

## Analog Engineer's Circuit

 **$\pm 12$  V-Spannungssensorschaltung mit isoliertem Verstärker und SAR-ADC mit Differenzeingang**

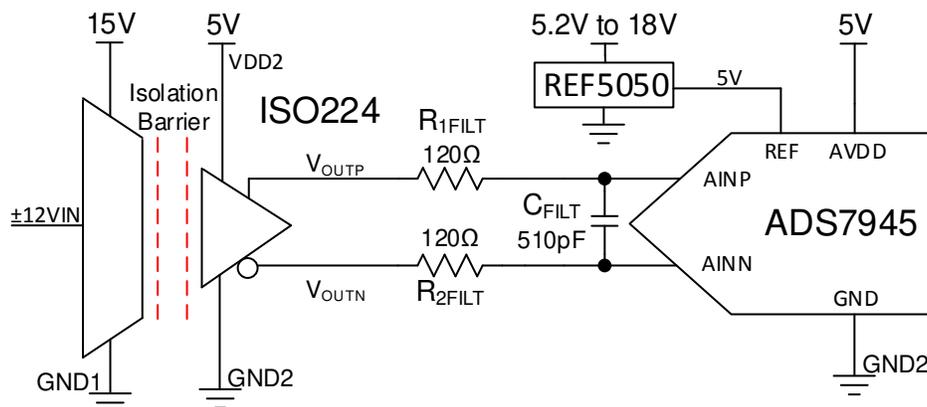
Alex Smith

ISO224 Eingangsspannung	ISO-Ausgang, ADC-Eingang ( $V_{OUTP} - V_{OUTN}$ )	Digital-Ausgang ADS7945
+12 V	+4 V	1999 <sub>H</sub>
-12 V	-4 V	E666 <sub>H</sub>

Stromversorgungen und Referenzspannungen		
VDD1	VDD2 und AVDD	REF5050 Externe Referenz
15 V	5 V	5 V

**Designbeschreibung**

Dieser Schaltkreis führt eine isolierte Spannungsmessung von  $\pm 12$  V unter Verwendung des isolierten Verstärkers **ISO224** und des SAR-ADC **ADS7945** durch. Der **ISO224** kann echte Differenzialsignale von  $\pm 12$  V mit einer festen Verstärkung von  $\frac{1}{3}$  V/V messen und erzeugt eine isolierte differenzielle Ausgangsspannung mit einer Gleichtaktspannung von  $V_{DD2} / 2$ . Der **ADS7945** ist ein ADC mit vollständig differenziellem Eingang, einer Vollausschlag-Eingangsspannung von  $\pm V_{REF}$  und einer Gleichtakt-Eingangsspannung von  $V_{REF} / 2 \pm 200$  mV. Die Auswahl einer +5 V-Referenz ermöglicht es dem **ADS7945**, die Vollausschlag- und Gleichtaktausgänge des **ISO224** zu akzeptieren. Die Erfassung des **ISO224**-Ausgangs mit einem A/D-Wandler mit vollständig differenziellem Eingang verdoppelt den Dynamikbereich des Systems im Vergleich zu einer unsymmetrischen Wandlung. Viele industrielle Hochspannungsanwendungen wie [Schutzrelais](#), [Kanal-zu-Kanal isolierte  \$\pm 10\$  V Analog-Eingangskarten](#), und [Inverter & Motorsteuerung](#). Die Gleichungen und Erklärungen zur Komponentenauswahl in diesem Design können auf der Grundlage der Anforderungen und Systemspezifikationen des Endgerätes angepasst werden.

**Spezifikationen**

Spezifikation	Berechnet	Simuliert
Einschwingverhalten des transienten ADC-Eingangs bei 100 kSPS	305 $\mu$ V	11 $\mu$ V
Konditionierter Signalbereich	$\pm 4$ V	$\pm 4$ V

Spezifikation	Berechnet	Simuliert
Rauschen (am Eingang)	1,9 mV <sub>RMS</sub>	1,73 mV <sub>RMS</sub>
Geschlossener Regelkreis-Bandbreite	175 kHz	185 kHz

## Designhinweise

- Der [ADS7945](#) wurde aufgrund seines geringen Stromverbrauchs und einer kompatiblen analogen Eingangsstruktur mit dem [ISO224](#) ausgewählt.
- Überprüfen Sie den linearen Betrieb des Systems für den gewünschten Eingangssignalebereich. Dies wird mithilfe der Simulation im Abschnitt Merkmale der Gleichstromübertragung überprüft.
- Wählen Sie COG-Kondensatoren für  $C_{\text{FILT}}$ , um Verzerrungen zu minimieren.
- [Das Verständnis und die Kalibrierung von Offset und Verstärkung für ADC-Systeme](#) umfasst Methoden zur Fehleranalyse. Unter dem Link finden Sie Methoden zur Minimierung von Verstärkungs-, Offset-, Drift- und Rauschfehlern.
- In der Schulungsvideoreihe [TI Precision Labs – ADCs](#) werden Methoden zur Auswahl der Ladeschaltkreise  $R_{\text{FILT}}$  und  $C_{\text{FILT}}$  behandelt. Diese Komponentenwerte sind von der Verstärkerbandbreite, der Abtastrate des Datenwandlers und dem Design des Datenwandlers abhängig. Die hier gezeigten Werte liefern eine gute Einschwingleistung und AC-Leistung für den Verstärker und den Datenwandler in diesem Beispiel. Wenn das Design geändert wird, muss ein anderer RC-Filter ausgewählt werden. Eine Erklärung zur Auswahl des RC-Filters für die beste Einschwingleistung und AC-Leistung finden Sie unter [Einführung zur Auswahl der SAR-ADC-Frontend-Komponenten](#).

## Komponentenauswahl

- Wählen Sie einen isolierten Verstärker anhand des Eingangsspannungsbereichs aus, und legen Sie die Ausgangsgleichtaktspannung und den Ausgangsspannungsbereich fest:

### ISO224:

- $\pm 12$  V unsymmetrischer Eingangsbereich
  - Feste Verstärkung von  $\frac{1}{3}$ , mit einem Differenzausgang von  $\pm 4$  V
  - Ausgangsgleichtaktspannung von +2,5 V
  - High-Side-Stromversorgung mit 4,5 bis 18 V, Low-Side-Stromversorgung mit 4,5 bis 5,5 V
  - Eingangsoffset:  $\pm 5$  mV bei 25 Grad Celsius, max.  $\pm 42$   $\mu$ V Grad Celsius
  - Verstärkungsfehler:  $\pm 0,3$  % bei 25 Grad Celsius, max.  $\pm 50$  ppm Grad Celsius
  - Nichtlinearität: Max.  $\pm 0,01$  %,  $\pm 1$  ppm Grad Celsius
  - Hohe Eingangsimpedanz von 1.25 M $\Omega$
- Wählen Sie einen ADC mit einem geeigneten Gleichtakt- und Differenzeingangsbereich zur Kopplung mit dem +2,5 V-Gleichtakt- und  $\pm 4$  V-Differenzausgang des ISO224:

### ADS7945:

- $\pm 5$  V maximaler Analogeingangsbereich
  - Vollausschlag-Eingangsbereich durch  $\pm$ -Spannungsreferenz eingestellt
  - Eingangsgleichtaktbereich von  $V_{\text{REF}} / 2 \pm 0,2$  V
  - 2,7 V bis 5,25 V-Stromversorgung
  - Hoher Rauschabstand von 84, geringer Stromverbrauch von 11,6 mW bei 2 Msps
- Wählen Sie eine Spannungsreferenz, die die Gleichtaktbeschränkung unterstützt, die durch den 2,5 V-Gleichtaktausgang des [ISO224](#) und die  $V_{\text{REF}} / 2 \pm 0,2$  V-Gleichtakt-Eingangsspannung des ADS7945 eingestellt ist. Das bedeutet, dass die Referenzausgangsspannung 5 V betragen muss und eine konfigurierbare Eingangsspannung bevorzugt wird:

### REF5050:

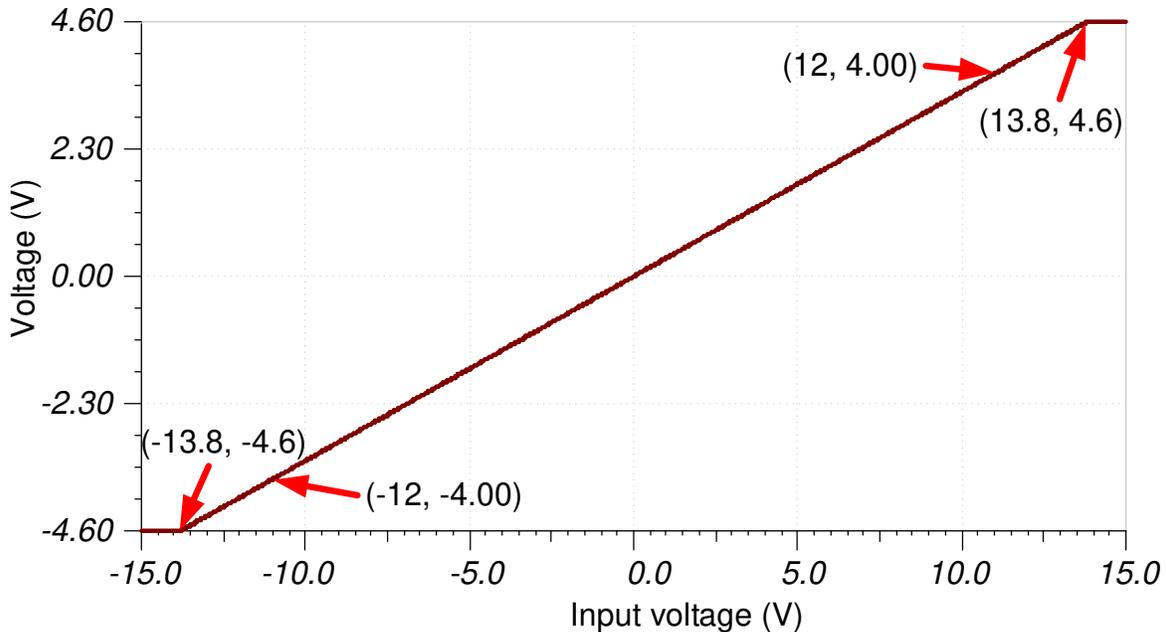
- 5 V Ausgang
  - Stromversorgung mit 5,2 V bis 18 V Eingangsspannung
  - 3  $\mu$ VPP/V Rauschen
- Wählen Sie  $R_{1\text{FILT}}$ ,  $R_{2\text{FILT}}$ , und  $C_{\text{FILT}}$  für das Einschwingverhalten des Eingangssignals und der Abtastrate von 100 kSPS:

[Refine the  \$R\_{FILT}\$  and  \$C\_{FILT}\$  Values](#) ist ein Video von TI Precision Labs, das die Methodik zur Auswahl von  $R_{FILT}$  und  $C_{FILT}$  zeigt. Der endgültige Wert von 120  $\Omega$  und 510 pF lag deutlich unter einem halben niedrigstwertigen Bit (LSB) innerhalb des Erfassungsfensters.

### DC-Übertragungskennlinie

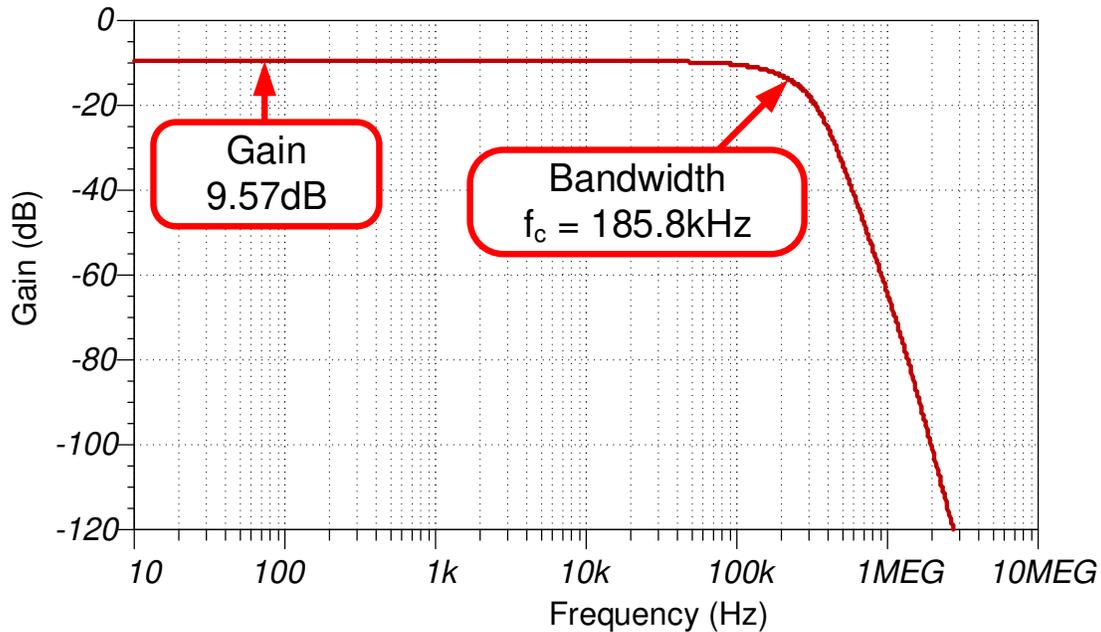
Die folgende Abbildung zeigt das simulierte Ausgangssignal bei einem Eingang von  $\pm 15$  V. Der gewünschte Linearitätsbereich ist ein  $\pm 4$  V-Ausgang für einen  $\pm 12$  V-Eingang. Diese Simulation zeigt, dass der lineare Ausgangsbereich ca.  $\pm 4,6$  V beträgt und damit die Anforderungen weit übertrifft.

Die Übertragungsfunktion zeigt, dass die ISO224-Verstärkung  $\frac{1}{3}$  beträgt (d.h. die Verstärkung  $\cdot V_{IN} = V_{OUT}$  ( $\frac{1}{3}$ )  $\cdot (12 \text{ V}) = 4 \text{ V}$ ).



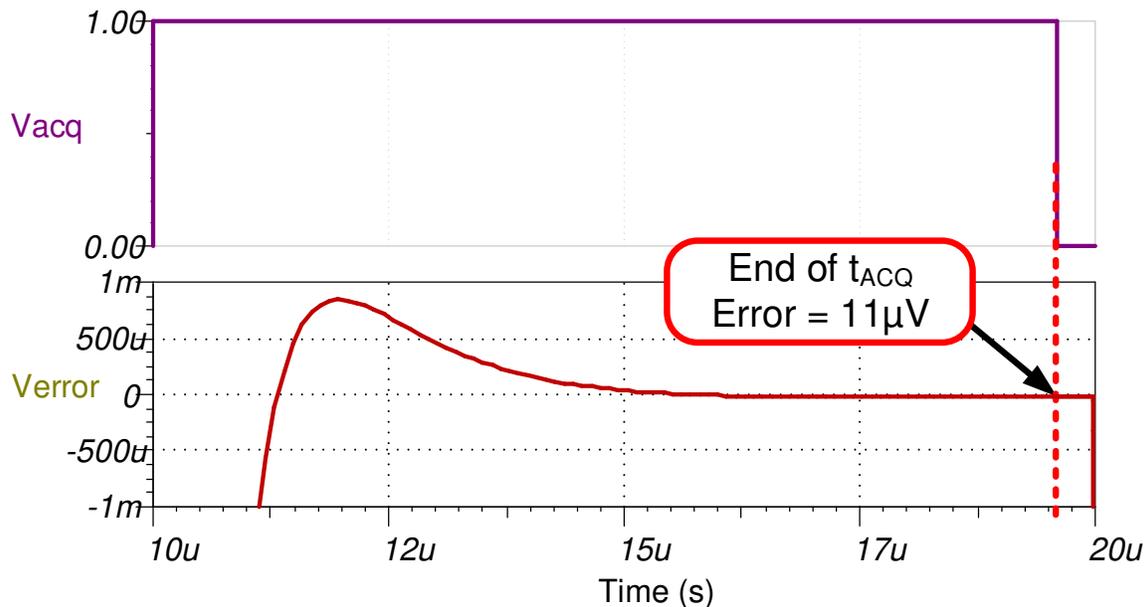
### AC-Übertragungskennlinie

Die simulierte Bandbreite beträgt ca. 186 kHz und die Verstärkung beträgt  $-9,57$  dB (oder 0,332 V/V), was der erwarteten Verstärkung und Bandbreite für den ISO224 (spezifiziert für  $f_c = 175$  kHz, Verstärkung = 0,333 V/V) sehr nahe kommt.



### Simulation der Einschwingung des ADC-Eingangs bei Transienten

Die folgende Simulation zeigt die Ergebnisse des Einschwingvorgangs bei einer Erfassungszeit von 9.6  $\mu$ s. Der 11  $\mu$ V-Einschwingfehler liegt deutlich innerhalb des  $0,5 \times$  LSB-Grenzwerts von 305  $\mu$ V. Detaillierte theoretische Informationen zu diesem Thema finden Sie unter [Verfeinern der Rfilt- und Cfilt-Werte](#).



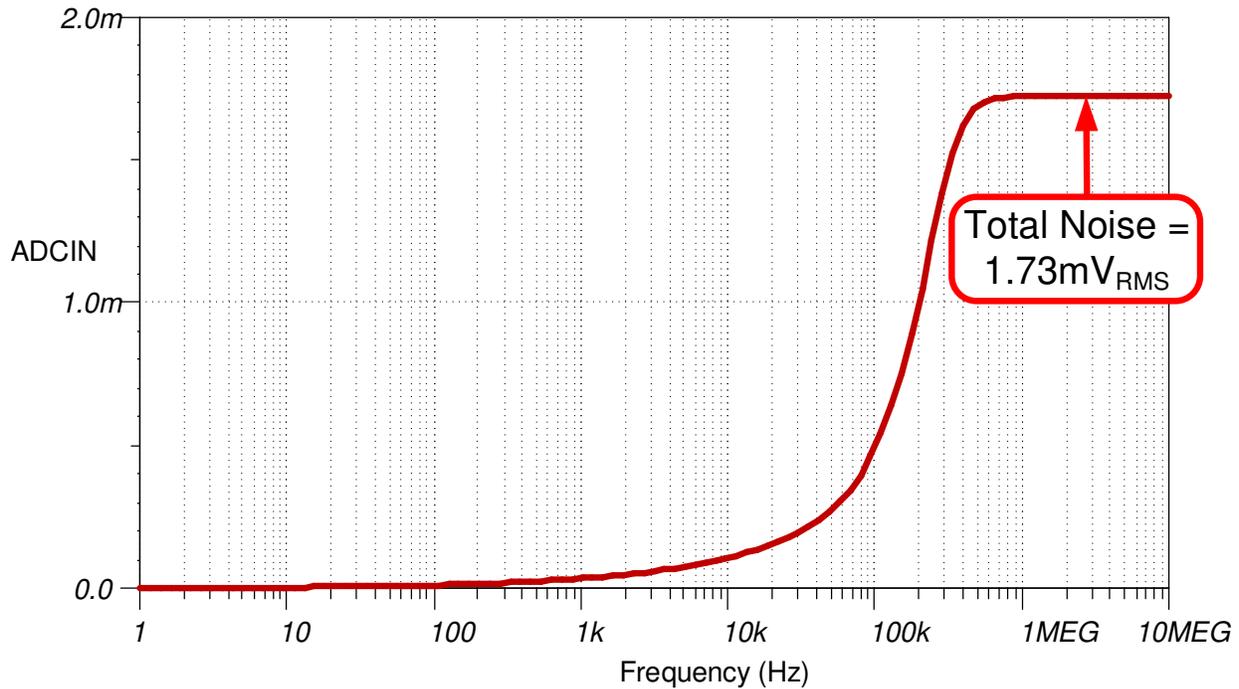
### Rauschsimulation

Die folgende Rauschberechnung betrachtet nur das Rauschen des ISO224. Das ISO224-Rauschen ist wesentlich höher als andere Rauschquellen in der Schaltung, so dass das Gesamtrauschen ungefähr als ISO224-Rauschen berechnet werden kann. Die gleiche Methode kann für die Klasse B verwendet werden.

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

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

Das simulierte Rauschen ist größer als das erwartete berechnete Rauschen. Dieser Unterschied ist auf die Rauschüberhöhung im Simulationsmodell zurückzuführen. Die Rauschüberhöhung ist in der Berechnung nicht enthalten. Ausführliche Informationen zu diesem Thema finden Sie unter [Berechnen des Gesamtrauschens für ADC-Systeme](#).



### Design vorgestellter Bausteine

Baustein	Wichtigste Leistungsmerkmale	Link	Ähnliche Bausteine
ISO224	Unsymmetrischer Eingangsbereich von $\pm 12$ V, feste Verstärkung von $\frac{1}{3}$ , Erzielung eines Differenzausgangs von $\pm 4$ V, Gleichtaktspannung der Ausgangsspannung von +2,5V, Highside-Stromversorgung von 4,5 V bis 18 V, Low-Side-Stromversorgung von 4,5 V bis 5,5 V, Eingangs-Offset: $\pm 5$ mV bei 25 Grad Celsius, max. $\pm 42$ $\mu$ V/ Grad Celsius, Verstärkungsfehler: $\pm 0,3$ % bei 25 Grad Celsius, max. $\pm 50$ ppm Grad Celsius, Nichtlinearität: Maximal $\pm 0,01$ %, $\pm 1$ ppm/ $^{\circ}$ C, hohe Eingangsimpedanz von 1.25 M $\Omega$	<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	$\pm 5$ V max. analoger Eingangsbereich, voller Eingangsbereich eingestellt durch $\pm$ Spannungsreferenz, Eingangsgleichtaktbereich von $V_{REF} / 2 \pm 0,2$ V, 2,7 V- bis 5,25 V-Stromversorgung, hoher SNR von 84, geringer Stromverbrauch von 11,6 mW bei 2 Msps	<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	3 ppm/ $^{\circ}$ C Drift, 0,05 % Anfangsgenauigkeit, 4 $\mu$ Vpp/V Rauschen	<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>

### Designreferenzen

Eine umfassende Schaltkreisbibliothek von TI finden Sie in [Analog Engineer's Circuit Cookbooks](#).

### Link zu Schlüsseldateien

Sehen Sie sich die [TINA-Dateien für isoliertes Design](#) an.

### Marken

All trademarks are the property of their respective owners.

## WICHTIGER HINWEIS UND HAFTUNGSAUSSCHLUSS

TI STELLT TECHNISCHE UND ZUVERLÄSSIGKEITSDATEN (EINSCHLIESSLICH DATENBLÄTTER), DESIGNRESSOURCEN (EINSCHLIESSLICH REFERENZDESIGNS), ANWENDUNGS- ODER ANDERE DESIGNBERATUNG, WEB-TOOLS, SICHERHEITSMITTELSYSTEME UND ANDERE RESSOURCEN „WIE BESEHEN“ UND MIT ALLEN FEHLERN ZUR VERFÜGUNG, UND SCHLIESST ALLE AUSDRÜCKLICHEN UND STILLSCHWEIGENDEN GEWÄHRLEISTUNGEN AUS, EINSCHLIESSLICH UND OHNE EINSCHRÄNKUNG ALLER STILLSCHWEIGENDEN GEWÄHRLEISTUNGEN DER MARKTGÄNGIGKEIT, DER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK ODER DER NICHTVERLETZUNG VON RECHTEN.

Diese Ressourcen sind für qualifizierte Entwickler gedacht, die mit TI-Produkten entwickeln. Sie allein sind verantwortlich für (1) die Auswahl der geeigneten TI Produkte für Ihre Anwendung, (2) das Design, die Validierung und den Test Ihrer Anwendung und (3) die Sicherstellung, dass Ihre Anwendung die geltenden Normen sowie alle anderen Sicherheits-, regulatorischen und sonstigen Vorgaben erfüllt.

Diese Ressourcen können jederzeit und ohne Vorankündigung geändert werden. Sie erhalten von TI die Erlaubnis, diese Ressourcen ausschließlich für die Entwicklung von Anwendungen mit den in der Ressource beschriebenen TI-Produkten zu verwenden. Jede andere Vervielfältigung und Darstellung dieser Ressourcen ist untersagt. Es wird keine Lizenz für andere Rechte am geistigen Eigentum von TI oder an Rechten am geistigen Eigentum Dritter gewährt. TI übernimmt keine Verantwortung für und Sie schützen TI und seine Vertreter gegen Ansprüche, Schäden, Kosten, Verluste und Verbindlichkeiten, die sich aus Ihrer Nutzung dieser Ressourcen ergeben.

Produkte von TI werden gemäß den [Verkaufsbedingungen von TI](#) oder anderen geltenden Bedingungen bereitgestellt, die entweder auf [ti.com](#) verfügbar sind oder in Verbindung mit diesen TI-Produkten bereitgestellt werden. Durch die Bereitstellung dieser Ressourcen durch TI werden die geltenden Garantien oder Gewährleistungsausschlüsse von TI für TI-Produkte weder erweitert noch verändert.

TI widerspricht allen zusätzlichen oder abweichenden Bedingungen, die Sie möglicherweise vorgeschlagen haben, und lehnt sie ab.

Postanschrift: 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