

# 隔離式高電壓、高電流量測模組

■文：ADI

## 電路功能與優勢

在工業和通訊環境中測試和評估電源系統通常需要量測多重電壓和電流。各個電源可能以不同的接地作為基準，可能具有正極或負極，或者可能是浮動的，與其他電源域沒有明確的關係。在這些場景下，需要使用單獨的浮動萬用表，或者通道彼此隔離的多通道表，這些計量表通常體積笨重且價格昂貴。

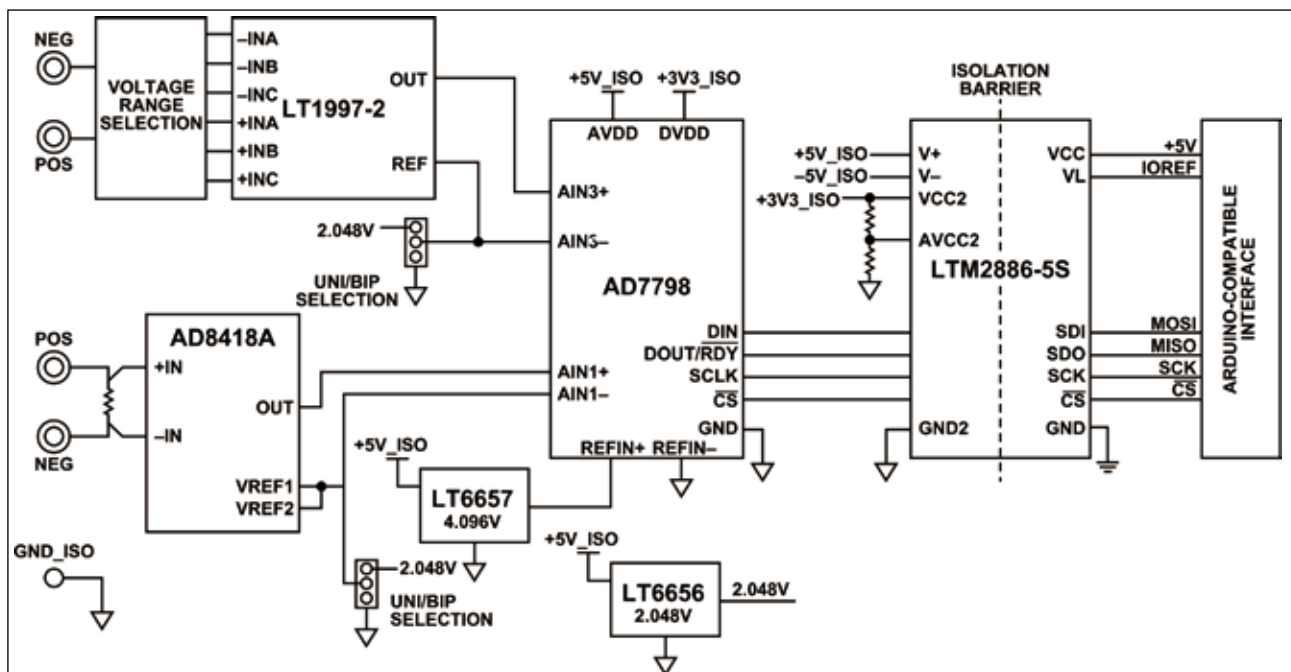
圖 1 所示的電路是一個完整的隔離電流和電壓測量系統，用於工業、電信、儀器儀錶和自動化測試設備 (ATE) 應用。系統具有電氣隔離特性，主控制器和測量接地之間最高可容許 +/-250 V。該隔離

設計包含數位資料和電源域訊號；無需從被測量的電路提供額外的電源。

電流輸入範圍為 +/-10 A，可選電壓輸入範圍為 16 V 至 80 V，可以選擇這些值之間的多個範圍。電壓和電流輸入採用 16 位元解析度、可調的輸出資料速率和訊號頻寬，包括抑制 50 Hz 和 60 Hz 線路雜訊的模式。

該電路相容 Arduino 尺寸平台板，支援 1.8 V 至 5 V 邏輯電壓。與開源韌體示例配對時，應用軟體能夠使用 libiio 庫，透過 Linux 工業輸入 / 輸出 (IIO) 框架輕鬆與參考設計通訊，該庫包括 C、C#、MATLAB、Python 和 LabVIEW 的綁定。

圖 1: CN0548 功能框圖



## 電路描述

### 電壓和電流測量連接

可將 CN0548 配置為支援多種測量情況。電流感測輸入可以將正極或負極電壓輸入端子，或兩者之間的任何電壓作為基準電壓源，且測量接地與開發平台和所連接主機的接地隔離。

圖 2 顯示用於測量一個具有 15 V 接地電源和接地負載的電路的連接。在負載的高壓側測量負載電流。

圖 2: +15 V 高壓側電流和電壓測量

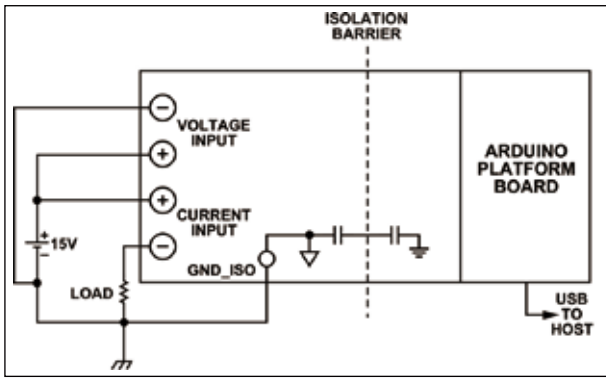


圖 3 顯示用於測量負載低壓側 ( 接地回路 ) 的負載電流的連接。

圖 3: +15 V 低壓側電流和電壓測量

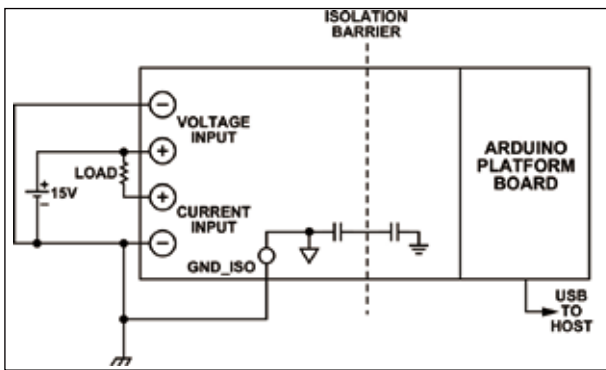


圖 4 顯示用於測量 -48 V 電源的連接，在負載的接地迴路上測量電流。

圖 5 顯示高壓側電流測量連接，電源電壓高達 250 V。電壓測量通道的輸入端可以容許高達 +/-250 V 的電壓而不造成損壞，輸出將達到飽和，不會產生有效的測量。

圖 4: -48 V 電壓和電流測量

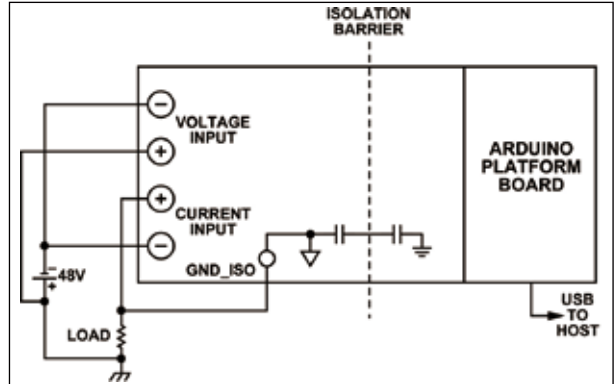
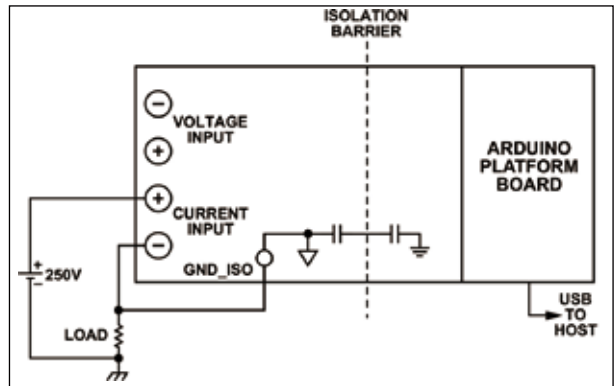


圖 5: +250 V 系統電流測量



### 電壓輸入

LT1997-2 精密高壓漏斗放大器內建匹配的電阻網路，將輸入電壓調節到 ADC 的輸入電壓範圍內。該元件的增益誤差為 0.006%，增益漂移為 1 ppm/°C。可以通過對 +INA、+INB、+INC、-INA、-INB 和 -INC 輸入進行接腳短接來選擇 38 個獨有的衰減因數，通過 CN0548 上的跳線實現。

圖 6: 電壓範圍和極性電路

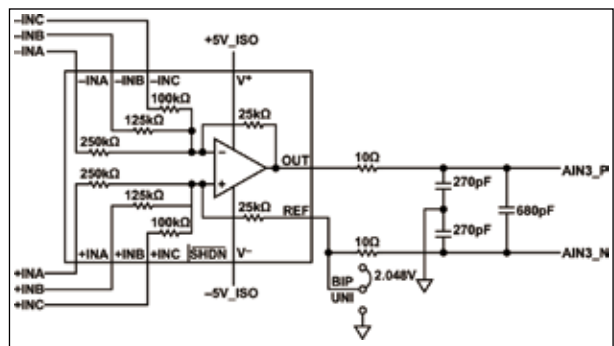


表 1 列出了 5 種跳線設定，涵蓋大部分應用和電路的允許輸入電壓。請參考 LT1997-2 產手冊查看

表 1: 電壓範圍跳線配置

輸入範圍	衰減	+INA	+INB	+INC	-INA	-INB	-INC
80V	20	斷開	-VIN	+VIN	斷開	+VIN	-VIN
40V	10	+VIN	斷開	斷開	-VIN	斷開	斷開
27V	6.67	-VIN	斷開	+VIN	+VIN	斷開	-VIN
20V	5	斷開	+VIN	斷開	斷開	-VIN	斷開
16V	4	斷開	斷開	+VIN	斷開	斷開	-VIN

表 2: 單極 / 雙極電壓配置

測量模式	LT1997-2 REF	AD7798 AIN3-	輸入範圍 (80V 範圍)
單極性	GND	GND	0 V 至 80 V
雙極性	2.048 V	2.048 V	-40 V 至 +40 V

衰減因數的綜合列表。注意，應在將 CN0548 連接至帶電路之前配置增益設定跳線，在連接至帶電路時，不得移動跳線。

透過如表 2 所示配置 LT1997-2 REF 接腳和 AD7798 AIN3 接腳電壓，可以將 CN0548 電壓輸入設定為單極或雙極輸入範圍。

## 電流輸入

AD8418A 為一款雙向高壓零漂移電流成測放大器。其固定增益為 20 V/V，具有 10 kHz 頻寬，在整個工作溫度範圍內的最大增益誤差為  $\pm 0.15\%$ 。放大器的輸出電壓直接連接至 ADC 的通道 1、AIN1- 和 AIN1+。AD8418A 提供卓越的輸入共模抑制，範圍為 -2 V 至 +70 V。

如表 3 所示，AD8418A 透過 ISENSE 輸入端子之間的 10 mΩ、2 W 電流感測電阻執行雙向電流

圖 7: 電流輸入訊號處理和極性電路

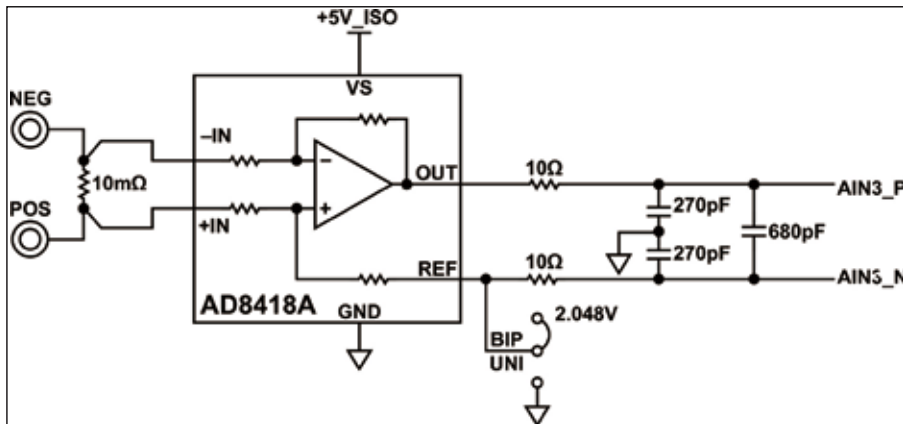


表 3: 單極 / 雙極電流配置

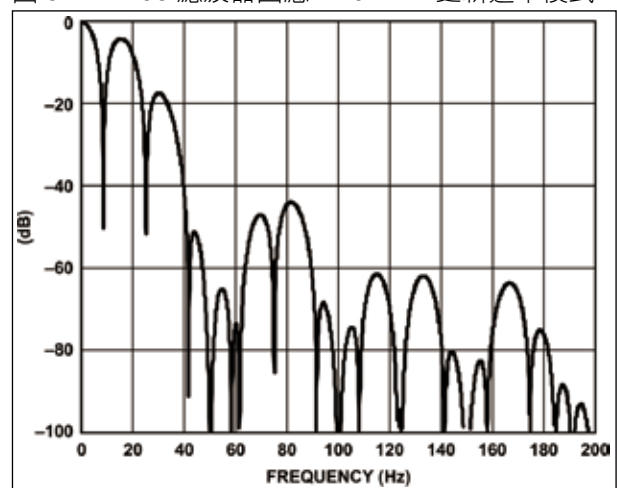
測量模式	AD8418A REF	AD7798 AIN1-	輸入範圍
單向	GND	GND	0 V 至 14 A
雙向	2.048 V	2.048 V	-10 V 至 +10 A

測量。在雙極性模式下，最大輸入電流為 +/-10 A。單極輸入範圍為 0 A 至高達 14 A，受到感測電阻的功耗限制。AD8418A 輸出要求與 GND 之間具有 32 mV 餘裕；請參考單極和雙極電流測量測試結果。

