

# Kaltstart-tauglich durch Buck-Boost-Wandler

Ein großer Eingangsspannungsbereich und die besonderen **VERHÄLTNISSE IM BORDNETZ** während des Motor-Kaltstarts erfordern oftmals den Einsatz von Buck-Boost-Wandlern (Tief/Hochsetzstellern). AUTOMOBIL-ELEKTRONIK erläutert die beim Kaltstart gestellten Anforderungen im Detail sowie Lösungsmöglichkeiten.

**W**enn der Verbrennungsmotor eines Fahrzeugs mit dem elektrischen Anlasser gestartet wird, muss die gesamte hierfür notwendige Energie von der Fahrzeugbatterie aufgebracht werden, was die Spannung im Bordnetz für einen kurzen Zeitraum stark einbrechen lässt. Den ungünstigsten Fall stellt dabei ein Kaltstart bei niedrigen Temperaturen dar. Die mechanische Reibung zwischen den beweglichen Teilen des Motors ist in dieser Situation sehr hoch, so dass noch mehr Kraft zum Drehen des Motors aufgewendet werden muss. Der Anlasser nimmt aus diesem Grund sehr hohe Spitzenströme auf, die wesentlich größer sind als die Ströme beim Anlassen eines bereits betriebswarmen Motors. Erschwerend kommt beim Kaltstart hinzu, dass die Batteriespannung durch niedrigen Tem-

peraturen ohnehin schon geringer ist, speziell wenn es sich um eine ältere Batterie handelt.

Auf Grund all dieser bei niedrigen Temperaturen auftretenden Effekte herrscht im Bordnetz von Automobilen zu bestimmten Zeiten eine sehr geringe minimale Versorgungsspannung. Die Norm ISO7637 definiert einen grundlegenden Spannungsverlauf beim Kaltstart, der in Bild 1 wiedergegeben ist. In der Regel legt man zwei Spannungspegel fest: die niedrigste Spannung herrscht, wenn der Anlasser gerade zu laufen beginnt und die anfängliche mechanische Reibung überwunden werden muss. Der zweite Pegel stellt sich ein, wenn sich die mechanischen Teile in Bewegung befinden. Nach dem Abschalten des Anlassers stellt sich wieder die reguläre Bordnetzspannung ein.

Die Werte von  $V_{low}$  und  $V_{recovery}$  sind von Hersteller zu Hersteller sehr unterschiedlich. Sie sind in den Normen der einzelnen Konzerne festgelegt, deren Grundlage meist die ISO7637 ist. Doch selbst bei ein und demselben Hersteller sind üblicherweise mehrere Kaltstart-„Schwierigkeitsgrade“ definiert. Einige elektronische Systeme im Auto müssen möglicherweise nicht bei den niedrigsten vorkommenden Spannungen arbeiten, doch es gibt Systeme, und dies betrifft speziell das elektronische Motormanagement, die auch bei den stärksten kaltstartbedingten Spannungseinbrüchen betriebsfähig bleiben müssen. Abgesehen davon gibt es im Auto jedoch noch weitere Subsysteme (z. B. Autoradio, Navi und Freisprecheinrichtung), von denen die Funktionsfähigkeit auch unter Kaltstart-Bedingungen gefordert wird.



**all-electronics.de**  
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG

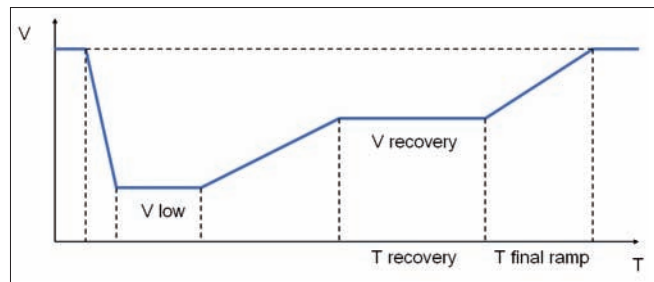


Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
all-electronics.de!

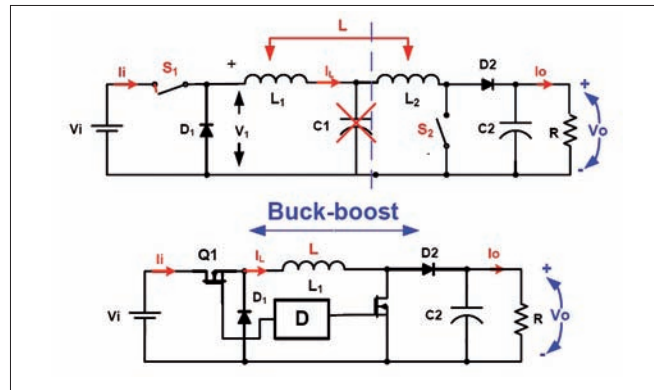
**Hier klicken & informieren!**



**Bild 1: Typischer Spannungsverlauf während des Kaltstarts.**



**Bild 2: Buck-Boost-Wandler-Topologie bestehend aus einem Tiefsetzsteller mit einem nachgeschalteten Hochsetzsteller.**



Bei diesen stark differierenden Eingangsspannungen muss die Regelung der Ausgangsspannung erhalten bleiben – gleich ob die Eingangsspannung kleiner oder größer als die Ausgangsspannung ist. Es wird also je nach den gerade herrschenden Umständen eine Auf oder Abwärtswandlung benötigt, so dass sich hier die Buck-Boost-Topologie anbietet.

## Buck-Boost-Wandler mit einer Induktivität und zwei Schaltern

Einen Buck-Boost-Wandler kann man implementieren, indem man einen Tiefsetz und einen Hochsetzsteller hintereinander schaltet. Wie in Bild 2 oben zu erkennen ist, kann der Ausgangskondensator der Abwärtsregler-Stufe entfallen. Die Ausgangsinduktivität des Abwärtsreglers und die Eingangsinduktivität des Aufwärtswandlers lassen sich ferner zu einem Bauelement kombinieren. Das Resultat ist die unten in Bild 2 dargestellte Buck-Boost-Wandler-Lösung mit einer Induktivität und zwei Schaltern.

Um über einen weiten Eingangsspannungsbereich hinweg eine präzise geregelte Ausgangsspannung zu erhalten, sollten zwei Schalt-MOSFETs nach einem geeigneten Schema angesteuert werden, um einen gleitenden Übergang von der Tiefsetz in die Hochsetzsteller-Betriebsart zu erreichen.

Abhängig von den Bedingungen am Eingang und am Ausgang arbeitet der Wandler in einer von drei Betriebsarten – nämlich im Tiefsetzsteller-Modus oder in

zwei Varianten des Buck-Boost-Wandler-Modus.

– **Tiefsetzsteller-Modus ( $V_{in} > V_{out}$ ):** Solange die Eingangsspannung um einen hinreichenden Betrag größer ist als die benötigte Ausgangsspannung, arbeitet die Schaltung wie ein konventioneller Tiefsetzsteller. Die Übertragungsfunktion in dieser Betriebsart lautet  $V_{out}/V_{in} = D$ , wobei D das Tastverhältnis des Schalters Q1 angibt. Dieser Modus ist Garant für den bestmöglichen Wirkungsgrad und optimale Regeleigenschaften.

Wenn  $V_{in}$  gegenüber  $V_{out}$  so weit absinkt, dass sich das Tastverhältnis der Marke von 70 % nähert, wird der Schalter der Hochsetzsteller-Stufe mit minimalem Tastverhältnis aktiviert, und der Regler wechselt in eine „Soft-Buck-Boost“-Betriebsart (Bild 3 oben).

– **Buck-Boost-Wandler-Modus ( $V_{in} \sim V_{out}$ ):** Wenn  $V_{in}$  immer kleiner wird und sich  $V_{out}$  nähert, reduziert sich das Tastverhältnis des Tiefsetzsteller-Schalters immer weiter, während das Tastverhältnis des Hochsetzsteller-Schalters gleichzeitig angehoben wird, um einen gleitenden Übergang vom Tiefsetz in den Hochsetzsteller-Modus zu gewährleisten.

– **Buck-Boost-Wandler-Modus ( $V_{in} < V_{out}$ ):** Ist  $V_{in}$  schließlich kleiner als  $V_{out}$ , arbeiten der Tiefsetz und der Hochsetzsteller-Schalter mit identischem Tastverhältnis. Die Schaltung befindet sich jetzt in der vollen Hochsetzsteller-Betriebsart mit der Übertragungsfunktion  $V_{out}/V_{in} = D/(1-D)$ , wobei es sich bei D um das Tastverhältnis der

beiden Schalt-MOSFETs Q1 und Q2 handelt (Bild 3 unten).

In dieser Betriebsart bleibt die Ausgangsspannung bei der Annäherung von  $V_{in}$  an  $V_{out}$  stabil, denn an Stelle eines abrupten Wechsels erfolgt ein allmählicher Übergang von der Tiefsetz- in die Hochsetzsteller-Betriebsart.

## Das Emulated-Peak-Current-Mode-Regelverfahren

Damit die Regelung der Ausgangsspannung über einen weiten Eingangsspannungsbereich hinweg sichergestellt ist, muss ein PWM-Current-Mode-Verfahren angewandt werden, denn diese Technik zeichnet sich prinzipbedingt durch die Vorkopplung von Eingangsspannungsschwankungen, zyklusweise Strombegrenzung und eine unkomplizierte Kompensation der Regelschleife aus.

Die einzige im praktischen Betrieb zu beachtende Einschränkung im Zusammenhang mit dem traditionellen Current-Mode-Verfahren ist die Störmempfindlichkeit des Stromabtast-Pfads und der schwierige Betrieb mit niedrigen Tastverhältnissen, ohne den es in Anwendungen mit hohen Eingangsspannungen allerdings naturgemäß nicht geht.

National Semiconductor entwickelte deshalb mit der Emulated-Current-Mode-Regelung ein verbessertes Current-Mode-Regelverfahren, das frei von den geschilderten Nachteilen ist. Die Emulated-Current-Mode-Regelung rekonstruiert den Stromanstieg in der Induktivität, indem zunächst der Strom am Ende des Schaltzyklus gemessen wird. Zu diesem Strom wird ein weiterer Strom addiert, der proportional zum Stromanstieg in der Induktivität wächst.

Zur Emulation des Rampen-Anteils am Strom in der Induktivität wird ein externer Kondensator mit einem konstanten Strom geladen, der proportional zur Differenz zwischen Ein und Ausgangsspannung ist. Der daraus resultierende Spannungsanstieg am Kondensator ist proportional zum Anstieg des Stroms in der Induktivität. Bei Tastverhältnissen über 50 % kommt es in Current-Mode-Regelschaltungen zu subharmonischen Oszillationen, die sich jedoch vermeiden lassen, wenn man zum Stromabtastsignal eine mit festgelegter Steigung zunehmende Spannung addiert (Steilheits-Kompensation).

Ein weiterer Pluspunkt der Emulated-Current-Mode-Regelung (Bild 4) ist, dass ein Durchgehen des Stroms in der Induktivität bei Kurzschlüssen und Überlastung verhindert wird, da der Strom stets vor dem Einschalten des Abwärtsregler-

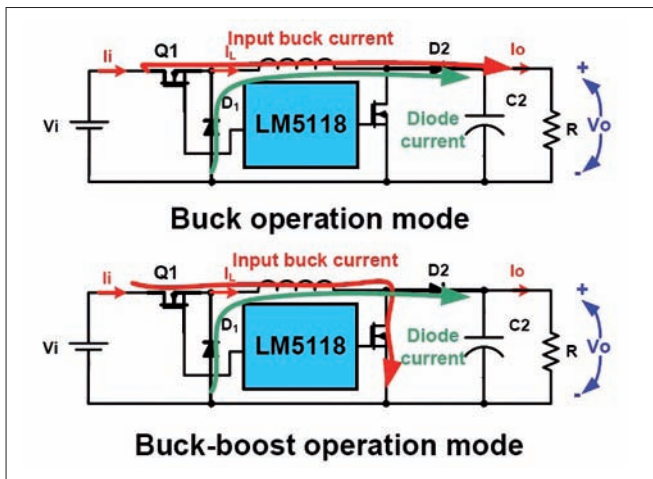


Bild 3: DC/DC-Wandler im Buck-Betrieb (oben) beziehungsweise im Buck-Boost-Betrieb (unten).

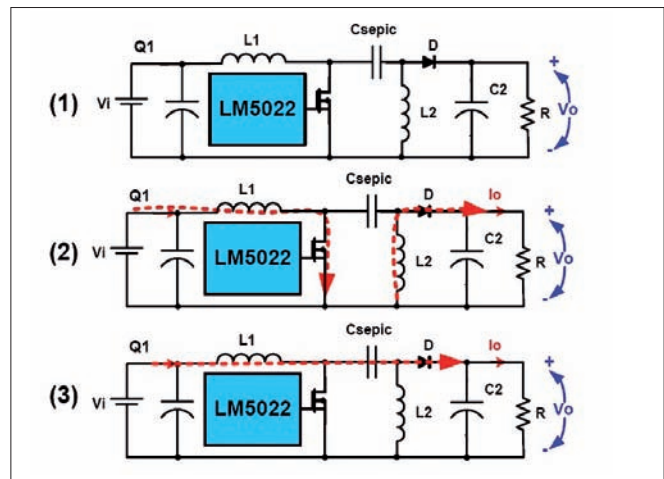


Bild 5: Die drei Betriebsphasen der SEPIC-Topologie.

Schalters erfasst wird. Bei zu hoher Stromstärke in der Induktivität werden Zyklen übersprungen, bis der Strom unter die Ansprechschwelle des Überstromschutzes abgesunken ist.

### SEPIC-Topologie oder Buck-Boost-Wandler mit einer Induktivität?

SEPIC ist die Bezeichnung einer weiteren Topologie, die häufig zur Bereitstellung einer geregelten Ausgangsspannung aus einer über einen weiten Bereich variierenden Eingangsspannung verwendet wird. Sie besteht aus einer Tief/Hochsetzsteller-Stufe, an die sich ein weiterer Tiefsetzsteller anschließt. SEPIC bedeutet „Single-Ended Primary Inductance Converter“, wobei „Single-Ended“ heisst, dass nur ein Schalter benutzt wird, um Energie in den Wandler zu takten.

Die Funktionsweise eines SEPIC-Wandlers lässt sich an den drei wichtigsten Schaltphasen (Bild 5) erläutern. Oben in Bild 5 ist der anfängliche Zustand (Phase 1) der SEPIC-Schaltung vor dem Schließen des Schalters zu sehen. Der SEPIC-Kondensator hat sich auf  $V_{IN}$  aufgeladen, am Ausgang liegen 0 V und in keinem der Bauelemente fließt ein Strom.

Mit dem Schließen des Schalters gelangt in der zweiten Phase (Bild 5 Mitte)  $V_{IN}$  an die Induktivität L1, in der sich nun ein Strom aufbaut, womit in ihr Energie gespeichert wird (ebenso wie im Fall des Hochsetzstellers). Zusätzlich gelangt  $V_{IN}$  auch an L2. Diese Spannung kommt vom SEPIC-Kondensator, der seine Energie durch den zunehmenden Strom in L2 an diese zweite Induktivität abgibt. An der Diode liegt während dieser Zeit eine Sperrspannung. In beiden Induktivitäten fließt jetzt ein Strom, der sich nicht sofort ändern kann, wenn der Schalter wieder öffnet.

Schließlich öffnet der Schalter in Phase 3 (Bild 5 unten) wieder, und dem durch L1 fließenden Strom bleibt kein anderer Weg als durch den SEPIC-Kondensator an den Ausgangskondensator und an den Ausgang. Auch der Strom in L2 muss zum Ausgang fließen.

Damit der Strom weiter durch L1 fließen kann, erhöht sich die Spannung am Schalter auf  $V_{IN} + V_{OUT} + V_{DIODE}$ . Der Strom durch den SEPIC-Kondensator lädt diesen wieder auf, damit er seine Energie mit dem Schließen des Schalters an L2 transferieren kann.

Das zwischen dem SEPIC-Kondensator und L2 herrschende Energiegleichgewicht hilft bei der Dimensionierung des SEPIC-Kondensators. Die Wahl eines niedrigen Kapazitätswerts für den SEPIC-Kondensator trägt dazu bei, einen stabilen Betrieb zu gewährleisten.

Die SEPIC-Topologie bleibt in ihrem Wirkungsgrad geringfügig hinter einem reinen Hoch oder Tiefsetzsteller zurück, was größtenteils auf die größere Zahl externer Bauelemente zurückzuführen ist. Die Verluste in der zweiten Induktivität und im SEPIC-Kondensator gehen in die Gesamt-Wirkungsgradrechnung ein.

Das entscheidendste Element in einem SEPIC-Wandler ist der SEPIC-Kondensator, durch den die gesamte Ausgangsleistung fließt. Das Einsatzgebiet dieser Topologie ist deshalb auf Anwendungen mit eher geringer Leistung beschränkt.

Vergleicht man Buck-Boost-Wandler und SEPIC-Topologie, so ist hervorzuheben, dass der Buck-Boost-Wandler nur eine Induktivität benötigt und mit einem Kondensator weniger auskommt.

Solange die Eingangsspannung größer ist als die Ausgangsspannung (was in Au-

tomotive-Applikationen meist der Fall ist), arbeitet dieser Wandlertyp als Tiefsetzsteller und deshalb mit geringerer Ausgangs-Welligkeit, höherem Wirkungsgrad und besserer Ausregelung von Eingangsspannung und Lastschwankungen.

Auf Grund der parasitären Effekte des SEPIC-Kondensators können bei der SEPIC-Topologie auch stärkere elektromagnetische Interferenzen entstehen. Bild 6 zeigt die praktische Umsetzung der Buck-Boost-Wandler-Topologie auf Basis des Emulated-Current-Mode-Buck-Boost-Controllers LM5118 aus Nationals PowerWise-Familie.

### Buck-Boost bietet Vorteile

Buck-Boost-Wandler mit nur einer Induktivität bieten in Automotive-Applikationen, die auch während des Kaltstarts des Fahrzeugmotors funktionsfähig bleiben müssen, eine ganze Reihe von Vorteilen. Gegenüber konventionellen SEPIC-Wandlern sind der höhere Wirkungsgrad, die besseren dynamischen Eigenschaften und das niedrigere EMI-Aufkommen hervorzuheben. ←



Michele Sclocchi ist Segment Marketing Manager Alternative Energy / Photovoltaic, Europe, und Frederik Dostal ist Senior Applications Engineer bei National Semiconductor in Phoenix, Arizona.

infoDIRECT [www.all-electronics.de](http://www.all-electronics.de)

Link zu National:

313AEL0309