



© stock.adobe.com/A\_Bruno

&gt;&gt;&gt; ELEKTROMOBILITÄT

# Bidirektionaler 48-V-/12-V-Wandler

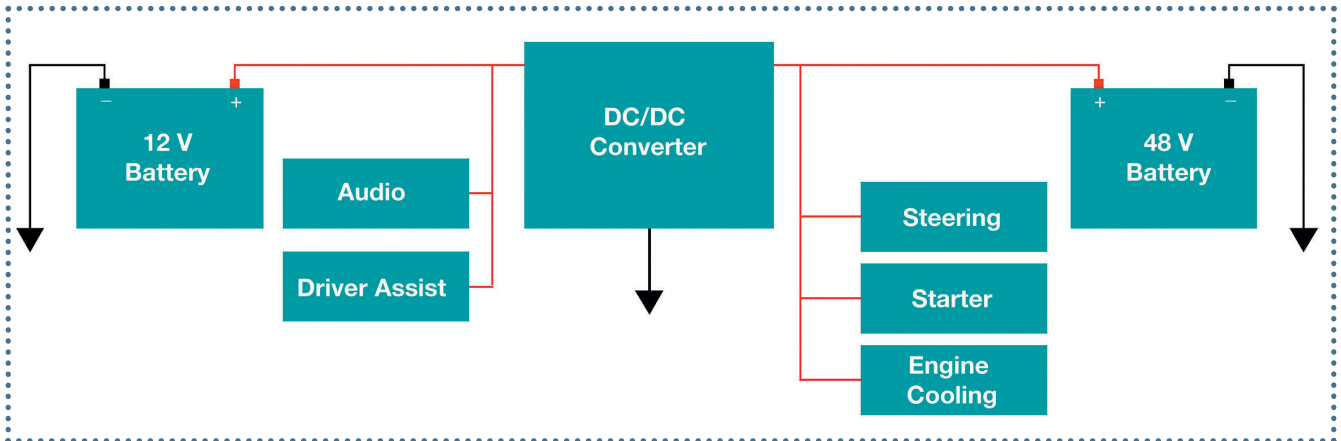
Die Zweispannungslösung von Texas Instruments implementiert die Stromregelung mithilfe eines innovativen Durchschnittsstrom-Regelverfahrens, das ohne die sonst bei mehrphasigen Schaltungen erforderlichen zusätzlichen Schaltungen zum Ausgleich der Phasenströme auskommt.

In dem vorliegenden Artikel geht es um die Anforderungen eines 12-V-/48-V-Systems und um eine innovative Durchschnittsstromregelung mit dem LM5170-Q1 von Texas Instruments. Dieser Buck-Boost-Regler implementiert die gesamten Regelungsschaltungen für die bidirektionale Leistungswandlung und sorgt damit dafür, dass die Systeme verglichen mit traditionellen diskreten Implementierungen deutlich einfacher ausfallen. Die Norm LV 148 für 48-V-Kfz-Bordnetze besagt, dass die

Maximalspannung auf der 48-V-Leitung für mindestens 40ms bis zu 70V betragen kann. Darüber hinaus muss das System bei einem solchen Überspannungsereignis ohne Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit funktionsfähig bleiben. Für die Halbleiterhersteller bedeutet dies, dass alles, was an das 48-V-Bordnetz angeschlossen wird, an seinem Eingang bis zu 70V verkräften muss. Da jedoch in der Automobilindustrie eine Sicherheitsspanne von 10% eingerechnet wird, müssen Bauelemen-

te für den Einsatz an einem ungeschützten 48-V-Bordnetz für 100V ausgelegt sein.

Entwickler managen Zweispannungs-Bordnetze üblicherweise mit einem digitalen Regelungskonzept, das mehrere diskrete Bauelemente wie zum Beispiel Strommessverstärker, Gatetreiber und Schutzschaltungen umfasst. Als Alternative bietet TI eine gemischte Architektur an, in der ein Mikrocontroller für die übergeordneten Management-Aufgaben zuständig ist,



Unterstützung des traditionellen 12-V-Bordnetzes durch ein separates 48-V-Bordnetz. (© Texas Instruments)

während ein integrierter analoger Controller wie der LM5170-Q1 die Leistungswandlung übernimmt. Der LM5170-Q1 kann auch in einer rein analogen Lösung ohne Mikrocontroller zum Einsatz kommen.

Der LM5170-Q1 überträgt auf effiziente Weise elektrische Leistung von mehr als 500W pro Phase zwischen dem 48-V- und dem 12-V-Bordnetz. Er verfügt neben integrierten Strommessverstärkern auch über Gatetreiber mit hoher Stromfestigkeit. Zu den eingebauten Systemschutzfunktionen gehören ein Trennschalter und unabhängige Phasenstrom-Überwachungen. Durch Parallelschalten mehrerer Controller lässt sich die Leistung zudem auf mehrere Kilowatt anheben. Somit kann das 48-V-Bordnetz bis zu 10kW Leistung für verschiedene Systeme zur Verfügung stellen.

## Stromregelung

Die Stromregelung von TI regelt den durchschnittlichen Strom, der zwischen dem Hochspannungs- und dem Niederspannungs-Port in der vom DIR-Signal

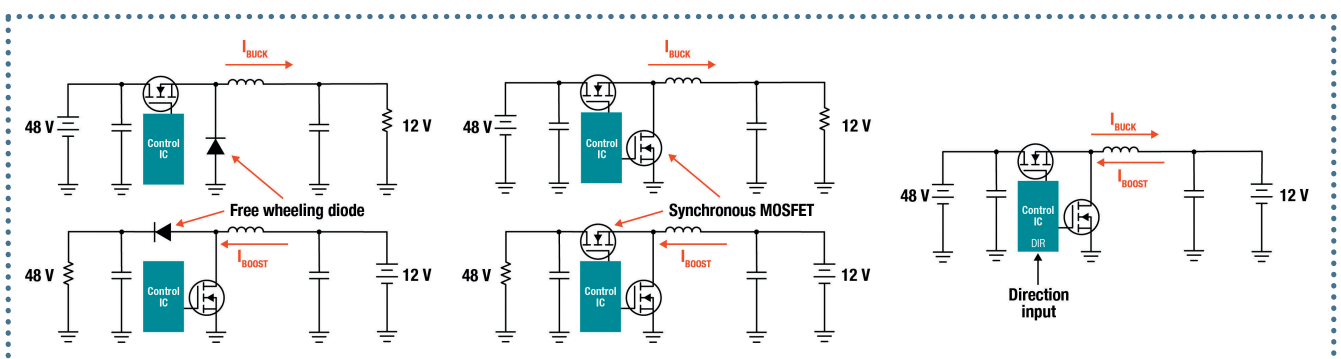
(Direction Input Response) angegebenen Richtung fließt. Wird DIR auf 1 gesetzt, fließt Energie vom 48-V- zum 12-V-Port, während bei DIR = 0 die Richtung umgekehrt ist. Das DIR-Signal bestimmt, wie der LM5170-Q1 den Q1 und den Q2 im Buck- bzw. Boost-Modus ansteuert.

Eine konventionelle Stromregelung birgt zwei Herausforderungen. Erstens verändert sich die Übertragungsfunktion der Regelschleife mit der Betriebsspannung und dem Strom, und zweitens erfordert ein bidirektionaler Betrieb zwei verschiedene Kompensationslösungen für die Regelschleife. Im Fall des LM5170-Q1 von TI aber ist die Übertragungsfunktion im bidirektionalen Betrieb stets gleich. Da die TI-Lösung eine konstante Regelkreisverstärkung aufweist, kann ein und dasselbe RC-Netzwerk die Kompensation im Abwärts- und im Aufwärts-Betrieb übernehmen. Vorteile dieses Regelungsverfahrens sind u. a.:

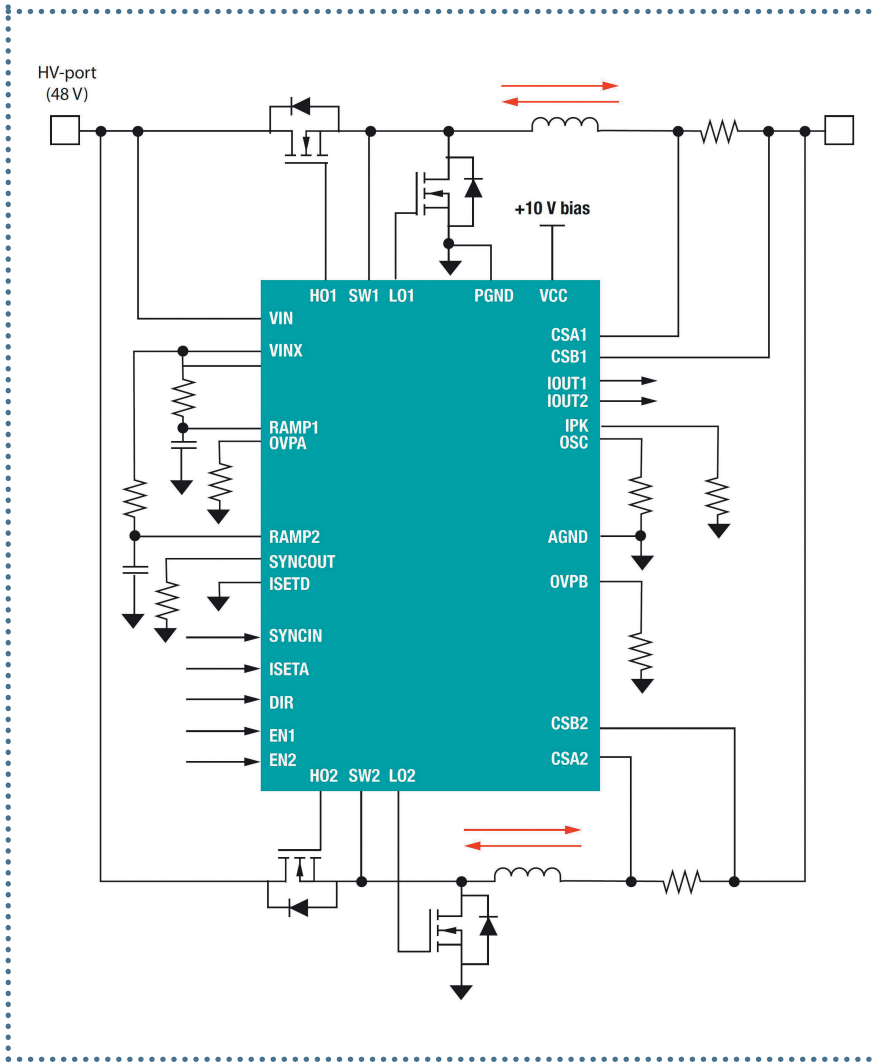
- Genauigkeit: Die auf % genaue bidirektionale Stromregelung des Controllers bürgt für eine präzise Leistungsübertragung.

- Energieeffizienz: Der LM5170-Q1 macht einen Systemwirkungsgrad von mehr als 97% möglich.
- Genauigkeit: Der Controller überwacht den Strom mit einer Genauigkeit von bis zu 99%.
- Leistung: Die integrierten, für 5A Spitzenstrom ausgelegten Halbbrücken-Gatetreiber eignen sich für hohe Leistung.

Die vereinfachte Applikationsschaltung (siehe Bild S. 32) macht die integrierten Features des LM5170-Q1 deutlich: Im LM5170-Q1 wird die Stromregelung durch ein analoges Signal oder ein digitales PWM-Signal programmiert. Differenzielle Strommessverstärker für zwei Kanäle und Stromwächter für jeden Kanal ergeben eine Genauigkeit von typisch 1%. Die 5-A-Halbbrücken-Gatetreiber können parallele MOSFET-Schalter ansteuern und ermöglichen damit eine Leistung von 500W und mehr pro Phase. Der Diodenemulations-Modus der Synchrongleichrichter unterbindet Rückströme und verbessert den Wirkungsgrad im diskontinuierlichen Betrieb bei geringer Last. Zu den Schutzfunktionen gehören eine zyklusweise Strombegrenzung, ein



Der bidirektionale 12-V-/48-V-Regler von TI (rechts) im Vergleich zu herkömmlichen Regelungen mit Freilaufdiode oder synchronen MOSFETs. (© Texas Instruments)



Vereinfachte Applikationsschaltung. (© Texas Instruments)

Überspannungsschutz sowohl am Hochspannungs- als auch am Niederspannungs-Port eine MOSFET-Ausfallerkennung und ein Übertemperaturschutz.

### Leistungsstufe und Regelungsschaltung

Die Durchschnittsstromregelung für einen bidirektionalen 12-V-/48V-Wandler besitzt eine Leistungsstufe mit folgenden Bauelementen:

- High-Side-FET (Q1)
- Low-Side-FET (Q2)
- Leistungs-Induktivität (LM)
- Strommesswiderstand (RCS)
- Zwei Batterien – eine am Hochspannungs-Port und eine am Niederspannungs-Port

Die Regelungsschaltung umfasst folgende Abschnitte:

- Strommessverstärker mit einer Verstärkung von 50 und Richtungs-vorgabe per DIR-Signal (0 oder 1)
- Transkonduktanzverstärker als Fehlerverstärker der Stromrege-

lung. Das Referenzsignal (SET) wird am nicht-invertierenden Eingang angelegt und bestimmt den Sollstrom der Phase.

- PWM-Komparator
- Ein proportional zum Hochspannungs-Port gebildetes Rampensignal
- Von DIR gesteuerte Richtungssteuerung, um mit dem PWM-Signal entweder Q1 oder Q2 als Haupt-Schaltelement anzusteuern
- Regelkreis-Kompensationsnetzwerk am COMP-Knoten

Ein bidirektionaler 48-V-/12-V-Wandler verlangt normalerweise nach einer präzisen Stromregelung von besser als 3%, um genau zu regeln, wieviel Leistung von dem einen Bordnetz in das andere transferiert wird. Aufgrund der hohen Leistungen, die hier im Spiel sind, erfordert das System in der Regel mehrere Phasen, die phasenversetzt parallel arbeiten und die Last untereinander aufteilen. Diese Aufteilung sollte außerdem möglichst gleichmäßig erfolgen. Eine

Spannungsregelung kommt somit nicht in Frage, da sie die gleichmäßige Aufteilung auf mehrere Phasen nicht gewährleisten kann.

### Parallelbetrieb mehrerer Phasen

Der LM5170-Q1 ermöglicht durch die Synchronisation mehrerer Controller einen Parallelbetrieb mehrerer Phasen. Jede Phase synchronisiert sich dabei zu einem phasenverschobenen Takt. Bei einer mehrphasigen Architektur reduzieren sich die Abmessungen der Bauelemente, und auch das Wärmemanagement gestaltet sich einfacher. Um die Parallelschaltung mehrerer Phasen zu vereinfachen, arbeiten die einzelnen Phasen im Buck- und im Boost-Betrieb mit der Stromregelung. Beim mehrphasigen Betrieb besteht ferner die Möglichkeit, die einzelnen Phasen phasenversetzt zueinander arbeiten zu lassen, was die Welligkeit am Ausgang und damit auch die elektromagnetischen Störaussendungen (EMI) reduziert.

Wenn im System zwei Batterien vorhanden sind, besteht eine größere Wahrscheinlichkeit, dass eine oder beide Batterien bei Instandhaltungsarbeiten abgeklemmt und wieder angeschlossen werden. Beim Wiederschließen kann es passieren, dass die Pole vertauscht werden, was Schäden an den Bauelementen der elektronischen Steuergeräte zur Folge hätte. Um dies zu verhindern, ist ein Verpolungsschutz erforderlich. Schottky-Dioden kommen wegen ihrer höheren Verluste hierfür nicht in Frage. Weniger Verluste entstehen stattdessen mit dem High-Side Circuit-Breaker Controller LM5060-1-Q1 in Verbindung mit einem N-Kanal-MOSFET. Zusammen mit dem externen MOSFET fungiert der LM5050-Q1 als Diodengleichrichter, wenn er mit einer Stromversorgung in Reihe geschaltet wird. Er eignet sich für Versorgungsspannungen von 5V bis 75V und verkräftet Spannungsspitzen bis zu 100V.

### Entwicklungsboard

Das LM5170 48V-12V Bidirectional Converter Evaluation Module (EVM) soll die Möglichkeiten des Controllers LM5170-Q1 demonstrieren. Die Rich-





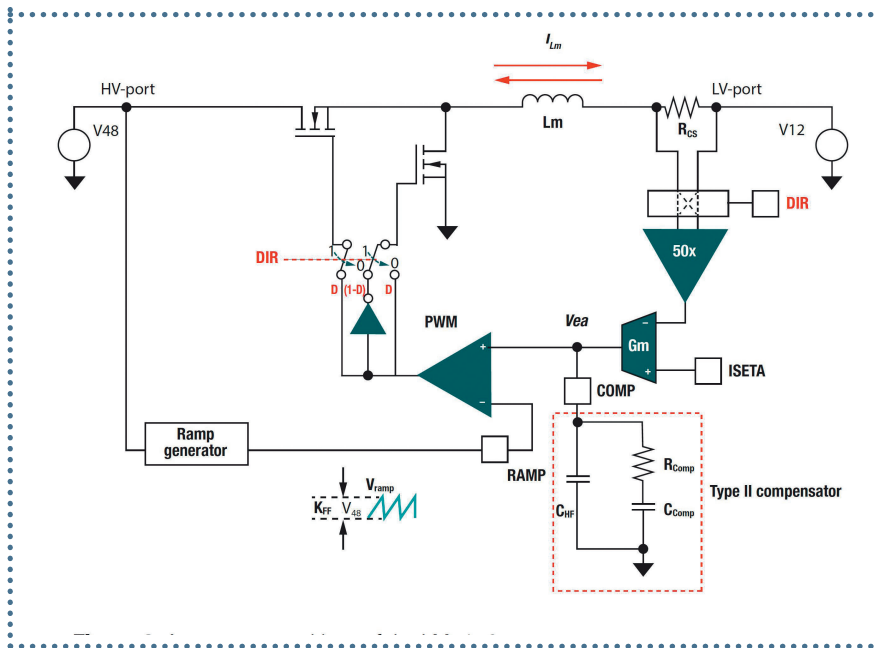
tung der Leistungsübertragung kann entweder mit einem externen Steuerungssignal oder einem Jumper auf der Leiter-

platte festgelegt werden. Mithilfe der Schnittstellen auf der Platine lässt sich das Board wahlweise mit einem DSP, ei-

nem FPGA, einem Mikrocontroller oder einem anderen digitalen Controller einsetzen. Durch Parallelschalten von zwei oder mehr EVMs ist es möglich, einen mehrphasigen, phasenversetzt arbeitenden Wandler mit höherer Leistung zu konfigurieren.

Das Referenzdesign „Bidirectional DC/DC Converter Reference Design for 12V/48V Automotive Systems“ trägt den typischen Betriebsspannungs-Anforderungen für 12-V-/48-V-Bordnetze Rechnung. Das System enthält zwei Stromregler vom Typ LM5170-Q1 und einen C2000-Mikrocontroller des Typs TMS320F28027F zur Regelung der Leistungsstufe, sodass eine Spannungsrückkopplung realisiert wird. (oe)

» [www.ti.com/applications/automotive](http://www.ti.com/applications/automotive)



Eine Stromregelschleife des LM5170. (©Texas Instruments)

Jiri Panace ist, Systems Engineer, Powertrain Automotive Systems, bei Texas Instruments.



europa  
2019

Gemeinsam mit  
**THE BATTERY SHOW**  
EUROPE 2019

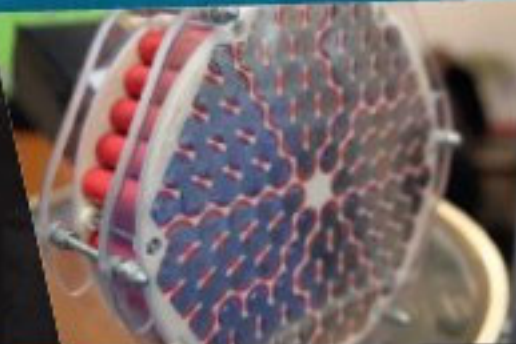
3. JÄHRLICHE

7. - 9. Mai 2019 // Stuttgart, Deutschland

Europas größte Fachmesse für Hybrid-Elektrofahrzeuge und fortschrittliche Batterietechnologie

3 / 450+  
Tage / Aussteller

8,000+  
Messteilnehmer



Ausstellende Unternehmen:

WILLIAMS | ADVANCED ENGINEERING

LEONI



AAA Leclanché  
Energy Storage Solutions

A123  
SYSTEMS

MAHLE | Continental

HUBER-SUHNER  
Excellence in Connectivity Solutions

TEILNAHME KOSTENLOS!

REGISTRIEREN SIE SICH ONLINE FÜR EINEN KOSTENLOSEN MESSEAUSSWEIS  
[www.evtechexpo.eu](http://www.evtechexpo.eu) / [info@evtechexpo.eu](mailto:info@evtechexpo.eu)