

# 比較雙電源分離式與整合式儀器放大器

Peter Semig  
Applications Manager

Jacob Nogaj  
Applications Engineer

Jerry Madalvanos  
Applications Engineer

## 簡介

相較於整合式 IA，設計離散儀器放大器 (IA) 具有許多的優點，並且經常受到爭議。部分需考慮的變數包括印刷電路板 (PCB) 面積、增益範圍、性能 (溫度過高) 及成本。本文旨在比較三種雙電源 IA 電路：一種使用四路運算放大器 (op amp) 的離散式 IA、一種具有整合增益設定電阻 ( $R_G$ ) 的通用 IA，以及具有外部  $R_G$  的精密 IA。

## 雙電源電路

圖 1 是使用德州儀器 (TI) TLV9064 四路運算放大器電路之離散式雙電源 IA 的簡化電路圖。在此電路中，四個放大器通道中的三個 (A、B 和 C) 連接為傳統的三路運算放大器 IA。參考電壓 ( $V_{REF}$ ) 連接至接地。由於未使用第四個通道 D，因此可透過電阻器，將其做為緩衝器連接至中間供電 (接地)，以實現瞬態穩固性。所有標示「R」的電阻器的值均為 10 k $\Omega$ ； $R_G$  設定差動增益。差動輸入電壓為  $V_{IN+} - V_{IN-}$ ，而輸出電壓為  $V_{OUT}$ 。並未顯示如負載電阻器 (10 k $\Omega$ ) 及去耦電容器等部分元件。透過從封裝觀點繪製所有電路，可說明外部離散元件的數量。

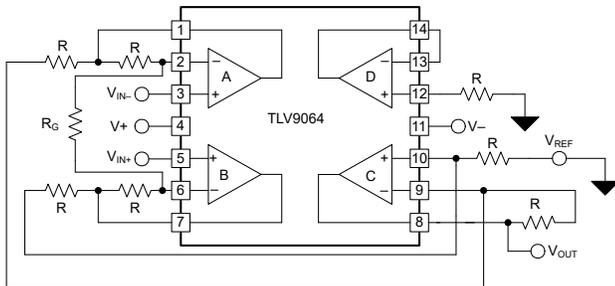


圖 1. 使用四路運算放大器的離散式雙電源 IA。

方程式 1 提供此電路的傳輸函數：

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times \left[ 1 + \frac{20 \text{ k}\Omega}{R_G} \right] \quad (1)$$

當 PCB 面積和性能的重要性低於成本與增益範圍時，設計人員通常會選擇離散式 IA。之所以選擇 TI 的

TLV9064IRUCR 運算放大器進行此比較，是由於其為軌至軌輸入/輸出產品 (RRIO)，且具有大頻寬 (10 MHz) 和偏低的典型初始輸入偏移電壓 ( $V_{OS(typ)} = 300 \mu\text{V}$ )，並採用小型封裝 (RUC = X2QFN = 4 mm<sup>2</sup>)。雖然有較平價的 RUC/X2QFN 封裝 RRIO 四路運算放大器，但這類運算放大器會犧牲頻寬和典型偏移電壓。

為了符合設計離散式 IA 的優先考量，因此安裝了平價的  $\pm 1\%$  公差、 $\pm 100\text{-ppm}/^\circ\text{C}$  漂移電阻器。這類電阻器不僅在初始值上有所不同，也可能會隨著溫度變化而出現明顯偏移。由於  $R_G$  位於外部，因此此配置的增益主要受運算放大器的輸入偏移電壓限制。

圖 2 是 TI INA350ABS 的簡化電路圖，其為具備整合式  $R_G$  的通用雙電源 IA。 $V_{REF}$  連接至接地。此電路整合了 IA 中的所有電阻器。差動輸入電壓為  $V_{IN+} - V_{IN-}$ ，而輸出電壓為  $V_{OUT}$ 。並未顯示如負載電阻器 (10 k $\Omega$ ) 及去耦電容器等部分元件。IA 的增益是根據連接至針腳 1 的開關所設定 (開路 = 20 V/V，閉合 = 10 V/V)。在實際應用中，不存在開關。若要啟用產品，請將針腳 8 (SHDN) 連接至  $V+$  或讓其保持浮動。

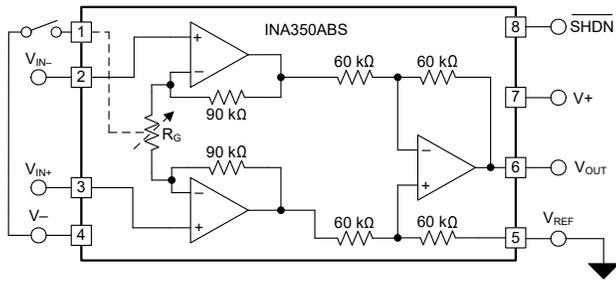


圖 2. 具有整合式  $R_G$  的通用雙電源 IA。

方程式 2 提供此電路的傳輸函數：

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times \left[ 10 \frac{V}{V} \text{ or } 20 \frac{V}{V} \right] \quad (2)$$

當設計人員需要在成本、性能與 PCB 面積間取得平衡時，通常會選擇此 IA。之所以選擇 **INA350ABSIDSGR** IA，是因為其可購性、性能、小型封裝 (引線 DSG = WSON = 4 mm<sup>2</sup>)、可選增益 (10 V/V 或 20 V/V) 和偏低的典型輸入偏移電壓 ( $V_{OS(typ)} = 200 \mu\text{V}$ )。此實作不需要外部零組件。針對需要更高增益的設計，**INA350CDS** 具有 30 V/V 或 50 V/V 的增益。

圖 3 是 TI **INA333** 精密雙電源 IA 的簡化電路圖，其具備外部  $R_G$ 。  $V_{REF}$  連接至接地。在此電路中，IA 整合了  $R_G$  之外的所有電阻器。差動輸入電壓為  $V_{IN+} - V_{IN-}$ ，而輸出電壓為  $V_{OUT}$ 。並未顯示如負載電阻器 (10 kΩ) 及去耦電容器等部分元件。

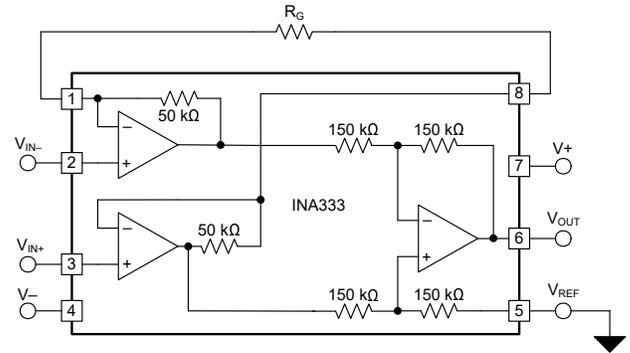


圖 3. 具有外部  $R_G$  的精密雙電源 IA。

方程式 3 提供此電路的傳輸函數：

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times \left[ 1 + \frac{100 \text{ k}\Omega}{R_G} \right] \quad (3)$$

當性能是最優先考量時，設計人員通常會使用精密 IA。之所以選擇 **INA333AIDRGR** 精密 IA 進行此比較，是因為其為低電壓 (5 V)、具有卓越的精密度 ( $G = 1 \text{ V/V}$ ,  $V_{OS(typ)} = 35 \mu\text{V}$ )，並採用小型封裝 (DRG = WSON = 9 mm<sup>2</sup>)。隨著溫度變化的性能取決於選擇的外部  $R_G$ 。因此，為了符合主要的設計優先考量，也就是性能，我們使用精密  $R_G$  以達到 10 V/V 的增益 ( $\pm 0.05\%$ 、 $\pm 10 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ )。由於整合了精密運算放大器，因此此實作具有優異的增益範圍 (1 V/V 至 1,000 V/V)。然而，有鑑於整合式精密運算放大器和所需的精密  $R_G$ ，總成本通常高於其它兩種解決方案。

## 印刷電路板 (PCB) 佈線

專門為此比較所設計的 PCB，將上述三個電路均納入圓形區域中，並會在其上安裝溫度強制單元噴嘴。會審慎地向每個電路提供相同的輸入信號，以減輕對「洩漏」的疑慮。每個輸出皆分別佈線，以確保隔離。

圖 4 顯示每個 IA 電路的簡化配置，以比較各解決方案的相對尺寸，且包括去耦電容器在內。為了進行比較，因此使用了最小的裝置封裝以及採用 0402 封裝的電阻器和電容器。

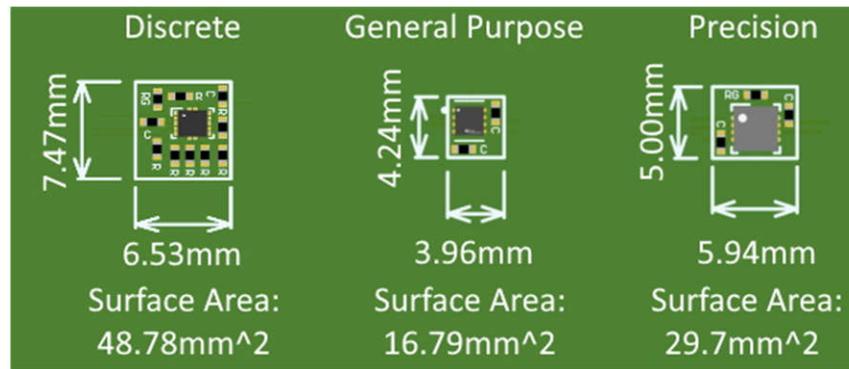


圖 4. 雙電源 IA 電路的簡化 PCB 配置比較。

如您所見，離散式 IA 實作遠大於兩個整合式解決方案。而透過整合式  $R_G$  與整體更小的晶粒尺寸，通用 IA 配置的尺寸幾乎是精密 IA 配置的一半。

## 量測結果

使用增益和偏移誤差來量測每個電路在不同溫度中的相對性能。做為量測基準，精密雙電源 IA 的增益設為 1 V/V ( $R_G = \text{開路}$ )。針對每次掃頻，輸入訊號都會經過調整，使輸出電壓範圍為 -2 V 至 +2 V。

表 1 說明在不同溫度下且  $G = 1 \text{ V/V}$  時，精密 IA 的基準增益和偏移誤差。此表包含產品規格表中在 25°C 下的典型增益與偏移誤差值，以驗證量測系統。

| 溫度             | -40°C    |                    | 0°C      |                   | 25°C                          |   | 100°C     |                    | 125°C     |                    |
|----------------|----------|--------------------|----------|-------------------|-------------------------------|---|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
|                | 增益       | 補償                 | 增益       | 補償                | 增益                            | 補償  | 增益        | 補償                 | 增益        | 補償                 |
| 量測 (產品規格表, 典型) | 0.00270% | 10.1 $\mu\text{V}$ | 0.00019% | 9.1 $\mu\text{V}$ | -0.00281%<br>( $\pm 0.01\%$ ) | 7.5 $\mu\text{V}$<br>( $\pm 35 \mu\text{V}$ ) | -0.00523% | 23.5 $\mu\text{V}$ | -0.00572% | 31.2 $\mu\text{V}$ |

表 1. 精密 IA 增益和偏移誤差與溫度的比較 ( $G = 1 \text{ V/V}$ )。

**表 2** 說明在增益為 10 V/V 且不同溫度下，所有 IA 的增益和偏移誤差 (參考輸出 [RTO])。綠色網底表示在每個溫度下性能最高的實作。

| 溫度     | -40°C     |               | 0°C       |               | 25°C      |               | 100°C     |              | 125°C     |              |
|--------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 誤差類型   | 增益        | 補償            | 增益        | 補償            | 增益        | 補償            | 增益        | 補償           | 增益        | 補償           |
| 離散式 IA | -0.60853% | -4.09 mV      | -0.70079% | -3.67 mV      | -0.73929% | -4.07 mV      | -0.90846% | -4.07 mV     | -0.95486% | -3.69 mV     |
| 通用 IA  | -0.02532% | 2.07 mV       | -0.03182% | 2.05 mV       | -0.00250% | 2.04 mV       | 0.00876%  | 2.12 mV      | -0.00970% | 2.21 mV      |
| 精密 IA  | 0.17320%  | -58.8 $\mu$ V | 0.08103%  | -43.2 $\mu$ V | 0.02941%  | -35.2 $\mu$ V | -0.06125% | -2.2 $\mu$ V | -0.07883% | 33.8 $\mu$ V |

**表 2.** 增益與偏移誤差 (RTO) 與溫度的比較 (增益 = 10 V/V)。

從性能角度而言，**表 1** 和 **表 2** 顯示在沒有外部  $R_G$  的情況下，精密雙電源 IA 優於所有其它解決方案。從增益誤差的角度而言，通用與精密 IA 解決方案不相上下。這主要是因為外部  $R_G$  需要  $G = 10$  V/V 精密 IA 實作，而通用解決方案則整合了  $R_G$ 。若檢視偏移誤差，顯然精密 IA 解決方案最為準確，而通用偏移誤差則約為離散式解決方案的一半。整體而言，相較於兩種整合式解決方案，離散式 IA 的性能明顯較差。

## 結論

雖然許多設計人員通常會在低成本應用中實作離散式解決方案，但是新的通用 IA (例如 TI 的 **INA350**) 可能可協助降低整體成本與提高性能。視增益而定，如 **INA333** 等精密 IA 可提供優異的性能和增益範圍，但是外部  $R_G$  是影響性能的重要因素，尤其是隨著溫度變化更是如此。

**表 3** 總結了比較結果。

|        | PCB 面積                | 增益範圍              | 效能 | 成本       |
|--------|-----------------------|-------------------|----|----------|
| 離散式 IA | 48.78 mm <sup>2</sup> | 1 V/V 至 @100 V/V  | 良好 | \$\$     |
| 通用 IA  | 16.79 mm <sup>2</sup> | 10、20、30、50 V/V   | 更佳 | \$       |
| 精密 IA  | 29.7 mm <sup>2</sup>  | 1 V/V 至 1,000 V/V | 最佳 | \$\$\$\$ |

**表 3.** 雙電源 IA 電路解決方案的比較。

下次您設計雙電源 IA 時，請權衡本文所述的相關取舍。針對要求達到最高準確度的應用，精密 IA 是顯而易見的選擇。而對於需要符合成本效益之性能的應用，其選擇已不再是建置離散式 IA 那麼簡單的選擇。新的通用 IA 可提供大幅高於離散式解決方案的性能，同時佔用的 PCB 面積更少，也可降低系統成本。

**重要聲明：**本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated