Für Automatic Test Equipment-Anwendungen

Spannungsversorgung mit zwei Ausgängen und Quellen- und Senken-Funktionalität

Im folgenden Artikel wird eine Methode zur Erzeugung einer positiven und einer negativen Versorgungsspannung eines Device Power Supply mit nur einer bidirektionalen Stromversorgung beschrieben. Traditionell verwendet man hierfür zwei bidirektionale (d. h. als Stromquelle und Stromsenke geeigneter) Stromversorgungen – eine für die positive und eine für die negative Versorgungsspannung. Eine solche Lösung aber benötigt viel Platz und ist teuer.

Autoren:
Jhun Rennel Sanchez (links), Product Applications Engineer und Anthony Serquiña (rechts), Senior Applications Development Engineer
Analog Devices, Inc.
www.analog.com

Device Power Supplies

So genannte Device Power Supplies (DPS) werden für Automatische Prüfsysteme (Automatic Test Equipment, ATE) und andere Messsysteme eingesetzt. Der Begriff ATE bezeichnet computergestützte Anlagen zur automatischen Durchführung von Funktionalitäts-, Qualitäts-, Performance- und Belastungsprüfungen. ATE-Anwendungen verlangen von ihren Stromversorgungen den Vierquadranten-Betrieb, und genau dies leistet ein DPS-System, denn es kann bei positiven und negativen Ausgangsspannungen gleichermaßen als Stromquelle und -senke arbeiten. Um für Anwendungen mit größerem Strombedarf geeignet zu sein, lassen sich mehrere DPS zusammenschalten. Da aber das DPS wie erwähnt als Stromquelle und -senke operieren kann, muss auch die Stromversorgung des DPS diese Fähigkeit haben.

Zwei Ausgänge

Die Spannungsversorgung mit zwei Ausgängen wird entwickelt, um mit nur einer bidirektionalen Stromversorgung auszukommen, dabei aber dem DPS weiterhin positive und negative Spannungen zur Verfügung zu stellen und Bidirektionalität zu bieten. Einen bidirektionalen positiven Ausgang bereitzustellen, wirft keine Probleme auf, denn auf dem Markt werden zahlreiche integrierte Schaltungen (ICs) angeboten, die als Stromquelle und Stromsenke arbeiten können. Problematisch ist dagegen die Tatsache, dass auch der negative Ausgang je nach den Erfordernissen des Prüflings (Device Under Test, DUT) Ströme abgeben und aufnehmen muss. Eine Möglichkeit ist es, einen für den bidirektionalen Betrieb geeigneten Abwärtswandler-IC so zu konfigurieren, dass er als invertierender Abwärts-Aufwärtswandler

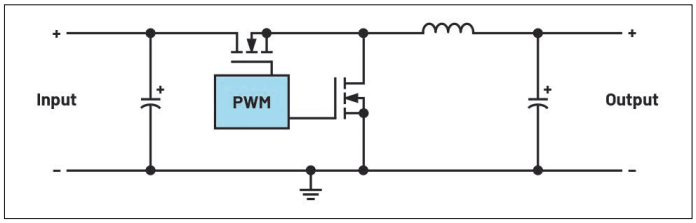

Bild 1: Vereinfachtes Schaltbild eines Abwärtswandlers

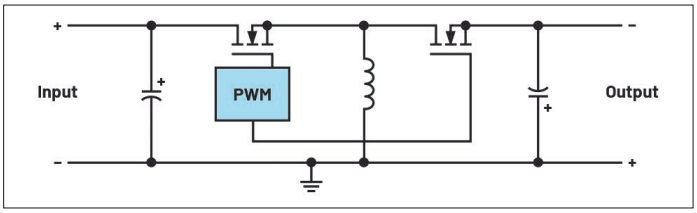

Bild 2: Vereinfachtes Schaltbild eines Abwärts-Aufwärtswandlers

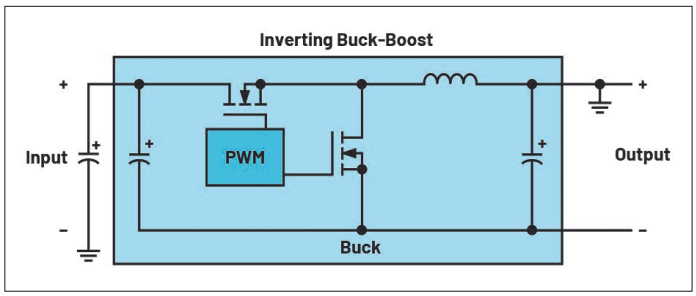

Bild 3: Umrüstung eines Abwärtswandlers in eine invertierende Abwärts-Aufwärtswandler-Konfiguration

