

Application Brief

Shunt-Widerstandsauswahl für isolierte Datenwandler



Alex Smith

Einführung

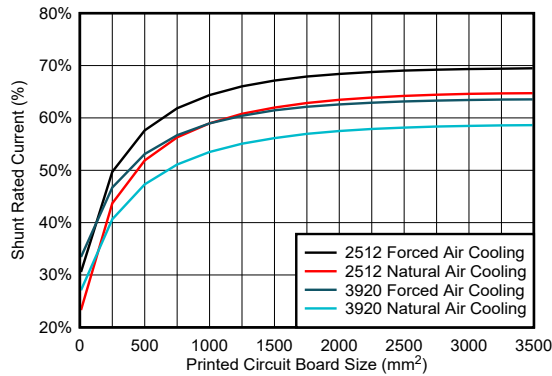
Ein niederohmscher, präziser Inline-Widerstand wird als Shunt-Widerstand bezeichnet. In Hochspannungs-Automobil- und Industrieanwendungen werden Komponenten wie [Hybrid-, Elektro- und Antriebsstrangsysteme](#), [EV-Ladeinfrastruktur](#), [Motorantriebe](#), Shunt-Widerstände oft mit einem isolierten Datenwandler gekoppelt, um Ströme zu messen, deren Größe den Rückkopplungsalgorithmus eines Regelkreises steuert und gleichzeitig die digitale Schaltung vor dem Hochspannungsschaltkreis schützt, der Funktionen ausführt. Texas Instruments bietet ein umfassendes Portfolio an [isolierten Verstärkern](#), [isolierten ADC](#) und [isolierten Komparatoren](#) mit einer kapazitiven Isolierungsbarriere an, um Kunden bei der Bewältigung ihrer Anforderungen an die isolierte Datenwandlung zu unterstützen. Die kapazitive Isolationsbarriere von Texas Instruments ermöglicht oftmals eine Betriebsdauer von mehr als 100 Jahren. Weitere Informationen zur kapazitiven Isolierungsbarriere von TI finden Sie unter dem [Isolierungs-Link](#).

Wie der [Genauigkeitsvergleich von isolierten Shunt- und Closed-Loop-Strommesslösungen zeigt](#), ermöglicht die Shunt-basierte Strommessung branchenführende Genauigkeit, Immunität gegen magnetische Störungen, Langzeitstabilität, hohe Linearität, geringe Offset-Drift, Skalierbarkeit für mehrere Projekte und das alles zu einem attraktiven Preis. Shunts können auf dem Gehäuse montiert, auf der Oberfläche angebracht oder für Durchgangslochanschlüsse auf der Leiterplatte (PCB) verdrahtet sein. Es stehen viele Shunt-Widerstände zur Auswahl. Die Auswahl des richtigen Shunt-Widerstands für eine bestimmte Anwendung ist nicht immer einfach. In dieser Anwendungsbeschreibung werden Shunt-Widerstände, die häufig für die isolierte Strommessung verwendet werden, inklusive der Vor- und Nachteile beschrieben.

Berechnung der Anforderungen an Widerstand und Verlustleistung

Bei der Auswahl eines Shunt-Widerstands besteht der erste Schritt in der Berechnung des erforderlichen Widerstands und der Verlustleistung auf der Grundlage der kontinuierlichen und maximalen Stromgrößen sowie des linearen Vollausschlag-Eingangsspannungsbereichs des isolierten Datenwandlers, wie im Artikel [Designüberlegungen für die isolierte Strommessung](#) beschrieben. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die maximale Temperatur der Shunt-Widerstände aufgrund der Eigenerwärmung den im Datenblatt angegebenen Nennwert nicht überschreitet. Unter normalen Bedingungen können Shunt-Widerstände nicht kontinuierlich über zwei Drittel ihres Nennstroms arbeiten, vorausgesetzt, das Design ermöglicht eine ausreichende Wärmeableitung. Die Wärmeableitungstechniken variieren je nach Anwendung und können auf mehrere Arten realisiert werden: Sie können das Gewicht der Lösung vergrößern, die Größe des stromführenden PCB-Pfads oder des Primärleiters erhöhen oder Kühlkörper, Lüfter oder eine erzwungene Luftkühlung einbauen. Wenn die Anwendung keine ausreichende Wärmeableitung zulässt, kann der Shunt-Widerstand unter Umständen nur mit einem Viertel des Nennstroms betrieben werden. Bei Überschreitung dieses Stroms kann eine weitere Verringerung des Widerstands oder eine Erhöhung der Verlustleistung am ausgewählten Shunt-Widerstand erforderlich sein.

