

## Application Note

## 適用於電壓感測應用的差動、單端固定增益和比率輸出隔離式放大器



Alexandra Torres

## 摘要

德州儀器推出 AMC0xxxD/S/R 系列產品，這是全新的隔離式 AC 和 DC 電壓感測放大器產品組合，提供了差動輸出、單端固定增益和比率輸出選項。

## 目錄

|                           |   |
|---------------------------|---|
| 1 簡介.....                 | 2 |
| 2 差動輸出、單端固定增益和比率輸出概覽..... | 2 |
| 2.1 具有差動輸出的隔離放大器.....     | 2 |
| 2.2 具單端固定增益輸出的隔離放大器.....  | 2 |
| 2.3 具單端比率輸出的隔離式放大器.....   | 5 |
| 3 應用示例.....               | 8 |
| 3.1 產品選擇樹.....            | 8 |
| 4 摘要.....                 | 9 |
| 5 參考資料.....               | 9 |

## 註冊商標

所有商標均為其各自所有者的財產。

## 1 簡介

有多個汽車系統和工業系統在嚴苛環境中以高電壓運作，因此高性能隔離式電壓感測設計對於維持系統效率和長期可靠性至關重要。選擇正確的隔離式放大器需要考量多種因素，例如系統準確度、PCB 空間，以及裝置實作所在系統的成本。為了設計出精準精度更高、尺寸更小、成本更低的系統，同時滿足性能要求，德州儀器推出了 AMC0xxD/S/R 系列產品，這是全新的隔離式 AC 和 DC 電壓感測放大器產品組合，提供了差動輸出、單端固定增益和比率輸出選項。

## 2 差動輸出、單端固定增益和比率輸出概覽

### 2.1 具有差動輸出的隔離放大器

在需要高準確度，雜訊抗擾度及訊號完整性設計的系統中，差動輸出放大器廣受青睞。差動輸出放大器提供正負兩個輸出，兩者幅度相等，但相位相反。由於差動輸出放大器具備兩個平衡輸出訊號，因此能夠在不造成訊號衰減的情況下處理接地偏移，使其成為高精密度和高性能應用的不二之選。由於放大器對接地偏移不敏感，因此這些裝置可進行長距離輸出訊號佈線，並不會影響訊號的完整性。

差動輸出放大器有幾個設計考量因素。其中一項考量就是 PCB 配置。PCB 配置不良會影響放大器維持準確共模輸出電壓的能力。由於差動放大器需仰賴反相及非反相路徑，因此若要減少輸出誤差，就必須確定兩條輸出線路的 PCB 走線長度相等，以維持對稱性。有幾種不同的設計選項可將差動輸出放大器與類比轉數位轉換器 (ADC) 配置在一起。選項一 (如圖 2-1 所示) 是直接將差動輸出放大器連接至差動輸入 ADC 的配置。不過，像 MSP430 和 C2000 等處理器都內嵌了單端輸入 ADC。此考量需要將差動訊號轉換為單端訊號以直接與 ADC 介接。將差動轉換為單端輸出是輸出到單端輸入 ADC 的最佳設計，如圖 2-1 中的選項 2 所示。

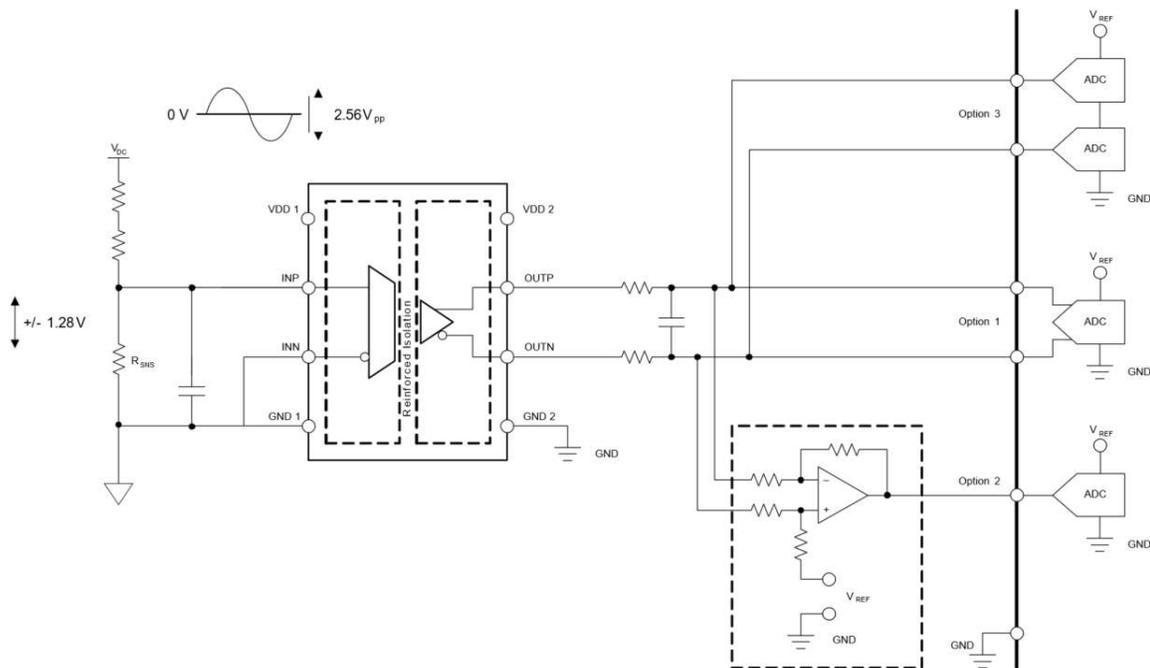


圖 2-1. 差動輸出配置

此配置加入了額外的放大器，將差動訊號轉換為直接輸出至 ADC 的單端訊號。如需將差動器連接到單端輸出級的更多資訊，請參閱《[±250 mV 輸入範圍和單端輸出電壓的隔離電流感測電路](#)》一文中的類比工程師電路。另一種設計是使用兩個單端輸入 ADC 並在 MCU 中將數值相減，如圖 2-1 中的選項 3 所示。然而，選項 3 的缺點是誤差會累積，且需要額外的 ADC，因此該選項的吸引力較低。

### 2.2 具單端固定增益輸出的隔離放大器

該新產品系列為無需差動輸出的緊湊型設計提供了替代裝置選項。差動與單端輸出放大器之間的差異主要體現在其處理雜訊，輸出訊號的方式及設計特性上的不同。該新產品系列推出了兩種單端放大器選項，分別是固定增益單端放大器及比率增益單端放大器。

單端固定增益放大器因易於使用且符合成本效益而廣受青睞。單端固定增益放大器可以輸出與放大器輸入電壓成比例的單端訊號。由於本裝置設計為直接與單端輸入 ADC 介接，因此不再需要如先前在圖 2-1 中所述的額外差動轉單端放大器轉換級。因此，此設計所需的元件更少，可以實現更小的設計尺寸、更低的 BOM 成本，非常適合緊湊型系統。

單端固定增益裝置的設計考量之一是接地雜訊靈敏度。接地電位的波動可能會產生雜訊或誤差，進而導致輸出訊號失真，但只要選擇適當的接地和元件選擇即可消除此現象。若未能將此因素納入考量，可能會降低訊噪比及整體性能。另一項設計考量是應用於裝置參考 (REFIN) 針腳的電壓。裝置的針腳配置如圖 2-4 所示。圖 2-2 展示了 AMC0x11S 裝置的輸入到輸出傳輸特性，該單端固定增益輸出裝置的輸入電壓範圍為 0 至 2.25V。

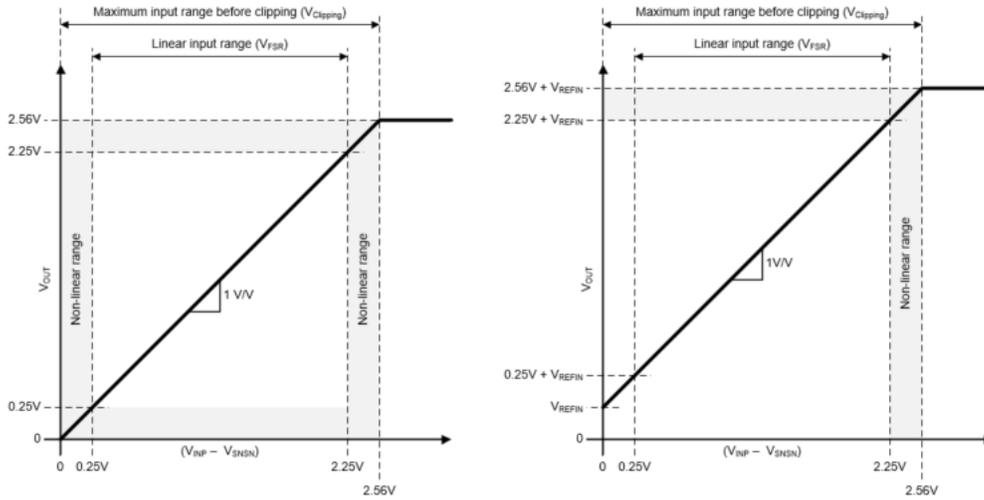


圖 2-2. AMC0x11S 的輸入到輸出傳輸特性

左圖展示了 REFIN 短接到 GND2 的情況。右圖展示了當  $V_{REFIN} = 250\text{mV}$  時的情況。向 REFIN 供應  $\geq 250\text{mV}$  的電壓可將線性輸入電壓範圍延伸至 0V。輸出緩衝器需要最小 250mV 的空餘空間，才能進行線性運作。因此當 REFIN 短接到 GND2 時，裝置在輸入電壓接近 0V 時會顯示出非線性行為。AMC0x11S 裝置的輸出電壓公式為：

**AMC0x11S 的輸出電壓：**

$$V_{OUT} = (V_{INP} - V_{SNSN}) + V_{REFIN} \tag{1}$$

AMC0x30S 裝置是輸入電壓範圍為 ±1V 的單端固定增益裝置，其輸出與輸入電壓 ( $V_{IN}$ ) 成正比，其中 REF<sub>IN</sub> 參考的是 GND<sub>2</sub>。輸出可以透過以下公式定義：

**AMC0x30S 的輸出電壓：**

$$V_{OUT} = (V_{INP} - V_{SNSN}) + V_{REFIN} \tag{2}$$

图 2-3 展示了 AMC0x30S 裝置的輸入到輸出傳輸特性。若輸入電壓低於 - 1V 或高於 +1V，則裝置的輸出會繼續遵循輸入，但線性性能會降低。

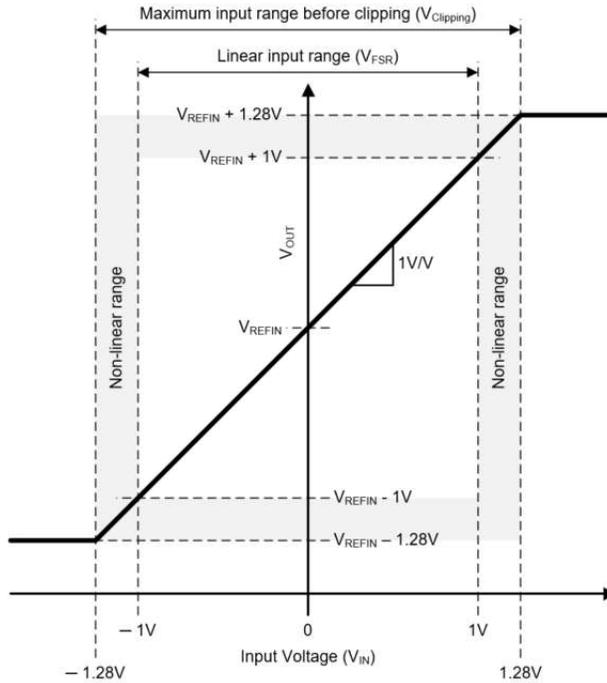


图 2-3. AMC0x30S 的輸入到輸出傳輸特性

## 2.3 具單端比率輸出的隔離式放大器

為了提供全方位的裝置產品組合，滿足對高性能、符合成本效益及縮小系統尺寸的需求，新產品系列包括具有比率輸出的單端裝置選項。新產品系列的單端比率輸出裝置經過設計，可根據 ADC 參考電壓等比調整增益。固定增益輸出的缺點之一，就是固定增益只能提供 2V 輸出擺幅。配備 5V 類比 IO 的系統只能使用 50% 的 ADC 輸入範圍，因此在測量中會損失 1 位元解析度。比率輸出可確保放大器充分利用 ADC 動態範圍，進而實現最大的測量解析度。圖 2-4 並圖 2-5 分別說明比率裝置的兩種不同設定：

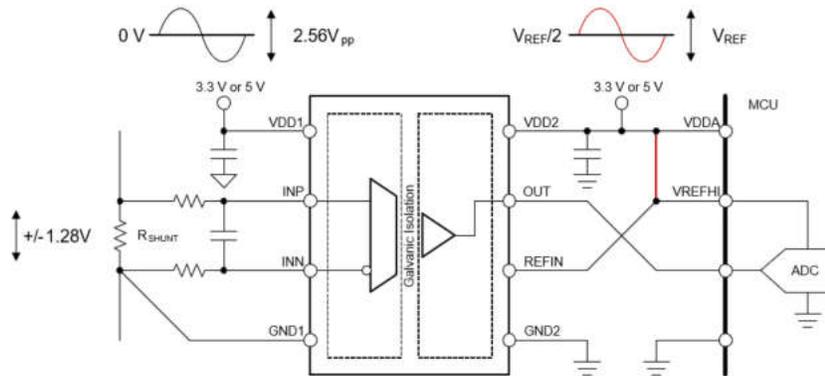


圖 2-4. 由供電導出的參考電壓

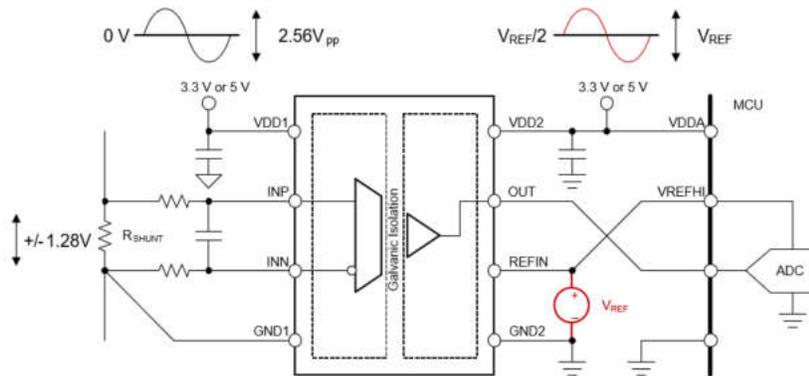


圖 2-5. 由外部參考提供的參考電壓

從電源供應軌獲得參考電壓有助於降低成本，因為所需的元件較少。然而，從外部參考導出的參考電壓則可降低雜訊。

單端比率輸出裝置的設計使其對參考電壓值不敏感，並且能容忍不準確性和 AC 干擾。由於成本比率選項能夠提升解析度、準確度和穩定性，同時無需額外的差分轉單端放大器級，因此該裝置備受青睞，它不僅能夠節省成本、減少 PCB 空間，還有助於降低 BOM 成本，同時滿足性能規範。

單端比率裝置的設計考量之一，是 ADC 的輸入電壓範圍。由於比率裝置可支援 2.75 至 5.5V 參考電壓，因此最適合用於輸入電壓範圍為 3.3V 和 5V 的 ADC。此裝置的另一項設計考量是路由。由於 ADC 和放大器的參考電壓皆成一定比例，因此 ADC 的參考電壓必須路由至比率裝置。

圖 2-6 展示了 AMC0x30R 的輸入到輸出傳輸特性，該單端比率增益裝置的輸入電壓範圍為  $\pm 1V$ 。由於放大器偏壓在參考電壓的中點，因此該雙極輸入裝置可在  $V_{IN} = 0$  時輸出  $V_{REF}$  的 50%

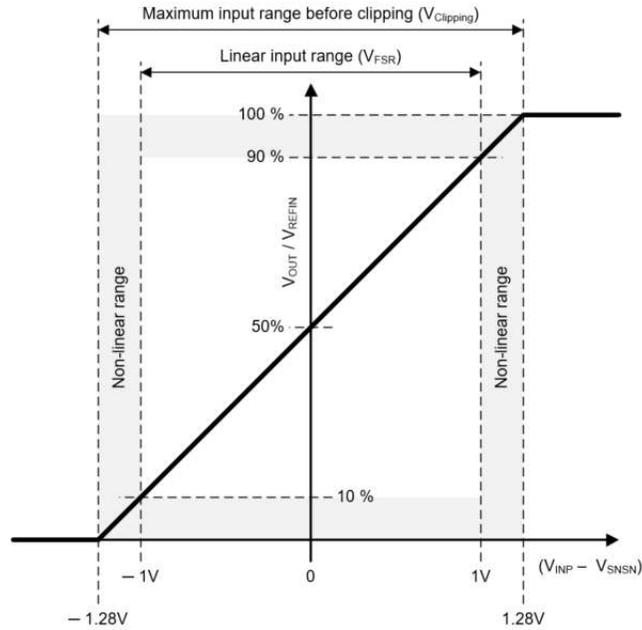


图 2-6. AMC0x30R 的輸入到輸出傳輸特性

對於指定線性輸入範圍內的任何輸入電壓，該裝置的輸出電壓皆可透過以下公式定義：

**AMC0x30R 的輸出電壓：**

$$V_{OUT} = ((V_{INP} - V_{SNSN}) / V_{Clipping}) \times V_{REFIN} / 2 + V_{REFIN} / 2. \quad (3)$$

