

# APPLICATION NOTE



## EMV-Filter für DC/DC Schaltregler optimiert

ANP005C VON STEFAN KLEIN

### 1. Effizienz im Widerspruch zur EMV

Moderne Stromversorgungen fordern eine Reduzierung der Verlustleistung, um einen hohen Wirkungsgrad zu ermöglichen. Schaltnetzteile und DC/DC-Schaltregler ermöglichen eine hohe Effizienz, können jedoch bei nicht optimiertem Design der Schaltung und des Leiterplattenlayouts zu einer erhöhten Störaussendung von Funkstörspannung führen. Dieser Artikel behandelt die gezielte Implementierung von Eingangsfiltern zur Reduzierung der symmetrischen Störspannung an DC/DC-Schaltreglern.

### 2. Bedarf eines Eingangsfilters

Ob Schaltnetzteil oder DC/DC-Schaltregler, jede Art von getakteter Stromversorgung verursacht eine breitbandige Störaussendung in Form von Störspannung und Störfeldern, welche zur Funktionsstörung anderer elektrischer Geräte führen kann. Hauptursache für die Störspannung ist am Eingang der Strom, welcher mit der Taktfrequenz des Schaltreglers durch den Eingangskondensators des Schaltreglers fließt und über den ESR einen Spannungsabfall  $U_{\text{Ripple}}$  hervorruft, der aus einem proportionalen Anteil durch den ESR und einem integrierten Anteil durch die Kapazität besteht.

### 3. Messung der Störspannung

Abhilfe schafft ein Eingangsfiler, das die Störspannung in seiner Amplitude dämpft, Oberwellen unterdrückt und entscheidend die Funkstörspannung auf einen akzeptablen Wert reduziert. Beispielsweise legt die Fachgrundnorm EN61000-6-4 bei 150 kHz einen Grenzwert des Quasispitzenwertes von 79 dB $\mu$ V fest. Der derzeitige Markt für passive Bauelemente bietet ein breites Portfolio an vorgefertigten Filtern, vermarktet mit hoher Einfügedämpfung. Beispielsweise werden Einfügedämpfungswerte zwischen 70 und 100 dB deklariert. Jedoch können diese Werte in der Praxis selten erreicht werden, da solche Filter in einem 50  $\Omega$ -System vermessen wurden und die Impedanzen der Stromversorgungen von diesen Werten abweichen. Die Entwicklung eines individuellen Filters wird empfohlen. Zunächst sollte zur Entwicklung eines Eingangsfilters die Störart bekannt sein. Hierbei wird zwischen Gegentakt- und Gleichtaktstörungen unterschieden. Zur Unterdrückung der Gegentaktstörungen wird am Eingang des Schaltreglers ein Filter implementiert. Bereits entwicklungsbegleitend kann die Messung der Störspannung mit einer LISN (Line Impedance Stabilization Network) und einem Spektrumanalysator durchgeführt werden. Abbildung 1 zeigt den Prüfaufbau eines solchen Messverfahrens.

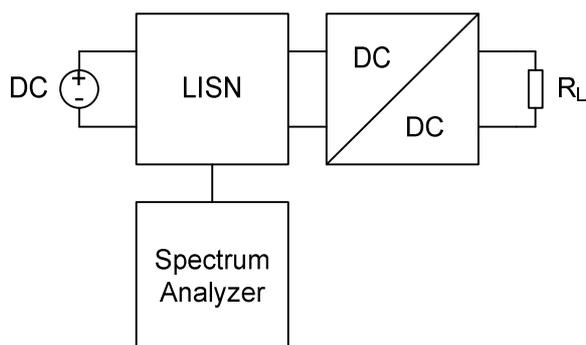


Abbildung 1: Prüfaufbau zur Messung der Störspannung

# APPLICATION NOTE



## EMV-Filter für DC/DC Schaltregler optimiert

Anhand eines solchen Aufbaus können die reinen Gegentaktstörungen gemessen werden, da das Bezugspotential die Schaltungsmasse und nicht die Bezugs Erde ist. Aufgabe der LISN ist die Auskopplung der Störspannung als reine Wechselgröße. Das interne Tiefpassfilter der LISN verhindert eine Störung anderer, am Versorgungsnetz angeschlossener, elektrischer Geräte. Abbildung 2 zeigt die so gemessene Störspannung  $U_{\text{Stör}}$  in dB $\mu$ V eines DC/DC-Abwärtsreglers bei einer Schaltfrequenz von 2 MHz, einer Eingangsspannung von 10 V und einem Eingangseffektivstrom von 0,7 A.

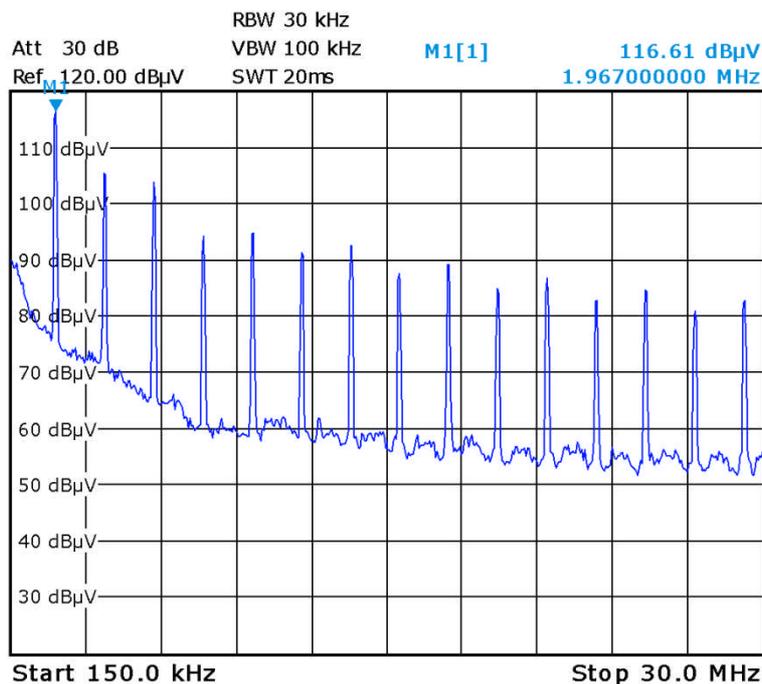


Abbildung 2: Ergebnis der Störspannungsmessung ohne Filter

Der Störspannungspegel  $U_{\text{Stör}}$  wird durch folgenden Ausdruck in dB definiert:

$$U_{\text{Stör}} = 20 \log \left( \frac{U_{\text{Rippel}}}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB}\mu\text{V}$$

Deutlich sichtbar ist die Grundschiwingung, korrespondierend zur Schaltfrequenz. Die harmonischen Oberschwingungen, welche bis in den hohen MHz-Bereich reichen, fallen in der Amplitude ab, liegen jedoch noch über dem Grenzwert. Mit 116 dB $\mu$ V ist die Grundschiwingung in ihrer Amplitude am größten. Anhand dessen lässt sich  $U_{\text{Rippel}}$  bestimmen durch:

$$U_{\text{Rippel}} = (10^{\frac{U_{\text{Stör}}}{20}}) \cdot 1 \mu\text{V}$$

Somit liegt ein  $U_{\text{Rippel}}$  von 631 mV vor, wodurch ein EingangsfILTER sichtlich erforderlich wird.

# APPLICATION NOTE



## EMV-Filter für DC/DC Schaltregler optimiert

### 4. Beeinflussung des Schaltreglers

Im Folgenden wird ein auf den erwähnten Schaltregler angepasstes Eingangsfilter untersucht. Aus einer Spule (WE-PD2, ungeschirmt,  $L = 1 \mu\text{H}$ ,  $\text{SRF} = 110 \text{ MHz}$ ,  $\text{RDC} = 49 \text{ m}\Omega$ ) und einem Kondensator (FK-Serie, Elektrolyt,  $C = 10 \mu\text{F}$ ,  $U = 35 \text{ VDC}$ ) wird ein Tiefpassfilter konstruiert. Hierzu wird dieses vor den Eingangskondensator des DC/DC-Schaltreglers platziert. Abbildung 3 zeigt die Anordnung des Filters.

