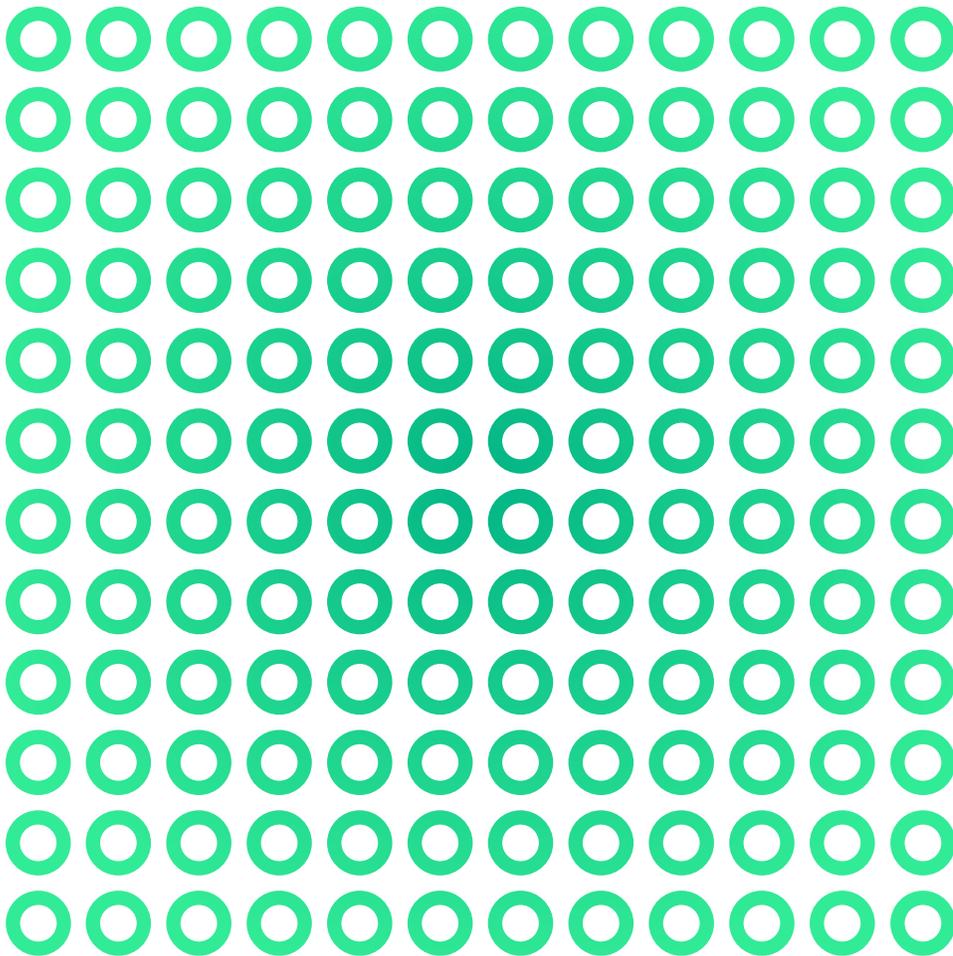


NI is now part of Emerson.



EMERSON™

大幅提升 DC 量測效能的實用指南





目錄

- 03** 簡介
- 03** SMU 基本原理
 - SMU 的運作原理
- 06** 準確度
 - 準確度和速度
 - 脈衝
- 10** DC 量測的最佳實務
 - 使用遠端感測抵銷導線電阻的影響
 - 補償偏移電壓
 - 盡可能減少外部雜訊
 - 防止電流洩漏
 - 了解校準的重要性
- 19** 結論

簡介

精確的 DC 量測作業為許多應用的共通需求之一，想要做到這點，光是購買高準確度與高靈敏度的儀器是不夠的。許多不同的誤差來源，都會影響讀取值的準確度。此外，只要稍微調整儀器設定，結果就會大不相同。若要達到最高準確度，勢必要在利用各種方式克服誤差來源時，透徹地了解儀器。

本指南將說明如何使用電源量測單元 (SMU) 執行 DC 量測。首先，我們將著手了解儀器的基本原理、SMU 的使用方式，以及有助於設定儀器的功能。接著，則會說明可套用至測試設定的關鍵最佳實務，藉此減少 DC 量測期間發生的各種誤差。本指南旨在透過常見的量測情境說明最佳實務，以協助您掌握有效應用相關概念的時機與情況。

SMU 基本原理

SMU 為精確的電源供應儀器，可提供電壓源極與量測，以及電流源極與量測等功能。只要控制電壓與電流，即可透過歐姆定律靈活計算電阻與功率。這些儀器提供 4 象限輸出，能整合雙極電壓與電源汲極功能。由於兼具上述各項功能，了解如何使用 SMU 執行所需的量測作業也顯得極具挑戰性。

SMU 的運作原理

SMU 的主要功能之一，在於具備 4 象限輸出的靈活性 (圖 1)。輸出可提供正電壓與正電流、負電壓與正電流、負電壓與負電流，或正電壓與負電流。

SMU 會在象限一與象限三中化身源極功率，並在象限二與四中化身汲極功率。源極功率代表激發電路的功率，而汲極功率則代表由外部主動式元件 (例如電壓調節器的輸出) 套用的溢散功率。圖 1 顯示的 IV 邊界為實際儀器 IV 邊界的簡化版本。實際的 SMU 會延伸脈衝模式的 IV 邊界 (請參閱脈衝部分)。

多數 SMU 可在穩定電壓模式或穩定電流模式下運作。在穩定電壓模式中，SMU 是電壓來源，在電流輸出變化時，確保端點電壓能保持穩定。在此模式中，您可以設定電流限制，以確保 SMU 不會將過多電流驅動至受測裝置 (DUT)。舉例來說，如果 SMU 連接至 20 kΩ 負載，並且將電流限制設為 1.5 mA，則不需達到電流限制，即可掃描 0 V ~ 20 V 的電壓，如圖 2 所示。

