

# Designüberlegungen für die isolierte Strommessung

**Alex Smith**

Applications Engineer

Precision Analog-to-Digital Converters

Industrie- und Automobilanwendungen wie On-Board-Ladegeräte, Stringwechselrichter und Motorantriebe erfordern eine isolierte Strommessung, um den Rückkopplungsalgorithmus für den Stromregelkreis anzusteuern und gleichzeitig die digitale Schaltung vor dem Hochspannungsschaltkreis zu schützen, der eine Funktion ausführt.

Aufgrund ihrer hohen Leistung eignen sich isolierte Verstärker hervorragend zur Übertragung von Strommessdaten über die Isolierungsbarriere. Die Auswahl des richtigen isolierten Verstärkers ist jedoch nicht immer ganz einfach. Bei der Auswahl eines isolierten Verstärkers sind diverse Aspekte zu berücksichtigen, beispielsweise die Spezifikationen der Isolierung, die Highside-Speisung und der Eingangsspannungsbereich. Dieser Artikel behandelt jedes dieser Entscheidungskriterien im Detail, um Ihnen bei der Auswahl eines isolierten Verstärkers zu helfen, der für ein bestimmtes System am besten geeignet ist.

Die erste Entscheidung bei der Auswahl eines Bausteins für die isolierte Strommessung besteht darin, den erforderlichen Isolierungsgrad zu ermitteln. Es gibt zwei Stufen der Isolation: die grundlegende und die verstärkte Isolation. Die erforderliche Isolationsstufe wird durch die Systemarchitektur und Endgeräte-Standards wie IEC 61800 (International Electrotechnical Commission) für Motorantriebe und IEC 60601 für medizinische Geräte festgelegt.

Hier sind die wichtigsten Spezifikationen, die die Leistung der Isolierungsbarriere quantifizieren:

- Die Arbeitsspannung der Isolierung ist die in der quadratischen Wurzelmittelspannung definierte maximale Spannung, die der isolierte Verstärker während seiner gesamten Lebensdauer kontinuierlich verarbeiten kann.
- Die Gleichtakt-Transientenfestigkeit beschreibt die maximale Änderungsrate der Massepotenzialdifferenz, die der isolierte Verstärker fehlerfrei überstehen kann.
- Die transiente Überspannung der Isolierung ist die Spannung, die in der Spitze-zu-Spitze-Spannung definiert ist, die der isolierte Verstärker 60 Sekunden lang tolerieren kann.
- Die Bemessungsgröße der Stoßspannung (Impulsspannung) gemäß IEC 60065 ist die 1,2-/50- $\mu$ s-Spannungsmagnitude, die der isolierte Verstärker ohne Ausfall tolerieren kann.

Einige Endgerätehersteller lassen ihre Produkte von Dritten zertifizieren, um sicherzustellen, dass sie die Isolierungsspezifikationen erfüllen. Isolierte Verstärker werden nicht gemäß diesen Spezifikationen selbst gemessen, da sie Komponenten im Inneren von Endgeräten sind. Für sie gelten die Standards für Endgeräte nur indirekt. Stattdessen werden Komponenten anhand von Zertifizierungen auf Bausteinebene, wie z. B. durch das Deutsche Institut für Normung e.V., den (DIN) Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) V 0884-11 und die Underwriters Laboratories (UL) 1577 gemessen. Wie in den IEC-Normen angegeben, erfordern Bausteine, die Anforderungen gemäß den geltenden Normen auf Komponentenebene erfüllen und gleichwertige Anforderungen haben, keine separate Evaluierung. Dies gilt auch für die Normen des Comité International Spécial

des Perturbations Radio (CISPR) für elektromagnetische Störungen (EMI). Siehe [1] zur Leistung der abgestrahlten Emissionen für isolierte Verstärker von Texas Instruments (TI).

Für eine optimale Leistung werden das Layout und die Anwendungspraktiken, wie im bausteinspezifischen Datenblatt dargestellt, empfohlen. [2] umfasst eine Liste der Zertifizierungen auf Bausteinebene für isolierte Verstärker von TI.

Die nächste Entscheidung bei der Auswahl eines isolierten Verstärkers ist die Frage, wie er auf der Highside der Isolierungsbarriere mit Strom versorgt werden soll.

Denken Sie beim Design dieses Teils der Schaltung daran, dass die Highside-Versorgungsspannung mit der Gleichtakt-Eingangsspannung des gemessenen Stroms potenzialfrei sein muss. Das bedeutet, dass für mehrphasige Strommessungen jede einzelne Phase einen eigenen isolierten Verstärker mit eigener Highside-Stromversorgung benötigt. Ein falsches Design des Spannung führenden Stromversorgungsschaltkreises kann dazu führen, dass die absoluten maximalen analogen Eingangsspannungswerte überschritten werden, was zu dauerhaften Schäden am Baustein führen kann.

Es gibt drei wichtige Designoptionen für die Stromversorgung der Spannung führenden Seite eines isolierten Verstärkers.

Hier die erste Designoption: Entwickeln Sie einen diskreten isolierten Transformatorschaltkreis, der die Spannung von der Lowside an die Highside des isolierten Verstärkers liefern kann. Bei dieser Methode müssen Sie einen isolierten Transformator, einen Transformatortreiber wie den SN6501 von TI und einen Low-Dropout-Regler wie den TLV704 von TI auswählen. Dieser Ansatz ist zwar einfach zu entwickeln, erfordert jedoch eine große Platinenfläche und etliche verschiedene Komponenten. **Abbildung 1** zeigt eine Beispielimplementierung im oberen Teil des Evaluierungsmoduls (EVM) AMC1300.



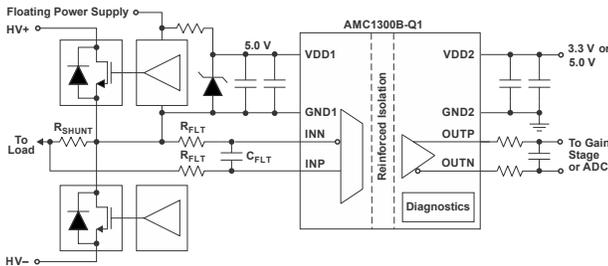
**Abbildung 1.** Das AMC1300 EVM mit einem isolierten Transformator.

Die zweite Designoption, dargestellt in **Abbildung 2**, verwendet die potenzialfreie Highside-Gate-Treiberversorgungsspannung (normalerweise 15 V) und einen Shunt-Regler wie eine Zener-Diode, um die Spannung bis zu einem unteren Wert von 5 V zu regeln. Beispiele für dieses Design sind in den Datenblättern des Bausteins dargestellt. Hier finden Sie beispielsweise den verstärkten isolierten Verstärker AMC1300B-Q1. Diese Designoption ist zwar wirtschaftlich und effektiv, aber Layoutbeschränkungen und parasitäre Impedanzen zwischen der Gate-Treiber-Versorgungs-Masse-Referenz und der Verstärker-Masse-Referenz können zu Fehlern bei der Eingangsspannung und Transientenfehlern führen.

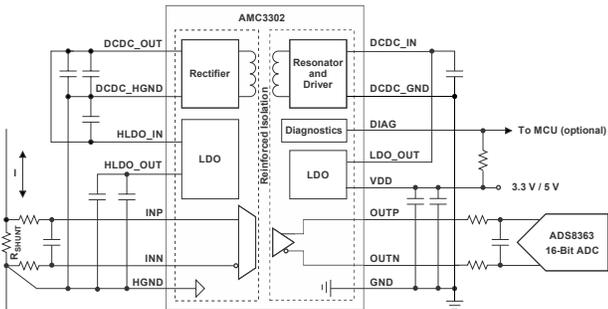
Die dritte und einfachste Designoption, wie in **Abbildung 3** gezeigt, verwendet einen Baustein mit einem integrierten DC/DC-Wandler. Isolierte Verstärker mit integrierten DC/DC-Wandlern wie dem AMC3302 von TI, helfen dabei, die Größe und die Komplexität der Lösung erheblich zu reduzieren. Sie können mit diesem Design die Systemkosten senken. Es bietet eine hervorragende Wandlungseffizienz und ermöglicht die flexible Platzierung des Shunt-Widerstands.[4]

Die letzte Entscheidung bei der Auswahl eines Isolierverstärkers ist die Auswahl des Eingangsspannungsbereichs des Bausteins. Die meisten isolierten Verstärker, die für die Strommessung optimiert sind, verfügen über Optionen für einen linearen Eingangsspannungsbereich von  $\pm 50$  mV

oder  $\pm 250$  mV. Die Bestimmung des richtigen Eingangsspannungsbereichs für die Anwendung hängt von der Größe des zu messenden Stroms und der Größe des Shunt-Widerstands ab. Im Allgemeinen benötigen Systeme mit hohen Stromstärken in der Regel einen isolierten Verstärker mit einem kleineren Eingangsbereich, wie z. B.  $\pm 50$  mV. Systeme mit relativ geringen Stromstärken können von dem etwas größeren Eingangsspannungsbereich von  $\pm 250$  mV profitieren, der ein höheres Signal-Rausch-Verhältnis ermöglicht



**Abbildung 2.** Der AMC1300B-Q1 mit potenzialfreier Stromversorgung.



**Abbildung 3.** Der AMC3302 isolierte Verstärker mit einem internen DC/DC-Wandler.

Bei der Auswahl des Eingangsspannungsbereichs sind zwei Gleichungen zu beachten: Das Ohmsche Gesetz (siehe **Gleichung 1**) und die in einem Widerstand verbrauchte Leistung (siehe **Gleichung 2**):

$$V = I \times R \tag{1}$$

$$P = I^2 \times R \tag{2}$$

Diese beiden Gleichungen regeln den Kompromiss zwischen der Maximierung des Vollausschlag-Eingangsbereichs des isolierten Verstärkers und

der Menge der im Shunt-Widerstand verbrauchten Leistung. **Gleichung 1** berechnet den Spannungsabfall am Shunt-Widerstand, wenn Werte für Strom und Widerstand eingegeben werden. Versuchen Sie, diesen Spannungsbereich so nah wie möglich an den vollen Eingangsspannungsbereich des isolierten Verstärkers anzupassen, da eine Abweichung zwischen den beiden Werten zu einem direkten Verlust bei der Auflösung führt.

**Gleichung 2** quantifiziert die im Shunt-Widerstand verbrauchte Leistung. Dies ist wichtig, da Shunt-Widerstände durch Selbsterwärmung zu driften beginnen (gemäß ihrer Temperaturdrift-Spezifikation), sobald die über den Widerstand abgegebene Leistung die Hälfte der Nennverlustleistung erreicht, was zu einem Verstärkungsfehler führt. Um eine übermäßige Shunt-Drift durch Eigenerwärmung zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Nennverlustleistung des Shunt-Widerstands auf höchstens ein Achtel der Nennverlustleistung zu begrenzen.

Wenn zum Beispiel ein Nennstrom von 18 A und ein maximaler Strom von 52 A gefordert wird. Mit dem Wissen, dass es zwei Optionen für den linearen Eingangsspannungsbereich ( $\pm 50$  mV und  $\pm 250$  mV) und den maximalen Strom gibt, es ist möglich, für beide Optionen ideale Shunt-Widerstandswerte zu berechnen, um den vollen Eingangsbereich zu erreichen:

$$\begin{aligned} \pm 50 \text{ mV: } R_{\text{ideal}} &= 0.96 \text{ m}\Omega \\ \pm 250 \text{ mV: } R_{\text{ideal}} &= 4.8 \text{ m}\Omega \end{aligned} \tag{3}$$

Ermitteln der nächstgelegenen Standard-Shunt-Widerstandswerte:

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } R &= 1 \text{ m}\Omega, \text{ or} \\ \text{for } \pm 250 \text{ mV: } R &= 5 \text{ m}\Omega \end{aligned} \tag{4}$$

Durch Einstellen dieser Werte an **Gleichung 1** kann der resultierende Spannungsabfall am Shunt-Widerstand berechnet werden:

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } V &= I \times R = (52 \text{ A}) \times (1 \text{ m}\Omega) = 52 \text{ mV, or} \\ \text{for } \pm 250 \text{ mV: } V &= I \times R = (52 \text{ A}) \times (5 \text{ m}\Omega) = 260 \text{ mV} \end{aligned} \tag{5}$$

Beachten Sie, dass der Widerstandswert aus der Idealberechnung zum nächstgelegenen Standardwert leicht angestiegen ist, was zu einem Vollausschlag-Eingangsspannungsbereich führt, der größer ist als der lineare Vollausschlag-Eingangsbereich des isolierten Verstärkers. Das bedeutet, dass bei der vollen Stromstärke die resultierende Spannungsgröße nicht mehr im linearen Bereich des Eingangsspannungsbereich des isolierten Verstärkers liegt. Isolierte Verstärker verfügen oft über einen zusätzlichen Eingangsspannungsbereich, der über den linearen Eingangsspannungsbereich hinausgeht, bevor sie anfangen zu klammern. Innerhalb dieses Bereichs – in der Regel bis zu  $\pm 280$  mV für  $\pm 250$ -mV-Bausteine und  $\pm 56$  mV für  $\pm 50$ -mV-Bausteine – ist die Genauigkeit des isolierten Verstärkers nicht im Datenblatt angegeben. Der isolierte Verstärker gibt jedoch weiterhin eine Spannung mit einer Genauigkeit aus, die dem linearen Bereich ähnelt. Dies kann für einige Anwendungen akzeptabel sein, wenn die Genauigkeitsanforderung für die maximale Stromstärke im Vergleich zu den Nennwertmessungen gelockert wird.

Verwenden Sie als Nächstes die Standardwiderstandswerte und die Nennstromstärken, um die Verlustleistung des Shunt-Widerstands zu berechnen, wobei angenommen wird, dass die Nennleistung des Shunt-Widerstands 3 W beträgt.

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } P &= I_{\text{max}}^2 \times R = (18 \text{ A})^2 \times (1 \text{ m}\Omega) = 0.32 \text{ W}, \\ \text{For } \pm 250 \text{ mV: } P &= I_{\text{nom}}^2 \times R = (18 \text{ A})^2 \times (5 \text{ m}\Omega) = 1.62 \text{ W} \end{aligned} \quad (6)$$

Für die Berechnung des  $\pm 50$ -mV-Bausteins beträgt die Nennverlustleistung weniger als ein Achtel der Verlustleistung. Dieser Shunt-Widerstand sollte beim Messen des Nennstroms nicht wesentlich durch Eigenerwärmung driften. Die Berechnung für den  $\pm 250$  mV-Baustein führt zu einer Verlustleistung, die mehr als die Hälfte der Nennverlustleistung beträgt, was bedeutet, dass bei der Messung des Nennstrombereichs eine signifikante Temperaturdrift bestehen kann.

Zusätzliche Maßnahmen können ergriffen werden, um die Wärmeableitung im Shunt-Widerstand zu reduzieren. Sie können z. B. größere Platinenebenen formen oder Kühlkörper oder Lüfter verwenden. Bei Anwendungen mit sehr hohen Strömen kann der Eingangsbereich maximiert werden, indem ein Operationsverstärker verwendet wird, um das Eingangssignal so zu verstärken, dass es dem vollen Eingangsbereich des isolierten Verstärkers entspricht. Dieses Verfahren wird in [5] verwendet.

Für die meisten Anwendungen, die hohe Nennstromstärken messen, empfiehlt es sich, einen isolierten Verstärker wie den AMC1302 oder AMC3302 von TI mit einem kleineren Eingangsspannungsbereich von  $\pm 50$  mV zu verwenden.

Im letzten Schritt wird bestätigt, dass die Verlustleistung bei maximaler Stromstärke die Nennverlustleistung des Shunt-Widerstands nicht überschreitet, da eine Überschreitung der Nennverlustleistung den Shunt-Widerstand dauerhaft beschädigen könnte.

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } P &= I_{\text{max}}^2 \times R = (52 \text{ A})^2 \times (1 \text{ m}\Omega) \\ &= 2.70 \text{ W} \end{aligned} \quad (7)$$

Um Messergebnisse ähnlich dem Beispiel anzuzeigen, siehe [6].

## Fazit

Beim Entwurf einer isolierten Strommessschaltung in Endgeräten wie On-Board-Ladegeräten, Stringinvertern und Motorantrieben müssen bei der Auswahl eines isolierten Verstärkers viele Kriterien berücksichtigt werden. Wichtige Aspekte, denen Beachtung geschenkt werden muss, sind die Isolationsspezifikationen, die Highside-Stromquelle und der Eingangsspannungsbereich. Mit dem richtigen isolierten Verstärker, der die Systemanforderungen erfüllt, kann eine Lösung entwickelt werden, ohne die Endgeräte-Zertifizierung bestehen zu müssen. Die absoluten maximalen analogen Eingangsspannungswerte werden bei der Entwicklung einer solchen Lösung nicht überschritten und auch

der Shunt-Widerstand überhitzt nicht durch übermäßige Selbsterwärmung.

## Quellennachweise

1. Alex Smith, „**Best in Class Radiated Emissions EMI Performance with the AMC1300B-Q1 Isolated Amplifier**“ (Best in Class EMI-Strahlungsemissionsleistung mit dem isolierten Verstärker AMC1300B-Q1), Anwendungsbericht, Juni 2020.
2. „**Isolated amplifiers – Certifications**“ (Zertifizierungen für isolierte Verstärker), für Produkte von Texas Instruments
3. **AMC1300 Evaluierungsmodul (EVM), Texas Instruments**
4. Ravi Kiran Raghavendra, „**Simplify your isolated current and voltage sensing designs with single-supply isolated amplifiers and ADCs**“ (Vereinfachen Sie Ihre isolierten Strom- und Spannungsmessungsdesigns mit isolierten Single-Supply-Verstärkern und ADCs). Technischer Artikel zu TI E2E™ Support-Foren, 26. Oktober 2020.
5. „**Shunt-based, 200A Peak Current Measurement Reference Design Using Isolation Amplifier**“ (Shunt-basiertes Referenzdesign zur Strommessung mit Isolationsverstärker), Texas Instruments (TIDA-00445), März 2016.
6. Smith, Alex. „**Accuracy Comparison of Isolated Shunt and Closed-Loop Current Sensing**“ (Genauigkeitsvergleich von isolierter Shunt- und Closed-Loop-Strommessung), Anwendungsbeschreibung, September, 2020.

- **Integrierte Schaltkreise und Referenzdesigns für auf der Platine integrierte (OBC) und drahtlose Ladegeräte**
- **Integrierte Schaltkreise und Referenzdesigns für Solarstranginverter**
- **Blockdiagramme, Referenzdesigns und Produkte für Motorantriebssysteme**

Produktinformationen:

- **Isolator-Lösungen von Texas Instruments**
- **AMC1300B-Q1**
- **AMC1302-Q1**
- **AMC3302**
- **SN6501-Q1**
- **TLV704**

## Verwandte Websites

Referenzdesigns:

**Wichtiger Hinweis:** Die hier beschriebenen Produkte und Dienstleistungen von Texas Instruments Incorporated und seinen Tochterunternehmen werden unter den Standard-Verkaufsbedingungen von TI verkauft. Den Kunden wird empfohlen, aktuelle und vollständige Informationen zu TI-Produkten und Dienstleistungen einzuholen, bevor sie Bestellungen platzieren. TI übernimmt keine Haftung für Anwendungsunterstützung, Kundenanwendungen oder Produktdesigns, Softwareleistung oder Verletzung von Patenten. Die Veröffentlichung von Informationen über Produkte oder Dienstleistungen anderer Unternehmen bedeutet keine Genehmigung, Garantie oder Empfehlung seitens TI.

All trademarks are the property of their respective owners.

## 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