

# $\pm 12$ V-Spannungssensorschaltung mit isoliertem Verstärker und pseudo-differenziellem Eingang SAR-ADC



Data Converters

Alex Smith

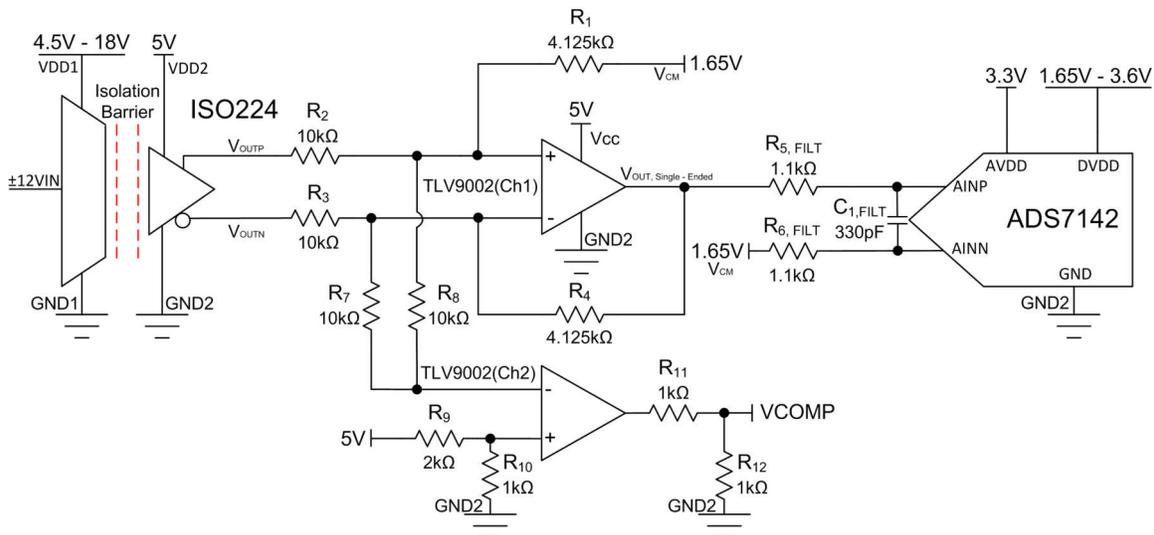
ISO224 Eingangsspannung	ISO224 AUSGANG ( $V_{OUTP} - V_{OUTN}$ )	ADS7142 Eingänge (pseudodifferenziell)	ADS7142 Digital-Ausgang
12V	4V	3,3 V	FFF <sub>H</sub>
-12V	-4V	0V	000 <sub>H</sub>

Stromversorgungen und Referenzspannungen			
VDD1	VDD2 und Vcc	AVDD	GND
4,5 V – 18 V	5V	3,3 V	0V

## Designbeschreibung

Dieser Schaltkreis führt eine isolierte Spannungsmessung von  $\pm 12$  V mit dem isolierten **ISO224**-Verstärker, **TLV9002**-Operationsverstärker und dem **ADS7142**-SAR-ADC durch. Der **ISO224** kann unsymmetrische Signale von  $\pm 12$  V mit einer festen Verstärkung von  $\frac{1}{3}$  V/V messen und erzeugt eine isolierte Differenzausgangsspannung von  $\pm 4$  V mit einer Gleichtaktspannung von  $V_{DD2} / 2$ . Kanal 1 der **TLV9002** konditioniert den Ausgang des **ISO224**, um zum Eingangsbereich des **ADS7142** zu passen, während Kanal 2 den **ISO224** ausfallsicheren Ausgang überwacht. Der **ADS7142** ist ein zweikanaliger ADC mit einer Vollausschlag-Eingangs- und Referenzspannung von AVDD, die von 1,65 V bis 3,6 V reichen kann. Für diese Cookbook-Schaltung wird der **ADS7142** Zweikanal-Eingang in einer pseudo-differenziellen Konfiguration verwendet, die es ermöglicht, sowohl positive als auch negative Signale vom **ISO224** zu messen. Dieser Schaltkreis eignet sich für viele industrielle Hochspannungsanwendungen, wie *Zugsteuerungs- und Managementsysteme*, *Analogeingangsmodule* und *Inverter und 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 140 kSPS	403 $\mu$ V	88 $\mu$ V
Konditionierter Signalbereich	0 V–3,3 V	0 V–3,3 V
Rauschen (am Eingang)	262 $\mu$ V <sub>RMS</sub>	526 $\mu$ V <sub>RMS</sub>
Geschlossener Regelkreis-Bandbreite	175 kHz	145 kHz

## Designhinweise

- Der [ISO224](#) wurde aufgrund des großen Eingangsbereichs, der flexiblen Leistungskonfiguration und der hohen Genauigkeit ausgewählt.
- Der [ADS7142](#) wurde aufgrund des sehr geringen Stromverbrauchs, des hohen Integrationsgrads, flexibler Stromversorgungskonfigurationen und der geringen Größe ausgewählt.
- Der Operationsverstärker [TLV9002](#) wurde für die Kostenoptimierung, Konfigurationsoptionen und geringe Größe ausgewählt.
- Wählen Sie Quellen mit niedriger Impedanz und geringem Rauschen für AVDD, V<sub>CM</sub> und den pseudo-differenziellen Eingang an AINN aus, der die Gleichtaktspannung des A/D-Wandlers festlegt.
- Ermitteln Sie den Gesamtbereich und die Gleichtaktspezifikationen des A/D-Wandlers. Dies wird in der Komponentenauswahl besprochen.
- Wählen Sie einen COG-Kondensator für C<sub>FILT</sub>, um Verzerrungen zu minimieren.
- Um die beste Leistung zu erzielen, sollten Sie einen Schichtwiderstand von 0,1 % 20 ppm/°C für R<sub>FILT1,2</sub> oder besser verwenden, um Verzerrungen zu minimieren.
- In [Verstehen und Kalibrieren von Offset und Verstärkung für ADC-Systeme](#) werden Methoden zur Fehleranalyse erläutert. 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<sub>FILT</sub> und C<sub>FILT</sub> behandelt. Diese Komponentenwerte sind von der Verstärkerbandbreite, der Abtastrate des Datenwandlers und dem Design des Datenwandlers abhängig. Die hier gezeigten Werte bieten 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 optimale Einschwingigenschaften und beste AC-Leistung finden Sie in [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:

Die [ISO224](#)-Netzteile können 4,5 V bis 18 V für die Highside-Stromversorgung und 4,5 V bis 5,5 V für die Low-Side-Stromversorgung sein. Der ISO224 besitzt einen unsymmetrischen Eingangsbereich von  $\pm 12$  V mit einer festen Verstärkung von  $\frac{1}{3}$ V/V und ergibt einen Differenzausgang von  $\pm 4$  V bei einer Gleichtaktspannung von VDD2 / 2, 2,5 V für dieses Beispiel:

$$\frac{\pm 12V_{IN, Single - Ended}}{3} = \pm 4V_{OUT, Differential at 2.5V\left(\frac{V_{DD2}}{2}\right) common - mode}$$

- Wählen Sie einen ADC mit geringer Größe und geringem Stromverbrauch:

Der [ADS7142](#) ist ein kleiner, energieeffizienter Zweikanal-ADC, der in einer pseudodifferenziellen Konfiguration verwendet werden kann. Der maximale Eingangsbereich wird durch die Referenzspannung festgelegt und ist gleich AVDD, 3,3 V für dieses Beispiel:

$$ADC_{Full - Scale Range} = V_{REF} = AVDD = 3.3V$$

Ermitteln Sie die erforderliche Gleichtaktspannung des A/D-Wandlers für pseudodifferenzielle Messungen:

$$V_{CM} = \frac{V_{REF}}{2} = 1.65V$$

3. Wählen Sie einen Operationsverstärker aus, der den differenziellen 2,5 V-Gleichtaktausgang des ISO224 mit  $\pm 4$  V in den 3,3 V pseudodifferenziellen 1,65 V-Gleichtakteingang des ADS7142 umwandeln kann. Darüber hinaus sollte ein Operationsverstärker mit einem zweiten Kanal gewählt werden, der die ausfallsichere Ausgangsfunktion des ISO224 überwachen kann.

Der [TLV9002](#) ist ein 2-kanaliger Verstärker mit Rail-to-Rail-Eingang und -Ausgang, der für kostensensible und kompakte Anwendungen optimiert ist.

Kanal 1 wird verwendet, um den  $\pm 4$  V Differenzial-, 2,5 V Gleichtakt-Ausgang des ISO224 in einen 3,3 V-Spitzen-Pseudo-Differenzialausgang mit einer Gleichtaktspannung von 1,65 V zu konvertieren. Bei  $R_1 = R_4$  und  $R_2 = R_3$  wird die Übertragungsfunktion durch folgende Gleichung eingestellt:

$$V_{OUT} = V_{OUTP} \left( \frac{R_4}{R_3} \right) + V_{OUTN} \left( \frac{R_1}{R_2} \right) + V_{CM}$$

Das Signal muss von  $\pm 4$  V auf 3,3 V konvertiert werden, das heißt, das Signal muss um den Faktor  $3,3 V / \pm 4 V = 3,3 V / 8 V$  reduziert werden. Wird  $V_{CM}$  durch den zuvor berechneten Wert 1,65 V ersetzt und  $R_2$  und  $R_3$  auf 10 k $\Omega$  gesetzt, ergeben sich die folgenden Gleichungen:

$$3.3V = 4V \left( \frac{R_4}{10k\Omega} \right) + 1.65V \quad 0V = -4V \left( \frac{R_1}{10k\Omega} \right) + 1.65V$$

Das Lösen nach  $R_1$  und  $R_4$  ergibt Werte von 4.125 k $\Omega$ .

Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie im *Anwendungshinweis [Anbindung eines \(isolierten\) Verstärkers mit Differenziaausgang an einen A/D-Wandler mit unsymmetrischem Eingang](#)*.

Kanal 2 des TLV9002 wird zur Überwachung der ausfallsicheren Ausgangsfunktion des ISO224 verwendet. Die ausfallsichere ISO224-Ausgangsfunktion wird aktiviert, wenn unabhängig vom Eingangssignal am  $V_{IN}$ -Kontakt die High-Side-Stromversorgung ( $V_{DD1}$ ) fehlt. Der TLV9002-Kanal-2-Ausgang ( $V_{COMP}$ ) wird an einen GPIO-Port des Systemcontrollers eingespeist und wird immer dann hochgesetzt, wenn die ausfallsichere Ausgangsfunktion aktiv ist. Weitere Details finden Sie im *Anwendungshinweis zur [Funktion Fail-Safe Output](#)*.

4. Wählen Sie  $R_{FILT}$ ,  $R_{2FILT}$ , und  $C_{FILT}$  für das Einschwingverhalten des Eingangssignals und der Abtastrate von 140 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 1,1 k $\Omega$  und 330 pF lag deutlich unter einem halben niedrigstwertigen Bit (LSB) innerhalb des Erfassungsfensters.

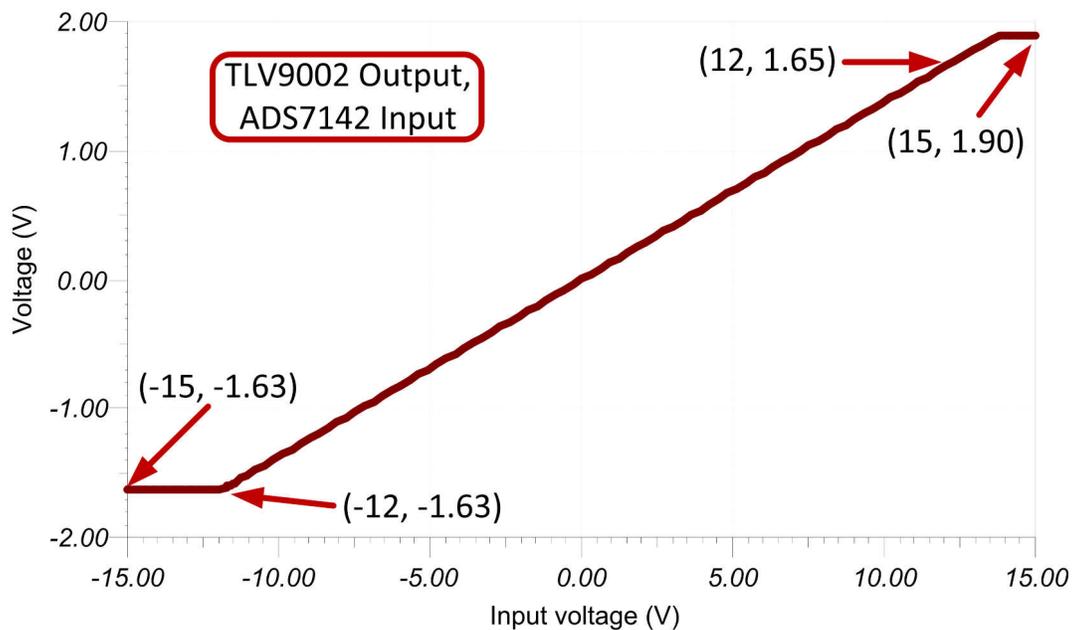
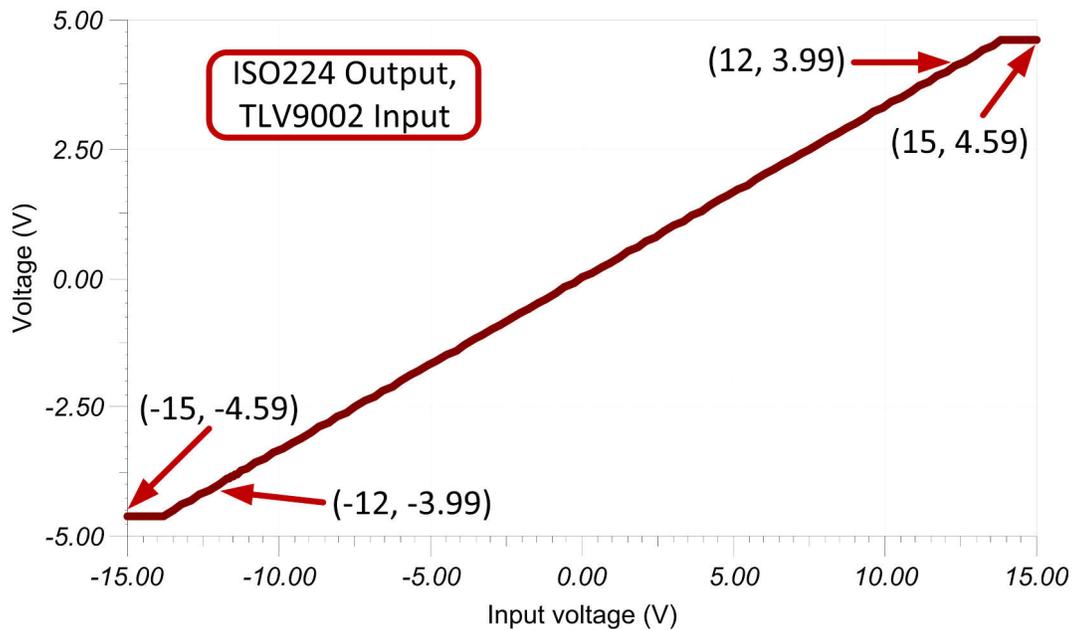
## DC-Übertragungskennlinie

Die folgenden Abbildungen zeigen die simulierten Eingänge des TLV9002 und des ADS7142 von einem  $\pm 15$  V-Eingangssignal an den ISO224. Der ISO224 hat ein lineares Ausgangssignal von  $\pm V_{IN} / 3$ . Die Eingangsspannung des TLV9002 ist im ersten Diagramm zu sehen. Das zweite Diagramm zeigt, dass der TLV9002 die Verstärkung um  $V_{IN} / 2,43$  weiter reduziert und den Gleichtakt auf 1,65 V verschiebt. Dies führt zu einem vollständigen Eingangssignal von  $\pm 12$  V unter Verwendung des Vollausschlagsbereichs (FSR) von 0 V bis 3,3 V des A/D-Wandlers mit  $AVDD = V_{REF} = 3,3$  V.

Die folgende Übertragungsfunktion zeigt, dass die Verstärkung der ISO224 und TLV9002  $1/7,28$  V/V beträgt

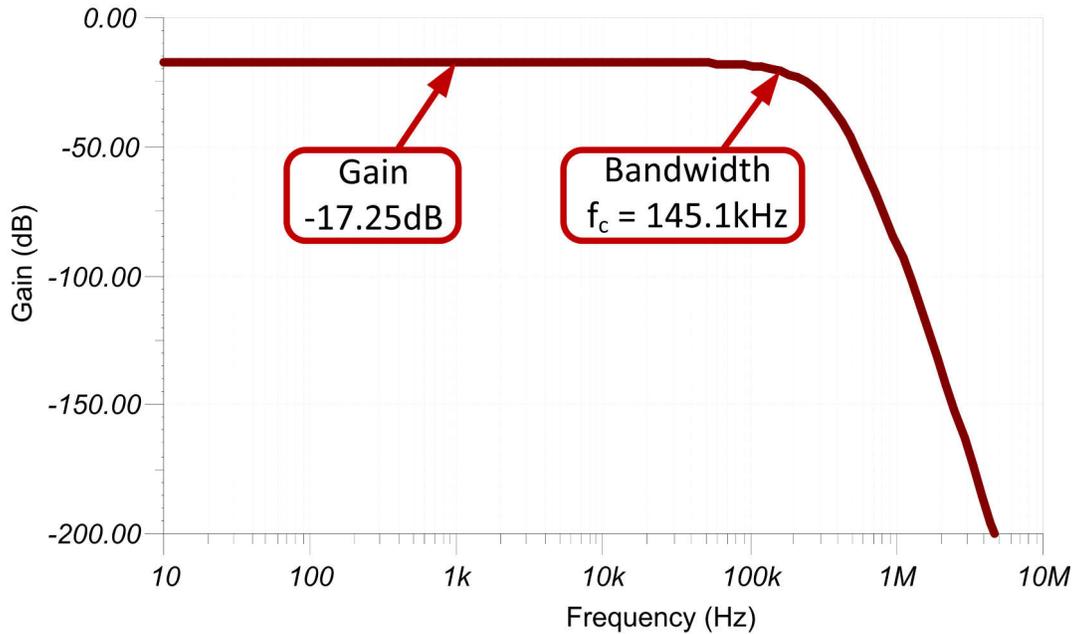
$$\text{Gain}_{\text{ISO224}} \times \text{Gain}_{\text{TLV9002}} \times V_{\text{IN}} = V_{\text{OUT}}$$

$$\frac{1}{3} \times \frac{1}{2,43} \times 12\text{V} = \frac{1}{7,28} \times 12\text{V} = 1,65\text{V}$$



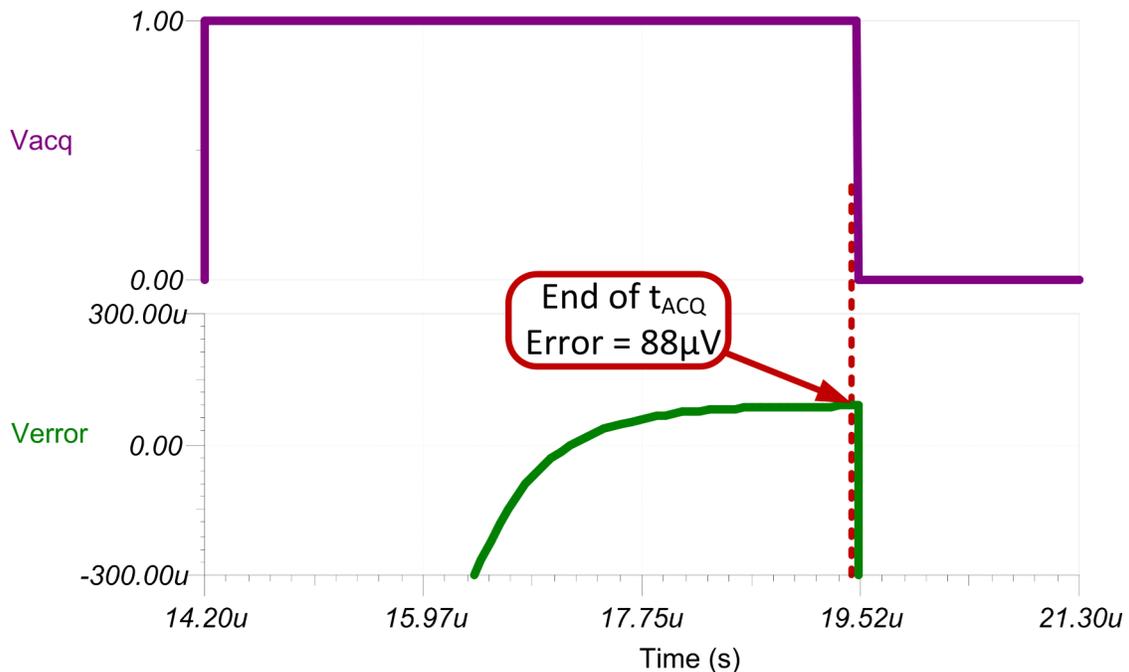
## AC-Übertragungskennlinie

Die simulierte Bandbreite der Signalkette beträgt ca. 145 kHz und die Verstärkung beträgt -17,25 dB, was einer linearen Verstärkung von ca. 0,137 V/V entspricht (Dämpfungsverhältnis 1/7,28 V/V). Dies entspricht der erwarteten Verstärkung des Systems.



## Simulation der Einschwingung des ADC-Eingangs bei Transienten

Die folgende Simulation zeigt die Ergebnisse des Einschwingvorgangs bei einer Erfassungszeit von 5.3  $\mu$ s. Die Rauschleistung 88  $\mu$ V liegt deutlich innerhalb der  $0,5 \times$  LSB-Grenze von 403  $\mu$ V. Detaillierte theoretische Informationen zu diesem Thema finden Sie unter [Verfeinern der Rfilt- und Cfilt-Werte](#).



## Rauschsimulation

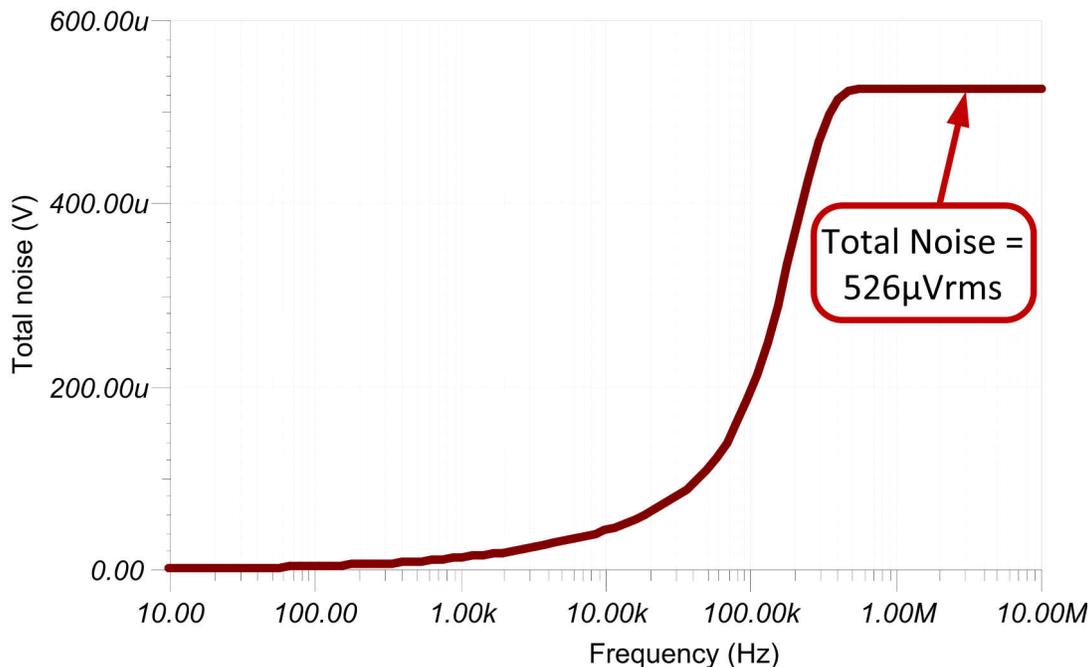
Das simulierte Rauschen am Eingang des A/D-Wandlers ist größer als das erwartete berechnete Rauschen. Der Grund für diesen Unterschied ist eine Rauschüberhöhung im Simulationsmodell, die nicht in der Berechnung enthalten ist. Die folgenden Gleichungen zeigen, dass das Rauschen von ISO224 die Signalkette dominiert und dass das Rauschen von TLV9002 vernachlässigbar ist. Detaillierte Informationen zu diesem Thema finden Sie unter [Berechnen des Gesamtrauschens für ADC-Systeme](#).

$$E_n = \text{Gain}(e_n) = \sqrt{(1.57 \times \text{BW})}$$

$$E_{n\text{ISO224A}} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2.43} \left( \frac{4\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right) \times \sqrt{1.57 \times 145\text{kHz}} = 262\mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$E_{n\text{TLV9002}} = \frac{1}{2.43} \left( \frac{27\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right) \times \sqrt{1.57 \times 145\text{kHz}} = 5\mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$E_{n\text{ISO224A} + \text{TLV9002}} = E_{n\text{ISO224A}} + E_{n\text{TLV9002}} = \sqrt{262^2\mu\text{V}_{\text{RMS}} + 5^2\mu\text{V}_{\text{RMS}}} = 262\mu\text{V}_{\text{RMS}}$$



## Designreferenzen

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

## Link zu Schlüsseldateien

TINA-Dateien für isoliertes Design: [SBAC226](#)

## Design vorgestellter Bausteine

Baustein	Wichtigste Leistungsmerkmale	Link	Ähnliche Bausteine:
ISO224	Unsymmetrischer Eingangsbereich von $\pm 12$ V, feste Verstärkung von $\frac{1}{2}$ $\pm$ , Differenzausgang 4 V, Ausgangsgleichtaktspannung von 2,5 V, Highside-Stromversorgung 4,5 V bis 18 V, Low-Side-Stromversorgung 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/°C, hohe Eingangsimpedanz von 1.25 M $\Omega$ .	<a href="#">ISO224</a>	<a href="http://www.ti.com/isoamps">www.ti.com/isoamps</a>
ADS7142	Zweikanaliger, Full-Scale-Eingangsbereich und Referenzsatz von AVDD, standardmäßig 12-Bit-Leistung, 16-Bit-Leistung mit Hochpräzisionsmodus, sehr geringer Stromverbrauch von 0.45 $\mu$ A bei 600 SPS.	<a href="#">ADS7142</a>	<a href="https://www.ti.com/PrecisionADCs">https://www.ti.com/PrecisionADCs</a>
TLV9002	Zweikanaliger Verstärker, Rail-to-Rail-Eingang und -Ausgang, geringes Breitbandrauschen von 2727 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , niedrige Eingangs-Offsetspannung von $\pm 0,04$ mV.	<a href="#">TLV9002</a>	<a href="https://www.ti.com/opamps">https://www.ti.com/opamps</a>

## 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