SONDERHEFT LEISTUNGSELEKTRONIK & STROMVERSORGUNG

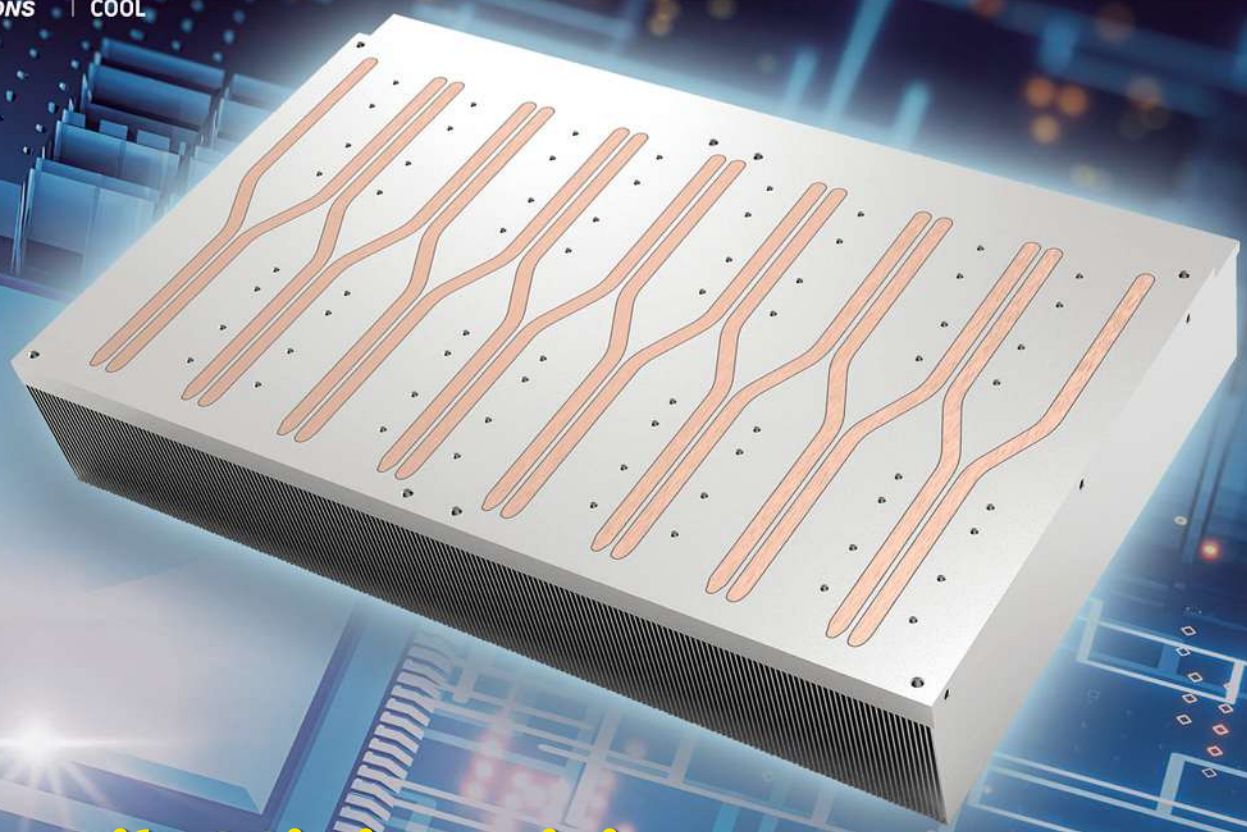
ELEKTRONIK PRAXIS

www.elektronikpraxis.de

Wissen.
Impulse.
Kontakte.

April 2025

CTX THERMAL SOLUTIONS | KEEP IT COOL



Elektronik-Miniaturisierung erfordert spezielle Kühllösungen

Individuelle Kühlkörper verbessern die Wärmeabfuhr, sparen Platz und sichern die Zuverlässigkeit miniaturisierter Elektronik.

Herausforderungen der SiC-Fertigung

Neue Verfahren in der SiC-Fertigung treiben die Entwicklung von modernen Halbleitern voran.

Das richtige AC/DC-Netzteil

Was ist das richtige Netzteil für die geltenden Anforderungen und worauf muss geachtet werden?

Fortschritt: Humanoider Roboter

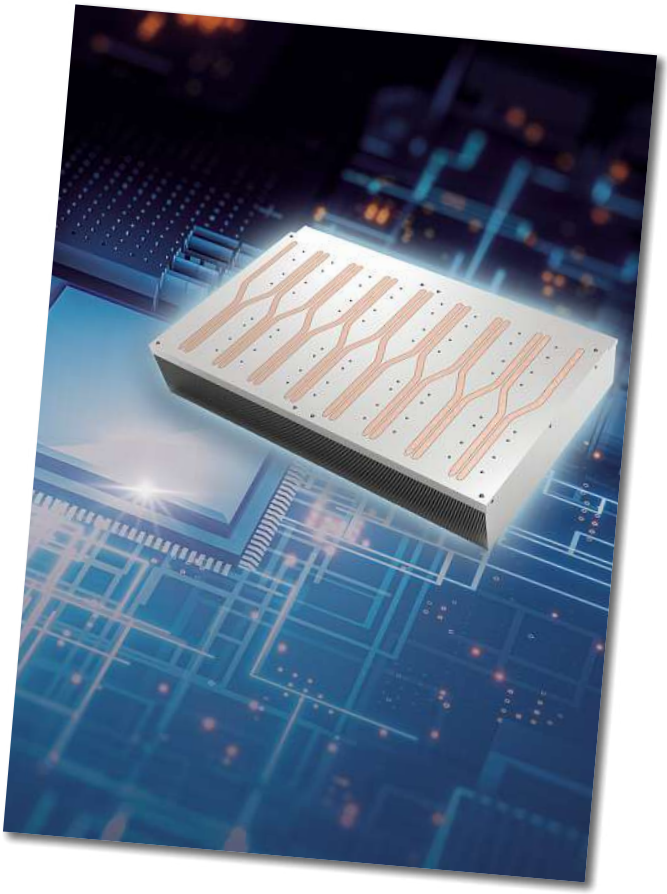
Könnten GaN-FETs der Schlüssel zur natürlichen Beweglichkeit von Robotern sein?

Überwachung von Stromabnehmern

Die Überwachung der Stromschiene verbessert die Verfügbarkeit von U-Bahn- und Metro.

VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

INHALT



LEISTUNGSELEKTRONIK KÜHLEN

Effiziente Kühlung für kompakte Elektronik

Maßgeschneiderte Kühlkörper und durchdachte Simulationen ermöglichen effiziente Kühlkonzepte für miniaturisierte Elektronik, reduzieren Gewicht und Bauraum, verbessern die Wärmeabfuhr und sichern so langfristig die Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten auch bei steigender Leistungsdichte. Durch die Kombination aus optimiertem Design und Materialeinsatz wird zudem die Effizienz in der Fertigung erhöht und thermische Herausforderungen frühzeitig erkannt.

6

SCHWERPUNKTE

Wärmemanagement

TITELTHEMA

6 **Kompakte Elektronik erfordert spezielle Kühlung**
Miniaturisierte Elektronik braucht maßgeschneiderte Kühlkörper, die trotz wenig Platz effektiv Wärme abführen und Material sparen.

Leistungshalbleiter

10 **Herausforderungen bei der SiC-Fertigung**
Wie Fertigungshürden bei SiC überwunden werden können, um leistungsstarke, zuverlässige Bauelemente für E-Mobilität und erneuerbare Energien zu produzieren.

14 **Wieviel Strom kann so ein Halbleiter eigentlich?**
Die Stromtragfähigkeit von Halbleitern hängt stark von Kühlung, Schaltverlusten und Lebensdaueranforderungen ab – weshalb der Nennstrom oft über der tatsächlichen Applikationsanforderung liegen muss.

18 **GaN-Technologie für Antriebe**
GaN-FETs steigern Effizienz, Präzision und Kompaktheit von Frequenzumrichter-Antrieben und ermöglichen leiseren, zuverlässigeren Betrieb bei höherer Schaltfrequenz.

Antriebselektronik

22 **Humanoider Roboter**
GaN-Leistungstransistoren steigern Effizienz, Kompaktheit und Leistung humanoider Roboter, indem sie Motorsteuerung, Lidar-Systeme und KI-Power-Management optimieren.

Stromversorgungen

26 **Wie wählt man das richtige AC/DC-Netzteil?**
Die Wahl des richtigen AC/DC-Netzteils ist entscheidend für Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit elektronischer Geräte – abhängig von Anwendung, Normen und Bauform.

28 **Netzteile für anspruchsvolle Halbleiterfertigung**
Digitale, konfigurierbare Netzteile verbessern Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit in der Halbleiterfertigung und ermöglichen flexible, nachhaltige und ausfallsichere Produktionsprozesse.

32 **Designoptimierung für geringere EMI-Emissionen**
Durch optimiertes Layout, präzise Steuerung der Schaltflanken und Frequenzmodulation lassen sich bei nicht synchronen Aufwärtsreglern die EMI-Emissionen reduzieren.

36 **Echtzeitüberwachung von Stromabnehmern**
Überwachungssysteme messen in Echtzeit Kraft, Temperatur und Vibrationen am Stromabnehmer, und ermöglichen prädiktive Wartung zur Verlängerung der Lebensdauer im Schienenverkehr.

Messtechnik

38 **Tastköpfe für präzise Messungen**
Für präzise Messungen ist die Wahl hochwertiger Tastköpfe entscheidend, da sie die Signaltreue sichern und Störungen minimieren – selbst das beste Oszilloskop nützt ohne sie wenig.

TITELSTORY

Die optimale Kühllösung für jede Anwendung

Anwendungsspezifisch ausgelegte Kühllösungen lassen sich mit verschiedensten Herstellungsverfahren realisieren. Das Kaltfließpressen ermöglicht eine große Formenvielfalt. Mit dem Extrusionsverfahren können individuelle Rippenformen in großen Stückzahlen kostengünstig gefertigt werden. Durch Reibrührschweißen entstehen Aluminiumkühlkörper mit großen Breiten und Rippenhöhen. Beim Skived-Fin-Verfahren können besonders dünne und lange Kühlrippen erzielt werden.

Bild: CTX Thermal Solutions

KLEINE ÄNDERUNGEN MIT GROSSER WIRKUNG

Elektronik-Miniaturisierung erfordert spezielle Kühllösungen

Elektronik wird immer kompakter. Gefragt sind Kühllösungen, die Bauraum ideal nutzen. Maßgefertigte Kühlkörper sparen Platz und Gewicht – bei oft besserer Wärmeabfuhr.

Veränderungen in Fertigungsprozessen benötigen häufig Zeit – das ist in der Elektronikindustrie nicht anders als in anderen Branchen. Ein gutes Beispiel sind Kühllösungen, die Wärme von den Komponenten elektronischer Geräte ableiten. Oft kommen für diese Aufgabe Kühlkörper in Standardgrößen zum Einsatz, die für die Anwendung überdimensioniert sind.

Viele Kühlkörper sind überdimensioniert

Vertriebsleiter Thomas Windeck von CTX Thermal Solutions kennt den Grund: „Da oft ausreichend Platz im Gehäuse vorhanden ist, wird der Größe des Kühlkörpers keine besondere Beachtung geschenkt." Das wäre aber sinnvoll, denn die Leistung solch überdimensionierter Kühllösungen kann gar nicht voll genutzt werden. Darü-

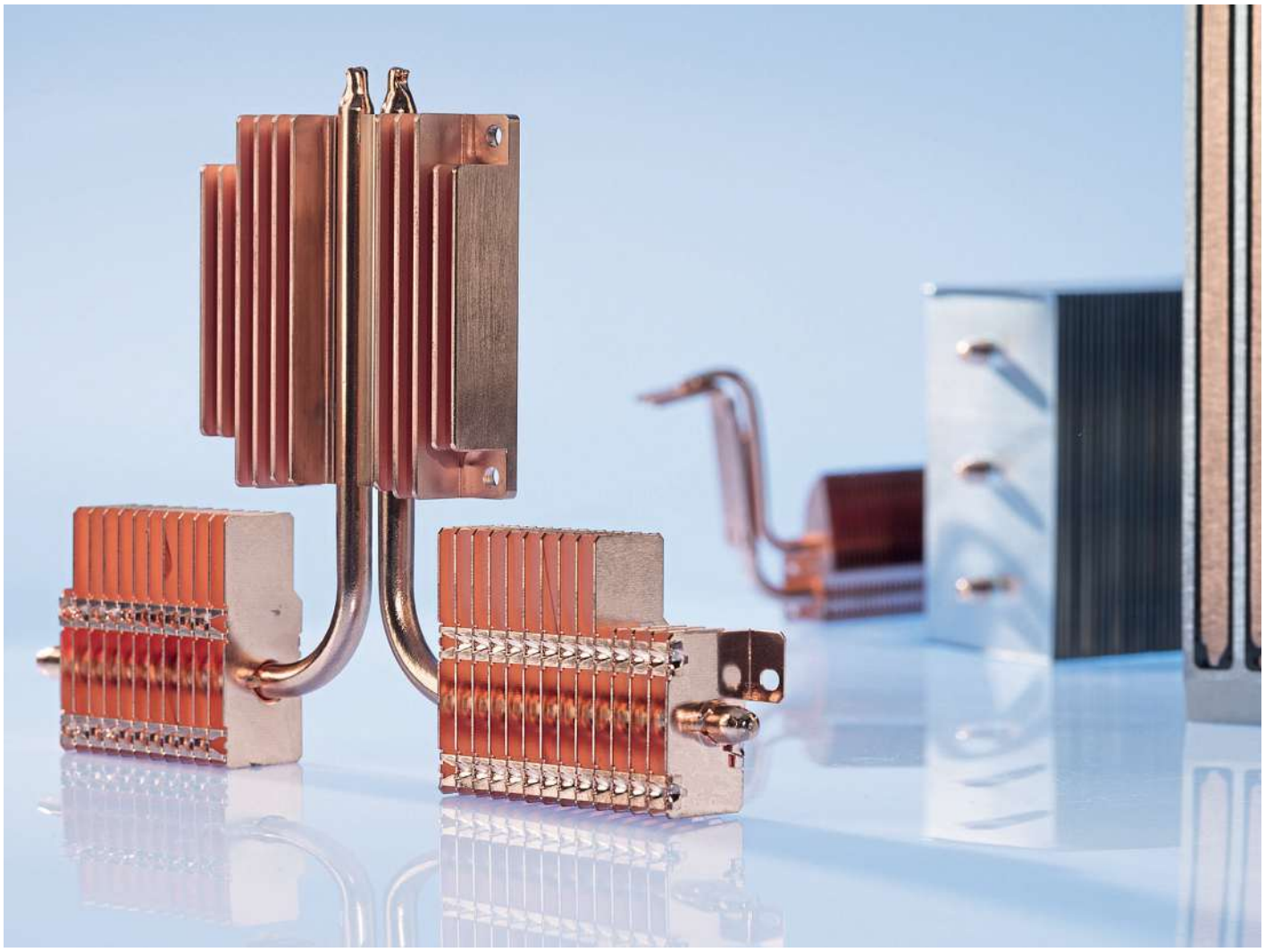


Bild 1: Heatpipes führen Wärme auch über weite Distanzen effektiv ab.

Bild: CTX Thermal Solutions

Bild: CTX Thermal Solutions

Bild 2: Für eine schnelle Wärmeabfuhr sorgen Flüssigkeitskühlkörper.

ber hinaus wiegen sie in der Regel mehr als passgenaue Ausführungen. Dadurch steigt das Gewicht der Gesamtanwendung – ein weiterer Nachteil.

Es spricht also einiges dafür, die Kühlkörper spezifisch an die jeweilige elektronische Baugruppe anzupassen. CTX hat fast 30 Jahre Erfahrung in der kundenspezifischen Auslegung von Kühlkörpern und ist heute einer der führenden Anbieter von Kühllösungen in Europa. Thomas Windeck macht am Markt ein großes Potenzial für individuelle Kühlkörper aus: „Viele Standardlösungen könnten durch kundenspezifische Lösungen ersetzt werden, die mindestens das Gleiche leisten, aber kleiner und leichter sind."

Bild: CTX Thermal Solutions

Bild 3: Spezielle Kühlkörper sorgen für den dauerhaften Erhalt der Licht- und Farbleistung.

Mehr Leistung durch Kühlkonzept

Bei Tests zeigte sich, dass die Betriebstemperatur mit individuell angepassten Kühlkörpern bei gleichem Bauraum um bis zu zehn Grad gesenkt werden kann. Die Spezialisten von CTX definierten den in einer Muster-Anwendung auftretenden Luftstrom sowie die dort vorherrschenden Temperaturen und führten thermische Simulationen durch.

Dabei versuchte man das beste Verhältnis von Bodendicke zu Rippenhöhe und -tiefe herauszufinden. CTX simulierte verschiedene Kühlkörper-Modelle und stellte dabei fest: Der Boden des ursprünglich verwendeten Kühlkörpers war zu dünn, um die gewünschte Kühlung zu erzielen. Durch eine Erhöhung der Bodendicke von 11 auf 14 Millimeter ließ sich die Kühlleistung des Standard-Strangkühlkörpers bereits um rund 1,7 °C steigern.

Deutliche Temperatursenkungen erzielt

An der Anzahl der Rippen nahm CTX ebenfalls Änderungen vor. Mithilfe des Extrusionsverfahrens wurden dünnere Kühlrippen aus Aluminium gefertigt. Auf die Bodenplatte des Muster-Kühlkörpers konnten daher bei gleicher Grundfläche zehn Rippen mehr aufgebracht werden. Die höhere Anzahl an Kühlrippen vergrößert die Oberfläche des Kühlkörpers, über die Wärme abgegeben werden kann. Gegenüber Standardbauteilen lassen sich durch den Einsatz des Extrusionsverfahrens in der Regel bis zu 20 Prozent an Material einsparen.

Durch die höhere Bodendicke und Rippenanzahl konnte CTX eine Temperatursenkung von 3 °C erzielen. Mithilfe der Implementierung von Heatpipes in den Kühlkörper gelang es dann, die Temperatur des elektronischen Bauteils weiter zu senken. Schließlich betrug die gesamte Kühlleistung des optimierten Kühlkörpers rund 10 °C mehr als bei der Ausgangslösung.

Materialeinsparung durch Simulation

Für die Optimierung von Kühlkörpern nutzt CTX u. a. die thermische Simulation. Bei diesem analytischen Prozess wird der Temperaturzustand eines elektronischen Bauteils vorausberechnet. Dazu werden definierte thermodynamische Randbedingungen in die Simulationssoftware eingegeben wie z. B. die zu erwartende Verlustleistung, das Design des Bauelements mit Bemaßung sowie die Position des Hotspots. Dazu kommen geometrische Einschränkungen, d. h. der zur Verfügung stehende Platz sowie die für einen optimalen Betrieb maximal zulässige Oberflächentemperatur des Bauteils und die voraussichtliche Umgebungstemperatur.

Besonders bei der Entwicklung eines neuen Produkts ist eine thermische Simulation hilfreich: Sie kann dazu beitragen, thermische Probleme frühzeitig zu erkennen. Ein optimales Kühlkörperdesign ermöglicht zudem die Einsparung von Kühlkörpermaterial und -gewicht in großem Umfang. Und noch einen großen Vorteil hat die thermische Simulation: Sie macht die kostspielige Prototypenfertigung in der Regel überflüssig bzw. reduziert den Aufwand dafür deutlich.

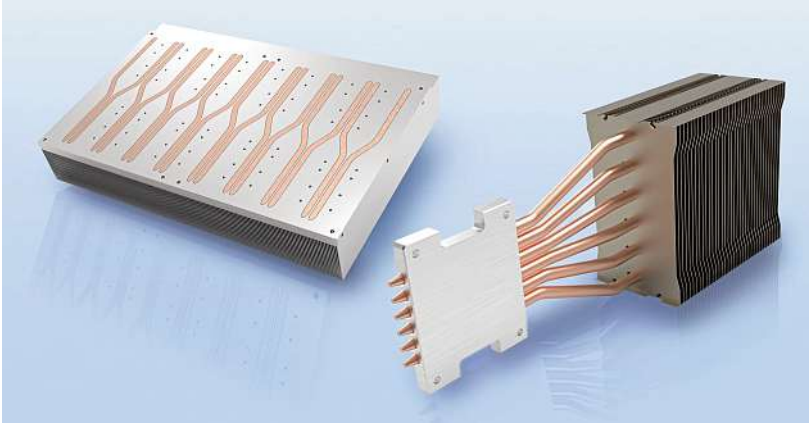


Bild: CTX Thermal Solutions

Bild 4: Heatpipes nehmen die Wärme direkt am Hotspot auf und leiten sie z. B. an einen Profilkühlkörper weiter.

Verschiedene Materialien und Verfahren

Der stetig kleiner werdende Bauraum in der Elektronik wirkt sich auch auf das Kühlkörperdesign aus. Um auf weniger Fläche eine gleichbleibende oder sogar höhere Kühlleistung zu erzielen, setzen die Experten von CTX verschiedene Materialien ein. Jeder Werkstoff hat bestimmte Vor- und Nachteile, die gegeneinander abgewogen werden müssen. So verfügt Kupfer mit bis zu 400 W/mK über eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit als Aluminium mit bis zu 235 W/mK, ist aber wesentlich teurer und schwerer. Daher wird dieses Material meist gezielt eingesetzt – zum Beispiel als Beschichtung, Bodenplatte oder Kern eines Aluminiumkühlkörpers.

Für die Kühlung von LEDs auf engstem Raum werden kaltfließgepresste Stiftkühlkörper aus Reinaluminium oder Reinkupfer verwendet. Diese Kühlkörper lassen sich hochpräzise formen und bieten eine exzellente Wärmeleitfähigkeit (> 220 W/mK). Mit der passenden Oberflächenbehandlung kann die Wärmeleitfähigkeit eines Kühlkörpers weiter verbessert werden: Mit einer nachträglichen CNC-Bearbeitung werden die Oberflächeneigenschaften und der Wärmeübergang verbessert.

Wichtig: Anwendungsspezifische Fertigung

Bei der Entwicklung von Kühllösungen ergeben sich große Herausforderungen, da elektronische Komponenten auf immer kleinerem Raum zunehmend mehr Leistung erzeugen und somit höhere Betriebstemperaturen entstehen. In den letzten 10 bis 15 Jahren ist die Menge der abzuführenden Wärme je nach Geräteart um etwa 100 bis 150 Prozent gestiegen, was die Anforderungen an das Wärmemanagement deutlich erhöht.

Wenn die entstehende Wärme nicht effektiv abgeführt wird, kann dies die Lebensdauer der elektronischen Bauteile beeinträchtigen. Kühlkörper sind deshalb ein wesentlicher Bestandteil, um die Funktion und Zuverlässigkeit miniaturisierter Komponenten langfristig sicherzustellen.

Um mit der Miniaturisierung Schritt halten zu können, findet im Bereich des Kühlkörperdesigns intensive Forschung statt. „Zurzeit laufen Tests mit Keramik sowie mit neuen Plattierungen und Beschichtungen“, berichtet CTX-Vertriebsleiter Thomas Windeck.

Schon heute lässt sich absehen, dass die fortschreitende Miniaturisierung dazu führen wird, dass das applikationsspezifische Design von Kühlkörpern zunehmend wichtiger wird, um die damit verbundenen thermischen Herausforderungen zu bewältigen. *(mr)*