

# Analog Engineer's Circuit

## 絶縁アンプと差動入力 SAR ADC を使用した $\pm 12V$ の電圧センシング回路



Alex Smith

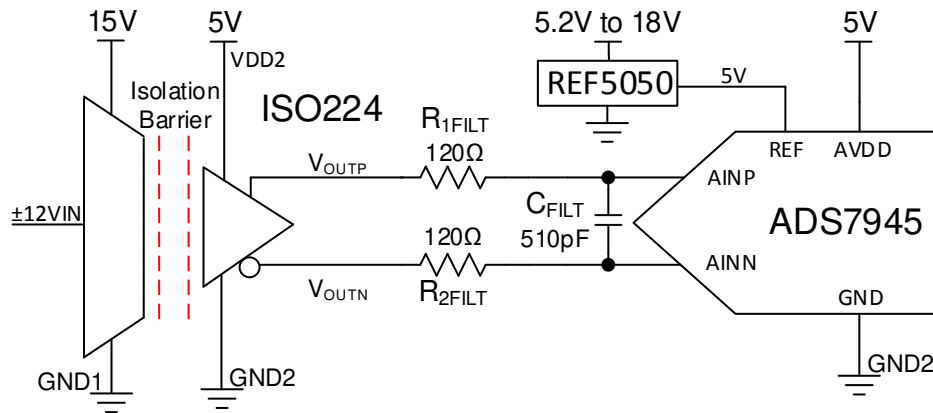
ISO224 入力電圧	ISO 出力、ADC 入力 ( $V_{OUTP} - V_{OUTN}$ )	デジタル出力 ADS7945
+12V	+4V	1999 <sub>H</sub>
-12V	-4V	E666 <sub>H</sub>

電源および基準電圧		
VDD1	VDD2 および AVDD	REF5050 の外部基準電圧
15V	5V	5V

### 設計の説明

この回路は、ISO224 絶縁アンプと ADS745 SAR ADC を活用して  $\pm 12V$  の絶縁電圧センシングを行います。ISO224 は  $\pm 12V$  の真の差動信号を  $1/3V/V$  の固定ゲインで測定し、VDD2/2 の出力同相電圧で絶縁差動出力電圧を生成できます。ADS7945 は、フルスケール入力電圧が  $\pm V_{REF}$ 、同相入力電圧が  $V_{REF}/2 \pm 200mV$  の完全差動入力 ADC です。+5V の基準電圧を選択すると、ADS7945 は ISO224 からのフルスケールおよび同相出力に対応できます。ISO224 の出力を完全差動入力 ADC でキャプチャすると、シングルエンド変換と比べてシステムのダイナミックレンジは 2 倍になります。保護リレー、チャンネル間絶縁された  $\pm 10V$  アナログ入力カード、インバータとモーター制御など多くの産業用高電圧アプリケーションに適用できます。本書の「部品選定」の式と説明は、各システムの仕様や要求に応じてカスタマイズできます。



### 仕様

仕様	計算結果	シミュレーション結果
100kSPS での ADC 過渡入力電圧セトリング	305 $\mu V$	11 $\mu V$
コンディショニングされた信号の範囲	$\pm 4V$	$\pm 4V$
入力でのノイズ	1.9mV <sub>RMS</sub>	1.73mV <sub>RMS</sub>
閉ループ帯域幅	175kHz	185kHz

## デザイン ノート

1. 低消費電力であること、アナログ入力構造が **ISO224** と互換であることから、**ADS7945** を選択しました。
2. システムが、目的の入力信号範囲について線形動作することを確認します。これは、「DC 伝達特性」セクションで、シミュレーションにより検証しています。
3. 歪みを最小限に抑えるため、**C<sub>FILT</sub>** には **C0G** コンデンサを選択します。
4. 『[Understanding and Calibrating the Offset and Gain for ADC Systems](#)』で、誤差解析の方法を説明しています。ゲイン、オフセット、ドリフト、およびノイズの誤差を最小限に抑える方法については、リンク先をご覧ください。
5. **TI プレシジョン ラボ - ADC** トレーニング ビデオ シリーズでは、電荷バケツ回路の **R<sub>FILT</sub>** と **C<sub>FILT</sub>** を選択する方法について解説しています。これらの部品の値はアンプの帯域幅、データコンバータのサンプリングレート、データコンバータの設計に依存します。ここに示す値は、この例のアンプとデータコンバータで適切なセトリングと **AC** 性能を実現します。設計を変更する場合は、別の **RC** フィルタを選定する必要があります。最高水準のセトリングと **AC** 性能を実現する **RC** フィルタの選定方法については、『[Introduction to SAR ADC Front-End Component Selection](#)』を参照してください。

