

Entwärmung

Wenig Platz, viel Kühlungsbedarf

Rechenzentren erzeugen mehr Wärme mit KI und High Computing, was eine noch leistungsstärkere Kühlstrategie erfordert, um Komponenten und Anlagen zu kühlen. Diese Entwärmung ist schwierig und erfordert Erfahrung im Kühlungsmanagement. Wie geht man vor?

VON HEINRICH CAP,
SENIOR-GESCHÄFTSFÜHRER
SEPA EUROPE GMBH



Der zunehmende Fokus auf noch höhere Rechenleistung prägt bereits die neue Gerätetechnik. Die im Schaltschrank oder Gehäuse erhitzte Luft wird mit energiesparenden und leistungsstarken EC-Lüftern abgesaugt und durch kühle Außenluft ersetzt. Elektronische Bauelemente mit sehr hoher Leistungsaufnahme und kleiner Wärmeübergangsfläche, sogenannte Hot Spots, müssen direkt und effektiv gekühlt werden. Die Festlegung des Kühlkonzeptes zur Kühlung von Leistungshalbleitern muss gemeinsam mit der Entwicklung des Geräts erfolgen. Nachträgliche Änderungen sind nur schwer oder gar nicht möglich. Sie verlängern die Entwicklungszeit und sind teuer. Bei der Auswahl oder Berechnung des Kühlkörpers für Komponentenkühlung sind wichtige Punkte zu beachten:

- Das Kühlsystem muss so bemessen sein, dass die maximal erlaubte Junction-Temperatur selbst bei möglichen Grenzbedingungen nie überschritten wird.
- Die Angabe des Wärmewiderstands in den Datenblättern allgemein einsetzbarer Standard-Kühlkörper kann nur zum Vergleich

mehrerer Kühlkörper herangezogen werden. Sie bezieht sich immer auf die optimal mögliche Wärmekopplung.

- Im praktischen Einsatz sind die zu kühlende Metalloberfläche des Halbleitergehäuses AHI und die Wärmeübergangsfläche des Kühlkörpers AHS nicht identisch; die zu kühlende (metallische) Fläche des Bauteils ist immer kleiner als die thermische Koppelfläche des Kühlkörpers. Der Kühlflächenfaktor (Cooling Surface Factor CSF = AHI/AHS), die Positionierung und Montage des Bauteils sind wichtige Faktoren, die die Kühlwirkung sehr stark beeinflussen können.
- So wie der Luftdruck mit steigender Höhe sinkt, verschlechtert sich die Kühlwirkung eines Kühlkörpers, zum Beispiel bei 3000 m auf nur 80 Prozent gegenüber Meereshöhe.
- Der Kühlkörper muss die abgestrahlte oder abgeblasene Wärme im zur Verfügung stehenden Raum (LxBxH) ohne Behinderung an die umgebende Luft abgehen können.
- Minimierung des Geräuschpegels anstreben. Es ist immer ein Lüfter mit den größtmöglichen Abmessungen und der niedrigsten Drehzahl oder mit temperaturabhängiger PWM-Drehzahlregelung zu wählen.
- Die Summe aller Wärmewiderstände im Kühlsystem bestimmt dessen Effektivität.
- Die Oberfläche des zu kühlenden Chips wird über ein thermisch gut leitendes Interface-Material TIM (Wärmeleitpasten oder -folien) mit der Oberfläche des Kühlkörpers verbunden. Dieses Material gleicht die Rauigkeit und die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten beider Oberflächen aus, isolierende Lufteinschlüsse werden weitgehend ver-

Anzeige

Smarte Elektronik
braucht smarte Gehäuse

OKW
GEHÄUSE
SYSTEME

**Robuste Gehäuse
für Ihre Sensorik:**

langlebig, sicher
und funktional!

Jetzt informieren...
www.okw.com

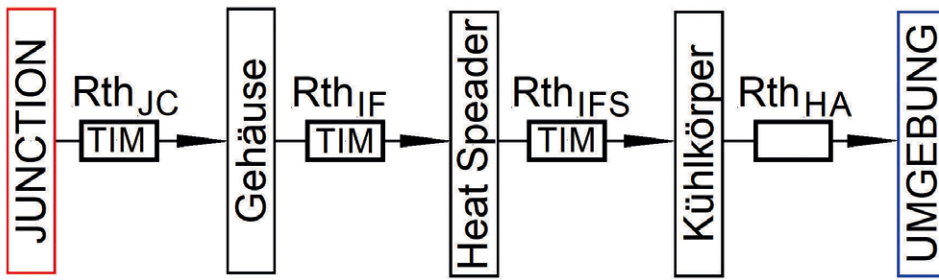


Bild 1: Reihenfolge von thermischen Widerständen eines Kühlsystems. (Bilder: Sepa Europe)

mieden. Besteht das TIM aus einer beidseitig klebenden Folie, wird der Kühlkörper an der metallischen Seite des Halbleitergehäuses fixiert/montiert. Der thermische Widerstand des Interface-Materials R_{thIF} ist zum thermischen Widerstand des Kühlkörpers R_{thHA} zu addieren.

Zwischen Halbleiterkristall und umgebender Luft befinden sich mehrere Materialien, deren Wärmewiderstände, ähnlich wie bei ohmschen Widerständen, in Reihe angeordnet sind und in Summe den gesamten Wärmewiderstand des Kühlsystems bilden. Zur besseren Verständlichkeit wird hier der Wärmewiderstand mit R_{th} und nicht mit dem Symbol θ benannt. (Bild 1). Der Wärmewiderstand des Kühlkörpers wird in drei Schritten ermittelt:

1. Berechnung des Wärmewiderstands des kompletten Kühlsystems.
2. Berechnung des Wärmewiderstands der Interface-Materialien.
3. Berechnung des Wärmewiderstands des Kühlkörpers.
4. Korrekturanpassung nach den Einsatzbedingungen.

Folgende Parameter sind vor der Berechnung festzulegen:

- maximal erlaubte Junction-Temperatur des Halbleiters T_{Jmax} [°C] und der Wärmewiderstand zwischen Junction und zu kühlender (Metall-)Oberfläche des Halbleiters R_{thJC} [K/W], alternativ die maximal zulässige Gehäusetemperatur an dessen metallischer Kühlfläche.
- maximal auftretende Umgebungstemperatur im Gerät T_{Ainmax} [°C],
- Wärmeleitwert λ [W/m·K] der thermischen Interface-Materialien (TIM) (Datenblatt),
- maximal auftretende Verlustleistung des Halbleiters P_{max} [W] (Datenblatt).

Berechnung des Wärmewiderstands des kompletten Kühlsystems:

- maximale (metallische) Gehäusetemperatur: $T_{Cmax} = T_{Jmax} - (R_{thJC} \cdot P_{max})$ [°C].

Zur Vereinfachung geben manche Hersteller auch die maximal zulässige Temperatur an der für die Entwärmung vorgesehenen metallischen Fläche des Gehäuses an: T_{Cmax} [°C].

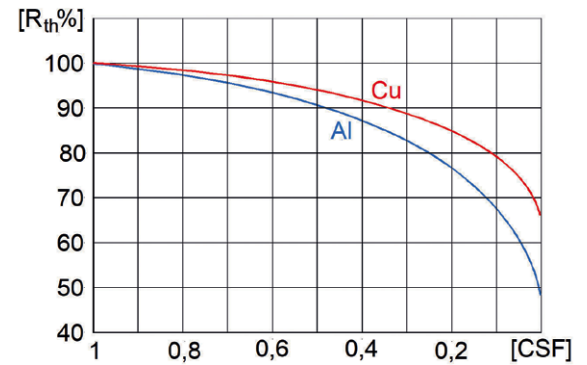


Bild 2: R_{th} in Abhängigkeit von CSF.

Temperaturdifferenz zwischen Gehäuse und Umgebung ist: $\Delta T_{CA} = T_{Cmax} - T_{Amax}$ [K].

Wärmewiderstand des kompletten Systems ist: $R_{thSYS} = \Delta T_{CA} / P_{max}$ [K/W]

Der Wärmewiderstand der TIM setzt sich aus einer Materialkonstante λ , der Materialdicke H [mm] und der Fläche A [mm²] (Länge * Breite) zusammen und wird so berechnet: $R_{thIF} = 1000 \cdot H / \lambda \cdot A$ [K/W]. (Wir haben die Formel vereinfacht, indem wir die Abmessungen in mm und nicht im SI-Format m annehmen).

Sind mehrere Interface-Materialien vorhanden, zum Beispiel bei zusätzlicher Verwendung einer Heat-Spreader-Platte, sind die thermischen Widerstände aller Interface-Stellen ΣR_{thIF} zu ermitteln. Der Wärmewiderstand des Kühlkörpers ist dann: $R_{thHS} = R_{thSYS} - \Sigma R_{thIF}$ [K/W].

Korrekturanpassung

Der oben ermittelte Wert gilt nur für Meereshöhe und bei idealer, vollflächiger Wärme-

Anzeige



Nutzen Sie unseren Sonderanfertigungsservice, um Ihr Projekt passgenau erfüllen zu können

Mehr erfahren:
hammondmfg.com/mods
 eusales@hammondmfg.com • +44 1256 812812



übertragung zwischen Kühlkörper und der zu kühlenden Oberfläche. Entsprechend den Einsatzbedingungen müssen Korrekturanpassungen vorgenommen werden.

Höhenkorrektur: So wie der Luftdruck mit steigender Höhe sinkt, verschlechtert sich auch die Kühlwirkung eines Kühlkörpers. Entsprechend der zu erwartenden Einsatzhöhe in m über NN muss der erforderliche Wärmewiderstand des Kühlelements angepasst werden.

Flächenkorrektur, der Cooling Surface Factor (Kühlflächenfaktor) CSF: Die zu kühlende Fläche AC ist meist deutlich kleiner als die Koppelfläche des Kühlkörpers AHS. Dadurch verschlechtert sich der Wärmewiderstand des Kühlkörpers. Die tatsächlich zu kühlende Fläche und Lage des zu kühlenden Bauteils am Kühlkörper sind individuell bestimmt und müssen berücksichtigt werden. Meist ist der Platz in der Höhe sehr begrenzt, sodass sich der Kühlkörper nur in der Fläche, parallel zur PCB, ausdehnen kann. Aluminium, das für Kühlkörper aus Preis- und Gewichtsgründen fast ausschließlich verwendet wird, hat nur einen mittleren Wärmeleitwert. Daraus folgt, dass Kühlrippen oder -stifte, die weiter von der (metallischen) Gehäuseoberfläche des Halbleiters entfernt liegen, wegen des internen Wärmewiderstands des Kühlkörperbodens weniger zur Wärmeabgabe beitragen. Der Cooling Surface Factor (Kühlflächenfaktor) ist das Verhältnis der Kühlfläche zur Koppelfläche des Kühlkörpers $CSF = AC/AHS$. Ein Richtwert des Korrekturfaktors für den Kühlkörper kann aus dem Diagramm R_{th} in Abhängigkeit von CSF ermittelt werden.

Abhilfe schaffen Heat-Spreader, das sind dünne, gut wärmeleitende Platten, die zwischen dem zu kühlenden Bauteil mit geringer Fläche und einem Kühlkörper mit großer Koppelfläche angebracht werden. Als Material für Heat-Spreader eignet sich unter anderem Kupfer – mit einem Wärmeleitwert von 380 W/m·K – etwa 1,8-mal besser als Aluminium mit nur

193–205 W/m·K. Alternativ kann natürlich der gesamte Kühlkörper aus Kupfer hergestellt werden. Mit einer ebenen Heat-Spreader-Platte aus Kupfer lässt sich, bei geringer Zunahme der Bauhöhe, eine kostengünstige Verbesserung des wirksamen Wärmewiderstandes bei großflächigen Kühlkörpern erzielen. Voraussetzung ist aber, dass die planparallele Ebenheit der Heat-Spreader-Platte und der Wärmekoppelfläche des Kühlkörpers optimal ist und die beiden Flächen über ein entsprechendes Interface-Material gut wärmeleitend verbunden werden. Dünne, sogar gut wärmeleitende Folien eignen sich nicht zur Verbesserung des CSF.

Wärmewiderstand messen

Bevor das gewählte Kühlkonzept endgültig in das Gerätedesign übernommen wird, sollte eine Kontrollmessung erfolgen. Die Entwärmung einer individuellen Kühlanordnung ist nur mit großer Ungenauigkeit zu berechnen oder zu simulieren. Viele, teilweise schwer zu erfassende Faktoren beeinflussen das Ergebnis. Eine Messung, die auch Größe und Lage der Wärmeübergangsfläche berücksichtigt, liefert praxisgerechte und genauere Daten.

Im Labor erfolgt die Wärme-Einkopplung über einen Heat-Injektor HI, der das Halbleiterbauelement ersetzt. Er besteht aus einem 5 mm dicken Block aus Aluminium oder Kupfer. Die Flächen entsprechen der metallenen Wärmeübergangsfläche des Halbleitergehäuses. Die Heizung erfolgt über einen Präzisionswiderstand, montiert an der gegenüberliegenden Seite der Koppelfläche. Ein im Injektor eingeklebter NiCr-Ni-Miniaturfühler erfasst die Temperatur des Injektors T_{HI} , der an der vom Anwender vorgesehenen Stelle am Kühlkörper befestigt wird. Die Heizleistung wird durch den Steuerstrom bestimmt ($P_R = I^2 \cdot R$ [W]). Bei Sepa Europe werden Heat-Injektoren mit den Abmessungen 15 mm x 15 mm, 25 mm x 25 mm, 30 mm x 30 mm, 40 mm x 40 mm, 50 mm x 50 mm und 60 mm x 100 mm oder individu-

ell abgestimmte Größen verwendet. Die Endtemperatur wird nach 30 bis 60 Minuten erreicht. Um Messfehler klein zu halten, soll sie möglichst hoch sein (zum Beispiel 80 bis 100 °C) und kann durch den Steuerstrom beeinflusst werden. Die Raumtemperatur T_A wird an einem in der Nähe befindlichen Aluminiumblock, ebenfalls mit einem NiCr-Ni-Temperaturfühler ausgestattet, festgestellt.

Der Wärmewiderstand des untersuchten Kühlsystems einschließlich Interface ist dann: $R_{thHA} = (T_{HI} - T_A) / P_R$ [K/W]. Da die tatsächliche Umgebungs-Endtemperatur in einem geschlossenen Gerät deutlich über der Raumtemperatur bei der Messung liegen wird, ist die im eingebauten Zustand erlaubte maximale Verlustleistung des elektronischen Bauteils niedriger als die bei der Systemmessung eingekoppelte Leistung. Die Kontrollrechnung mit einer realistisch anzunehmenden Umgebungstemperatur im Geräteinneren T_{AINmax} und dem ermittelten Wärmeübergangswiderstand des Kühlsystems ergibt die maximale Verlustleistung des Halbleiters P_{Jmax} , die abgeführt werden kann, ohne dass der Chip überhitzt: $P_{Jmax} = (T_{HI} - T_{AINmax}) / R_{thHA}$ [W] (oft wird eine maximale Umgebungstemperatur T_{AINmax} im Geräteinneren von 40 °C angenommen). Die neue Sepa-Kühlkörperserie mit hocheffizienten Lüftern bietet sowohl mehr Kühlleistung als auch verbesserte Effizienz. Die Anwendung aktiver Kühlkörper kann die Spotkühlung von Hochleistungs-ICs auch bei geringer Bauhöhe deutlich verbessern und gleichzeitig Energie sparen. Hauptmerkmale:

- Geringe Bauhöhe durch im Kühlkörper versenkte oder direkt aufgesetzte flache DC-Lüfter.
- Leicht und klein: ein Lüfter mit hoher Leistungsdichte fügt sich in einen kompakten Kühlkörper ein und bietet den Benutzern flexible Gestaltungsmöglichkeiten.
- Smarte Funktionalität: Intelligente Drehzahlsteuerung macht das System flexibel und multifunktional, selbst unter extremen Bedingungen.
- In Standardgrößen vom HZ25 bis zum HZ100 oder individuell kundenspezifisch gestaltet. Für verschiedenste Anwendungen wie Servoregler, Stromversorgungen, Embedded-PCs, KI-Power Compact PCs etc. optimal geeignet.
- Aktive Standardkühler mit Litzenenden oder mit individueller Litzenlänge und Steckern nach Wunsch, mit beliebiger Pinbelegung, werden 100 Prozent geprüft. (sc)

Bild 3: Auswahl Heat-Injektoren.

