

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Tipps für alle, die Geräte selbst bauen

Helmut Stadelmeyer

Bei vielen elektronischen Baugruppen ist die richtige Ableitung der Verlustwärme entscheidend für eine einwandfreie Funktion. Wie sich bei Luftkühlung und Kenntnis einiger Grundlagen der Wärme flu ß vom wärmerzeugenden Bauteil zur Umgebung mit geringem Aufwand optimieren läßt, wird hier näher untersucht.

Der Beitrag richtet sich an alle, die Geräte bauen oder verbessern wollen, in denen Leistungselektronik eingesetzt wird. Der Bogen reicht vom Netzgerät über die Kunstantenne und eine Reihe anderer elektronischer Diener bis hin zum Prozessor des Rechners im Shack.

Egal, ob es sich um den Kühlkörper eines Netzgerätes handelt, um den Leistungswiderstand einer Kunstantenne oder um den Prozessor im Rechner, das Ziel ist immer dasselbe: die Temperatur des Bauteils, in dem die Verlustwärme entsteht, soll im Betrieb so niedrig wie möglich bleiben, auf jeden Fall aber innerhalb der zulässigen Grenzen.

Um diese Forderung einzuhalten, sind zwei Voraussetzungen zu beachten:

- Die Wärmeleitung zwischen dem Bauteil und der Oberfläche, die schließlich die Wärme an die Umgebungsluft abgibt, muß so wirksam wie möglich sein.
- Die Oberfläche, die die Wärme an die Umgebungsluft abführt, muß entsprechend groß gewählt werden

Läßt sich mit den genannten Möglichkeiten wegen vorgegebener und nicht änderbarer Umstände das Ziel nicht erreichen, dann bleibt als Ausweg die forcierte Belüftung übrig. Auch eine zeitliche oder temperaturabhängige Begrenzung des Vollastbetriebes ist in manchen Fällen eine Lösung.

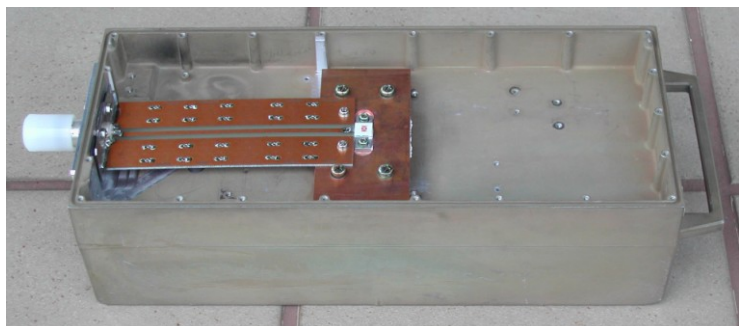


Abb. 1: Beispiel für wirkungsvolle Wärmeabfuhr bei einer Kunstantenne

Altbekanntes

Wärme geht nur von einem Stoff mit höherer Temperatur auf einen Stoff mit geringerer Temperatur über. Die dabei übertragene Wärmemenge ist abhängig von der Temperaturdifferenz der beiden Stoffe und einer Eigenschaft der Übertragungsstrecke, die als *Wärmewiderstand* bezeichnet wird. Ist dieser Widerstand groß, womöglich gar eine Isolierschicht, dann wird bei gleicher Wärmemenge der Temperaturunterschied groß sein. Wir alle wissen das und isolieren aus dieser Erkenntnis heraus unsere Häuser. Ist der Widerstand hingegen klein, dann funktioniert der Wärmetransport gut und der Temperaturunterschied zwischen den beiden Stoffen bleibt vergleichsweise gering. Bei unseren Geräten müssen wir deswegen danach trachten, diesen Widerstand so klein wie möglich zu machen.

In unserem Fall entsteht die Wärme in einem Halbleiter-Kristall beziehungsweise im eigentlichen Widerstandselement auf sehr kleinem Raum. Sie ist der augenblicklichen Verlustleistung, die an dem Bauteil umgesetzt wird, direkt proportional und hat eine Temperaturerhöhung zur Folge. Der Hersteller des Bauelementes hat unter Beachtung seiner wirtschaftlichen Gegebenheiten mit den ihm zur Verfügung stehenden Mitteln den Wärmewiderstand zwischen dem Teil, in dem die Wärme entsteht, und dem schützenden Gehäuse so klein wie möglich gemacht. Wir können als Anwender des Bauteils diesen Wärmewiderstand nicht weiter beeinflussen, können ihn aber im Datenblatt des Bauteils nachlesen.

