

An der Quelle:
„Die Lösung thermischer Probleme direkt auf der Leiterplatte“

Je früher mögliche Schwierigkeiten erkannt und gelöst werden, desto besser. Statt zu warten, bis thermische Probleme auf der Systemebene auftreten, sollten sie schon auf der Leiterplatte angegangen werden.

Thermische Probleme werden in der Hardwareentwicklung gewöhnlich erst dann in Angriff genommen, wenn die Anordnung der Bauteile und Leiterbahnen festliegt. Der Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass Probleme, die erst in diesem Stadium erkannt werden, nur noch mit großem Aufwand und mit umfangreichen Änderungen, z.B. am Aufbau des Gehäuses, der Anordnung der Leiterplatten oder am Platinenlayout, zu beheben sind. Bei kostensensitiven Produkten können eigens entwickelte oder exotische Lösungen für thermische Probleme dazu führen, dass der gesamte Entwurf verworfen wird, nachdem bereits erheblicher Aufwand an Zeit und Kosten angefallen ist.

Daher ist es sinnvoll, eine thermische Simulation schon sehr früh im Entwicklungsprozess und auf der Leiterplattenebene vorzusehen. Eine derartige Analyse kann mögliche thermische Probleme aufzeigen und gibt den Technikern mehr Flexibilität bei der Lösung, bevor Hunderte von Ingenieurstunden in unbrauchbare Entwürfe investiert werden.

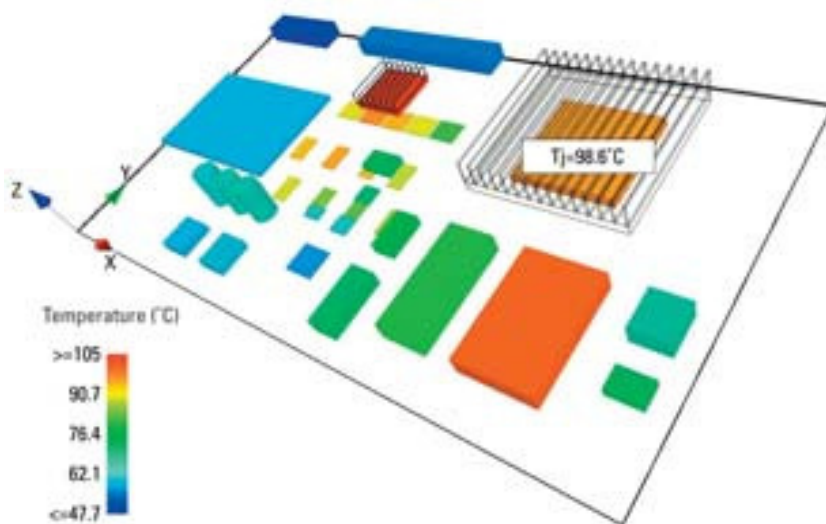


ABBILDUNG 1. Thermische Simulation an einer Leiterplatte für eine zusätzliche optische Point-to-Point-Verteilereinrichtung in einem vorhandenen Einschub. Das Ergebnis zeigte, dass die Temperaturen von Prozessor und Chipsatz bei diesem Entwurf viel zu hoch gewesen wären – ein Problem, das durch eine Änderung der Bauteileanordnung schnell gelöst werden konnte.

Anstieg der thermischen Leistungsdichte

Bis in die jüngste Vergangenheit ist die thermische Simulation auf der Leiterplattenebene als unnötiger Luxus betrachtet worden. Die thermischen Verhältnisse wurden gewöhnlich bei der Entwicklung des Chassis berücksichtigt. Falls Probleme auftraten, wurden diese durch zusätzliche Lüfter und Lüftungsschlitze gelöst. Diese Entwicklungen bauten häufig auf einer Simulation auf der Systemebene auf. Die auf diese Weise entwickelten Chassis haben normalerweise eine recht lange Einsatzdauer im Bereich von drei bis fünf Jahren. Wenn die thermische Lösung einmal gefunden ist, wird erwartet, dass diese über mehrere Generationen von Leiterplatten Bestand hat. Thermische Simulationen auf der Leiterplattenebene beschränkten sich gemeinhin darauf, wärmekritischen Bauteilen einen Kühlkörper zu verpassen. In den meisten Fällen war dieser Ansatz bisher ausreichend, weil die thermischen Leistungsdichten niedrig genug waren, dass Änderungen an der Leiterplatte keine wesentlichen Auswirkungen hatten.

In dem Maß, wie Geschwindigkeiten und Funktionalität elektronischer Systeme zunehmen, ist diese Vorgehensweise nicht mehr haltbar. Die thermische Leistungsdichte steigt mit jeder neuen Produktgeneration rapide an. Häufig ist das Chassis bei der nächsten Generation unter thermischen Gesichtspunkten nicht mehr verwendbar. Zusätzliche Lüfter oder Kühlkörper haben unweigerlich Auswirkungen auf die Kosten und das Gewicht des Geräts. Außerdem bergen Kühlkörper die Gefahr unerwünschter Nebenwirkungen, indem sie z.B. die Luftzirkulation zu einem Bauteil weiter hinten im Luftstrom behindern. Oft genug sieht die Lösung so aus, dass das Chassis oder das Layout der Leiterplatte neu entwickelt wird. Dadurch fallen zusätzliche Kosten an, und die Markteinführung verschiebt sich. Auf jeden Fall steigen die Kosten für Änderungen in dem Maß, in dem die Entwicklung bereits die verschiedenen Stadien vom Konzept bis zur Produktionsreife durchlaufen hat.

Warum aber werden thermische Probleme erst so spät in der Entwicklung und auf der Systemebene angegangen? Ein Grund hierfür ist, dass die thermische Simulation auf der Systemebene das Hauptverfahren zur Ermittlung der thermischen Verhältnisse ist. Für die thermische Analyse auf der Systemebene wird normalerweise ein Thermik-Ingenieur benötigt, der sich mit der recht komplexen Software zur Simulation eines kompletten elektronischen Systems auskennt. Beim üblichen Verhältnis von einem Thermik-Ingenieur auf etwa 10 bis 20 Elektronik-Ingenieure sind viele Thermik-Ingenieure schlichtweg völlig überlastet, da immer mehr Änderungen an Leiterplatten eine vollständige Überarbeitung der thermischen Lösungen erforderlich machen. Dadurch, dass längst nicht mehr jede Änderung an einer Leiterplatte auf ihre thermischen Auswirkungen hin untersucht werden kann, steigt die Gefahr, dass thermisch problematische Konstruktionen ihren Weg in die letzten Phasen der Entwicklung finden.

Die Hersteller elektronischer Geräte beginnen, auf diese Probleme zu reagieren, indem sie den thermischen Verhältnissen auf der Leiterplattenebene bei der Entwicklung mehr Aufmerksamkeit widmen. Häufig simulieren die Ingenieure bei der Entwicklung neuer Leiterplatten für vorhandene Geräte die Leiterplatte allein, um mögliche Hotspots zu erkennen. Probleme, die in diesem Stadium erkannt werden, lassen sich oft durch geringfügige Änderungen der Anordnung beheben, ohne dass dabei Kosten anfallen. Die Simulation auf der Leiterplattenebene ist für Elektronikingenieure gewöhnlich viel einfacher, da hierbei Werkzeuge verwendet werden, die ihnen bereits vertraut sind, wie z.B. Blockschaltbilder und die Bauteileanordnung.

Bei einem typischen Entwicklungsprozess mit einer thermischen Simulation auf der Leiterplattenebene entwickelt der Systemarchitekt das ursprüngliche Konzept in Form eines Blockschaltbilds. Der für die Hardwareentwicklung zuständige Ingenieur leitet anschließend die Bauteileanordnung direkt aus diesem

Blockschaltbild ab. Der Elektronik-Ingenieur kann mit der Simulation auf der Leiterplattenebene bereits in einem frühen Stadium des Entwicklungsprozesses, lange bevor der für die Mechanik zuständige Ingenieur in das Projekt einbezogen wird, das Verhalten der neu entwickelten Leiterplatte in einem vorhandenen System untersuchen. Eine rechnergestützte 3D-Simulation der Fluid-Dynamik liefert eine Vorhersage der Luftströmungen und Temperaturen auf beiden Seiten der Leiterplatte. Hierbei zeigen sich häufig Hotspots. Entsprechende Gegenmaßnahmen können bereits in den frühesten Stadien der Entwicklung in Betracht gezogen werden. Änderungen am Blockschaltbild wirken sich direkt auf die Bauteileanordnung und die thermische Darstellung aus.

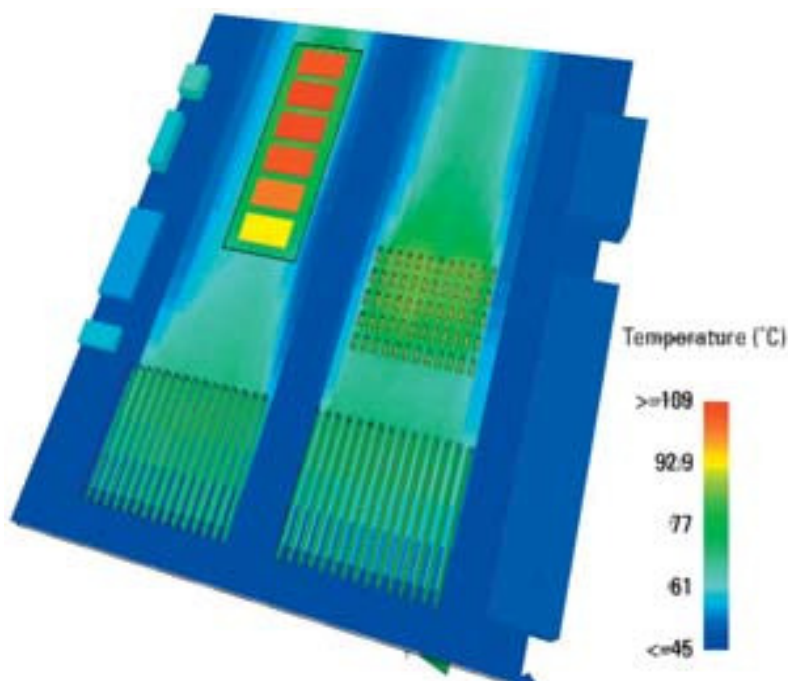


ABBILDUNG 2. Bei der Entwicklung eines Upgrades zu einem vorhandenen cPCI-Chassis wurde die thermische Simulation auf der Leiterplattenebene schon sehr früh eingesetzt. Die Simulation zeigte einen ausgeprägten Zügeffekt, und die Techniker waren in der Lage kurzfristig andere Lösungen zu untersuchen.

In diesem Stadium gibt es deutlich mehr Möglichkeiten, thermische Probleme anzugehen. Statt teurer Zusatzeinrichtungen stehen dem Ingenieur hierbei eine Reihe von Möglichkeiten, wie eine Änderung der Bauteileanordnung, zusätzliche Kupferflächen oder andere Gehäusebauformen, zur Verfügung. Das Modell auf der Leiterplattenebene kann außerdem in ein thermisches Modell auf der Systemebene, importiert werden. Dies bedeutet für den Ingenieur, der die Mechanik entwickelt, eine Zeitersparnis bei der Aktualisierung des Modells auf höherer Ebene und verringert gleichzeitig die Gefahr von Übermittlungsfehlern. Die Ergebnisse aus der Analyse auf der Systemebene können auch in die Simulation auf der Leiterplattenebene exportiert werden. Auf diese Weise kann der Elektronikingenieur die Informationen zu den Luftströmen und Temperaturen auf der Systemebene bei seiner Entwicklung der Leiterplatte berücksichtigen. Diese Vorgehensweise sorgt für eine ständige Abstimmung zwischen allen Mitgliedern der Entwicklungsmannschaft, die ihre Beiträge in die Entwicklung des Konzepts in Echtzeit einbringen können.

Änderung der Anordnung zur Lösung thermischer Probleme

Wir wollen uns nun etwas näher ansehen, wie thermische Probleme auf der Leiterplattenebene in einer praktischen Anwendung bereits in frühen Stadien gelöst werden können. Bei der Entwicklung handelt es sich um eine Leiterplatte von 32 x 18 cm zur Erweiterung eines vorhandenen Einschubs mit einem Kartenabstand von 1,2 Zoll um eine optische Point-to-Point-Verteilung. Dieser Einschub enthält 15 Karten, die von einem Lüftereinschub mit acht Lüftern gekühlt werden (ABBILDUNG 1). Das Chassis war bereits für eine frühere Generation entwickelt worden. Aus der seinerzeit vorgenommenen thermischen Simulation auf der Systemebene waren den Technikern die Luftströme an der Stelle, an der die Leiterplatte installiert werden sollte, bekannt. Bei der Entwicklung des Konzepts für die neue Leiterplatte wurden von einem Systemarchitekten die Funktionseinheiten und die Anschlüsse mit Hilfe eines Werkzeugs zur thermischen Simulation auf der Leiterplattenebene festgelegt. An dieser Stelle übernahm der Hardware-Ingenieur die Entwicklung und erarbeitete eine erste Bauteileanordnung. Anhand dieser Informationen konnte der Hardware-Ingenieur anschließend sehr einfach eine thermische Simulation vornehmen.

Die Ergebnisse zeigten, dass der Prozessor mit einer Verlustleistung von 40 W und der Chipsatz mit 6 W in der neuen Entwicklung deutlich zu warm wurden. Anhand dieser Ergebnisse zog der Hardware-Ingenieur einen Thermik-Ingenieur hinzu, der das Modell auf der Leiterplattenebene übernahm und nun versuchte, die beiden zu heißen Bauteile mit zusätzlichen Kühlkörpern zu versehen. Anschließend wiederholte der Thermik-Ingenieur die Analyse und entdeckte dabei, dass dieser Ansatz das Problem nicht löste, da die relativ großen Kondensatoren vor dem Prozessor den Luftstrom zum Kühlkörper des Prozessors blockierten. Der Hardware-Entwickler änderte daraufhin leicht die Anordnung der Funktionseinheit „Spannungsregler“, um dieses Hindernis für den Luftstrom zum Kühlkörper des Prozessors zu beseitigen. Diese erste thermische Optimierung ergab einen neuen Lageplan als Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung.

Die Simulation auf der Leiterplattenebene wurde auch in den frühen Stadien der Entwicklung eines Upgrades zu einem vorhandenen cPCI-Chassis eingesetzt (ABBILDUNG 2). Die Fläche der Leiterplatte wurde durch den Formfaktor auf 166 x 230 mm und die Höhe durch den genormten Kartenabstand von 0,8 Zoll begrenzt. Die bisherige Lösung wurde getestet, wobei sich im Steckplatz eine Flussrate von 200 lfm ergab. Die Geschwindigkeit und die Anzahl der Durchkontaktierungen waren bestimmende Faktoren in den Leistungsbeschränkungen zur relativen Bauteileanordnung. Daraus ergab sich die Definition der Anschlussbelegung, woraufhin die Leiterplatte mit der geringstmöglichen Anzahl von Lagen geroutet werden konnte. Die kritischen Verbindungen bei dieser Leiterplatte waren die zu den CPUs, den MCH und ICH sowie dem Speicher. Aus Kostengründen war das Projekt auf vier Lagen beschränkt, und daher war es erforderlich, direkte Verbindungen von den jeweiligen Anschlussbereichen zu den Zielanschlüssen beizubehalten.

Für eine Studie der Bauteileanordnung arbeiteten die Techniker mit Erfahrungswerten, um die Positionen der größeren Bauteile und der Bauteile, deren Anordnung konstruktiv vorgegeben war, z.B. der Steckverbinder, zu bestimmen. Hierbei handelt es sich häufig um die gleichen Funktionsgruppen, die auch im Blockschaltbild erscheinen. Bei der ersten Anordnung wurden die Bauteile mit der höchsten Leistungsdichte am vorderen Ende der Leiterplatte positioniert. Damit ist der Umfang der Überlegungen zur Thermik im Stadium der Leiterplattenentwicklung, bevor die detaillierten Entwicklungsarbeiten zum mechanischen Aufbau und zur Führung der Leiterbahnen begonnen wurden, beschrieben. In diesem Stadium wurde ein Werkzeug zur thermischen Analyse auf der Leiterplattenebene eingesetzt, um die Entwicklung unter thermischen Gesichtspunkten zu untersuchen.

Die Ergebnisse dieser Simulation zeigten einen Zügeffekt, bei dem die CPU auf der linken Seite die Luft aufheizte, die anschließend über das DIMM zog. Wenn dies erst nach dem Beginn der detaillierten Entwicklungsarbeiten aufgefallen wäre, hätte nur noch die Möglichkeit bestanden, die Leistung zu verringern, um die Verlustleistung dieses Bauteils zu reduzieren, oder eine thermische Lösung für das DIMM mit zusätzlichen Kosten vorzusehen. Durch die Untersuchung im Konzeptstadium waren die Techniker in der Lage, innerhalb von Minuten andere Optionen zu erwägen, um dieses Risiko zu vermeiden. Dabei wurden verschiedene Bauteileanordnungen simuliert. Mit Hilfe dieser frühen thermischen Analyse konnten die Auswirkungen der gewählten Bauteileanordnungen genau beobachtet werden.

Obwohl Erfahrungswerte und Intuition von großem Nutzen sein können, sind viele Nebenwirkungen, wie das Aufheizen von Bauteilen durch andere Bauteile oder die thermische Sättigung der Leiterplatte, ohne eine Analyse nur schwer vorherzusehen. Bei dieser Anwendung stellte sich heraus, dass ein leichter Luftstrom über den CPUs die ideale Lösung war. Die Erkennung dieses Problems vor einem detaillierten Routing erlaubte es, die gewünschte Leistung ohne zusätzliche Kosten zu erreichen. Bei Geräten, die für eine Fertigung in hohen Stückzahlen vorgesehen sind, wie diesem Einplatinenrechner, können Lösungen, wie z.B. teure Heat-Spreader vermeiden, leicht mehrere Millionen Dollar an Kosten für Material, Herstellung und Qualifikation einsparen.

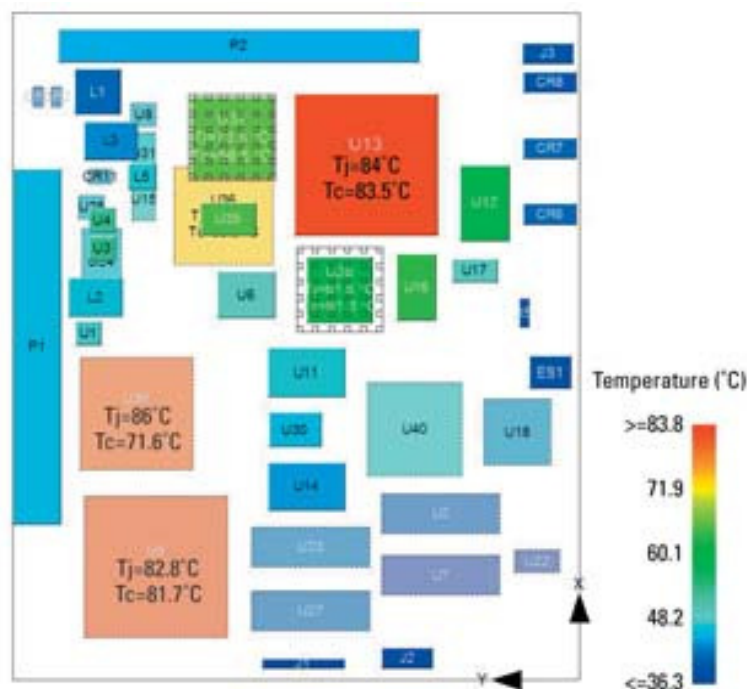


ABBILDUNG 3. Die Simulation auf der Leiterplattenebene ist gewöhnlich dann am wirkungsvollsten, wenn sie in frühen Entwicklungsstadien eingesetzt wird. Sie ist jedoch auch ein effizientes Werkzeug zur Fehlersuche. In diesem Beispiel wurde die Simulation auf der Leiterplattenebene dazu eingesetzt, einen Fehler im Upgrade einer Zusatzkarte zu lokalisieren.

Fehlersuche auf der Leiterplattenebene

Während die Simulation auf der Leiterplattenebene meist dann am effizientesten ist, wenn sie in den frühen Stadien des Entwicklungsprozesses eingesetzt wird, kann sie auch ein wirksames Werkzeug zur Fehlersuche sein. In diesem Beispiel wurde die Simulation auf der Leiterplattenebene dazu eingesetzt, ein Problem mit einem Upgrade einer Zusatzkarte von 16,5 x 14 cm (ABBILDUNG 3) zu lösen. Die vorherige Plattform lieferte eine gleichmäßige Flussrate von 400 lfm bei 35 °C, und das vertikale Volumen des Kühlkörpers wurde durch den Kartenabstand von 25 mm begrenzt. Die Techniker simulierten die neuen Bauteile mit „2 Resistor“- oder „Delphi-Resistor“-Modellen (vereinfachte thermische Modelle der Bauteile, die in der Lage sind, genaue Vorhersagen der Gehäuse und Sperrschichttemperaturen zu liefern), die teilweise von den Bauteilelieferanten stammten, während andere von den Technikern selbst mit Hilfe eines Internet-Dienstleisters erzeugt worden waren, und fügten diese in das Modell auf der Leiterplattenebene ein. Die Ergebnisse zeigten, dass zwei Bauteile zu hohe Sperrschichttemperaturen aufwiesen und gleichzeitig einen Bereich der Leiterplatte aufheizten, wodurch ein drittes Bauteil in die Nähe seiner spezifizierten Maximaltemperatur geriet.

In diesem Fall lag die Bauteileanordnung fest und konnte nicht mehr dazu benutzt werden, das Problem zu lösen. Außerdem schienen die Optionen einer Ableitung der Wärme in die Leiterplatte über thermische Durchkontaktierungen oder eine lokale Erhöhung des Kupferanteils für eine bessere Wärmeverteilung keine erfolgsversprechenden Lösungen zu sein. Daher zogen die Ingenieure zusätzliche Kühlkörper in Erwägung. Um die Kosten niedrig zu halten setzten sie einen Kühlkörper von 21 x 21 mm mit Stiftrippen auf die beiden heißen Bauteile. Zusätzliche Wärmeleitpaste verringerte den thermischen Widerstand zwischen den Bauteilen und dem Kühlkörper.

Eine neue thermische Simulation mit den Änderungen ergab, dass alle Bauteile bei dieser Variante unterhalb der Grenze von 90 °C für die Sperrschichttemperatur lagen.

Die thermischen Leistungsdichten in heutigen elektronischen Geräten machen es erforderlich, dass die Ingenieure die mechanischen Anforderungen und Einschränkungen der thermischen Lösung bereits in den frühesten Stadien der Leiterplattenentwicklung im Auge behalten. Obwohl zum erforderlich Volumen und den Zueffekten einige Erfahrungswerte verwendet werden können, stehen diese häufig im Widerspruch zueinander und liefern keine ausreichend genauen Informationen, um brauchbare Kompromisse zu bestimmen. Die geschilderten Anwendungen zeigen die Vorzüge einer Analyse auf der Leiterplattenebene in einem möglichst frühen Stadium des Entwicklungszyklus. Die Analyse hilft dabei, mögliche thermische Probleme zu erkennen und eröffnet den Ingenieuren eine höhere Flexibilität bei der Lösung dieser Probleme, bevor größerer Aufwand in Entwicklungen investiert wird, die schließlich doch verworfen werden müssen. In den meisten Anwendungen wird sich die Leiterplatte auch weiterhin entwickeln, doch mit Disziplin-übergreifenden Analysewerkzeugen können die verschiedenen Entwicklerteams an den Problemen in den Bereichen Thermik, elektromagnetischer Verträglichkeit, mechanischen Kräfte und der Zuverlässigkeit arbeiten, bis schließlich ein Prototyp erstellt und getestet wird, um die Ergebnisse der Simulationen zu überprüfen. PCD&M