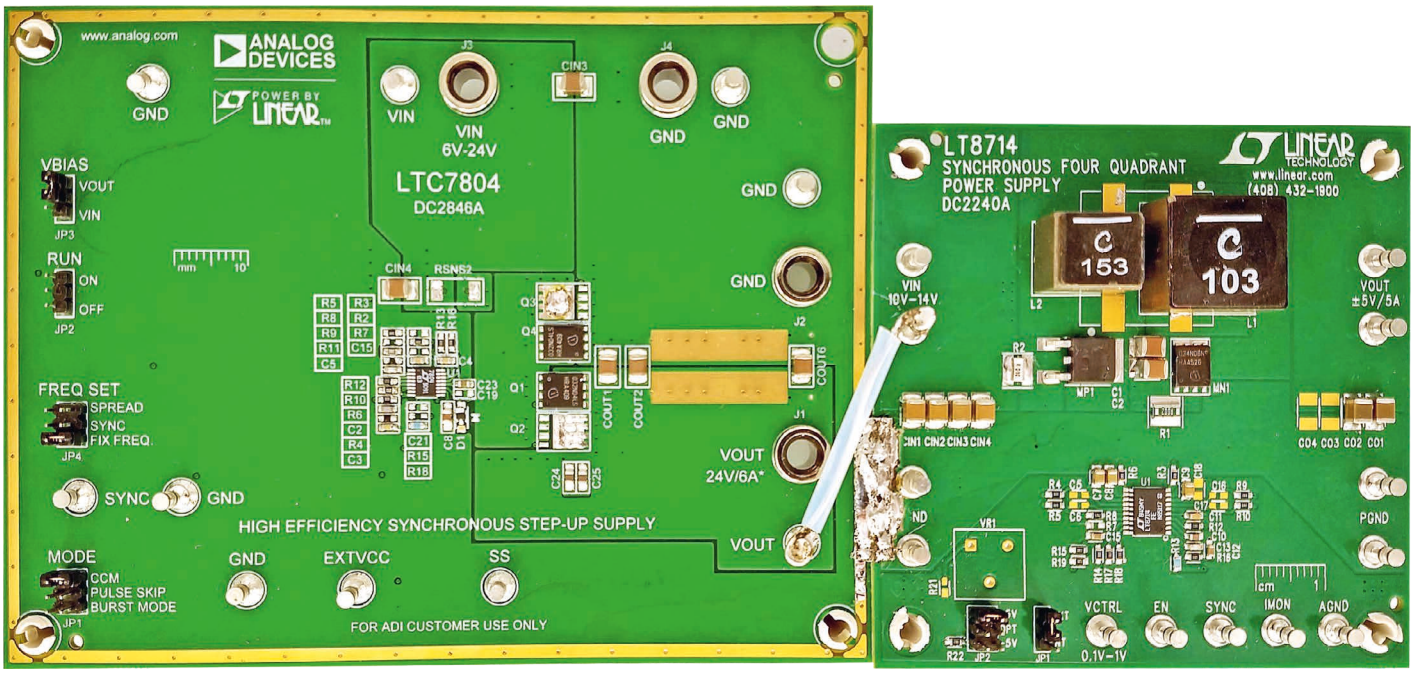
Bipolare, bidirektionale DC-Quelle

Die hier vorgestellte Gleichstromversorgung speist und zieht Strom bei 5 bis 24 V am Eingang.



Die meisten elektronischen Systeme hängen von positiven oder auch von negativen Spannungen ab, aber nur wenige Applikationen benötigen beides. In diesen Situationen wird die positive oder negative Leistung vom selben Anschluss geliefert – das heißt, die Ausgangsspannung der Stromversorgung kann über den gesamten Spanungsbereich justiert werden und dabei sanft die Polarität wechseln. Einige Automobil- und Audioapplikationen benötigen Stromversorgungen, die auch als Last arbeiten können. Ein Beispiel dafür sind regenerative Bremssysteme. Bipolare Stromversorgungen mit einem Anschluss sind bekannt, aber Lösungen, die auch während Spannungseinbrüchen am Eingang arbeiten können, wie bei Kaltstartbedingungen, und dabei auch noch die bidirektionale Funktion aufrechterhalten, gab es bisher noch nicht. Dieser Artikel beschreibt eine Lösung, die immun gegen Eingangsspannungswechsel ist, während sie Strom liefert und dabei auch einen Stromfluss vom Ausgang zum Eingang erlaubt.

Quelle:
Bipolare, bidirektionale Gleichspannungsstromversorgung speist und zieht Strom aus 5 V bis 24 V am Eingang, von Victor Khasiev (Bild), Senior Applications Engineer, Analog Devices Inc. leicht gekürzt

Analog Devices Inc.
www.analog.com

Die Schaltung

Bild 1 zeigt eine zweistufige Stromversorgung U1, die um einen Vierquadranten-Controller (Stufe 2) angeordnet ist. Dieser Vierquadranten-Wandler wird von einem Zwischenbus-Wandler V_{INTER} (Stufe 1) gespeist, der eine Ausgangsspannung von 12 bis 24 V bzw. nominal von 12 bis 16 V liefert (entsprechend Standard-Autobatterie). Die Ausgangsspannung des kompletten Zweistufenwandlers beträgt ±10 V bei 3 A an den Verbraucher. Die Ausgangsspannung wird über das CONTROL-Signal der Spannungsquelle am CTRL-Pin des Controllers U1 gesteuert. Das Tiefpassfilter C_F, R_F mindert schnelle Änderungen der Steuerspannung. Der Leistungs-

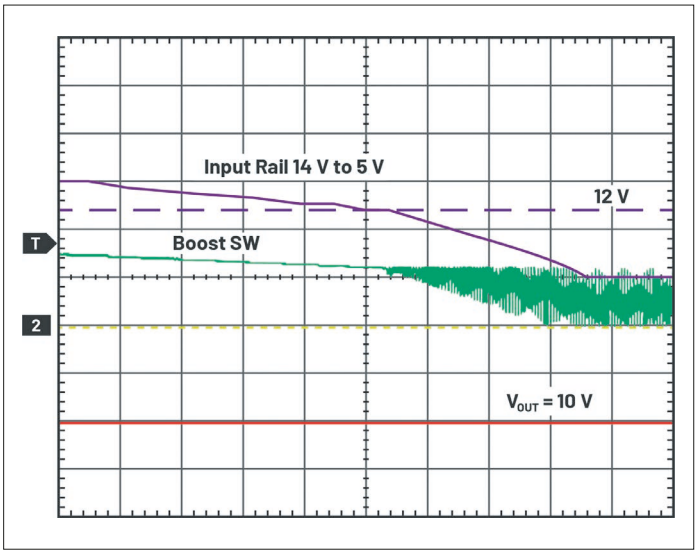


Bild 2: Die Signalformen zeigen V_{IN} von 14 V auf 5 V abfallen. V_{IN} = 5 V/div, V_{OUT} = 5 V/div, Boost SW = 10 V/div und die Zeitskala ist 200 µs/div

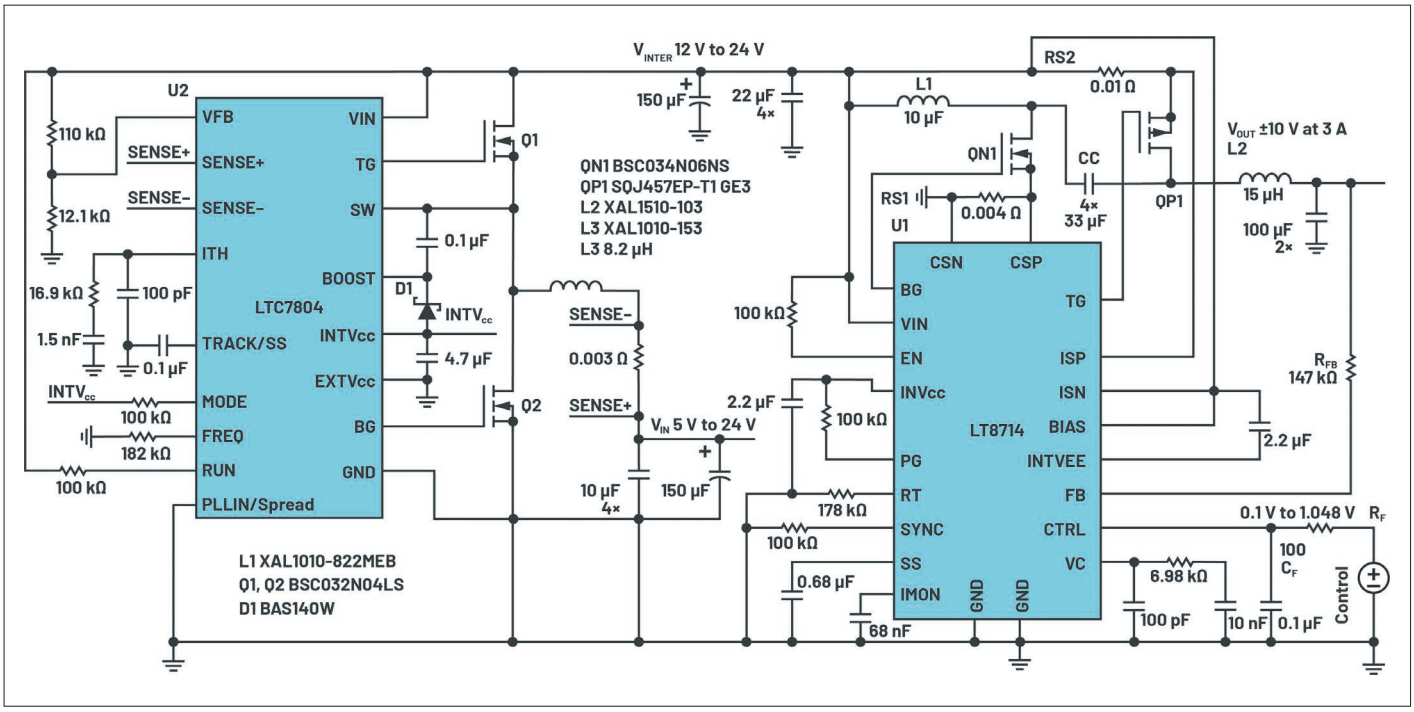


Bild 1: Schaltplan einer bipolaren, bidirektionalen Stromversorgung mit zwei Anschlüssen und V_{IN} = 5...24 V, V_{OUT} = ±10 V bei 3 A

strang (power train) enthält zwei MOSFETs, N-Kanal QN1 und P-Kanal QP1, zwei diskrete Spulen L1 und L2 sowie ein Ausgangsfilter. Zwei Spulen anstatt nur einer gekoppelten erweitern den Bereich nutzbarer Magnetbauteile. Das Ausgangsfilter wird wegen der Bipolarität des Ausgangs ausschließlich mit Keramikkondensatoren aufgebaut.

Der Eingangsspannungsbereich des kompletten Zweistufenwandlers beträgt 5 bis 24 V, um die Spannungsabfälle beim Kaltstart im Automobil und Stromausfälle in industriellen Anwendungen zu verkraften. Der Aufwärtswandler (Stufe 1), basierend auf Controller U2, erhält die Spannung des Zwischenbusses immer dann, wenn der Wandler bei oder über 12 V aktiv ist. Der Strom des Aufwärtswandlers fließt über L3 und die Q1 und Q2. Die zweistufige Anordnung erlaubt den Normalbetrieb des nachgelagerten Vierquadranten-Wandlers, um bei allen Betriebsbedingungen ±10 V an den Verbraucher zu liefern.

Stromlieferung

Das Oszillogramm in Bild 2 zeigt die Schaltung von Bild 1 in Aktion. Liegt eine Eingangsspannung an V_{IN} an, regelt der Aufwärtswandler seinen Ausgang V_{INTER} auf 12 V und der Eingang fällt unter diesen Pegel. Übersteigt V_{IN} den nominalen Wert von 12 V, geht der Aufwärtswandler in den Durchschleif- (pass-thru) oder Leitungsmodus (wire-mode) über. Der Top-MOSFET Q1 wird bei 100% Arbeitstakt immer in Betrieb gehalten, sodass er nicht mehr ausschaltet – V_{INTER}, angelegt an einen Vierquadranten-Konverter, bleibt dann bei einem Pegel nahe an V_{IN} relativ stabil.

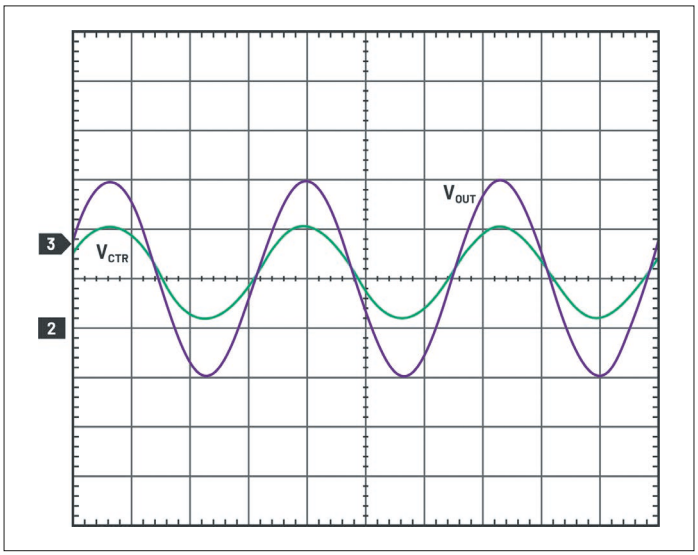


Bild 3: Sinus-Ausgangssignale als Funktion des Sinus-Steuersignals. V_{CTRL} = 0,5 V/div, V_{OUT} = 5 V/div, Zeitskala 5 ms/div

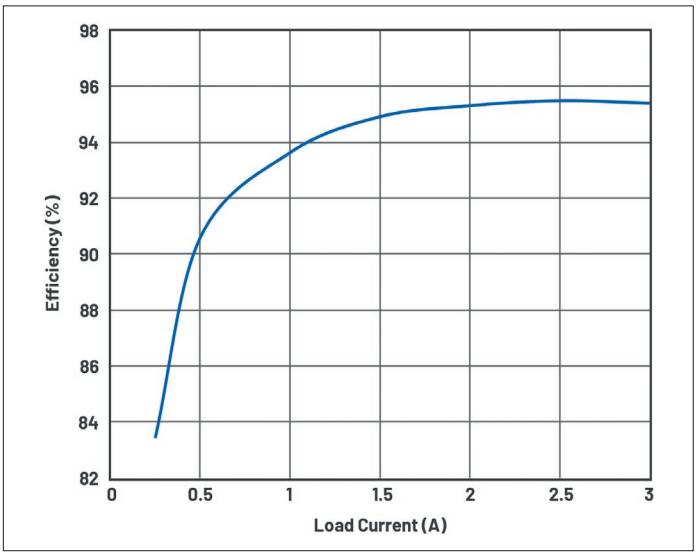


Bild 4: Wirkungsgrad abhängig vom Laststrom

Diese Methode steigert den Systemwirkungsgrad gegenüber einem typischen zweistufigen Baustein (Aufwärtswandler plus Abwärts-/invertierender Wandler) deutlich. Dies weil der Wirkungsgrad im Pass-Thru-Modus, in dem das System die meiste Zeit ist, nahe an 100% liegen kann und die Stromversorgung im Wesentlichen in einen einstufigen Konverter umwandelt. Wenn die Eingangsspannung unter 12 V fällt – z.B. während eines Kaltstarts –, dann fängt der Aufwärtswandler wieder zu schalten an, um V_{INTER} auf 12 V zu regeln. Diese Methode ermöglicht es dem Vierquadranten-Konverter selbst bei schnellen Abfällen der Eingangsspannung, ±10 V zu liefern.

Hat die Steuerspannung ihren maximalen Wert – in diesem Fall 1,048 V –, beträgt die Ausgangsspannung des Konverters +10 V. Ist die Steuerspannung minimal (100 mV), dann beträgt die Ausgangsspannung -10 V. Die Steuerspannung in Zusammenhang mit der Ausgangsspannung ist in Bild 3 dargestellt. Dabei ist die Steuerspannung ein 60-Hz-Sinus mit 0,948 V Spitze-Spitze. Die resultierende Ausgangsspannung ist ebenfalls ein 60-Hz-Sinus, jedoch mit 20 V Spitze-Spitze. Der Ausgang wechselt dabei sanft von -10 auf +10 V.

In dieser Betriebsart regelt der Vierquadranten-Wandler die Ausgangspannung. Die Ausgangsspannung wird von U1 über R_{FB} an seinem FB-Pin gemessen. Die Spannung wird mit der Steuerspannung verglichen und entsprechend diesem Vergleich wird der Arbeitstakt des Wandlers – d.h. das Gate-Signal von QN1 – justiert, um die Ausgangsspannung in Regelung zu halten. Wenn sich V_{INTER}, CONTROL oder V_{OUT} ändern, wird der Arbeitstakt moduliert, um den Ausgang entsprechend zu regeln. QP1 schaltet synchron mit QN1 zur Gleichrichtung, um den Wirkungsgrad weiter zu erhöhen, wie in Bild 4 gezeigt.

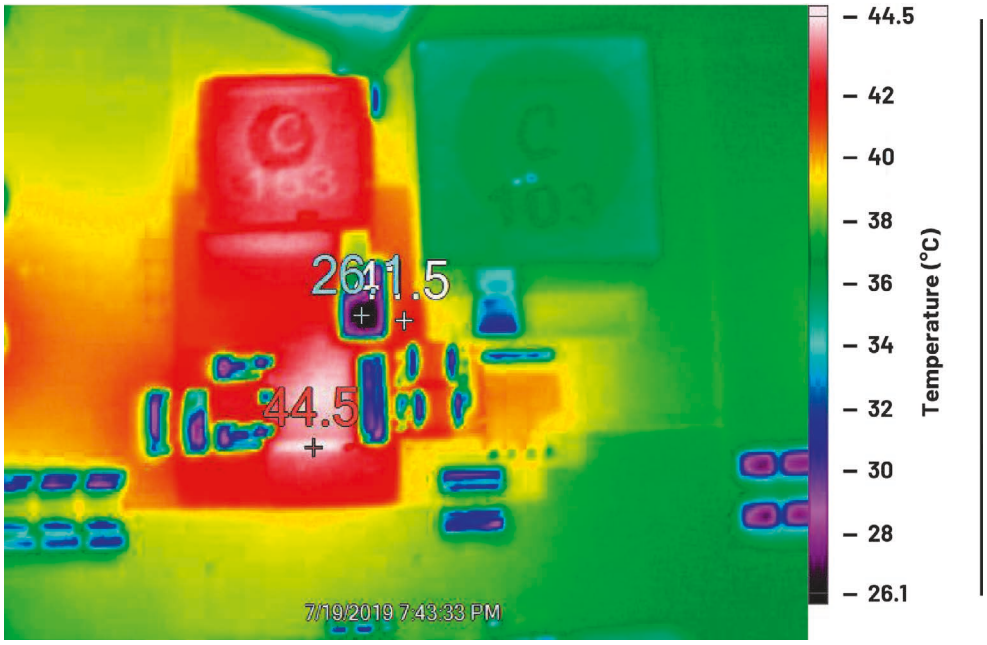


Bild 5: Das Wärmebild des Vierquadranten-Konverters bei Betrieb als Stromsenke (umgekehrter Stromfluss). 4,5 A fließen aus einer 12,5-V-Quelle vom V_{OUT}-Anschluss nach V_{IN}

Stromaufnahme

Strom vom Ausgang V_{OUT} zum Eingang V_{IN} fließen zu lassen, ist wichtig für die Automobilelektronik und einige Audiosysteme. V_{OUT} wird nun als Eingang und V_{IN} als Ausgang bezeichnet. Es werden Anwendungen betrachtet, in denen die Zwischenbusspannung V_{INTER} gleich oder größer als 12 V ist.

Während der umgekehrte Strom fließt, regelt der Vierquadranten-Konverter nur den Ausgangsstrom von V_{OUT} nach V_{IN}, nicht aber die Spannung. Der Konverter fühlt den Ausgangsstrom als Spannungsabfall an R_{S2} in Bild 1 und regelt seinen Arbeitstakt so, dass dieser Spannungsabfall auf einem bestimmten Wert gehalten wird, bei dieser Lösung 50 mV.

Da der Vierquadranten-Wandler Spannung auf dem Zwischenbus V_{INTER} generiert, die das spezifizierte Minimum überschreitet, geht der Aufwärtswandler in den Pass-Thru-Modus über, in dem der Top-MOSFET immer eingeschaltet ist und liefert den voreingestellten Wert des Ausgangsstroms mit den kleinstmöglichen Verlusten an die Anschlüsse V_{IN} (load).

Zum Test wurde V_{OUT} in der Schaltung von Bild 1 mit einer Laborstromversorgung verbunden, die auf 12,5 V eingestellt war, und V_{IN} belastet, wobei der Strom durch den Wandler auf 4,5 A eingestellt war. Das Wärmebild des Vierquadranten-Konverters ist in Bild 5 dargestellt. Der Aufmacher zeigt den Wandler aus zwei Demo-Schaltungen von ADI. Links der LTC7804 (DC2846A) und rechts der LT8714 (DC2240A). Der Power-by-Linear LT8714 ist ein einfach einzusetzender Vierquadranten-Controller mit synchroner Gleichrichtung und sehr hohem Wirkungsgrad. Der synchrone Aufwärtswandler LTC7804 enthält eine interne Ladungspumpe, die einen effizienten schaltfreien Pass-Thru-Betrieb mit 100% Arbeitstakt ermöglicht.

Zusammenfassung

Der in diesem Artikel präsentierte Konverter ist eine Hochleistungslösung für eine bipolare, bidirektionale Stromversorgung. Einige spezifische Funktionen tragen zur hohen Leistung der Gesamtlösung bei: die synchrone Gleichrichtung ergibt einen hohen Wirkungsgrad und der einfache spezielle Steuerungsplan vereinfacht es, jeden beliebigen Hostprozessor und externe Steuerschaltungen anzuschließen. Die Schaltung löst das Problem von unstabilen Eingangsspannungen einschließlich schneller Spannungsspitzen und garantiert stabile Ausgangsspannungen bei allen Betriebsarten.

Der Autor

Victor Khasiev ist Senior Applications Engineer bei ADI mit umfassender Erfahrung in Leistungselektronik. Er hält zwei Patente und hat mehrere Artikel verfasst. Sie beschreiben Aufwärts-, Abwärts- SEPIC-, Positiv-zu-Negativ-, Negativ-zu-Positiv-, Flyback- und Vorwärts-Wandler sowie bidirektionale Backup-Stromversorgungen. Victor unterstützt ADI-Kunden bei Fragen über ADI-Produkte, der Entwicklung und Verifikation von Stromversorgungsschaltungen, Layout der benötigten Leiterplatten, Fehlersuche und beim Test der fertigen Systeme (victor.khasiev@analog.com). ◄