

DC/DC-Wandlerlösung für Signal- und Datenverarbeitungs-Schaltungen

Extrem rauscharm, kompakt und für hohe Ströme geeignet

Die fortlaufend steigende Verarbeitungsleistung von FPGAs, SoCs und Mikroprozessoren führt zu einer Zunahme des Leistungsbedarfs. Da zudem immer mehr Versorgungsspannungen mit immer höheren Strömen benötigt werden, ist es entscheidend, klein und schnell zu denken, was das Design und die Leistungsfähigkeit des Stromversorgungssystems betrifft.

» Dong Wang, Applications Engineer

Datenverarbeitungs-ICs wie zum Beispiel FPGAs (Field Programmable Gate Arrays), SoCs (Systems-on-Chip) und Mikroprozessoren gewinnen in Systemen des Telekommunikations-, Netzwerk-, Industrie-, Automotive-, Avionik- und Rüstungssektors immer mehr an Verbreitung. Gemeinsames Merkmal dieser Systeme ist die Forderung nach immer mehr Verarbeitungsleistung, was dazu führt, dass auch der Stromverbrauch beständig wächst. Designer sind sich der Probleme, die Prozessoren mit hoher Leistungsaufnahme in thermischer Hinsicht mit sich bringen, sehr wohl bewusst, aber die Wärmemanagement-Aspekte der zugehörigen Stromversorgungen werden von ihnen nicht unbedingt berücksichtigt. Ganz ähnlich wie bei den mit Transistoren vollgepackten Prozessoren selbst, sind thermische Probleme im Worst Case unausweichlich, wenn niedrige Core-Spannungen mit hohen Strömen einhergehen, wie es der Trend bei Stromversorgungen für alle Datenverarbeitungs-Systeme ist.

EMI-Eigenschaften, Wandlerverhältnis, Platzbedarf und thermische Aspekte

FPGAs, SoCs und Mikroprozessoren benötigen in der Regel mehrere Versorgungsspannungen, wie zum Beispiel 5 V, 3,3 V und 1,8 V für Peripherie- und Zusatzfunktionen, 1,2 V und 1,1 V für DDR4- und LPDDR4-Speicher sowie 0,8 V für die Prozessorkerne. Die Gleichspan-

nungswandler, die diese Spannungen erzeugen, werden üblicherweise aus einer Batterie oder einer Zwischen-Gleichspannung von 12 V oder 5 V versorgt. Um diese Gleichspannungen auf die vom Prozessor verlangten, deutlich niedrigeren Spannungen zu reduzieren, setzt man meist auf getaktete Abwärts-wandler (Tiefsetzsteller), die sich bei grossen Spannungsreduzierungs-Verhältnissen durch einen hohen Wirkungsgrad auszeichnen. Schaltwandler gibt es in Hunderten von Varianten, jedoch lassen sich viele in zwei Gruppen aufteilen, nämlich Controller (mit externen MOSFETs) und monolithische Regler mit internen MOSFETs. Betrachten wir zunächst die Controller.

Traditionelle Controller-Lösungen genügen möglicherweise nicht

Herkömmliche Schaltregler-ICs steuern externe MOSFETs an und werden mit externen Bauelementen zur Kompensation des Regelkreises kombiniert. Der daraus entstehende Wandler kann durchaus sehr effizient und vielseitig sein und eine hohe Ausgangsleistung erzielen, aber wegen der Anzahl diskreter Bauelemente ist das Design relativ kompliziert und schwierig zu optimieren. Externe Schaltelemente können ausserdem die Schaltgeschwindigkeit limitieren. Dies kann problematisch sein, wenn der Platz knapp ist, wie etwa in Automotive- oder Avionik-Anwendungen,

denn bei niedrigeren Schaltfrequenzen werden durchweg grössere Bauelemente benötigt.

Erheblich vereinfacht wird das Design dagegen durch monolithische Regler, mit denen sich dieser Artikel genauer befasst. Zunächst soll es darum gehen, die Abmessungen zu reduzieren und gleichzeitig die EMI-Eigenschaften zu verbessern.

Die minimalen Ein- und Ausschaltzeiten dürfen nicht übersehen werden

Ein wichtiger Aspekt sind die minimalen Ein- und Ausschaltzeiten eines Wandlers, also seine Fähigkeit zum Betrieb mit den Tastverhältnissen, die notwendig sind, um die Eingangsspannung auf die notwendige Ausgangsspannung herabzusetzen. Je grösser das Spannungsreduzierungs-Verhältnis (Step-Down Ratio) ist, desto kürzer muss die minimale Einschaltzeit sein (wobei hier auch die Frequenz mit hineinspielt). Auf ähnliche Weise hängt die minimale Ausschaltzeit mit der Dropout-Spannung zusammen: Wie weit darf die Eingangsspannung absinken, bis die Ausgangsspannung nicht mehr zur Verfügung gestellt werden kann? Grundsätzlich hat ein Anheben der Schaltfrequenz den Vorteil, dass die Lösung insgesamt kompakter wird, aber die minimalen Ein- und Ausschaltzeiten setzen der Frequenz eine gewisse Obergrenze. In Summe gilt: Je kürzer diese beiden Zeiten sind, desto mehr Freiraum hat man, um beim

Design auf kleine Abmessungen und eine hohe Leistungsdichte hinzuarbeiten.

Auf die wirklichen EMI-Eigenschaften achten

Erstklassige EMI-Eigenschaften sind eine zwingende Voraussetzung für den sicheren Betrieb zusammen mit anderen störempfindlichen Bauelementen. In Industrie-, Telekommunikations- und Automotive-Anwendungen kann das Minimieren der elektromagnetischen Interferenzen auf der Prioritätenliste von Stromversorgungs-Designs ganz oben stehen. Damit komplexe elektronische Systeme problemlos gemeinsam arbeiten können, ohne dass es zu EMI-Problemen kommt, gibt es strenge EMI-Normen (beispielsweise CISPR 25 oder CISPR 32) für die Stärke der abgestrahlten Störgrößen. Um die Vorgaben dieser Normen einzuhalten, greift man bei traditionellen Stromversorgungs-Lösungen zum Mittel, die Schaltflanken flacher zu machen und die Schaltfrequenz zu senken. Ersteres geht zu Lasten des Wirkungsgrads und erhöht die Wärmeentwicklung, während Letzteres die Leistungsdichte herabsetzt.

Ein Absenken der Schaltfrequenz birgt zudem das Risiko, dass die in CISPR 25 enthaltenen Vorschriften für Störgrößen im AM-Band von 530 kHz bis 1,5 MHz verletzt werden. Das Störaufkommen lässt sich natürlich mit «mechanischen» Mitteln eindämmen, wie zum Beispiel mit komplexen und sperrigen EMI-Filtern oder mit metallischen Abschirmungen. Diese aber führen zu erheblichen Mehrkosten, vergrößern die Leiterplattenfläche und den Bauteileaufwand, machen die Montage komplexer und verkomplizieren nicht zuletzt das Wärmemanagement und das Testen. Keine dieser Strategien wird den Forderungen nach Kompaktheit, hohem Wirkungsgrad und niedrigem EMI-Niveau gerecht.

Kleinere Abmessungen und niedrigeres EMI-Aufkommen

Es ist nicht zu übersehen, dass beim Design von Stromversorgungs-Systemen inzwischen ein Komplexitätsgrad erreicht ist, der den Systemdesignern einiges zumutet. Abhilfe lässt sich mit Stromversorgungs-ICs schaffen, mit denen sich gleich mehrere Probleme auf einmal lösen lassen: Reduzierung der Leiterplatten-Komplexität, Steigerung des Wirkungsgrads, Minimierung der Wärmeentwicklung und Eindämmung der elektromagnetischen Interferenzen. Eine weitere Vereinfachung für das Design

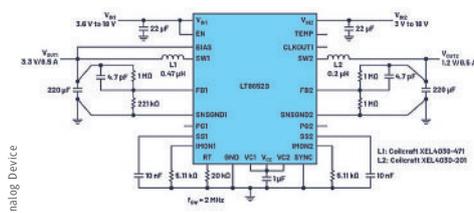


Bild 1: Kompakte, hocheffiziente Lösung mit hoher Schaltfrequenz und ausgezeichneten EMI-Eigenschaften.

und die Produktion können Stromversorgungs-ICs mit mehreren Ausgängen bringen.

Mit monolithischen Stromversorgungs-ICs mit integrierten Schaltern lassen sich gleich mehrere dieser Ziele erreichen. Bild 1 etwa zeigt die Leiterplatte einer Komplettlösung mit zwei Ausgängen. Die Einfachheit eines monolithischen Reglers ist klar zu sehen. Die integrierten MOSFETs und die eingebauten Kompensationsschaltungen des hier verwendeten IC sorgen dafür, dass nur wenige externe Bauelemente benötigt werden. Unter anderem sorgt die relativ hohe Schaltfrequenz von 2 MHz dafür, dass diese Lösung im Kern nur 22 Millimeter x 18 Millimeter misst.

Der Schaltplan zu dieser Leiterplatte ist in Bild 2 dargestellt. Bei 2 MHz Schaltfrequenz erzeugt dieser Wandler mit zwei Kanälen des LT8652S 3,3 V mit 8,5 A und 1,2 V mit 8,5 A. Die Schaltung lässt sich ausserdem problemlos so modifizieren, dass sie Ausgangs-Kombinationen von 3,3 V und 1,8 V, 3,3 V und 1 V etc. unterstützt. Nutzt man den weiten

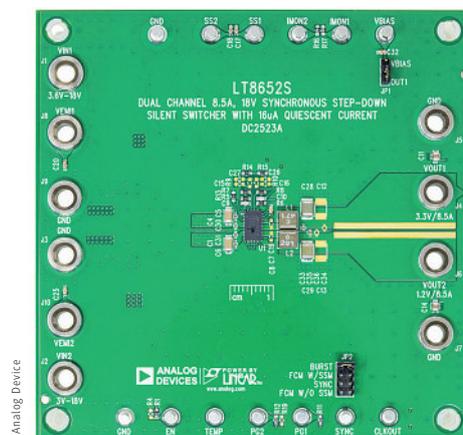


Bild 2: Anwendung mit zwei Ausgängen (3,3 V/8,5 A und 1,2 V/8,5 A) mit 2 MHz Schaltfrequenz unter Verwendung zweier Kanäle des LT8652S.

Eingangsspannungsbereich des LT8652S aus, kann er auch als zweite Wandlerstufe zusammen mit einem Vorregler verwendet werden, der 12 V, 5 V oder 3,3 V zur Verfügung stellt, um den Gesamtwirkungsgrad und die Leistungsdichte zu steigern. Dank seines hohen Wirkungsgrads und seines hervorragenden Wärmemanagements kann der LT8652S auf allen Kanälen gleichzeitig je 8,5 A bereitstellen, 17 A bei parallelgeschalteten Ausgängen und bis zu 12 A bei einer Einkanal-Lösung. Mit seinem Eingangsspannungsbereich von 3 V bis 18 V deckt er die meisten Eingangsspannungskombinationen von FPGA-, SoC- und Mikroprozessor-Anwendungen ab.

Performance eines monolithischen Reglers mit zwei Ausgängen

In Bild 3 sind die gemessenen Effizienzwerte der Lösung aus Bild 1 dargestellt. Im Einkanal-Betrieb wird ein maximaler Wirkungsgrad von 94 Prozent für einen 3,3-V-Ausgang beziehungsweise von 87 Prozent für einen 1,2-V-Ausgang bei 12 V Eingangsspannung erreicht. Im Zweikanal-Betrieb kommt der LT8652S auf 90 Prozent Spitzen-Wirkungsgrad bei 12 V Eingangsspannung und auf einen Vollast-Wirkungsgrad von 86 Prozent bei 8,5 A Laststrom auf jedem Kanal. Dank seiner Off-Time-Skipping-Funktion unterstützt der LT8652S einen erweiterten Tastverhältnisbereich bis nahe 100 Prozent und kann die Ausgangsspannung daher aufrechterhalten, auch wenn die Eingangsspannung weit absinkt. Die typische minimale Einschaltzeit von 20 ns ermöglicht sogar einen Betrieb des Reglers mit hoher Schaltfrequenz, um direkt aus einer 12-V-Quelle eine Ausgangsspannung von weniger als 1 V zu erzeugen, was die Abmessungen und die Kosten der Gesamtlösung

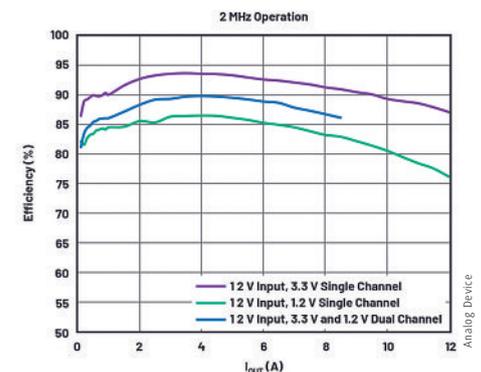


Bild 3: Wirkungsgrad mit einem oder zwei Ausgängen bei 2 MHz Schaltfrequenz.

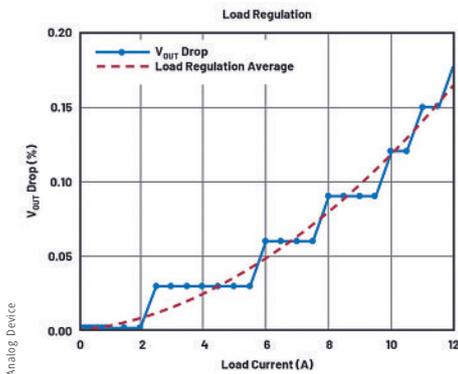


Bild 4: Lastregelung des LT8652S mit differenzieller Erfassung.

reduziert und das AM-Band ausspart. Die Silent-Switcher-2-Technologie mit integrierten Bypass-Kondensatoren vermeidet eventuelle Layout- oder Produktionsprobleme und sorgt für herausragende Benchtop-EMI- und Wirkungsgrad-Eigenschaften.

Differenzielle Spannungserfassung bei hohen Lastströmen

In Anwendungen mit hohen Strömen vergrößert sich der Spannungsabfall mit jedem Zentimeter Leiterbahnlänge. Die modernen Core-Schaltungen mit ihrem hohen Strombedarf verlangen nach einer sehr genauen Spannungsregelung, weshalb Spannungsabfälle hier gravierender Probleme verursachen können. Der LT8652S besitzt eine Funktion zur differenziellen Erfassung der Ausgangsspannung, die dem Anwender das Abgreifen der Ausgangsspannung per Kelvinkontaktierung und die Rückführung direkt vom Ausgangskondensator ermöglicht. Hiermit lassen sich Abweichungen des Massepotenzial am Ausgang um bis zu ± 300 mV korrigieren. Bild 4 veranschaulicht die Lastregelung des LT8652S auf beiden Kanälen mithilfe der differenziellen Erfassung.

Überwachung des Ausgangsstroms

In einigen Hochstrom-Anwendungen muss der Ausgangsstrom für Telemetrie- und Diagnosezwecke erfasst werden. Ausserdem kann der maximale Ausgangsstrom begrenzt oder abhängig von der Betriebstemperatur reduziert werden, um Schäden am Verbraucher zu verhindern. Zum präzisen Regeln des Ausgangsstroms ist daher ein Konstantspannungs- und Konstantstrom-Betrieb erforderlich. Im Falle des LT8652S werden die IMON-Pins genutzt, um den effektiv geregelten Strom zur Last zu überwachen und gegebenenfalls zu reduzieren.

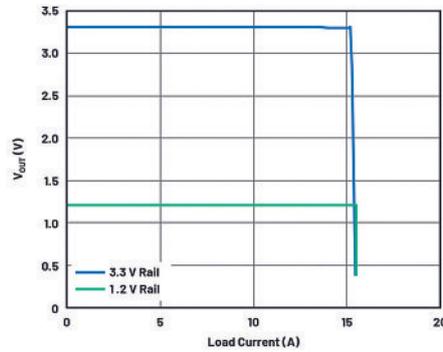
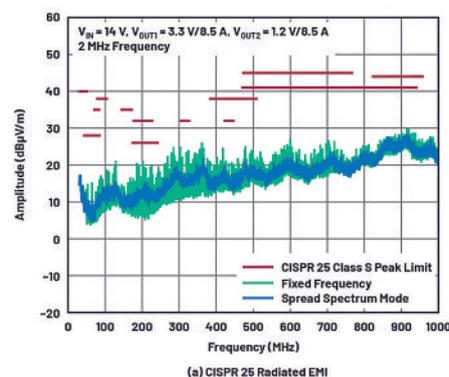


Bild 5: Ausgangsspannung und Laststrom des LT8652S.

Während IMON den geregelten Strom zur Last programmiert, lässt sich IMON so konfigurieren, dass dieser geregelte Strom abhängig vom Widerstand zwischen IMON und GND vermindert wird. Programmiert wird dieses von der Last- oder Leiterplatten-Temperatur abhängige Derating mithilfe eines PTC-Thermistors. Nimmt die Temperatur des Verbrauchers respektive der Leiterplatte zu, steigt auch die Spannung an IMON. Zur Reduzierung des geregelten Stroms wird die Spannung an IMON mit der internen Referenzspannung von 1 V verglichen, um das Tastverhältnis zu variieren. Die Spannung an IMON kann auch kleiner als 1 V sein, hat aber in diesem Fall keine Auswirkungen. Bild 5 zeigt die Ausgangsspannung und den Laststrom vor und nach Aktivierung der IMON-Stromschleife.

Niedriges EMI-Niveau

Damit komplexe elektronische Systeme einwandfrei funktionieren, müssen die einzelnen



Bauelemente strenge EMI-Normen erfüllen. Diese Normen finden in grossem Umfang Anwendung, um für Einheitlichkeit in den verschiedensten Branchen zu sorgen (beispielsweise CISPR 32 für den Industrie- und CISPR 25 für den Automotive-Sektor). Im Interesse einer herausragenden EMI-Performance basiert der LT8652S auf der zur Spitzenklasse zählenden Silent-Switcher-2-Technologie mit EMI-Kompensation und integrierten Hot-Loop-Kondensatoren, um die Grösse der als Antennen fungierenden Strukturen zu verringern. In Verbindung mit den integrierten MOSFETs und den kleinen Lösungsabmessungen kommt eine auf dem LT8652S basierende Lösung auf eine aussergewöhnlich gute EMI-Performance. Bild 6 zeigt die EMI-Testergebnisse des in Bild 1 gezeigten Standard-Demo-Boards für den LT8652S. Während in Bild 6a die abgestrahlten Störgrössen mit Spitzenwert-Detektor gemäss CISPR 25 dargestellt sind, weist Bild 6b die entsprechenden Werte gemäss CISPR 32 aus.

Parallelschaltung für höhere Ströme und bessere thermische Eigenschaften

Die Geschwindigkeit der Datenverarbeitung nimmt immer weiter zu und die Datenmengen vervielfachen sich, und somit steigt auch der Leistungsbedarf der FPGAs und SoCs. Dem entsprechend müssen auch die Stromversorgungen immer mehr Leistungsdichte und Performance bieten, aber dennoch darf das Streben nach immer mehr Leistungsdichte nicht zu Lasten der Einfachheit und Betriebssicherheit gehen. Für Prozessorsysteme, die mehr als 17 A benötigen, können mehrere phasenversetzt betriebene LT8652S parallelgeschaltet werden.

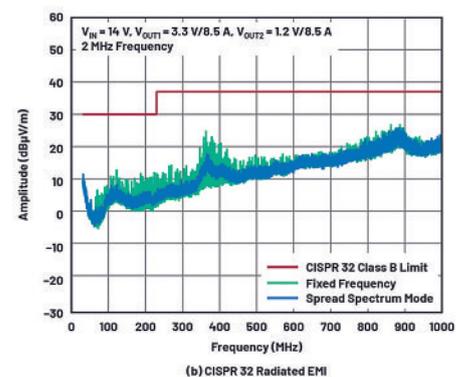


Bild 6: Abgestrahlte elektromagnetische Interferenzen der Schaltung aus Bild 1 mit $V_{IN} = 14$ V, $V_{OUT1} = 3,3$ V/8,5 A und $V_{OUT2} = 1,2$ V/8,5 A.

In Bild 7 sind zwei parallelgeschaltete Wandler zu sehen, die 1 V und 34 A liefern. Die Taktsynchronisation zwischen Master und Slave wird erreicht, indem CLKOUT von U1 mit dem SYNC-Pin von U2 verbunden wird. Der sich hieraus ergebende Phasenversatz von 90 Grad zwischen den Kanälen verringert die Welligkeit des Eingangstroms und verteilt die thermische Belastung gleichmässig auf die Leiterplatte.

Um die Stromaufteilung im statischen Betrieb und in der Start-up-Phase zu verbessern, sind die Pins VC, FB, SNSGND und SS miteinander verbunden. Im Interesse einer präzisen Rückkopplung und einer hohen Störobstandigkeit wird eine Kelvinkontaktierung empfohlen. In der Nähe der Masse-Pins sollten sich möglichst viele Thermal Vias zur unteren Leiterplattenlage befinden, um die thermischen Eigenschaften zu verbessern. Die Keramik-Kondensatoren der eingangsseitigen Hot Loops sollten nah an den VIN-Pins platziert werden.

Die von Automotive-SoCs gestellten Lastsprung-Anforderungen lassen sich möglicherweise schwierig erfüllen, da sich die Fahrbedingungen drastisch, häufig und schnell ändern können, so dass sich das SoC ohne Verzögerung auf rasch wechselnde Lasten ein-

stellen muss. Es ist durchaus nicht ungewöhnlich, dass sich der Laststrom bei Peripherie-Stromversorgungen mit einer Rate von 100 A/μs ändert – bei Core-Stromversorgungen unter Umständen sogar noch schneller. Dennoch gilt es auch bei steilen Änderungen des Laststroms, die Spannungsspitzen am Ausgang der Stromversorgungen zu minimieren. Eine hohe Schaltfrequenz von mehr als 2 MHz ermöglicht eine schnelle Reaktion auf Lastsprünge mit minimalen Auswirkungen auf die Ausgangsspannung. Bild 7 zeigt die korrekten Werte der Bauelemente zur Regelschleifen-Kompensation, die von der hohen Schaltfrequenz profitieren und für ein stabiles dynamisches Regelverhalten sorgen. Wichtig ist es ausserdem, beim Leiterplatten-Layout auf eine minimale Leiterbahn-Induktivität zwischen den Ausgangskondensatoren und der Last zu achten.

Zusammenfassung

Die fortlaufend steigende Verarbeitungsleistung von FPGAs, SoCs und Mikroprozessoren führt zu einer Zunahme des Leistungsbedarfs. Da zudem immer mehr Versorgungsspannungen mit immer höheren Strömen benötigt werden, kommt es darauf an, klein und schnell zu denken, was das Design und die Leistungsfähigkeit des Stromversorgungs-Systems betrifft. Der LT8652S ist ein nach dem Current-Mode-Prinzip arbeitender, synchroner 18-V-Abwärtswandler auf Basis der Silent Switcher 2 Technologie für 8,5 A Laststrom. Mit seinem Eingangsspannungsbereich von 3 V bis 18 V eignet er sich für Anwendungen mit unterschiedlichsten Eingangsquellen, die von einer einzigen Lithium-Ionen-Zelle bis zu Kfz-Bordnetzen reichen können.

Der LT8652S lässt sich mit Schaltfrequenzen zwischen 300 kHz und 3 MHz betreiben, so dass die Grösse der externen Bauelemente minimiert werden kann und kritische Frequenzbänder wie das AM-Band ausgespart werden können. Die Silent-Switcher-2-Technologie integriert ausserdem sämtliche nötigen Bypass-Kondensatoren in das Gehäuse, so dass die Gefahr unliebsamer, durch das Layout oder die Produktion bedingter EMI-Überraschungen minimiert wird, was wiederum das Design und die Fertigung vereinfacht.

Der Betrieb im Burst-Modus senkt die Ruhestromaufnahme auf nur 16 μA und hält die Welligkeit der Ausgangsspannung gering.

Das nur 4 Millimeter x 7 Millimeter grosse LQFN-Gehäuse im Verbund mit den sehr wenigen externen Bauelementen sorgt für einen sehr kompakten Footprint und minimiert die Kosten der Gesamtlösung. Die Schalter des LT8652S mit 24 mΩ beziehungsweise 8 mΩ ergeben einen Wirkungsgrad von mehr als 90 Prozent, während die programmierbare Unterspannungs-Sperre die System-Performance optimiert. Die differenzielle Fernerfassung der Ausgangsspannung wahrt das hohe Genauigkeitsniveau über den gesamten Lastbereich bei gleichzeitiger Unempfindlichkeit gegen Auswirkungen der Leiterbahnimpedanz, so dass sich die Gefahr einer Beschädigung der Last infolge externer Schwankungen verringert. Als weitere Features sind die interne respektive externe Kompensation, die Softstart-Funktion, die Frequenz-Foldback-Funktion und der Überhitzungsschutz hervorzuheben. <<

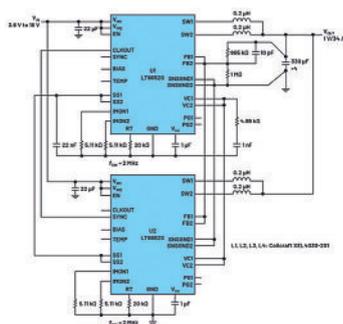


Bild 7: Vierphasige Lösung mit 2 MHz Schaltfrequenz und einem Ausgang (1 V/34 A) für eine SoC-Anwendung.

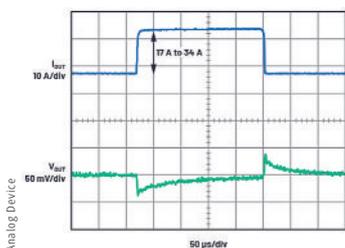


Bild 8: Lastsprungverhalten der Schaltung aus Bild 7

AUTOR

Dong Wang ist als Applikationsingenieur für Stromversorgungs-Produkte bei Analog Devices tätig. Er begann seine Laufbahn im Jahr 2013 bei Linear Technology. Momentan arbeitet er im Applikations-Support für nicht-isolierte monolithische Abwärtswandler. Das breite Interessensgebiet von Dong Wang umfasst Power-Management-Lösungen und analoge Schaltungen, darunter die Leistungswandlung mit hohen Schaltfrequenzen, verteilte Stromversorgungs-Systeme, Techniken zur Leistungsfaktor-Korrektur, Wandlertechniken für niedrige Spannungen und hohe Ströme, die Integration von magnetischen Bauelementen für hohe Frequenzen sowie die Modellierung und Regelung von Wandlern. Dong Wang erwarb an der Zhejiang University in Hangzhou (China) einen Dokortitel in Elektrotechnik. Erreichbar ist er unter: dong.wang@analog.com



Infoservice

Analog Devices GmbH
 Otl-Aicher-Strasse 60-64, DE-80807 München
 Tel. 0049 89 769 030, Fax 0049 89 769 031 07
www.analog.com