若輸入電壓低於 - 1V 或高於 +1V，則裝置的輸出會繼續遵循輸入，但線性性能會降低。

AMC0x11R 為輸入電壓範圍為 0.13 至 2.25V 的單端比率裝置，其輸出電壓透過以下公式定義：

**AMC0x11R 的輸出電壓：**

$$V_{OUT} = ((V_{INP} - V_{SNSN}) / V_{Clipping}) \times V_{REFIN}. \quad (4)$$

與 AMC0x11S 相似，AMC0x11R 裝置在輸入電壓接近 0V 時會顯示出非線性行為，如圖 2-7 所示。

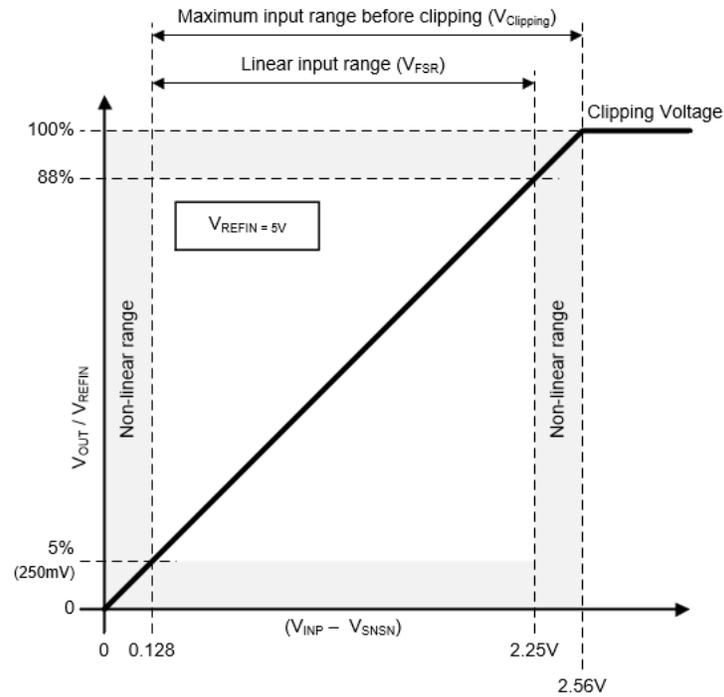


图 2-7. AMC0x11R 的輸入到輸出傳輸特性

當  $V_{REFIN}=5V$  時，線性運作的最小輸入電壓為 128mV。輸出是參考電壓的 5%，即 250mV。

線性運作的最小輸入電壓可用以下公式計算：

**AMC0x11R 線性運作的最小輸入電壓：**

$$V_{INP, MIN} = (250mV \times V_{Clipping}) / V_{REFIN} \quad (5)$$

### 3 應用示例

#### 3.1 產品選擇樹

## Isolated Voltage Sensing Selection Tree: New Device Family



图 3-1. 產品選擇樹

新系列產品提供六個強化隔離式電壓感測放大器選項，可為 DC 應用提供 0-2V 輸入電壓範圍，並為 AC 應用提供 ±1V 輸入電壓範圍。AMC0311D、AMC0311R 和 AMC0311S 裝置支援單極輸入選項的 DC 電壓感測，而 AMC0330D、AMC0330R 和 AMC0330S 裝置則支援雙極輸入選項的 AC 電壓感測，如圖 3-1 所示。如需特定應用案例的詳細資訊，包括 AC 與 DC 電壓感測放大器在電源轉換與馬達控制拓撲結構中的使用案例，請參閱《[透過隔離式電壓感測最大化電源轉換與馬達控制效率](#)》行銷白皮書。

## 4 摘要

為電壓感測應用選擇隔離式放大器時，需要考量許多決策。新產品系列中的裝置提供差動輸出及單端輸出放大器選項，旨在縮減設計尺寸、降低成本，同時提升準確度。

## 5 參考資料

- 德州儀器，[《DIYAMC-0-EVM 通用自製 \(DIY\) 隔離式放大器和調變器評估模組》](#)。
- 德州儀器，[《±250 mV 輸入範圍和單端輸出電壓的隔離電流感測電路》](#)類比工程師電路。
- 德州儀器，[《透過隔離式電壓感測最大化電源轉換與馬達控制效率》](#)行銷白皮書。
- 德州儀器，[《以可靠且經濟實惠的隔離技術解決高電壓設計挑戰》](#)行銷白皮書。

## 重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated