

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten



Annika Frankemölle, Alexander Lang

01. EINLEITUNG

1.1 Spannung und Induktivitäten

Induktivitäten spielen bei der Beeinflussung des Stromanstiegs in elektrischen Schaltungen eine entscheidende Rolle. Dabei induziert der Strom, der aus der angelegten Spannung resultiert, ein Magnetfeld, das dem Strom entgegenwirkt, so den Stromanstieg kontrolliert und bei Bedarf auch begrenzt. Bei der Auswahl der für eine Anwendung geeigneten Spule müssen daher der Induktivitätswert und die maximal erzeugten Ströme berücksichtigt werden, da sie eine zentrale Rolle für die gewünschte Funktion, z.B. in einem Schaltregler, spielen. In der Vergangenheit wurden Induktivitäten in elektrischen Schaltkreisen sowohl mit Eisenpulver- als auch mit Ferritkernen verwendet. Für Formkerne kam ein Spulenkörper zum Einsatz, der die Drahtwicklungen stabilisierte. Auf Toroide können die Wicklungen direkt aufgebracht werden, da Ferrit ein Nichtleiter ist. Die auf Toroide aufgebraute Epoxidbeschichtung diente als Schutz vor Korrosion und Feuchtigkeit und zur Kennzeichnung der Permeabilität. Die Auswahl der Isolierschicht auf dem Kupferlackdraht basierte in erster Linie auf der Temperaturklasse und nicht auf der Spannungsfestigkeit, da die verwendeten Drahtlacke in der Regel mehreren tausend Volt standhalten. Diese Herstellungsverfahren haben sich jedoch in den letzten Jahren mit zunehmender Beliebtheit von verpressten Induktivitäten auf der Basis von feinem Eisenpulver mit verteiltem Luftspalt geändert. Das als Kernmaterial verwendete Pulver besteht aus reinem Eisen oder Eisenpulverlegierungen, wie z.B. Beimengungen von Nickel, Mangan oder Zink, und wird unter hohem Druck mit isolierendem Kunstharz als Bindemittel um die emaillierte Kupferwicklung gepresst. Dank der fortlaufenden Optimierung des Produktionsverfahrens und der Materialzusammensetzung ist es möglich, eine hohe Permeabilität des Ferritmaterials zu erreichen, um so große Induktivitätswerte auf kleinstem Bauraum zu realisieren. Dies muss mit der maximal möglichen Stromtragfähigkeit kombiniert werden. Dadurch kann die Leistungsdichte pro Volumen kontinuierlich gesteigert werden.

Um die Belastbarkeit der Spule bei möglichst kleinem Volumen stetig zu steigern, wurde der Anteil an Eisenpulver oder Eisenlegierungen im Verhältnis zur Isolierung des Bindemittels immer weiter erhöht, sodass der Abstand zwischen den einzelnen Korngrößen immer geringer wurde. Diese Reduzierung hat dazu geführt, dass heute bei der Auswahl einer Spule für eine Anwendung die an der Induktivität in einem DC/DC-Wandler angelegten Spannungen berücksichtigt werden müssen, da der geringere Isolierstoffgehalt im Pulverkern die Spannungsfestigkeit des Materials reduziert und somit eine hohe Betriebsspannung zum Ausfall der gesamten Anwendung führen kann.

1.2 Trends und Veränderungen

Als Beispiel für die sich ändernden Marktbedingungen in der Elektronik wird im Folgenden der Spannungsabfall über einer Spule in einem Abwärtswandler (Abbildung 1) betrachtet.

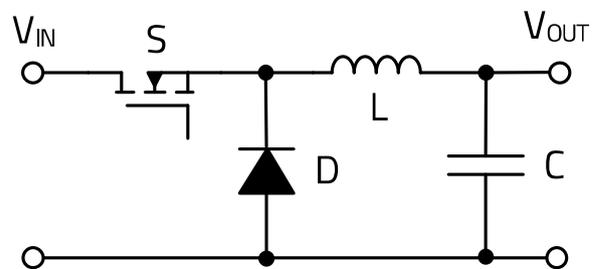


Abbildung 1: Prinzipschaltbild Abwärtswandler,

$V_{in} = 24 - 36 \text{ V}$; $V_{out} = 5 \text{ V}$

Im Moment des Einschaltens liegen zwischen 24 und 36 V am Eingang an. Die Isolierung der Pulverpartikel muss daher dauerhaft 36 V standhalten können.

Dank des stetigen technischen Fortschritts in der Halbleiterindustrie können MOSFETs heute hohe Stromdichten und kurze Schaltzeiten erreichen. Dadurch ist es möglich, die Ausgangsspannung bei DC-DC Wandlern immer weiter zu reduzieren.

**Ein Beispiel: Früher wurde eine Eingangsspannung von 48 V schrittweise auf 12 V, 5 V und schließlich auf 1,8 V herabgesetzt. Durch den Einsatz von GaN-MOSFETs in der Anwendung ist es jedoch möglich, die Spannung von 48 V direkt auf 1,8 V herabzusetzen, und zwar mit enorm niedrigen Schaltverlusten (Wirkungsgrad > 90 %). Unter zusätzlicher*

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten

Berücksichtigung möglicher Toleranzen bei der Eingangsspannung können in der Anwendung zeitweise bis zu 60 V an die Spule anliegen. Ein solch hoher Wert war in der Vergangenheit eher unüblich.

Durch den Einsatz hocheffizienter MOSFETs hat der Entwickler also den Vorteil, dass er auf eine stufenweise Regelung der Spannung verzichten und so eine hohe Leistungsdichte in einem kompakten Gehäuse erzielen kann. Dadurch kann die gesamte Anwendung weiter miniaturisiert werden, was sich kostensenkend auswirkt. Aus diesem Grund ist die Frage nach der Spannungsfestigkeit von Spulen in den letzten Jahren bei der Auswahl der passenden Induktivität immer wichtiger geworden und wird auch in Zukunft eine zu berücksichtigende Anforderung darstellen.

Um die nötige Transparenz zu gewährleisten, hat Würth Elektronik beschlossen, die neue Eigenschaft der Spannungsfestigkeit für alle pulverbasierten Speicherinduktivität in die Datenblätter zu integrieren. Zu diesem Zweck wurde ein modernes Prüfkonzept entwickelt, das im Folgenden näher erläutert wird.

02. DEFINITION DER BETRIEBSSPANNUNG

Würth Elektronik gibt in seinen Datenblättern die maximale Betriebsspannung V_{op} an, bei der eine Induktivität während der Anwendung dauerhaft betrieben werden kann, ohne die Leistung zu beeinträchtigen, Schäden zu riskieren oder das Bauteil zu überhitzen. Die Betriebsspannung ist also ein Grenzwert für die Eingangsspannung, bis zu der die Induktivität ohne irreversible Schäden in einer Anwendung zuverlässig genutzt werden kann. Die maximale Betriebsspannung einer verpressten Induktivität kann von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Hierzu gehören unter anderem der Induktivitätswert, die Umgebungsbedingungen oder die Materialzusammensetzung. Darüber hinaus kann auch der Aufbau des Bauteils eine entscheidende Rolle spielen. So können beispielsweise die Anordnung der Wickellagen der Spule und die Isoliermaterialien auf dem Kupferdraht einen Einfluss auf die maximale Betriebsspannung haben.

Im Gegensatz zur Betriebsspannung (Operating Voltage, V_{op}) bezieht sich der Wert der Spitzenspannung (Peak Voltage, V_p) auf die maximale Spannung über der Induktivität, die keinen Schaden verursacht. Die Spitzenspannung darf nur für einen im Vergleich zur gesamten Einschaltdauer kurzen Zeitraum an der Spule anliegen. Bei den Schaltvorgängen in einem Abwärtswandler beispielsweise, übersteigt die Spannung

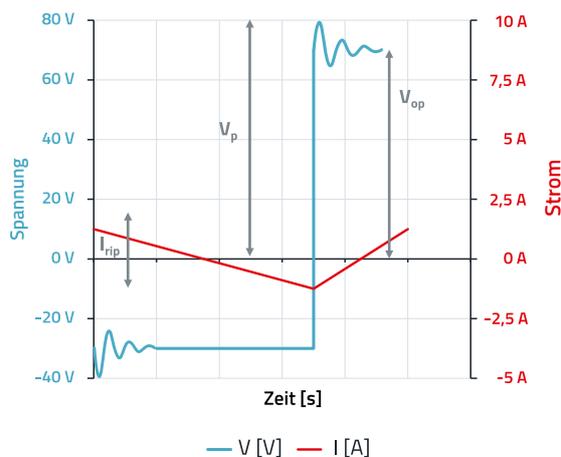


Abbildung 2: Spannungs- und Stromverlauf an einer Induktivität: Abgrenzung V_{MAX} und V_{MAXR} ^[1]

über der Induktivität kurzzeitig den maximalen Wert der Betriebsspannung (Abbildung 2).

Das liegt vor allem an den parasitären Effekten des MOSFETs und der Induktivität. Eine in dieser Applikation verwendete Speicherinduktivität muss die kurzzeitigen Spannungsspitzen standhalten können, ohne Schaden zu nehmen oder die Zuverlässigkeit der Schaltung zu beeinträchtigen.

03. AUSWIRKUNGEN EINER ÜBERSCHREITUNG DER BETRIEBSSPANNUNG

3.1 Beeinflussende Faktoren

Wie zuvor beschrieben, führte eine kontinuierliche Optimierung des Verhältnisses zwischen den Metallpartikeln und dem Bindemittel zu einer Verminderung der Spannungsfestigkeit. Aber was passiert, wenn die Spannung zu hoch wird? Um dies besser zu verstehen, soll die Struktur einer verpressten Induktivität genauer analysiert werden.

Ferritmaterialien sind in der Regel keramische Verbindungen, die aus Eisenoxid (Fe_2O_3) in Kombination mit anderen Metalloxiden wie Mangan, Nickel oder Zink bestehen. Diese Materialien weisen eine kristalline Struktur auf, in der die Eisen- und anderen Metallionen in einer bestimmten Gitterform angeordnet sind. Diese kristalline Struktur verhindert von Natur aus die freie Bewegung von Elektronen, was zu einem nichtleitenden Verhalten führt. Durch den Oxidprozess ist jedes dieser Teilchen „beschichtet“, wodurch sie vor Umgebungseinflüssen geschützt werden (Abbildung 3).

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten

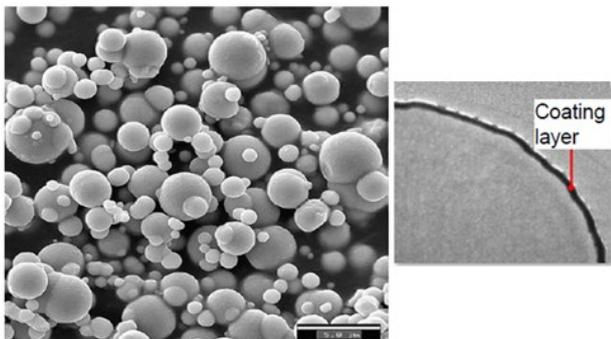


Abbildung 3: Mikroskopische Analyse der Pulverstruktur einer verpressten Induktivität [Vergrößerungsstufe: 5 µm] [2]

Das ist ein großer Vorteil, weil Eisen zu rosten beginnt, sobald es mit Luftfeuchtigkeit in Berührung kommt und die elektrischen Eigenschaften der Induktivität verloren gehen würden. Es gibt je nach Anwendungsbereich verschiedene Arten von Oxid- bzw. Herstellprozesse, die zu dieser „Passivierung“ führen, z. B. Beständigkeit gegen chemische Einflüsse, Temperatur oder Feuchtigkeit. Auch die Stärke und das Material der durch den Herstellprozess entstandenen Beschichtung spielen eine wichtige Rolle. Abhängig von der verwendeten Beschichtung ist sie umso widerstandsfähiger gegen Umgebungseinflüsse, allerdings kann dies bei einer Induktivität gleichzeitig zu einer Verringerung der Leistungsdichte pro Volumen führen. Zuverlässigkeit und elektrische Leistung müssen bei der Fertigung gegeneinander abgewogen werden, um das optimale Verhältnis zu ermitteln. Ein zweiter Faktor ist das Bindemittel, das die einzelnen Partikel nach dem Pressvorgang zusammenhält. Auch dieses muss den Umgebungseinflüssen standhalten. Partikelbeschichtung und Bindemittel zwischen den Partikeln zusammen bilden so eine Barriere zwischen den leitenden Teilen des Bauteils und den Anschlüssen.

Wenn diese Barriere für die in der Anwendung verwendete Spannung nicht hoch genug ist, entsteht ein leitender Pfad durch das Kernmaterial, der durch Überschläge zwischen den einzelnen Metallpartikeln erzeugt wird. In Abbildung 4 ist zu sehen, dass die Partikel verschmolzen sind, nachdem eine zu hohe Spannung angelegt wurde.

3.2 Praxisbeispiel

Um den Einfluss der Nichteinhaltung der maximalen Spannung in einer realen Anwendung zu veranschaulichen, wurde ein Messaufbau erstellt. Welche Auswirkungen kann also eine zu hohe angelegte Spannung auf die konkrete Anwendung haben? Für den Versuchsaufbau wurden zwei identische verpresste Spulen verwendet. In einem Fall wurde der Isolationsschaden im Voraus durch mehrere Spannungsimpulse von über 200 V verursacht.

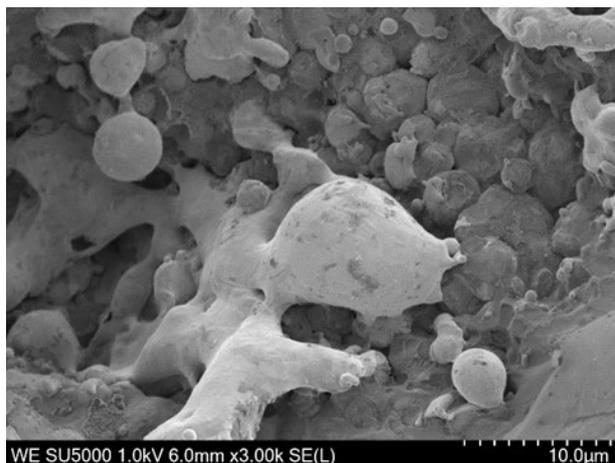


Abbildung 4: Mikroskopische Analyse der Struktur eines verschmolzenen Pulvers einer verpressten Induktivität [Vergrößerungsstufe: 10 µm]

Die andere Spule wurde direkt nach der Produktion entnommen. Auf den ersten Blick ist optisch kein Unterschied zwischen dem beschädigten und dem intakten Bauteil zu erkennen. Auch lässt sich der Fehler nicht durch die Messung der elektrischen Eigenschaften entsprechend dem Datenblatt bestimmen (Abbildung 5).

Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	100 kHz/ 10 mA	10	µH ±20%
Rated Current	$I_{R,40K}$	$\Delta T = 40 K$	2.4	A max.
Performance Rated Current ¹⁾	$I_{RP,40K}$	$\Delta T = 40 K$	2.9	A max.
Saturation Current @ 10%	$I_{SAT,10\%}$	$ \Delta L/L < 10 \%$	2.8	A typ.
Saturation Current @ 30%	$I_{SAT,30\%}$	$ \Delta L/L < 30 \%$	5.35	A typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	110	mΩ typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	128	mΩ max.
Self Resonant Frequency	f_{res}		16	MHz typ.

¹⁾ refer to IEC 62024-2-2020

Abbildung 5: Aktuelles Datenblatt der gemessenen Bauteile

Auch nach dem Messen von Induktivität und RDC beider Komponenten liegen die elektrischen Eigenschaften noch innerhalb der Spezifikation. In Abbildung 6 ist zu sehen, dass der Spannungsschaden keinen Einfluss auf die im Datenblatt genannten elektrischen Parameter hat.

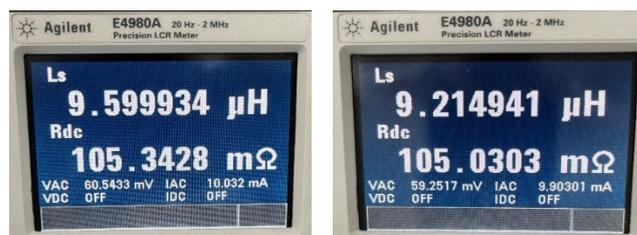


Abbildung 6: RDC- und Induktivitätsmessung des Bauteils ohne Spannungsfehler (links) und mit Spannungsfehler (rechts)

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten

Beide Teile funktionieren nach wie vor so wie in der Spezifikation angegeben. Aus diesem Grund sind die bestehenden Spezifikationen in den Datenblättern nicht ausreichend.

Um zu zeigen, welchen Einfluss ein beschädigtes Bauteil hat, wurden beide Bauteile in die Schaltung eines Abwärtswandlers eingesetzt, der eine Eingangsspannung von 18 V in eine Ausgangsspannung von 5 V und einen durchschnittlichen Ausgangsstrom von 1 A hat (Abbildung 7).



Abbildung 7: Bild der Testplatine (Spule auf der roten Platine montiert)

Zur Bewertung des Isolierungseffekts wird der Ripplestrom der jeweiligen Spule aufgezeichnet (Abbildung 8). Es ist zu erkennen, dass sich die Form des Ripplestroms im Vergleich zum intakten Bauteil verändert hat. Grund hierfür ist die durch die zu hohe Spannung entstandene Kriechstrecke im Kernmaterial. Schematisch betrachtet gibt es jetzt einen Widerstand parallel zur Induktivität (Abbildung 9).

Die neue Wellenform ist nun die Kombination aus diesen beiden Bauteilen. Das Verhalten der Spule (grüne Linie) und des Widerstands (blaue Linie) wurde in das Diagramm des Ripplestroms eingetragen (Abbildung 10).



Die Anwendung funktioniert nach wie vor: Die Spannung wird von 18 V auf 5 V abgesenkt. Aber welchen Einfluss hat dieser Widerstand, der im Schaltplan und im Ripplestromdiagramm zu sehen ist?

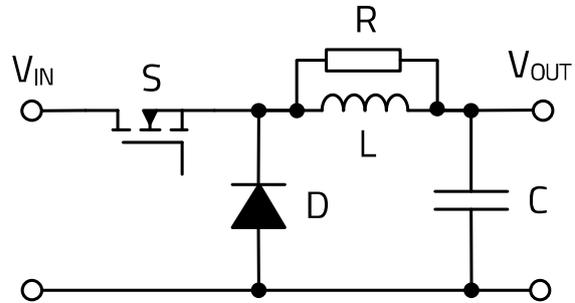


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Widerstands parallel zur Spule

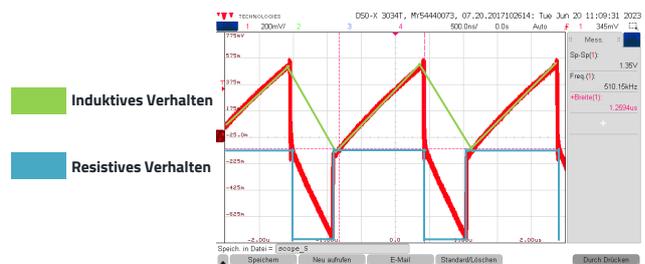


Abbildung 10: Verhalten der Spule (grüne Linie) und des Widerstands (blaue Linie)

Die Antwort auf diese Frage lässt sich finden, indem die Eigenerwärmung der Spule überprüft wird. Für den Vergleich des Temperaturanstiegs der Induktivität wurde eine Wärmebildkamera verwendet, um den Unterschied in der Eigenerwärmung der beiden Bauteile sichtbar zu machen (Abbildung 11).

Für das Bauteil ohne Spannungsschaden beträgt die Temperatur am heißesten Punkt 42,9 °C. Das bedeutet, dass die Eigenerwärmung der intakten Spule während des Betriebs



Abbildung 8: Screenshot des Ripplestroms des unbeschädigten (links) und des beschädigten Bauteils (rechts)

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten

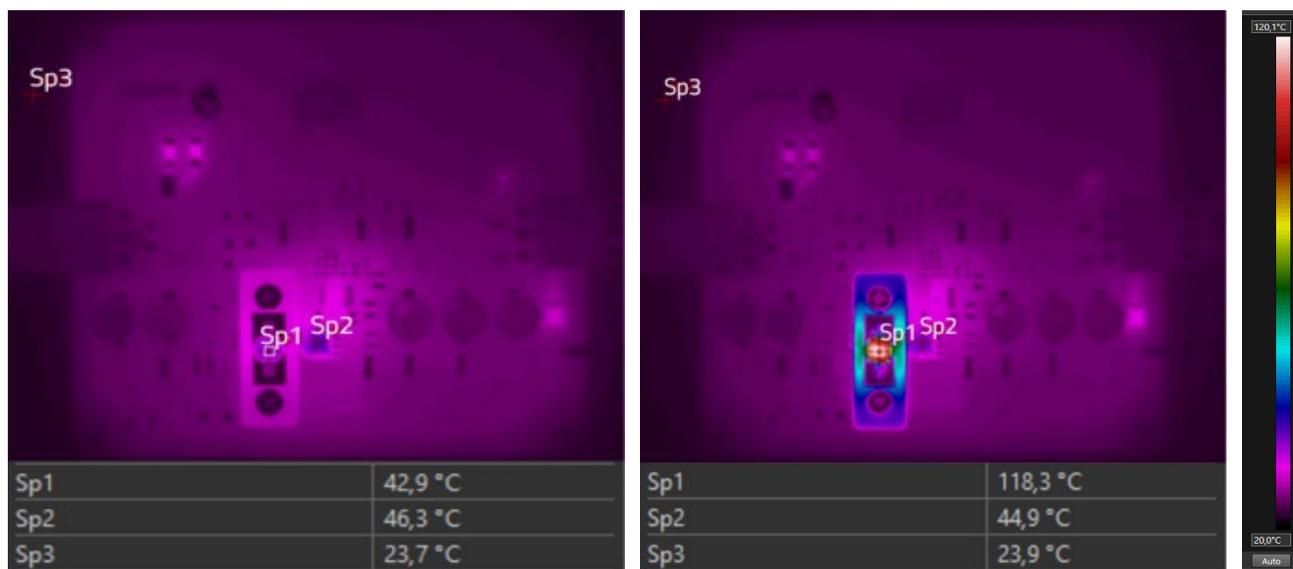


Abbildung 11: Eigenerwärmung des unbeschädigten Bauteils (links) und des beschädigten Bauteils (rechts)

der Anwendung basierend auf der Umgebungstemperatur bei etwa 20 K lag, was ein akzeptabler Wert ist. Im Gegensatz dazu erreichte die Komponente mit dem Spannungsschaden eine maximale Temperatur von 118,3 °C.

Unter identischen Testbedingungen wies die beschädigte Spule eine Eigenerwärmung von etwa 95 K auf. Die Verluste der Spule sind um mehr als 200 % angestiegen. Die Kriechstrecke durch das Material verursacht mehrere Probleme:

- DC-Verluste: Der Stromfluss durch das Material, das ein Widerstand ist, verursacht reine Verluste. $P = I^2 \cdot R$
- AC-Verluste: Der Stromfluss durch das Material stört die magnetischen Feldlinien und verstärkt so die Wirbelströme.

Diese zusätzlichen Verluste verringern die Effizienz der Induktivität erheblich. Der Vorteil eines DC/DC-Wandlers, Spannungspegel mit hoher Effizienz zu übertragen, geht verloren.

04. TESTVERFAHREN

Die Bestimmung der maximalen Betriebsspannung in einer individuellen Anwendung ist recht anspruchsvoll. Ein beliebtes Testverfahren in der Produktion sind Impulsspannungstests zur Überprüfung der Qualität und Zuverlässigkeit von Bauteilen. Diese Methode kann jedoch nicht verwendet werden, um die tatsächliche Langlebigkeit der Bauteile in einer Anwendung zu bestimmen. Es handelt sich lediglich um eine Momentaufnahme, die sich nach der Verarbeitung beim Kunden bereits geändert haben kann.

Deshalb hat sich Würth Elektronik in Kooperation mit einem bekannten Entwicklungsbüro der Herausforderung gestellt, ein Konzept zu entwickeln, das das Verhalten des Bauteils bei höheren Spannungen in der Anwendung und über einen längeren Zeitraum testet. In Zusammenarbeit wurde ein System entwickelt, das modernste GaN-Schalttechnologie nutzt, um eine Induktivität in einem DC/DC-Vollbrückenwandler zu testen (Abbildung 12).

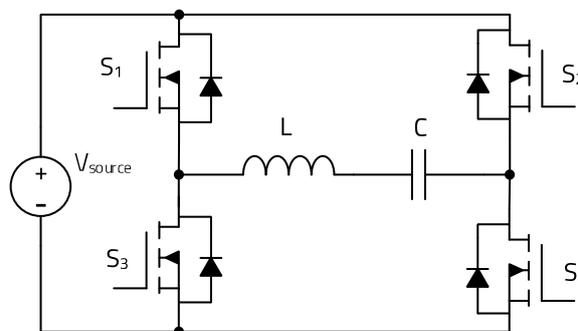


Abbildung 12: Schaltdiagramm Vollbrücken-Abwärtswandler^[1]

Wenn das Tastverhältnis größer oder kleiner als 50 % ist, wird eine DC-Vorspannung über dem Serienschaltkondensator aufgebaut.

Das Messgerät ist also in der Lage, die Induktivität mit einer Rechteckspannung zu speisen, die einen Dreiecksstrom und damit einen magnetischen Fluss erzeugt. Die Funktion ist identisch mit der eines gewöhnlichen DC/DC-Wandlers. Das Bauteil kann unter realen Bedingungen getestet werden. Mithilfe der Software können so während des Messvorgangs wichtige Parameter wie Induktivitätswert, AC-Gesamtverluste, Temperaturanstieg u. a. ermittelt werden.

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten

So kann das Induktivitätsverhalten über einen langen Zeitraum aufgezeichnet werden und auftretende Abweichungen können erkannt und analysiert werden. Dies ermöglicht Würth Elektronik, eine Aussage darüber zu treffen, ob sich die Eigenschaften des Bauteils im Laufe der Zeit ändern und die maximale zerstörungsfreie Betriebsspannung für eine verpresste Spule zu ermitteln. Mit dem Wissen über das Verhalten eines DC/DC-Wandlers in Kombination mit den Möglichkeiten der Testanwendung wurde ein Verfahren definiert, das den Prüfling unter realen Bedingungen belastet.

4.1 Testbeschreibung

Zur Validierung der Betriebsspannung hat Würth Elektronik Tests für jede einzelne verpresste Serie und Größe durchgeführt, um sicherzustellen, dass alle Einflussparameter wie Material-zusammensetzung, Abmessungen, Wicklungsaufbau, Produktionstechnologie usw. geprüft und berücksichtigt wurden. Um die Worst-Case-Bedingungen zu simulieren und die Induktivitäten bis an ihre Spannungsgrenzen zu belasten, wurde eine sehr schnelle Spannungstransiente von bis zu 60 V/ns und mit einer Frequenz von bis zu 2 MHz verwendet^[1]. Zur Gewährleistung einer hohen Belastung wird das Testgerät immer auf die höchstmögliche Schaltfrequenz eingestellt. Nach der Einrichtung der angegebenen Eingangsparameter wie Quellenspannung, Tastverhältnis und Frequenz kann der Test beginnen. Dies erfolgt in einem zweistufigen Verfahren:

1. Prüfung mittels eines Kurzzeittests, um den groben Spannungswiderstand der verpressten Spule zu bewerten.
2. Definition der Betriebsspannung und Nachweis mit einem Langzeittest, der auf den Erfahrungen des Kurzzeittests basiert.

Um sicherzustellen, dass alle verpressten Induktivitäten keinen Schaden genommen haben, werden vor und nach jedem Testlauf Messungen durchgeführt und verglichen. Nachdem der Langzeittest bestanden wurde, kann die Spule mit ihrer spezifischen maximalen Betriebsspannung V_{op} aus dem Datenblatt klassifiziert werden. Ab sofort ist das neue Produktmerkmal beispielsweise für unsere WE-MAPI Serie als Spezifikation in den elektrischen Eigenschaften zu finden (Abbildung 13).

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	100 kHz/ 10 mA	1	µH	±20%
Performance Rated Current ¹⁾	$I_{RP,40K}$	$\Delta T = 40K$	8.75	A	max.
Saturation Current @ 10%	$I_{SAT, 10\%}$	$ \Delta L/L < 10 \%$	4.25	A	typ.
Saturation Current @ 30%	$I_{SAT, 30\%}$	$ \Delta L/L < 30 \%$	9.3	A	typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	13.5	mΩ	typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	15.5	mΩ	max.
Self Resonant Frequency	f_{res}		46	MHz	typ.
Operating Voltage	V	DC	80	V	max.

¹⁾ refer to IEC 62024-2-2020

Abbildung 13: Beispiel eines Datenblatts der Artikelnummer 74438356010HT

4.2 Analyse der Ergebnisse

Bei der Auswertung des Testverfahrens wurde festgestellt, dass die Spannungsänderung an der Induktivität kritischer ist als eine stabile Spannung für einen kurzen Zeitraum. Durch eine differentielle hohe Spannung über der Zeit entsteht eine Entladung, weil die dielektrische Permittivität (ϵ_r) des Materials zum Tragen kommt, d.h. die Ladungsdichte zu groß wird. Je höher z.B. die Schaltfrequenz eines Abwärtswandlers ist, desto höher ist auch die Belastung der verpressten Induktivität, die durch die Teilentladung verursacht wird. Wenn die Spannung hoch genug ist, um so eine Teilentladung zu verursachen, greift sie die Isolierung des Leiters und auch das Bindemittel und die Beschichtung der Partikel an.

Im Test wurde auch die Spitzenspannung an der Induktivität berücksichtigt. Während der Einschaltphase treten beim Testaufbau Spannungsspitzen auf, da der Aufbau den Vorteil hat, sich elektrisch genauso zu verhalten wie ein echter DC/DC-Wandler. Durch die Spezifizierung einer Betriebsspannung wurde diese Spitzenspannung während des Tests geprüft und bestanden.

Um ein Beurteilungskriterium festzulegen, wurden die AC-Verluste und die Eigenerwärmung während des Tests kontinuierlich überwacht. Wenn beide Parameter innerhalb eines definierten Toleranzbandes bleiben und beide Werte innerhalb dieses Toleranzbereichs konstant sind, dann befindet sich das Bauteil definitionsgemäß in einem stabilen Zustand und es treten keine Veränderungen auf. Das bedeutet, dass die Teilentladung zu gering ist, um die Isolierung der Beschichtung oder das Bindemittel zu beschädigen.

05. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dieser innovativen Messtechnik ist Würth Elektronik nun in der Lage, Kunden die maximale Betriebsspannung für verpresste Induktivitäten als Richtwert für ihre jeweiligen Anwendungen zu liefern. Die in den Datenblättern angegebene maximale Betriebsspannung bezieht sich auf die Eingangsspannung eines DC/DC-Wandlers.

Mit dieser Angabe der Spannungsfestigkeit bietet Würth Elektronik einen zusätzlichen Service, damit Anwendungen nach höchsten Zuverlässigkeitsstandards gestaltet werden können. Somit können Alterungseffekte vernachlässigt werden.

Die Spitzenspannung ist in den Datenblättern der Induktivitäten nicht zusätzlich definiert. Der Grund hierfür ist, dass dieser Parameter je nach Konstruktion variieren kann. Während des Qualifizierungsverfahrens von Würth Elektronik sollte eine Spitzenspannung von ca. 15 % über der maximalen Betriebsspannung keine Probleme während des Tests verursachen. Höhere Spitzenspannungen sollten vermieden werden, um die Anwendung nicht zu beschädigen. Diesen Richtwert kann der Anwender für die Auswahl einer passenden Induktivität verwenden.

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten

A.1 References

- [1] MindDCet NV: High Voltage Inductor Measurement System technical overview [internal] (2022).
- [2] BASF Digital Solutions GmbH: Carbonyl Iron Powder [internal] (2022).
- [3] Mike Wens and Jef Thoné: Characterizing High Voltage Inductors and Magnetic Material via Triangular Flux Excitation (2023).

APPLICATION NOTE

ANP126 | Spannungsspezifikation für verpresste Induktivitäten

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 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 Todesfälle 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/app-notes



REDEXPERT Design Plattform
www.we-online.com/redexpert



Toolbox
www.we-online.com/toolbox



Produkt Katalog
www.we-online.com/produkte

CONTACT INFORMATION



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