

Aus zwei mach eins:

Gekoppelte Induktivitäten im SEPIC-Wandler

Der SEPIC-Wandler ist recht beliebt, da er sowohl als Hoch- als auch als Tiefsetzsteller arbeiten kann und auch beim Überschreiten von Grenzwerten kein unerwarteter Stromfluss direkt zwischen Eingang und Ausgang auftritt. Er kann jedoch noch optimiert werden.

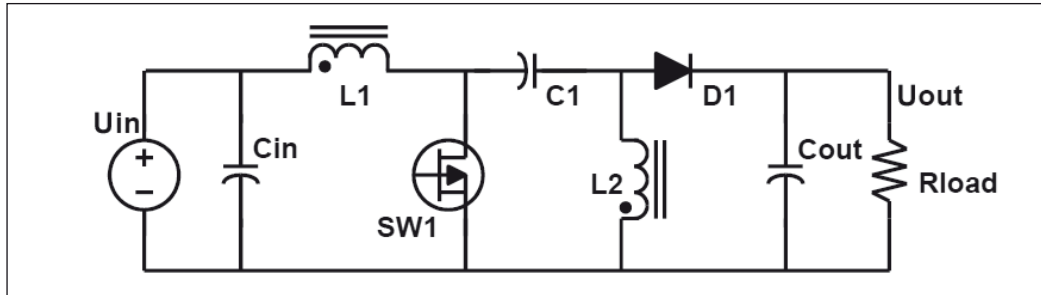


Bild 1: Bekanntes Schaltbild eines SEPIC-Wandlers, ein Tiefsetzsteller kombiniert mit einem Hochsetzsteller

Einfache Schaltregler ohne galvanische Trennung, nur mit einfachen Drosseln und keinen Transformatoren mit mehreren isolierten Windungen, teilen sich üblicherweise auf in Hochsetzsteller (Boost Regulator), deren Ausgangsspannung höher ist als die Eingangsspannung, und Tiefsetzsteller (Buck Regulator), deren Ausgangsspannung niedriger ist als die Eingangsspannung. Bei ersteren kann die Ausgangsspannung nicht unter die Eingangsspannung sinken, bei letzteren nicht über die Eingangsspannung steigen. Beides ist bei stark schwankenden oder nahe der Ausgangsspannung liegenden Eingangsspannungen problematisch. Das Dilemma löst der Tiefhochsetzsteller, Buck-Boost-Regulator, der ohne weiteres beispielsweise aus 8 bis 18 Volt Eingangsspannung einer Automobilstromversorgung stabile 12 Volt Ausgangsspannung generieren kann und dabei dennoch die typischen hohen Wirkungsgrade eines POL-Reglers behält.

Koppeln von Induktivitäten

Ein gängiger Buck-Boost-Regulator ist der SEPIC-Wandler (Single Ended Primary Inductor Converter) nach Bild 1: Zuerst wird die Eingangsspannung mit L1 und SW1 reduziert, dann mit L2 und D1 wieder erhöht. Die Ausgangsspannung U_{out} ergibt sich aus Eingangsspannung U_{in} und Duty Cycle D zu $U_{out} = U_{in} \times (D/(1-D))$

Dabei ist nur der Ausgangsstrom deutlich getaktet, der Eingangsstrom dagegen über L1 geglättet, was die speisende Quelle auch bei höherem Innenwiderstand „sauber“ hält – wichtig bei Batterieversorgung. SEPIC-Wandler finden sich deshalb auch inzwischen in zahlreichen batteriebetriebenen Elektronikgeräten wie Smartphones oder Digitalkameras.

Zeichnet man das Schaltbild nach Bild 2 um, weil man beispielsweise einen gemeinsamen Träger für die beiden Induktivitäten verwenden will, so erscheint die Anordnung fast wie ein Übertrager. Allerdings sind die beiden Spulen hier abgesehen

von möglichen Streuinduktivitäten noch nicht magnetisch miteinander gekoppelt, sie haben eigene Kerne. Doch steht der Kopplung, also der Nutzung nur eines Kernes, nichts im Wege: Es gilt: $U_{in} = U_{L1} + U_{L2} + U_{C1}$ und damit $U_{C1avg} = U_{in}$. Daraus folgt $U_{L1} = -U_{L2}$; die beiden Spulen gleicher Induktivität können also auf einen Kern gewickelt werden, und das bringt Vorteile:

Mit einem gemeinsamen Kern und magnetischer Kopplung können die einzelnen Induktivitäten kleiner ausfallen. Besonders bei höheren Strömen und nur geringer Restwelligkeit ist dies von Nutzen. Es ergibt sich die Schaltung nach Bild 3. Die im Wandler gespeicherte Energie E beträgt hier $0,5 L \times I^2$.

Arbeitsweise des SEPIC-Wandlers

SW1 eingeschaltet, Energie wird in L1 und C1 gespeichert (Bild 4):

- Eingangsspannung wird an L1a angelegt
- C1 und L1b sind parallelgeschaltet

- L1a überträgt die Eingangsspannung 1:1 auf L1b
- C1 wird auf Eingangsspannung geladen
- D1 ist gesperrt
- COut liefert den Laststrom SW1 ausgeschaltet, Last wird von L1 und C1 gespeist (Bild 5):
- Spannung an C1 bleibt unverändert in Höhe der Eingangsspannung, wenn C1 groß genug ist
- Die Spannung an der Induktivität polt um (Sperrwandler-Prinzip)
- D1 begrenzt die Spannung an Induktivitäten auf die Ausgangsspannung
- Die Energie geht über L1a, L1b und C1 zur Last

Berechnung der Induktivitäten

Die richtige Größe der Induktivitäten ist entscheidend für Funktion und Stabilität eines Schaltreglers. Die Beispielschaltung nach Bild 6 soll folgende Anforderungen bedienen:

- Eingangsspannung U_{in} : 2,8...4,5 V (Li-Ion-Zelle)
- Ausgangsspannung U_{out} : 3,3 V
- Ausgangsstrom I_{out} : 1 A
- Schaltfrequenz f_s : 250 kHz
- Wirkungsgrad: 90 %

Zunächst ist der Duty Cycle zu bestimmen:

$$D = U_{out} / (U_{out} + U_{in})$$

Der ungünstigste Fall in Bezug auf die Welligkeit des Stroms in der Induktivität ergibt sich bei der maximalen Eingangsspannung von 4,5 V:

Autor:



Wolf-Dieter Roth,
Technischer Redakteur bei
HY-LINE Power Components

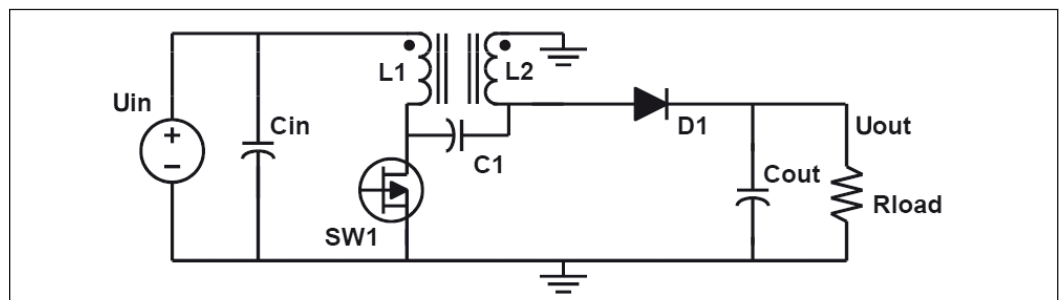


Bild 2: Derselbe SEPIC-Wandler, nur anders gezeichnet: Die beiden Drosseln erscheinen wie ein Übertrager – sind es aber noch nicht

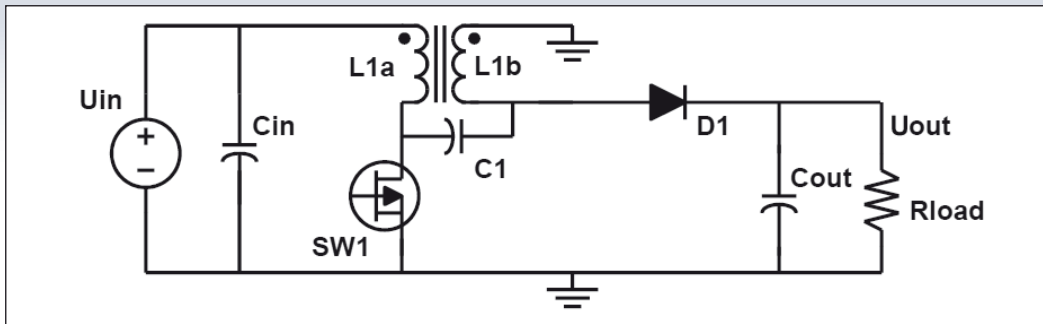


Bild 3: Nun haben beide Induktivitäten einen gemeinsamen Kern

$$I_{\text{peak}} = I_{\text{rms}} + (0,5 \times I_{\text{ripple}})$$

$$I_{\text{ripple}} = (U \times dt)/L$$

$$I_{\text{ripple}} = (2,8 \times 2,2 \times 10^{-6})/22 \times 10^{-6} \text{ A} = 0,28 \text{ A}$$

$$I_{\text{peak}} = 1,31 + 0,14 \text{ A} = 1,45 \text{ A}$$

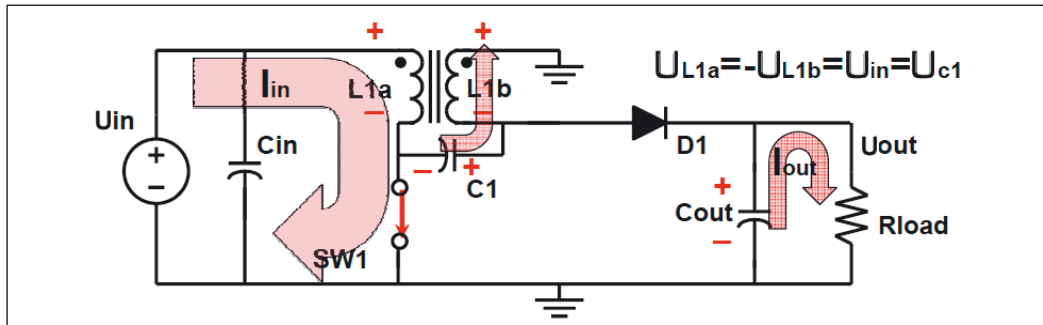


Bild 4: SW1 ist eingeschaltet

L2:

$$I_{\text{rms}} = I_{\text{Out}} = 1 \text{ A}$$

$$I_{\text{ripple}} = (4,5 \times 1,69 \times 10^{-6})/22 \times 10^{-6} \text{ A} = 0,346 \text{ A}$$

$$I_{\text{peak}} = 1 + 0,173 \text{ A} = 1,173 \text{ A}$$

Gekoppelte Induktivitäten

$$I_{\text{rms}} L1a = 1,31 \text{ A}$$

$$I_{\text{rms}} L1b = 1 \text{ A}$$

$$I_{\text{rms}} = I_{\text{rms}} L1a + I_{\text{rms}} L1b = 2,31 \text{ A}$$

$$I_{\text{peak}} = I L1a + I L1b + (0,5 \times I_{\text{ripple}}) = (2,8 \times 2,2 \times 10^{-6})/10 \times 10^{-6} \text{ A} = 0,62 \text{ A}$$

$$I_{\text{peak}} = 1,31 + 1 + 0,31 \text{ A} = 2,62 \text{ A}$$

(bei maximaler Eingangsspannung)

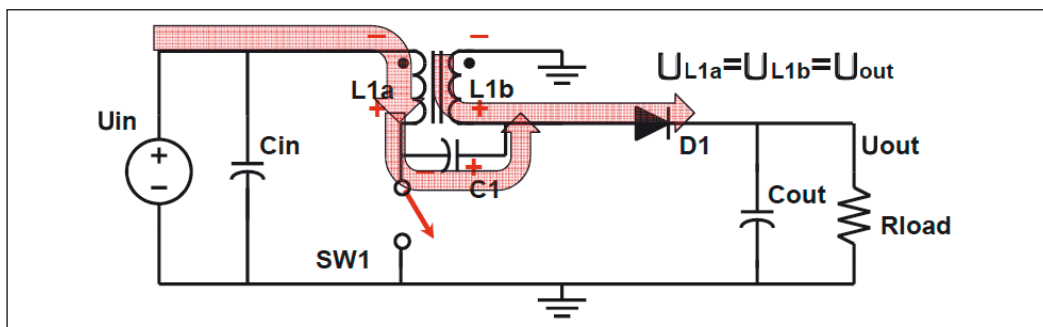


Bild 5: SW1 ist ausgeschaltet

Es eignen sich folglich für die Lösung mit Einzelinduktivitäten zwei Coiltronics-Induktivitäten DR73-220-R und bei der Lösung mit gekoppelten Induktivitäten ein Coiltronics DRQ74-100-R.

Da die manuelle Berechnung und Bauteileauswahl doch etwas aufwendig sein kann, gibt es einen fertigen SEPIC-Rechner als Spreadsheet unter www.hy-line/sepic zum Download. Im grünen Bereich gibt man hier die Wunschdaten an, im orangen die geplante Konfiguration bei Induktivitätentypen mit mehr als zwei Windungen und im gelben liefert er die Ergebnisse.

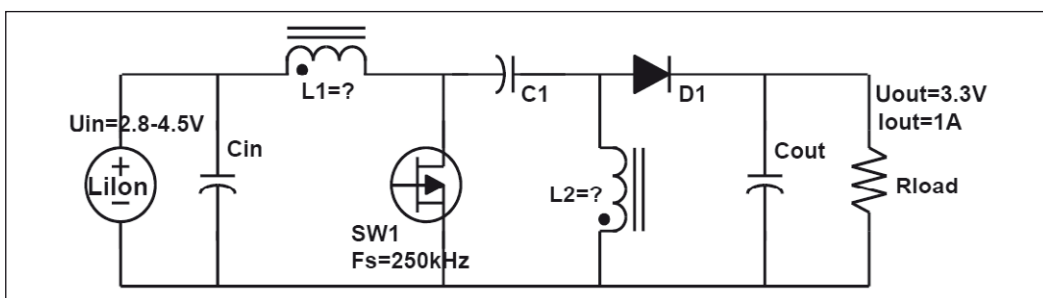


Bild 6: Beispielschaltung für die Berechnung der Induktivitäten

$D = 3,3/(3,3 + 4,5) = 0,423$
 Die Induktivität ist so zu bemessen, dass der Strom in L2 auch bei Minimallast noch kontinuierlich fließt und die Welligkeit der Ausgangsspannung vom zu versorgenden Gerät noch tolerierbar ist. Im Beispiel rechnen wir mit einer Mindestlast von 20 %, was eine Welligkeit von 40 % (peak-to-peak) in L2 erlaubt.
 Die notwendige Größe von L2 ergibt sich zu:
 $L = U \times dt/di$
 U ist die an der Induktivität anliegende Spannung, L die Induktivität, di die peak-to-peak-Welligkeit des Spulenstroms und dt

die Zeitdauer, über die die Spannung anliegt:
 $dt = 1/fs \times D$
 Im Beispiel ergibt sich für Einzelinduktivitäten:
 $dt = 1/(250 \times 10^3) \times 0,423 \text{ s} = 1,69 \mu\text{s}$
 $U = U_{\text{in}}$ während SW1 an ist
 $L2 = 4,5 \times (1,69 \times 10^{-6}/0,4) = 19 \text{ H}$.
 Man wählt als nächstpassenden Wert 22 H
 $di = 0,4$ durch Annahme einer Minimallast von 0,2 A; $di_{\text{max}} = 2 \times I_{\text{Out min}}$, um sicherzustellen, dass der Strom in der Induktivität nicht lückend wird
 Für magnetisch gekoppelte Induktivitäten ergibt sich eine Halbierung der notwendigen Induktivitätswerte:

$dt = 1/(250 \times 10^3) \times 0,423 \text{ s} = 1,69 \mu\text{s}$
 $U = U_{\text{in}}$ während SW1 an ist
 $L2 = 4,5 \times (1,69 \times 10^{-6}/0,8) = 9,5 \text{ H}$. Man wählt 10 H
 $di = 0,8$ durch Annahme einer Minimallast von 0,2 A; $di_{\text{max}} = 2 \times 2 \times I_{\text{Out min}}$.
 Ebenso wichtig ist die Berechnung der mittleren und Spitzenströme, die die Induktivitäten verarbeiten müssen:
Einzel-Induktivitäten
L1:
 $I_{\text{rms}} = (U_{\text{Out}} \times I_{\text{Out}})/(U_{\text{in}} (\text{min}) \times \text{Wirkungsgrad})$
 $I_{\text{rms}} = (3,3 \times 1)/(2,8 \times 0,9) \text{ A} = 1,31 \text{ A}$

Fazit

Der SEPIC-Wandler mit gekoppelten Induktivitäten benötigt gegenüber der Variante mit zwei separaten Induktivitäten weniger Platz und Materialaufwand bei höherem Wirkungsgrad (geringere Verluste in den Induktivitäten) und einer stabileren, einfacheren Regelung. Sollten sich keine geeigneten gekoppelten Fertigungselemente finden lassen, ist das Anfertigen individueller Induktivitäten eine mögliche Alternative, was HY-LINE Power Components ebenfalls anbietet. Der Aufbau mit getrennten Induktivitäten dürfte nur in speziellen Fällen sinnvoll sein, da hier auch zwei unterschiedlich große Induktivitäten gewählt werden können. (nach Unterlagen der Fa. Eaton)

■ HY-LINE Power Components
www.hy-line.de/power