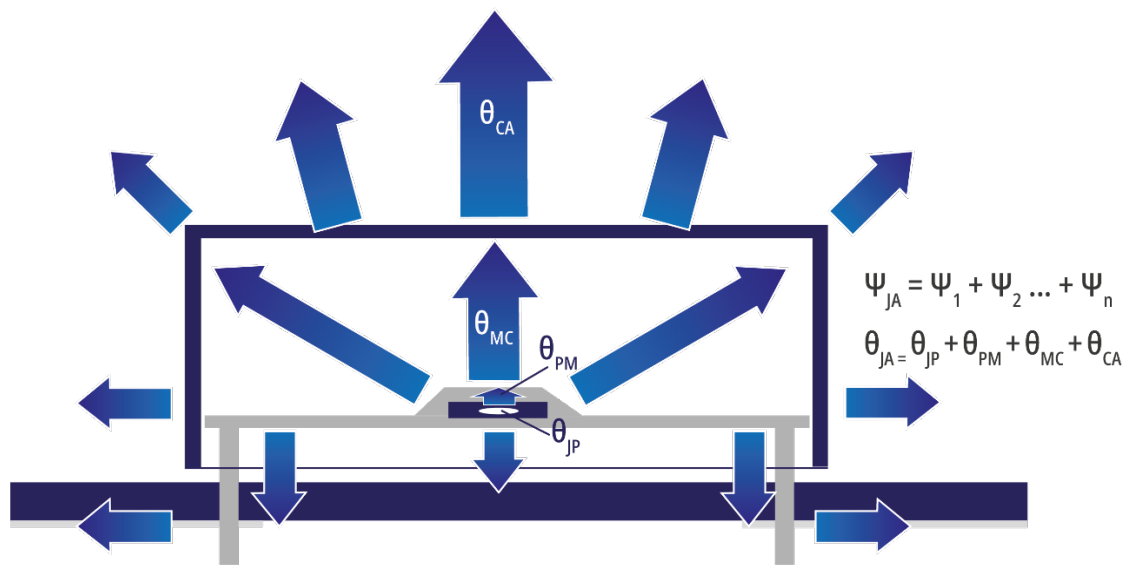


RECOM

Whitepaper

Psi versus Theta



Mai 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Einführung.....	II
Thermische Impedanz, Θ	III
Thermische Charakterisierungszahl, ψ	IV
Experimentelle Messung von Θ/ψ (Beispiel für einen 2“x1“-Wandler mit Metallgehäuse) ...	V
Fazit.....	VII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell der thermischen Impedanz des Theta-Übergangs in die Umgebung...	III
Abbildung 2: Mehrfach-Wärme pfadmodell der Psi-Thermal-Charakterisierung	IV
Abbildung 3: Übertemperaturkurve für einen 2“x1“-Wandler	V
Abbildung 4: Verlustleistung vs. Umgebungstemperatur	VI
Abbildung 5: Diagramm der gemessenen thermischen Impedanz in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur	VII

Einführung

Eine Frage, die dem technischen Support von RECOM oft gestellt wird, lautet: „Was ist die maximale Betriebstemperatur?“ für einen bestimmten DCDC Wandler. Obwohl es mehrere Möglichkeiten gibt, dies zu bestimmen, ist es immer noch nicht einfach, diese Frage genau zu beantworten. Das liegt nicht daran, dass wir nicht wissen, wie wir unsere Produkte charakterisieren können, sondern daran, dass die endgültige Antwort von vielen verschiedenen Faktoren abhängt, von denen viele mit dem Umrichter selbst nichts zu tun haben.

Alle im Betrieb befindlichen Stromrichter erzeugen Wärme (verursacht durch die interne Verlustleistung), die aus dem Gehäuse an die Umgebung abgegeben werden muss, damit der Stromrichter nicht überhitzt. Typische „Hot-Spot“-Wärmequellen sind die Leistungshalbleiter wie Transistoren und Dioden, die Sperrschichtverluste aufweisen, induktive Komponenten wie Transformatoren und Induktoren, die sowohl DC- als auch AC-Verluste aufweisen, und Leistungswiderstände, die in Beschaltungen und Filtern mit I^2R -Verlusten verwendet werden. Der Entwickler muss diese Verluste minimieren, um den Wirkungsgrad des Stromrichters zu maximieren, aber sie sind unvermeidbar.

Die Art und Weise, wie die interne Wärme aus einer heißen Sperrschicht innerhalb eines Halbleitergehäuses entweicht, hängt ebenfalls von vielen Faktoren ab. Der kürzeste „Weg des geringsten Widerstands“ führt typischerweise von der Sperrschicht zur Oberseite des Gehäuses. Von dort kann die Wärmeenergie entweder durch Konvektion, Leitung oder Strahlung an die Umgebung entweichen. Darüber hinaus kann es auch Wärmeleitungswege zur Umgebung über eine Grundplatte mit Kühlkörpern oder Gap-Pads zum Gehäuse, über die Befestigungsstifte zur Leiterplatte selbst oder zu den Seiten- oder Bodenflächen des Gehäuses geben.

Je nach Aufbau können sich sogar die Ergebnisse von thermischen Messungen erheblich unterscheiden. Was ist z. B. die Kühlung durch „freie Luftkonvektion“? Ist der kühlende Luftstrom vollständig und ungehindert? Oder kann es zu einem lokalen Wärmestau kommen, verursacht durch eng positionierte Komponenten, benachbarte Platinen, die den Luftstrom blockieren, oder schlecht belüftetes Gehäuse? Werden die thermischen Messungen außerdem mit „stiller Luft“ mit null LFM oder mit freier Luftbewegung (20 LFM) oder mit forcierter Luftkühlung (100 LFM) durchgeführt?

Bei platinenmontierten Umrichtern können noch weitere Aspekte eine Rolle spielen, z. B. ob die Platine horizontal oder vertikal montiert ist, ob die Platine aus Glasfaser (FR4) besteht oder ein anderes Substrat verwendet oder welche Kupferstärke für die Leiterbahnen verwendet wird. All diese Faktoren können die thermische Leistung der auf der Platine montierten Teile beeinflussen.

Thermische Impedanz, Θ

Der klassische Weg zur Berechnung der maximalen Betriebstemperatur ist die Verwendung des Wertes der thermischen Impedanz (Theta oder das Θ Symbol). Dieser Wert definiert im Wesentlichen den Weg des geringsten Widerstandes, den die von einer heißen Stelle, z. B. der Sperrschicht eines Schalttransistors, erzeugte Wärme durch Wärmeleitung durch den Wandler hindurch zurücklegt und dann von der Oberseite weg an die Umgebung konvektiert.

Diagrammatisch kann er als eine Reihe der thermischen Impedanzen dargestellt werden: Θ_{JP} zwischen der Sperrschicht und dem Transistorgehäuse; Θ_{PM} zwischen dem Gehäuse und dem Vergussmaterial; Θ_{MC} zwischen dem Vergussmaterial und dem Kunststoff- oder Metallgehäuse und schließlich Θ_{CA} zwischen dem Gehäuse und der Umgebung.

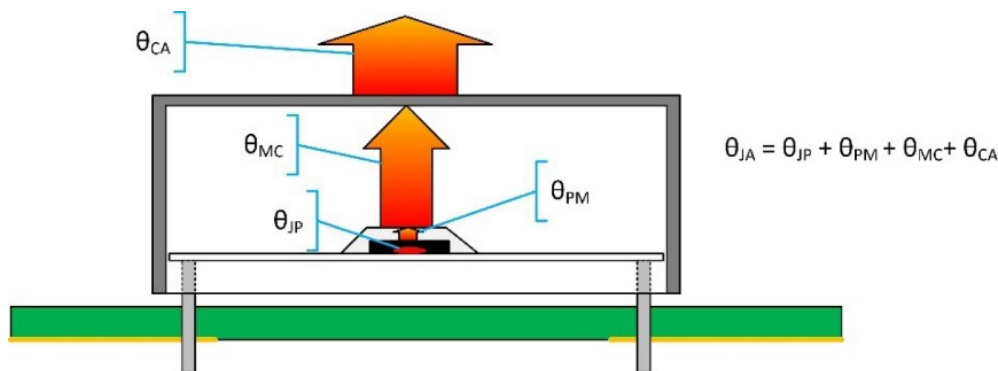


Abbildung 1: Modell der thermischen Impedanz des Theta-Übergangs in die Umgebung

Theoretisch wäre es möglich, all diese verschiedenen Theta-Werte herauszufinden oder abzuschätzen, indem man die Spezifikationen der verschiedenen im Bauteil verwendeten Materialien studiert; in der Praxis ist es jedoch einfacher, den im Datenblatt des Herstellers angegebene Gesamtwert der thermischen Impedanz zu verwenden, um die maximale Betriebsumgebungstemperatur zu berechnen.

Schritt 1: Berechnen Sie die interne Verlustleistung, P_{diss} :

$$\text{Gl. 1} \quad P_{diss} = P_{in} - P_{out} = \frac{P_{out}}{\eta} - P_{out}$$

Dabei ist η der Wirkungsgrad des Umrichters (verwenden Sie die im Datenblatt angegebene Zahl oder, noch besser, verwenden Sie das Wirkungsgrad/Last-Diagramm, um den Betriebswirkungsgrad bei der verwendeten Last zu ermitteln).

Schritt 2: Berechnen Sie die Gehäuseübertemperatur, T_{over}

$$\text{Gl. 2} \quad T_{over} = R_{th} \cdot P_{diss}$$

Dabei ist R_{th} der im Datenblatt angegebene Gesamtwert der thermischen Impedanz (in Kelvin pro Watt)

Schritt 3: Berechnen Sie die maximale Betriebsumgebungstemperatur:

Gl. 3 $T_{amb} = T_{case,max} - T_{over}$

Wobei $T_{case,max}$ die im Datenblatt angegebene maximale Gehäuse- (oder Grundplatten-) Temperatur ist.

Zum Beispiel aus dem Datenblatt des RBBA3000-50:

Nehmen Sie den RBBA3000-50 mit 48V Eingangsspannung, 24V Ausgangsspannung, 50A Ausgangsstrom:

Wie hoch ist die maximale Betriebsumgebungstemperatur?

$$T_{base,max} = 100^{\circ}\text{C}, P_{out} = 1200\text{W}, \eta = 96\%, R_{th} = 1.2\text{K/W}$$

$$\text{Aus Gl.1: } P_{diss} = \frac{1200}{0.96} - 1200 = 50\text{W}$$

$$\text{Aus Gl.2: } T_{over} = 1.2 \times 50 = 60\text{K}$$

$$\text{Aus der Gl. 3: } T_{amb} = 100 - 60 = +50^{\circ}\text{C}.$$

Thermische Charakterisierungszahl, ψ

Die thermische Charakterisierungszahl (Psi oder das Symbol ψ) trägt der Tatsache Rechnung, dass die thermische Impedanz des Weges des geringsten Widerstandes nicht wirklich repräsentativ für die tatsächliche Leistung vieler Komponenten ist. Dies liegt daran, dass es in der Regel mehrere Wege gibt, über die Wärme von einem Hot-Spot abgeführt werden kann - nicht zuletzt über die Pins. In einigen Wandlerdesigns können bis zu 30 % der internen Wärme über die Pins abgeführt und anschließend über die Leiterbahnen und Kupferebenen an die Umgebung abgegeben werden. Daher sind Umrichter in 3DPP® -Bauweise so konstruiert, dass der Großteil der Wärme über die Kupferpads an der Unterseite des Umrichters abgeleitet wird.

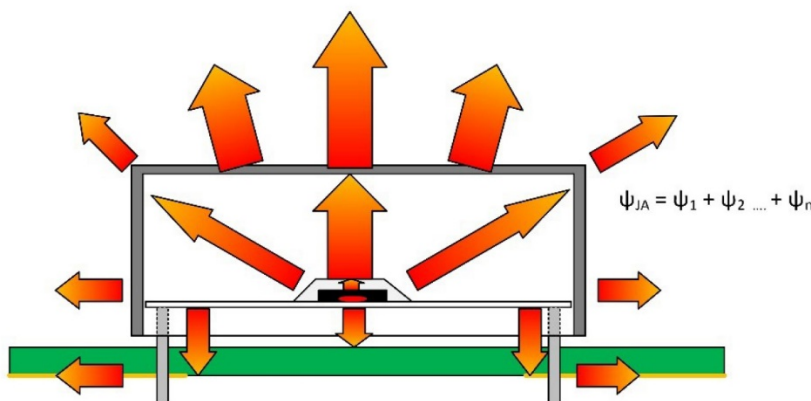


Abbildung 2: Mehrfach-Wärmepfadmodell der Psi-Thermal-Charakterisierung

Im Allgemeinen ist ψ_{JA} niedriger als Θ_{JA} , kann aber je nach thermischer Auslegung des Umrichters und des Leiterplattenlayouts auch deutlich niedriger sein.

RECOM gibt keine ψ_{JA} -Werte in den Datenblättern an, da der Wert ohne Berücksichtigung der Faktoren, die sich aus der Leiterplatte des Kunden und der Art der Montage und Nutzung der Anwendung ergeben, bedeutungslos wäre.

Wenn wir jedoch aus Erfahrung oder aus der Konstruktion des Umrichters wissen, dass mehrere thermische Pfade auftreten, können wir in einer Wärmekammer testen, um einen thermischen Impedanzwert zu bestimmen, der näher am thermischen Kennwert liegt. Auf diese Weise kann die gleiche Berechnung wie oben beschrieben verwendet werden, auch wenn mehrere thermische Pfade vorhanden sind.

Experimentelle Messung von Θ/ψ (Beispiel für einen 2“x1“-Wandler mit Metallgehäuse)

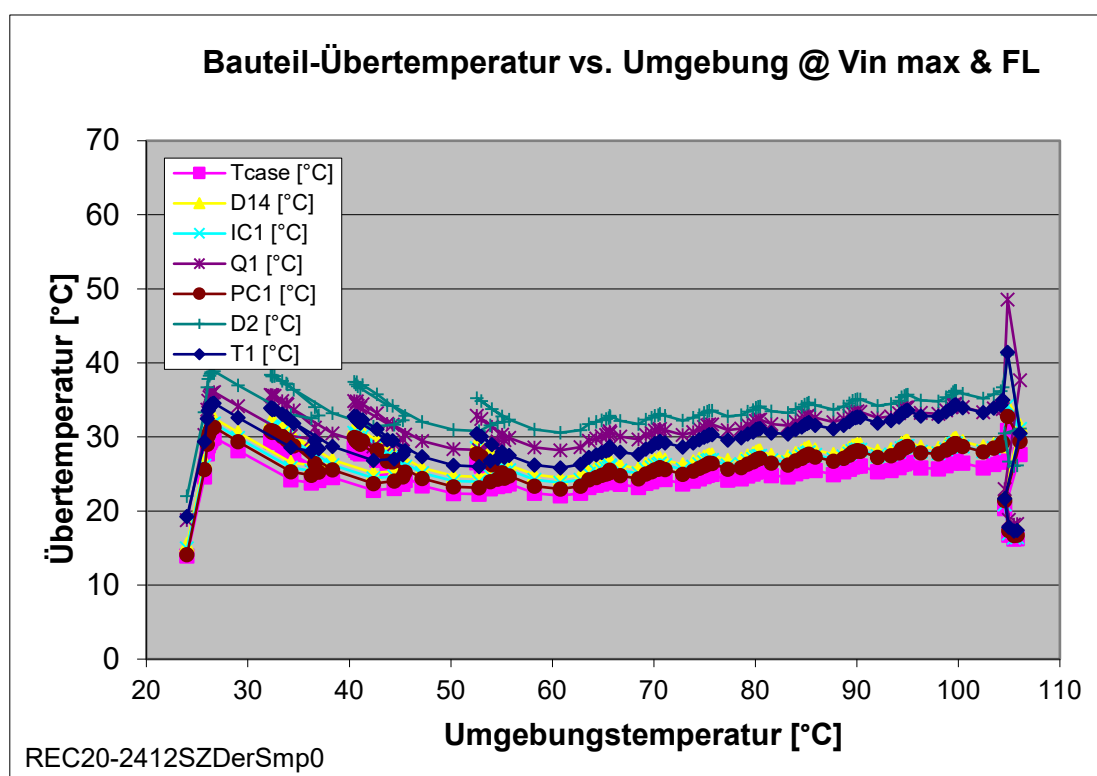


Abbildung 3: Übertemperaturkurve für einen 2“x1“-Wandler

In diesem Testverfahren wurden Auslegungsgrenzen für die maximale Betriebstemperatur der Komponenten definiert - als Faustregel für Halbleiter gilt zum Beispiel, dass deren Gehäuseoberflächentemperatur 120-125°C nicht überschreiten sollte, die Leiterplatte typischerweise 120°C aushält, während die Kerntemperatur des Transformators je nach Typ 130-150°C nicht überschreiten darf. Eine Open-Frame-Version des Wandlers wurde bei Raumtemperatur mit einer Wärmebildkamera kontaktlos getestet, um die Gehäusetemperatur als Referenzpunkt zu erfassen. An allen internen Bauteilen, von denen bekannt ist, dass sie im Betrieb warm werden (ICs, Dioden, Transistoren, Trafokern, etc.),

wurden anschließend feine Thermoelemente angebracht. Dabei ist es wichtig, möglichst feine Thermodrähte zu verwenden, damit die Drähte selbst nicht als Kühlkörper wirken. Zur Überprüfung auf Richtigkeit wurde die Messung der Gehäusetemperatur mit den angeschlossenen Thermoelementen wiederholt, um eventuelle Unterschiede zur Referenzmessung mit der Wärmebildkamera auszugleichen. Der Wandler wurde danach vergossen, um ein repräsentatives Muster des Produktionsteils zu erhalten.

Die Übertemperatur zwischen den Hot Spots und der Umgebung wurde gemessen, indem die Umgebungstemperatur langsam in 5°C-Schritten bis zum Grenzwert erhöht wurde (definiert als die maximale Umgebungstemperatur, bei der eine der Schlüsselkomponenten ihre maximal zulässige Temperatur überschreitet), wobei nach jedem Schritt ausreichend Zeit zur Stabilisierung der internen Temperaturen gewährt wurde. Die Betriebsbedingungen stellten den ungünstigsten Fall (zB max. Vin und Vollast) dar und das D.U.T. (device under test) wurde in einem zugluftfreien Gehäuse untergebracht, um nur Konvektionskühlung zu gewährleisten.

Während dieses Testverfahrens wurde auch der gemessene Wirkungsgrad des Umrichters überwacht und aufgezeichnet. Mit Hilfe von Gleichung 1 von oben konnte die interne Verlustleistung berechnet und aufgetragen werden:

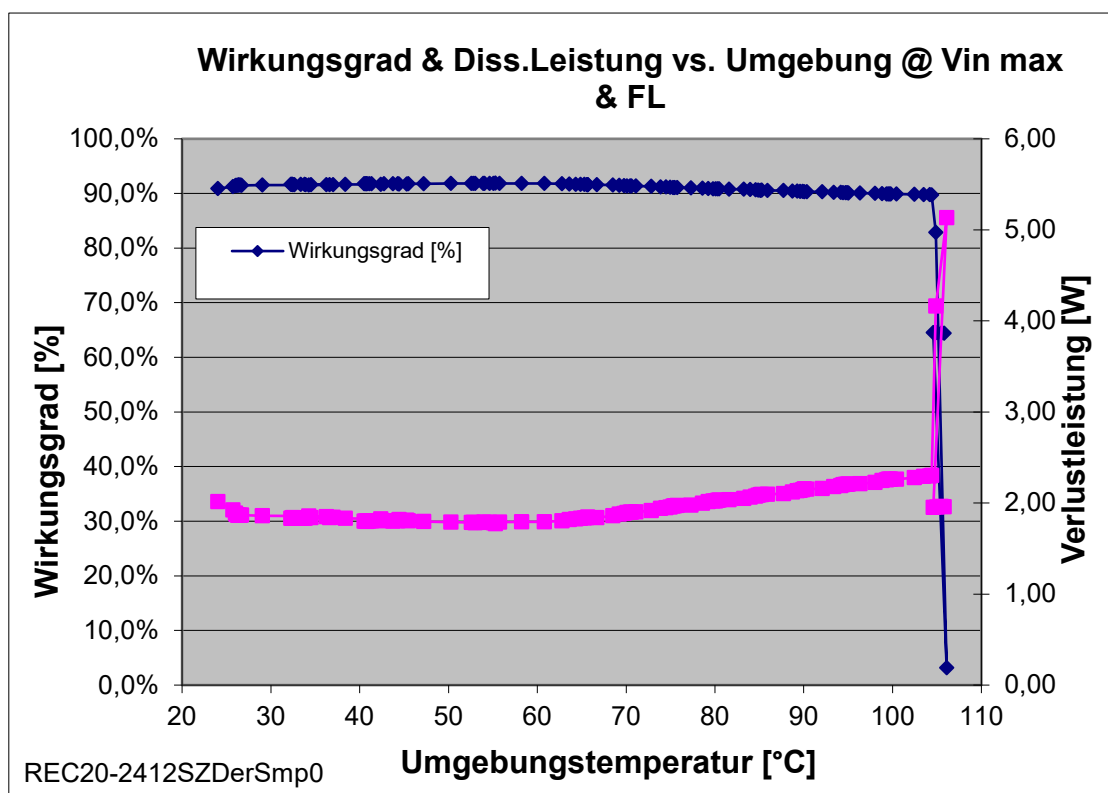


Abbildung 4: Verlustleistung vs. Umgebungstemperatur

Nun kann Gleichung 2 umgeschrieben werden, um die gemessene thermische Impedanz R_{th} zu zeigen, die nahe an der thermischen Charakterisierungszahl ψ_{JA} liegt:

$$\text{Gl. 4 } R_{th} = \frac{P_{diss}}{T_{over}}$$

Die graphische Darstellung dieses Ergebnisses ergibt einen gemessenen R_{th} gegen die Umgebungstemperatur (der gezackte Effekt ist auf die Temperatursprünge zurückzuführen – thermische Stabilisierung):

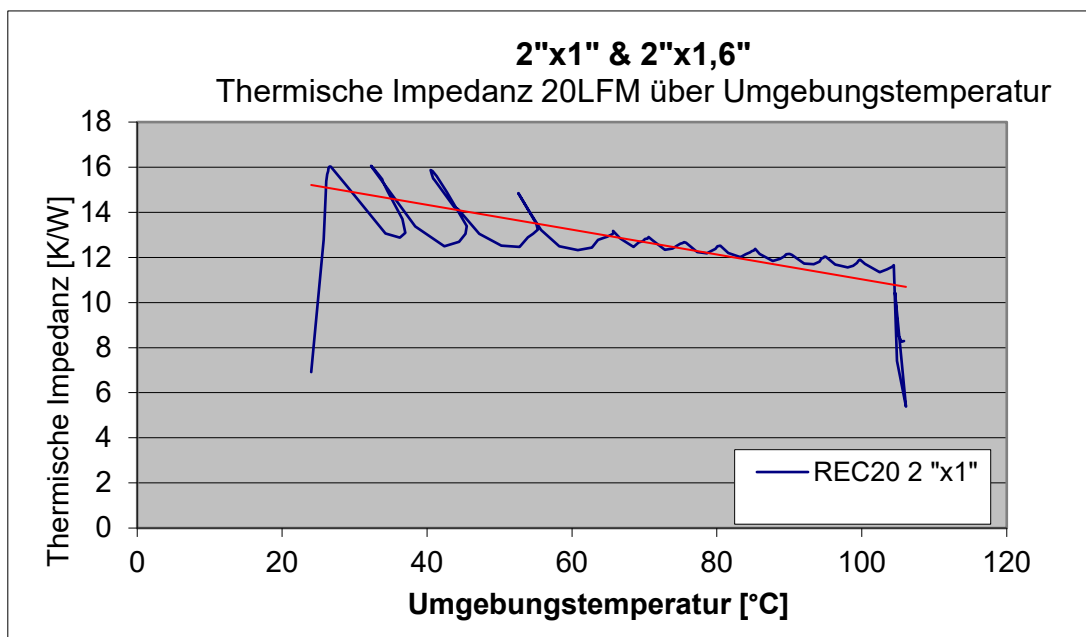


Abbildung 5: Diagramm der gemessenen thermischen Impedanz in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

Der im Datenblatt des REC20-SZ angegebene R_{th} -Wert ist der gemittelte Wert (dargestellt durch die rote Linie) bei der maximalen Betriebsumgebungstemperatur von $+85^{\circ}C = 12^{\circ}K/W$. Wie aus diesen Ergebnissen ersichtlich ist, hat der Wandler bei einer Umgebungstemperatur von $105^{\circ}C$ aufgehört zu arbeiten, so dass der im Datenblatt angegebene Maximalwert von $+85^{\circ}C$ eine gesunde Sicherheitsspanne aufweist.

Fazit

Die Vorhersage des tatsächlichen thermischen Verhaltens eines Bauteils in einer Anwendung ist schwierig im Voraus zu berechnen; es gibt verschiedene Wärmepfadmodelle und die verfügbaren Daten können auf unterschiedlichen Testregimen basieren. Die Verwendung von Datenblatt- R_{th} -Werten zur Bestimmung der maximalen Betriebstemperatur auf der Grundlage der internen Verlustleistung ist eine Möglichkeit zur Vereinfachung der Berechnung, kann aber keine Erfolgsgarantie sein - es sind einfach zu viele Variablen

beteiligt, um die einfache Frage „Was ist die maximale Betriebstemperatur?“ mit einer einfachen Antwort zu beantworten.

In der Praxis müssen die meisten Stromrichter jedoch nicht ständig mit der ungünstigsten Eingangsspannung bei maximaler Last und maximaler Betriebstemperatur betrieben werden, so dass die Verwendung des R_{th} -Wertes zur Berechnung des Gehäuse- oder Grundplatten-Übertemperaturwertes ein nützlicher Anhaltspunkt ist, um einigermaßen sicher zu sein, dass der Stromrichter im normalen Betrieb nicht überhitzt.

Weitere Lektüre: *'Some Like It Hot: Worauf man bei der thermischen Optimierung von Schaltnetzteilen achten sollte.'* RECOM

Steve Roberts

Innovationsmanager, RECOM Power