

Isolierte Spannungsmessschaltung mit ± 250 mV-Eingang und Differenzausgang



Daniel Miller, Alex Smith

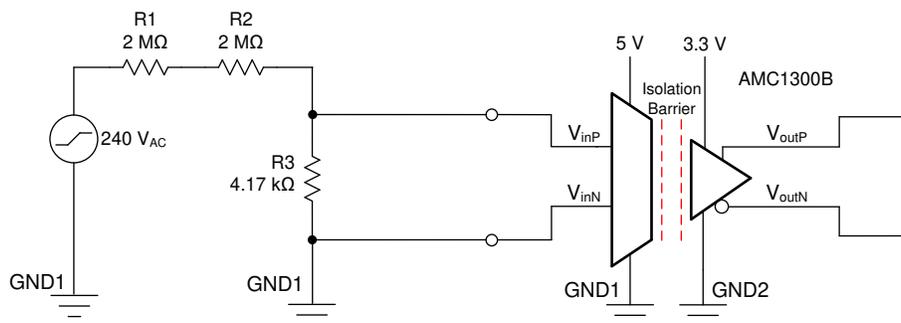
Designziele

Spannungsquelle		AMC1300B Eingangsspannung		AMC1300B Ausgangsspannung ($1,44 V_{CM}$)		Stromversorgungen	
V_{MAX}	V_{MIN}	$V_{IN\ DIFF,\ MAX}$	$V_{IN\ DIFF,\ MIN}$	$V_{OUT\ DIFF,\ MAX}$	$V_{OUT\ DIFF,\ MIN}$	VDD1	VDD2
+240V	-240V	+250mV	-250mV	+2,05V	-2,05V	3,0 V–5,5 V	3,0 V–5,5 V

Designbeschreibung I

Dieser Schaltkreis führt eine Hochspannungs-Differenzmessung mit einem Spannungsteiler und einem [AMC1300B](#)-isolierten Verstärker mit einem ± 250 mV-Differenzeingang und Differenzausgang durch. Da es sich um einen Baustein mit geringer Eingangsimpedanz handelt, eignet sich der [AMC1300B](#) besser für Strommessanwendungen. Die Interaktion der Eingangsimpedanz des isolierten Verstärkers mit dem Eingangsspannungsteiler führt zu einem Verstärkungsfehler. Darüber hinaus führt der Vorstrom, der an den Eingängen mit niedriger Impedanz und durch den Spannungsmesswiderstand fließt, zu einem signifikanten Offsetfehler. Zunächst werden diese Fehler nicht kompensiert. Danach beobachten wir ihre Auswirkungen und beschreiben sie mathematisch. Zum Schluss werden wir das Design neu gestalten, um ihre Auswirkungen zu begrenzen und die verbesserten Ergebnisse zu beobachten.

Der Spannungsteilerschaltkreis reduziert die Eingangsspannung von ± 240 V auf ± 250 mV, um sie dem Eingangsbereich des Isolationsverstärkers anzupassen. Der [AMC1300B](#) erfordert sowohl High- als auch Low-Side-Stromversorgungen. Die Highside-Stromversorgung wird häufig mit einer potenzialfreien Stromversorgung oder von der Low-Side mit einem isolierten Transformator oder einem isolierten DC/DC-Wandler erzeugt. Der [AMC1300B](#) kann Differenzsignale von ± 250 mV mit einer festen Verstärkung von 8,2 V/V messen und eine isolierte Differenzausgangsspannung von $\pm 2,05$ V mit einer Gleichtaktspannung von 1,44 V ausgeben. Die differenzielle Ausgangsspannung kann nach Bedarf mit einem zusätzlichen Operationsverstärker skaliert werden, wie im [Technischen Hinweis zur Schnittstelle mit einem TLV6001-Baustein zur Anbindung an einen A/D-Wandler mit unsymmetrischem Eingang \(isoliert\)](#) gezeigt.



Designhinweise I

1. Vergewissern Sie sich, dass der Isolierverstärker im gewünschten Eingangssignalbereich in seinem linearen Betriebsbereich bleibt. Dies kann mithilfe einer DC-Sweep-Simulation erreicht werden, wie im Abschnitt [DC-Transfer-Kennlinie I](#) demonstriert wird.
2. Stellen Sie sicher, dass die Widerstände im Widerstandsteilerschaltkreis (R1–R3) in der Lage sind, die von der Spannungsquelle gelieferte Leistung abzugeben.
3. Prüfen Sie, ob die Eingangsspannung des Bausteins innerhalb des im Datenblatt angegebenen Bereichs bleibt. Bei einer Verletzung des Eingangsbereichs muss sichergestellt werden, dass der Eingangsstrom unter 10 mA bleibt, um eine Beschädigung des Bauteils zu vermeiden. Wenn das System anfällig für Transienten ist, sollten Sie den Eingängen TVS-Dioden hinzufügen.

Designschritte I

1. Berechnen Sie die erforderliche Spannungsteilerdämpfung anhand des Verhältnisses der Eingangsspannungsquelle (V_{source}) zur vollen Eingangsspannung des [AMC1300B](#) ($V_{\text{IN_AMC_FSR}}$).

$$G_{\text{In}} = \frac{V_{\text{IN_AMC_FSR}}}{V_{\text{source}}} = \frac{250\text{mV}}{240\text{V}} = \frac{1}{960} \text{ V/V}$$

2. Wählen Sie einen Widerstand für den oberen Teil des Spannungsteilers (R1 und R2). Beachten Sie, dass die Leistungsaufnahme gleich I^2R ist und dass Strom und Widerstand umgekehrt proportional sind. Eine lineare Erhöhung des Widerstands führt zu einer linearen Abnahme der Leistung. Aus diesem Grund wird durch die Auswahl großer Widerstandswerte der Gesamtstromverbrauch minimiert. Diese Komponenten dominieren den Stromverbrauch des Spannungsteilers. Wählen Sie daher den Wert von R_{top} , um eine Spitzenleistungsspezifikation für den Spannungsteiler zu erfüllen.

$$R_{\text{top}} = R1 + R2$$

$$P_{\text{peak}} \leq 15\text{mW}$$

$$P = I^2R = \frac{V^2}{R}, \quad P_{\text{peak}} = \frac{V_{\text{peak}}^2}{R}$$

$$R_{\text{top}} \geq \frac{V_{\text{peak}}^2}{P_{\text{peak}}} = \frac{(240)^2}{0.015} = 3.86\text{M}\Omega$$

$$R_{\text{top}} = 4\text{M}\Omega$$

3. Teilen Sie den R_{top} -Widerstandswert auf mehrere Widerstände auf, um die erforderliche Leistung jedes Widerstands zu minimieren.

$$R1 = R2 = 2\text{M}\Omega$$

4. Nehmen wir nun an, dass der Eingangswiderstand des Isolierverstärkers groß ist. Die Eingangsspannung, die das Teil von der Spannungsquelle erkennt, wird durch den Spannungsteilereffekt bestimmt, den R_{top} mit R3 erzeugt. Lösung für R3.

$$V_{\text{In}} = V_{\text{source}} \left(\frac{R3}{R3 + R_{\text{top}}} \right)$$

$$\frac{V_{\text{In}}}{V_{\text{source}}} = \frac{R3}{R3 + R_{\text{top}}}$$

$$R3V_{\text{In}} + R_{\text{top}}V_{\text{In}} = R3V_{\text{source}}$$

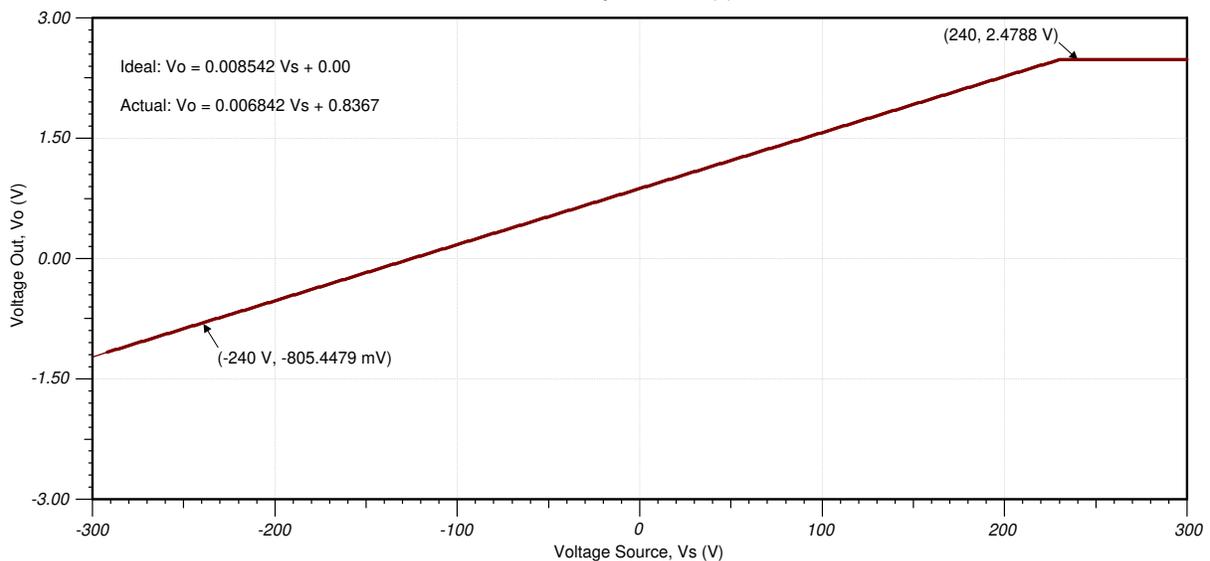
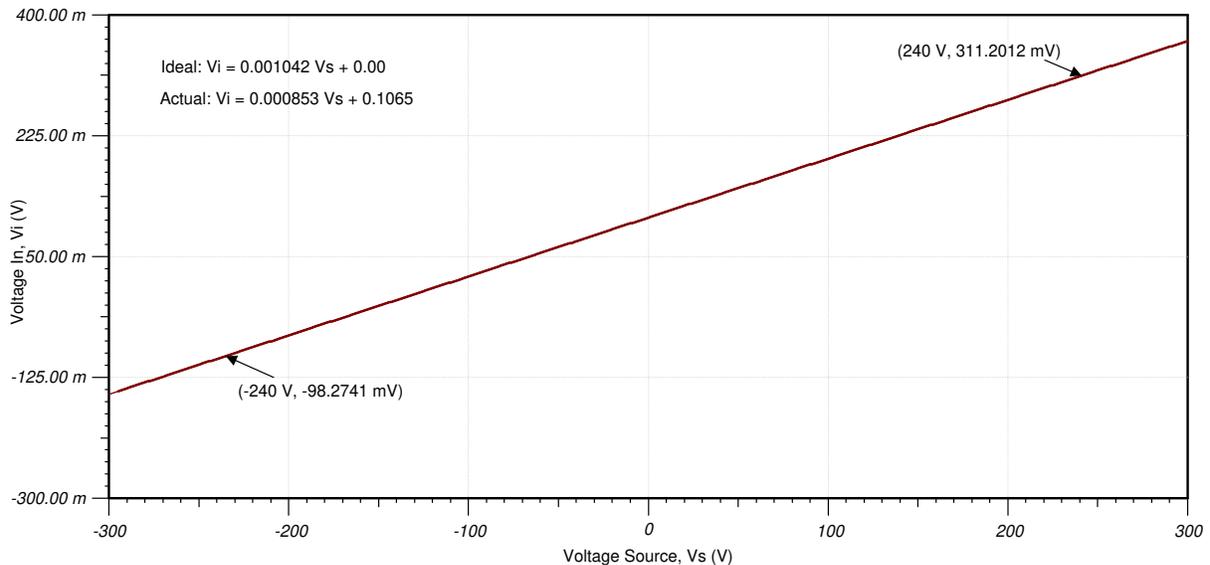
$$R_{\text{top}}V_{\text{In}} = R3(V_{\text{source}} - V_{\text{In}})$$