## 部品選定

1. 入力電圧範囲に基づいて絶縁アンプを選択し、出力同相電圧および出力電圧の範囲を決定します。

### ISO224:

- $\pm 12\text{V}$  のシングルエンド入力範囲
  - $\frac{1}{3}$  の固定ゲインによる  $\pm 4\text{V}$  の差動出力
  - $+2.5\text{V}$  の出力同相電圧
  - ハイサイド電源  $4.5\text{V} \sim 18\text{V}$ 、ローサイド電源  $4.5\text{V} \sim 5.5\text{V}$
  - 入力オフセット:  $25^\circ\text{C}$  で  $\pm 5\text{mV}$ 、 $\pm 42\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  (最大値)
  - ゲイン誤差:  $25^\circ\text{C}$  で  $\pm 0.3\%$ 、 $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$  (最大値)
  - 非線形性:  $\pm 0.01\%$ 、 $\pm 1\text{ppm}/^\circ\text{C}$  (最大値)
  - $1.25\text{M}\Omega$  の高い入力インピーダンス
2. **ISO224** の  $+2.5\text{V}$  の同相および  $\pm 4\text{V}$  の差動出力と組み合わせるため、適切な同相および差動入力範囲の **ADC** を選択します。

### ADS7945:

- $\pm 5\text{V}$  の最大アナログ入力範囲
  - フルスケール入力範囲は  $\pm$  基準電圧で設定
  - 入力同相範囲は  $V_{\text{REF}}/2 \pm 0.2\text{V}$
  - $2.7\text{V} \sim 5.25\text{V}$  の電源
  - $84\text{dB}$  の高 **SNR**、 $2\text{Msps}$  で  $11.6\text{mW}$  の低消費電力
3. **ISO224** の同相出力  $2.5\text{V}$  と、**ADS7945** の同相入力電圧  $V_{\text{REF}}/2 \pm 0.2\text{V}$  により設定される同相制限をサポートできる基準電圧を選択します。これは、基準出力電圧が  $5\text{V}$ 、低ノイズである必要があり、入力電圧は構成可能が望ましいことを意味します。

### REF5050:

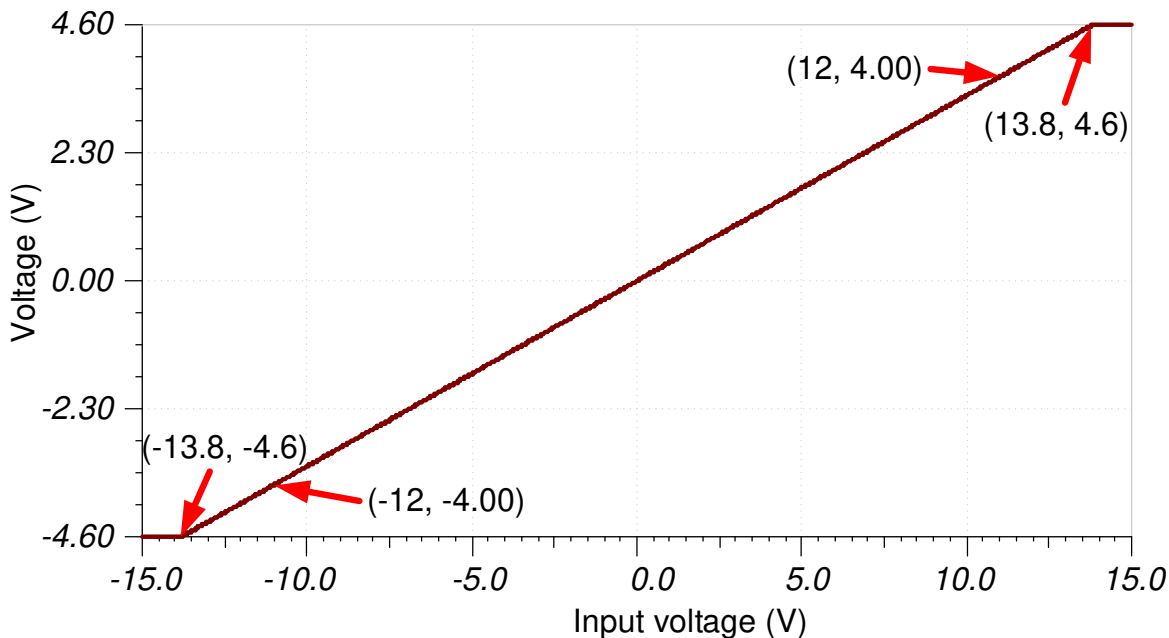
- $5\text{V}$  出力
  - $5.2\text{V} \sim 18\text{V}$  の入力電圧の電源
  - $3\mu\text{VPP}/\text{V}$  のノイズ
4. 入力信号のセトリングと  $100\text{kps}$  のサンプルレートに合わせて **R<sub>1FILT</sub>**、**R<sub>2FILT</sub>**、**C<sub>FILT</sub>** を選択します。

**TI Precision Labs** のビデオ『[Refine the R<sub>FILT</sub> and C<sub>FILT</sub> Values](#)』では、**R<sub>FILT</sub>** と **C<sub>FILT</sub>** の選定方法を説明しています。最終的に、 $120\Omega$  と  $510\text{pF}$  という値で、アキュイジション時間内に最下位ビット (**LSB**) の  $1/2$  を優に下回るまでセトリングできることが分かりました。

## DC 伝達特性

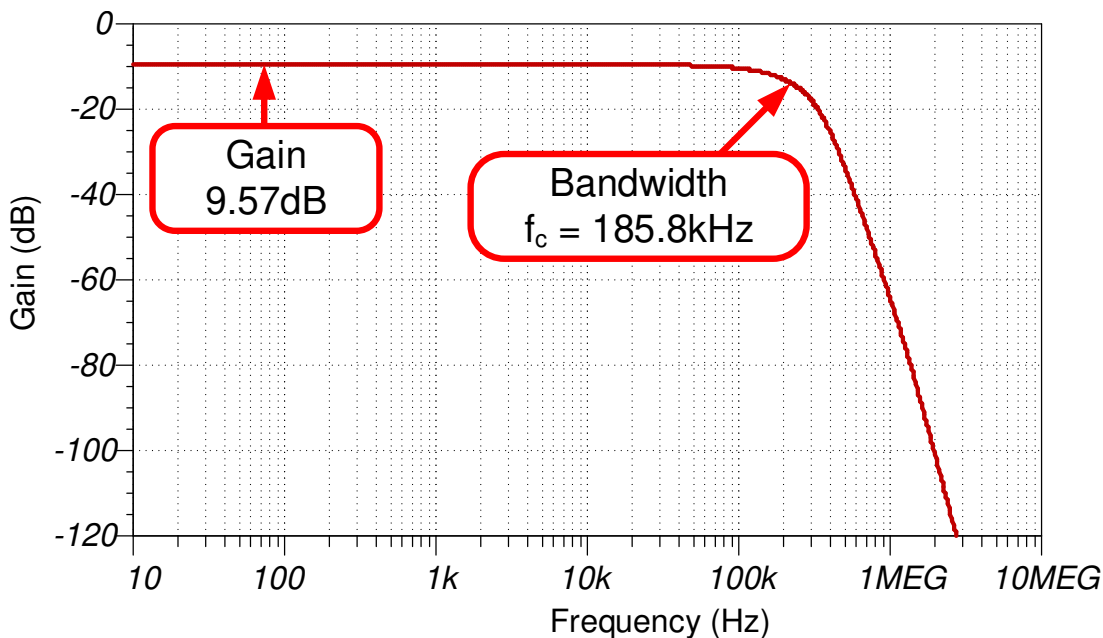
次のグラフは、 $\pm 15\text{V}$  の入力に対する出力のシミュレーション結果を示しています。目標の線形範囲は、 $\pm 12\text{V}$  入力に対して  $\pm 4\text{V}$  の出力です。このシミュレーションは、線形出力範囲が要件を十分上回る約  $\pm 4.6\text{V}$  であることを示しています。

この伝達関数は、**ISO224** のゲインが  $\frac{1}{3}$  であること (すなわち、ゲイン  $V_{\text{IN}} = V_{\text{OUT}}$ 、 $(\frac{1}{3}) \cdot (12\text{V}) = 4\text{V}$ ) を示しています。



