

## APPLICATION NOTE

# ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern



Ranjith Bramanpalli

### 01. EINFÜHRUNG

DC/DC-Schaltregler spielen eine wichtige Rolle bei Anwendungen im Energiemanagement, beispielsweise um effiziente Schaltnetzteile zu realisieren. Dabei gehören Speicherinduktivitäten zu den wichtigsten Kernbauteilen solcher Schaltregler, welche beim Designen meist auf die reinen elektrischen Eigenschaften wie  $R_{DC}$ ,  $R_{AC}$  oder Kernverluste heruntergebrochen werden. Die elektromagnetischen Abstrahlungseigenschaften hingegen werden häufig ignoriert.

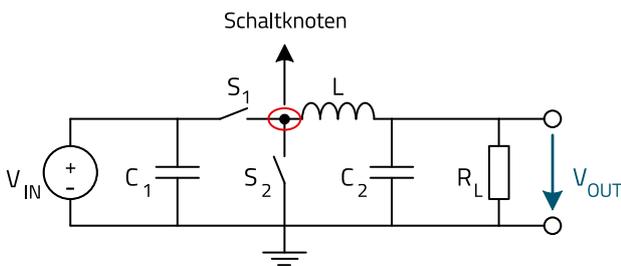


Abbildung 1: Typischer DC/DC-Wandler.

Speicherinduktivitäten in Schaltnetzteilen können aus verschiedenen Kernmaterialien und in unterschiedlichen Wicklungsarten ausgeführt und aufgebaut sein. Zudem lassen sich Speicherinduktivitäten in drei Arten unterteilen: ungeschirmte, halbgeschirmte und geschirmte. Jeder Schirmungstyp weist spezifische Vor- und Nachteile auf, welche die Anwendungsbereiche ermöglichen oder beschränken.

Aufgrund der Schaltvorgänge in einem Schaltnetzteil wird eine Wechselspannung in der Induktivität erzeugt. Da eine Induktivität- rein praktisch betrachtet- wie eine Rahmenantenne arbeiten kann, hängt die elektromagnetische Strahlung von einer ganzen Reihe von Faktoren ab. Hier gehören beispielsweise Quelleigenschaften wie Kern- und Schirmungsmaterial oder auch der Wahl des Wicklunganfanges.

Durch die Schaltfrequenz und deren Oberwellen verursachte elektromagnetische Strahlung einer Speicherinduktivität hängt im unteren Frequenzbereich von 100 kHz bis 30 MHz zum einen davon ab, ob die Spule geschirmt ist, aber auch von den Wicklungseigenschaften. Dagegen besteht die Abhängigkeit der elektromagnetischen Strahlung im oberen Frequenzbereich (30 MHz bis 1 GHz), in dem die Emissionen

von Oberschwingungen und deren Oberwellen verursacht werden, eher von den Schirmungseigenschaften des Kernmaterials, der Schaltfrequenz und dem grundlegenden Design ab.

### 02. ELEKTROMAGNETISCHE (EM) STRAHLUNG

Konstruktion und Betrieb von Speicherinduktivitäten in DC/DC-Wandlern bringen ungünstige Auswirkungen mit sich, die mit denen einer Rahmenantenne vergleichbar sind. Wechselspannung und Wechselstrom in der Spule erzeugen ein elektrisches Feld (E-Feld) und ein magnetisches Feld (H-Feld). Diese breiten sich ausgehend von der Quelle im rechten Winkel zueinander aus.

Im Nahbereich dieser Rahmenantenne (Quelle) werden die Eigenschaften der Felder E und H durch das Verhalten der Quelleigenschaften (Schaltfrequenz, Übergänge usw.) bestimmt. Weiter von der Quelle entfernt jedoch werden die Feldeigenschaften durch das Übergangsmedium bestimmt. Diese separaten und doch miteinander in Verbindung stehenden Phänomene lassen sich folglich zwei Bereichen zuordnen: dem Nahfeld und dem Fernfeld (Abbildung 2).

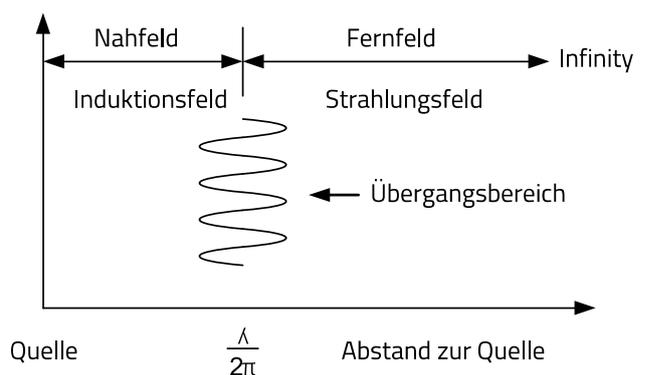


Abbildung 2: Ausbreitungsspektrum im Nah- und im Fernfeld.

Der Bereich innerhalb von  $\lambda / 2\pi$  von der Quelle wird dabei als Nahfeld definiert, während wir bei der außerhalb dieses Bereichs liegenden Emissionen vom Fernfeld sprechen. Im Nahfeld müssen die Felder E und H separat betrachtet werden, da das Verhältnis zwischen den beiden, definiert als Wellenwiderstand  $E / H$ , nicht konstant ist. Im Fernfeld dagegen bilden diese Felder gemeinsam eine ebene Welle.

## APPLICATION NOTE

### ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

Aus diesem Grund werden das elektrische Feld E und das magnetische Feld H nur im Kontext des Nahfeldes beschrieben. Wird die Quelle mit einem starken Strom und bei niedriger Spannung betrieben, so spricht man von einem dominanten Magnetfeld, während bei schwachem Strom und hoher Spannung das elektrische Feld dominant ist.

Bei einer Rahmenantenne ist das magnetische Feld im Bereich der Quelle stark, was dort zu einem niedrigen Wellenwiderstand führt. Nimmt der Abstand von der Quelle zu, dann schwächt sich dieses Magnetfeld ab und erzeugt gleichzeitig ein elektrisches Feld, das rechtwinklig zur Ausbreitungsrichtung des Feldes H steht. Bewegt man sich von der Quelle fort, dann erfolgt die Abschwächung des Magnetfeldes um den Faktor  $(1/r)^3$  und die Abschwächung des elektrischen Feldes um den Faktor  $(1/r)^2$  (wobei r der Abstand ist).

Bei einer geraden Drahtantenne ist der Wellenwiderstand hoch, da das elektrische Feld im Bereich der Quelle dominant ist. Die Abschwächungseigenschaften sind denen der Rahmenantenne genau entgegengesetzt.

#### 2.1 EM-Strahlungsverhalten bei ungeschirmten, halbgeschirmten und geschirmten Spulen

Wie wir oben gesehen haben, ist die Abstrahlung elektromagnetischer Felder von Speicherinduktivitäten in DC/DC-Wandlern kein zu vernachlässigender Faktor, dies gilt insbesondere bei Berücksichtigung von Typ und Abstand der umgebenden Bauteile und deren Anfälligkeit für magnetische Kopplungen. Da die Sensibilität für diese potentielle EMV-Problematik unter Ingenieuren zugenommen hat, haben die Bauteilhersteller reagiert und bieten nun ein erweitertes Portfolio an, welches zusätzlich zu konventionellen ungeschirmten Spulen auch geschirmte sowie halbgeschirmte Exemplare umfasst. Das abgestrahlte E-Feld kann mit Hilfe einer E-Feldsonde wie in Abbildung 3 gemessen werden. Geschirmte Spulen werden so gefertigt, dass die Wicklung vollständig in einem Formteil aus Material zur magnetischen Schirmung gekapselt ist.

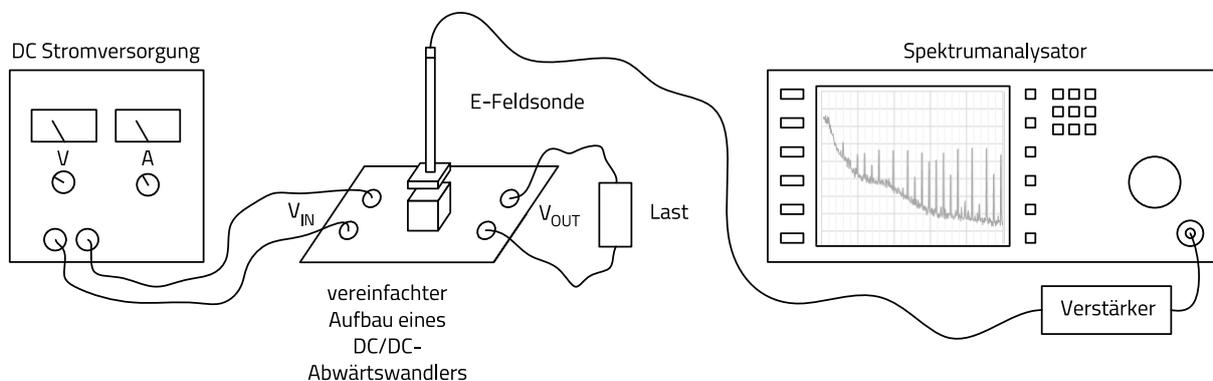
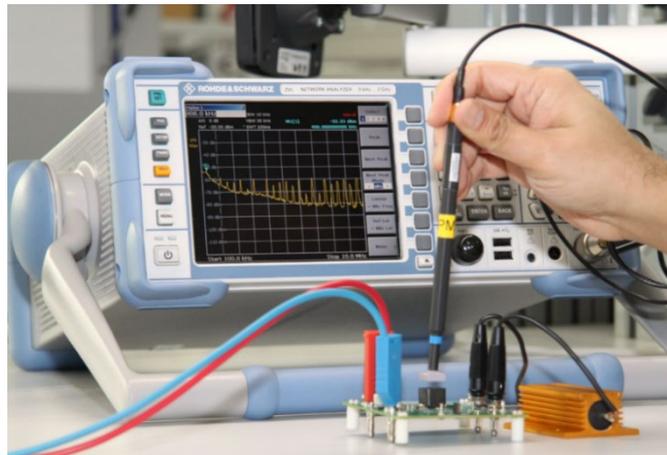


Abbildung 3: Testaufbau.

## APPLICATION NOTE

### ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

Bei ungeschirmten Spulen liegen die Spulenwicklungen normalerweise frei und es gibt auch keine andere magnetische Schirmung. Aufgrund der ungehinderten Ausbreitung von

EM-Feldern sind dies normalerweise die stärksten EMV-Störquellen. Bei halbgeschirmten Spulen werden magnetische Materialien meist mit Epoxidharz auf die freiliegenden Windungen aufgebracht.

Wie bereits erwähnt, bietet jeder Spulentyp sowohl Vor- als auch Nachteile. Der wesentliche Vorteil der geschirmten Spule besteht in den relativ schwachen elektromagnetischen Emissionen im Vergleich zu halbgeschirmten und ungeschirmten Spulen. Das grundlegende Emissionsverhalten dieser drei Grundtypen kann man in Abbildung 4 gut erkennen.

Aber wie die meisten Elektrotechniker wissen, ist das Entwerfen einer neuen Schaltung stets ein Balanceakt. Bei Verstärkung einer wünschenswerten Eigenschaft kann es häufig auch zur Verstärkung unerwünschter Eigenschaften kommen, deren Maximalwerte letztendlich durch die Anforderungen des Gesamtprojekts beschränkt sind. Eine dieser Beschränkungen ist unausweichlich die Baugröße. Geschirmte Spulen zeichnen sich im Vergleich zu ungeschirmten Exemplaren mit denselben Abmessungen durch eine niedrigere Induktivität und Sättigung sowie höhere Fertigungskosten aus. Naheliegender Weise sind Entwickler mit weniger Erfahrung in diesem Fall versucht, eine ungeschirmte Spule auszuwählen, die kleiner und günstiger ist und höhere Sättigungsströme aufweist.

Diese Auswahl verursacht am Ende jedoch eine Vielzahl von EMV-Problemen, die sich nach der Designphase nur schwer abfangen lassen.

Würth Elektronik ist einer von wenigen Herstellern, die halbgeschirmte Spulen anbieten, mit denen der Spagat zwischen Platzbedarf, elektrischen Merkmalen und EMV gelingt. Diese eignen sich vor allem für Anwendungen, bei denen Bauteile in unmittelbarer räumlicher Nähe zu den Spulen nicht besonders strahlungssensibel sind. Die ausgezeichneten Sättigungseigenschaften der halbgeschirmten Speicherinduktivität WE-LQS der Baugröße 8040 ([74404084100](#)) sind in Abbildung 5 im Vergleich mit einer geschirmten Spule der WE-PD Serie, Baugröße 7345 ([74477710](#)) und einer ungeschirmten Spule der WE-PD2 Serie, Baugröße 7850 ([74477510](#)) veranschaulicht.

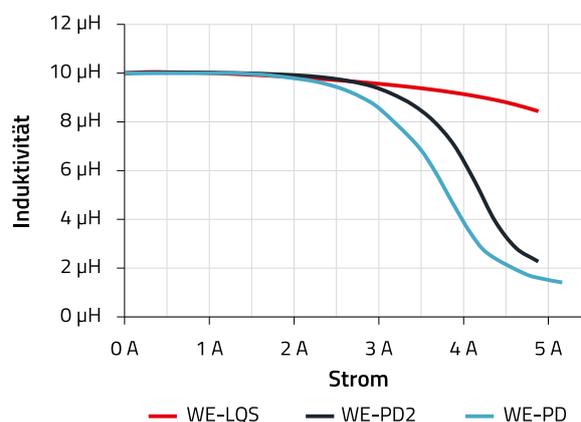


Abbildung 5: Sättigungsverhalten einer geschirmten, halbgeschirmten und ungeschirmten Spule.

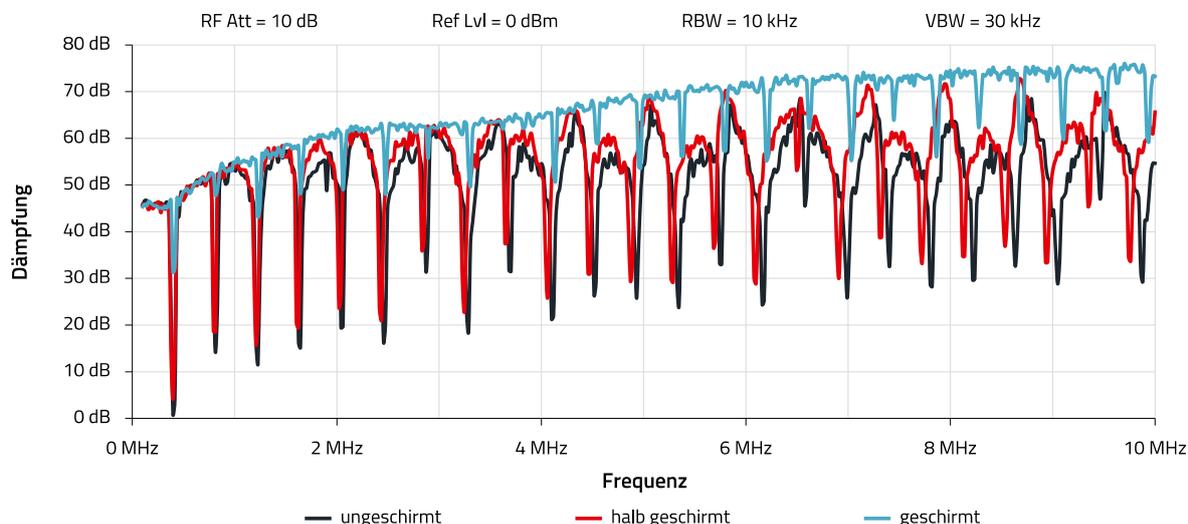


Abbildung 4: H-Feld ungeschirmter, halbgeschirmter und geschirmter Spulen.

## APPLICATION NOTE

### ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

#### 2.2 Auswirkung des Wicklungsanfangs der Spule auf die EM-Strahlung

Ein für die EMV wesentlicher Aspekt, welcher häufig übersehen wird, ist die Orientierung des Wicklungsanfangs, welcher durch einen „Punkt“ auf der Spule markiert ist (Abbildung 6).

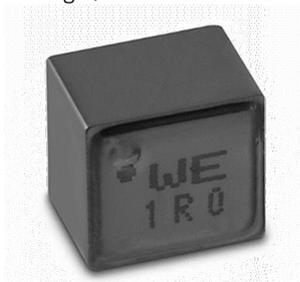


Abbildung 6: WE-XHMI und WE-PD2 mit dem „Punkt“, der den Wicklungsanfang anzeigt.

Es ist wichtig, die mit dieser Markierung versehene Spulenseite möglichst nah am Schaltknoten anzuschließen, da an dieser Seite der höchste  $dU / dt$ -Wert auftritt und dadurch Störeinflüsse hier am stärksten sind. Auf diese Weise wird der Wechselstromfluss vom Schaltknoten beim Schalten durch die äußeren Wicklungen abgeschirmt. Wird dagegen das unmarkierte Ende mit dem Schaltknoten verbunden, treten

die AC-Flussspannungen an der äußeren Wicklung auf. Dies kann zu elektrischen oder kapazitiven Kopplungen inakzeptabler Stärke führen.

Magnetisch geschirmte Spulen schirmen die dominante Strahlung des H-Feldes wirksam ab, sind jedoch nicht unter allen Umständen in der Lage, die dominante E-Feldstrahlung zu schirmen. Die Wirksamkeit der E-Feldschirmung hängt von den Materialeigenschaften und der Permeabilität ab: Je höher die Stärke und Permeabilität des Kernmaterials, desto wirksamer ist die Schirmung des E-Feldes durch die Spule. Wir haben exemplarisch die E-Feldemissionen einer geschirmten Speicherinduktivität von Würth Elektronik gemessen. Der Transistor des Schaltreglers wurde mit einer Frequenz von 400 kHz betrieben und erzeugte dabei die Grundresonanz und nachfolgende Oberwellen. Das Spektrum zeigt eindeutig, dass die E-Feldemissionen wesentlich niedriger sind, wenn das mit dem Punkt markierte Ende der Spule mit dem Schaltknoten verbunden ist (Abbildung 7). Es wird aufgrund dessen empfohlen, die Spule mit korrekter Ausrichtung zu verwenden. Dagegen sind die H-Feldemissionen quasi unbeeinflusst von der Ausrichtung der Induktivität (Abbildung 8).

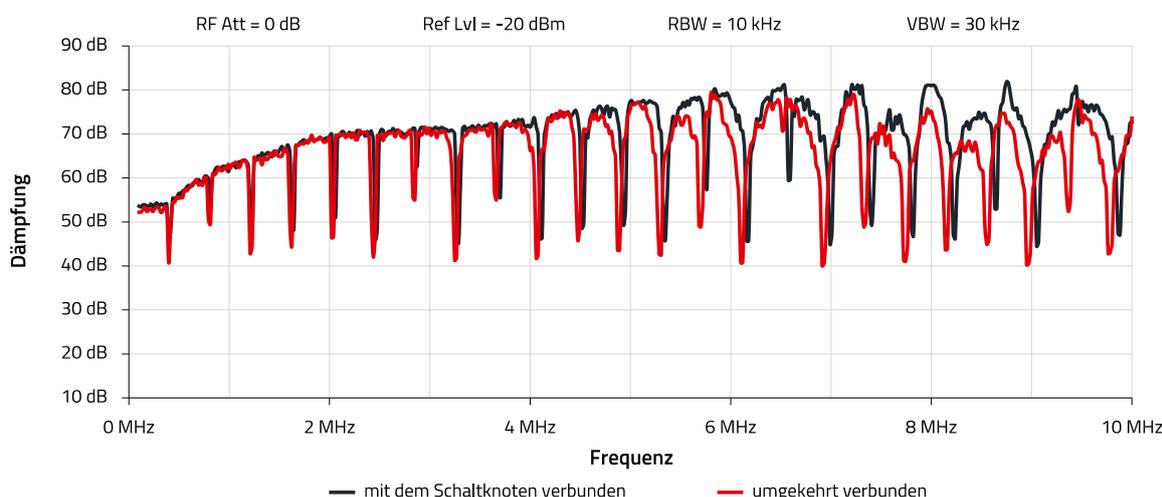


Abbildung 7: E-Feld der mit dem Schaltknoten verbundenen Wicklungsstart und umgekehrt.

# APPLICATION NOTE

## ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

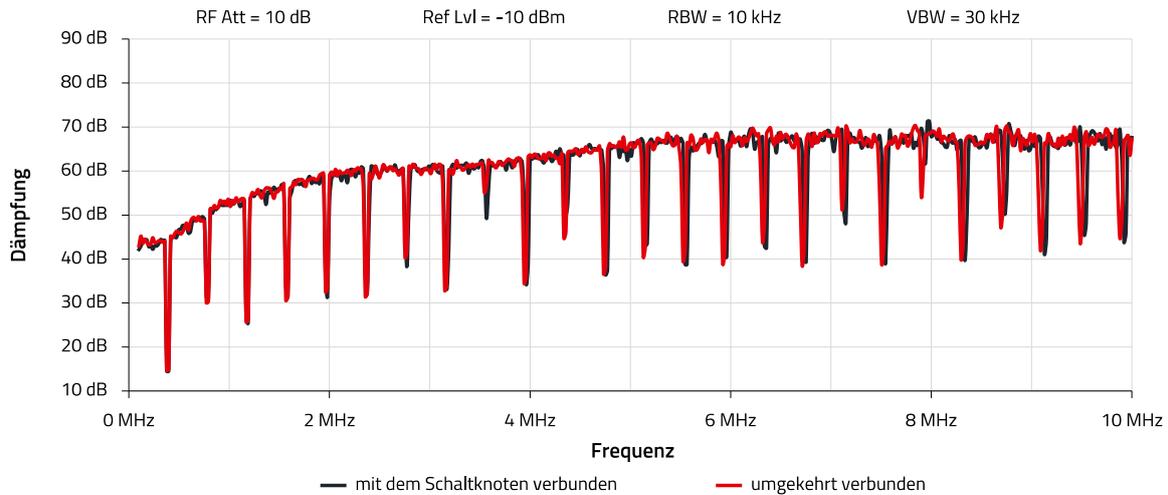


Abbildung 8: H-Feld der mit dem Schaltknoten verbundenen Windungsstart und umgekehrt.

### 2.3 EM-Strahlung durch den Einfluss von Schaltübergängen

Elektromagnetische Störungen können nur auftreten, wenn eine Strahlungsquelle, ein Übertragungsmedium und eine Störsecke vorhanden sind. Bei steigenden Schaltfrequenzen

nutzen DC/DC-Wandler kürzere Anstiegs- und Abfallzeiten des Schaltwandlers, um die Schaltverluste gering zu halten. Hierdurch entstehen jedoch steile Flanken am Schaltknoten, begleitet von „Klingeln“ und Nadelimpulsen (Abbildung 9). Der resultierende Überschwungsbereich und die Wellenform der Spulenspannung sind in Abbildung 10 dargestellt.

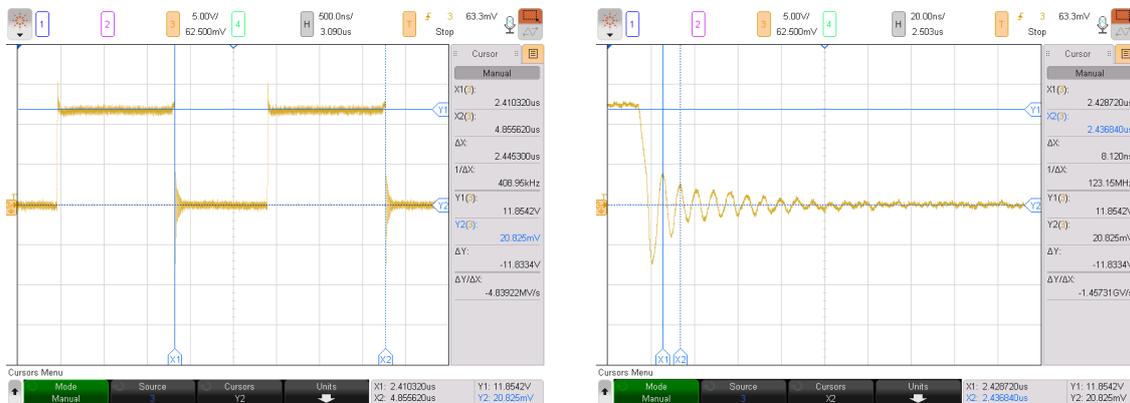


Abbildung 9: VDS des Abwärtswandlers auf der linken und das Oberwellen am Schaltknoten beim Anschalten vom FET (S1) auf der rechten Seite.

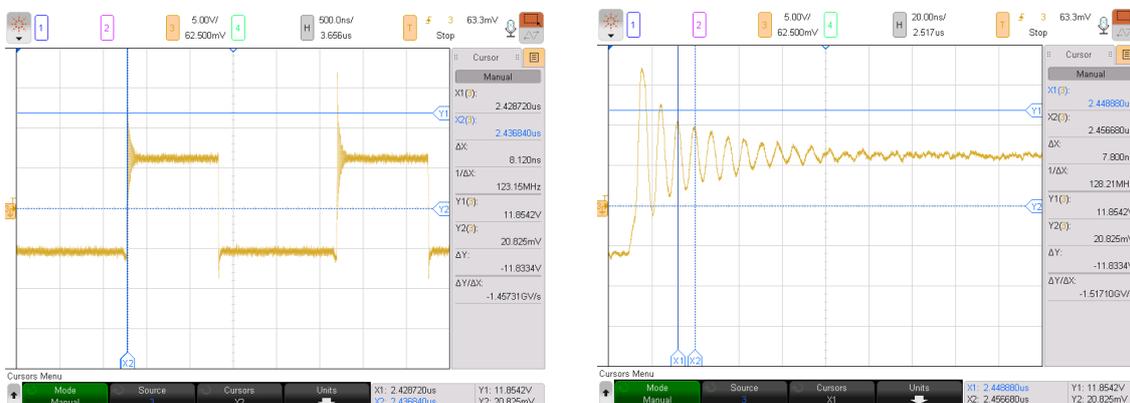


Abbildung 10: Spannungswellenform der Speicherinduktivität des Abwärtswandlers auf der linken und resultierendes Klingeln der Spule beim Anschalten vom FET (S1) auf der rechten Seite. Hinweis: Eingang: 12 V; Ausgang: 5 V, 5 A; Schaltfrequenz: 400 kHz; Frequenz der Oberwellen: 128 MHz.

# APPLICATION NOTE

## ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

Aufgrund der Schwingungen am Schaltknoten, der schnellen Übergänge und der hohen Schaltfrequenz ist die Auswahl einer geeigneten Spule zur Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit erforderlich. Normalerweise liegt die Klingelfrequenz im Bereich zwischen 100 und 200 MHz. Geschirmte Spulen sind häufig so ausgelegt, dass die Schaltgrundfrequenz, nicht aber die höheren Klingelfrequenzen, geschirmt werden. Die Wirksamkeit bei der Abschwächung von Emissionen in diesen Frequenzbereichen hängt in hohem Maße von den Eigenschaften der Spule ab – vor allem von Kernmaterial (Abbildung 11) und Materialstärke.

Im Allgemeinen ist die Schirmwirkung von Speicherinduktivitäten mit Eisen- oder Metalllegierungspulver im Frequenzbereich über 1 MHz bei der E-Feld Abschirmung stark beschränkt. Als Alternative wäre der Einsatz von Spulen aus MnZn oder NiZn zu erwägen, die bei höheren Schaltfrequenzen bessere Eigenschaften mit sich bringen. Die Auswirkung auf die Abstrahlung von elektromagnetischen Feldern beim Ändern des Kernmaterials ist nachfolgend in den Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellt.