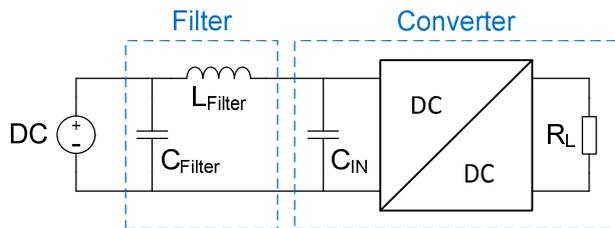


Abbildung 3: Anordnung des Eingangsfilters

Zunächst sollte eine Filterspule mit hoher Eigenresonanzfrequenz (SRF; engl: self-resonant frequency) gewählt werden, da die Spule im Allgemeinen im oberen Frequenzbereich aufgrund der parasitären Kapazität an Filterwirkung verliert. Um den Kern der Filterspule nicht in Sättigung zu treiben, sollte der zulässige Sättigungsstrom der Filterspule mindestens zehn Prozent über dem Spitzenwert des Eingangsstromes liegen. Ratsam ist an dieser Stelle ein möglichst geringer RDC, um den Gleichspannungsabfall zu minimieren. Nun wird ein Induktivitätswert gewählt, so dass die Eckfrequenz des Filters ein Zehntel der Schaltreglerfrequenz beträgt, somit weit unter der Durchtrittsfrequenz der Schaltreglerbandbreite liegt und die Grundschwingung sowie deren Oberschwingungen weitgehend dämpft. Der Eingangsfiler weist bei seiner Eckfrequenz Resonanzüberhöhung, sowie höchste Güte auf, weswegen eine Dämpfung des Filters erforderlich ist. Zwischen Filter-Eckfrequenz und der Durchtrittsfrequenz des Schaltreglers ist ein sicherer Abstand wichtig, um die Stabilität des Regelkreises des Schaltreglers zu gewährleisten. Würden sich diese Frequenzen überlappen, könnte es zur Instabilität des Schaltreglers führen, da er nicht mehr schnell genug auf eine Änderung der Eingangsspannung reagieren könnte. Verursacht wird dies durch den negativen Eingangswiderstand des Schaltreglers. In der Theorie gilt für den Schaltregler:  $P_{\text{ab}} = P_{\text{zu}}$ . Dies bedeutet, dass bei konstanten Ausgangsbedingungen des Schaltreglers der Eingangsstrom  $I_{\text{ein}}$  mit zunehmender Eingangsspannung  $U_{\text{ein}}$  abnimmt. Dieser Effekt ist auf den negativen Eingangswiderstand des Schaltreglers  $Z_{\text{ein}}$  zurückzuführen; approximiert durch den Ausdruck:

$$Z_{\text{ein}}(\text{DC}) = - \frac{U_{\text{ein}}^2}{U_{\text{ein}} \cdot I_{\text{ein}}}$$

Allerdings ist dies eine Großsignalanalyse. Auf Grund der frequenzabhängigen Bauteile im Schaltregler ist der Eingangswiderstand dynamisch und es bedarf daher einer Kleinsignalanalyse.

Als Praxistipp empfiehlt es sich die Impedanz des Eingangsfilters  $Z_{\text{filter}}$  viel geringer als die Eingangsimpedanz des Schaltreglers  $Z_{\text{ein}}$  zu halten. Daher soll gelten:

$$Z_{\text{filter}} \ll Z_{\text{ein}}$$

In der Regel führt die Filterspule nicht zur Abstrahlung von elektromagnetischen Feldern und man kann eine ungeschirmte, wie die WE-PD2, wählen. Bei der Wahl der Filterkapazität soll darauf geachtet werden, dass

## APPLICATION NOTE



### EMV-Filter für DC/DC Schaltregler optimiert

die maximal zulässige Betriebsspannung des Filterkondensators ca. 25 Prozent über der Versorgungsspannung liegt, da jeder Kondensator ein Spannungsderating aufweist. Mit zunehmender Spannung sinkt in Abhängigkeit des Dielektrikums der Kapazitätswert und somit die Filterwirkung. Um eine hohe Eigenresonanzfrequenz zu gewährleisten, erweist sich ein geringer ESL-Wert als vorteilhaft. Ausnahmsweise darf an dieser Stelle ein relativ hoher ESR herangezogen werden, da der ESR die Güte Q des Filters bewusst reduziert und die Resonanzüberhöhung des Tiefpassfilters dämpft. Empfehlenswert ist die Wahl einer verhältnismäßig großen Filterkapazität und einer kleinen Filterspule, da die Zunahme der Induktivität eine Verringerung der Eigenresonanzfrequenz bewirkt. Die Wahl eines Elektrolytkondensators als Filterkondensator ist die günstigste.

Um eine Fehlanpassung der Impedanzen zu vermeiden, ist eine gezielte Anordnung der Filterelemente wichtig. Da die Eingangsimpedanz des Schaltreglers, bedingt durch den Eingangskondensator niedriger ist, als die der Versorgung, sollte die Filterspule zwischen Versorgung und Eingangskondensator des Schaltreglers liegen. Folgend wird der Filterkondensator nach der Spule parallel zur Versorgung beschaltet. Die Filterspule wirkt dem Rippelstrom entgegen und der Filterkondensator schließt die Störspannung nach Masse kurz. Abbildung 4 zeigt das neue Ergebnis der Störspannungsmessung mit dem zusätzlichen Eingangfilter.

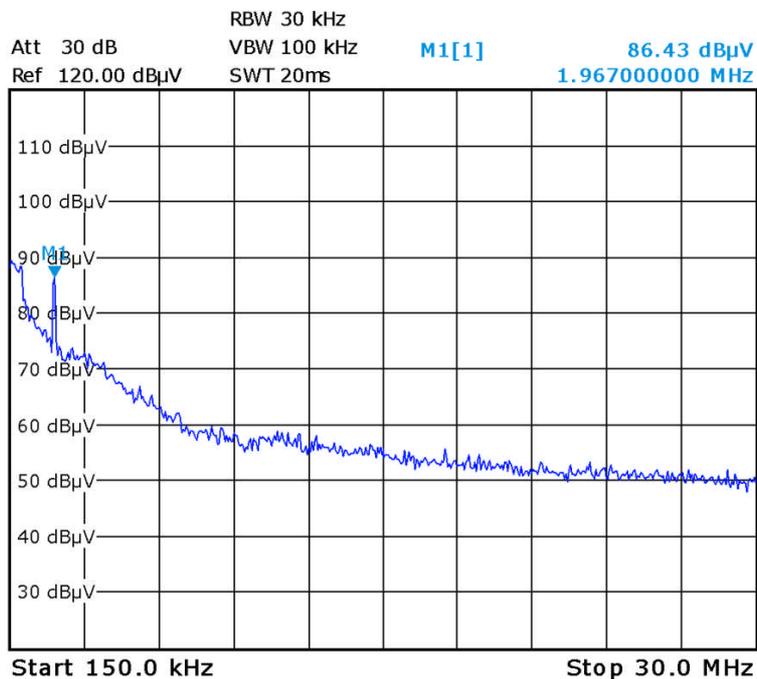


Abbildung 4: Ergebnis der Störspannungsmessung mit Filter

## APPLICATION NOTE



### EMV-Filter für DC/DC Schaltregler optimiert

Die Filterspule WE-PD2, sowie der Filterkondensator konnten bereits mit diesen niedrigen Werten der Induktivität von 1  $\mu\text{H}$  und einer Kapazität von 10  $\mu\text{F}$  ein sehr gutes Ergebnis erzielen. Die Grundschiwingung wurde in ihrer Amplitude um 30 dB gedämpft. Die Amplituden der höheren Harmonischen verschwinden im Grundrauschen. Um eine größere Dämpfung der Grundschiwingung und dem gesamten unteren Frequenzbereich zu erlangen, kann der Induktivitätswert der Filterspule WE-PD2 weiter erhöht werden. Eine weitere Anpassung des Filters ermöglicht eine Einfügedämpfung von über 40 dB.

### 5. Resultat der Design Tipps

Ein Eingangfilter ist unentbehrlich und sollte bereits während der Entwicklungsphase berücksichtigt werden. An einem DC/DC-Schaltregler lässt sich bereits mit einem LC-Filter die Gegentaktstörung unterdrücken und die Störspannung auf einen akzeptablen Pegel reduzieren. Mit einem gezielten Aufbau des Eingangfilters und einer bewussten Auswahl der passiven Filterelemente lässt sich die höchst mögliche Einfügedämpfung mit Rücksicht auf die Stabilität des Schaltreglers erreichen.

# APPLICATION NOTE



## EMV-Filter für DC/DC Schaltregler optimiert

### WICHTIGER HINWEIS

Der Anwendungshinweis basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE“ genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht.

Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von [www.we-online.com](http://www.we-online.com) heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen.

Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten werden hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.

Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfällen ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt. Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

### NÜTZLICHE LINKS

Application Notes:

<http://www.we-online.de/app-notes>

**REDEXPERT** Design Tool:

<http://www.we-online.de/redexpert>

Toolbox:

<http://www.we-online.de/toolbox>

Produkt Katalog:

<http://katalog.we-online.de/>

### KONTAKTINFORMATIONEN

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

Max-Eyth-Str. 1, 74638 Waldenburg, Germany

Tel.: +49 (0) 7942 / 945 – 0

Email: [appnotes@we-online.de](mailto:appnotes@we-online.de)

Web: <http://www.we-online.de>