$$R3 = \frac{V_{\text{In}}R_{\text{top}}}{V_{\text{source}} - V_{\text{In}}} = \frac{(250\text{mV})(4\text{M}\Omega)}{240\text{V} - 250\text{mV}} \approx 4.17\text{k}\Omega$$

Gleichstromübertragungskennlinie I

Die folgenden Diagramme zeigen die simulierte Ausgabe für eine ± 240 V-Quelle. Die Quelle wird von -300 V bis $+300$ V durchlaufen, und die Eingangs- und Ausgangsspannungen des Verstärkers werden beobachtet. Die gewünschten linearen Bereiche sind ± 250 mV am Eingang des Verstärkers und $\pm 2,05$ V am Ausgang des Verstärkers. Am Eingang des Verstärkers erwarten wir aufgrund der Spannungsteilung des Spannungsteilers einen Offsetfehler von 0 und eine Verstärkung von ca. $1,042$ mV/V. Am Ausgang des Verstärkers erwarten wir erneut einen Offsetfehler von 0 und eine Verstärkung von $8,542$ mV/V aufgrund der Dämpfung der Spannungsquelle des Spannungsteilers, gefolgt von der festen $8,2$ V/V-Verstärkung von [AMC1300B](#).

Wie in den folgenden Grafiken zu sehen ist, stimmen die simulierten Ergebnisse nicht mit der gewünschten, idealen Ausgabe überein. Am Eingang des Verstärkers liegt ein Offsetspannungsfehler von 107 mV vor. Dies ist im Vergleich zum ± 250 mV-Eingangsbereich des Bauteils signifikant. Dieser Offsetfehler wird zum Ausgang des Verstärkers übertragen, wo ein 837 mV-Offset einen großen Teil des $\pm 2,05$ V-Ausgangsbereichs des Verstärkers einnimmt. Die Schaltung weist außerdem einen signifikanten Verstärkungsfehler auf. Obwohl am Eingang des Spannungsteilers eine Verstärkung von $1,042$ mV/V und am Ausgang des Bausteins eine Verstärkung von $8,540$ mV/V zu erwarten ist, beobachten wir stattdessen Verstärkungen von $0,853$ mV/V bzw. $6,842$ mV/V, die zu großen Verstärkungsfehlern von ca. $18,1$ % bzw. $19,9$ % führen. Im folgenden Abschnitt werden bessere Designverfahren definiert.



Designbeschreibung II

Die vorherige Methode eignet sich für Spannungsmessanwendungen, wenn Bausteine mit großen Eingangswiderständen, wie z. B. 1 MΩ oder höher, verwendet werden. Der **AMC1300B**-Baustein hat eine differenzielle Eingangsimpedanz von 22 kΩ, was zu den oben gezeigten Offset- und Verstärkungsfehlern führt. Verstärkungs- und Offsetfehler bei der Verwendung eines Verstärkers mit niedriger Eingangsimpedanz zur Spannungsmessung in dieser Schaltkreiskonfiguration können mit den folgenden Formeln geschätzt werden.

$$\text{Gain Error (\%)} = \frac{R_3}{R_{\text{ind}}} \times 100$$

$$\text{Offset Error (V)} = I_{\text{bias}} \times R_3$$

Der Verstärkungsfehler ist das Ergebnis einer nicht idealen Spannungsaufteilung durch R3. Da der Eingangswiderstand des Verstärkers mit R3 vergleichbar ist, wird ein Teil des an R1 und R2 ausgehenden Stroms nicht durch R3 geleitet, sondern durch den Eingang des Verstärkers geleitet. Das Ergebnis ist ein unerwarteter Spannungsabfall am Eingang des Verstärkers. Daher ist die Formel in **Schritt 4 des Abschnitts Designschritte I** ungültig. Es muss eine umfassendere Formel berücksichtigt werden, bei der die Eingangsimpedanz des Verstärkers parallel zu R3 ist. Der Offset-Fehler ist das Produkt des Bias-Stroms, der durch den Shunt-Widerstand R3 vom PLUS-Eingangspin des isolierten Verstärkers fließt. Dieser Bias-Strom an R3 V kann zu signifikanten Offsetspannungen am Eingang führen, die dann verstärkt und an den Ausgang geleitet werden.

Anhand der vorherigen Formeln kann man die Fehler der Schaltung im Abschnitt **Designschritte I** abschätzen. Unter Verwendung der typischen im Datenblatt angegebenen Werte beträgt der Differenzeingangswiderstand 22 kΩ und der Eingangsruhestrom 30 μA. Wir haben für R3 einen Wert von 4.17 kΩ festgelegt. Daher ist am Eingang des Verstärkers ein Verstärkungsfehler von 18,7 % und ein Offsetfehler von 125 mV zu erwarten. Im Vergleich dazu hatten die simulierten Fehler einen Verstärkungsfehler von 19,9 % am Ausgang des Verstärkers und 107 mV des Offsets am Eingang. Diese Fehlerformeln sind wertvolle Hilfsmittel, um sich schnell ein Bild von der zu erwartenden Größe der Fehler zu machen. Ohne Simulationen können Sie sich ein Bild davon machen, ob die erwarteten Fehler für den Endanwender akzeptabel sind oder nicht.

Wie im **Datenblatt AMC1300 Precision, ±250 mV Eingang, verstärkter isolierter Verstärker** erwähnt, kann die Einführung von R3' in Reihe mit dem invertierenden Anschluss des Verstärkers für Spannungsmessanwendungen die Offset- und Verstärkungsfehler reduzieren. Der Bias-Strom des Verstärkers erzeugt am negativen Eingangspin einen ähnlichen Offset wie am positiven Eingangspin. Dadurch wird die Größe der gesamten Offsetspannung erheblich verringert. Darüber hinaus werden die Auswirkungen des Eingangswiderstands des Verstärkers und R3' bei der Auswahl des Wertes R3 berücksichtigt. Dies ermöglicht eine idealere Spannungsverteilung der 240 V-Quelle und verbessert den Gesamtverstärkungsfehler.

Designschritte II – Berücksichtigung von R3'

Wie in den **Designschritten I** sind die Verstärkungs- und RtoP-Widerstandsberechnungen exakt gleich. Deshalb sind wir mehr an der Berechnung von R3 und R3' interessiert, um die beste Schaltkreisleistung zu erzielen.

1. Beachten Sie, dass der untere Teil des Widerstandsteilers den Eingangsspannungsbereich für den Isolationsverstärker bestimmt. Der ideale Wert für R3 hängt von der Verstärkung, RtoP und Rind ab, wobei Rind die differenzielle Eingangsimpedanz des Verstärkers ist. Zur Erinnerung: RtoP ist die Kombination aus R1 + R2.

$$R_3 = \frac{\text{Gain} \times R_{\text{top}}}{1 - \text{Gain} - \left(\text{Gain} \times \frac{2 \times R_{\text{top}}}{R_{\text{ind}}} \right)}$$

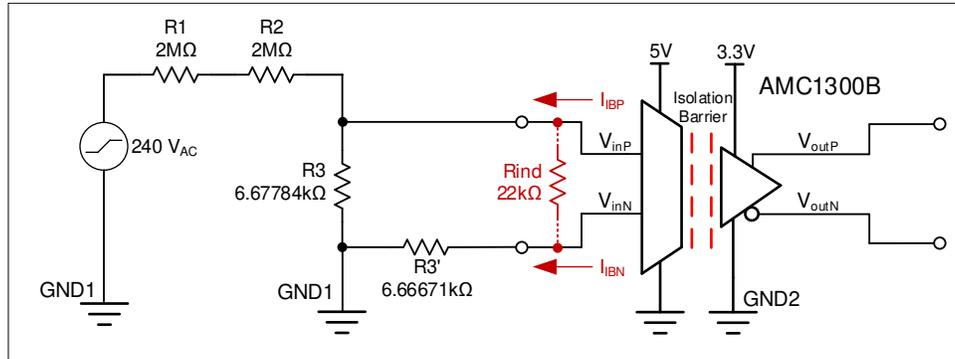
$$R_3 = \frac{0.001042 \times 4\text{M}\Omega}{1 - 0.001042 - \left(0.001042 \times \frac{8\text{M}\Omega}{22.22\text{k}\Omega} \right)} = 6.67784 \text{ k}\Omega$$

2. Zweck von R3' ist es, den Verstärkungsfehler auszuschließen, der durch den durch R3 fließenden Bias-Strom verursacht wird. Die ideale R3' wäre die parallele Kombination von RtoP und R3. Verwenden Sie die folgende Gleichung, um R3' zu berechnen.

$$R3' = \frac{R_{top} \times R3}{R_{top} + R3}$$

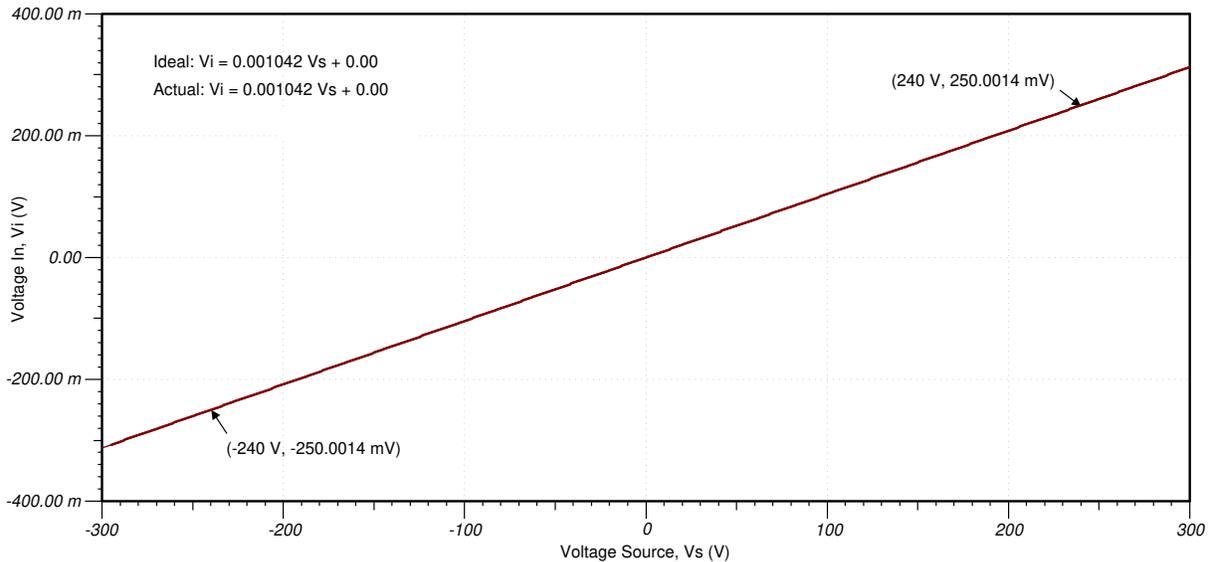
$$R3' = \frac{4M\Omega \times 6.67784k\Omega}{4M\Omega + 6.67784k\Omega} = 6.66671 \text{ k}\Omega$$

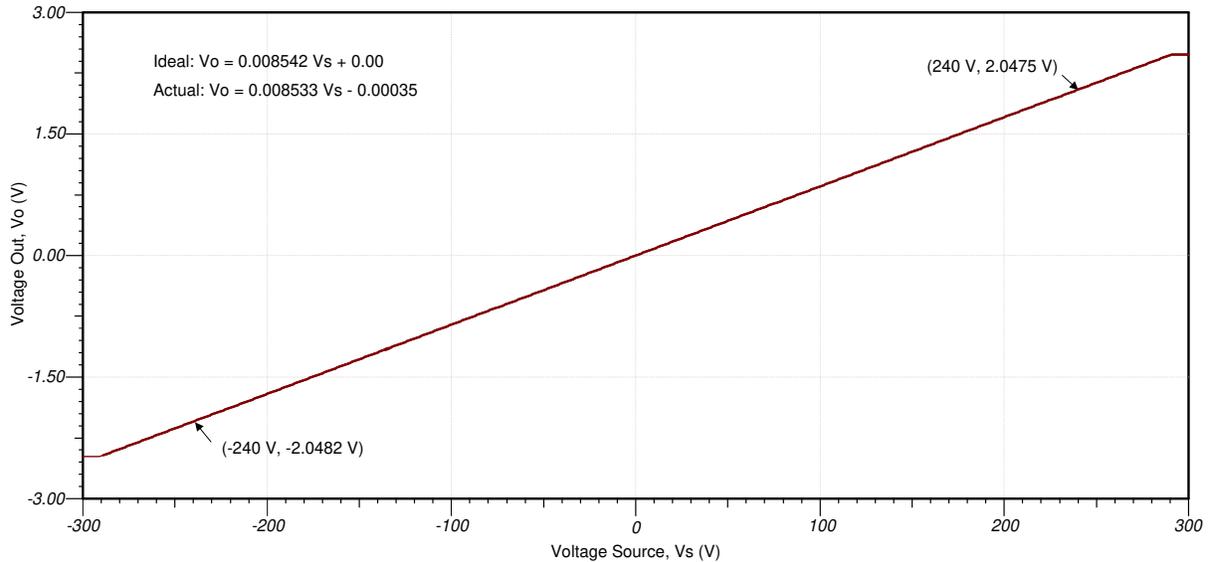
Dies ist die daraus resultierende ideale Schaltungskonfiguration. Beachten Sie, dass rot dargestellte Rind den differentiellen Eingangswiderstand des **AMC1300B** darstellt und nicht zum Schaltplan hinzugefügt werden sollte.



Gleichstromübertragungskennlinie II

Die folgenden Diagramme zeigen das simulierte Ausgangssignal für eine Spannungsquelle mit $\pm 240 \text{ V}$ unter Verwendung des neuen Designs. Erinnern Sie sich, dass die gewünschten linearen Bereiche $\pm 250 \text{ mV}$ am Eingang des Verstärkers und $\pm 2,05 \text{ V}$ am Ausgang des Verstärkers sind.

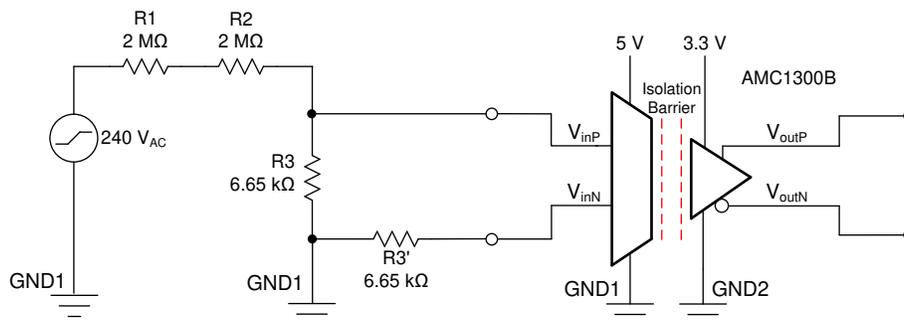




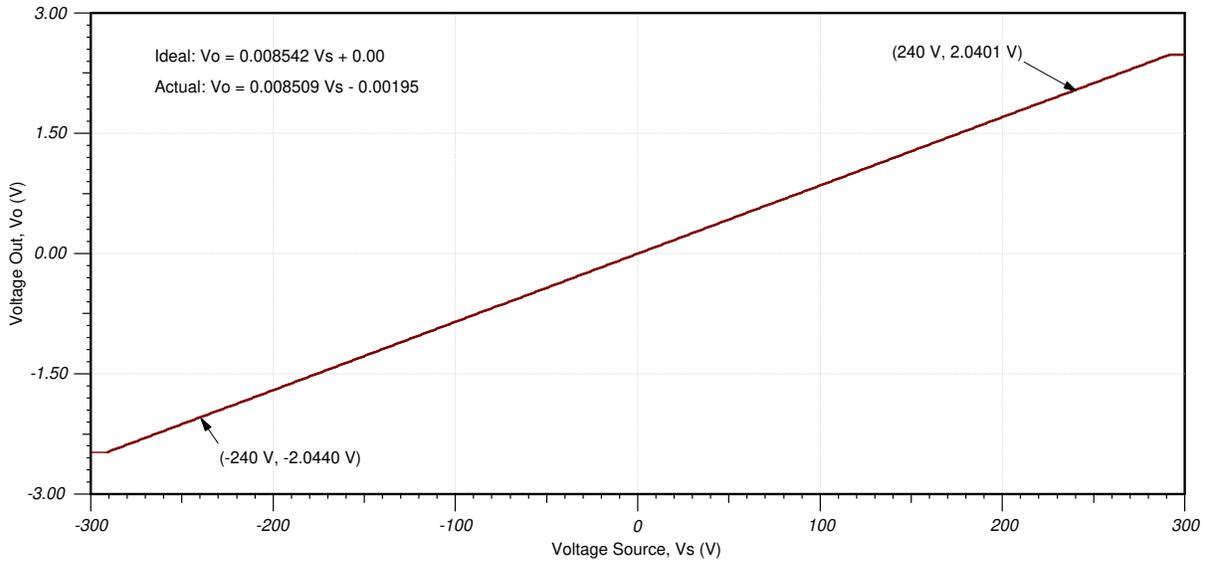
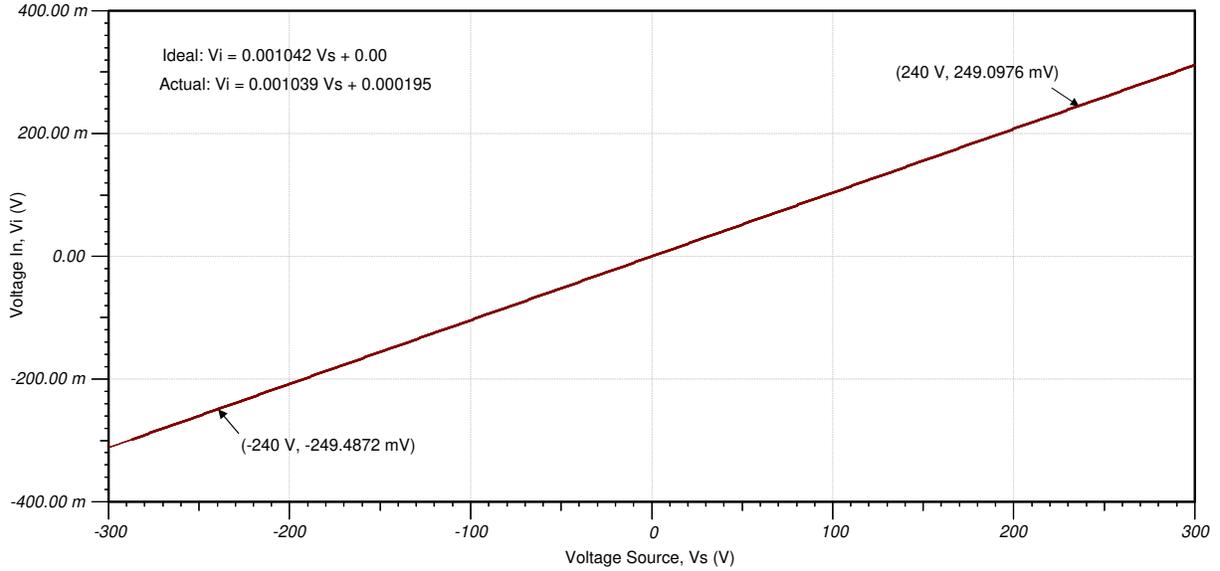
Das neue Design bietet einen deutlich verbesserten Offset-Fehler. Eingangsoffsetspannung und Verstärkungsfehler wurden auf Null reduziert. Die überarbeitete Schaltung zeigt auch eine bessere Verstärkungsfehlerleistung, da eine genauere Berechnung verwendet wird, um den gewünschten Wert von R3 für den Eingangsspannungsteiler und den Idealwert für R3' zu ermitteln.

Dieses positive Ergebnis ist eine Folge der Hinzufügung von R3', um die durch den Bias-Strom des [AMC1300B](#)-Bausteins über R3 im ursprünglichen Design eingeführte Offsetspannung zu löschen. Der Nachteil ist, dass die Idealwerte für R3 und R3' nicht im Handel erhältlich sind und es in Wirklichkeit nicht sinnvoll wäre, zwei verschiedene Widerstandswerte zu verwenden, die so nahe beieinander liegen.

Mit dem [Analog Engineers Calculator](#) ist es möglich, die nächsten E189 Serienwiderstandswerte zu finden, die sofort verfügbar sind. In beiden Fällen beträgt der den berechneten Idealwerten für R3 und R3' am nächsten liegende Widerstandswert von 0,1 % 6.65 k Ω . Der letzte Schaltplan folgt.