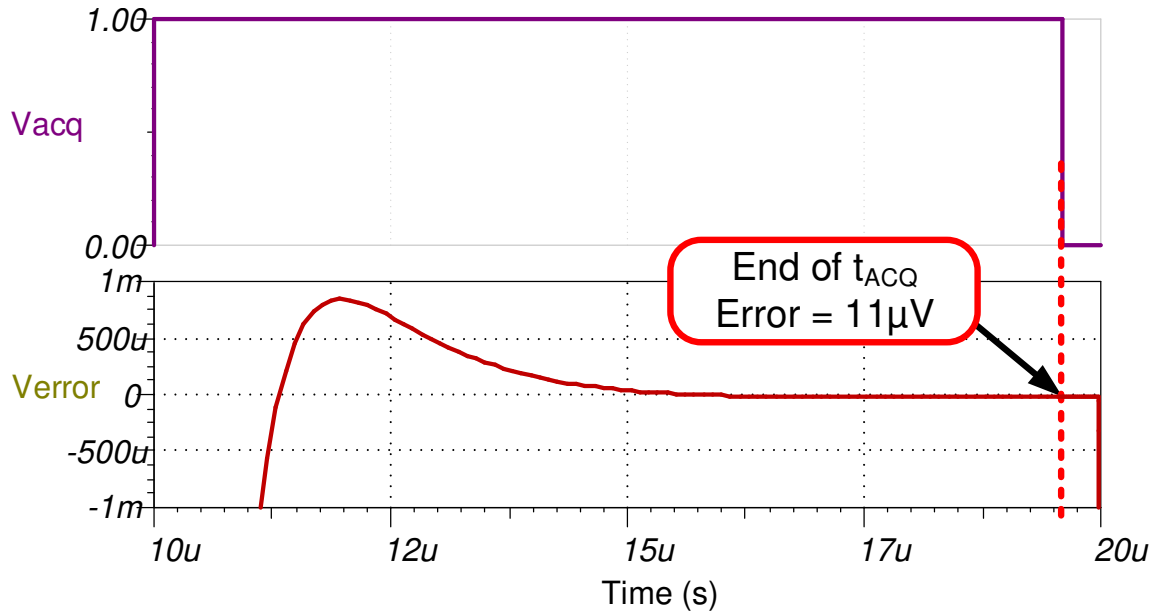
### AC 伝達特性

シミュレートされた帯域幅は約 186kHz、ゲインは -9.57dB (または 0.332V/V) であり、これは、ISO224 のゲインと帯域幅の期待値 (仕様値:  $f_c = 175\text{kHz}$ 、ゲイン = 0.333V/V) とほぼ一致しています。



### ADC 過渡入力電圧セトリング シミュレーション

以下に、アキュイジション時間が 9.6 $\mu\text{s}$  のときの過渡セトリングのシミュレーション結果を示します。11 $\mu\text{V}$  のセトリング誤差は、 $0.5 \times \text{LSB}$  の制限である 305 $\mu\text{V}$  を十分に下回っています。この件の詳しい理論については、『[Refine the Rfilt and Cfilt Values](#)』を参照してください。



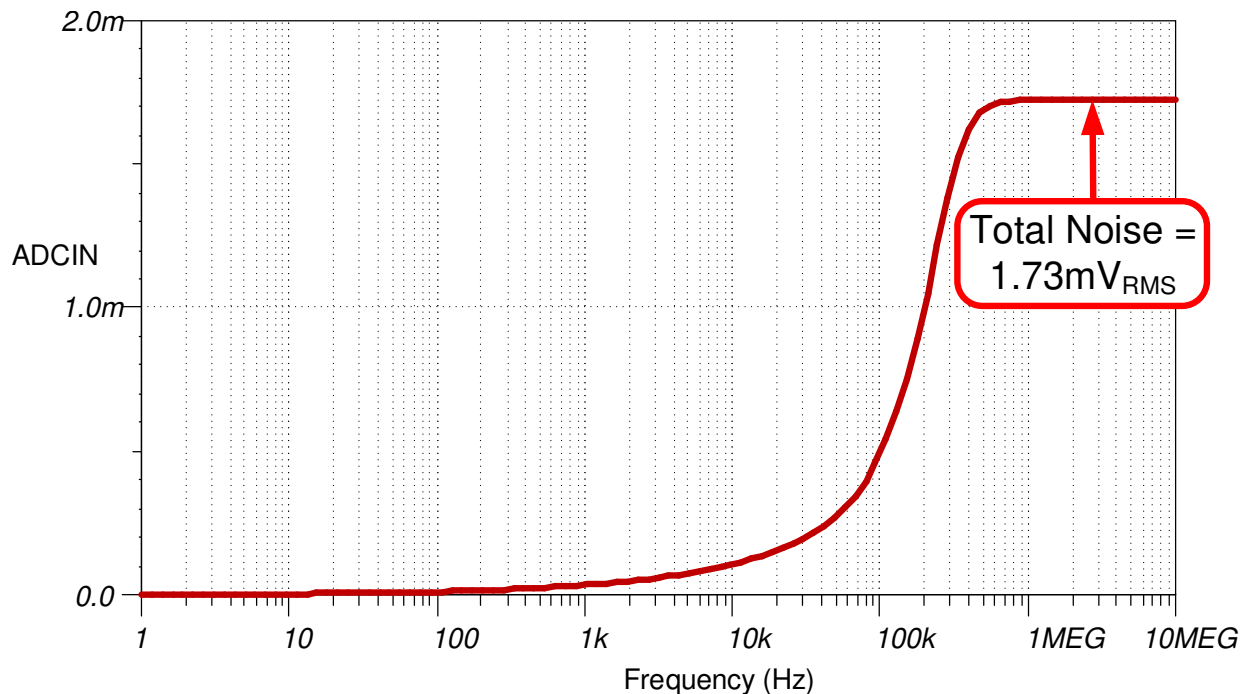
### ノイズ シミュレーション

以下のノイズの計算では、ISO224 のノイズのみに着目しています。ISO224 のノイズは、回路内のその他のノイズ源よりもはるかに大きいため、総ノイズは ISO224 のノイズに等しいと近似できます。B グレードについても同じ方法を使用できます。

$$E_{nISO224A} = Gain(e_n)\sqrt{1.57 \cdot BW}$$

$$E_{nISO224A} = \frac{1}{3}(4\mu V / \sqrt{Hz})\sqrt{1.57 \cdot 176kHz} = 0.7mV_{RMS}$$

ノイズのシミュレーション結果は、計算された期待値を上回っています。この差は、シミュレーション モデルでのノイズのピーキングが原因です。ノイズのピーキングは計算に含まれていません。この件の詳しい理論については、『[Calculating the Total Noise for ADC Systems](#)』を参照してください。



## 使用デバイス

デバイス	主な特長	リンク	類似デバイス
ISO224	±12V のシングルエンド入力範囲、 $\frac{1}{3}$ の固定ゲイン、±4V の差動出力を生成、出力同相電圧 +2.5V、ハイサイド電源 4.5V~18V、ローサイド電源 4.5V~5.5V、入力オフセット: 25°C で ±5mV、最大値 ±42 $\mu$ V/°C、ゲイン誤差: 25°C で ±0.3%、最大値 ±50ppm/°C、非直線性: 最大値 ±0.01%、±1ppm/°C、1.25M $\Omega$ の高入力インピーダンス	<a href="http://www.ti.com/product/ISO224">www.ti.com/product/ISO224</a>	<a href="http://www.ti.com/isoamps">www.ti.com/isoamps</a>
ADS7945	±5V の最大アナログ入力範囲、フルスケール入力スパンは ± 基準電圧で設定、入力同相範囲は $V_{REF}/2 \pm 0.2V$ 、電源 2.7V~5.25V、84dB の高い SNR、2Msps で 11.6mW の低消費電力	<a href="http://www.ti.com/product/ADS7945">www.ti.com/product/ADS7945</a>	<a href="http://www.ti.com/opamps">http://www.ti.com/opamps</a>
REF5050	ドリフト: 3ppm/°C、初期精度: 0.05%、ノイズ: 4 $\mu$ Vpp/V	<a href="http://www.ti.com/product/REF5050">www.ti.com/product/REF5050</a>	<a href="http://www.ti.com/vref">http://www.ti.com/vref</a>

## 設計の参照資料

テキサス・インスツルメンツの総合的な回路ライブラリについては、『[アナログ エンジニア向け回路クックブック](#)』を参照してください。

## 主要なファイルへのリンク

[絶縁設計の TINA ファイル](#)を参照してください。

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated