

# APPLICATION NOTE

## Der Schein vom hohen Nennstrom



VON STEFAN KLEIN

### 1. Wie der Nennstrom in ein besseres Licht gerückt wird

Spulen kommen in Schaltreglern als Energiespeicher zur Anwendung. Für die Spezifizierungen der Datenblätter werden Parameter wie Induktivität, Nenn- und Sättigungsstrom sowie der RDC ermittelt und von den Herstellern von Spulen in ihren Datenblättern deklariert. In der Praxis werden baugleiche Spulen verglichen, um eine Auswahl für einen Schaltregler treffen zu können. Anschließend stellt sich jedoch beim Entwickler die Frage, warum sich der Nennstrom bei baugleichen Spulen unterschiedlicher Hersteller unterscheiden kann.

### 2. Der Einfluss des Nennstroms auf die Betriebstemperatur

Die zulässige Betriebstemperatur eines Bauteils spielt eine wichtige Rolle. Wird diese überschritten besteht Gefahr, dass das Bauteil zerstört wird bzw. sich die Lebensdauer deutlich verringert. Die Betriebstemperatur „ $T_{Op}$ “ setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Der Umgebungstemperatur „ $T_{Amb}$ “ und der Eigenerwärmung „ $\Delta T$ “ des Bauteils:

$$T_{Op} = T_{Amb} + \Delta T$$

Die Eigenerwärmung resultiert aus der Verlustleistung „ $P_{Loss}$ “ bezogen auf das Wärmeabfuhrvermögen eines Bauteils. Das Wärmeabfuhrvermögen ist ein Produkt aus der Bauteiloberfläche „ $A_{Comp}$ “ und einer produktabhängigen Konstante „ $k_{Comp}$ “, welche u.a. das Oberflächenmaterial wiedergespiegelt.

$$\Delta T = \left( \frac{P_{Loss}}{A_{Comp} * k_{Comp}} \right)^{0.833}$$

Ursache für die Eigenerwärmung der Spule ist der Gleichstromverlust, der durch  $R_{DC}$  des Drahtes verursacht wird. Er wird im Betrieb ermittelt. Der RDC wird in einem Vierpolverfahren mit einem LCR-Meter gemessen und kann sich von Bauteil zu Bauteil deutlich unterscheiden. Bei gegebener Materialkonstante „ $\rho$ “ ist der Widerstand eines Kupferdrahtes „ $R_{DC}$ “ umso höher, je länger die Länge des Drahts „ $l$ “ und desto kleiner der Querschnitt „ $A$ “ ist:

$$R_{DC} = \rho * \frac{l}{A}$$

Um zu verhindern, dass die Spule beschädigt oder gar zerstört wird, sollte darauf geachtet werden, dass der zulässige Nennstrom der Spule nicht überschritten wird. Der Nennstrom „ $I_R$ “ führt auf Grund des Widerstands „ $R_{DC}$ “ der Drahtwicklung zur Verlustleistung „ $P_{DCLoss}$ “.

$$P_{DCLoss} = I^2 * R_{DC}$$

## APPLICATION NOTE

### Der Schein vom hohen Nennstrom



Die DC-Verlustleistung der Spule nimmt mit dem Quadrat des Stroms durch das Bauteil zu und führt zur unerwünschten Erwärmung. Üblicherweise nimmt man die Eigenerwärmung des Bauteils in das Datenblatt auf. Der Nennstrom wird bei einer definierten Eigenerwärmung spezifiziert. Bei passiven Bauelementen ist das in der Regel eine Erwärmung um 40 Kelvin, d.h. wenn der spezifizierte Nennstrom durch die Spule fließt, erwärmt sich die Spule um 40 K. Es kommt von Hersteller zu Hersteller zu Abweichungen, weil es weltweit keine Norm gibt, welche eine Temperaturerhöhung definiert, bei dem der Nennstrom ermittelt wird.

### 3. Messaufbau zur Ermittlung des Nennstroms

Es bedarf eines definierten Prüfraums, so dass das Messergebnis nicht durch Luftkonvektion verfälscht wird. Der Prüfraum von Würth Elektronik eiSos, wie er in Abbildung 1 gezeigt wird, ist in Anlehnung an die EN60512-5-2 aus einem nichtwärmereflektierenden Material gefertigt. Die EN60512 beschreibt den Test von Steckverbindern für elektronische Einrichtungen. Sie wird als Referenz genutzt, da für Spulen keine derartige Definition vorhanden ist. Ein Thermoelement kontaktiert mittels Wärmeleitpaste die Oberfläche der Spule, wodurch eine sehr exakte Messung der Bauteiltemperatur möglich ist. Dieses Messsystem ist automatisiert und die Stromquelle wird via einer speziell hierfür entwickelten Software gesteuert.

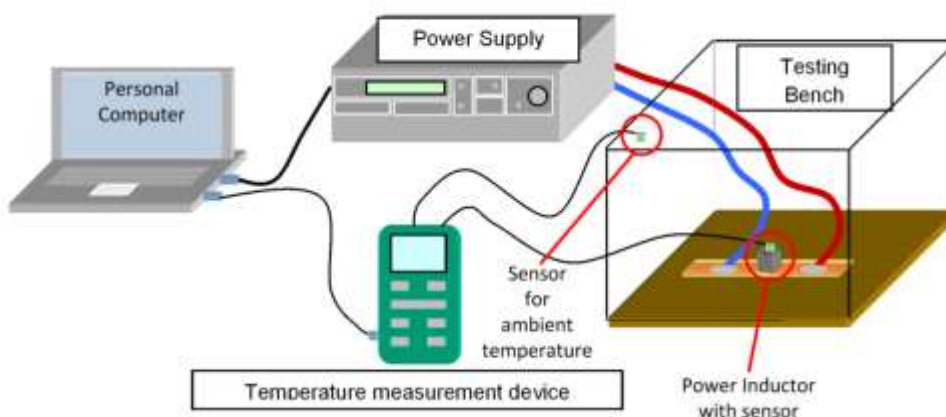


Abbildung 1: Messaufbau zur Ermittlung des Nennstroms

Der Nennstrom wird ermittelt, indem ein Strom in die Spule eingepreßt wird. Nachdem das System bestehend aus Spule und Messeinrichtung eingeschwungen ist, wird mittels Sensoren sowohl die Temperaturerhöhung des Bauteils, als auch die Umgebungstemperatur gemessen. Ist die Temperaturerhöhung kleiner als 40 K, wird der eingepreßte Strom schrittweise erhöht, bis eine Erwärmung von 40 K erreicht ist. Ist die Eigenerwärmung von 40 K erreicht, so wird der eingepreßte Strom durch die Spule als Nennstrom abgelesen und deklariert.

# APPLICATION NOTE

## Der Schein vom hohen Nennstrom



### 4. Einflüsse auf die Messung

Selbst innerhalb des Prüfraums bestehen Einflüsse, welche das Messergebnis deutlich verfälschen können. Kritisch ist während der Messung die Anbindung der Spule an die Stromquelle, da eine unerwünschte Wärmeabfuhr zur Verfälschung der Messergebnisse führt. Aus diesem Grund wird bei Würth Elektronik eiSos darauf geachtet, dass während der Messung die Wärmekopplung des Bauteils zur Umgebung möglichst gering ist. Abbildung 2 zeigt eine Vergleichsmessung mit verschiedenen Kontaktierungsmöglichkeiten einer Spule.




Contacting The Inductor		$\Delta T @ 9 A$
<ul style="list-style-type: none"> <li>- WE-LHMI 7030</li> <li>- 74437346220</li> <li>- inductor on wires</li> <li>- huge clamps</li> </ul>		30,9 K
<ul style="list-style-type: none"> <li>- WE-LHMI 7030</li> <li>- 74437346220</li> <li>- inductor on wires</li> <li>- small clamps</li> </ul>		35,8 K
<ul style="list-style-type: none"> <li>- WE-LHMI 7030</li> <li>- 74437346220</li> <li>- inductor on PCB</li> <li>- recommended pad design</li> </ul>		40,0 K

Abbildung 2: Kontaktierungsmöglichkeiten im Vergleich

Für diese Vergleichsmessung wird die Würth Elektronik eiSos Spule 74437346220 der Serie WE-LHMI in der Bauform 7030 verwendet, und ein Strom von 9 A eingepreßt. Die Art der Kontaktierung beeinflusst das Messergebnis deutlich. Je mehr Masse die Kontakte aufweisen, umso mehr Wärme kann über die Kontakte abgegeben werden und desto geringer ist die relative Temperaturänderung der Spule. Das erste Beispiel aus der Vergleichsmessung zeigt, dass beispielsweise eine WE-LHMI der Baugröße 7030 sich nur um 30,9 K erwärmt, wenn die Spule zur Kontaktierung an Drähte gelötet und über große Prüfklemmen kontaktiert wird. Bei kleineren Klemmen steigt bei gleichem Strom die Temperatur um 35,8 K an. Diese Art der Kontaktierung ist jedoch nicht praxisnah. Würth Elektronik eiSos empfiehlt in ihren Datenblättern für jede Spule ein Pad-Design, welches als Grundlage für solche Messungen dient. Um während der Messung den Standard in der Industrie nachzubilden, wird als Trägermaterial FR 4 mit 1,5 mm Stärke und 35 µm Kupfer, chemisch vergoldet verwendet. Die Messung des Nennstroms wird in Vierpoltechnik durchgeführt, damit die Anbindung der Stromversorgung möglichst niederohmig gehalten wird. Zusätzlich wird so eine hohe Erwärmung der Messleitungen verhindert.

## APPLICATION NOTE

### Der Schein vom hohen Nennstrom



Abbildung 2 zeigt mit der dritten Kontaktierungsmöglichkeit eine Leiterplatte, welche exemplarisch für die Spule der Produktfamilie WE-LHMI und der Bauform 7030 verwendet wird. Bei einem Strom von 9 A erwärmt sich die Spule um 40 K. Diese Vergleichsmessung zeigt, dass der Temperaturunterschied bis zu 9,1 K betragen kann. In der Regel treffen viele Hersteller von Spulen keine Aussage über das Kontaktierungsverfahren, so dass ihr Messverfahren nicht reproduziert werden kann. Werden jedoch zwei baugleiche Spulen unterschiedlicher Hersteller mit demselben Mess- und Kontaktierungsverfahren gemessen und verglichen, so sollten gleiche Ergebnisse erzielt werden.

### 5. Spulen im Vergleich

Im Folgenden wird eine Würth Elektronik eiSos Spule der Produktfamilie WE-LHMI mit einer baugleichen Spule eines Marktbegleiters verglichen. Beide Spulen werden aus Runddraht gefertigt und in einem Kern aus Eisenpulvermischung verpresst. In der Tabelle werden die Eigenschaften gegenübergestellt.

Artikelnummer	Bauform	Induktivität L	Nennstrom $I_R$	Gleichstromwiderstand $R_{DC Typ}$
744373460082	7030	0,82 $\mu$ H	<b>9 A</b>	6,7 m $\Omega$
Marktbegleiter	7030	0,82 $\mu$ H	<b>13 A</b>	6,7 m $\Omega$

Tabelle mit Parameter der beiden Spulen im Vergleich

Interessanterweise unterscheidet sich der Nennstrom zwischen den beiden Spulen um 4 A. Theoretisch kann bei gleicher Bauform und gleichem RDC keine Differenz im Nennstrom vorliegen. Versuchsweise werden beide Spulen gemäß dem Messaufbau der Würth Elektronik eiSos einer Messung des Nennstroms unterzogen und verglichen. Bei beiden Messungen wird derselbe Messaufbau, dasselbe Kontaktierungsverfahren und dieselbe Messplatine verwendet. In Abbildung 3 ist deutlich zu sehen, dass die Kennlinie der Vergleichsspule (in blau) nahezu identisch mit der Kennlinie der WE-LHMI 744373460082 (rot gestrichelt) ist.

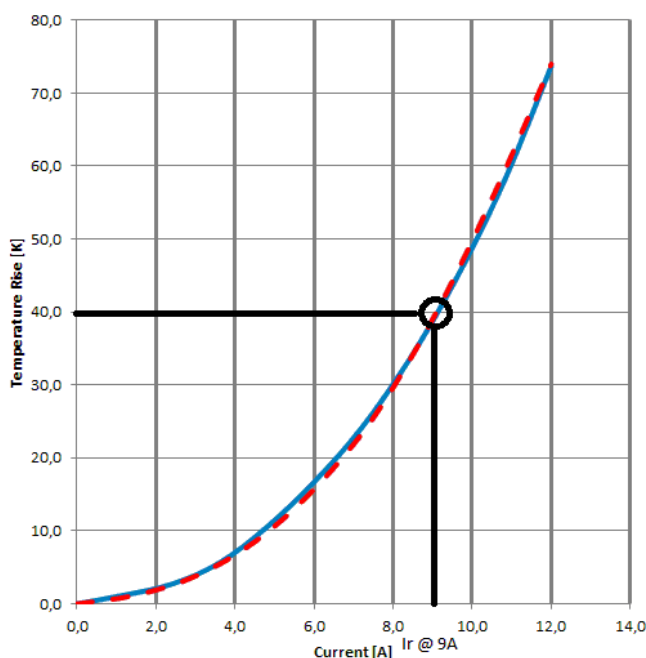


Abbildung 3: Kennlinien der Nennströme beider Spulen

## APPLICATION NOTE

### Der Schein vom hohen Nennstrom



Abbildung 4 zeigt die Temperatur beider Spulen, gemessen mit einer Wärmebildkamera. Die Temperatur der linken Spule, der WE-LHMI beträgt bei einem Nennstrom von 9 A abzüglich der Raumtemperatur 40,1 C°. Höhere Nennströme können mit Würth Elektronik eiSos Spulen der Produktfamilie WE-MAPI erzielt werden.

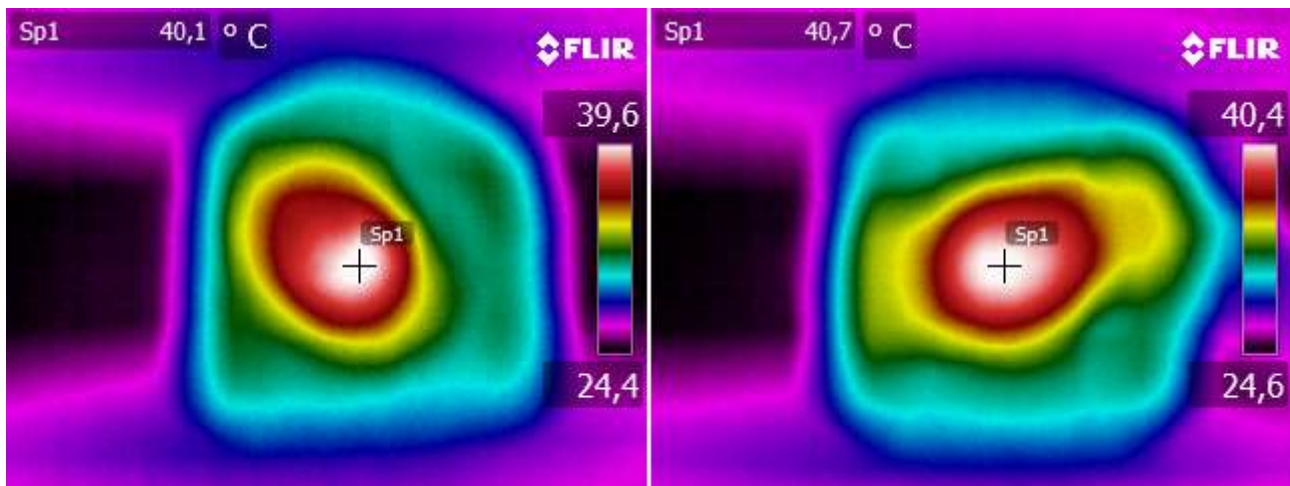


Abbildung 4: Wärmebilder beider Spulen

Im Rechten Teil der Abbildung 4 wird die Temperatur der anderen Spule bei selben Nennstrom abzüglich der Raumtemperatur gezeigt. Sie beträgt 40,7 C°. Die Differenz beider Temperaturmessungen beträgt nur 0,6 K und wird auf Bauteiltoleranzen zurückgeführt. Beide Kennlinien zeigen bei einer Eigenerwärmung von 40 K einen Nennstrom von 9 A. Zusätzlich liegt bei beiden Spulen und gleicher Bauform der gleiche Widerstandswert von 6,7 mΩ zugrunde. Resultierend stellt sich bei beiden Spulen die gleiche Verlustleistung „ $P_{DCLoss}$ “ ein:

$$P_{DCLoss} = I^2 * R_{DC}$$

$$P_{DCLoss} = 9^2 A * 6,7 m\Omega = 0,5427 W$$

$$P_{DCLoss} = 0,5427 W$$

Diese Tatsache weist darauf hin, dass bei dem anderen Bauteil der Nennstrom mit einem Messverfahren ermittelt wird, bei dem eine große Wärmeabfuhr vorliegen muss. Die geringen Abweichungen in der Kennlinie werden durch Bauteiltoleranzen hervorgerufen. Sie treten selbst beim Vergleich von baugleichen Spulen auf, die aus derselben Serie, desselben Herstellers stammen.

## 6. Interpretation der Ergebnisse

Die Untersuchung der messtechnischen Ermittlung des Nennstroms zeigt, dass der Nennstrom während der Messung von äußeren Einflüssen abhängig ist. Eine hohe Temperaturabfuhr kann das Messergebnis verfälschen und zu unerklärbar hohen Nennströmen führen. Werden Spulen der Würth Elektronik eiSos mit anderen Spulen verglichen, so sollte darauf geachtet werden, dass die Gehäuseform und der RDC gleich sind. Hierbei wird vorausgesetzt, dass der Nennstrom bei einer gleichen Eigenerwärmung ermittelt wird. Liegt die gleiche Bauform mit gleichem RDC vor, so ist der Nennstrom beider Spulen gleich.

# APPLICATION NOTE

## Der Schein vom hohen Nennstrom



### IMPORTANT NOTICE

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG and its subsidiaries and affiliates (WE) assume no liability for application assistance of any kind. Customers may use WE's assistance and product recommendations for their applications and design. The responsibility for the applicability and use of WE Products in a particular customer design is always solely within the authority of the customer. Due to this fact it is up to the customer to evaluate, where appropriate to investigate and decide whether the device with the specific product characteristics described in the product specification is valid and suitable for the respective customer application or not.

Customers are cautioned to verify that data sheets are current. The current data sheets can be downloaded at [www.we-online.com](http://www.we-online.com). Customers shall strictly observe any product-specific notes, cautions and warnings. WE reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services.

WE does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which WE products or services are used. Information published by WE regarding third-party products or services does not constitute a license from WE to use such products or services or a warranty or endorsement thereof.

WE products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support). It has to be clearly pointed out that the possibility of a malfunction of electronic components or failure before the end of the usual lifetime cannot be completely eliminated in the current state of the art, even if the products are operated within the range of the specifications. In certain customer applications requiring a very high level of safety and in which the malfunction or failure of an electronic component could endanger human life or health Customers must ensure that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of WE products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by WE. Further, Customers shall fully indemnify WE against any damages arising out of the use of WE products in such safety-critical applications. WE products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific WE products are designated by WE as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Customers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, WE will not be responsible for any failure to meet such requirements.

### USEFUL LINKS

- Application Notes: <http://www.we-online.com/app-notes>  
Component Selector: <http://www.we-online.com/component-selector>  
Toolbox: <http://www.we-online.com/toolbox>  
Product Catalog: <http://katalog.we-online.de/en/>

### CONTACT INFORMATION

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.com>