

# ATE 接腳電子元件的位準設定 DAC 校準

本文提供一種校準數位類比轉換器 (DAC) 的方法，專用於接腳電子元件驅動器、比較器、負載、PMU 和 DPS。DAC 具有差分非線性 (DNL) 和積分非線性 (INL) 等非線性特性，我們可以透過增益和偏置調整來盡可能降低這些特性。本文描述如何執行這些校準，以改善位準設定性能。

■作者：Minhaaz Shaik/ADI 產品應用工程師

## 簡介

自動化測試設備 (ATE) 描述用於一次對單一或多個元件執行單次或一系列測試的測試儀器。不同類型的 ATE 測試電子元件、硬體和半導體元件。計時元件、DAC、ADC、多工器、繼電器和開關都是測試儀或 ATE 系統中的支援模組。這些接腳電子元件可以利用精準的電壓和電流提供訊號和電源。這些精密訊號通過位準設定 DAC 進行配置。在 ATE 產品系列中，有些接腳電子元件包含校準暫存器，有些校準設定儲存在晶片外。本文介紹 DAC 的功能、誤差，以及如何透過增益和偏置調整進行校準。

## 數位類比轉換器 (DAC)

DAC 是一種數據轉換器，用於將數位輸入轉換為相應的類比輸出位準。一個 N 位元 DAC 可以支援  $2^N$  個輸出位準。位數越高，DAC 輸出解析度越高。

首先，N 位元數位輸入提供給 DAC 串列暫存器。電壓開關和電阻求和網路將數位輸入轉換為類比輸出位準。DAC 圖的轉換特性如圖 2 所示。對於

圖 1：數位類比轉換器 (DAC) 框圖。

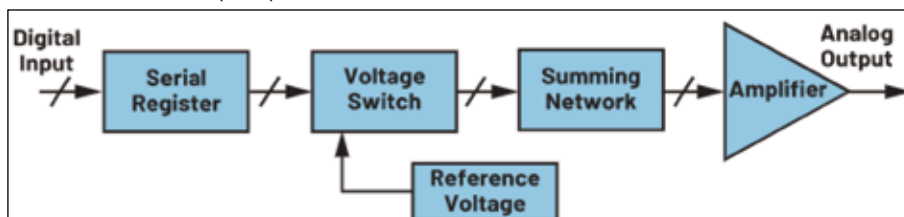
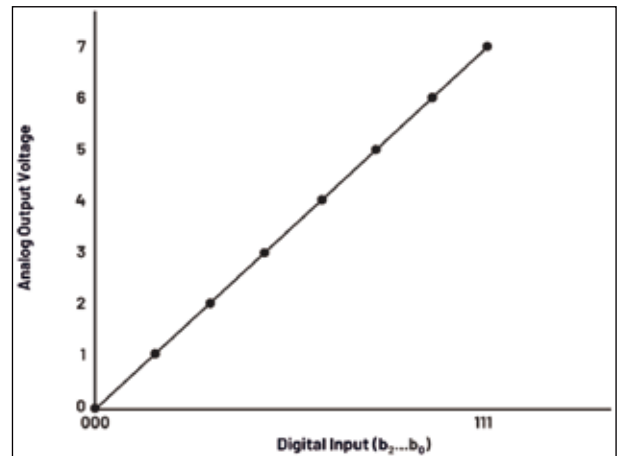


圖 2：3 位元 DAC 的理想轉換函數。



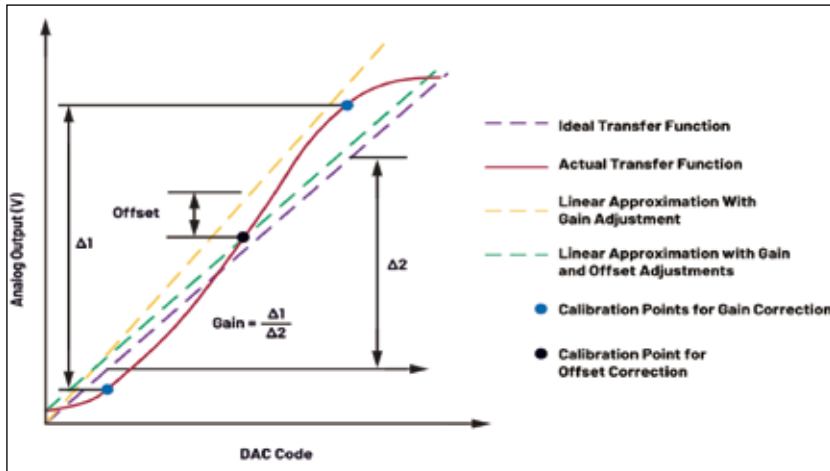
3 位元 DAC， $2^3$  個數位輸入產生 8 個類比輸出位準。

## DAC 誤差

在現實世界中，轉換器並不理想。由於電阻值、插值和採樣的誤差，DAC 的轉換函數並不是一條直線，或是線性的。這些誤差被稱為差分非線性 (DNL) 和積分非線性 (INL)。DNL 是輸出位準與理想步長之間的最大偏差，它由兩個連續輸出電壓位準之間的差值得出。INL 是輸入 / 輸出特性與理想轉換函數之間的最大偏差。透過增益和偏置校正，可以減小 INL 誤差。

圖 3 中的 INL 顯示了實際轉換函數與理想轉換函數之間

圖 3: INL 誤差轉換函數。



的偏差。DAC 的增益誤差表示實際轉換函數的線性近似斜率與理想轉換函數斜率的匹配程度。在繪圖時，調整增益會影響線性近似角度。偏置誤差是測量值與所選的零偏置點之間的差值。如果調整偏置量，整個線性近似曲線會相應地向上或向下移動。單一代碼的 INL 是任意給定點上增益誤差和偏置誤差的和。校準之後，一旦增益和偏置誤差降至最低，那麼轉換函數會是兩個端點之間的一條線。

## 校準程式

使用者可以建立校準程式，利用增益和偏置校正來降低 DAC 的非線性。以下步驟詳細說明了示例校準程式的每個步驟。

對於 N 位元 DAC：

$$\text{Maximum Code (MC)} = (2^N - 1)$$

$$\text{Voltage Range (V}_{\text{RANGE}}\text{)}$$

$$= \text{Maximum DAC Output Voltage (V}_{\text{MAX}}\text{)}$$

$$- \text{Minimum DAC Output Voltage (V}_{\text{MIN}}\text{)} = 4 \times V_{\text{REF}}$$

$$\text{DAC Input Code (Without Calibration)}$$

$$= \left( \frac{\text{MC}}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}})$$

**增益校正 (GC)：**

在最低和最高二進位值時，DAC 的線性度會降低。因此，建議在外部二進位值或 EC 表推薦的校準點之間的 5% 至 10% 範圍內選擇校準點。進行以下計算時，我們假設選擇 5% 的校準點。

■ 將 DAC 輸入設定為高於最低二進位值 5%。計算預期的電壓輸出並將其記錄為 IDEAL1。測量輸出電壓，並將其記錄為 MEAS1。

■ 將 DAC 輸入設定為低於最高二進位值 5%。計算並記錄 IDEAL2。測量輸出電壓，並將其記錄為 MEAS2。

$$GC = \frac{\text{MEAS2} - \text{MEAS1}}{\text{IDEAL2} - \text{IDEAL1}}$$

DAC Input Code (with Gain Correction)

$$= \left( \frac{\text{MC}}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}}) \times \frac{1}{GC}$$

**偏置校正 (OC)：**

所需的零偏置點因應用而異。使用者應該根據自己的應用定義最佳值。有些用戶可能喜歡使用 0V 來獲得準確的接地參考點。有些用戶喜歡使用操作範圍的中間值來儘量減少總體 INL 誤差。

■ 對電壓 - 代碼公式的斜率應用 DAC 增益校正，以確立單位增益。

■ 選擇所需的零偏置電壓點並將其記錄為 IDEAL3。使用更新後的電壓 - 代碼公式計算代碼。編程設定計算得出的代碼，然後測量輸出電壓，並將其記錄為 MEAS3。

$$OC = \text{MEAS3} - \text{IDEAL3}$$

$$\text{DAC Input Code (with Gain and Offset Correction)}$$

$$= \left( \frac{\text{MC}}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}} - OC) \times \frac{1}{GC}$$

## 示例 1

以 MAX32007 為例，它是一個八通道 DCL，整合了位準設定 DAC 和 PMU 開關。MAX32007 具有內部 DAC，用於設定 VDH、VDL、VDT/VCOM、VCH、VCL、VCPH 和 VCPL 的位準。這些 DAC 沒有內部校準暫存器。校準 DAC 時，請遵循以下步驟：

■ 按照評估套件產品手冊中的說明，啟動 MAX32007 評估 (EV) 套件。

■ 將 SMB 連接器 DATA0A 和 NTRM0A 連接至 1.2 V。

■透過 50  $\Omega$  端接裝置，將 SMB 連接器 NDATA0A 和 TRM0A 接地。

■使用 USB 電纜，將評估套件連接至 Windows 10 PC。打開 MAX32007 評估套件軟體 (GUI)。

$$VDH \text{ DAC Resolution} = N = 14$$

$$\text{Maximum Code} = (MC) = 2^N - 1 = 16383$$

$$\text{Voltage Range } (V_{\text{RANGE}})$$

$$= \text{Maximum DAC Output Voltage } (V_{\text{MAX}})$$

$$- \text{Minimum DAC Output Voltage } (V_{\text{MIN}}) = 7.5 - (-2.5) = 10$$

$$VDH \text{ DAC Input Code (Without Calibration)}$$

$$= \left( \frac{MC}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}})$$

採用圖 4 所示的 DAC 電壓位準和驅動器設定。注意，最低 VDH DAC 工作電壓值為 -1.5 V，最高工作電壓值為 4.5 V；在本例中，零偏置點值為 1.5 V。

圖 4: 使用評估板軟體設定 MAX32007 的 DAC 位準。



■施加 VDH = -1.5 V，然後測量輸出電壓值。

■施加 VDH = 4.5 V，然後測量輸出電壓值。

■增益校正 = 測量輸出電壓值之間的差值 / 理想值之間的差值。例如， $(4.501 - (-1.497)) / (4.5 - (-1.5)) = 0.999667$ 。

$$VDH \text{ DAC Input Code (with Gain Correction)}$$

$$= \left( \frac{MC}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}}) \times \frac{1}{GC}$$

要應用增益校正，打開功能表→選項→校準，如圖 5 所示。

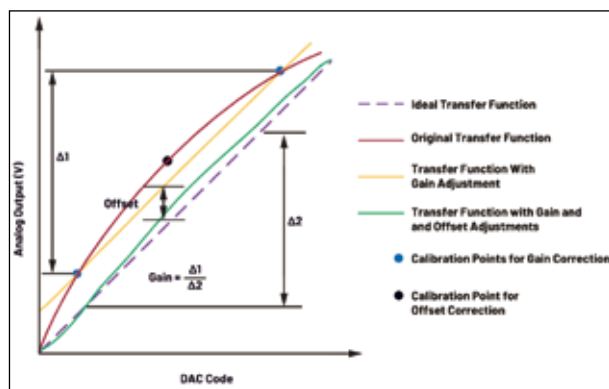
■施加 VDH = 1.5 V (包含增益校正代碼)，然後測量輸出電壓值。

■偏置校正 = 測量輸出值 - 理想值。例如，

圖 5: MAX32007 DAC 的校準菜單。



圖 6: 具有校準暫存器的 DAC 的 INL 誤差校正。



$$(1.502 - 1.5) = 0.002$$

■在執行增益和偏置校正之後，

$$VDH \text{ DAC Input Code (with Gain and Offset Correction)}$$

$$= \left( \frac{MC}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}} + OC) \times \frac{1}{GC}$$

## 示例 2

以 MAX9979 為例，它是一個八通道 DCL，整

合了位準設定 DAC 和 PMU。MAX9979 包含內部 DAC，用於設定 VDH、VDL、VDT、VCH、VCL、VCPH、VCPL、VCOM、VLDH、VLDL、VIN、VIO、CLAMPHI/VHH 和 CLAMPLO 的位準。這些 DAC 具有內部校準暫存器。在示例 1 中，調節了 DAC 輸出代碼，以儘量減少 INL 誤差。在示例 2 中，DAC 輸入代碼保持不變，校準暫存器調整輸出級緩衝器以儘量減少 INL 誤差，如圖 6 所示。要校準 DAC，請遵循以下步驟：

- 按照評估套件產品手冊中的說明，啟動 MAX9979 評估套件。
- 將 SMB 連接器 DATA0A 和 NTRM0A 連接至 1.2 V。
- 透過 50 Ω 端接裝置，將 SMB 連接器 NDATA0A 和 TRM0A 接地。
- 使用 USB 電纜，將評估套件連接至 Windows 10 PC。打開 MAX9979 評估套件軟體 (GUI)。

$$VDH \text{ DAC Resolution} = N = 16$$

$$\text{Maximum Code} = (MC) = 2^{16} - 1 = 65535$$

$$\text{Voltage Range } (V_{\text{RANGE}})$$

$$= \text{Maximum DAC Output Voltage } (V_{\text{MAX}})$$

$$- \text{Minimum DAC Output Voltage } (V_{\text{MIN}}) = 7.5 - (-2.5) = 10$$

$$VDH \text{ DAC Input Code (Without Gain Correction)}$$

$$= \left( \frac{MC}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}})$$

- 採用圖 7 所示的 DAC 電壓位準和驅動器設定。注意，VDH DAC 的最低建議值為 -1.5 V，最高建議值為 4.5 V，零偏置點值為 1.5 V。

- 施加 VDH = -1.45 V，然後測量輸出電壓值。

- 施加 VDH = 6.5 V，然後測量輸出電壓值。

- 增益校正 = 測量輸出電壓值之間的差值 / 理想值

之間的差值。例如， $(6.501 \text{ V} - (-1.455 \text{ V})) / (6.5 \text{ V} - (-1.45 \text{ V})) = 1.0007 \text{ V}$ 。

- 進行增益校正後，

$$VDH \text{ DAC Input Code (with Gain Correction)}$$

$$= \left( \frac{MC}{V_{\text{RANGE}}} \right) \times (V_{\text{OUT}} - V_{\text{MIN}}) \times \frac{1}{GC}$$

注意，要執行增益和偏置校正，請轉至功能表→選項→更改→校準，如圖 8 所示。有關將增益和偏置校正轉換為增益和偏置代碼的更多資訊，參見 MAX9979 資料手冊。

圖 8: MAX9979 的校準暫存器設定

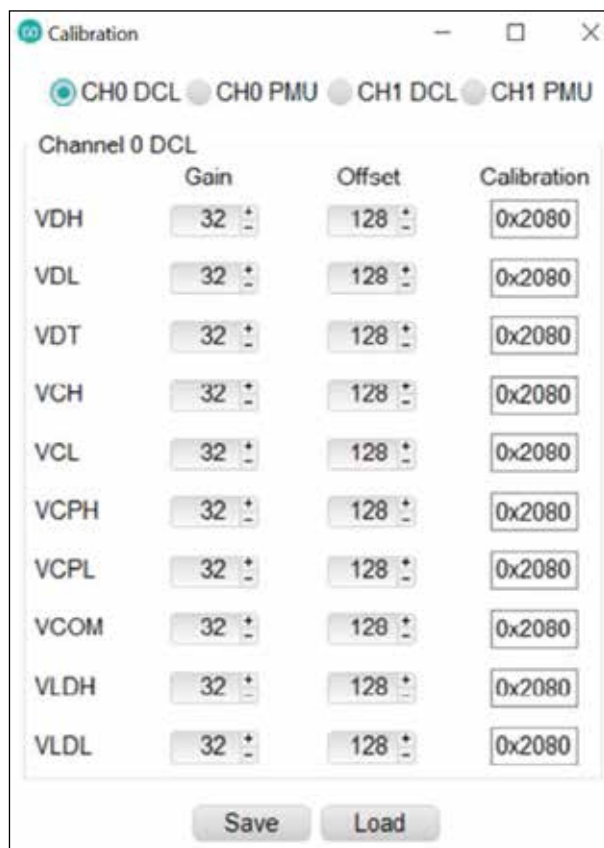


圖 7: 使用評估板軟體設定 MAX9979 的 DAC 位準。



CTA