

Verlustleistung ist nicht alles: Einfluss des Leiterplatten-Layouts

Die Erwärmung von Bauteilen bestimmen neben der Verlustleistung der Footprint und die Wärmespreizung durch Leiterplattenmaterial und Kupfer. Mit thermischer Simulation gelingt die Vorhersage.

DR. JOHANNES ADAM *

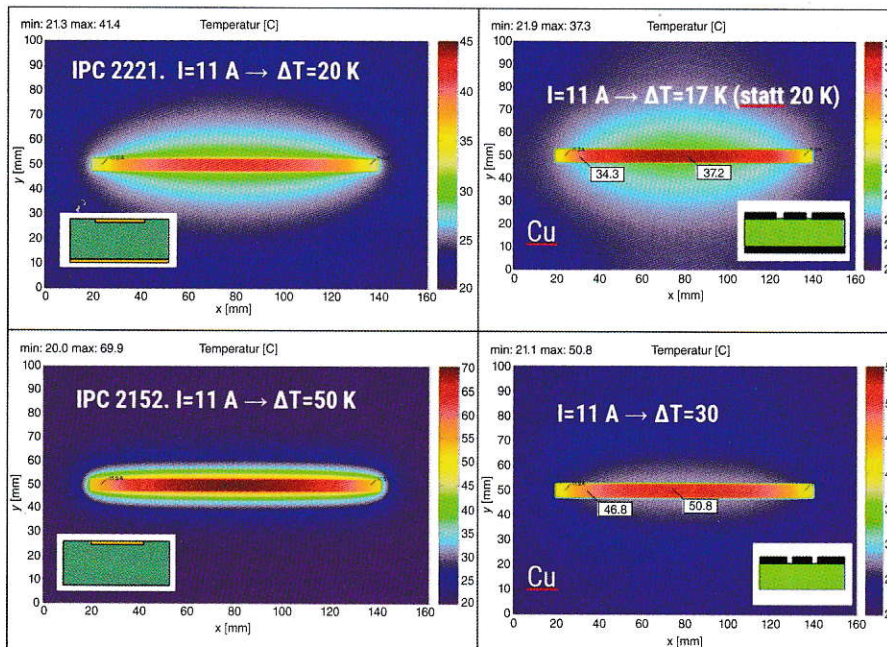


Bild 1: Berechnete Temperatur für eine 5 mm breite und 35 mm dicke Leiterbahn. In der linken Spalte wird der Leiter allein betrachtet. In der rechten Spalte ist um den Leiter ein dünner FR4-Graben und der Rest der Platte ist mit Cu geflutet.

Wie warm ein Bauteil oder eine Leiterbahn in einer Baugruppe wird, hängt nicht nur von der Verlustleistung ab. Ebenso sind die Grundfläche (foot print), die Wärmeableitung durch Wärmespreizung in Kupfer und FR4, andere Wärmequellen und letztlich die Wärmeabgabe an die Umgebung maßgeblich an der resultierenden Temperatur beteiligt.

Abschätzungen der Bauteiltemperatur per Handrechnung sind nur für akademische Spezialfälle möglich, wenn z.B. der Lagenaufbau und das Leiterbild extrem gemittelt



* Dr. Johannes Adam
... ist Inhaber von ADAM Research in Leimen.

werden und meistens unrealistisch. Wollen Sie jedoch besseres aus Ihrem Layout herausholen müssen Sie Details der Leiterbahnen, Kupferflächen und Bohrungen berücksichtigen. Aber nicht nur das. Eine zuverlässige Lösung kann oder muss das Gehäuse mit einbeziehen und die fertigungstechnischen Gegebenheiten beachten.

Im Fachbuch Elektronik Kühlung – in Leiterplatten-Design und -Fertigung [1] von Johannes Adam und Wolf-Dieter Schmidt werden im ersten Teil die Grundlagen etlicher Faustformeln und deren Grenzen erklärt sowie auf fortgeschrittene Themen eingegangen und im zweiten Teil u.a. gute und schlechte Aufbau- und Verbindungstechniken anhand von Konstruktionsbeispielen gezeigt. Im Folgenden finden Sie Auszüge zur Temperatur um Leiterbahnen und Bauteilen.

Geradlinige und allein gestellte Leiterbahnen sind akademische Fälle oder eventuell worst-case-Szenarien.

Wärmespreizung um die Leiterbahn und Lageneinfluss

Für eine Leiterbahn auf einer homogenen Platte gibt es gerade noch ausgefeilte analytische Näherungslösungen, aber sogar das einfachste Multilayer ist nicht mehr handhabbar. Hier hilft nur numerische Simulation der beteiligten Felder weiter.

Für die Verteilung der JOULEschen Heizleistung in einer Leiterbahn (bzw. in einem Netz) braucht man die Stromdichte und diese ist das Ergebnis des elektrischen Strömungsfelds, d.h. der Potentialverteilung im Kupfer.

Die elektrische Leitfähigkeit könnte anisotrop und temperaturabhängig sein. Zur numerischen Lösung gehören dann noch Stromquellen und -senken an Steckern oder Pads. Um an die Temperatur zu kommen, muss man schließlich die ortsabhängige Heizleistung in die FOURIERSche Wärmeleitungsgleichung einsetzen und letztere mit Termen für die Wärmeabfuhr versehen. Das Ergebnis ist die Gleichgewichtstemperatur.

Sowohl die alte als auch die neue IPC-Richtlinie zeigen nur einen Temperaturpunkt je Stromstärke und Leiterbahnparameter. Außerdem gibt es nur eine einzige geheizte Leiterbahn.

Die alte IPC-2221 (die zurückgeht auf das Jahr 1955) geht von einer 2-lagigen, die neue IPC-2152 von einer einlagigen Leiterplatte aus. Durch Flutung der Leiterplatte mit Kupfer um die Leiterbahn kann man näherungsweise versuchen, den Rest des Layouts imitieren. Flutung senkt die Temperatur der Leiterbahn. Aber auch diese Situationen sind sehr akademisch.

Eine Visualisierung der Wärmespreizung mit und ohne Flutung der Lage zeigt Bild 1. Die Ergebnisse der ungefluteten Varianten (linke Spalte) stimmen sehr gut mit denen in

LEITERBREITE [MIL]	STROM [A]	LEITER-TEMPERATUR [°C]	VIA-TEMPERATUR [°C]
27	4,75	66	64,5
27	6,65	114	109
200	4,75	30,5	31,5
200	8,55	40,5	44,5

Tabelle 1: Konfigurationen und gemessene Temperaturwerte.

den Graphen in den Richtlinien (worin eine mittlere Temperatur aus dem temperaturabhängigen Widerstand zurückgerechnet wurde) überein. Die Endstücke sind kälter, weil die Wärme über einen Winkel von fast 180° angegeben werden kann. In der Mitte ist immer ein Hotspot.

Die Vorteile bei Hochstrom-Kupferprofilen

Inlays oder Profile vergrößern lokal den Leiterquerschnitt und reduzieren dort die Heizleistung. Allerdings gibt es am Beginn des Profils und am Ende eine Stufe zum normalen Lagenkupfer. Wenn zwei Profile aneinandergrenzen (Bild 2 links), verbleibt im Zwischenraum eine Querschnittsverjüngung und die Stromdichte ist dort höher als in den Profilen.

Es könnte lokal zu einer Überhitzung kommen. Bei richtiger Anwendung und bei guter Wärmespreizung muss sich das nicht nennenswert auswirken.

Die untersuchte Baugruppe ist 4-lagig mit Profilen unter der Top- und über der Bottom-Lage (Quellenangaben in [1]). Mithilfe einer Simulation kann man in das Board hineinschauen und die Situation mit und ohne Profile vergleichen. Bild 3a zeigt den Stromfluss in der Top-Lage zwischen den beiden Pressfit-Steckern, die sich rechts oben und links oben befinden.

Dort wo Profile sind ist die Stromdichte gering (dunkelblau) und im Spalt am Übergang zwischen den Profilen hoch.

Der Vergleich der gerechneten Thermogramme in Bild 3 und 4 zeigt, dass es rechts oben zwischen den Profilen qualitativ zu einem Hotspot kommt, der aber quantitativ nicht hoch ausfällt.

Besonders in der unteren Querbahn ist die Verbesserung durch eine Schiene deutlich zu sehen. Die Übereinstimmung der berechneten Temperatur in Bild 3 mit dem gemessenen Thermogramm in Bild 2 ist befriedigend gut. Das Board mit Profilen ist ca. 60 Prozent kälter.

Welche Stromtragfähigkeit haben Vias?

Ein 2-lagiges Testboard ist in Bild 5 zu sehen. Die Leiterbahnen sind insgesamt jeweils 6 inch lang (152 mm) und liegen je zur Hälfte auf der Ober- bzw. -Unterseite. Die Breite in mil ist angegeben.

In der Mitte, wo die Hälften leicht überlappen, befindet sich jeweils eine 20-mil-Bohrung mit 30 µm galvanischer Hülse. Die Temperatur wird mittels Thermoelementen gemessen (Tabelle 1). Temperaturwerte von Leiterbahn und Via liegen immer sehr nahe beieinander.

Auffallend ist, dass bei der schmalen Leiterbahn das Via etwas kälter als die Leiterbahn ist und bei der breiten Leiterbahn etwas wärmer. Das ist auf den ersten Blick erstaunlich, weil der elektrische Widerstand der Bohrungen immer gleich ist.

Man muss allerdings die geometrischen und die physikalischen Gegebenheiten ge-

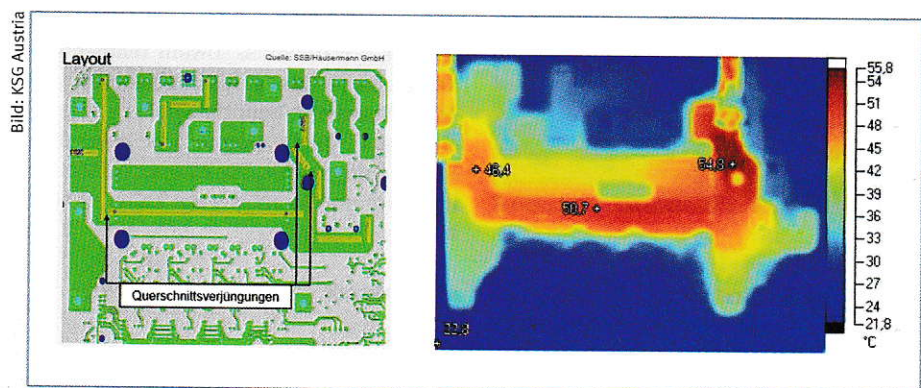


Bild 2: Hochstromprofile Top-Lage, Profile und Messung. Delta T ~ 35 K.



Aufs

- beson
- leiter
- Gehö
- aus o
- Kupfer
- komp
- ableit
- integ
- festig
- für ur
- Modi



Mehr
www

Fischer El

Nottebohr
58511 Lu
DEUTSCH
Telefon +
Telefax +
E-Mail in

Wir st
in Mü

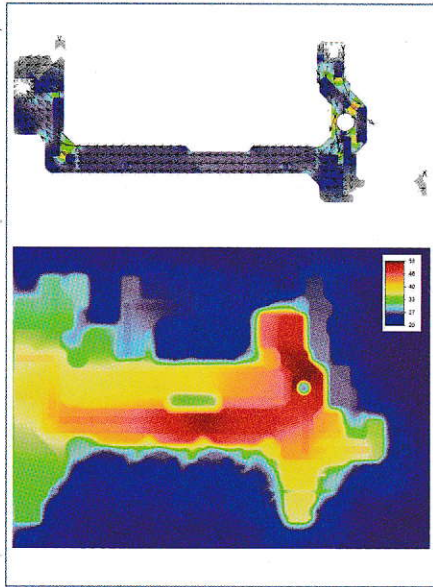


Bild 3: Stromdichte mit Profilen, 6,4 W bei 70 A. Simuliert Delta T ~ 33 K (unten).

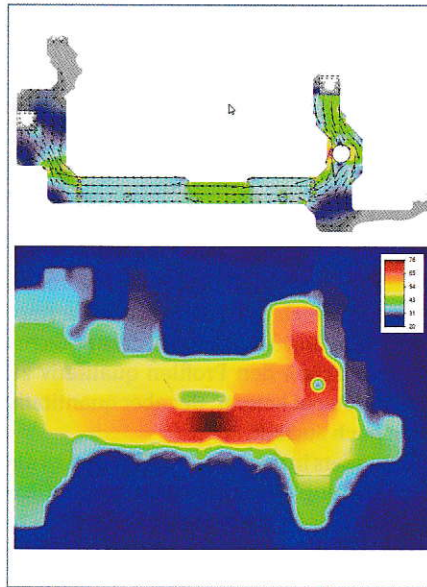


Bild 4: Stromdichte ohne Profile, 10 W bei 70 A. Simuliert Delta T ~ 56 K (unten).

Bild 5: Testboard zur Viatemperatur, Leiterplatte (oben) und Simulationsmodell (unten).

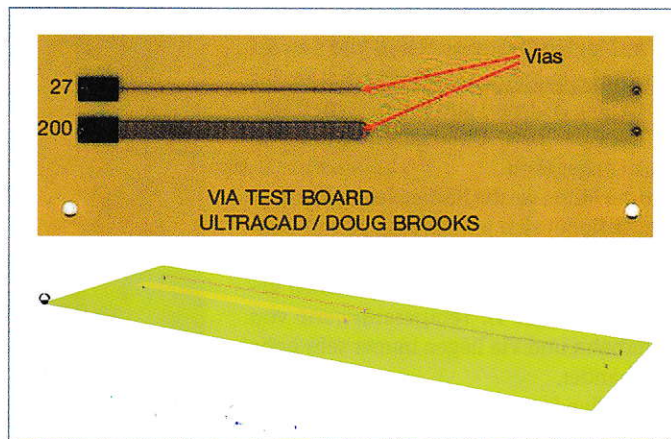
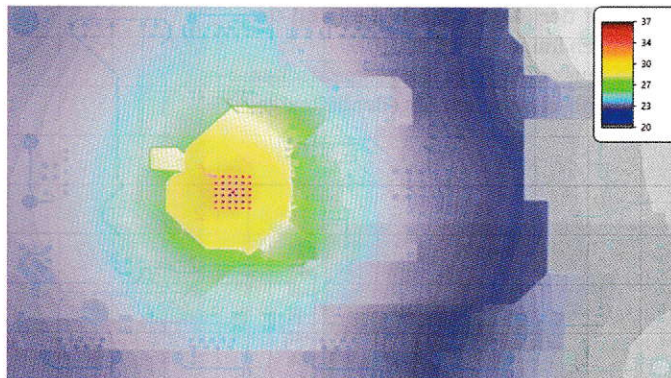


Bild 6: Wärmevias unter einem heat slug bleiben heiß, weil die Wärme schlecht aus dem Potentialkäfig ausbrechen kann.



meinsam betrachten und Zahlenwerte aus den Simulationsergebnissen hinzuziehen. ■ Bei der schmalen Version ist die Verlustleistung in der Hülse nur ein kleiner Teil der Verlustleistung im Leiter. Die Hülse kann

etwas Wärme aufnehmen und rundherum in das FR4 besser abgeben. Das Via wirkt als eine kleine Kühlrippe. ■ Bei der breiten Version sind die Wärmeverluste in der Hülse ein etwas höherer

Anteil und das Via gibt ihre Wärme an die Leiterbahn ab. Jetzt ist die Leiterbahn die Kühlrippe.

Die Übereinstimmung der Simulation mit der Messung ist an dieser Stelle erstaunlich gut (Details dazu finden Sie in [1]). Entgegen der allgemeinen Meinung ist es also nicht die Stromstärke im Via, die die Temperatur eines Via bestimmt, sondern die Temperatur der Leiterbahnen.

In der neuen Richtlinie IPC-2152 wird vorgeschlagen, die Hülse geometrisch abzuwickeln, sie als kleine Leiterbahn zu betrachten und aus den Kurven Temperatur oder Stromstärke abzulesen. Das ist nicht zu empfehlen, denn das abgewinkelte Kupfer ist sehr kurz, wogegen die IPC-Graphen mit langen Leiterbahnen gemessen wurden.

Was Sie über Thermovias wissen sollten

Thermovias sind galvanisierte Bohrungen, die den vertikalen Wärmetransport durch das isolierende Dielektrikum („FR4“) verbessern sollen. Allerdings transportiert ein Bohrfeld nicht immer einen relevanten Wärmeanteil und eine Verdoppelung der Anzahl führt nie zu einer Halbierung der Übertemperatur.

Erfahrungen zeigen, dass, wenn die Hülse nicht an einer Wärmesenke enden, sie meistens uneffektiv sind (Bild 6). Die Wärmesenke kann ein Rippenkühlkörper sein, der von der Leiterplatte durch eine elektrisch nichtleitende Folie oder Kleberschicht isoliert werden muss.

Der Wärmewiderstand der Isolierung muss so klein wie möglich sein, damit sie nicht den Gewinn durch die Vias entwertet. Der Wärmewiderstand der Isolierung muss so klein wie möglich sein damit sie nicht den Gewinn durch die Vias entwertet.

Man wird durch den Begriff Wärmeleitfähigkeit leicht in die Versuchung geführt nur auf diesen Stoffwert zu schauen und ihn zu optimieren.

Der zweite Bestandteil der FOURIERSchen Formel ist der Temperaturgradient, der besagt, dass Wärmefluss sowohl Temperaturunterschiede erzeugt als auch solche zum Wärmetransport benötigt. Bohren in eine elektrisch isolierte warme Zone unter dem Bauteil bringt nichts. Die Wärmequelle muss irgendwo und irgendwie die Kälte „sehen“ können.

// KR

ADAM Research

Literatur

[1] Adam, J.; Schmidt, W.-D.: Elektronikkühlung – in Leiterplatten-Design und -Fertigung. Vogel Fachbuch (2022). ISBN: 978-3-8343-3462-6.