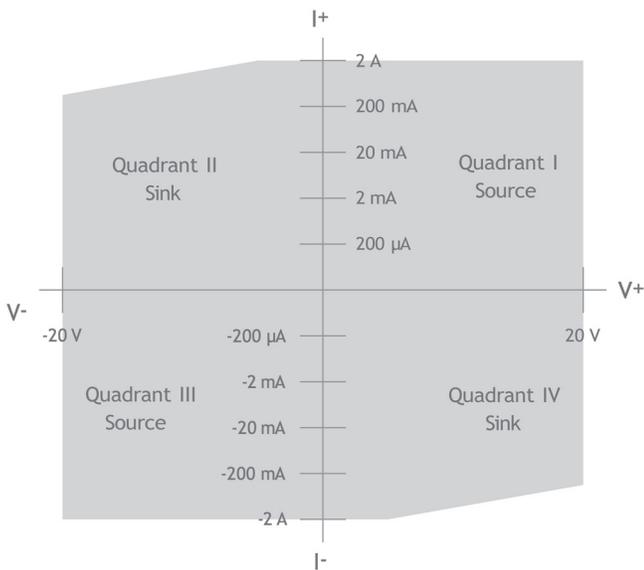


圖 1
簡化的 SMU IV 作業邊界

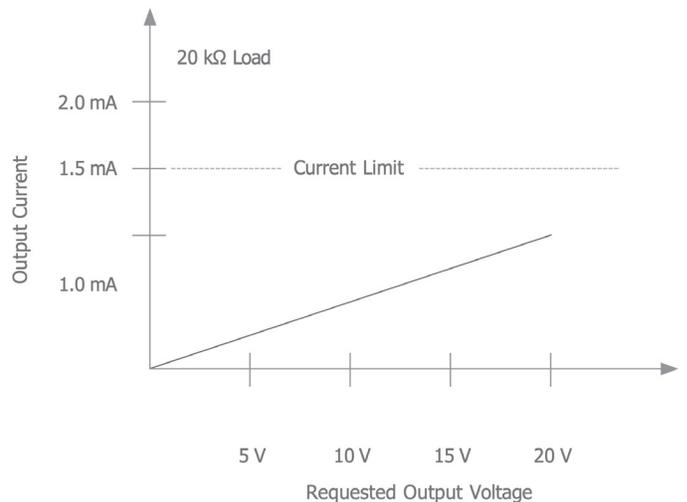


圖 2
使用穩定電壓模式運作，並將 20 kΩ 負載之電流限制設為 1.5 mA 時的 SMU 輸出

不過，若負載為 10 kΩ，您將無法在不違反電流限制的情況下，掃描 0 V ~ 20 V 的電壓。您可以使用歐姆定律，以計算 SMU 會於何時達到 1.5 mA 的電流限制。

$$V = IR$$

$$V = 1.5 \text{ mA} * 10 \text{ k}\Omega$$

$$V = 15 \text{ V}$$

這些計算結果顯示，當電壓輸出達到 15 V 時，SMU 將達到 1.5 mA 的電流限制。達到電流限制時，該通道將符合規範。若通道因達到所設定的限制，而無法達到所要求的輸出準位，即表示通道符合規範。SMU 依規範運作時，即使所要求的輸出電壓大於 15 V，實際輸出電壓將不會超過 15 V。這個概念會如圖 3 所示。此功能可確保 SMU 不會因供應過高的功率，而損壞 DUT。

當 SMU 處於穩定電流模式時，也會應用類似的原理。SMU 可做為電流來源，並在電壓發生變化時，讓輸出端點的電流保持穩定。在此情況下，您可以設定電壓限制，一旦通道達到該限制，就會符合規範。

了解 SMU 在穩定電壓與穩定電流模式下的運作方式後，您可以將此知識運用在常見的量測情境中。舉例來說，若嘗試透過 SMU 量測電壓，可將裝置設為電流模式，並將電流準位設為 0，同時盡可能使用最低電流範圍。這樣一來，SMU 即可感測其端點上的電壓，同時讓最小量的電流流經模組，如此一來，SMU 就能有效做為高阻抗負載。同樣地，若要透過 SMU 量測電流，則應將裝置設為電壓模式，並供應零伏特，同時盡可能使用最低電壓範圍，如此一來，SMU 會能有效做為短路。此舉可讓您比照電壓計或電流計的使用方式來使用 SMU。

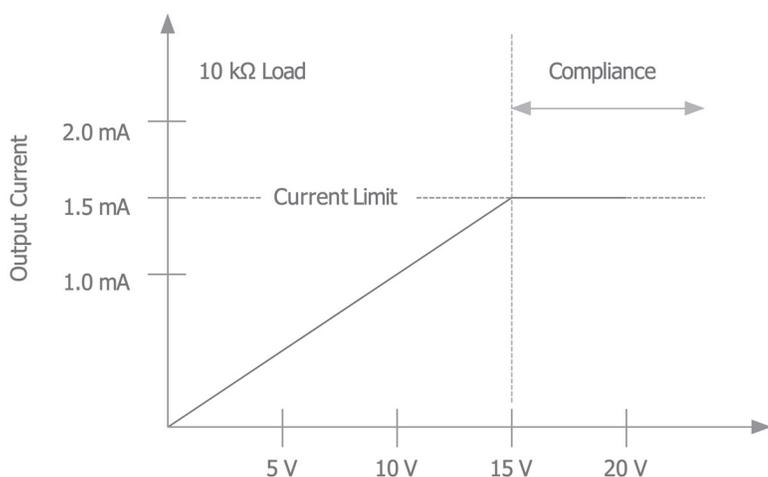


圖 3
以穩定電壓運作時的 SMU 輸出顯示不符合規範的 10 kΩ 負載運作

SMU 做為電壓計：

- SMU 處於 DC 電流模式
- 設為最低電流範圍
- 源極 0 A

SMU 做為電流計：

- SMU 處於 DC 電壓模式
- 設為最低電壓範圍
- 源極 0 V

準確度

SMU 與電源供應器之間的主要差異，在於兩者所能達到的準確度。若要充分發揮 SMU 的效能，請務必詳加了解準確度規格及其意義。多數 SMU 在描述準確度時，都會將偏移誤差與增益誤差予以結合。偏移誤差代表單點在實際輸出與理想輸出之間的差異，增益誤差則是指實際轉換函式與理想轉換函式之間的斜率差異。將這兩項誤差加總，即可判斷特定量測作業的整體準確度規格。NI SMU 通常會使用絕對單位 (mV 或 μA) 指出偏移誤差，並使用讀取值或所需值的百分比指出增益誤差。原因在於，無論嘗試輸出何種值，偏移誤差都會產生相同的影響。不過，由於增益誤差代表斜率差異，因此，輸出值增加時，誤差幅度也會隨之增加。

舉例來說，若要使用 NI PXIe-4139 SMU 的規格來量測 5 mA 電流的準確度計算。進行這項量測作業時，應使用 SMU 的 10 mA 量測範圍。根據 PXIe-4139 規格，在 10 mA 範圍下，SMU 準確度為讀取值的 0.022% + 200 nA。在這個準確度規格中，0.022% 代表增益誤差，200 nA 則代表偏移誤差。只要將兩者相加，即可得到完整的準確度規格。

$$\begin{aligned} \text{準確度} &= \text{增益誤差} + \text{偏移誤差} \\ \text{準確度} &= (0.022\% * 5 \text{ mA}) + 200 \text{ nA} = 1.3 \mu\text{A} \end{aligned}$$

插入電流讀取值後，即可看到準確度為 1.3 μA ，這也表示，5 mA 的讀取值應該在實際電流的 $\pm 1.3 \mu\text{A}$ 以內。

儀器溫度為影響儀器準確度的主要因素之一。只有在機板溫度與上一次自我校準完成時的機板溫度相差 1 °C 以內時，上述範例計算所使用的準確度規格才會有效。舉例來說，若執行自我校準時，機板溫度為 25 °C，只有在目前的機板溫度介於 24 °C ~ 26 °C 之間時，準確度規格才會有效。

當機板溫度低於自我校準溫度的 5 °C 時，增益與偏移誤差都會增加，而準確度規格將變成 (讀取值的 0.03%) + 600 nA。您可以使用新的規格重新計算 5 mA 量測的準確度：

$$\text{準確度} = (0.03\% * 5 \text{ mA}) + 600 \text{ nA} = 2.1 \mu\text{A}$$

插入電流讀取值後，即可看到準確度為 1.3 μA ，這也表示，5 mA 的讀取值應該在實際電流的 $\pm 1.3 \mu\text{A}$ 以內。

此一細微溫度差異會將儀器準確度降低 0.8 μA 。進行低準位電流或電壓量測時，應定期執行自我校準，以修正溫度造成的影響 (請參閱[校準](#)章節)。

準確度和速度

您可以使用孔徑時間來判斷 SMU 的量測速度。孔徑時間代表類比數位轉換器 (ADC) 讀取 SMU 電壓或電流的時間。在圖 4 中，孔徑時間可判斷量測期間的持續時間。只要變更儀器的孔徑時間，即可靈活延長高精確度量測作業的擷取時間，或縮短高速擷取作業的時間。延伸量測孔徑，可讓儀器有更多時間進行取樣與平均，進而降低量測雜訊。

SMU 規格提供了孔徑時間如何影響量測雜訊的量化資料。圖 5 顯示了 PXIe-4139 SMU 孔徑時間與量測雜訊圖表。如您所見，隨著孔徑時間增加，雜訊等級會大幅降低。此外，電壓範圍越高，雜訊等級也隨之提高。若您的應用需要進行低電壓或低電流量測，則應將儀器設定為盡可能使用最低量測範圍。

圖 6 顯示 PXIe-4139 SMU 在三種不同孔徑設定下使用 60 V 範圍的實際雜訊效能。在圖表的第一部分中，孔徑時間設為 100 μ s。如您所見，孔徑時間較短時，雜訊也比較高。在第二部分中，孔徑時間設為 1 ms，因而大幅降低了讀取值的雜訊。在最後一個部分中，孔徑時間設為 16.7 ms，也就是一個電源線週期。在此設定下，雜訊相當輕微，而且幾乎看不到。

常見的最佳實務，是將孔徑時間設為電源線週期的整數倍。在電網頻率為 60 Hz 的國家/地區中，一個電源線週期等於 16.67 ms，但在電網頻率為 50 Hz 的國家/地區中，一個電源線週期則等於 20 ms。透過多個電源線週期進行取樣時，DC 量測作業會將 60 Hz 或 50 Hz 的雜訊予以平均。



圖 4
SMU 孔徑時間與取樣訊號的關係圖

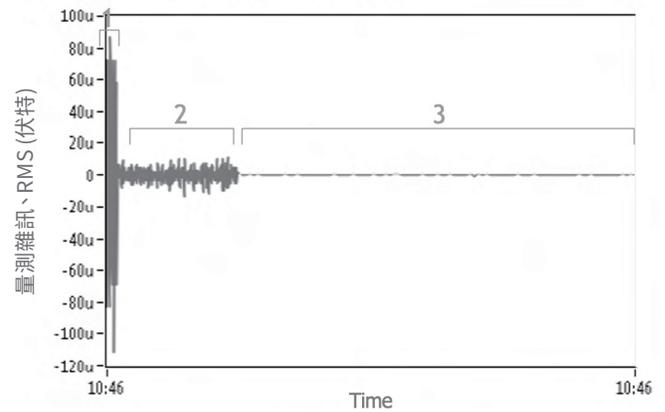


圖 5
電壓量測雜訊與量測孔徑

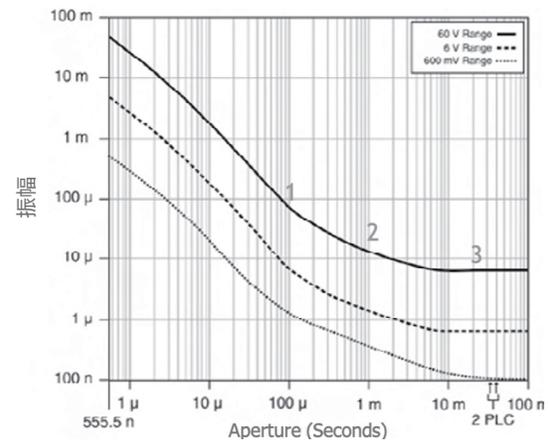


圖 6
時間

就許多應用而言，使用者必須將測試時間最佳化，也就是盡可能縮短孔徑時間。不過，低孔徑時間可能會為量測作業帶來額外的雜訊，並限制讀取值的準確度。另一方面，如果要檢驗負載的暫態響應，且準確度並非主要考量，則可透過 SMU 使用較短的孔徑時間，以便將訊號數位化。舉例來說，PXIe-4139 SMU 的取樣率最高可達 1.8 MS/s。如此即可觀察訊號的詳細暫態特性。開發應用時，請務必注意速度與準確度之間的取捨。

脈衝

脈衝為許多 SMU 的另一項實用功能。使用脈衝，即可在短時間內超出儀器所能提供的最大功率準位。正因如此，使用脈衝模式與 DC 模式時，SMU 的 IV 邊界會有所不同 (請參閱圖 7 以取得更詳細的 IV 邊界圖表)。



圖 7 使用脈衝的 SMU IV 邊界範例

可產生脈衝的 SMU 具有獨特的輸出架構，能提供高於額定 DC 邊界的功率。當中配備了內建電容器，會在裝置未供電時帶電。裝置輸出脈衝時，電容器將放電，以提供超過標準規格的功率。由於這些 SMU 暫時輸出的功率會超過從電源供應器所汲取的功率，因此，該功率下的輸出速度與時間都會受到限制。關鍵脈衝規格的限制，可確保 SMU 能穩定輸出所需的功率，不會因吸入過多功率而發生過熱。這些規格會包含工作週期、最大功率、最大脈衝開啟時間、最小脈衝開啟時間與最小脈衝週期。

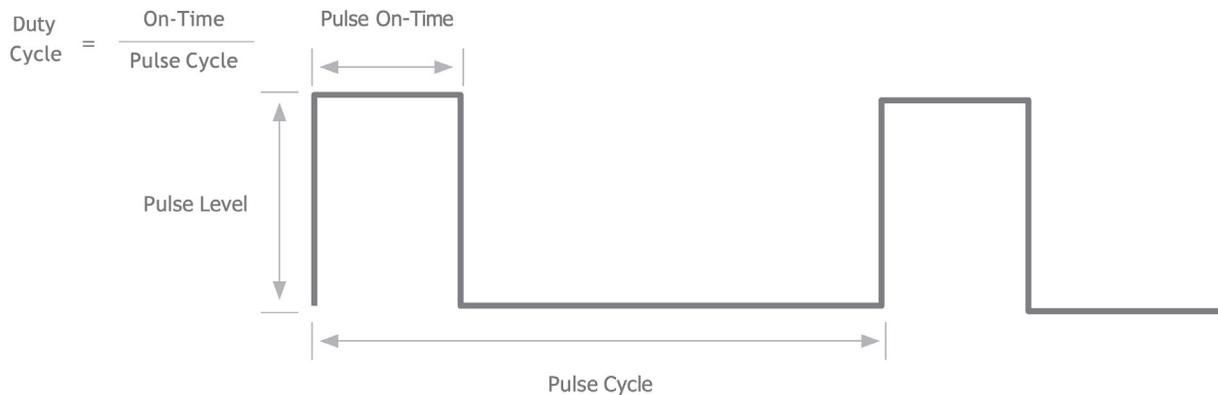


圖 8 SMU 的關鍵脈衝規格

脈衝通常會用來限制在高功率測試期間，DUT 必須發散的熱能。若將穩定的高功率 DC 訊號提供給 DUT，則 DUT 的溫度將會上升，而此溫度變化也會影響 DUT 的電子與物理屬性。如果溫度變化過大，就會對量測造成影響，甚至損壞 DUT。不過，使用脈衝功率，即可降低 DUT 的平均功率發散，並將自體發熱的影響層面降至最低。

SMU 的暫態響應為使用脈衝模式的另一項考量。在脈衝模式中進行測試時，脈寬必須夠長，才能讓儀器穩定進行量測，但也要夠短，才能將 DUT 的自體發熱降到最低。若要達到此一境界，您必須確保暫態響應已達臨界阻尼。如果出現如圖 9 所示的欠阻尼響應，輸出將發生過衝或變得不穩定，因而無法提供良好的量測結果，甚至還有可能損壞 DUT。如果出現圖 10 所示的過阻尼響應，脈衝就無法以夠快的速度達到所需的輸出準位。響應達臨界阻尼時 (如圖 11 所示)，訊號就會迅速趨穩，讓使用者有時間量測脈衝。為了確保 SMU 能產生乾淨的脈衝，使用者必須使用取樣速度夠快的儀器，才能將暫態響應數位化。有些 SMU (例如 PXle-4139) 配備這項功能，不過，如果您的 SMU 缺乏這項功能，您就需要使用示波器。

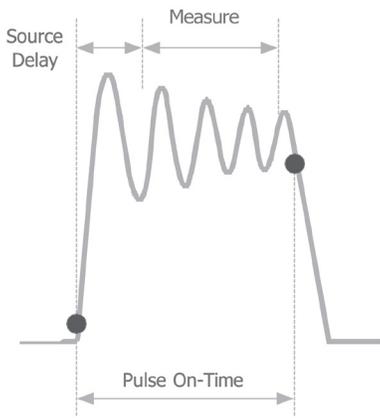


圖 9
欠阻尼暫態響應

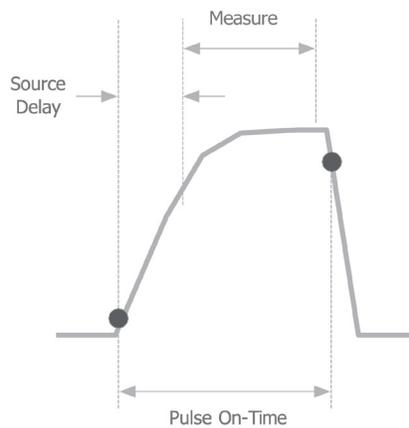


圖 10
過阻尼暫態響應

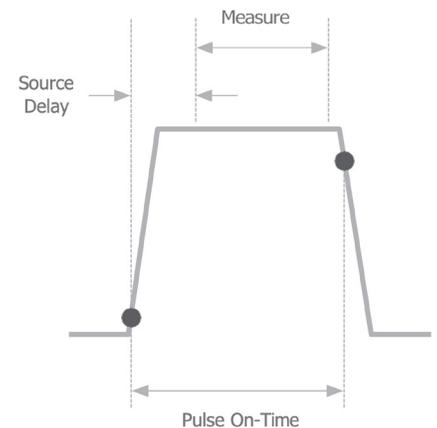


圖 11
臨界阻尼暫態響應

DC 量測的最佳實務

除了 SMU 儀器本身之外，測試設定也是影響量測作業的關鍵要素之一。儀器無法彌補訊號品質不佳的問題。若要進行高精確度的 DC 量測，就需具備高準確度的訊號。如果重要訊號包含大量雜訊，就算使用高品質儀器，也無法進行準確的量測。許多不同的雜訊與誤差來源，都會對訊號造成影響，而本技術文件將提供多種方法，以協助您解決這些問題。由於不同類型的量測作業，都有可能導致不同類型的誤差，因此，使用者也需了解應用每個方法的時機與途徑。本章節所探討的方法，適用於各種儀器 (不限於 SMU) 的 DC 量測作業。不過，由於本指南的重點在於 SMU，因此，許多範例都會以 SMU 為主。結合本章節的最佳實務與上一節的儀器資訊，即可全面了解如何進行高準確度 DC 量測。

使用遠端感測抵銷導線電阻的影響

遠端感測可移除導線電阻對量測作業的影響。在標準的 2 線式設定中，如果將電源供應器設為 5 V 供電，則 DUT 的電壓會略低於 5 V，因為導線電阻會造成電壓電位下降。舉例來說，3 公尺長的 24 AWG 銅線，其電阻約為 0.25Ω 。若從 SMU 供應 5 V 與 1 A 電源，則該接線的電壓電位將下降 0.25 V。遠端感測可消弭此一影響，以確保 DUT 可確實收到 5 V。

遠端感測會使用 4 線式設定，其中包含一組高阻抗感測通道。在遠端感測期間，一組導線將乘載輸出電流，而另一組導線會直接量測 DUT 端點的電壓。在圖 12 中，HI 與 LO 通道會傳輸輸出電流，而感測 HI 與感測 LO 通道則會直接量測 DUT 端點的電壓。大量的電流流經輸出導線時，會造成較大的電壓壓降穿過導線，但高阻抗感測通道只有極少量的電流流過這些導線電阻，所以電壓壓降可忽略不計。透過感測通道與 SMU，即可提高輸出電壓，以補償導線電阻所造成的電壓壓降，從而保持感測導線所要求的輸出電壓。這表示，您提供給 DUT 的電壓，將更接近您實際定義的電壓。

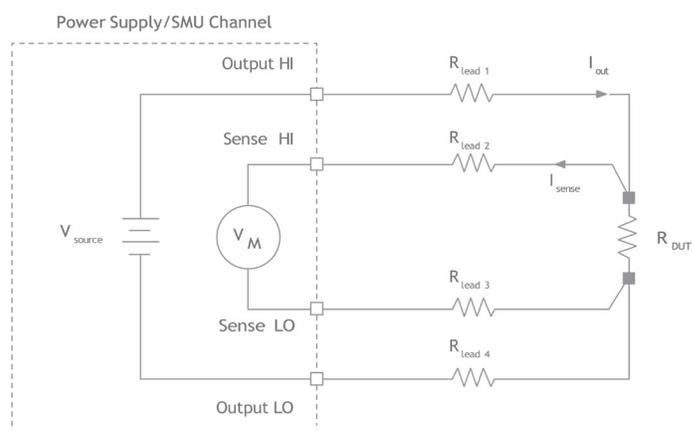


圖 12
4 線式遠端感測量測設定

具備遠端感測功能的裝置，將針對使用遠端感測時的準確度計算方式來提供額外的規格。為了進一步了解如何計算此準確度，請參考下方使用 PXIe-4139 SMU 規格的範例。在此範例中，您將使用 SMU 的 600 mV 範圍，計算 500 mV 輸出的遠端感測準確度。表 1 顯示了其他設定屬性。