## 類比數位轉換

AD7798 為一款 16 位元低功耗高精度  $\Sigma$ - $\Delta$  類比數位轉換器 (ADC)，用於測量寬廣動態範圍、低頻率訊號，例如壓力感測器、稱重和精密測量應用中的訊號。AD7798 具有三個緩衝差分輸入，具有可編程儀錶放大器和晶片內數位濾波。100 mV 至 5.25 V 外部基準電壓決定滿量程輸入範圍。AD7798

圖 8: AD7798 濾波器回應，16.7 Hz 更新速率模式



的輸出資料速率可由使用者編程，範圍為 4.17 至 470 sps，測量頻寬以及雜訊靈敏性與輸出資料速率成正比。大多數電源測量應用不需要高取樣速率，可以利用較低輸出資料速率模式提供的窄頻寬。此外，16.7 sps 和更低的取樣速率可以提供對 50 Hz 和 60 Hz 線路雜訊的同步抑制。AD7798 根

據輸出資料速率使用稍微不同的濾波器類型，以盡可能降低內部雜訊源造成的影響。圖 8 顯示 16.7 Hz 模式下的濾波器回應。請參閱 AD7798 產品手冊，查看關於所有濾波器模式的完整詳細說明。

AD7798 的類比輸入是全差分輸入，輸入範圍為

$$\frac{\pm V_{REF}}{in\_amp\ gain}$$

當輸入電壓處於無緩衝模式且儀錶放大器閒置時，絕對電壓可以擴展到任一供電軌，這是 CN0548 預設使用的配置。

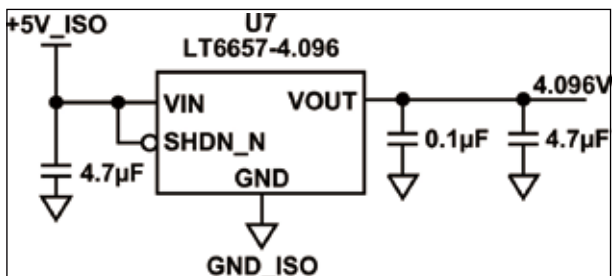
CN0548 向 AD7798 提供高位準緩衝訊號，因此可以將增益設定為 1 並禁用緩衝器，以盡可能擴大輸入範圍。4.096 V 基準電壓產生的輸入範圍為 +/-4.096 V，甚至在 ADC 輸入等於或稍低於接地值時，讀數也是有效的。

### 基準電壓

CN0548 板上使用兩個基準電壓。A 級 LT6657 (如圖 9 所示) 為 AD7798 提供 4.096 V 基準電壓。此元件為頻隙基準電壓源提供非常低的雜訊；在 0.1 Hz 至 10 Hz 頻寬內，僅提供 0.5 ppmP-P，或者平均值為 1.24  $\mu$ Vp-p。其採用大型輸出電容保持穩定，該電容用於降低高頻雜訊，並為 AD7798 的動態採樣電流提供低阻抗。LT6657 對 4.096 V 輸出基準電壓源的電壓調整率通常低於 1 ppm/V。負載調整率也低於 2  $\mu$ V/mA。負載電流中 5 mA 的變化僅使輸出電壓偏移 10  $\mu$ V。

LT6656 為 VSENSE 放大器、ISENSE 放大器和 ADC 負輸入提供 2.048 V 偏置電壓，使輸入埠能

圖 9: 4.096 V ADC 基準電壓源



夠支持雙極範圍。

### 雜訊性能

LT1997-2 的最高輸出雜訊電壓按 4 衰減，約為 1  $\mu$ Vp-p。LT6657 提供約 2  $\mu$ Vp-p 輸出雜訊。總值 (和的平方根) 為 1  $\mu$ Vp-p 和 2.0  $\mu$ Vp-p，或 1.7  $\mu$ Vp-p。AD7798 的量化雜訊為 62.5  $\mu$ V，因此將是電壓測量中的主要噪音源。在 80 V 輸入範圍內，折合為輸入的雜訊約為 1.2 mV。

在電流測量模式下，AD8418A 的輸入雜訊電壓為 2.3  $\mu$ Vp-p，範圍為 0.1 Hz 至 10 Hz。增益為 20 時，輸出端的反射雜訊電壓為 20  $\times$  2.3  $\mu$ Vp-p，或 46  $\mu$ Vp-p。這仍然略低於 AD7798 的量化雜訊。雖然固定、無雜訊輸入可能產生幾個閃爍碼，仍然可將 AD7798 視為主要的噪音源。

### 電源與 SPI 隔離

LTM2886 Module 的 5 V 串列周邊介面 (SPI) 版本提供隔離型 +/-5 V 電源和隔離型 SPI 通訊。無需使用外部元件，解耦電容整合在模組中。LTM2886 對接地層之間的共模瞬態具有極高的耐受度，透過大於 30 kV/us 的共模事件可保持無誤差運行。LTM2886 包含一個獨立的邏輯電源接腳，允許主機側的邏輯位準電壓為 1.62 V 和 5.5 V 之間的任何電壓。

