

Komplettlösung für die Stromversorgung von Infotainmentsystemen im Auto: Ein einziger IC erzeugt fünf Ausgangsspannungen direkt aus dem Bordnetz

Jin-Jyh Su und Terry Groom
Analog Devices, Inc.

Einführung

Unser vernetzter, von Medien geprägter Lebensstil resultiert daraus (oder ist vielleicht auch der Grund dafür), dass die Technik mehr und mehr in jeden Bereich unseres Lebens vordringt. Dies gilt auch für die heutigen, hochintegrierten Infotainment-Systeme in unseren Autos. Den komplexen Mix elektronischer Bauelemente, den man in diesen Infotainment-Systemen vorfindet, gibt es in ähnlicher Form auch in der Konsumelektronik. Neben leistungsfähigen Mikrocontrollern werden Speicher-, Interface- und Treiber-ICs eingesetzt. Ebenso komplex ist das Bild bei der Stromversorgung, denn unter Umständen erfordert jedes Bauelement mehrere verschiedene niedrige Spannungen mit einem stark variierenden Strombedarf. Die Komplexität ist jedoch keineswegs auf die Infotainment-Systeme beschränkt, denn auch die Leistungsfähigkeit, der Kraftstoffverbrauch und der Fahrerkomfort eines Autos verlangen nach immer ausgefeilteren elektronischen Lösungen. Das Stromversorgungssystem nimmt überdies eine Mittlerrolle zwischen der sensiblen Elektronik und den eher rauen Bedingungen des Kfz-Bordnetzes ein, auf dem es zu starken Spannungsschwankungen kommen kann. Ein gut ausgearbeitetes Stromversorgungssystem muss die Elektronik versorgen und gleichzeitig schützen, auch wenn die Automobilhersteller ihre Fahrzeuge mit Features wie dem Start-Stopp-System zu einer noch widrigeren Einsatzumgebung für Elektronik machen.

Am anderen Ende des Spektrums zählt eine äußerst geringe Ruhestromaufnahme zu den kritischen Anforderungen, die Stromversorgungssysteme im Auto erfüllen müssen. Schließlich kann es passieren, dass ein Fahrzeug monatelang ungenutzt abgestellt wird, während wichtige, stets eingeschaltete elektronische Systeme weiter aktiv sind, ohne dass die Batterie hierdurch komplett entladen werden darf.

Der ADI Power by Linear™ LTC3372 ist ein als Komplettlösung realisierter Spannungsregler, der die Regelung auch bei den extremen Spannungsschwankungen, zu denen es im Bordnetz eines Autos kommt, aufrechterhalten kann. Er kann für den ununterbrochenen Betrieb von Bauelementen sorgen, ohne dass die Batterie stark entladen wird, denn seine Ruhestromaufnahme ist extrem niedrig. Der LTC3372 umfasst vier konfigurierbare monolithische Regler und kann bis zu fünf Ausgangsspannungen für Infotainment- oder andere elektronische Systeme bereitstellen.

Mehrkanalige Stromversorgung für Kfz-Anwendungen

Mit dem LTC3372 lassen sich die benötigten Ausgangsspannungen mit deutlich weniger Bauelementen erzeugen. Der Baustein kombiniert bewährte Hoch-

volt-Reglertechnik für den Automotive-Sektor mit vier konfigurierbaren, monolithischen Abwärtsreglern zu einer platz- und kosteneffizienten, mehrkanaligen Stromversorgungs-Lösung für Kfz-Anwendungen.

Der Eingang des Hochvolt-Abwärtsreglers kommt mit eingangsseitigen Spannungsspitzen bis zu 60 V zurecht, wie sie beispielsweise bei Lastabwürfen vorkommen, doch er kann die Regelung auch bei Spannungseinbrüchen aufrechterhalten. Diese dürfen in der normalen Buck-Konfiguration bis 4,5 V und in einer SEPIC-Konfiguration sogar bis 3 V herabreichen. Ein derart großer Eingangsspannungsbereich stellt auch bei erheblichen Spannungsschwankungen die ununterbrochene Versorgung empfindlicher Elektronik sicher. Die vier Niedervolt-Abwärtsregler des LTC3372 werden unabhängig voneinander konfiguriert, indem eine Auswahl aus acht 1-A-Leistungsstufen miteinander kombiniert werden. Die Zusammenstellung dieser Stufen erfolgt so, dass der Leistungsbedarf eines jeden Reglers erfüllt wird. Dabei sind acht verschiedene Konfigurationen der vier Ausgangskanäle möglich – alle direkt versorgt aus dem Bordnetz des jeweiligen Fahrzeugs.

Ein Vorteil, den eine in einem IC konzentrierte, mehrkanalige Stromversorgungs-Lösung hat, ist die gemeinsame Nutzung der internen Spannungsreferenzen und Bias-Versorgungen. Die Mehrfachnutzung der Bias-Quellen senkt die auf den einzelnen Kanal umgerechnete Ruhestromaufnahme (I_b) gegenüber Lösungen, die für jeden Ausgang einen eigenen IC besitzen. Bei einer einkanaligen, ununterbrochen aktiven Stromversorgung beträgt die auf die Eingangsspannung bezogene Bias-Ruhestromaufnahme typisch 23 μA und maximal 46 μA bei 150 °C. Werden alle fünf Kanäle im Burst-Mode® geregelt, beträgt der Bias-Strom insgesamt nur 60 μA , das entspricht 12 μA pro Kanal. Da seine gesamte Ruhestromaufnahme für fünf Kanäle also auf dem Niveau eines Kanals mit älterer Technik liegt, macht der LTC3372 neue ständig aktive Anwendungen möglich.

Single-Chip-Controller und -Regler

Der LTC3372 kombiniert einen als Frontend dienenden 60-V-Hochvolt-Buck-Regler mit vier monolithischen 5-V-Niedervolt-Abwärtsreglern mit einem Burst-Mode zur Senkung der Ruhestromaufnahme. Dank der Integration einer Steuerung mit monolithischen Reglern kann der LTC3372 bis zu fünf separate Ausgangsspannungen aus einer Eingangsspannung erzeugen – und dies mit kleinen Abmessungen und zu geringen Kosten. Abhängig vom Pegel am V_{OUTPRG} -Pin beträgt die Ausgangsspannung des Hochvolt-Controllers 3,3 V oder 5 V, während die Ausgangsspannungen der Niedervolt-Regler mithilfe von Widerständen an den Pins FB1 bis FB4 individuell programmiert werden können.

