

Isolierte Spannungserfassung in AC-Motorantrieben

Alex Smith

Applications Engineer

Roland Bucksch

Systems Engineer

Martin Staebler

Systems Engineer

Einführung

Automobil- und Industrieendgeräte wie **Motorantriebe**, **Strang-Inverter** und **Onboard-Ladegeräte** arbeiten mit hohen Spannungen, die für die direkte Interaktion mit Menschen nicht sicher sind. Isolierte Spannungsmessungen helfen, den Betrieb zu optimieren und die Sicherheit von Menschen zu gewährleisten, indem sie diese vor dem Hochspannungsschaltkreis schützen, der eine Funktion ausführt.

Für hohe Leistung entwickelte isolierte Verstärker übertragen Spannungsmessdaten über eine Isolationsbarriere. Die Kriterien zur Auswahl eines isolierten Verstärkers umfassen Isolationsspezifikationen, den Eingangsspannungsbereich, Genauigkeitsanforderungen und die Art und Weise, wie Sie die Hochspannungsseite mit Strom versorgen möchten – ein Punkt, den die Messung in der Anwendung oft beeinflussen wird.

Dieses Dokument enthält Anleitungen zur Auswahl des richtigen isolierten Verstärkers durch Auswertung von drei gängigen Spannungsmessungen in einem Endgerät mit AC-Motorantrieb.

Das erste Kriterium ist die erforderliche Isolierungsspezifikation; [1] behandelt die relevanten Isolierungsdefinitionen. Trennverstärker und Modulatoren von Texas Instruments (TI) werden in der Regel auf Basis- oder verstärkten Isolierungsstufen gemäß

Standards auf Bausteinebene wie dem Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN), dem Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) 0884-17, DIN Europäische Norm (EN) International Electrotechnical Commission (IEC) 60747-17, bewertet und zertifiziert. und Underwriters Laboratories (UL) 1577. Weitere Informationen finden Sie im bausteinspezifischen Datenblatt und in [2].

Die Auswahl des Eingangsspannungsbereichs, der Genauigkeitsanforderung und die Auswahl der für die Hochspannungsseite geeigneten Stromversorgungsmethode hängen vom Standort des in der Anwendung gemessenen Spannungsknotens ab. **Abbildung 1** ist ein vereinfachtes Blockschaltbild eines AC-Motorantriebs mit den drei üblichen Stellen für Spannungsmessungen: Das Wechselstromnetz links, das Gleichstromglied in der Mitte und die Motorphase rechts. Isolierte Verstärker sind aufgrund ihrer hohen Genauigkeit und einfachen Handhabung hervorragende Bausteine für diese Messungen.

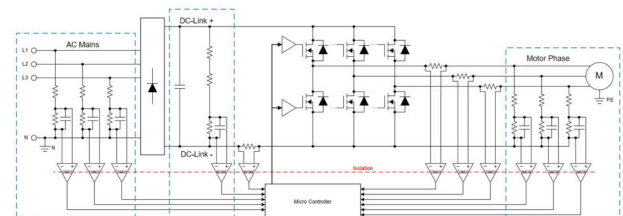


Abbildung 1. Eine AC-Motorantriebsanwendung.

Auf der linken Seite von **Abbildung 1** ist zu sehen, dass der AC-Netzanschluss oft als dreiphasiges, mittig geerdetes Stromversorgungssystem mit Spannungen von $120 V_{\text{RMS}} / 208 V_{\text{RMS}}$ in den USA und $230 V_{\text{RMS}} / 400 V_{\text{RMS}}$ in Europa angeschlossen ist. Die für diese Spannungsmessung erforderliche Genauigkeit ist in der Regel niedrig und wird nicht immer benötigt. Wenn Sie das Wechselstromnetz messen möchten, sollten Sie Geräte mit einem bipolaren Hochimpedanzeingang wie den **AMC1350** oder **AMC3330** von TI in Betracht ziehen. Wenn Sie dreiphasige AC-Spannungsmessungen in Bezug auf die Neutralleiterspannung vornehmen, können Sie für alle drei isolierten Verstärker, die die Messung durchführen, eine einzelne isolierte Stromversorgung verwenden. Wenn Sie dreiphasige AC-Spannungsmessungen von Phase zu Phase durchführen, sollten Sie ein Gerät mit integriertem C/DC-Wandler verwenden, um das Design zu vereinfachen. **Abbildung 2** zeigt den entsprechenden AMC3330-Schaltplan.

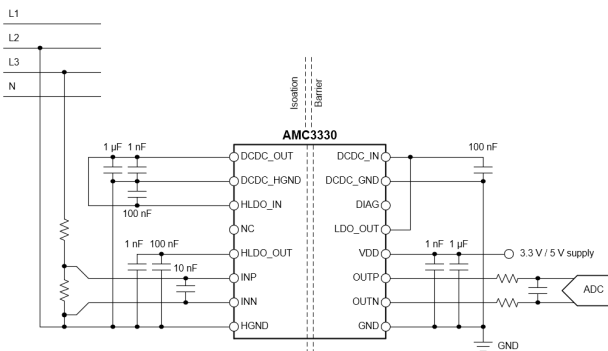


Abbildung 2. Der AMC3330 isolierte Verstärker mit einem internen DC/DC-Wandler.

Zur Berechnung des Tastverhältnisses der Pulsweitenmodulation (PWM) in einem Motorantrieb muss in der Regel die DC-Link-Spannung gemessen werden, die in der Mitte von mit einer Genauigkeit von 1 % oder besser angezeigt wird **Abbildung 1**.

Während des Bremsbetriebs steigt die Gleichstromverbindungsspannung und muss aktiv begrenzt werden, um beispielsweise die Leistungsstufe durch Einschalten einer Nutzbremse zu schützen. Eine Messung mit kurzer Latenzzeit ermöglicht eine schnellere

Reaktion auf Überspannungsereignisse und ermöglicht es dem System, näher an den Grenzen der Hardware zu arbeiten. Dies ermöglicht engere Designmargen und niedrigere Systemkosten. Die DC-Link-Kapazität beträgt in der Regel mehrere $100 \mu\text{F}$. Daher erfordert es genaue Messungen bei niedrigen Spannungen ($<100 \text{ V}$), um festzustellen, ob der DC-Link-Kondensator vor der Wartung des Geräts ordnungsgemäß auf ein sicheres Niveau entladen wurde. Darüber hinaus ermöglichen hochauflösende AC-Rippelmessungen einen Phasenverlust des angeschlossenen Wechselstromnetzes, wodurch möglicherweise keine separate netzseitige Phasenmessung erforderlich ist. Die Frequenz der Rippelspannung beträgt entweder 360 Hz bei einer 60 Hz -Dreiphasen-Netzspannung oder 300 Hz bei einer 50 Hz -Dreiphasen-Netzspannung, da sechs Halbwellen gleichgerichtet werden. Bei einer niedrigen Last (wenn sich der Motor nicht dreht) kann die Größe der Rippelspannung sehr gering sein; daher können Sie für Messungen mit höchster Auflösung einen Modulator bevorzugen. Weitere Informationen zu isolierten Verstärkern im Vergleich zu isolierten Modulatoren finden Sie unter [3]. Isolierte Verstärker mit unipolaren Eingangsbereichen wie der **AMC1351** von TI (mit einem Eingangsbereich von 0 bis 5 V) oder der **AMC1311** (mit einem Eingangsbereich von 0 bis 2 V) sind speziell für DC-Link-Spannungsmessungen ausgelegt. Sie benötigen eine lokale Stromversorgung mit Gleichspannungsbezug, um die Hochspannungsseite wie den in gezeigten isolierten Transformatorschaltkreis mit Strom zu versorgen **Abbildung 3**. Alternativ kann ein Baustein wie der AMC3330 mit integriertem DC/DC-Wandler verwendet werden.

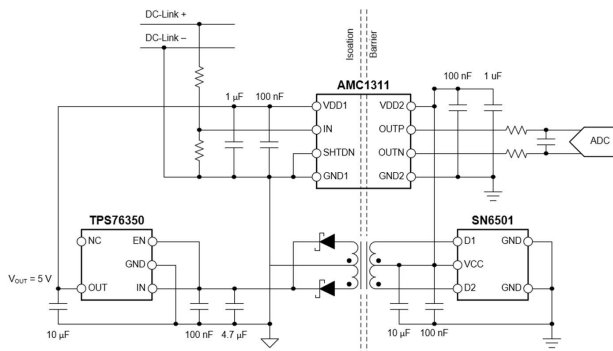


Abbildung 3. Der AMC1311 isolierte Verstärker mit einem diskreten isolierten Transformatorschaltkreis.

Durch die Messung der tatsächlichen Phasenspannung anstatt der Schätzung der Phasenspannung anhand der DC-Link-Messung und des PWM-Tastverhältnisses wird die Leistung sensorloser AC-Motorantriebe weiter verbessert. Die direkte Messung der Phasenspannung führt zu einem präziseren Ergebnis, da alle Verluste im System sowie die Auswirkungen der PWM-Totzeitverzerrung berücksichtigt werden. Eine Methode besteht darin, alle drei Phasen in Bezug auf die DC-Schiene mit drei isolierten Verstärkern mit unipolarem Eingang und einer einzelnen isolierten Stromversorgung (wie in **Abbildung 3** gezeigt) zu messen, um die High-Side für alle drei isolierten Verstärker zu versorgen.

Eine alternative Methode, die Hardwarekosten spart, besteht darin, nur zwei Phasen-zu-Phasen-Spannungen zu messen und die dritte zu berechnen. Diese Methode erfordert nur zwei isolierte Verstärker mit einem bipolaren Eingangsbereich und minimalem zusätzlichem Aufwand auf der Firmware-Seite. Die beiden Messungen werden in Bezug auf eine der Phasenspannungen durchgeführt, bei der die isolierten Verstärker von der potenzialfreien Highside-Gate-Treiber-Versorgung des oben isolierten Gate-Bipolartransistors (IGBT) mit Strom versorgt werden müssen, wie in **Abbildung 4** gezeigt. Bausteine mit internen DC/DC-Wandlern wie der AMC3330 vereinfachen die Schaltung erheblich, was zusätzliche Platzeinsparungen und eine höhere Systemeffizienz ermöglicht.