### 電路板隔離

圖 10 和圖 11 顯示的是電路板隔離閘。該板用於在接地之間提供最大爬電距離，串聯採用 2 個額定值為 250 V 的安全型 Y2 電容，以降低來自

圖 10: 頂層 PCB 隔離

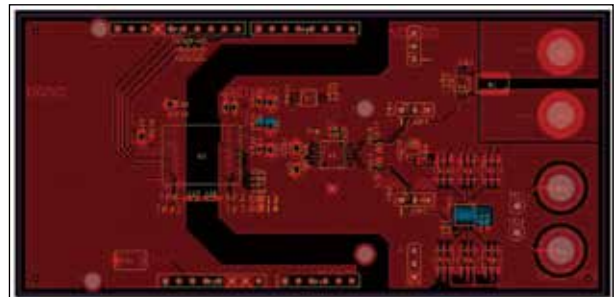
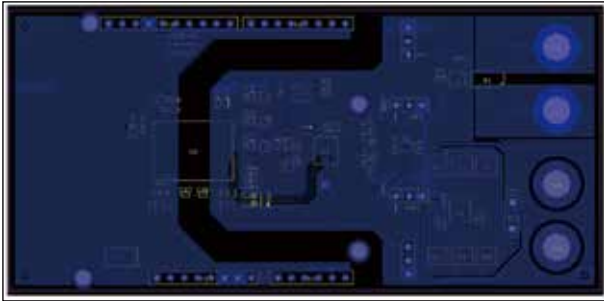


圖 11: 底層 PCB 隔離



LTM2886 的內部開關穩壓器的傳導雜訊。

### 常見變化

要實現更高解析度的 ADC，可使用 AD7799 24 位元  $\Sigma$ - $\Delta$  ADC 作為替代選項。如果 AD7798/AD7799 需要 2.5 V 基準電壓源，建議使用 ADR381 或 ADR391 低雜訊低功耗基準電壓源。

對於更低滿量程電流應用，AD8417 是雙向、零漂移、電流感測放大器，具有 60 V/V 增益。

在需要訊號輸入衰減和放大的應用中，LT1997-3 為一種可選放大器。LT1997-3 將精密運算放大器與高度匹配的電阻相結合，構成可以準確放大電壓的單晶片解決方案。在不使用外部元件的情況下，可以實現高達 0.0714 的衰減，高達 +14、精度為 0.006% (60ppm) 的增益。

CN0548 接地之間的最大電位差為 +/-250 V，受 470 pF 旁路電容限制。更高電壓的應用要求修改或移除旁路電容；LTM2886 本身可以承受接地之間的 2500 VRMS，持續 1 分鐘。

對於要求在隔離側提供更高電壓的應用，可以選擇使用 LTM2883 元件。LTM2883 為一款完整的 6 通道數位 Module (微模組) 電氣隔離器。隔離側包含  $\pm 12.5$  V 和 5 V 標稱電源，每個電源可以提供超過 20 mA 負載電流。每個電源可以使用單個外部電阻來調節其標稱值。

### 電路評估與測試

EVAL-CN0548-ARDZ 通過 EVAL-ADICUP3029 超低功耗 Cortex-M3 Arduino 尺寸開

發板進行測試。有關完整設定詳情和其他重要資訊，請瀏覽 CN0548 使用者指南。

### 設備要求

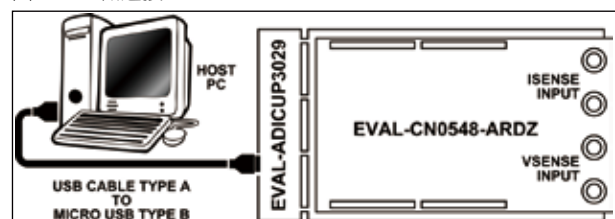
- 萬用表
- EVAL-CN0548-ARDZ
- 桌上型可變電源 (例如 Agilent e3631)
- micro USB 電纜 B 型至 A 型
- 2 片式香蕉形插座
- Windows、Linux 或 Mac 電腦，具有串列端子，裝有 Python 3.6 或更高版本

### 開始使用

要設定 EVAL-CN0548-ARDZ 和相關軟體，請使用以下步驟：

1. 如圖 12 所示，連接 EVAL-ADI-CUP3029 平台板頂部的 EVAL-CN0548-ARDZ。
2. 利用附帶的 micro USB 電纜將 EVALADICUP3029 連接到 PC。
3. 在 PC 中，將預先產生 .hex 檔拖放到 DAPLINK 驅動器中。參考使用者指南查看最新的 hex 檔。
4. 按 3029\_RESET 按鈕，或先拔出再重新插入 USB 電纜來重置 ADICUP3029。
5. 透過裝置管理員 (Windows) 或 TTY 設備檔 (Linux) 來確定 EVAL-ADICUP3029 COM 埠。
6. 打開 CN0548\_simple\_plot.py 示例 Python 腳本。(請參考使用者指南獲取腳本位置。) 根據提示設定跳線和輸入 COM (或 tty) 埠編號。
7. 為了進行電壓感測測量，如圖 13 和圖 14 所示連接主直流源的香蕉接頭。將輸出電壓設定為 5.99V 至 6V，限流值設定為 3.9A 至 4A。
8. 為了進行電流感測測量，如圖 17 和圖 18 所示連

圖 12: 主機連接





接主直流源的香蕉接頭。

### 電壓測量測試設定

EVAL-CN0548-ARDZ 是在單極和雙極模式下測試的，按照 100 mV 步長，分別掃描 0-40V 和 -40 至 +40V 輸入電壓。如圖 13 和圖 14 所示，比較 EVAL-CN0548-ARDZ 板的讀數和 Keithley DMM7510 7-1/2 數位萬用表的讀數。LT1997-2 的衰減值設定為 20，並且 AD7798 和 LT1997-2 的基準電壓在單極測量模式下設定為 0V，在雙極測量模式下設定為 2.048V。

### 單極和雙極電壓測試結果

圖 15 和圖 16 顯示 3 個獨立的 CN0548 板的未校正輸出。結果符合 LT1997-2、LT6657 和 AD7798 精度規格要求。轉換函數中的非線性「步長」是 LT1997-2 進入“over-the-top”模式的點。

### 電流測量測試設定

EVAL-CN0548-ARDZ 是在單極和雙極模式下測試的，按照 100mA 步長，分別掃描 0 A 至 9 A

圖 14: 電壓輸入測試設定圖片



和 -9 A 至 +9 A 輸入電流。如圖 17 和圖 18 所示，比較 EVAL-CN0548-ARDZ 板的讀數和 Keithley DMM7510 高解析度 7½ 數位萬用表的讀數。

圖 13: 電壓輸入測試設置

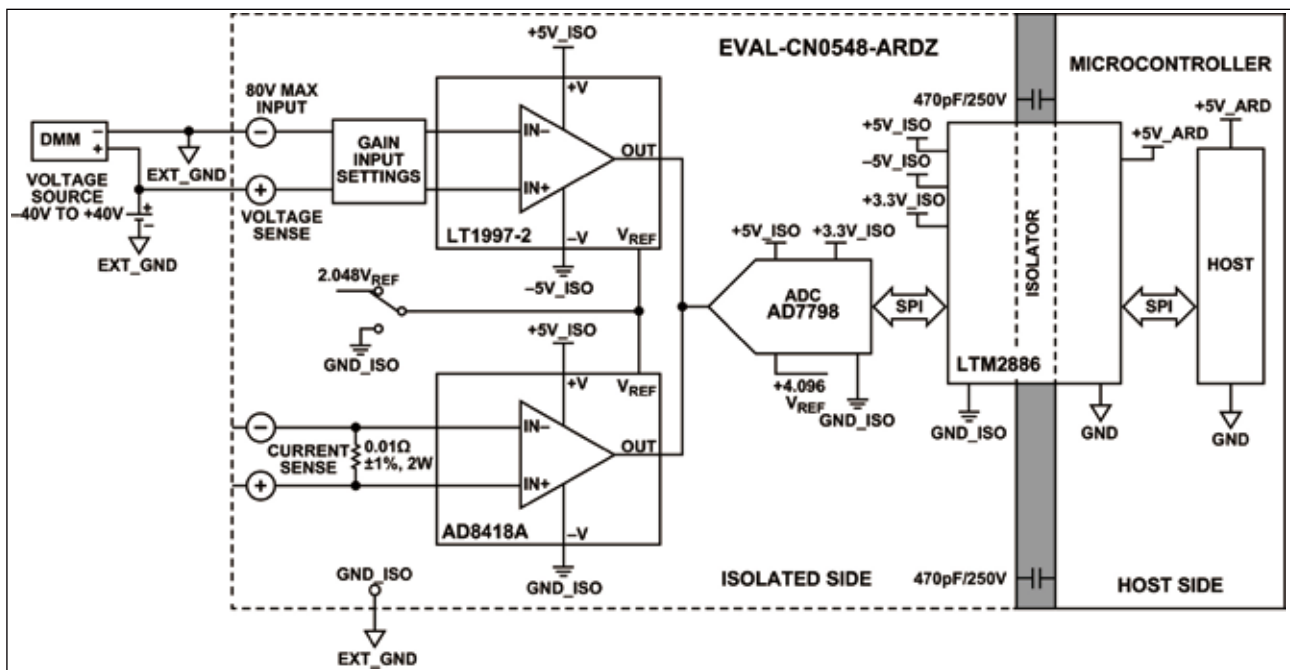


圖 15: 單極精度 (未校準)

