

# Application Note

## EMV & Effizienz Optimierung von High Power DC/DC Convertern



ANP049 VON ANDREAS NADLER

### 1. Einleitung

Bei DC/DC Schaltreglern mit hohen Ein- & Ausgangsströmen ist u.a. die Wahl der passenden Kondensatoren Technologie, Speicher Induktivitäten, Schaltfrequenz und Halbleiter entscheidend für den resultierenden Wirkungsgrad. Ein Schaltregler mit hohem Wirkungsgrad ist aber nur dann marktreif, wenn dieser auch alle notwendigen EMV Richtlinien einhält, bzw. das Endprodukt in welchem dieser eingesetzt wird. Hierzu müssen am Ein- & Ausgang oftmals noch passende Filter eingeplant werden, um die Störaussendung zu reduzieren. Bei hohen Eingangs- & Ausgangsströmen ist es jedoch schwierig einen Kompromiss zw. Effizienz, Baugröße, Dämpfung und Kosten der Filter sowie der eigentlichen Leistungsstufe zu finden. Am Beispiel eines 100 W Buck-Boost DC/DC Designs soll beschrieben werden, welche grundlegenden Überlegungen, Layouthinweise und Bauelemente man benötigt, um einen solchen Kompromiss zu finden. Zunächst zu den geforderten Eckdaten des Schaltreglers. Die Ausgangsleistung von 100 W soll mit einem Wirkungsgrad von mehr als 95 % umgesetzt werden. Mit einer variablen Eingangsspannung von 14 – 24 V soll eine Ausgangsspannung von 18 V mit einer sehr geringen Restwelligkeit von weniger als 20 mV<sub>PP</sub> erreicht werden. Das Design sollte möglichst kompakt und kosteneffizient sein, dabei aber alle Richtlinien der Klasse B nach CISPR32 einhalten. Es soll auf jegliche Schirmung verzichtet werden, die Anschlusskabel am Eingang und Ausgang des Wandlers haben je 1 m Länge. Aufgrund dieser strikten Anforderungen ist es unerlässlich ein sehr niederinduktives, kompaktes Layout zu erstellen und passend zum Wandler abgestimmte Filter zu integrieren. Betrachtet man die EMV, sind die Kabel am Eingang & Ausgang die dominanten Antennen im Frequenzbereich bis 1GHz. Da ein moderner 4-Switch-Buck-Boost Konverter je nach Betriebsart am Eingang, als auch am Ausgang hochfrequente Stromschleifen aufweist, müssen beide mit Filtern versehen werden. So soll verhindert werden, dass die hochfrequenten Störungen, die durch schnelle Schaltvorgänge der MOSFETs entstehen, über die Kabel geleitet und ebenfalls abgestrahlt werden können. Als Schaltregler kommt der LT 3790 von Linear Technology (Analog Devices) bei einer Schaltfrequenz von 400 kHz zum Einsatz. Dieser verfügt über einen Eingangsspannungsbereich von bis zu 60 VDC, eine einstellbare Schaltfrequenz und kann 4 externe MOSFETs ansteuern. Somit ist eine hohe Flexibilität im Design gewährleistet. Die Leiterplatte ist sechslagig und doppelseitig bestückt. Als MOSFETs werden kompakte 60 V CSD18532Q5B von TI mit geringem R<sub>DS(on)</sub> R<sub>th</sub> und ESL Package verwendet.

### 2. Auswahl der Komponenten des Schaltreglers

#### Auswahl der Drossel

Mit Hilfe der Simulationssoftware **REDEXPERT** lässt sich schnell, einfach und präzise die passende Drossel finden. Der Vorteil der Spulenauswahl mit REDEXPERT ist, dass verschiedene Bauteile nicht nur anhand ihrer offensichtlichen Daten (Baugröße, Nennstrom etc.) vergleichbar sind, sondern auch noch anhand der komplexen AC & DC Verluste, sowie der resultierenden Bauteilerwärmung verglichen werden können. Dazu müssen die Betriebsparameter (V<sub>in</sub>, f<sub>sw</sub>, I<sub>out</sub>, V<sub>out</sub>, Δ) zunächst für den Buck-, und ein zweites Mal für den Boost-Betrieb eingegeben werden. Der Stromripple soll dabei ca. 30 % des Nennstromes betragen. Im Buck Betrieb ergeben sich eine größere Induktivität und ein kleinerer maximaler Spitzenstrom (7,52 µH / 5,83 A). Im Boost Betrieb ergeben sich hingegen eine kleinere Induktivität, aber dafür ist der maximale Spitzenstrom größer (4,09 µH / 7,04 A). In dem vorliegenden Fall fiel die Wahl auf eine geschirmte Spule der **WE-XHMI** Serie mit 6,8 µH und 15 A Nennstrom. Aufgrund der modernen Fertigungstechnologie hat diese einen sehr geringen R<sub>DC</sub> und äußerst kompakte Abmaße von nur 15 x 15 x 10 mm (L/B/H). Die innovative Kernmaterialmischung erlaubt zudem ein weiches und temperaturunabhängiges Sättigungsverhalten.

#### Auswahl der Ein- und Ausgangskondensatoren

Aufgrund der hohen Pulsströme durch die Abblockkondensatoren und der geforderten niedrigen Restwelligkeit ist eine Kombination aus Aluminium-Polymer- und Keramikkondensatoren die beste Wahl. Durch die Festlegung des maximal erlaubten Spannungsrippels am Ein- und Ausgang lassen sich mithilfe der folgenden Formel die benötigten Kapazitäten berechnen.

$$C_{in} \geq \frac{D \cdot (1 - D) \cdot I_{outmax}}{\Delta V_{inpp} \cdot f_{sw}} = \frac{0,78 \cdot (1 - 0,78) \cdot 5,5A}{100 \text{ mV}_{PP} \cdot 400 \text{ kHz}} = 21 \mu F$$

# Application Note

## EMV & Effizienz Optimierung von High Power DC/DC Convertern



Als passendes Bauteil wurden sechs Kondensatoren WCAP-CSGP 885012209048 mit  $4.7 \mu\text{F} / 50 \text{V} / \text{X7R}$  gewählt ( $28,2 \mu\text{F}$ ). Mithilfe von REDEXPERT lässt sich einfach und schnell das DC-Bias der MLCCs bestimmen, wodurch sich ein deutlich praxisnäherer Wert ergibt: Durch den DC-Bias ist mit einer um 20 % geringeren Kapazität bei 24 V Eingangsspannung zu rechnen, somit ergibt sich eine effektive Kapazität von nur noch  $23 \mu\text{F}$ , was aber immer noch ausreichend ist. Parallel zu den Keramik Kondensatoren wird noch ein  $68 \mu\text{F} / 35\text{V}$  WCAP-PSLC Aluminium-Polymer- Kondensator mit einem  $0,22 \Omega$  SMD Widerstand in Reihe geschaltet. Dies dient zur Einhaltung der Stabilität in Bezug auf die negative Eingangsimpedanz des Spannungswandlers in Kombination mit dem Eingangsfilter. (Mehr Informationen zu diesem Thema finden sie unter [www.we-online.de/ANP044](http://www.we-online.de/ANP044)). Da dieser Kondensator auch hohen Pulsströmen ausgesetzt ist, ist in diesem Fall ein Aluminium-Elektrolyt-Kondensator weniger gut geeignet, da sich dieser durch den höheren ESR sehr stark erwärmen würde.

Analog dazu wird die Ausgangskapazität berechnet:

$$C_{\text{OUT}} \geq \frac{\Delta I_{\text{LBuckMode}}}{8 V_{\text{OUT ripple}} \cdot f_{\text{SW}}} = \frac{1,66 \text{ A}}{8 \cdot 20 \text{ mV} \cdot 400 \text{ kHz}} = 25 \mu\text{F}$$

Auch hier werden sechs  $4.7 \mu\text{F}$  Kondensatoren eingeplant und mit REDEXPERT wird der Kapazitätsverlust bestimmt. Der Wert von  $24 \mu\text{F}$  (ca. 15% DC Bias) ist auch hier noch ausreichend. Zusätzlich wurde ein Aluminium-Polymer Kondensator vorgesehen (WCAP-PSLC  $220 \mu\text{F} / 25 \text{V}$ ), um eine ausreichend schnelle Reaktionsfähigkeit bei aufkommenden Transienten gewährleisten zu können.

### 3. Layouthinweise

Bei der Erstellung des Layouts müssen einige Punkte beachtet werden. So sollten die Eingangs- & Ausgangsschleifen (Stromschleifenfläche!), welche einen hohen  $\Delta_V/\Delta_I$  –Wert verursachen, durch die örtlich enge Anordnung der Abblock-Keramik Kondensatoren sehr kompakt gehalten werden. Die Bootstrap Schaltung sollte kompakt und nahe am Schaltregler IC angeordnet sein. Zur Entkopplung der internen Spannungsversorgung des Schaltreglers ist ein breitbandiges Pi-Filter notwendig und um eine niederinduktive und niederohmige Verbindung zu den inneren PGND-Lagen und der Platinenunterseite herzustellen, ist der Einsatz möglichst vieler Durchkontaktierungen (Vias) wichtig. Große Kupferflächen im Layout bieten zwar eine hervorragende Wärmesenke und einen geringen  $R_{\text{DC}}$ , allerdings dürfen diese v.a. an den beiden „heißen“  $\Delta_V/\Delta_I$  Schaltknoten nicht unnötig groß werden, um keine kapazitiven und induktiven Kopplungen zu benachbarten Schaltkreisen zu erzeugen. Abbildung 1 zeigt die oberste Lage des fertigen Converters. Weitere Layouthinweise, Ansichten der einzelnen Lagen und eine ausführliche Analyse des Designs finden sie unter [www.we-online.de/ANP049](http://www.we-online.de/ANP049).

### 4. Auswahl der Bauteile des Eingangs- und Ausgangsfilters

Die Bauelemente für die Filter müssen so ausgewählt werden, dass eine breitbandige Entstörung von 150 kHz bis 300 MHz erreicht werden kann. So soll die zu erwartende leitungsgeführte und gestrahlte EMV Emission ausreichend gedämpft werden. Der Filteraufwand kann jedoch reduziert werden, wenn am Eingang bzw. Ausgang keine, oder auch kürzere Kabel verwendet werden. Abbildung 2 zeigt, in welchem Frequenzbereich die verschiedenen Bauelemente Einfluss nehmen.

Neben der Einfügungsdämpfung ist es bei den hier benötigten Strömen besonders wichtig, dass die induktiven Bauelemente einen möglichst geringen  $R_{\text{dc}}$  haben, um die Effizienz und die Eigenerwärmung in einem akzeptablen Bereich zu halten. Ein geringer  $R_{\text{dc}}$  bedeutet oftmals leider auch, eine größere Bauform, daher ist es auch hier besonders wichtig, auf modernste Bauelemente zurück zu greifen, die einen hervorragenden Kompromiss zwischen  $R_{\text{dc}}$ , Impedanz und Baugröße bieten.

Besonders geeignet ist in diesem Fall die Serie [WE-MPSB](#), als auch eine kompakte Bauform der Serie [WE-XHMI](#).

Bei den kapazitiven Filter Bauelementen im Bereich über  $10 \mu\text{F}$  kann man günstige Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren (wie z.B. [WCAP-ASLI](#)) verwenden. Anders als bei den oben genannten Abblockkondensatoren, treten hier keine hohen Rippelströme auf (die Filterinduktivität blockt diese Ströme wirkungsvoll ab). Somit ist ein größerer ESR unproblematisch. Ein höherer ESR bewirkt eine geringere Filtergüte und beugt somit unerwünschten Resonanzen vor.

# Application Note

## EMV & Effizienz Optimierung von High Power DC/DC Convertern



Die zusätzlichen Verluste durch die Filter ergeben sich durch die Ohm'schen Verluste der Induktivitäten und betragen am Ausgangsfilter  $I^2 \cdot R_{dc} = 5,5 \text{ A}^2 \cdot 30 \text{ m}\Omega = 907 \text{ mW}$  und am Eingangsfilter  $I^2 \cdot R_{dc} = 7 \text{ A}^2 \cdot 18,4 \text{ m}\Omega = \underline{902 \text{ mW}}$ .

### EMV Messungen

Um die Filterwirkung demonstrieren und beurteilen zu können, wurde der Konverter einmal ohne und einmal mit Filtern gemessen. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen das Ergebnis. Wie zu erwarten war, lassen sich die Grenzwerte der leitungsgebundenen Störungen trotz guten Design ohne Filter nicht einhalten. Im Bereich der gestrahlten Störungen liegen die Werte zwar knapp an der Grenze können aber keinen Puffer mehr gewährleisten. Ganz anders sehen die Messungen mit Filter aus, hier wurden die Grenzwerte über den gesamten Frequenzbereich unterschritten.

### Messung der Temperatur und Effizienz mit Filter bei 100W $P_{out}$ ( $T_a = 22^\circ\text{C}$ )

Die maximale Temperatur wurde mittels Wärmebildkamera gemessen und liegt unter  $64^\circ\text{C}$ , was genügend Reserve für höhere Umgebungstemperaturen, sowie einen geringen Stress für die Bauelemente bedeutet. Der Wirkungsgrad bewegt sich ebenfalls auf einem sehr hohen Niveau (Buck-Mode: 96,5%; Boost-Mode: 95,6%) v.a. wenn man bedenkt, dass hierbei alle Bauelemente für die Filter bereits berücksichtigt sind.

Wie anhand der Ergebnisse zu sehen ist, kann ein Klasse B konformer DC/DC-Konverter mit den geforderten Vorgaben (lange Leitungen, fehlende Schirmung, etc.) nicht ohne passend abgestimmte Eingangs- und Ausgangsfilter realisiert werden. Für mehr Informationen zu dem vorliegenden Design und Details besuchen sie [www.we-online.de/ANP049](http://www.we-online.de/ANP049).