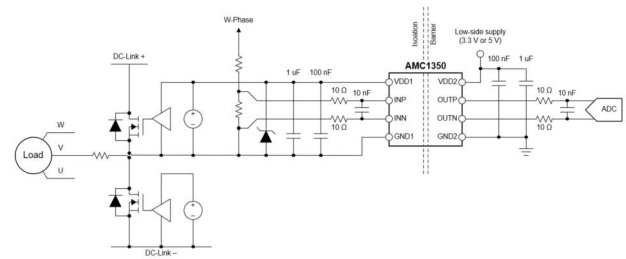


Abbildung 4. Der AMC1350 isolierte Verstärker mit potenzialfreier Stromversorgung.

Für jede dieser Spannungsmessungen muss ein Widerstandsteiler den Hochspannungsknoten herunterskalieren, um dem Eingangsbereich des isolierten Verstärkers zu entsprechen [4]. Es gibt drei häufige Herausforderungen beim Design eines Widerstandsteiler-Schaltkreises:

- Der Eingangsruhestrom des isolierten Verstärkers, der durch den Messwiderstand fließt und einen Offsetfehler erzeugt.
- Der Messwiderstand ist parallel mit der Eingangsimpedanz des isolierten Verstärkers, wodurch der effektive Messwiderstand reduziert und ein Verstärkungsfehler erzeugt wird. Darüber hinaus kann die Eingangsimpedanz des isolierten Verstärkers aufgrund von Prozessschwankungen von Gerät zu Gerät $\pm 20\%$ variieren und als Verstärkungsfehler angezeigt werden, wenn diese nicht berücksichtigt werden.
- Temperaturdrift sowohl im Widerstandsteiler als auch in der Eingangsimpedanz des isolierten Verstärkers.

Die Auswahl eines Bausteins mit hoher Eingangsimpedanz und vernachlässigbarem Eingangsruhestrom aus den isolierten Spannungsmessverstärkern von TI verringert den zur Bewältigung dieser Herausforderungen erforderlichen Aufwand erheblich. Es ist jedoch möglich, eine hochgenaue Spannungsmessschaltung mit einem isolierten Verstärker mit niedriger Eingangsimpedanz und Eingangsruhestrom zu entwerfen [5].

Isolierte Verstärker mit einem größeren Eingangsbereich bieten eine geringere Empfindlichkeit gegenüber

Eingangsruschen und eine höhere Genauigkeit bei niedrigen Eingangspegeln. Allerdings weisen Bausteine mit höherer Eingangsspannung oft eine niedrigere Eingangsimpedanz auf, siehe Tabelle 1, und erfordern eine Verstärkungskalibrierung, um ein Höchstmaß an Genauigkeit zu erreichen. Ein Eingabegerät mit hoher Impedanz bietet eine höhere unkalibrierte Genauigkeit und reduziert den Entwicklungsaufwand. Weitere Informationen zum Vergleich der im Datenblatt angegebenen Genauigkeit mit den typischen und maximalen Fehlerberechnungen von isolierten TI-Verstärkern finden Sie unter [6].

Baustein	Eingangsspannungsbereich	Eingangsimpedanz	Integrierter DC/DC-Wandler	Automobil verfügbar
AMC1211A-Q1	0 V bis 2 V	1 G Ω	Nein	Ja
AMC1311/B	0 V bis 2 V	1 G Ω	Nein	Ja
AMC1411	0 V bis 2 V	1 G Ω	Nein	Ja
AMC1351	0 V bis 5 V	1,25 M Ω	Nein	Ja
AMC3330	± 1 V	1 G Ω	Ja	Ja
AMC1350	± 5 V	1,25 M Ω	Nein	Ja
ISO224A/B	± 12 V	1,25 M Ω	Nein	Nein

Table 1. Isolierte Verstärker zur Spannungsmessung von Texas Instruments.

Fazit

Die große Auswahl an isolierten Verstärkern von Texas Instrument für Hochimpedanzspannungsmessungen ermöglicht Ihnen die richtige Abwägung zwischen Kosten, Leistung, einfacher Implementierung und Platinenplatz, um das Design entsprechend Ihren Anforderungen zu optimieren und die industriellen Isolationsleistungsstandards zu erfüllen.

Quellennachweise

1. Texas Instruments: [Designüberlegungen für die isolierte Strommessung](#)
2. Texas Instruments: [TÜV Technischer Bericht Nr. 713203936](#)

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.

3. Texas Instruments: [Vergleich isolierter Verstärker und isolierter Modulatoren](#)
4. Texas Instruments: [Isolierter Spannungssensorschaltkreis mit \$\pm 480\$ V und Differenzausgang](#)
5. Texas Instruments: [Isolierte Spannungsmessschaltung mit \$\pm 250\$ mV-Eingang und Differenzausgang](#)
6. Texas Instruments: [Excel-Rechner Für Spannungsmessung bei isolierten Verstärkern](#)

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