

APPLICATION NOTE

Der Schein vom hohen Nennstrom



ANP019 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 „ΔT“ des Bauteils:

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

Die Eigenerwärmung resultiert aus den abfallenden Verlustleistungen „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 wiederspiegelt.

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

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 „ρ“ ist der Widerstand eines Kupferdrahtes „R_{DC}“ umso höher, je länger die Länge des Drahts „l“ und desto kleiner der Querschnitt „A“ ist:

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

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}“.

$$P_{DCLoss} = I^2 \cdot R_{DC}$$

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.

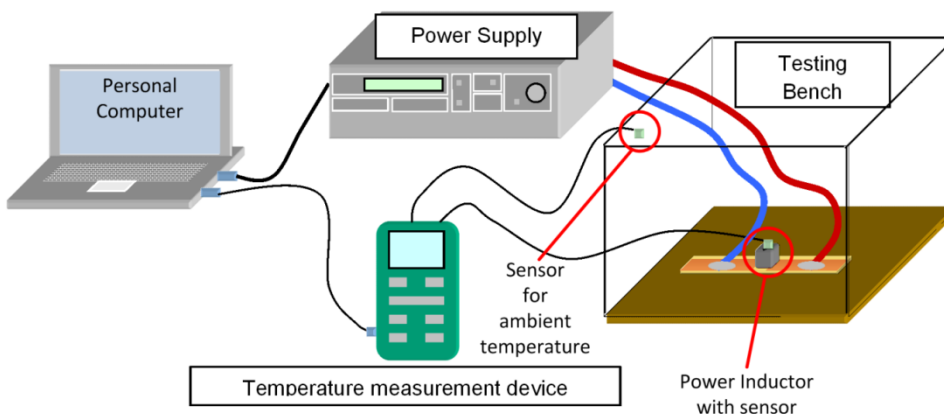


Abbildung 1: Messaufbau zur Ermittlung des Nennstroms

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.

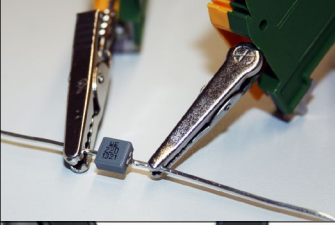
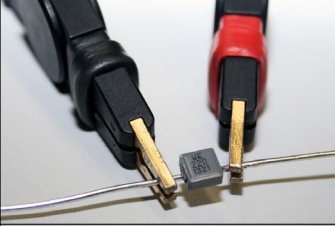
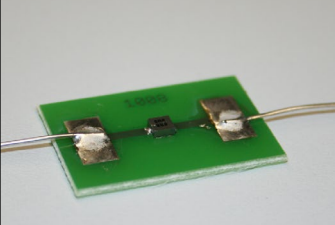
Contacting The Inductor		$\Delta T @ 9 A$
<ul style="list-style-type: none"> - WE-LHMI 7030 - 74437346220 - inductor on wires - huge clamps 		30,9 K
<ul style="list-style-type: none"> - WE-LHMI 7030 - 74437346220 - inductor on wires - small clamps 		35,8 K
<ul style="list-style-type: none"> - WE-LHMI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

Abbildung 2: Kontaktierungsmöglichkeiten im Vergleich

Für diese Vergleichsmessung wird die Würth Elektronik eiSos Spule [744 373 460 082](https://www.wuerth-elektronik.com/74437346082) 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}
744 373 460 082	7030	0,82 µH	9 A	6,7 mΩ
Marktbegleiter	7030	0,82 µH	13 A	6,7 mΩ

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 werden 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 [744 373 460 082](#) (rot gestrichelt) ist.

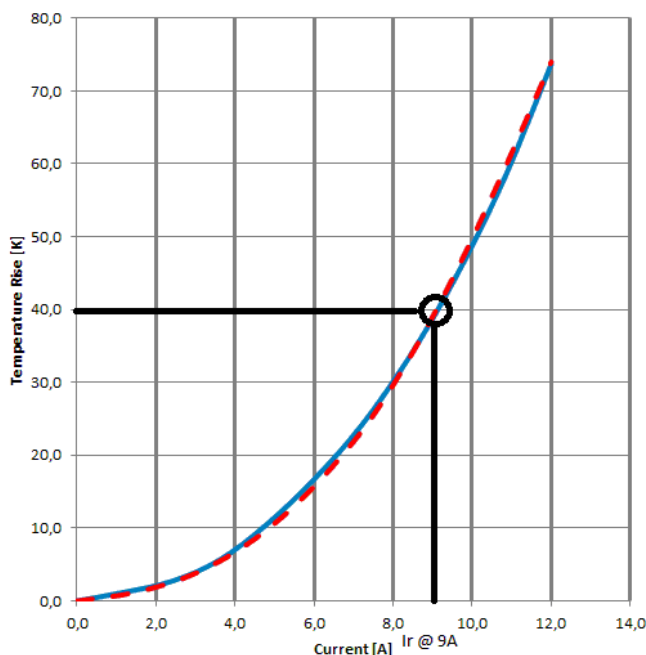


Abbildung 3: Kennlinien der Nennströme beider Spulen

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.

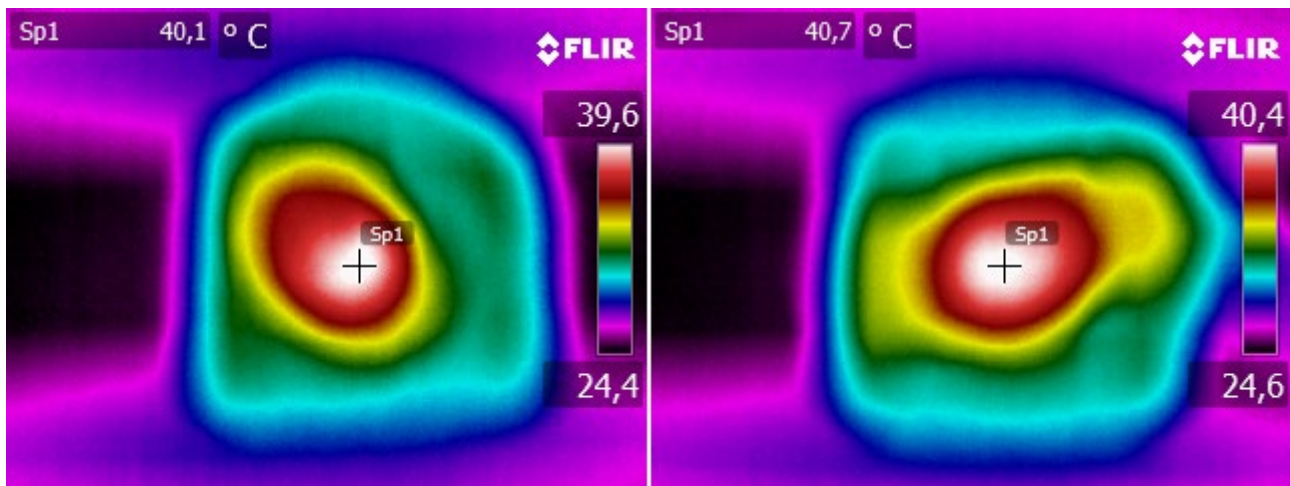


Abbildung 4: Wärmebilder beider Spulen

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:

$$P_{DCLoss} = I^2 \cdot R_{DC}$$

$$P_{DCLoss} = (9 \text{ A})^2 \cdot 6,7 \text{ m}\Omega = 0,5427 \text{ W}$$

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



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 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

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