使用 600 mV 範圍時，SMU 的準確度為 0.016% + 30 μV。

HI 路徑導線壓降	3 V
HI 感測導線電阻	2 Ω
LO 路徑導線壓降	2.5 V
LO 感測導線電阻	1.5 Ω

表 1
遠端感測量測設定的屬性

此儀器的遠端感測電壓準確度規格指出：

「根據電壓準確度規格，每發生 1 伏特的 HI 導線壓降，就加入 (3 ppm 的電壓範圍 + 11 μV)，對應感測導線電阻每 1 Ω 發生 1 伏特導線壓降時，即增加 1 μV。」

遠端感測準確度的計算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{準確度} &= (\text{SMU 準確度、範圍} = 600 \text{ mV}) + \text{導線電壓壓降造成的誤差} + \\ &\quad \text{導線電阻壓降造成的誤差} \\ \text{準確度} &= (500 \text{ mV} * 0.016\% + 30 \text{ } \mu\text{V}) + \frac{600 \text{ mV} * 3 \text{ ppm} + 11 \text{ } \mu\text{V}}{1 \text{ V 的導線壓降}} * 3 \text{ V} + \frac{1 \text{ } \mu\text{V}}{\text{V} * \Omega} * 3 \text{ V} * 2 \text{ } \Omega + \frac{1 \text{ } \mu\text{V}}{\text{V} * \Omega} * 2.5 \text{ V} * 1.5 \text{ } \Omega \\ \text{準確度} &= (80 \text{ } \mu\text{V} + 30 \text{ } \mu\text{V}) + 12.8 \text{ } \mu\text{V} * 3 + 6 \text{ } \mu\text{V} + 3.8 \text{ } \mu\text{V} \\ \text{準確度} &= 158.2 \text{ } \mu\text{V} \end{aligned}$$

這表示，實際輸出會在 500 mV 的 158.2 μV 以內。在先前的計算中，括號中的部分代表使用 600 mV 範圍時 SMU 的準確度。公式的其他部分，則代表遠端感測電壓的準確度規格。

使用遠端感測時，應將感測通道盡可能連接至靠近 DUT 的位置。如此一來，感測通道就能準確讀取 DUT 的電壓。不過，有時您無法直接將感測通道連接至 DUT，例如，如果 DUT 位於無法直接探測的機板區域中。在此情況下，遠端感測連線所提供的電壓將為準確電壓，但遠端感測連接點與實際 DUT 之間的額外電阻，將造成電壓壓降。為了確保 DUT 可取得準確的電壓準位，您可以使用部分 SMU 來設定負輸出電阻。若要消除不想要的電壓壓降，則可將負輸出電阻設定為等於遠端感測連線與 DUT 之間的路徑電阻。這樣一來，就算遠端感測通道無法直接連至 DUT，您的儀器也能提供準確的電壓給 DUT。

遠端感測特別適用於低電阻量測。SMU 與多功能數位電錶 (DMM) 都可供應電流並量測電壓，藉此計算電阻，從而進行電阻量測。進行低於 100 kΩ 的精確電阻量測時，則必須使用 4 線式遠端感測設定 (而非 2 線式設定)，以將導線電阻的影響降至

最低。先前，您已了解使用 2 線式方法時，導線電阻如何影響電壓量測。由於您會根據電壓量測來計算電阻量測，因此，不準確的電壓讀取值將衍生不準確的電阻讀取值。透過 4 線式方法，即可消弭導線電阻的影響，以進行更精確的量測。

表 2 顯示了遠端感測對量測作業的影響。這是使用數位電錶來透過切換器量測電阻，所產生的資料。切換器的導線電阻會為量測附加 0.522Ω，也就是造成 5.24% 的誤差。使用遠端感測功能時，應避免導線電阻造成的誤差，並取得更準確的讀取值。

使用遠端感測時，請務必留意自身儀器的限制。SMU 與數位電錶都設有所能管理的最大電壓壓降準位。舉例來說，PXIe-4139 可針對每條導線提供高達 3 V 的導線壓降補償。這表示，此裝置可補償 HI 端的 3 V 壓降，以及 LO 端的 3 V 壓降。一旦達到此限制，儀器將無法完全補償導線電阻。未進行補償的導線電阻，將降低量測的準確度。

使用遠端感測補償導線電阻

實際電阻	無遠端感測的量測	透過遠端感測量測
9.958 Ω	10.48 Ω	9.958 Ω

表 2

遠端感測對量測造成的影響

補償偏移電壓

針對低電壓量測作業，您需要消弭偏移電壓造成的影響。熱能 EMF 為偏移電壓的常見來源之一。在熱能 EMF 中，由於不同金屬的導線之間會形成熱電偶，因而在電路中造成電壓誤差。舉例來說，如果您的設定是將切換器與 SMU 配對，以進行量測，由於訊號路徑中存在不同的接點，切換器就會成為熱能 EMF 的誤差來源。切換器規格通常會包含熱能 EMF。NI PXI-2530 矩陣切換器會使用簧片繼電器，並具備 $<50 \mu\text{V}$ 的熱能 EMF。若量測為毫伏或更低則切換器的熱能 EMF，將造成嚴重誤差。

偏移補償為抵銷熱能 EMF 影響的方法之一。若要以 SMU 實作偏移補償，就必須設定裝置，以進行兩次量測。圖 13 說明了這些量測。

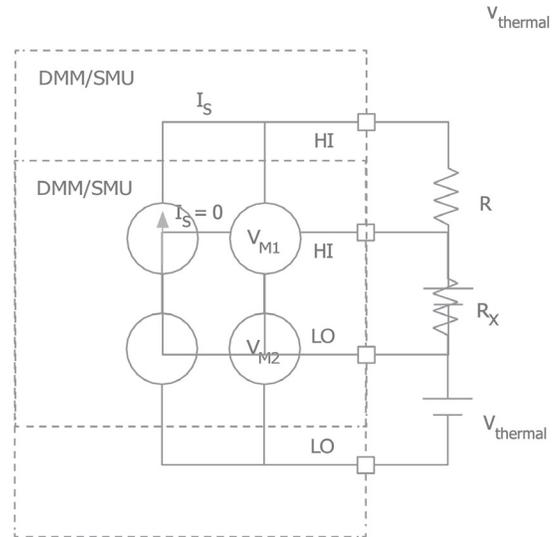


圖 13
偏移補償量測週期

在第一個量測週期中，SMU 電流來源已開啟，而電壓量測包含熱能 EMF。在第二個量測週期中，SMU 電流來源已關閉，表示僅能量測熱能 EMF 所產生的電壓。現在，您可以從第一個量測值中減去第二個量測值，以獲得不含熱能 EMF 影響的精確量測值。