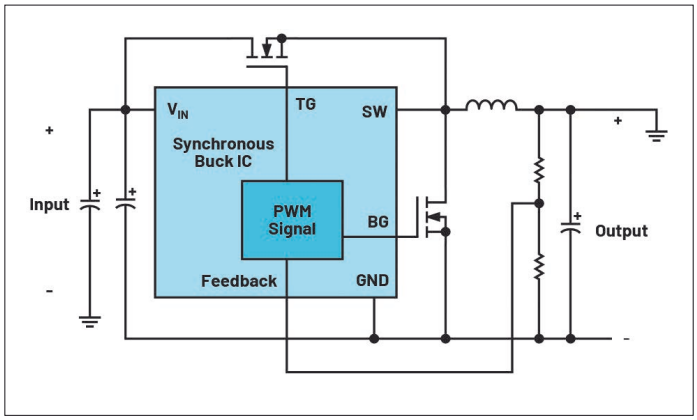

Bild 4: Verwendung eines Abwärtswandler-IC in einer invertierenden Abwärts-Aufwärtswandler-Topologie

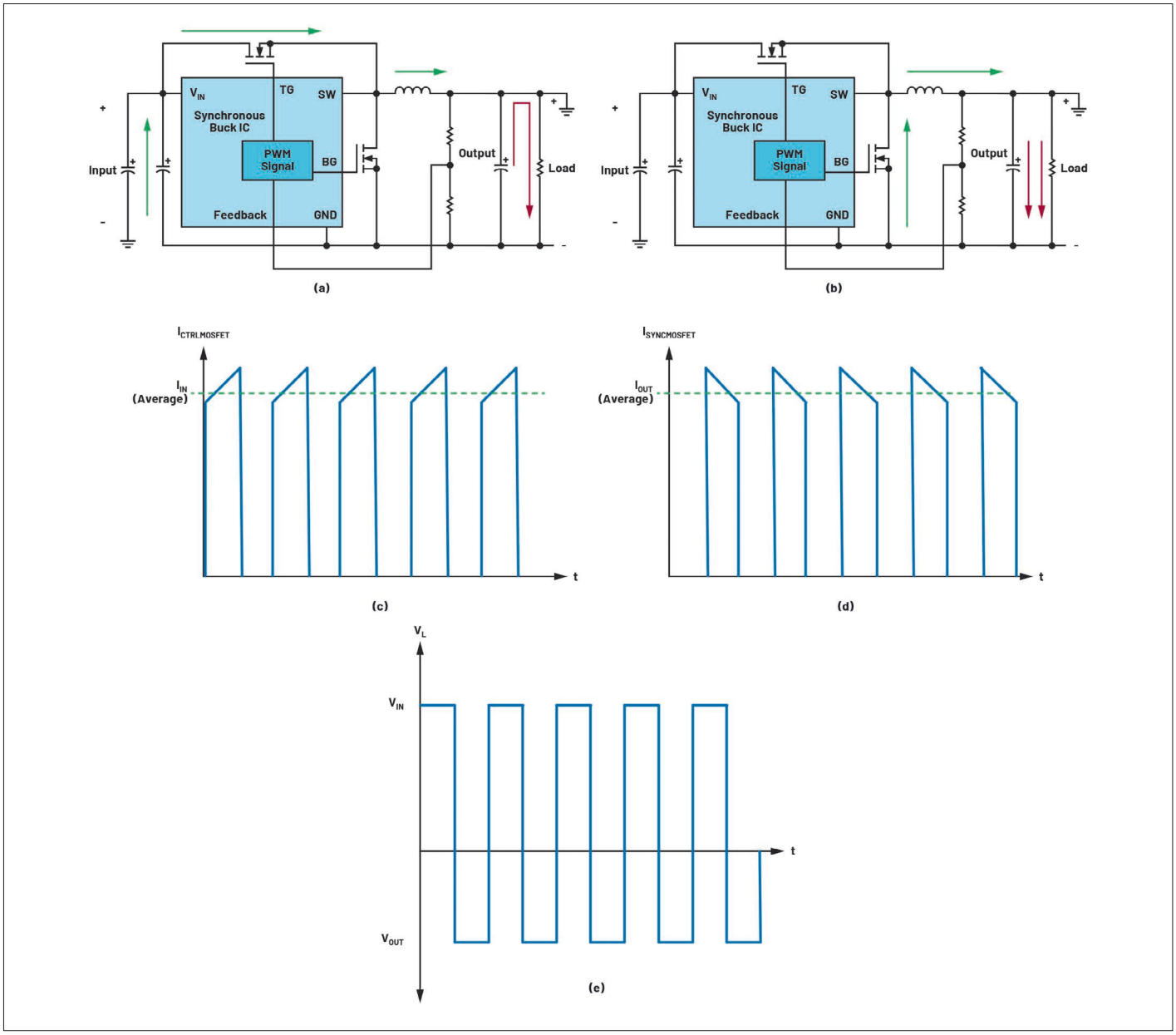

Bild 5: Verhältnisse im Betrieb als Stromquelle: Stromfluss während der Einschaltphase (a) und während der Ausschaltphase (b); Strom im oberen (Control-)MOSFET (c) und im unteren (Sync-)MOSFET (d); Spannung an der Induktivität (e).

(Buck-Boost Converter) arbeitet. Ein Beispiel für einen solchen Baustein ist der LTC3871, der als bidirektionaler Abwärts- oder Aufwärtsregler sowohl für die positive als auch für die negative Ausgangsspannung verwendet werden kann.

Design eines invertierenden Abwärts-Aufwärtswandlers

In Bild 1 ist das vereinfachte Schaltbild eines Abwärtswandlers zu sehen. Die positive Eingangsspannung wird hier in eine niedrigere Ausgangsspannung mit ebenfalls positivem Vorzeichen umgewandelt. Bild 2 zeigt dagegen einen invertierenden Abwärts-Aufwärtswandler, der eine positive Eingangsspannung in eine größere oder kleinere negative Ausgangsspannung umwandelt. Wie man in Bild 3 sieht, lässt sich eine Abwärtswandler-Schaltung mit folgenden Maßnahmen in eine invertierende Abwärts-Aufwärtswandler-Topologie umwandeln:

- Man macht den positiven Ausgang des Abwärtswandlers zur System-Masse
- Die Systemmasse des Abwärtswandlers wird als negativer Ausgang genutzt
- Die Eingangsspannung wird zwischen dem VIN-Anschluss und dem positiven Ausgang des Abwärtswandlers angelegt

Bild 4 zeigt in vereinfachter Form, wie ein Abwärtswandler-IC in eine invertierende Abwärts-Aufwärtswandler-Konfiguration umgebaut wird.

Funktionsweise eines konvertierten Abwärtswandler-ICs

Betrieb als Stromquelle

In Bild 5 sind Strom- und Spannungsverläufe eines invertierenden Aufwärts-Abwärtswandlers sowie der Stromfluss im Betrieb als Stromquelle zu sehen. Bild 5a zeigt den Stromfluss durch den Wandler bei eingeschaltetem Control-MOSFET. In Bild 5c wiederum ist der durch den Control-MOSFET fließende Strom dargestellt, dessen Durchschnittswert gleich dem Eingangsstrom ist. Bei eingeschaltetem Control-MOSFET wird in der Induktivität Energie gespeichert, der Strom nimmt zu und die Last wird aus dem Ausgangskondensator versorgt. Die Spannung an der Induktivität ist während dieser Phase gleich der Eingangsspannung.

Wenn der Control-MOSFET abgeschaltet wird, schaltet im Gegenzug der Sync-MOSFET ein. Bild 5b gibt an, wie in diesem Fall der Strom fließt. Der Ausgangsstrom entspricht jetzt dem Durchschnittswert des Stroms

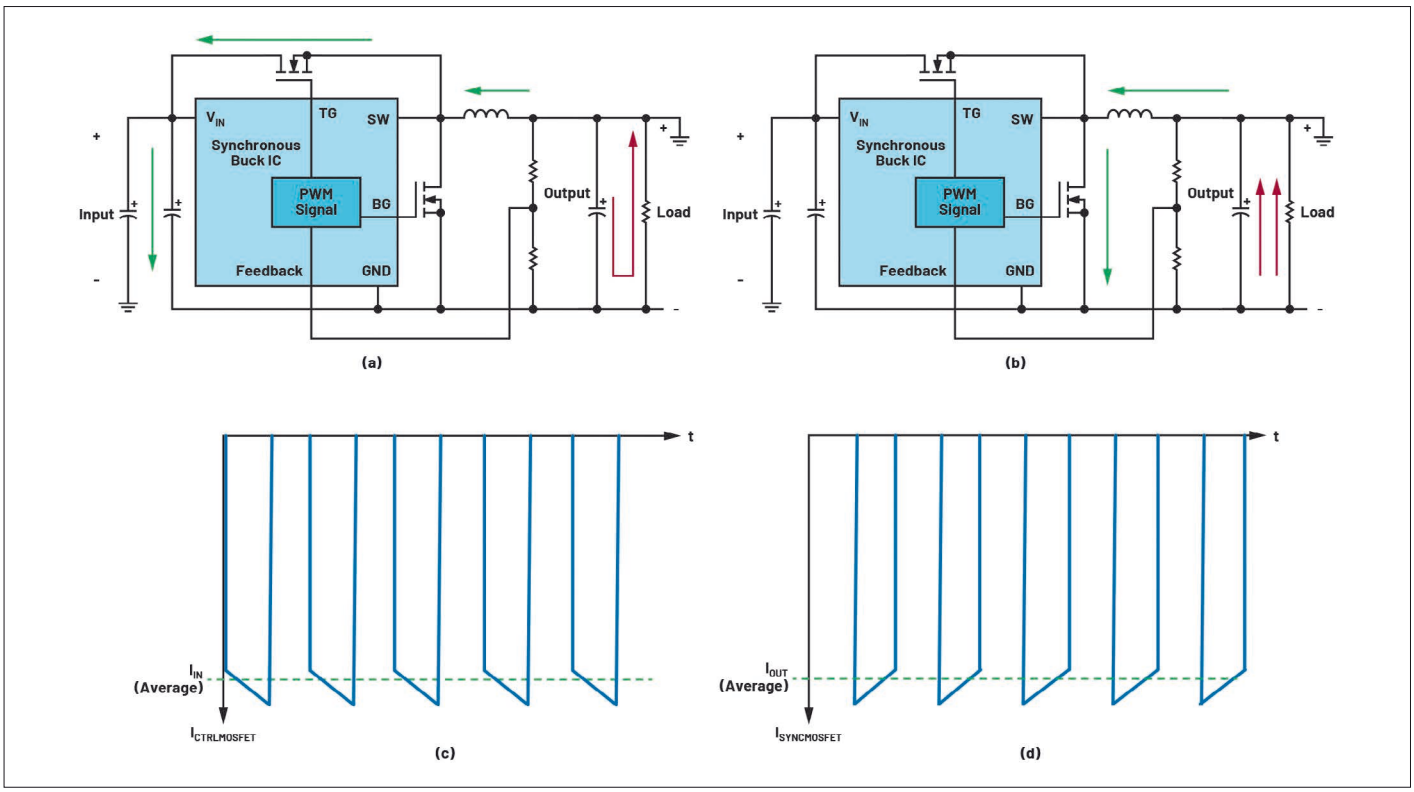

Bild 6: Verhältnisse im Betrieb als Stromsenke: Stromfluss während der Einschaltphase (a) und während der Ausschaltphase (b); Strom im oberen (Control-)MOSFET (c) und im unteren (Sync-)MOSFET (d).

im Sync-MOSFET, und die an der Induktivität liegende Spannung ist gleich der Ausgangsspannung. Da die Induktivität nunmehr die Last versorgt und den Kondensator lädt, nimmt der in ihr fließende Strom ab. Der beschriebene Vorgang wiederholt sich in jedem Schaltzyklus.

Die Regelung des Wandlers sorgt per Pulsweiten-Modulation (PWM) dafür, dass die Ausgangsspannung stets auf dem Sollwert bleibt (dieser wird durch die Widerstände des Spannungsteilers vorgegeben). Die folgende Gleichung drückt den Zusammenhang zwischen Ausgangsspannung und Eingangsspannung aus:

$$D = \frac{|V_{OUT}|}{|V_{OUT}| + \eta \times V_{IN}}$$

Darin ist

- V_{OUT} die Ausgangsspannung,
- V_{IN} die Eingangsspannung,
- D das Tastverhältnis und
- η der Wirkungsgrad des Systems.

Bei Tastverhältnissen über 50 % ist die Ausgangsspannung größer als die Eingangsspannung, während die Ausgangsspannung kleiner als die Eingangsspannung ist, solange das Tastverhältnis geringer als 50 % ist.

Betrieb als Stromsenke

Sobald der Wandler als Stromsenke arbeitet, fließt der Strom vom Ausgang zum Eingang, wie in den Bildern 6a und 6b dargestellt. Die im Control- und im Sync-MOSFET fließenden Ströme sind in den Bildern 6c und 6d zu sehen. Bedingt durch den Betrieb als Stromsenke fließt durch die MOSFETs ein Strom mit negativem Vorzeichen. Im folgenden Abschnitt ist der negative Strom in der Induktivität während des Stromsenken-Betriebs visualisiert.

Testergebnis

Bild 7 zeigt eine Ansicht des Versuchsaufbaus zum Testen der Quelle/Senke- und Senke/Quelle-Funktionalität des Designs, und in Bild 8 ist das entsprechende Blockschaltbild zu sehen. Die bidirektionale DC-Quelle erzeugt V_{POS} und arbeitet im Konstantspannungs-Modus. Die andere DC-Quelle ist

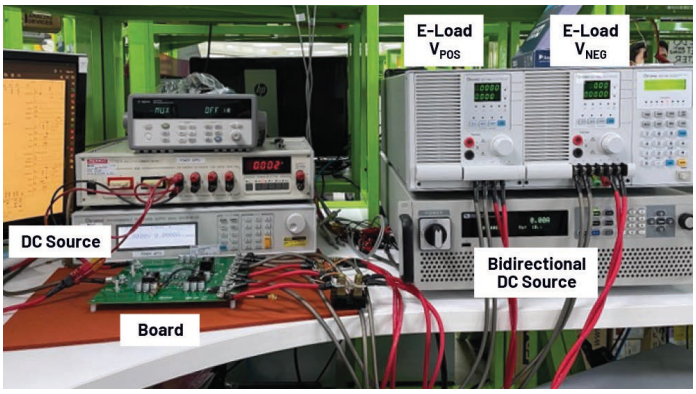

Bild 7: Ansicht des Versuchsaufbaus zum Testen des Quellen- und Senkenbetriebs

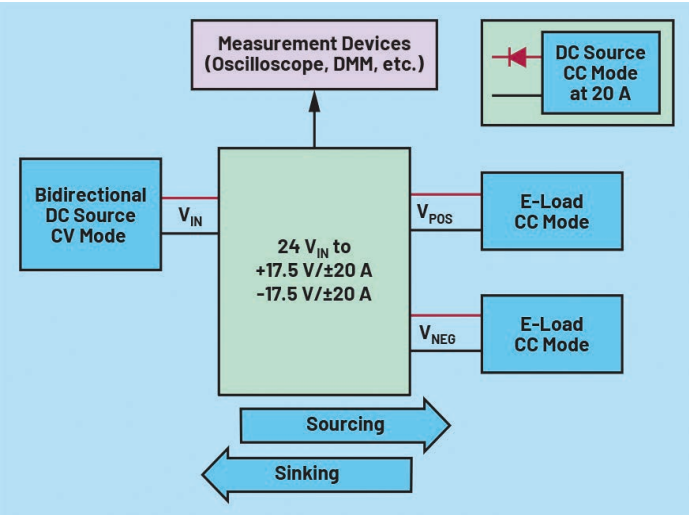

Bild 8: Blockschaltbild des Versuchsaufbaus

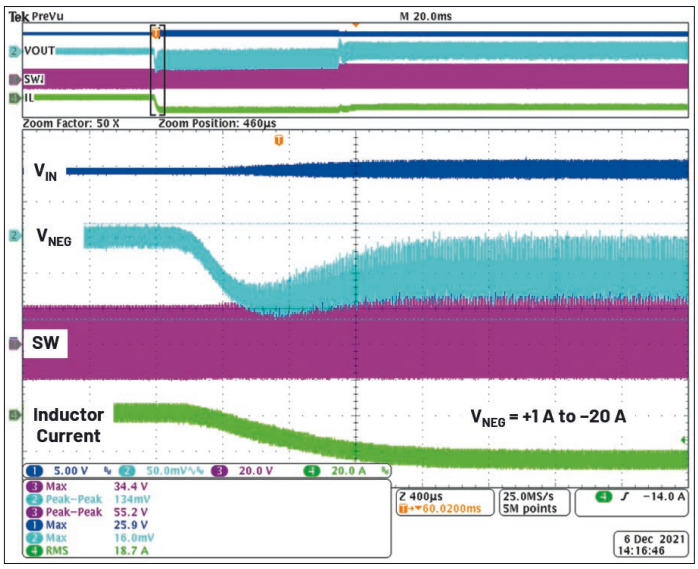

Bild 9: Wechsel von V_{NEG} vom Quellen- in den Senken-Modus (von +1 A nach -20 A)

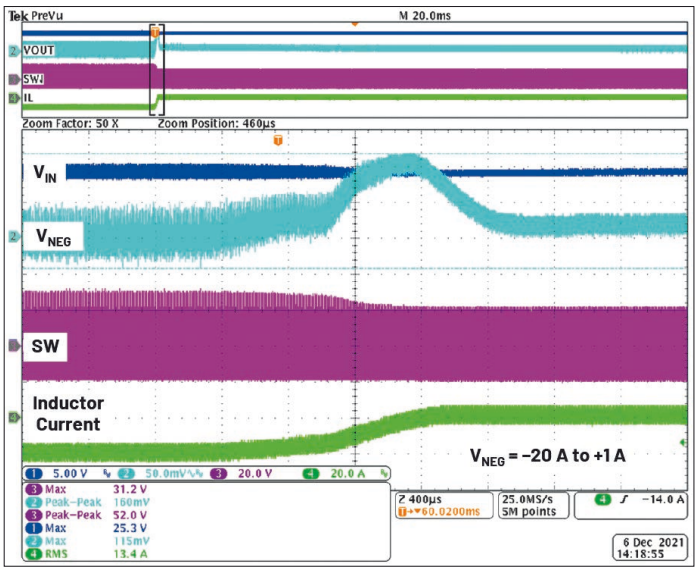

Bild 11: Wechsel von V_{NEG} vom Senken- in den Quellen-Modus (von -20 A nach +1 A)

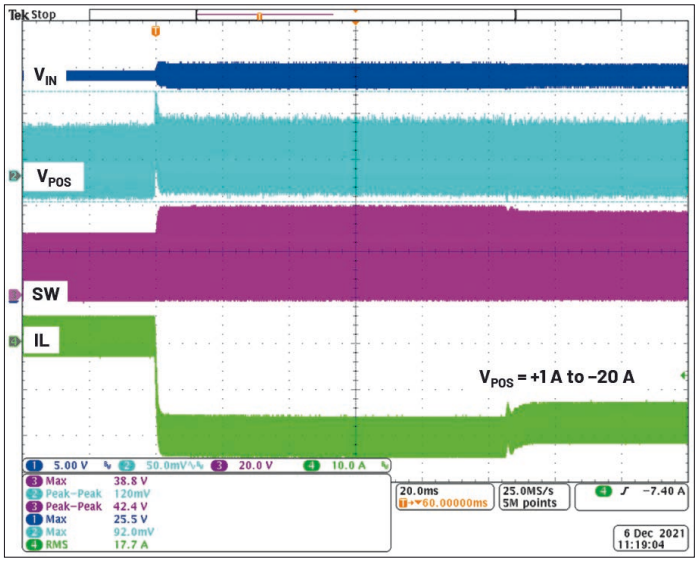

Bild 10: Wechsel von V_{POS} vom Quellen- in den Senken-Modus (von +1 A nach -20 A)

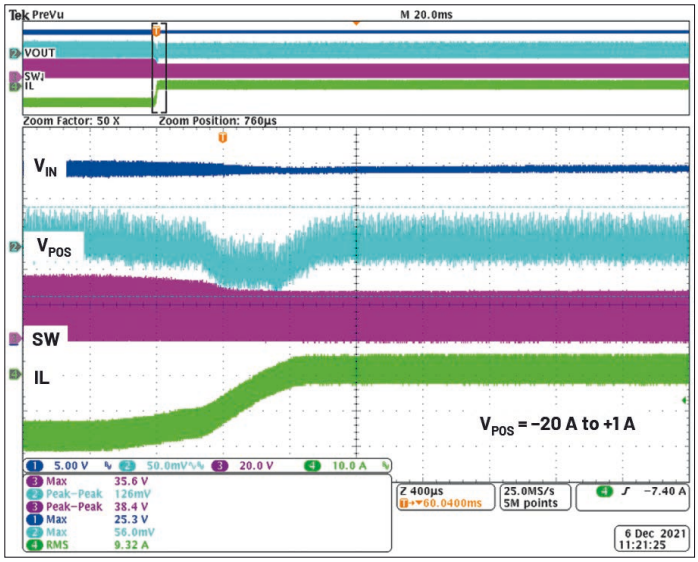

Bild 12: Wechsel von V_{POS} vom Senken- in den Quellen-Modus (von -20 A nach +1 A)

mit dem Ausgang V_{NEG} verbunden und kontrolliert den vom System aufgenommenen Strom. Mit dem Ausgang dieser DC-Quelle ist eine Sperrdiode in Reihe geschaltet, um sicherzustellen, dass kein Strom in diese Quelle hineinfließt, wenn der Wandler als Stromquelle arbeitet. Die elektronische Last dient als Anfangslast, um den Nachweis zu erbringen, dass das System zwischen Stromquellen- und Stromsenken-Betrieb hin- und herschalten kann.

Die aufgezeichneten Kurven sind in Bild 9 zu sehen. Nach dem Einschalten der DC-Versorgung arbeitet der Ausgang V_{NEG} zunächst als Stromsenke. Wie am Strom in der Induktivität zu erkennen ist, nimmt der zu Beginn positive Strom anschließend ein negatives Vorzeichen an. Solange V_{NEG} als Stromsenke arbeitet, ist das System ungeregelt, und der Quellen- bzw. Senkenstrom wird durch die im Konstantstrom-Modus arbeitende externe DC-Quelle geregelt. Gleiches gilt für V_{POS} (Bild 10). Wenn die mit diesem Ausgang verbundene DC-Quelle eingeschaltet wird, beginnt V_{POS} als Stromsenke zu arbeiten.

Die Kurven in Bild 11 geben den Wechsel des Systems vom Senken- in den Quellen-Betrieb wieder. Der zunächst negative Strom durch die Induktivität wird positiv, was auf den Wechsel zurück in den Stromquellen-Betrieb schließen lässt, wenn die an V_{NEG} angelegte Gleichspannung entfernt wird. Entsprechendes gilt für V_{POS} (siehe Bild 12).

Zusammenfassung

Die hier beschriebene Stromversorgungs-Lösung bringt einen geringeren Schaltungsaufwand mit sich, da beide Ausgänge – also sowohl der positive Ausgang (V_{POS}) als auch der negative Ausgang (V_{NEG}) – als Stromquelle und als Stromsenke arbeiten können. Effizienter ist diese Lösung ebenfalls, da der an dem einen Ausgang aufgenommene Strom zur Versorgung des jeweils anderen Ausgangs herangezogen wird, sodass entsprechend weniger Strom aus der Hauptversorgung bezogen werden muss. Ein weiterer Vorteil des Wandlers ist die Tatsache, dass beim Design eines bidirektionalen, invertierenden Abwärts-Aufwärtswandlers aus einer breiteren Palette von ICs gewählt werden kann.

Literaturnachweis

1. Kessler, Matthew: „AN-1083 (Rev. A): Designing an Inverting Buck Boost Using the ADP2300 and ADP2301 Switching Regulators". Analog Devices, Inc., 2010.

2. Yang, Ricky: „AN-1168 (Rev. 0): Designing an Inverting Power Supply Using the ADP2384/ADP2386 Synchronous Step-Down DC-to-DC Regulators". Analog Devices, Inc., 2012. ◄