

## Application Note

**Vergleich isolierter Verstärker und isolierter Modulatoren**

Krunal Maniar

**ABSTRACT**

Industrieanwendungen wie Motorantriebe, Photovoltaik-Inverter und unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) sowie Fahrzeuganwendungen wie Onboard-Ladegeräte (OBCs), Traktionswechselrichter und DC/DC-Wandler arbeiten mit hohen Spannungs- und Stromstärken, um den Gesamtwirkungsgrad und den Leistungsdurchsatz zu optimieren. Diese Systeme sind rauen Umgebungen wie beispielsweise elektrischen Störungen, Vibrationen, mechanischen Erschütterungen, extremen Temperaturen und dem Eindringen von Verunreinigungen ausgesetzt. Solche Systeme erfordern eine robuste und zuverlässige galvanische Trennung, um Hochspannung von Niederspannungsschaltungen zu isolieren. Die an diesen hohen Spannungen gemessenen Rückkopplungssignale sind durch isolierte Verstärker oder isolierte Modulatoren galvanisch von den Niederspannungscontrollern getrennt.

In diesem Dokument werden isolierte Verstärker und isolierte modulatorbasierte Designs verglichen und eine Reihe von einzigartigen Vorteilen isolierter modulatorbasierter Designs erläutert.

**Inhalt**

|  |   |
|--|---|
| <b>1 Einführung in isolierte Verstärker</b> .....  | 2 |
| <b>2 Einführung in isolierte Modulatoren</b> .....   | 2 |
| <b>3 Leistungsvergleich zwischen isolierten Verstärkern und isolierten Modulatoren</b> ..... | 3 |
| <b>4 Isolierte Modulatoren in Traktionsumrichtern</b> .....                                  | 4 |
| <b>5 Isolierte Verstärker und Modulatoren, Empfehlungen</b> .....                            | 5 |
| <b>6 Fazit</b> .....   | 5 |
| <b>7 Änderungsverlauf</b> .....  | 6 |

**Abbildungsverzeichnis**

|  |   |
|--|---|
| Abbildung 1-1. Implementierung von isolierten Verstärkern.....       | 2 |
| Abbildung 2-1. Implementierung eines isolierten Modulators.....      | 2 |
| Abbildung 3-1. Implementierung von zwei Digitalfiltern parallel..... | 4 |
| Abbildung 4-1. Strommessung mit einem isolierten Modulator.....      | 4 |

**Tabellenverzeichnis**

|   |   |
|---|---|
| Tabelle 3-1. Leistungsvergleich zwischen isolierten Verstärkern und isolierten Modulatoren.....   | 3 |
| Tabelle 3-2. Leistungsabgleich zwischen ENOB und Einschwingzeit, Latenz oder Bandbreite für den <a href="#">AMC1306</a> bei CLKIN = 20 MHz unter Verwendung eines Sinc <sup>3</sup> -Filters..... | 4 |
| Tabelle 5-1. Empfohlene Bausteine.....  | 5 |

**Marken**

All trademarks are the property of their respective owners.

## 1 Einführung in isolierte Verstärker

Abbildung 1-1 Zeigt die Implementierung eines auf isolierten Verstärkern basierenden Messdesigns.

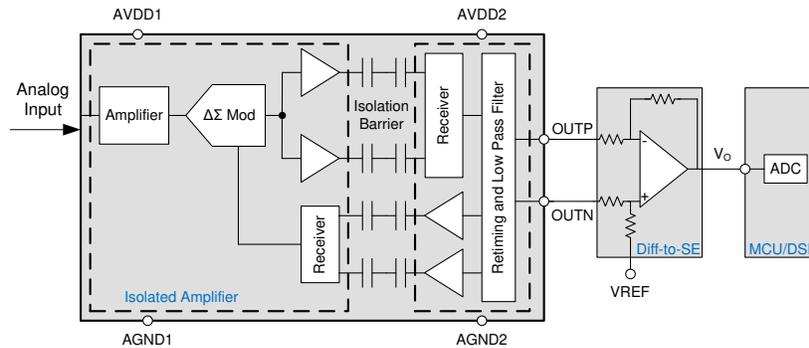


Abbildung 1-1. Implementierung von isolierten Verstärkern

Die Eingangsstufe eines isolierten Verstärkers besteht aus einem Eingangverstärker, der einen Delta-Sigma ( $\Delta\Sigma$ )-Modulator ansteuert. Die Verstärkung des Eingangverstärkers ist fest und wird durch interne Präzisionswiderstände eingestellt. Der  $\Delta\Sigma$ -Modulator wandelt das analoge Eingangssignal anhand der internen Referenzspannung und des Taktgenerators in einen digitalen Bitstrom um. Die Treiber übertragen den Ausgang des Modulators über eine Isolationsbarriere, die den Hoch- und den Niederspannungsbereich trennt. Der empfangene Bitstrom und der Taktgeber werden synchronisiert und von einem analogen Tiefpassfilter auf der Niederspannungsseite verarbeitet und als analoges Ausgangssignal dargestellt.

Der Differenzausgang eines isolierten Verstärkers wird häufig in einen einseitig geerdeten Analogausgang mit einer auf einem Operationsverstärker basierenden Schaltung umgewandelt. Dieser Operationsverstärkerbasierte Schaltkreis kann auch einen Tiefpassfilter implementieren, um die Signalbandbreite weiter auf eine gewünschte Bandbreite zu reduzieren und dadurch die Rauschleistung des Systems zu verbessern.

Der Analog-zu-Digital-Wandler (ADC), entweder extern oder intern am Mikrocontroller (MCU) oder digitalen Signalprozessor (DSP), empfängt diesen analogen Rückkopplungsausgang und konvertiert diesen in den digitalen Bereich zurück.

## 2 Einführung in isolierte Modulatoren

Abbildung 2-1 Zeigt die Implementierung einer Messlösung auf Basis isolierter Modulatoren.

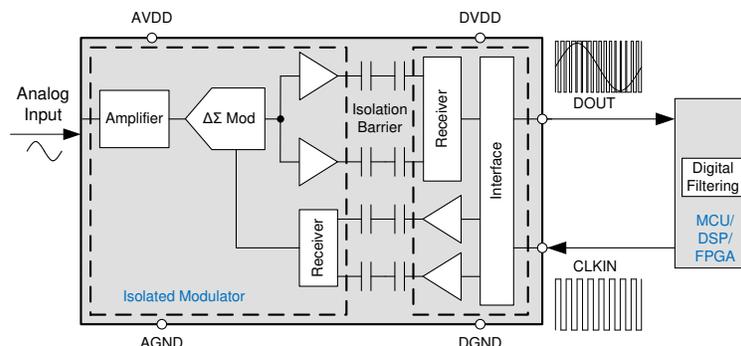


Abbildung 2-1. Implementierung eines isolierten Modulators

Die Eingangsstufe isolierter Modulatoren ähnelt der isolierter Verstärker. Die Treiber übertragen den Modulorausgang über die Isolationsbarriere. Der isolierte Datenausgangs-DOUT stellt einen digitalen Bitstrom von 1 und 0 bei einer viel höheren Frequenz (bis zu 20 MHz) bereit. Der Zeitmittelwert dieses Bitstromausgangs ist proportional zur analogen Eingangsspannung. Das gemessene Signal wird mit einem Digitalfilter innerhalb der Mikrocontroller-Familien wie [TMS320F2807x](#) und [TMS320F2837x](#), einem DSP, oder einem feldprogrammierbaren Gate-Array (FPGA) rekonstruiert.

### 3 Leistungsvergleich zwischen isolierten Verstärkern und isolierten Modulatoren

Tabelle 3-1 zeigt den grundlegenden Leistungsunterschied zwischen isolierten Verstärkern und isolierten Modulatoren.

**Tabelle 3-1. Leistungsvergleich zwischen isolierten Verstärkern und isolierten Modulatoren**

| KATEGORIE                         | ISOLIERTER VERSTÄRKER          | ISOLIERTER MODULATOR   |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|
| Abtastauflösung                   | 11 Bit (Bandbreite = 100 kHz)  | > 14 Bit erreichbar,<br>Leistungsabtausch zwischen Auflösung und Bandbreite oder Latenz    |
| Latenz                            | 2 $\mu$ s bis 3 $\mu$ s (fest) | < 1 $\mu$ s erreichbar,<br>Leistungsabtausch zwischen Auflösung und Bandbreite oder Latenz |
| Bandbreite                        | Bis zu 300 kHz                 | > 1 MHz erreichbar,<br>Leistungsabtausch zwischen Auflösung und Bandbreite oder Latenz     |
| Genauigkeit und Driftleistung     | Hoch                           | Sehr hoch  |
| Anzahl der benötigten Komponenten | Mehr                           | Weniger  |

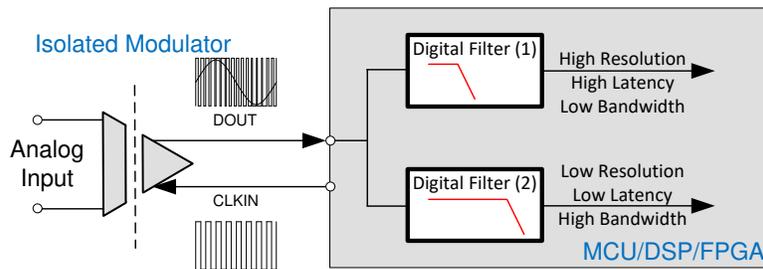
In einem Design auf Basis eines *isolierten Verstärkers* wird das gemessene Analogsignal mehreren Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandlungen unterzogen. Die Stufen innerhalb des isolierten Verstärkers, der differentiellen und unsymmetrischen Stufe und des ADC (extern oder intern) der MCU oder des DSP reduzieren die Gesamtgenauigkeit und das Rauschverhalten und erhöhen die Latenz. Die feste Tiefpassfilterimplementierung in der Ausgangsstufe des isolierten Verstärkers begrenzt die Signalbandbreite. Eine externe Operationsverstärker-basierte Schaltung für die Umwandlung von differentiellen in unsymmetrische Signale kann verwendet werden, um einen aktiven Tiefpassfilter zu erzeugen, der die Signalbandbreite weiter begrenzt und dadurch die Rauschleistung verbessert. Der isolierte Verstärker eine feste Latenz aus. Designs auf der Basis isolierter Verstärker werden aufgrund ihrer Vertrautheit in der Nutzung und der relativ einfachen Implementierung häufig verwendet.

Wie in [Abbildung 2-1](#) gezeigt, wird das gemessene Analogsignal in einem *isolierten Modulator-basierten Design* nur einer Analog-Digital-Wandlung unterzogen. Dieses Design macht eine differentielle zu unsymmetrische Stufe überflüssig, wodurch die Anzahl der Komponenten und die Designgröße reduziert werden. Der in einem Design mit isoliertem Verstärker verwendete A/D-Wandler, der in vielen Situationen die maximal erzielbare Abtastauflösung und Genauigkeit einschränkt, ist nicht mehr erforderlich. Dieser isolierte modulatorbasierte Ansatz bietet eine verbesserte Signalrauschleistung und Gesamtgenauigkeit und kann eine höhere Signalbandbreite und geringere Latenz erreichen als ein isoliertes verstärkerbasiertes Design. Isolierte Modulatoren bieten einen viel schnelleren digitalen Bitstream-Ausgang, typischerweise bis zu 20 MHz. Das Sigma-Delta-Filtermodul (SDFM) in den Mikrocontroller-Familien (z. B. [TMS320F2807x](#) und [TMS320F2837x](#)) bietet eine einfache Möglichkeit, die Rauschleistung und Signalbandbreite oder Latenz zu optimieren. Wie in [Tabelle 3-2](#) gezeigt, führt eine Implementierung mit höherem Oversampling-Verhältnis (OSR) zu einer besseren Genauigkeit und einer optimierten Abtastauflösung, aber gleichzeitig auch zu einer geringeren Signalbandbreite und einer höheren Latenz. Auf ähnliche Weise verringert die Minderung des OSR die Genauigkeit und die Abtastauflösung, erhöht aber die Bandbreite und führt zu einer geringeren Latenz. Ein ähnlicher DSP oder ein FPGA kann auch einen solchen Digitalfilter implementieren.

**Tabelle 3-2. Leistungsabgleich zwischen ENOB und Einschwingzeit, Latenz oder Bandbreite für den AMC1306 bei CLKIN = 20 MHz unter Verwendung eines Sinc<sup>3</sup>-Filters**

| OSR | ENOB (Bit) | EINSCHWINGZEIT (µs) | LATENZ (µs) | BANDBREITE (kHz) |
|-----|------------|---------------------|-------------|------------------|
| 8   | 4,65       | 1,2                 | 0,6         | 1250             |
| 16  | 7,57       | 2,4                 | 1,2         | 625              |
| 32  | 10,02      | 4,8                 | 2,4         | 312,5            |
| 64  | 12,3       | 9,6                 | 4,8         | 156,25           |
| 128 | 13,51      | 19,2                | 9,6         | 78,13            |
| 256 | 14,11      | 38,4                | 19,2        | 39,06            |
| 512 | 14,39      | 76,8                | 38,4        | 19,53            |

Darüber hinaus können, wie in [Abbildung 3-1](#) gezeigt, mehrere digitale Filter parallel implementiert werden, um alles gleichzeitig zu erreichen: eine höhere Abtastauflösung, eine geringere Latenz und eine höhere Bandbreite. Einer der Digitalfilter kann einen hohen OSR-Digitalfilter für ein besseres Rauschverhalten implementieren, und ein anderer kann einen Digitalfilter mit kurzer Latenzzeit implementieren.

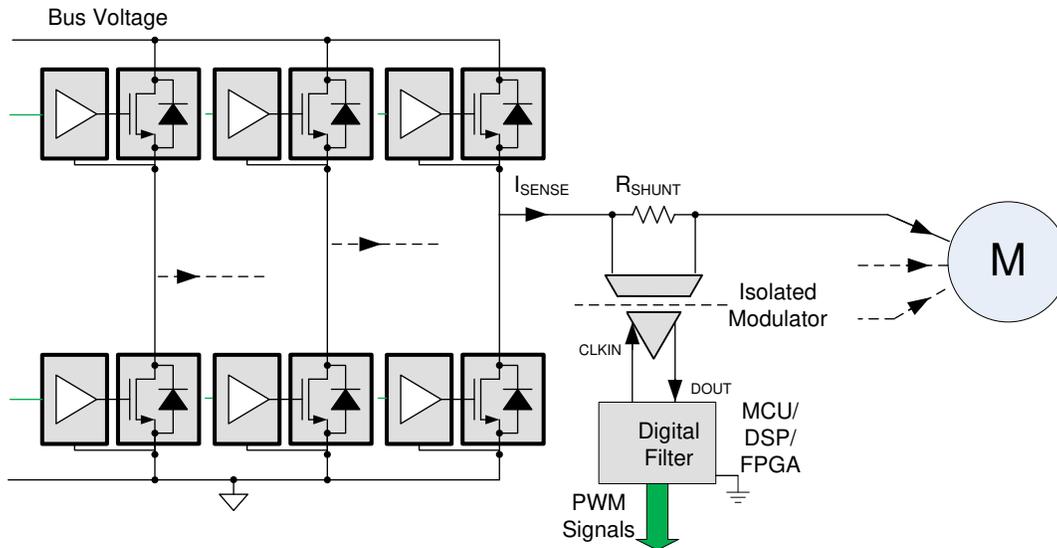


**Abbildung 3-1. Implementierung von zwei Digitalfiltern parallel**

Aufgrund der Systemvorteile, die ein isoliertes modulatorbasiertes Design bietet, ist ein Trend zu beobachten, bei Hochleistungssystemen auf isolierte modulatorbasierte Designs umzusteigen.

#### 4 Isolierte Modulatoren in Traktionsumrichtern

[Abbildung 4-1](#) Zeigt die Implementierung eines isolierten modulatorbasierten Designs in Traktionsinvertiern für die Automobilindustrie.



**Abbildung 4-1. Strommessung mit einem isolierten Modulator**

Traktionsinverter haben einen direkten Einfluss auf das Fahrerlebnis und erfordern eine präzise Steuerung von Drehzahl und Drehmoment des Traktionsmotors. Ein mit einem isolierten Delta-Sigma-Modulator gekoppelter

Shunt liefert dem Controller qualitativ hochwertige Rückkopplungssignale, um das Pulsweitenmodulationsmuster (PWM) für Brückentransistoren festzulegen. Die Implementierung des Digitalfilters ermöglicht es Ingenieuren, die Qualität der Traktionsmotorsteuerungen fein abzustimmen.

Wie in [Abbildung 3-1](#) gezeigt, können für FPGA, MCU und DSP mehrere digitale Filter parallel geschaltet werden. Einer der digitalen Filter kann ein hochleistungsfähiger digitaler Filter sein, der präzise Rückkopplungssignale zur Steuerung der Brückentransistoren bereitstellt. Ein weiterer digitaler Filter kann ein digitaler Filter mit kurzer Latenzzeit zum Erkennen von Überlast oder Überstrom sein. Für beide Digitalfilter kann ein Filter dritter Ordnung ( $\text{sinc}^3$ ) mit einem anderen OSR verwendet werden.

## 5 Isolierte Verstärker und Modulatoren, Empfehlungen

[Tabelle 5-1](#) Listet die empfohlenen Bausteine zur Verwendung mit dem isolierten Verstärker und Modulator auf.

**Tabelle 5-1. Empfohlene Bausteine**

| BAUSTEIN  | ISOLIERUNG | BESCHREIBUNG  |
|---|------------|---|
| <a href="#">AMC1306</a>                                 | Verstärkt  | Kleiner, isolierter Modulator mit $\pm 50$ mV, $\pm 250$ mV |
| <a href="#">AMC1305</a> ,<br><a href="#">AMC1305-Q1</a> | Verstärkt  | Isolierte Modulatoren mit $\pm 50$ mV, $\pm 250$ mV         |
| <a href="#">AMC1301</a> ,<br><a href="#">AMC1301-Q1</a> | Verstärkt  | Isolierte Verstärker mit $\pm 250$ mV                       |
| <a href="#">AMC1302</a> ,<br><a href="#">AMC1302-Q1</a> | Verstärkt  | Isolierte Verstärker mit $\pm 50$ mV                        |
| <a href="#">AMC1311</a> ,<br><a href="#">AMC1311-Q1</a> | Verstärkt  | Isolierte Verstärker mit 0 V bis 2 V                        |

## 6 Fazit

Isolierte Modulatoren bieten eine höhere Abtastauflösung und -genauigkeit als isolierte Verstärker. Bei der Kombination von isolierten Modulatoren und individuellen Digitalfiltern kann der Ingenieur die Systemlatenz und die Bandbreite mit der Abtastauflösung ausgleichen. Designs auf der Basis isolierter Modulatoren erfordern weniger Komponenten und ermöglichen eine kleinere Designgröße zu einem attraktiven Preis. Isolierte Modulatoren werden dringend für isolierte Messanwendungen empfohlen, bei denen eine hohe Abtastauflösung oder eine kurze Latenzzeit erforderlich sind.

## 7 Änderungsverlauf

### Changes from Revision A (February 2019) to Revision B (June 2024) Page

- Nummerierungsformat für Tabellen, Abbildungen und Querverweise im gesamten Dokument aktualisiert..... 1
- 

### Changes from Revision \* (February 2019) to Revision A (February 2019) Page

- Aktualisierter digitaler Bitstream-Ausgang von *bis zu 20 MHz* auf *typischerweise bis zu 20 MHz* .....3
  - Aktualisierte Tabelle zu *Leistungsabtausch zwischen ENOB und Einschwingzeit, Latenz oder Bandbreite* .....3
-

## 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 © 2024 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