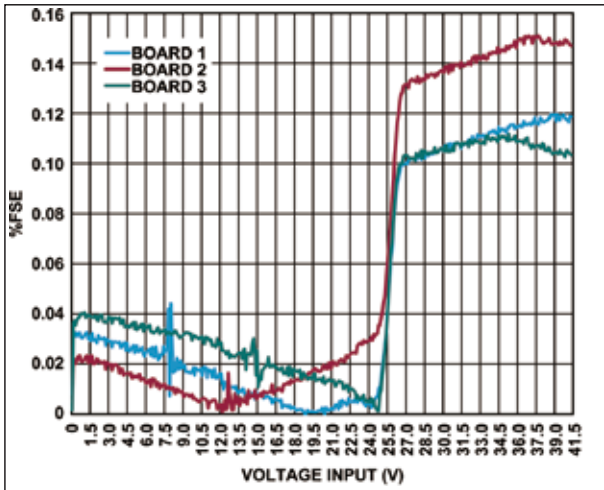


圖 16: 雙極精度 (未校準)

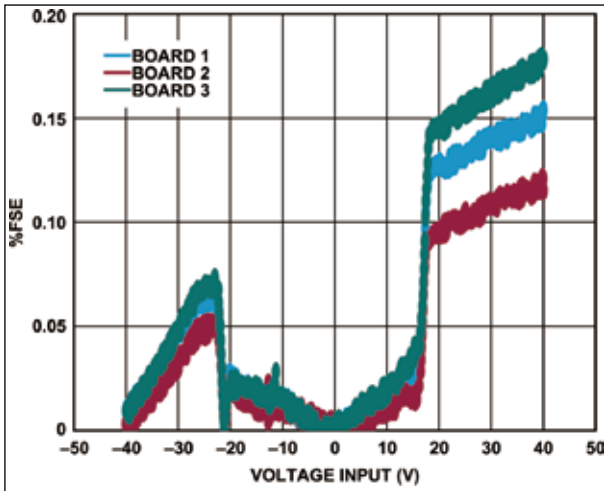


圖 17: 電流輸入測試設定

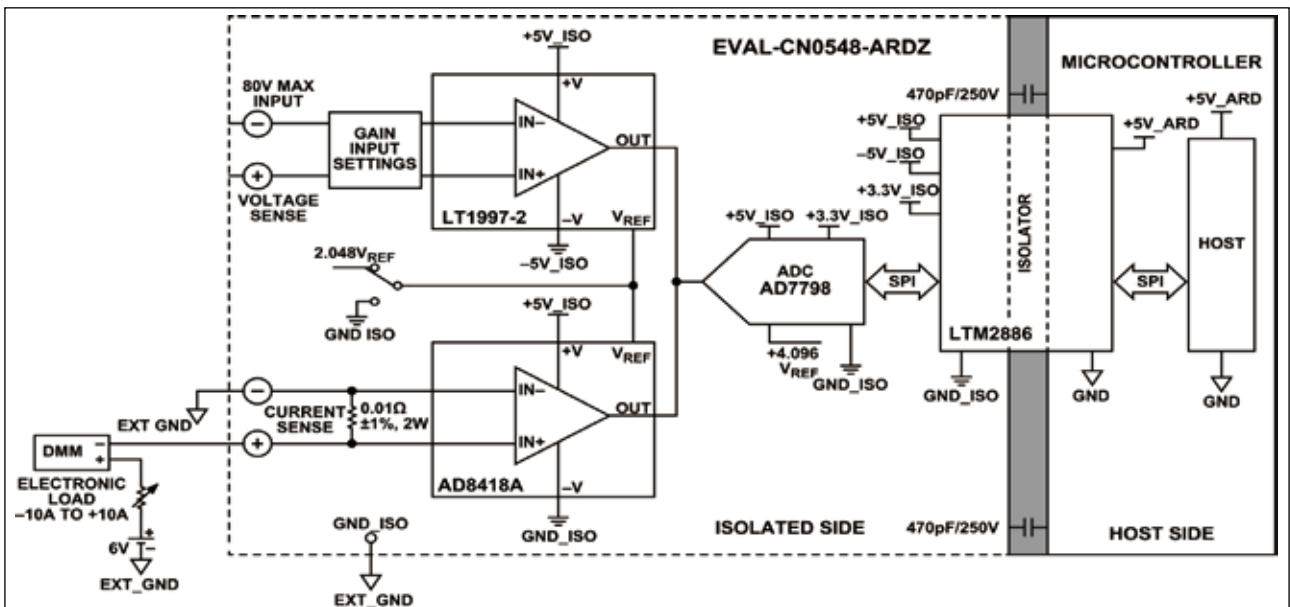


圖 18: 電流輸入測試設定圖片



### 單極和雙極電流測量測試結果

圖 19 和圖 20 顯示 3 個單獨的 CN0548 板的未校準精度。增益誤差主要取決於  $\pm 1\%$  公差電流感測電阻。

圖 19: 單極電流測量誤差

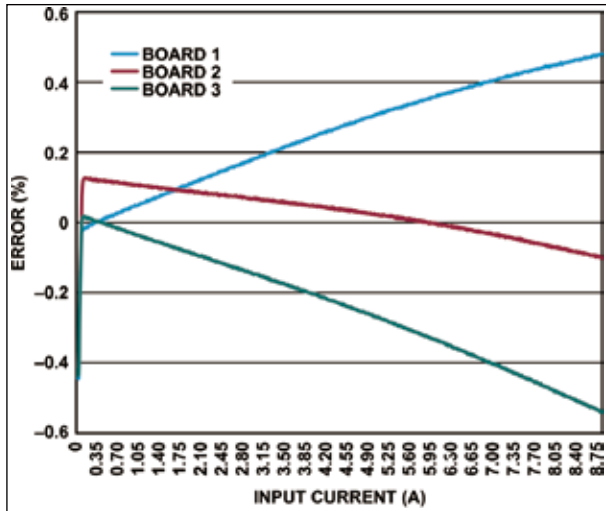
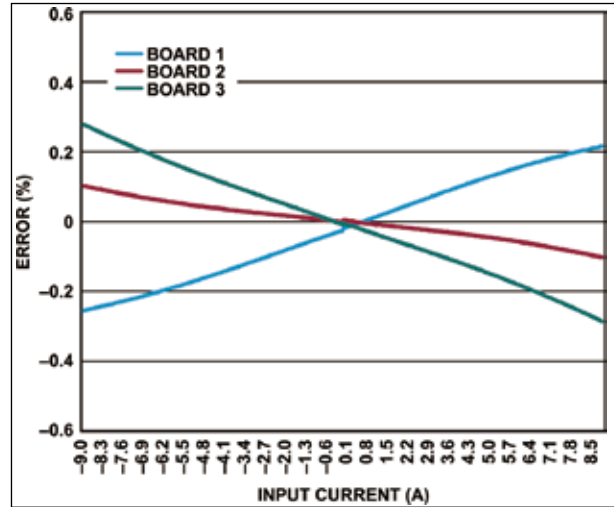


圖 20: 雙極電流測量誤差



CTA

## ADI 發表《2022 年環境、社會責任和公司治理報告》

ADI 日前發表《2022 年環境、社會責任和公司治理 (ESG) 報告》，內容介紹 ADI 解決方案如何裨益社會和地球，並提出全新的用水強度目標，持續實踐公司對透明度及準確披露之承諾。

ADI 執行長暨董事會主席 Vincent Roche 表示：「ADI 擁有優秀、充滿熱情並敬業的團隊，我們致力與客戶和合作夥伴攜手因應全球面臨的最嚴峻挑戰，並相信只要齊心協力便能克服一切挑戰。透過於環境、社會責任和公司治理方面取得的成就及努力，我們對於協助客戶和合作夥伴實現其 ESG 目標深感驕傲。然而，我們仍面臨迫切問題，不容絲毫懈怠，也將一如既往憑藉 ADI 技術為人類健康和地球環境帶來積極影響。」

2022 年 ESG 報告主要更新內容包含：

- ADI 解決方案裨益社會和地球：ADI 已成為半導體設計和創新系統解決方案的領先企業，在現實世界與數位世界間搭建橋樑，造福社會和地球。ADI 與客戶合作創新，提升生活品質，解決工業、汽車、通訊、數位醫療保健、消費性電子等終端市場的急迫挑戰。以 2022 會計年度而言，綠色營收約佔 ADI 總營收的 30%，較 2021 會計年度成長約 34%；綠色研發投入約佔總研發投入 30%，與 2021 會計年度持平。
- 提出全新 2027 年用水強度目標：ADI 制定了新的目標，即到 2027 年用水強度（按晶圓廠產量歸一化後的總用水量）減少 50%，此目標是 ADI 製造設備實現 25% 水迴圈率目標的補充。
- 提高資訊披露透明度：ADI 承諾向所有利益相關方透明、準確披露資訊。2022 年 ESG 報告並新增「ESG 成果」部分，逐項列出 ESG 績效指標和 KPI，各 KPI 均明確定義並包含具體數值，亦盡可能與聯合國永續發展目標保持一致。

ADI 履行 ESG 承諾之關鍵進展包含：

- 氣候：第一類和第二類溫室氣體 (GHG) 絕對排放量較 2019 年減少 7.2%。按收入計，第一類和第二類溫室氣體排放強度較 2019 年下降 37%。ADI 並首次披露完整的第三類排放情況，此為至 2050 年或更早實現整個價值鏈淨零排放目標的重要組成部分。
- 能源：2022 年，ADI 製造設備用電的 54% 來自可再生能源，並可望在 2025 年實現 100% 的目標。
- 廢棄物：2022 年，ADI 在實現製造設備 100% 廢棄物非垃圾填埋的目標方面取得重大進展，目前已達 90%。
- 多樣性、公平與包容性 (DE&I)：2022 年，全球擁有 25% 女性管理人員，其有助於實現至 2026 年女性管理人員佔比達 29% 的目標。ADI 並計畫到 2026 年時將其在美國的非裔、西班牙裔和拉丁裔員工數量佔比從 2022 年的 7% 增加至 9%。