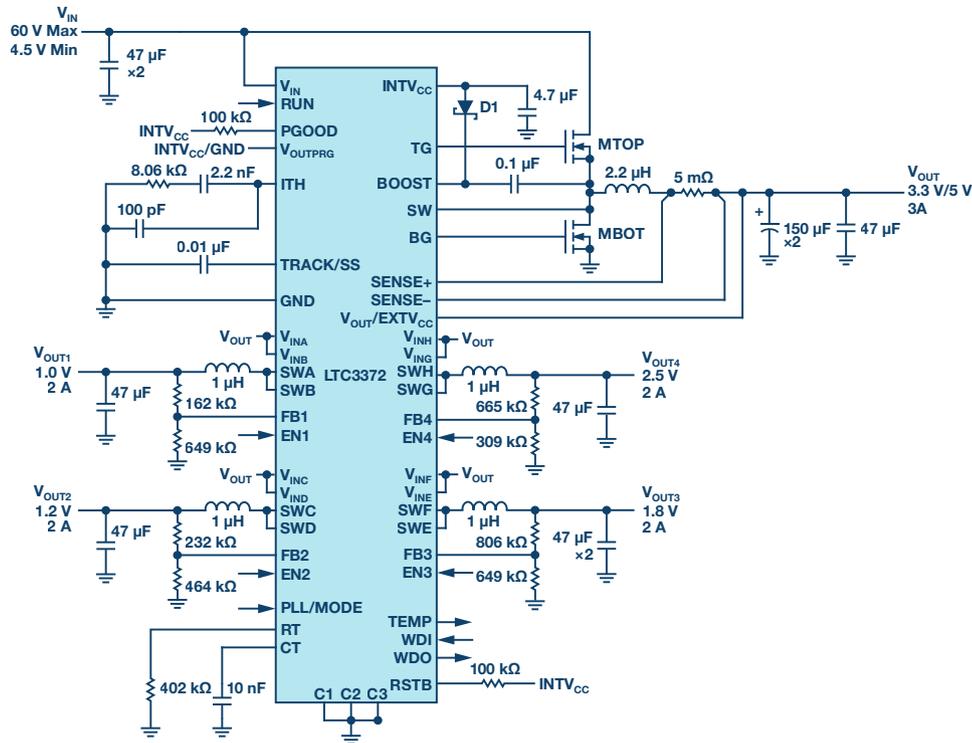


Bild 1: Typische Anwendung des LTC3372 mit 60 V Eingangsspannung. Der Hochvolt-Regler speist vier 2-A-Niedervolt-Regler für Spannungen von 1 V, 1,2 V, 1,8 V und 2,5 V. Der Ausgang des Hochvolt-Reglers mit 3,3 V bzw. 5 V kann als zusätzliche 3-A-Stromversorgung genutzt werden.

Die Bilder 1 und 2 zeigen eine typische Konfiguration sowie den entsprechenden Wirkungsgrad des Hochvolt-Reglers. Während der Hochvolt-Regler vorrangig zur Versorgung der Niedervolt-Regler dient, arbeiten die einzelnen Regler mit ihren kanalweisen Enable- und Eingangs-Pins unabhängig voneinander. Für zusätzliche Flexibilität sorgen die acht Leistungsstufen. Die acht Schalter lassen sich beliebig auf die Niedervolt-Regler verteilen. Die Kombination wird dabei digital mithilfe des C-Bits (C1, C2, C3) konfiguriert, um den Grenzstrom-Vorgaben des jeweiligen Ausgangs gerecht zu werden. Aus Tabelle 1 gehen der Status des C-Bits und der entsprechende Grenzstrom für den jeweiligen Regler hervor. Aus Bild 3 wiederum ist zu ersehen, wie sich der Wirkungsgrad abhängig von der Anzahl parallel konfigurierter Schalter verändert.

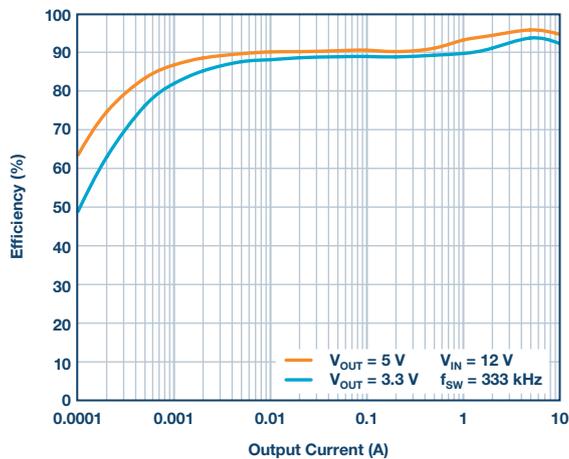


Bild 2: Wirkungsgrad im Burst-Mode als Funktion des Ausgangsstroms für den Hochvolt-Regler in Bild 1. Berücksichtigt sind Ausgangsströme bis 10 A, was für die Speisung von vier Niedervolt-Reglern mit voller Ausgangsleistung sowie eines Verbrauchers mit 3 A und 3,3 V bzw. 5 V ausreicht.

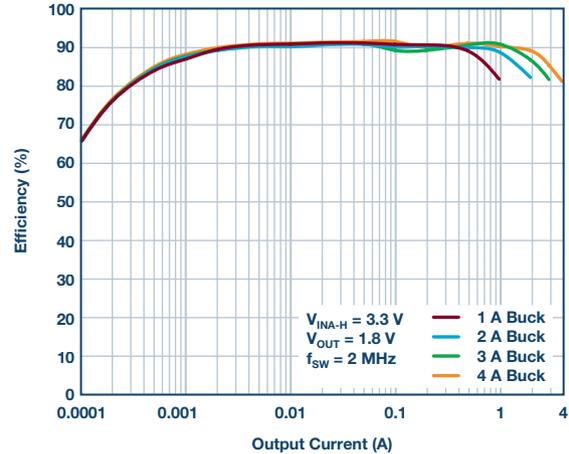


Bild 3: Wirkungsgrad im Burst-Mode als Funktion des Ausgangsstroms der Niedervolt-Regler. Ein Buck-Wandler mit 1 A, 2 A, 3 A und 4 A gibt verschiedene Konfigurationen bei Parallelschaltung von einem, zwei, drei oder vier Schaltern wieder.

Tabelle 1: Die Konfigurationen der Niedervolt-Regler werden mit den Codes C1, C2 und C3 festgelegt. In sämtlichen Konfigurationen mit weniger als vier Niedervolt-Reglern werden die Enable- und Feedback-Pins der nicht genutzten Regler mit der Masse verbunden

C3	C2	C1	BUCK 1	BUCK 2	BUCK 3	BUCK 4
0	0	0	2 A	2 A	2 A	2 A
0	0	1	3 A	1 A	2 A	2 A
0	1	0	3 A	1 A	1 A	3 A
0	1	1	4 A	1 A	1 A	2 A
1	0	0	3 A	2 A		3 A
1	0	1	4 A		2 A	2 A
1	1	0	4 A		1 A	3 A
1	1	1	4 A			4 A

Der LTC3372 verfügt ferner über einen integrierten Temperatursensor und Watchdog-Timer-Funktionen. Mithilfe des Temperatursensors können die Anwender die Temperatur des Bausteins genau überwachen, wann immer ein Niedervolt-Regler aktiv ist. Der Watchdog-Timer wiederum erzeugt ein Resetsignal, sobald er im Fall einer Fehlfunktion nicht durch den Mikroprozessor zurückgesetzt wird.

Verlustoptimierung

Da DC/DC-Wandler häufig nach ihrem Wirkungsgrad beurteilt werden, ist man darauf aus, diesen Parameter zu maximieren. In Hochleistungs-Anwendungen ist es jedoch oftmals lohnender, Gleichspannungswandler nicht nur bezüglich der Effizienz, sondern hinsichtlich der Verluste zu optimieren. Tatsächlich können die Wirkungsgradangaben in einem mehrstufigen Wandlersystem, wie es sich mit dem LTC3372 realisieren lässt, sogar irreführend sein, wenn sich ein Teil des Wirkungsgrads aus Hochvolt- und Niedervolt-Reglern zusammensetzt.

Zu beachten ist, dass es bei einer Verlustoptimierung nicht darum geht, einfach die insgesamt entstehenden Verluste zu minimieren, sondern die Verluste auch ausgewogen auf die verschiedenen Bauelemente zu verteilen. Ein guter Ansatz ist es, mit den Niedervolt-Reglern zu beginnen, denn die Summe der in allen Niedervolt-Reglern entstehenden Verluste macht den Großteil aller Verluste in einem LTC3372-System aus. Durch Berücksichtigung aller in Frage kommenden Konfigurationen der Niedervolt-Regler lässt sich erheblicher Bereich möglicher Verluste vergleichen. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über alle in Frage kommenden Konfigurationen und zugehörigen Verluste in einer Anwendung mit Ausgangsspannungen von 1,2 V, 1,8 V und 2,5 V sowie maximalen Lastströmen von zwei Mal 3 A und 0,5 A. Der Unterschied zwischen der besten und der schlechtesten Konfiguration beträgt 0,432 W. Unter normalen Umständen erhält man das beste Ergebnis, indem man den größtmöglichen Schalter dem Kanal mit der höchsten Leistung zuordnet.

Tabelle 2: Gesamtverluste im Burst-Mode für die Niedervolt-Regler mit 1,2 V (3 A), 1,8 V (3 A) und 2,5 V (0,5 A) in unterschiedlichen Konfigurationen. $V_{\text{INA-H}}$ ist 3,3 V und die Schaltfrequenz beträgt 2 MHz. Die beste Konfiguration ergibt Verluste, die um 0,432 Watt geringer sind als bei der schlechtesten Variante.

C3	C2	C1	BUCK 1	BUCK 2	BUCK 3	BUCK 4	Loss (W)
0	1	0	1.2 V (3 A)	2.5 V (0.5 A)	Off	1.8 V (3 A)	2.523
1	0	0	1.2 V (3 A)	2.5 V (0.5 A)		1.8 V (3 A)	2.486
1	1	0	1.2 V (3 A)		2.5 V (0.5 A)	1.8 V (3 A)	2.204
1	1	0	1.8 V (3 A)		2.5 V (0.5 A)	1.2 V (3 A)	2.181

Allgemeinere Effizienzoptimierungs-Prozeduren lassen sich auf den Hochvolt-Regler anwenden. Der geringfügige Unterschied besteht darin, dass der Laststrom des Hochvolt-Reglers ganz oder teilweise aus dem eingangsbezogenen Strom der Niedervolt-Regler besteht. Sind die Niedervolt-Regler die einzigen Lasten, so wird der Hochvolt-Regler nur mäßig belastet, auch wenn jeder der Niedervolt-Regler mit Volllast arbeitet. Anstatt die FETs mit niedrigem R_{DS} -Wert auszuwählen oder den höchsten maximalen Wirkungsgrad anzustreben, sollten sich die Entwickler eher auf den jeweils interessierenden Laststrombereich konzentrieren. Bild 4 gibt den Wirkungsgrad als Funktion des Laststroms für die drei FETs mit unterschiedlichen R_{DS} -Werten wieder. Für die in Tabelle 2 aufgeführten Niedervolt-Regler ergibt die Wahl des FET mit dem höchsten R_{DS} - aber dem niedrigsten Q_g -Wert den höchsten Wirkungsgrad im Bereich unterhalb des maximalen Laststroms (3,759 A in der optimalen Konfiguration).

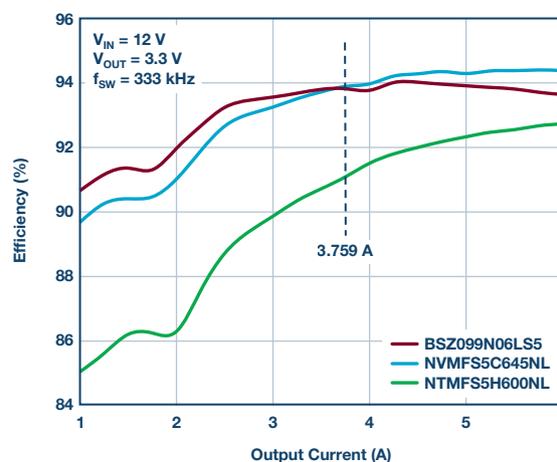


Bild 4: Wirkungsgrad im Burst-Mode als Funktion des Ausgangsstroms für drei verschiedene FETs im Hochvolt-Regler. Für den oberen und den unteren FET werden dieselben Typen verwendet. Die Kurve konzentriert sich auf den Bereich von 1 A bis 6 A, damit etwaige Übergänge genau sichtbar werden und der optimale FET für die Niedervolt-Regler in Tabelle 2 ermittelt werden kann. Der maximale Laststrom bei voller Belastung der Niedervolt-Regler beträgt 3,759 A. Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass der FET mit dem höchsten R_{DS} -Wert und dem niedrigsten Q_g -Wert (BSZ099N06LS5) die beste Wahl ist.

SEPIC-Controller

In Kfz-Anwendungen stellt der Kaltstart eine Herausforderung für DC/DC-Wandler dar. Buck-Wandler werden in den Dropout-Betrieb gezwungen, wenn die geregelte Ausgangsspannung während eines Kaltstarts größer ist als die Eingangsspannung. Mit der Boost- und SEPIC-Konfiguration gibt es zwei alternative Frontend-Topologien, die sich mit den vom Hochvolt-Regler des LTC3372 zur Verfügung stehenden Möglichkeiten realisieren lassen, um den Dropout-Betrieb zu vermeiden.

Der Boost-Wandler ist zwar etwas einfacher, reicht aber jegliche hohen Spannungsspitzen an die sich anschließende Buck-Stufe weiter, was die Verwendung hocheffizienter Niedervolt-Buck-Regler als zweite Abwärtswandler-Stufe ausschließt. In Bild 5 ist der Hochvolt-Regler des LTC3372 als nicht-synchrone SEPIC-Topologie konfiguriert. Der SEPIC-Wandler erzeugt eine Zwischenspannung von 5 V, um die beiden Niedervolt-Regler für 3,3 V und 4 A zu speisen und für den ununterbrochenen Betrieb des Hochvolt-Reglers zu sorgen.

Wenn die beiden 4-A-Niedervolt-Regler mit voller Leistung arbeiten, wird dem SEPIC-Ausgang ein Strom von mehr als 5 A entnommen. Der maximale Strom durch den Sense-Widerstand kann leicht auf mehr als 10 A ansteigen, da der Schalterstrom die Summe der Ströme in beiden Wicklungen ist. In Anbetracht der Tatsache, dass sich der Sense-Widerstand in der heißen Schleife befindet, ist ein gewisser Aufwand erforderlich, um einen sauberen Signalverlauf an den Stromkomparator-Eingängen zu erzielen. Eine Lösung besteht darin, eine differenzielle Filterstufe einzufügen, wie es im SEPIC-Schaltplan zu sehen ist, und einen induktivitätsarmen Widerstand in einem umgekehrten Gehäuse zu verwenden.

In Bild 6 ist der Wirkungsgrad der SEPIC-Lösung im Burst-Mode dargestellt, während Bild 7 die Ausgangsspannung des SEPIC bei einem Spannungssprung am Eingang von 12 V auf 3 V zeigt. Entwickler sollten beim Leiterplattenentwurf nicht die in der Freilaufdiode entstehende Wärme außer Acht lassen. Die thermischen Restriktionen lassen sich berücksichtigen, indem man Platz für eine maßvoll überdimensionierte Diode lässt und eine größere Kupferdicke wählt. An den VIN-Anschluss sind eine weitere Diode und ein Filterkondensator angeschlossen, um Rückströme und plötzliche Spannungsspitzen durch eingangsseitige Transienten zu unterbinden.

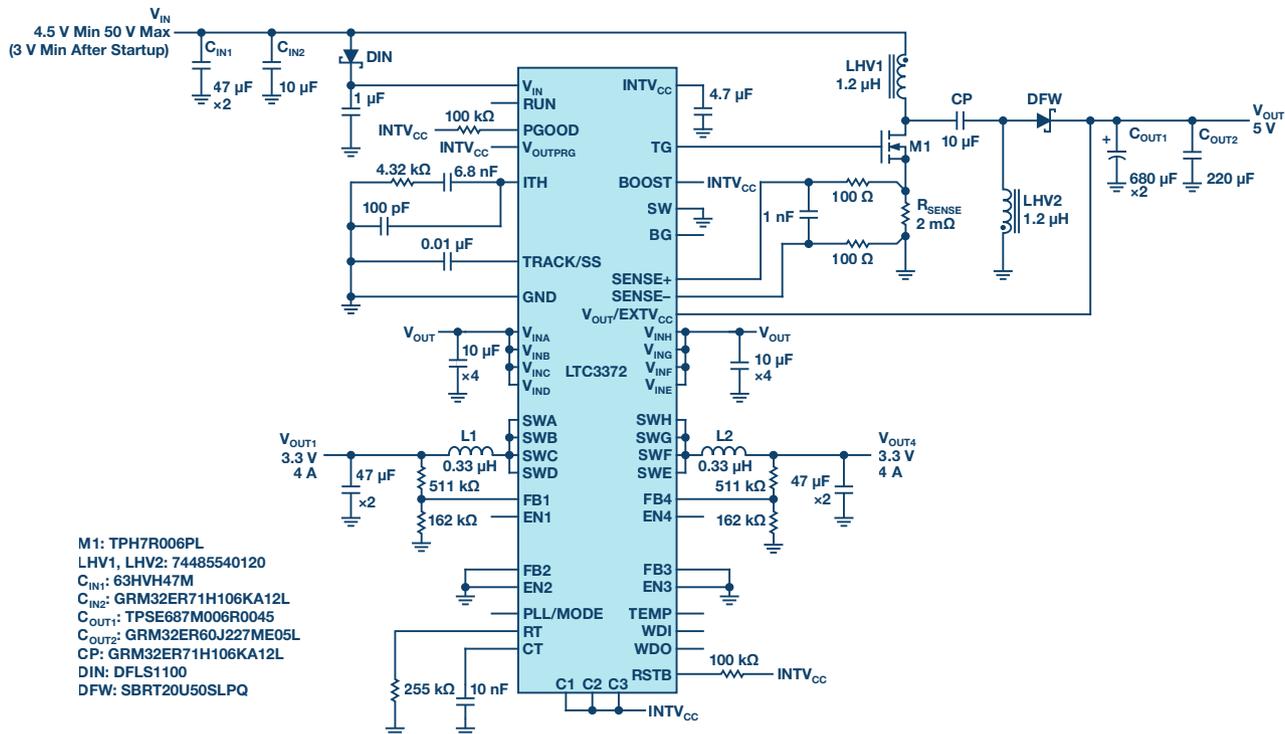


Bild 5: Ein nicht-synchroner Hochvolt-SEPIC-Wandler mit einem Eingangsspannungsbereich von 4,5 V bis 50 V speist hier zwei Niedervolt-Regler mit jeweils 3,3 V und 4 A. Nach dem Anlaufen kann der SEPIC-Wandler bis zu einer Mindest-Eingangsspannung von 3 V eine Spannung von 5 V an seinem Ausgang aufrechterhalten, wenn beide Niedervolt-Regler mit voller Leistung arbeiten. Eine minimale Eingangsspannung von 1,5 V ist zulässig, wenn die Belastung des SEPIC reduziert wird. Der Ausgang des SEPIC muss auf 5 V eingestellt werden, um einen ununterbrochenen Betrieb bei Eingangsspannungen unter 5 V zu gewährleisten. Die Diode DIN und ein 1- μ F-Kondensator am Spannungseingang des IC dienen zur Vermeidung von Rückströmen und Spannungsspitzen. Empfohlen wird die Verwendung eines differenziellen Strommesspfades und eines Messwiderstands mit niedriger Induktivität, um ein möglichst sauberes Signal an den Stromkomparator-Eingängen zu erhalten. Bei der niedrigen Induktivität (LHV1 und LHV2), der maximalen Schaltfrequenz und der geringen Bandbreite muss zwischen der Nullstelle in der rechten Halbebene und der Stromwelligkeit abgewogen werden.

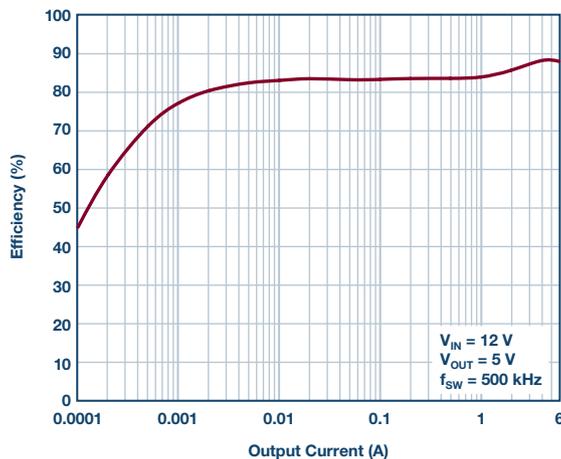


Bild 6: Wirkungsgrad im Burst-Mode als Funktion des Ausgangsstroms für den nicht-synchronen SEPIC-Controller in Bild 5. Der Ausgangsstrom ist bis zu einem Wert von 6 A wiedergegeben, was zur Versorgung zweier maximal belasteter Niedervolt-Regler mit 3,3 V und 4 A ausreicht.

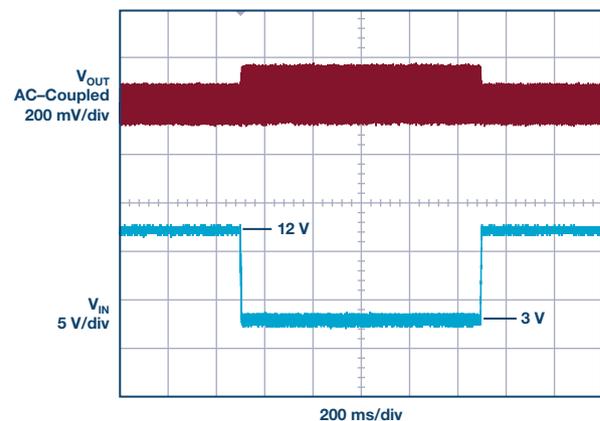


Bild 7: Reaktion des SEPIC-Ausgangs auf eine eingangsseitige Transiente, wie sie bei einem Kaltstart auftreten kann. Die Eingangsspannung geht binnen 2 ms von 12 V auf 3 V zurück und bleibt eine Sekunde lang auf 3 V, um danach wieder auf 12 V anzusteigen. Die stärkere Welligkeit, die bei der 3-V-Transiente zu beobachten ist, resultiert aus dem höheren Scheitelstrom, der über die Freilaufdiode in den Ausgangskondensator fließt. Die Kurven wurden mit zwei maximal belasteten Niedervolt-Reglern mit 3,3 V und 4 A und einer SEPIC-Schaltfrequenz von 500 kHz aufgezeichnet.

Zusammenfassung

Mit dem LTC3372 steht eine Single-Chip-Lösung für mehrkanalige Hochvolt-Abwärtsrichter zur Verfügung. Die geringe Ruhestromaufnahme und die niedrigen Kosten pro Kanal machen den Baustein zu einer guten Lösung für ständig aktive Systeme in Kfz-Anwendungen.

Über die Autoren

Jin-Jyh Su kam nach Abschluss seines Studiums am Georgia Institute of Technology als Designingenieur für analoge ICs zu Linear Technology (jetzt zu Analog Devices gehörend). Drei Jahre lang war er in der Linear Analog Device Power Group in Milpitas (Kalifornien) und Dallas (Texas) tätig. Das Spezialgebiet von Su sind leistungsfähige Gleichspannungswandler, doch er verfügt darüber hinaus an Erfahrung im Design von monolithischen Bausteinen und Controller-Produkten für hohe Spannungen (100 V) sowie mit hohen Schaltfrequenzen (3 MHz) und niedrigen IQ-Werten für Automotiv-Anwendungen. Su wechselte kürzlich zur Battery Management System (BMS) Group in Dallas, wo er an Überwachungslösungen für mehrzellige Batteriesätze arbeitet. Er ist unter jin.su@analog.com zu erreichen.

Terry Groom, der am Texas A&M und am Georgia Institute of Technology studierte und seit nahezu 13 Jahren bei Analog Devices arbeitet, ist Leiter einer Power Design Sektion. Die Designgruppe von Groom in Dallas (Texas) hat sich auf leistungsfähige DC/DC-Leistungsregler spezialisiert. Mit seinem Team entwickelte er Produkte mit Eingangsspannungen von 5 V bis 150 V auf der Basis mehrerer Schaltregler-Topologien und mit Schaltfrequenzen bis zu 3 MHz. Groom besitzt mehr als 30 Jahre direkte Designerfahrung in einer Vielzahl analoger Disziplinen und ist stolz auf seine Position als geschätztes Mitglied des Power by Linear Entwicklungsteams bei Analog Devices. Erreichbar ist er unter der Adresse terry.groom@analog.com.

Online Support Community



Nehmen Sie Kontakt auf mit den Technologieexperten von Analog Devices in unserer Online Support Community. Stellen Sie Ihre schwierigen Designfragen, durchsuchen Sie die FAQs oder nehmen an einer Unterhaltung teil.

Besuchen Sie ez.analog.com

Analog Devices, Inc. Worldwide Headquarters

Analog Devices, Inc.
One Technology Way
P.O. Box 9106
Norwood, MA 02062-9106
U.S.A.
Tel: 781.329.4700
(800.262.5643, U.S.A. only)
Fax: 781.461.3113

Analog Devices, Inc. Europe Headquarters

Analog Devices GmbH
Ott-Aicher-Str. 60-64
80807 München
Germany
Tel: 49.89.76903.0
Fax: 49.89.76903.157

Analog Devices, Inc. Japan Headquarters

Analog Devices, KK
New Pier Takeshiba
South Tower Building
1-16-1 Kaigan, Minato-ku,
Tokyo, 105-6891
Japan
Tel: 813.5402.8200
Fax: 813.5402.1064

Analog Devices, Inc. Asia Pacific Headquarters

Analog Devices
5F, Sandhill Plaza
2290 Zuchongzhi Road
Zhangjiang Hi-Tech Park
Pudong New District
Shanghai, China 201203
Tel: 86.21.2320.8000
Fax: 86.21.2320.8222

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. DN21147-0-2/19

analog.com



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™