下列公式將說明計算方式。在此公式中， V_{OC} 代表套用偏移補償後的電壓。 V_{M1} 為電流來源開啟時的電壓量測結果， V_{M2} 為電流來源關閉時的電壓量測結果。 I_S 代表來自 SMU 電流來源的電流， R_X 代表負載電阻。最後， $V_{thermal}$ 代表由熱能 EMF 所造成的偏移電壓。

$$V_{OC} = V_{M1} - V_{M2} = (I_S R_X + V_{thermal}) - V_{thermal} = I_S R_X$$

兩次量測均包含熱能 EMF 偏移量 $V_{thermal}$ 。由於兩次量測均產生偏移電壓，因此，可將第一次量測減去第二次量測，即可消除此偏移。

另一種消除偏移電壓的方法，則為電流反向方法。如同偏移補償方法，電流反向方法也需進行兩次量測。您需要以正電流進行第一次量測，並以負電流進行第二次量測。下一個公式就是這些量測結果的數學表示方式。

$$V_{M1} = I_S R_X + V_{thermal}$$

$$V_{M2} = -I_S R_X + V_{thermal}$$

同樣，由於兩次量測均包含 V_{thermal} ，因此可將兩次量測整合，以消除此偏移。

$$V_{\text{CR}} = \frac{V_{M1} - V_{M2}}{2} = \frac{(I_S R_X + V_{\text{thermal}}) - (-I_S R_X + V_{\text{thermal}})}{2} = I_S R_X$$

電流反向方法的優點之一，在於量測準確度高於偏移補償方法。原因在於，最後的量測結果會將兩次量測予以平均。此方法的缺點，就是裝置必須要能供應正負電流，而偏移補償方法僅需供應正電流。

盡可能減少外部雜訊

進行敏感量測時，必須考慮到雜訊對讀取值的影響。雜訊可能有多種來源，例如電磁干擾或寄生電容。電磁干擾涵蓋頻譜中各種頻率的干擾。舉凡電視、AM/FM 無線電與電源線，都有可能成為電磁干擾的來源。當帶電物體靠近量測電路時，就會發生寄生電容。當 2 個不同電壓的電導體彼此靠近時，兩者之間的電場將導致其儲存所產生的電荷。這可能會顯示為量測的震盪雜訊或偏移。透過抗雜訊層，即可降低電場的影響，並將量測誤差降至最低。

抗雜訊會透過傳導性材質製成的屏障阻擋電磁場，藉此減少空間中的電磁場。就實務而言，您應將抗雜訊套用至整個量測電路，因此需要同時防護 DUT 與連接 DUT 的連接線。常見的 Faraday 機架與抗雜訊連接線可搭配導線一起使用，以防護 DUT 周圍的區域。同軸連接線為常見的抗雜訊連接線。其核心會包覆在絕緣層中，而絕緣層也會受抗雜訊層包覆。外部抗雜訊層可保護內部核心，使其不受電子雜訊影響 (如圖 14 所示)。如您所見，抗雜訊層已連接至儀器的 LO 端點。正因如此，任何由抗雜訊層吸收的電磁波干擾或寄生電容，都會流向接地，而非儀器的 HI 端點。只要在接線上新增抗雜訊層，即可解決 HI 與 LO 端點之間的寄生電容 (請參閱[防止電流洩漏](#)章節)。若儀器的 LO 端點在地面上懸空，則應於測試設備周圍新增機架，以防操作人員意外觸碰抗雜訊層。

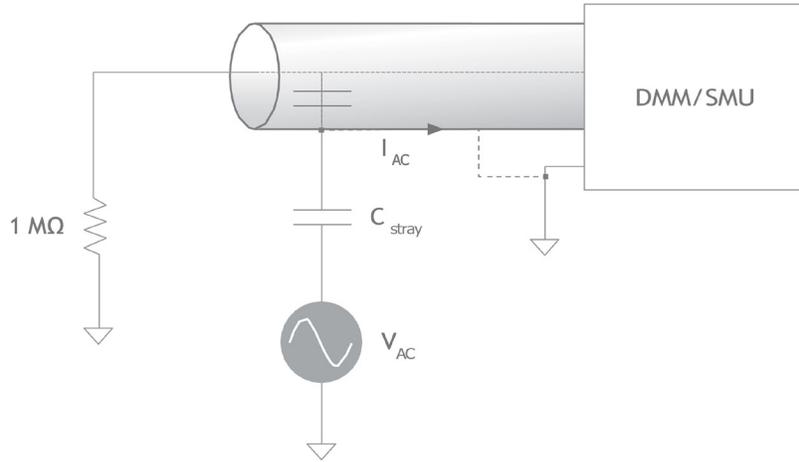


圖 14 電路圖說明了如何透過導電材質製成的屏障阻擋電磁場，以減少空間中的電磁場。

抗雜訊功能特別適合用於高阻抗量測。如圖 14 所示， I_{AC} 為雜訊來源 V_{AC} 所產生的感應電流。如果不使用抗雜訊層，量測電路就會產生感應電流。若進行高電阻量測，則感應電流的影響將進一步擴大。根據歐姆定律，若電阻較高，則 I_{AC} 將於量測作業中造成較大的電壓誤差。因此，在搭配使用高電阻 DUT 時，抗雜訊也相當重要。

使用抗雜訊連接線將 DUT 連接至儀器時，應將抗雜訊層連接至儀器接地或 DUT 接地，但絕對不能同時連接兩者。這是為了避免在量測設定中產生接地迴路。當系統具有兩個接地參考點，但處於不同的電壓電位時，就會出現接地迴路。這樣一來，電流就會在兩個接地參考之間流動，進而影響量測作業。若 DUT 已接地，且連接線的抗雜訊層同時連接至 DUT 接地與儀器接地，即有可能形成接地迴路。只要在一端連接抗雜訊層，就可避免這個潛在問題。

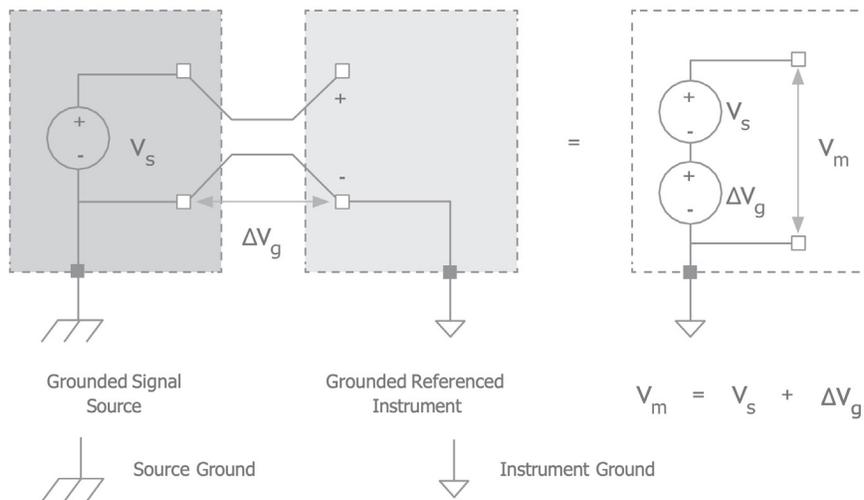


圖 15 使用接地參考系統量測的接地訊號來源，會造成接地迴路和量測誤差。

另一個潛在的外部雜訊來源，就是磁場。磁場在電路中產生的電壓量，會與電路包圍的面積成正比。如果量測導線會在電路中形成大型迴圈，則設定會更容易受磁場感應雜訊影響。簡單且普遍的解決方案，就是改用雙絞線。使用雙絞線連接線時，導線會絞合在一起，如此即可減少電路所佔用的區域，並降低安裝作業受到的磁場雜訊影響。您可以在雙絞線周圍加入抗雜訊層，以避免導線受外部電磁雜訊影響。