Bei oberflächenmontierbaren Widerständen werden etwa 90 % der selbst erzeugten Wärme per Ableitung an die Leiterbahn abgeführt. [Abbildung 1](#) zeigt, dass die Vergrößerung der stromführenden Leiterbahn eine effektive Technik zur Wärmeableitung ist. Das simulierte thermische Verhalten von oberflächenmontierten 1-m Ω -Widerständen mit Metallelementen, 2512 (5 W) und 3920 (8 W) mit natürlicher und erzwungener Luftkühlung. Die Ergebnisse werden als Shunt-Nennstrom (%) vs. PCB-Größe (mm²) darstellt, wobei die maximale Temperatur des ausgewählten Shunt-Widerstands (170 °C) erreicht wurde.


Abbildung 1. Shunt-Nennstrom vs. Platinengröße

Um die Leistung des Shunt-Widerstands in einer Anwendung zu überprüfen, messen Sie die Klemmentemperatur des Shunt-Widerstands während des maximalen Nennbetriebs. Anhand der Leistungs-Derating-Kurve im Datenblatt des Shunt-Widerstands lässt sich überprüfen, ob der Betrieb im angegebenen Bereich liegt. Diese Praxis gewährleistet nicht nur, dass das ohmsche Material die angegebene Höchsttemperatur nicht überschreitet, sondern auch, dass der angegebene Temperaturdrift-Koeffizient gültig ist.

Berücksichtigen Sie bei der Berechnung der erwarteten Ausgangsspannung und Verlustleistung die Größen von Transienten- und Kurzschlussströmen. Die im Datenblatt angegebene kurzzeitige Überlast-Verlustleistung des Shunt-Widerstands darf nicht überschritten werden, da die Gefahr besteht, die physikalischen Eigenschaften des Shunt-Widerstands dauerhaft zu verändern oder eine Unterbrechung zu verursachen. Außerdem muss gewährleistet werden, dass die absolute maximale Eingangsspannung des isolierten Datenwandlers in keinem der beiden Zustände verletzt wird, wie in der Tabelle „Absolute maximale Nennwerte“ des Datenblatts angegeben. Die Eingangsspannung von isolierten Datenwandlern von Texas Instruments sind typischerweise für Spannungen zwischen -6 V und bis zur Highside-Versorgungsspannung $+500\text{ mV}$ gegenüber der Highside-Masse ausgelegt, ohne dass das Risiko einer Beschädigung besteht.

Montage, Konstruktion und Materialarten

Nachdem eine ungefähre Anforderung an Widerstand und Verlustleistung berechnet wurde, müssen zusätzliche Auswahlkriterien berücksichtigt werden, wie in [Tabelle 1](#) zusammengefasst.

Tabelle 1. Zusammenfassung Der Shunt-Auswahl

Technologie	Metallelement	Metallfolie	Metallelement	Drahtwicklung
Installationsmethode	Oberflächenmontiert	Oberflächenmontiert	Chassismontage	Chassismontage oder verdrahtet
Widerstandsreichweite (Ω)	0,1 m – 1	0,5 m – 0,7	25 μ – 0,1	$R > 5\text{ m}$
Leistungsbereich (W)	1/16 – 20	1/80 – 10	¼ – 100	½ – 1 k
Toleranzbereich (%)	0,1 – 5	0,01 – 10	0,1 – 1	0,1 – 10
Drift-Bereich (ppm/°C)	15 – 750	0,2 – 1 k	20 – 100	20 – 400
Impulsfähigkeit (C)	Bis zu 275	Bis zu 225	Bis zu 175	275+
Kosten	+	++	+++	+++/+