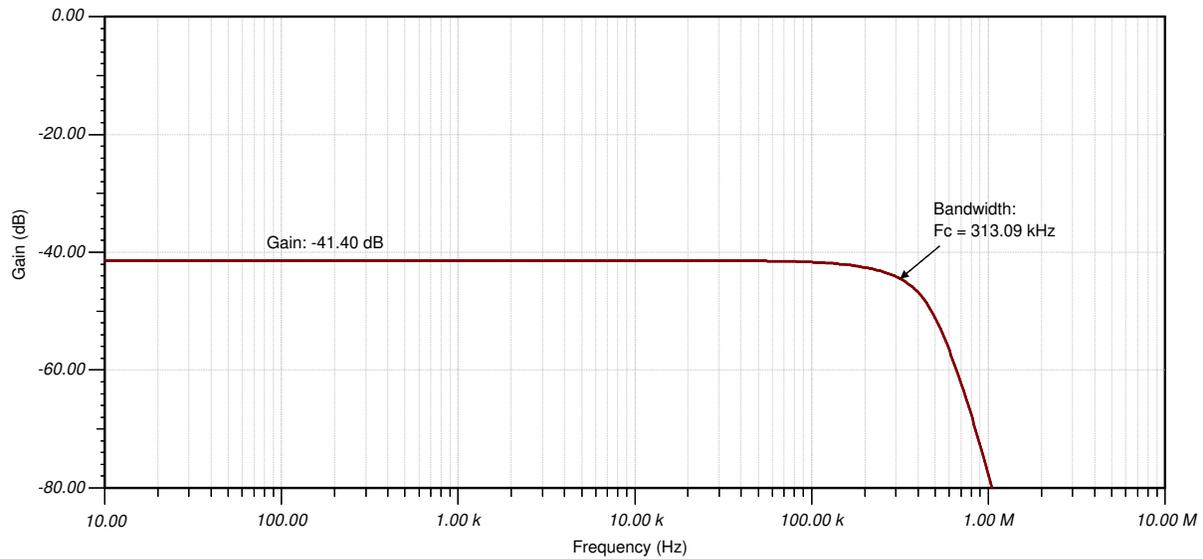


Mit sofort verfügbaren Widerständen für R3 und R3' ist die Schaltkreisleistung immer noch ziemlich gut, wie in den folgenden Diagrammen zu sehen ist. Der Verstärkungsfehler am Eingang wurde von 18,2 % auf 0,3 % reduziert. Der Verstärkungsfehler am Ausgang wurde von 19,9 % auf 0,4 % reduziert. Die Offsetfehler werden auch auf 195 μV am Eingang und 2 mV am Ausgang reduziert.



AC-Übertragungskennlinie II

Eine AC-Abtastung validiert den Frequenzbereich, in dem der gewünschte Ausgang zu erwarten ist. Im folgenden Simulationsplot entspricht die simulierte Verstärkung von $-41,40$ dB oder $8,51$ mV/V dem Verstärkungsergebnis im DC-Ausgangsdiagramm. Dies liegt relativ nahe an der gewünschten Ausgangsverstärkung von $-41,37$ dB oder $8,54$ mV/V, wie im vorhergehenden Abschnitt erläutert wurde. Die simulierte Bandbreite des Designs, $313,1$ kHz, übersteigt leicht die Erwartungen, die durch die typische Bandbreitenspezifikation von 310 kHz im Datenblatt festgelegt werden.



Quellennachweise

1. [Analog Engineer's Circuit Cookbooks](#)
2. [Analogrechner](#)
3. [TI Precision Labs](#)

Design vorgestellter isolierter Operationsverstärker

AMC1300B	
VDD1	3,0 V–5,5 V
VDD2	3 V–5,5 V
Eingangsspannungsbereich	±250 mV
Nennverstärkung	8,2
V _{OUT}	Differenziell ±2,05 V am Ausgangsgleichtakt von 1,44 V
Eingangswiderstand	19 kΩ (Typ, unsymmetrisch), 22 kΩ (Typ, differenziell)
Kleinsignalbandbreite	310 kHz
Eingangs-Offsetspannung und Drift	±0, 2mV (max.), ±3 μV/°C (max.)
Verstärkungsfehler und Drift	±0,3 % (max.), ±15 ppm/°C (Typ)
Nichtlinearität und Drift	±0,03 % (max.), ±1 ppm/°C (Typ)
Isolierung Transiente Überspannung	7,071 kV _{PEAK}
Arbeitsspannung	1,5 kV _{RMS} , 2,121 kV _{DC}
Gleichtakt-Transientenstörfestigkeit (CMTI)	75 kV/μs (min.), 140 kV/μs (typ.)
AMC1300	

Design alternativer isolierter Operationsverstärker

AMC1200	
VDD1	4,5 V–5,5 V
VDD2	2,7 V–5,5 V
Eingangsspannungsbereich	±250mV
Nennverstärkung	8
V _{OUT}	Differenziell ±2 V, Gleichtakt variiert mit dem Versorgungsspannungsbereich
Eingangswiderstand	28 kΩ (typ., differenziell)
Kleinsignalbandbreite	100kHz
Eingangs-Offsetspannung und Drift	±1,5 mV (max.), ±10 μV/°C (max.)
Verstärkungsfehler und Drift	±1 % (max.), ±56 ppm/°C (typ.)
Nichtlinearität und Drift	±0,1 % (max.), ±2,4 ppm/°C (typ.)
Isolierung Transiente Überspannung	4 kV _{PEAK}
Arbeitsspannung	1,2 kV _{Peak}
Gleichtakt-Transientenstörfestigkeit (CMTI)	10 kV/μs (min), 15 kV/μs (typ.)
AMC1200	

Revisionsverlauf

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

Changes from Revision * (June 2020) to Revision A (September 2021)	Page
• Nummerierungsformat für Tabellen, Abbildungen und Querverweise im gesamten Dokument aktualisiert.....	1

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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) von TI oder anderen geltenden Bedingungen bereitgestellt, die entweder auf [ti.com](https://www.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.

Postanschrift: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021 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