

Application Brief

Vergleich von isolierten Shunt- und Hall-basierten Strommesslösungen in Hybrid- und Elektrofahrzeugen



Krunal Maniar

Einführung

Der weltweite Markt für Elektrofahrzeuge (EVS) und Hybrid-Elektrofahrzeuge (HEVs) wächst rasant, da diese Fahrzeuge im Vergleich zu Benzin- oder Dieselfahrzeugen eine höhere Kraftstoffeffizienz und geringere Emissionen bieten und Strom aus erneuerbaren Energiequellen nutzen. Zur Steuerung des Energieflusses und zur Optimierung der Effizienz von HEV/EV-Antriebsstrang-Subsystemen wie Traktionswechselrichtern, fahrzeuginternen Ladegeräten (OBCs), DC/DC-Wandlern und Batteriemanagementsystemen (BMS) ist eine präzise und genaue Strommessung unverzichtbar. Diese Hochspannungssysteme müssen große Ströme bei hohen Spannungen, typischerweise > 400 V, messen. Daher erfordern diese Strommessungen sowohl eine Isolierung als auch eine hohe Leistung in rauen Automobilumgebungen.

Verschiedene Isolierte Strommessverfahren

Jede HEV/EV-Anwendung hat unterschiedliche Kosten, Genauigkeit, Signalbandbreite, Latenz, Messbereich, Isolationswerte und Anforderungen an die Gehäusegröße. Es gibt mehrere Methoden zur isolierten Strommessung. Allerdings sind die primären Methoden, die in HEV/EV-Subsystemen verwendet werden, entweder Shunt-basierte mit isolierten Verstärkern (Abbildung 1) oder isolierte Modulatoren (Abbildung 2) oder Hall-basierte mit Open-Loop- (Abbildung 3) oder Closed-Loop- (Abbildung 4) Hall-Sensoren.

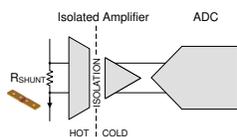


Abbildung 1. Isolierte Verstärker

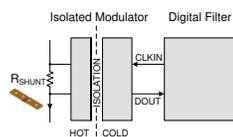


Abbildung 2. Isoliertes Modul

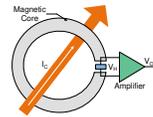


Abbildung 3. Hall-Sensor mit offenem Regelkreis

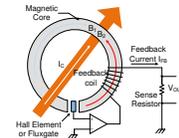


Abbildung 4. Hall-Sensor mit geschlossenem Regelkreis

Vergleich von Shunt- und Hall-basierten Methoden

Früher haben die Entwickler Shunt-basierte Lösungen für Messungen mit niedrigem Strom (<50 A) und Hall-basierte Lösungen für Messungen mit hohem Strom (>50 A) bevorzugt. Aufgrund der steigenden Anforderungen an die Genauigkeit von Strommessungen migrieren Automobilzulieferer jedoch von Hall-basierten zu Shunt-basierten Methoden, insbesondere in Hochstromanwendungen. Sogar unter Automobilherstellern gibt es den Trend, von Lösungen auf der Basis isolierter Verstärker zu Lösungen auf der Basis isolierter Modulatoren zu wechseln, um die Messgenauigkeit weiter zu verbessern.

Texas Instruments bietet klassenbeste [isolierte Verstärker](#) und [isolierte Modulatoren](#), die in Kombination mit hochpräzisen Shunts dazu beitragen, sehr genaue isolierte Strommessungen über die Temperatur zu erreichen. [Tabelle 1](#) zeigt die grundlegenden Unterschiede zwischen Shunt- und Hall-basierten isolierten Strommesslösungen in Hochstrom-Automobilumgebungen.