防止電流洩漏

雖然抗雜訊功能可避免外部電磁干擾影響量測作業，但防護功能則能避免外接電流與量測電路之間的寄生電容。若使用無防護功能的連接線 (例如同軸連接線)，由於其絕緣層與負載平行，將造成 HI 與 LO 端點之間的電流洩漏。在圖 16 中， I_L 代表 HI 與 LO 之間的電流洩漏。這表示，SMU 裝置所量測的電流，為負載電流 I_{Load} 與洩漏電流 I_L 的總和。

進行低與超低電流量測時，防護功能更是格外重要。為了說明其重要性，我們將計算當使用同軸連接線供應 50 V 時，電流洩漏對量測的影響程度。在同軸連接線中，絕緣層會將內部核心與外部抗雜訊層區隔開來。在理想狀態下，絕緣層會具備無限大的電阻，但實際上，電阻卻是有限的。每條同軸連接線的絕緣電阻各有不同，不過，讓我們假設特定連接線的電阻為 100 GΩ。您可以計算通過絕緣的電流洩漏。

$$I_L = \frac{50 \text{ V}}{100 \text{ G}\Omega} = 0.5 \text{ nA}$$

根據上述計算結果，若應用需要毫微微安培的量測，便無法使用同軸連接線。此外，隨著電壓準位增加，洩漏的電流量也會增加。

若要進行這些低準位的電流量測，您應使用三軸連接線。圖 18 為三軸連接線的圖例。三軸連接線會在連接線的核心與抗雜訊之間配備額外的傳導護套，也就是所謂的防護層。

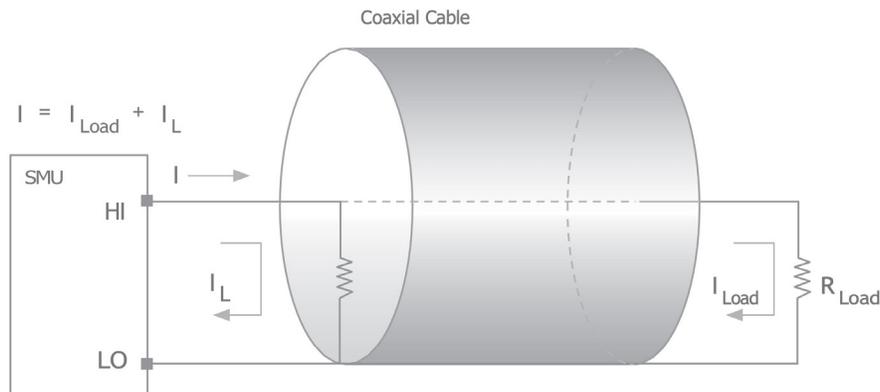


圖 16
同軸連接線的電流洩漏

此中間層會連接至 SMU 的防護端點。SMU 上的防護端點會由單位增益緩衝負責驅動，此緩衝會追蹤 HI 端點的電壓。單位增益緩衝為負反饋運算放大器 (如圖 17)，其中運算放大器的輸出 V_{out} 會連接至自身的負輸入端點。當您將運算放大器的正輸入端點 (V_{in}) 連接至 SMU 的 HI 端點時，運算放大器的輸出電壓就會與 SMU 的 HI 端點電壓相符。

由於三軸連接線的防護層已連接至單位增益緩衝區，防護層與 HI 端點具有相同的電壓電位，且 HI 端點與防護端點之間的電壓降為 0 V (如圖 18 所示)。

在沒有電壓電位差的情況下，HI 與防護層之間將不會發生電流洩漏。有些電流洩漏 I_{Guard} 仍會從防護輸出流至 LO，不過，由於電流是由單位增益緩衝 (而非 HI) 所供應，因此，此一洩漏情況將不會影響輸出或量測。整體而言，三軸式連接線可降低電流洩漏的影響，並進行更精確的電流量測。

使用防護也可降低 SMU HI 與 LO 端點之間的寄生電容。位於不同電壓電位的兩組電導體彼此靠近時，兩者之間的電場將導致其儲存所產生的電荷。此一現象就是所謂的寄生電容。就同軸纜線而言，由於內部核心 (HI) 會靠近外部抗雜訊層 (LO)，兩者將產生寄生電容。由於 HI 與 LO 之間的電壓電位差異較大，因此，電容需要等候更長的時間才能帶電，也就是訊號需要更長的時間來趨穩。使用防護功能時，由於 HI 與防護之間的電壓電位相同，因此不會廣泛地帶電。如此可縮短訊號的趨穩時間。

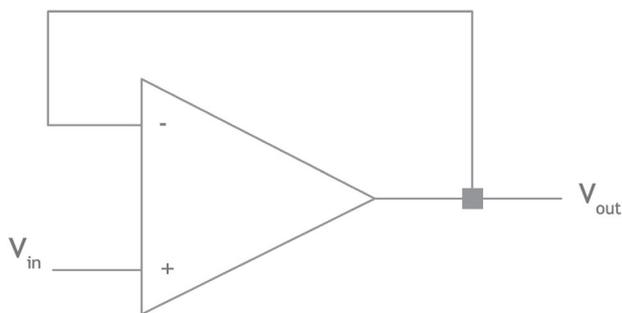


圖 17
單位增益緩衝

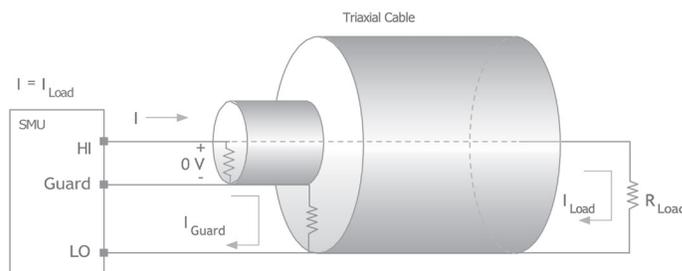


圖 18
使用防護的影響

需要防護的常見應用之一，就是輸入洩漏測試。只要量測流入晶片上高阻抗輸入針腳的電流總量，即可執行輸入洩漏測試。理想的輸入針腳會具有無限大的阻抗，因此沒有任何電流。但實際的 DUT 則具有大型且有限的阻抗，因而造成微安培或更低的小型電流。由於 SMU 可同時供應電壓與量測電流，因此，通常此測試會使用 SMU 執行。

