

Optimierte Halbleiterkühlung

Wärmemanagement ist das A und O für eine lange Lebensdauer

Die richtige Auslegung der Kühlung verlängert die Lebensdauer der Halbleiter und spart Kosten. Für eine lange Lebensdauer und eine zuverlässige Funktionsweise der Elektronik muss der Entwickler die Halbleitertemperatur bestimmen. Die Platzierung der Halbleiter auf dem Kühlkörper spielt dabei eine zentrale Rolle.

» Tobias Hofer

Für die Bestimmung der Halbleitertemperatur muss die Temperatur des Kühlkörpers bekannt sein. Die Wärmequellen sind in der Regel nicht homogen über die Oberfläche des Kühlkörpers verteilt. Somit muss die Wärmeverteilung in Abhängigkeit der Position der Wärmequellen berechnet werden. Zur Kühlung werden die Halbleiter auf einen Kühlkörper montiert. In der Regel werden die Bauteile direkt auf einer Seite des Kühlkörpers befestigt. Die gegenüber liegende Seite dient der Wärmeabfuhr. Diese kann durch natürliche oder aktive Konvektion erfolgen. Für ein kosteneffizientes Design muss der Kühlkörper möglichst klein sein. Durch die richtige Positionierung der Halbleiter auf dem Kühlkörper kann die maximale Halbleitertemperatur reduziert werden und/oder man kann einen kleineren Kühlkörper benutzen.

Wärmeleitgleichung zur Bestimmung der Temperaturverteilung

Für die Berechnung der Wärmeverteilung gibt es keine exakte analytische Methode. Ein Ansatz zur analytischen Berechnung der Wärmeverteilung ist die Annahme, dass der Kühlkörper eine Platte ist. Die eine Seite wird gekühlt durch Konvektion, auf der anderen Seite sind die Wärmequellen platziert. Die Seite mit den Wärmequellen ist thermisch isoliert. Eine weitere Annahme ist, dass alle Wärmequellen rechteckig sind. Mit diesen Vereinfachungen lässt sich die Wärmeverteilung analytisch berechnen.

Die Fouriersche Differenzialgleichung der Wärmeleitung beschreibt das instationäre dreidimensionale Temperaturfeld mit Wärme-

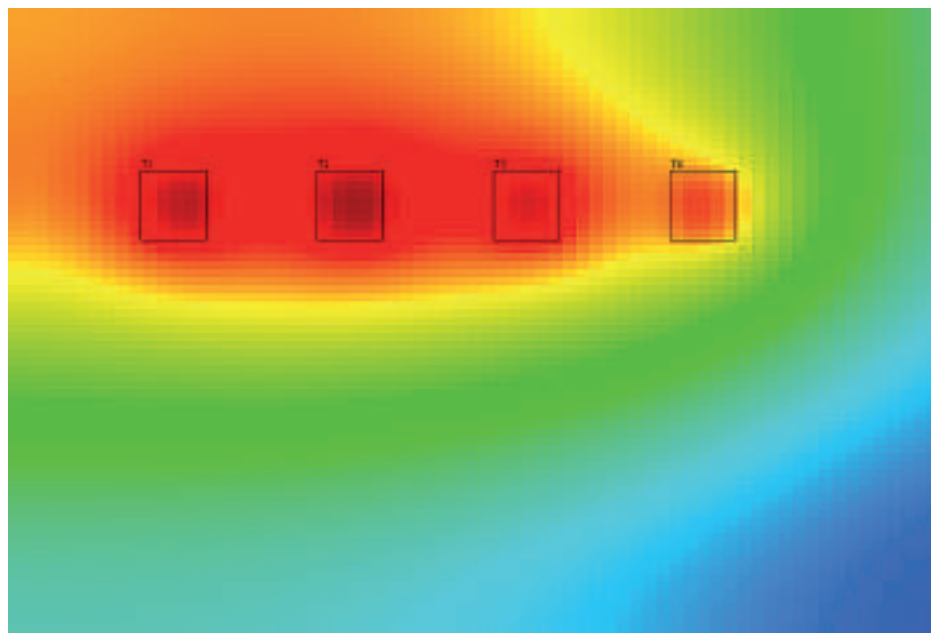


Bild 1: Kühlung nicht optimiert

quellen und Senken. Für den Fall einer konstanten Wärmeleitfähigkeit des Materials gilt:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dot{q} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

mit

$$\alpha = \text{Temperaturleitfähigkeit in } \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{q} = \text{Wärmestrom pro Volumen in } \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right]$$