Oberflächenmontierte Shunt-Widerstände aus Metallelementen sind die beliebteste Wahl für die isolierte Strommessung, weil sie geringe Widerstände, eine hohe Leistung, eine hohe Anfangspräzision bietet, und das alles zu einem attraktiven Preis. Shunt-Widerstandsserien wie CSS2H von Bourns® und WSLP von Vishay® sind gut für die isolierte Strommessung geeignet. Anwendungen, die eine höhere Anfangsgenauigkeit oder eine geringere Temperaturdrift erfordern als Metallelemente sie bieten können, können Metallfolien wie FC4L von Ohmite® in Betracht ziehen; allerdings sind die Verlustleistungen in der Regel niedriger und die Kosten höher als bei Metallelementen. Wenn Sie überlegen, wie das Layout für oberflächenmontierte Widerstände genau aussehen soll, sollten Sie eine Platzierung in der Nähe des isolierten Datenwandlers in Betracht ziehen, mit kurzen und gleichmäßig aufeinander abgestimmten Sensorverbindungen zu den Eingängen, wie in diesem Video zum [Shunt-Widerstand-Layout von Strommessverstärkern](#) von TI Precision Labs erläutert wird. Achten Sie außerdem besonders auf die Gestaltung von Leiterplattenpads für oberflächenmontierte Widerstände mit geringem Widerstand ($< 500\ \mu\Omega$), wie in diesem [TI E2E Blog](#) von TI beschrieben. Abschließend sollte bei der Arbeit mit dem Leiterplattenhersteller überprüft werden, ob der richtige Lötaufschmelzprozess verwendet wurde, da eine falsche Installation aufgrund des Lötkontaktwiderstands an den Pads, einer unsymmetrischen Wärmeableitung während des Betriebs oder einer Unterbrechung zu einem hohen Anfangsfehler führen kann.

Widerstände für die Chassismontage werden häufig in Anwendungen verwendet, bei denen hohe Ströme erforderlich sind, da diese Widerstände den Einbau von Leitern in Leitungen ermöglichen und die selbst erzeugte Wärme nicht auf die

Leiterplatte ableiten. Chassis-montierte Widerstände aus Metallelementen ermöglichen Widerstände von nur $25 \mu\Omega$ und eine Wattzahl von bis zu 100 W, während Chassismontierte Drahtwiderstände eine außergewöhnliche Impulsleistung bieten. Achten Sie bei der Installation besonders darauf, dass Schrauben, Nieten oder Crimpverbindungen der Primäranschlüsse mit dem richtigen Drehmoment angezogen werden, da der Primärleitung ein zusätzlicher Widerstand hinzugefügt werden kann, der zu unnötiger oder unsymmetrischer Verlustleistung und Analogfehlern führt. Weitere Informationen erhalten Sie vom Hersteller des Widerstands für die Chassismontage.

Für Anwendungen, die höchste Genauigkeit erfordern, sollten Sie vier Klemmen-Shunt-Widerstände mit differenziellen Messanschlüssen unabhängig von den Primärstromführern (Kelvin-Verbindungen) in Betracht ziehen. Kelvin-Verbindungen bieten aufgrund der geringeren Temperaturdrift in den Leitungen des Sensorelements eine höhere Genauigkeit als zwei Terminal-Shunts. Allerdings sind die Kosten in der Regel höher und es besteht ein zusätzliches Risiko, da bei falscher Installation der Primärstrom durch die Sensorverbindungen fließen und dadurch der isolierte Datenwandler beschädigt werden kann. Temperaturmessungen vor Ort am Shunt-Widerstand können auch durchgeführt werden, um in regelmäßigen Abständen eine Kalibrierungstabelle zu aktualisieren, da die meisten Shunt-Widerstände eine relativ vorhersehbare Änderung des Widerstands über die Temperatur bieten. Sie bieten eine außergewöhnlich hohe Genauigkeit trotz Änderungen der Umgebungstemperatur oder Eigenerwärmung aufgrund der Verlustleistung.

Fazit

Durch die Kombination des richtigen Shunt-Widerstands mit einem [isolierten Verstärker](#), einem [isolierten ADC](#) oder einem [isolierten Komparator](#) von TI lassen sich Messergebnisse erzielen, die sich durch branchenführende Genauigkeit, Immunität gegen magnetische Störungen, Langzeitstabilität, hohe Linearität, geringe Drift, Skalierbarkeit für mehrere Projekte und einen attraktiven Preis auszeichnen.

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 © 2023 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