鑑於這項作業為低準位的電流量測作業，您應於 SMU 上使用防護通道，以確保量測作業的精確度。將 DUT 連接至 SMU 之後，即可將 SMU 設為供應電壓。您也可以設定電流限制，以防 DUT 受損。SMU 供應電壓時，將量測 DUT 的電流洩漏情況。接著，您可以比較洩漏電流值與 DUT 可接受的限制，以了解 DUT 是否符合規格。請確認您並未同時量測 SMU HI 與 LO 端點之間的電流洩漏。如果在此應用中使用同軸連接線，來自連接線的洩漏電流就會包含在量測作業中，屆時，即便實際的 DUT 洩漏電流符合規格，也有可能導致 DUT 測試失敗。只要在 SMU 上使用三軸連接線與防護，即可進行更精確的電流量測，並確保 DUT 不會意外故障。

了解校準的重要性

使用者必須進行校準，以確保儀器的效能符合規格所規定的準位。校準涵蓋兩大形式：外部校準與自我校準。您可以使用外部校準來修正儀器的漂移，並使用自我校準來修正溫度引起的感應誤差。

外部校準程序較為複雜，需要使用高精確度的電壓來源。執行外部校準時，儀器內建的 EEPROM 校準常數將隨之調整並遭到覆寫。裝置驅動程式會使用這些常數，針對特定量測作業回傳合適的數值。外部校準主要會用於修正內建參考的長期漂移，或式自我校準無法存取的偏移。為了與儀器的公開規格保持一致，建議每 1 到 2 年進行一次外部校準（視儀器而定）。

自我校準的程序更為簡單，不需額外的設備就能執行。此程序包含將已知內部參考路由至機板的所有通道。接著，會以不同的增益設定讀取參考電壓，並與預期值進行比較。這個受溫度保護的參考電壓，可修正溫度變化所造成的誤差。由於元件屬性取決於作業溫度，因此，應使用自我校準功能來補償溫度變化，並確保儀器盡可能準確。

圖 19、圖 20、圖 21 說明了自我校準的差異。這些圖表是將數個裝置放入恆溫箱內並監控其效能，而得出的結果。圖 19 顯示 24 小時內的機板溫度的變化。圖 20 顯示相同期間內的偏移電壓準位變化。較高的溫度會造成輕微的正電壓偏移，而較低的溫度則會造成負電壓偏移。不過，如果在每次量測前進行自我校準，即可消除溫度所造成的電壓偏移，且不會影響量測作業 (請參閱圖 21)。

請記住，自我校準的準確度，取決於內建參考電壓的準確度。因此，使用者必須依照製造商建議的時間間隔來執行儀器的外部校準，以確保參考電壓符合規格。

結論

本指南提到的多種方法，可協助您在需要進行 DC 量測的應用中實現更高的準確度。將這些方法套用至自身的量測設定時，請務必記住每種方法所需因應的誤差類型。如此就能針對遇到的量測問題套用正確的解決方案。舉例來說，若低準位電流量測作業的上升時間相當緩慢，則可改用三軸連接線，並新增防護。如果看到電源線雜訊，就可在設定中加入抗雜訊，並將孔徑時間設為一個電源線週期。只要掌握這些最佳實務，即可充分發揮測試設備的效用。

若要進一步了解 NI SMU 及其客制化暫態響應，或進階序列功能，請見 ni.com/smu。

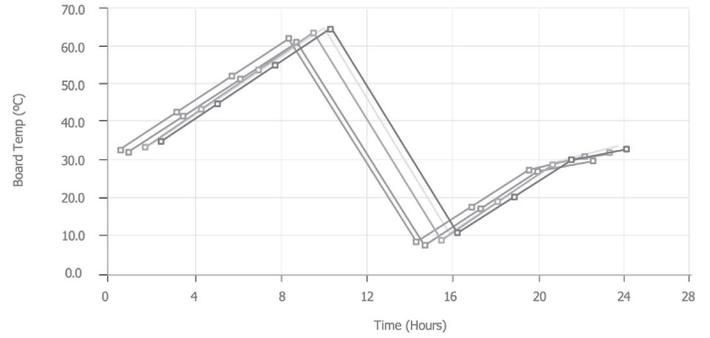


圖 19
24 小時內的測試機板溫度

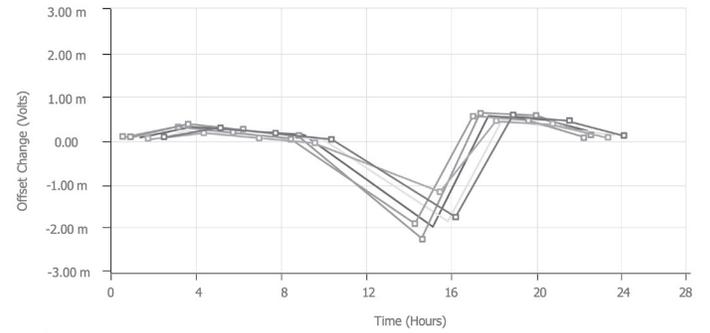


圖 20
無自我校準的電壓漂移

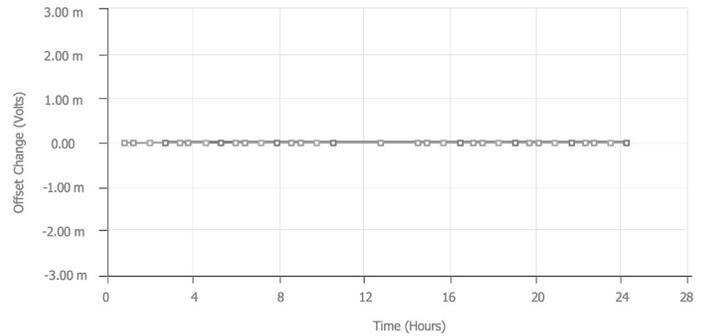


圖 21
含自我校準的電壓漂移

大幅提升 DC 量測效能的實用指南

Emerson、Emerson Automation Solutions 或其任何附屬實體，均不對任何產品的選用、使用或維護負責。購買者與終端使用者應自行負責選用、使用與維護任何產品。

National Instruments、NI 與 NI.com 均為 Emerson Electric Co 旗下任一測試與量測業務單位所擁有的商標。Emerson 與 Emerson 標誌為 Emerson Electric Co. 的商標與服務標誌。

本出版品的內容僅供參考之用，儘管我們已盡可能確保其準確度，這並不構成對本出版品所述產品或服務或其用途或適用性的擔保或保證（無論明示或暗示）。所有銷售均受 NI 的條款與條件約束，而條款和條件會應要求提供。NI 保留修改或改善這類產品之設計或規格的權利，如有變更，恕不另行通知。

NI
11500 N Mopac Expwy
Austin, TX 78759-3504

 [Linkedin.com/company/niglobal/](https://www.linkedin.com/company/niglobal/)

 [Twitter.com/NIglobal](https://twitter.com/NIglobal)

 [Youtube.com/@NIglobalyoutube](https://www.youtube.com/@NIglobalyoutube)

 [Instagram.com/niglobal/](https://www.instagram.com/niglobal/)

 [Facebook.com/NationalInstruments](https://www.facebook.com/NationalInstruments)