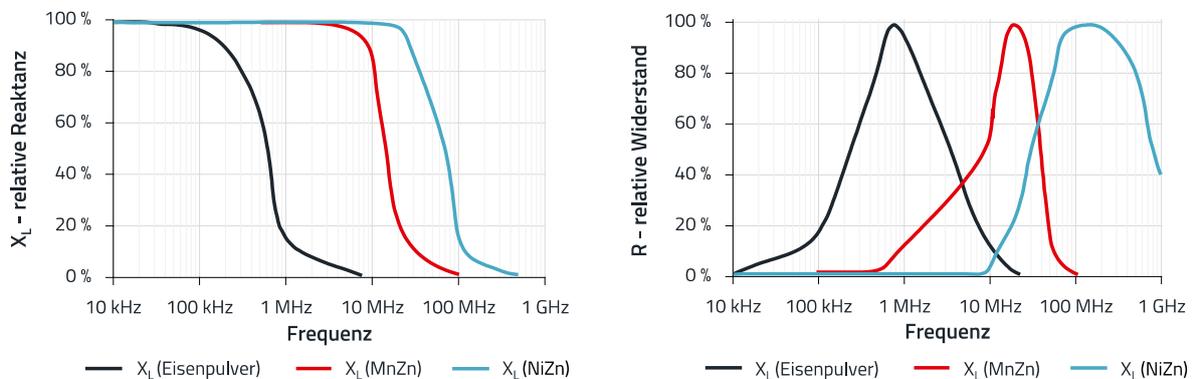


Abbildung 11: Widerstands- und Induktionskennlinien verbreiteter Kernmaterialien: Eisenpulver, MnZn und NiZn.

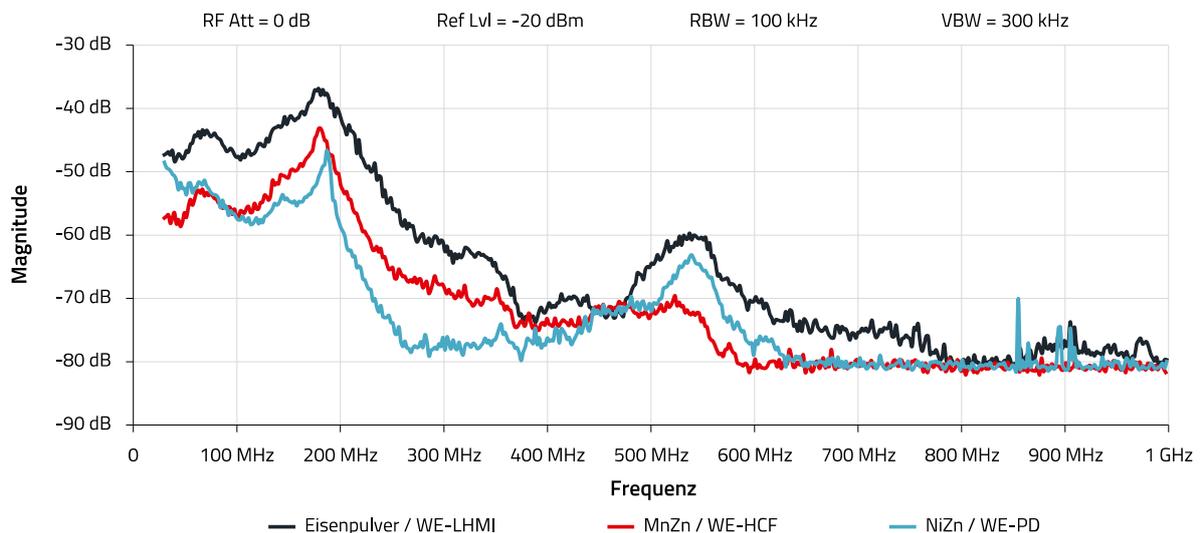


Abbildung 12: Vergleich des H-Feldes von Eisenpulver (WE-LHMI), MnZn (WE-HCF) und NiZn (WE-PD) als Kernmaterial.

# APPLICATION NOTE

## ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

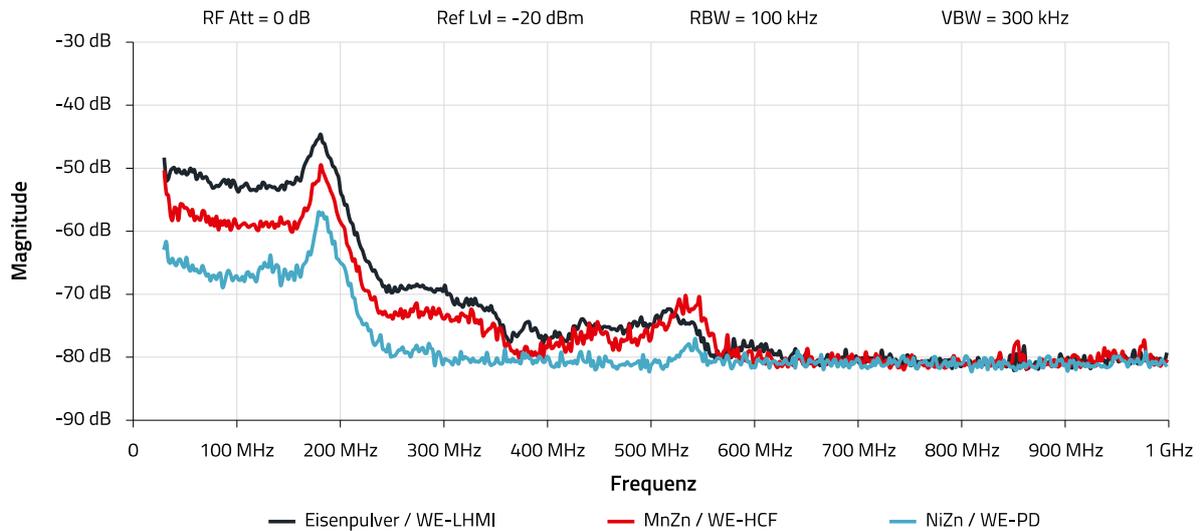


Abbildung 13: Vergleich des E-Feldes bei Verwendung von Eisenpulver (WE-LHMI), MnZn (WE-HCF) und NiZn (WE-PD) als Kernmaterial.

Der im Test verwendete DC/DC-Wandler hat eine Schaltfrequenz von 400 kHz, die Klingelfrequenz beim Schaltknoten beläuft sich auf etwa 180 MHz.

Wie veranschaulicht, ist eine Spule mit NiZn als Kernmaterial (WE-PD [7447714022](#)) bei der Begrenzung der H- und E-Feldstrahlung bei höheren Frequenzen effektiver als eine Spule mit MnZn als Kernmaterial (WE-HCF [7443630220](#)).

### 03. SCHIRMUNG

Jedes Kernmaterial weist jeweils inhärente Vor- und Nachteile auf, wodurch es für bestimmte Anwendungen besonders geeignet ist. In Fällen, in denen ein Kernmaterial nicht ersetzt werden kann, ist unter Umständen der Einsatz externer Lösungen notwendig, um Emissionen in den Griff zu bekommen. So weisen zwar Spulen mit Kern aus Eisenpulver oder Metalllegierungen hervorragende Sättigungseigenschaften auf und können extrem kompakt sein, jedoch sind ihre Schirmungseigenschaften oberhalb von 1 MHz beschränkt. Daher ist zur Abschirmung, der durch die mit einer kurzen Schaltübergangsdauer einhergehende Klingelfrequenz verursachten Emissionen, möglicherweise eine externe Schirmung erforderlich, um die EMV Richtlinien zu erfüllen. Lösungen mit Metall- und magnetischen Schirmungen können je nach Anwendung noch optimiert werden.

Hauptbestandteile von Metallschirmungen sind i.d.R. Kupfer, Aluminium, Metalllegierungen und Verbundmischungen – ausgeführt als ein Gehäuse, das die Quelle (Spule) umfasst, um Störungen zu reflektieren oder zu absorbieren. Stärke und Typ des Materials können nach Faktoren wie Schirmungseffizienz, Frequenz (Abbildung 14) und Kosten ausgewählt werden.

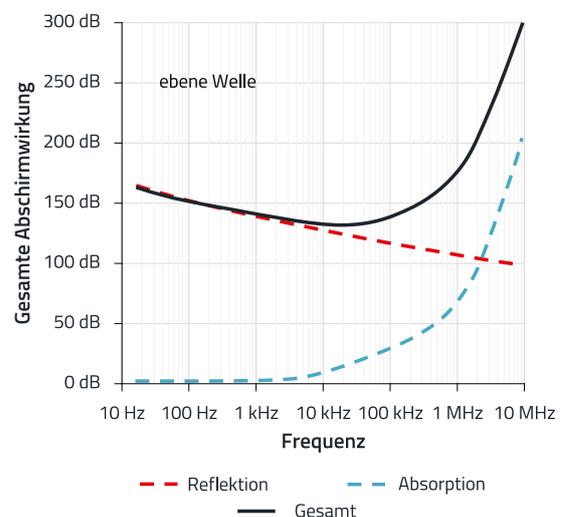
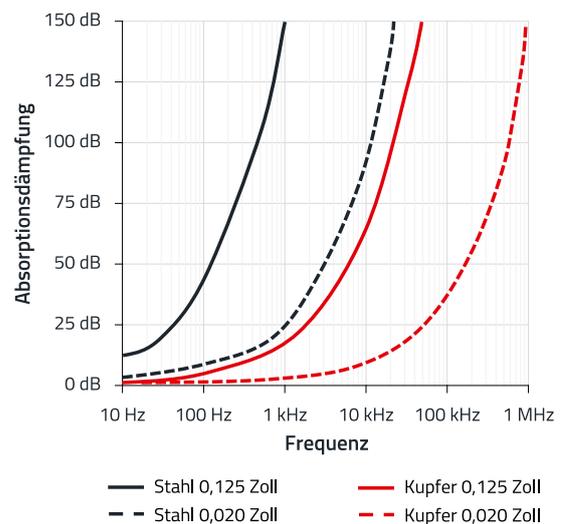


Abbildung 14: Absorptions- und Reflektionseigenschaften von Metallschirmungen.

## APPLICATION NOTE

### ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

Interessanterweise integrieren einige Hersteller von Eisenpulverspulen eine Metallbrücke auf der Spule, um die Schirmungsleistung zu optimieren. Allerdings muss dieser Ansatz nicht unbedingt von Vorteil sein, denn solche Spulen erweisen sich hinsichtlich der Konstruktions- und Emissionsanforderungen als weniger flexibel, haben sie doch in einem bestimmten Schaltfrequenzbereich und bei festen Quelleigenschaften nur eingeschränkte Wirkung.

Alternativ lässt sich die magnetische Schirmung mit magnetischen Materialien oder Mu-Metallen realisieren, deren Wirksamkeit von der Permeabilität, dem Wellenwiderstand und der Stärke des verwendeten Materials abhängig ist, wie in Abbildung 14 zu sehen ist.

#### 3.1 Schirmungswirkung im Nahfeld

Wie bereits erwähnt, liegt die Klingelfrequenz des Schaltknotens bei der einen verwendeten Baugruppe bei etwa 130 MHz, bei der anderen beläuft sie sich auf etwa 180 MHz. Da die Vorteile von Speicherinduktivitäten mit Kernen aus Eisenpulver oder einer Metalllegierung in der Regel nicht aufgehoben werden können, bietet Würth Elektronik eine Vielzahl von Schirmmaterialien aus Metall und Mu-Metall, beispielsweise Kupferband, verschiedene Schirmgehäuse aus Verbundmetallen mit und ohne Lüftung, NiZn- und Ferritplatten usw. Diese Produkte stellen flexible und anpassungsfähige Lösungen dar, die für spezielle Konstruktionsbeschränkungen geeignet sind und für bestimmte Frequenzbereiche ausgewählt werden können, in denen eine Abschwächung erforderlich ist (Abbildung 15).

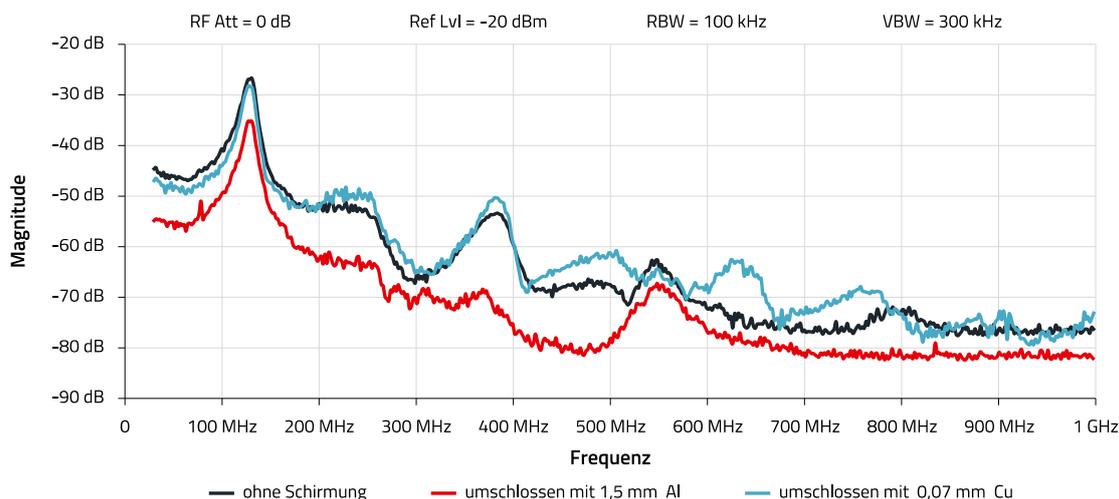


Abbildung 15: Vergleich des H-Feldes bei Verwendung von Eisenpulver (*WE-LHM*) ohne zusätzliche Schirmung mit einem 1,5 mm starken Alu-Gehäuse und mit 0,07 mm starkem Kupferband.

# APPLICATION NOTE

## ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

So bewirkt eine Metallschirmung einer WE-LHMI-Eisenpulverspule von Würth Elektronik eine Reduzierung der E-Feldemissionen um 10 dB (Abbildung 16).

### 3.2 Schirmungswirkung im Fernfeld

Die Effektivität der Schirmung ist nicht auf die Nahfeldstrahlung beschränkt. Mit Metall- und Ferritlösungen lassen sich auch im Fernfeld beträchtliche Verbesserungen erzielen. Das weiter oben erwähnte Demoboard, welches als Grundlage für die Messungen dient, wurde in der EMV-Kammer auf Fernfeldstrahlung geprüft.

Die Messergebnisse beim Einsatz einer Spule mit Eisenpulverkern in einem 1,5 mm starken Aluminiumschirm ist unten gezeigt (Abbildung 17 und Abbildung 18): Der kritische Frequenzbereich, in welchem die unerwünschten Schwingungen auftraten, wurde ganz erheblich gedämpft. Zudem war eine Abschwächung über den gesamten Frequenzbereich (einschließlich der Oberwellen) zu vermerken. Das Abschirmen der Eisenpulverkernspule mit einer 3 mm starken Ferritplatte hatte eine ähnliche Wirkung (Abbildung 19).

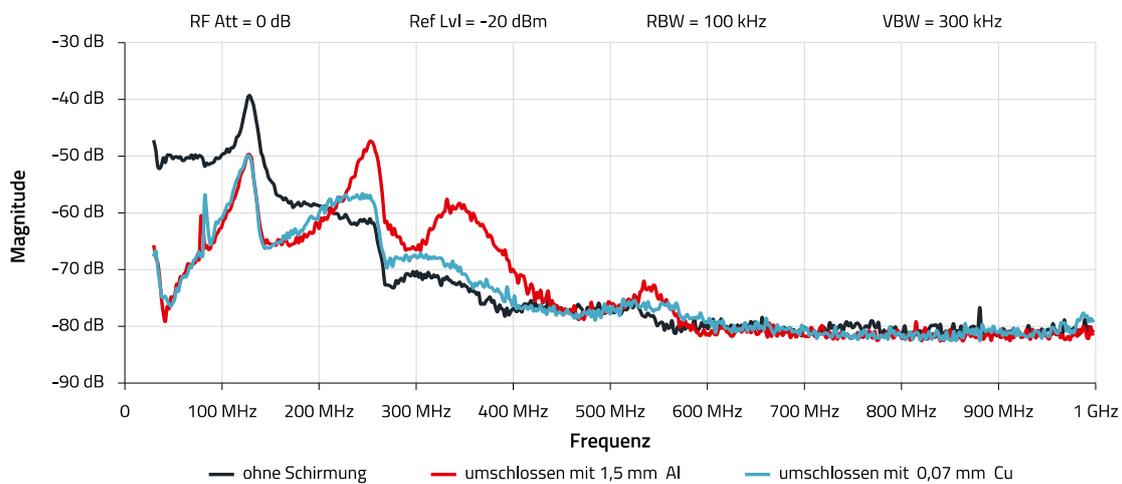


Abbildung 16: Vergleich des E-Feldes bei Verwendung von Eisenpulver (WE-LHMI) ohne zusätzliche Schirmung mit einem 1,5 mm starken Al- Gehäuse und mit 0,07 mm starkem Kupferband.

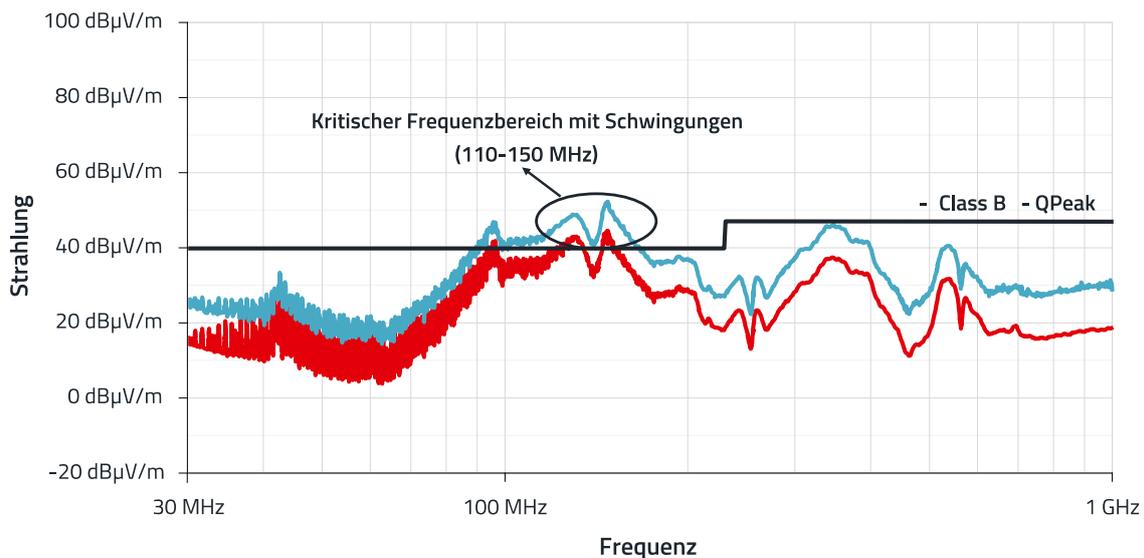


Abbildung 17: Elektromagnetische Strahlung des Systems mit Eisenpulverkernspule im Fernfeld.

## APPLICATION NOTE

### ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

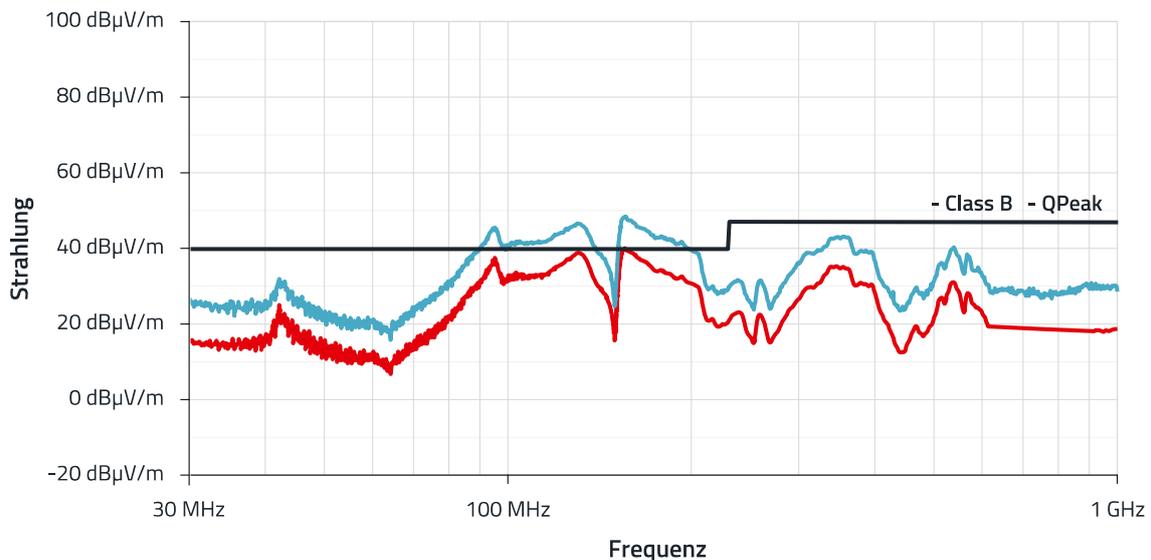


Abbildung 18: Fernfeldtest des Systems mit einer Aluminiumhülle um die Spule.

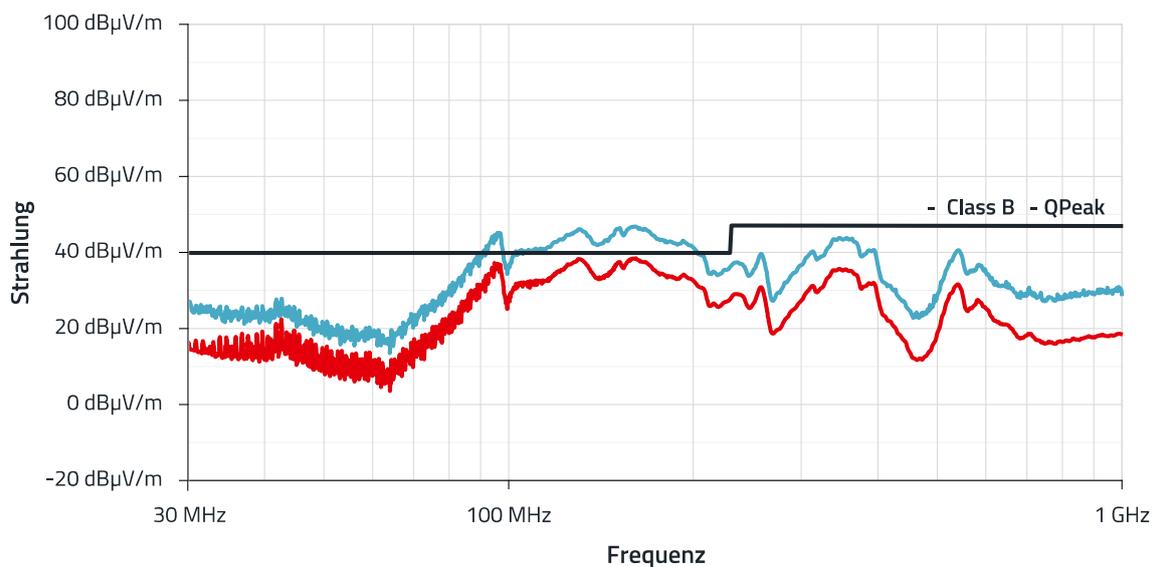


Abbildung 19: Fernfeldtest des Systems mit einer 3-mm-Ferritplatte auf der Spule.

## 04. ZUSAMMENFASSUNG

Elektromagnetische Abstrahlung ist ein unglaublich breites und komplexes Thema. Bereits scheinbar geringfügige Schwankungen bei einzelnen Parameter können Emissionsquellen und damit auch die Nahfeld- und Fernfeldeigenschaften beeinflussen. Die Charakterisierung des Nahfeldes kann ein komplizierter und zeitaufwändiger Prozess sein, denn zum vollständigen Verständnis und zur Behebung von EMV-Problemen sind zahlreiche Experimente und Messungen erforderlich.

Außerdem müssen Emissionen auch aufgrund der Tendenz zu höheren Schaltfrequenzen, mit dem Ziel der Steigerung von Leistungsdichte und Effizienz, die mit der Verfügbarkeit neuer Technologien wie GaN oder SiC in MOSFETs einhergehen, genauer beachtet werden.

Bei höheren Schaltfrequenzen ist der normale Ansatz für magnetische Leistungsbauteile nicht mehr gültig. Würth Elektronik hat schon seit einiger Zeit eine Vielzahl von Schirmungsmaterialien im Sortiment, welche es erlauben eine Vielzahl von Problemen in der EMV-Kammer zu lösen. Das Entwerfen einer speziellen Speicherinduktivität, die nur unter eingeschränkten, ganz bestimmten Voraussetzungen einsetzbar ist, ist nicht der Ansatz, den man bei Würth Elektronik verfolgt. Denn schon eine geringfügige Änderung am Schaltregler kann die Eigenschaften der Spule ganz erheblich ändern. Für ein gegebenes Design sind jeweils ganz spezifische Bauteile erforderlich. Aus diesem Grund bietet Würth Elektronik ein großes Portfolio von Speicherinduktivitäten in Kombination mit Support und technischer Unterstützung auf höchstem Niveau.

## APPLICATION NOTE

ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

### A Anhang

#### A.1 BOM

Description	Size	Value	Order Code
WE-PD SMD Shielded Power Inductor	7345	L: 10 $\mu$ H, I <sub>R</sub> : 2 A, R <sub>DC</sub> : 45 m $\Omega$ (typ)	<a href="#">74477710</a>
WE-LQS SMD Power Inductor	8040	L: 10 $\mu$ H, I <sub>R</sub> : 3,3 A, R <sub>DC</sub> : 29 m $\Omega$ (typ)	<a href="#">74404084100</a>
WE-PD2 SMD Power Inductor	7850	L: 10 $\mu$ H, I <sub>R</sub> : 2,3 A, R <sub>DC</sub> : 45 m $\Omega$ (typ)	<a href="#">74477510</a>
WE-PD SMD Shielded Power Inductor	1050	L: 2,2 $\mu$ H, I <sub>R</sub> : 8,6 A, R <sub>DC</sub> : 6,8 m $\Omega$ (typ)	<a href="#">7447714022</a>
WE-HCF SMD High Current Inductor	2013	L: 2,2 $\mu$ H, I <sub>R</sub> : 28 A, R <sub>DC</sub> : 1,5 m $\Omega$ (typ)	<a href="#">7443630220</a>

#### A.2 Literatur

[1] Electromagnetic Compatibility Engineering by Henry W. Ott

[2] <http://www.we-online.com/app-notes>

## APPLICATION NOTE

### ANP047 | Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern

#### 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  
[www.we-online.com/appnotes](http://www.we-online.com/appnotes)



**REDEXPERT** Design Platform  
[www.we-online.com/redexpert](http://www.we-online.com/redexpert)



Toolbox  
[www.we-online.com/toolbox](http://www.we-online.com/toolbox)



Produkt Katalog  
[www.we-online.com/products](http://www.we-online.com/products)

#### KONTAKT INFORMATION



[appnotes@we-online.com](mailto:appnotes@we-online.com)  
Tel. +49 7942 945 - 0



Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG  
Max-Eyth-Str. 1 · 74638 Waldenburg  
Germany  
[www.we-online.com](http://www.we-online.com)