Für die Berechnung der maximalen Halbleitertemperatur genügt es in der Regel, die stationäre Temperatur des Kühlkörpers zu be-

rechnen. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Kühlkörper gegenüber dem Halbleiter eine sehr hohe thermische Impedanz aufweist. In diesem Fall vereinfacht sich die Fouriersche Wärmeleitgleichung und geht in die folgende Form über (Poisson-Gleichung):

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dot{q} = 0$$

Der Term «Wärmestrom pro Volumen» hat zwei Teile, einer repräsentiert die Wärmequelle und einer die Wärmeabfuhr durch Konvektion. Der erste Teil ist nur aktiv innerhalb von den Abmessungen der Wärmequel-

le. Für die Berechnung der Wärmeverteilung sind Kenntnisse der Randbedingungen auf der Oberfläche erforderlich. In unserem Fall wird die Temperatur vom Kühlkörperrand gleich der Umgebungstemperatur angenommen. Die Poisson-Gleichung kann basierend auf einer zweifachen Fourier-Reihe gelöst werden.

Beispiel aus der Praxis

Für das elektronische Schalten von grossen Lasten mittels PWM wurde eine Elektronik mit 4 IGBT als Leistungsschalter entwickelt. Die 4 IGBT müssen eine Leistung von total 16 kW Schalten. Die daraus resultierende Verlustleistung pro IGBT wurde mit 25 W berechnet. Ohne Berücksichtigung der Wärmeverteilung würde der erste Ansatz zur Auslegung des Kühlkörpers wie folgt aussehen.

Parameter:

Verlustleistung pro IGBT

$$P_{V_{IGBT}} = 25 \text{ W}$$

Verlustleistung total

$$P_{V_{tot}} = 100 \text{ W}$$

maximale Umgebungstemperatur

$$\vartheta_{amb} = 40^\circ \text{ C}$$

Thermischer Widerstand Sperrschicht IGBT zu Kühlkörper

$$R_{th_{IGT}} = 0,8 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Sperrschicht Temperatur von 110 °C kann nun wie folgt berechnet werden:

$$R_{th_{tot}} = \frac{T_{IGT} - \vartheta_{amb} - P_{V_{IGBT}} R_{th_{IGT}}}{P_{V_{tot}}} = \frac{110^\circ \text{ C} - 40^\circ \text{ C} - 25 \text{ W} \times 0,8 \frac{\text{K}}{\text{W}}}{100 \text{ W}} = 0,5 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Platzierung der Halbleiter ist von zentraler Bedeutung

In einem ersten Schritt wurden die Halbleiter so platziert, wie es mechanisch und elektrisch am einfachsten zu realisieren war. Bild 3 zeigt den Aufbau. Gewählt wurde ein Kühlkörper mit den Abmessung 250×190 mm mit einer 5 mm dicken Bodenplatte und einem thermischen Widerstand von 0,5 K/W (laut Datenblatt). Zur Überprüfung der Auslegung wurde die Wärmeverteilung simuliert.

Autor

Tobias Hofer, El. Ing. Eureka, studierte Elektrotechnik an der ZBW St.Gallen, Fachrichtung Mikroprozessortechnik. Er arbeitet in der Entwicklung der Firma Negal Engineering GmbH. Bevor er im Jahre 2006 zu Negal kam, beschäftigte er sich mit Leistungselektronik im Bereich Antriebs- und Umrichtertechnik u. a. auch mit Simulationen des thermischen Verhaltens von Halbleitern mit grösseren Leistungen. tobias.hofer@negal.ch

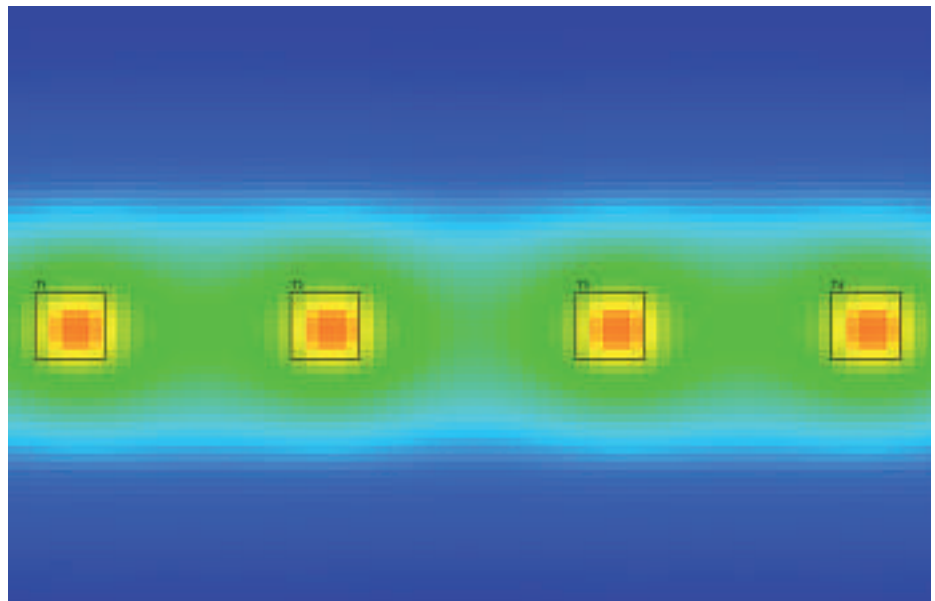


Bild 2: Kühlung optimiert



Bild 3: Aufbau für die erste thermische Auslegung

Aus der Simulation (Bild 1) erkennen wir eine maximale Kühlkörpertemperatur von 110 °C. Zu dieser Temperatur addiert sich nun die Temperaturdifferenz über dem thermischen Widerstand zwischen Sperrschicht IGBT und Kühlkörper von 20 °C. Daraus resultiert eine maximale Sperrschichttemperatur von 130 °C. Diese Temperatur ist 20 K höher als erwartet.

In einem zweiten Durchgang wurde die Wärmeverteilung mitberücksichtigt. Damit konnte die optimale Position der Halbleiter bestimmt werden. Die gefundene Lösung ist vom thermischen Standpunkt aus gesehen nicht die beste. Wie es in der Praxis häufiger vorkommt, ist die theoretisch beste Lösung nicht immer umsetzbar. In diesem Fall mussten aus Platzgründen die Halbleiter in einer Reihe platziert werden.

Mit der neuen Anordnung (Bild 2) haben wir eine maximale Kühlkörpertemperatur von 93 °C. Dazu addieren sich die 20 K zwischen IGBT und Kühlkörper. Daraus resultiert eine maximale Sperrschichttemperatur von exakt 113 °C.

Simulationsprogramm ist von Vorteil

Unter Berücksichtigung der Wärmeverteilung des Kühlkörpers kann die Kühlung der Halbleiter optimiert werden. Eine optimierte Kühlung hat eine niedrigere Sperrschichttemperatur zur Folge. Dadurch wird die Lebensdauer der Halbleiter erhöht, oder die Kosten für die Kühlung können reduziert werden durch den Einsatz eines kleineren Kühlkörpers.

Für die Optimierung ist es von Vorteil, ein geeignetes Simulationsprogramm zu haben. Das Programm muss nicht auf ein Grad genau rechnen. Häufig reicht es, einen qualitativen Vergleich z.B. der verschiedenen Anordnungen der Halbleiter zu erhalten. Damit lassen sich Optimierungen in einem frühen Stadium der Entwicklung realisieren. Ein entsprechendes Programm findet man auf der Homepage des Autors. <<

Infoservice

Negal Engineering
Hauptstrasse 6, 9030 Abtwil
Tel. 071 245 87 03
info@negal.ch, www.negal.ch