Tabelle 1. Unterschied zwischen Shunt- und Hall-basierter isolierter Strommessung

KATEGORIE	SHUNT-BASIERT	HALL-BASIERT
Lösungsgröße	Ähnlich	Ähnlich
Offset, Abweichung	Sehr niedrig	Mittel
Offset-Drift über die Temperatur	Niedrig	Mittel
Genauigkeit	<0,5% nach Kalibrierung	<2 % nach Kalibrierung
Rauschen	Sehr niedrig	Hoch

Tabelle 1. Unterschied zwischen Shunt- und Hall-basierter isolierter Strommessung (Fortsetzung)

KATEGORIE	SHUNT-BASIIERT	HALL-BASIIERT
Bandbreite	Ähnlich	Ähnlich
Latenz	Ähnlich	Ähnlich
Nichtlinearität	Sehr niedrig	Hoch
Langzeitstabilität	Sehr hoch	Mittel
Kosten	Ähnlich	Ähnlich
Vibrationseinwirkung	Sehr niedrig	Niedrig
Verlustleistung	Niedrig	Sehr niedrig
Anpassung	Flexibel	Begrenzt

Analyse von Shunt- und Hall-basierten Methoden

- Hall-Sensoren sind von Natur aus isoliert, was einen Ansatz mit nur einem Modul ermöglicht. Auf der anderen Seite benötigen Shunt-basierte Lösungen einen isolierten Verstärker oder Modulator und eine isolierte Stromversorgung für die Seite mit hoher Gleichtaktspannung.
- Shunt-basierte Lösungen weisen einen sehr geringen anfänglichen Offset auf, weisen eine geringere Offset-Drift über die Temperatur auf und sind weniger anfällig für externe Magnetfelder.
- Shunt-basierte Lösungen sind im Vergleich zu Hall-basierten Lösungen, die nicht linear sind, über den gesamten Spannungsbereich linear. Dies gilt insbesondere für den Nulldurchgang und in der Nähe des Sättigungsbereichs des Magnetkerns.
- Shunt-basierte Lösungen erzielen eine bessere DC-Genauigkeit über den Temperaturbereich im Vergleich zu Hall-basierten Lösungen mit einfacher Einzelzeitkalibrierung. Die Genauigkeit von Shunt-basierten Lösungen ist insbesondere bei niedrigen Strömen aufgrund der begrenzten Empfindlichkeit gegenüber externen Magnetfeldern viel besser.
- Der Spannungsabfall am Inline-Shunt führt zu Wärmeableitung und Leistungsverlust. Allerdings sind mit Verbesserungen der Shunt-Technologie die Shunts leichter geworden, die ohmschen Werte sind gesunken und die Genauigkeit und das Driftverhalten wurden verbessert. Die Verwendung von niederohmigen Shunts führt zu einer geringeren Wärmeableitung. Darüber hinaus unterstützen die isolierten Verstärker und Modulatoren von Texas Instruments sehr kleine Eingangsspannungsbereiche (± 50 mV und ± 250 mV) mit einer überlegenen Gesamtgenauigkeit. Diese Verbesserungen der Shunt-Technologie und die Verfügbarkeit von isolierten Bausteinen mit kleinem Eingangsbereich ermöglichen Systemen eine geringere Wärmeableitung ohne Kompromisse bei der Gesamtmessgenauigkeit.
- Hall-Sensoren haben in der Regel einen begrenzten Betriebstemperaturbereich (normalerweise von -40 bis $+85$ Grad Celsius),

während Shunt-basierte Lösungen höhere Betriebstemperaturbereiche (typischerweise von -40 bis $+125$ Grad Celsius) unterstützen können.

- Sowohl Hall-basierte als auch Shunt-basierte isolierte Verstärkerlösungen bieten eine ähnliche Signalbandbreite, in der Regel bis zu einigen Hundert Kilohertz (kHz). Isolierte Modulatoren bieten jedoch einen Hochgeschwindigkeits-Bitstrom-Ausgang, mit dem der Benutzer digitale Filterung extern implementieren und anpassen kann. Diese Anpassung ermöglicht es dem Benutzer, Lösungen mit hoher Signalbandbreite und geringer Latenz zu entwickeln.

Referenzdesign für isolierte, shunt-basierte Stromerkennung

Ein Traktionsinverter steuert den Elektromotor und ist eine Schlüsselkomponente im HEV/EV-Antriebsstrang. Ein Traktionsinverter erfordert eine genaue Strommessung bei hohen Gleichtaktspannungen. Strommessungen in Traktionsumrichtern können daher mit einer von zwei Shunt-basierten Methoden durchgeführt werden.

Abbildung 5 Zeigt den Spannungsabfall über den Shunt auf der heißen (hohen Gleichtaktspannung) Seite ist von der kalten Seite mit einem für die Automobilindustrie geeigneten, verstärkten isolierten Verstärker wie dem [AMC1301-Q1](#) isoliert.

Abbildung 6 Zeigt die zweite Shunt-basierte Messmethode, bei der ein verstärkter isolierter Modulator mit Automobilzulassung wie der [AMC1305M25-Q1](#) verwendet wird, um den Spannungsabfall über den Shunt auf der heißen Seite von der kalten Seite zu isolieren.

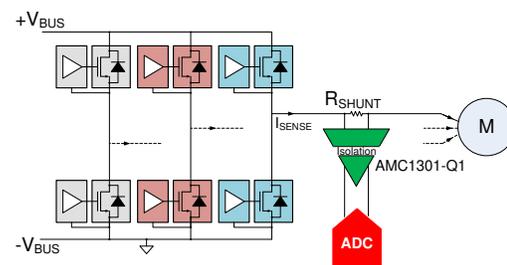


Abbildung 5. Isolierte Strommessung mit isolierten Verstärkern

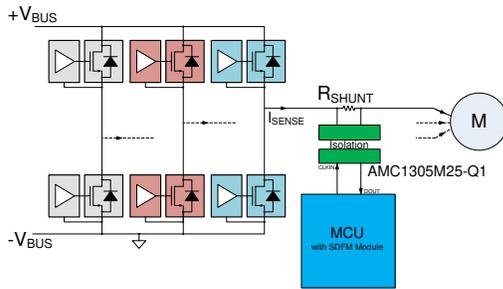


Abbildung 6. Isolierte Strommessung mit isolierten Modulatoren

Um die Messgenauigkeit zu verbessern, verwenden Sie einen isolierten Modulator, da diese Lösung eine zusätzliche Analog-Digital-Wandlungsstufe und die damit verbundenen Fehler eliminiert. Der Hochgeschwindigkeits-Bitstrom-Ausgang der isolierten Modulatoren wird von Mikrocontrollern (MCUs) wie der [C2000-Familie](#) von TI, die über ein integriertes Sigma-Delta-Filtermodul (SDFM) verfügen, oder von einem FPGA gefiltert, wodurch der Benutzer die Signalbandbreite und -Genauigkeit feinabstimmen kann.

Empfehlungen für isolierte Bausteine für die Automobilindustrie

BAUSTEIN	ISOLIERUNG	BESCHREIBUNG
AMC1305-Q1	Verstärkt	Isolierter Modulator mit ± 50 mV, ± 250 mV
AMC1301-Q1	Verstärkt	Isolierter Verstärker mit ± 250 mV
AMC1302-Q1	Verstärkt	Isolierter Verstärker mit ± 50 mV

Fazit

Für die isolierte Strommessung in HEV/EV-Subsystemen gibt es mehrere Messmethoden, einschließlich Shunt-basierter und Hall-basierter Methoden. Mit Fortschritten bei erschwinglichen hochpräzisen Shunts und hochleistungsfähigen isolierten Verstärkern und Modulatoren sind Shunt-basierte Lösungen zu einer guten Alternative zu herkömmlichen Hall-basierten Lösungen geworden.

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