Was wir jedoch sehr wohl beeinflussen können, ist ein weiterer Wärmewiderstand zwischen dem Gehäuse und der Umgebungsluft. Hier erkennen wir auch schon, daß es nicht um einen einzigen Wärmewiderstand geht, sondern um eine Reihenschaltung von mehreren, wobei die Anzahl vom Aufbau und von der mechanischen Konstruktion des Gerätes abhängig ist.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Wir wissen auch, daß Wärmeleitung in einem Stoff ein Vorgang ist, der eine gewisse Zeit benötigt und daß ein Körper, der an einem Punkt erwärmt wird, nicht überall dieselbe Temperatur aufweist, selbst wenn das thermische Gleichgewicht zwischen zugeführter und abgegebener Wärme schon erreicht sein sollte. Bestimmt werden diese beiden Eigenschaften vom Wärmewiderstand des Körpers, der wiederum vom Material und von der Form abhängt. Das wird uns später noch im Fall von kurzzeitiger Belastung beschäftigen.

Ein anschaulicher Vergleich

Die Verhältnisse bei der Wärmeleitung lassen sich recht gut mit denen einer Serienschaltung von Widerständen in einem elektrischen Stromkreis vergleichen: bei einem vorgegebenen Strom, der unserer abzuleitenden Wärmemenge entspricht, ist die erforderliche Spannung, die den Strom treiben muß und bei diesem Denkmodell der Temperatur gleichzusetzen ist, proportional zum Widerstand im Stromkreis.

Ein großer Wärmewiderstand, der einem schlechten Wärmeübergang zwischen Wärmequelle und Umgebung entspricht, hat also eine große Temperaturdifferenz zur Folge. Weil die Temperatur der Umgebung, an die die Wärme letztendlich abgegeben wird, üblicherweise von uns ebenfalls nicht zu beeinflussen ist, wird sich die Temperatur der Wärmequelle soweit erhöhen, bis das Gleichgewicht zwischen im Bauteil erzeugter und von dort abgeführter Wärmemenge erreicht ist.

Bei der Ausgangsstufe eines linear geregelten Netzgerätes haben wir es in der Regel mit folgenden Wärmeübergängen zu tun:

- Chip → Bauteilgehäuse
- Bauteilgehäuse → Isolierfolie
- Isolierfolie → Kühlkörper
- Kühlkörper → Umgebungsluft

In diesem Beispiel können wir von den vier Übergängen den ersten indirekt und die anderen drei direkt durch die Art der Konstruktion und die eingesetzten Mittel beeinflussen!

Unsere Möglichkeiten

Die üblichen Silizium-Halbleiter vertragen eine maximale Sperrschichttemperatur von etwa 150 bis 200 Grad C [°C]. Wird die im Datenblatt angegebene Grenze überschritten, so ist mit einer Beschädigung des Bauteils zu rechnen, wobei es sofort ausfallen kann oder auch erst nach einiger Zeit. HF-Leistungswiderstände vertragen am innenliegenden Widerstandselement ebenfalls um die 150 °C, wobei der Gehäuseflansch bei Vollast lediglich 100 °C erreichen darf. Auch hier ist in jedem Fall das Datenblatt zu konsultieren.

1. Selbst wenn wir die thermischen Eigenschaften eines Leistungstransistors nicht beeinflussen können, so haben wir doch die Möglichkeit, die an ihm entstehende Verlustleistung vorzubeugen:
Wir können anstatt eines einzelnen Bauteils mehrere parallel schalten und durch geeignete Maßnahmen für eine gleichmäßige Aufteilung der Verlustleistung sorgen (das nebenstehende Schaltbild enthält auch eine Treiberstufe).
2. Mittlerweile gibt es eine ganze Reihe von unterschiedlichen Isolierfolien, die zur Potentialtrennung zwischen Bauteil und Kühlkörper einsetzbar sind:

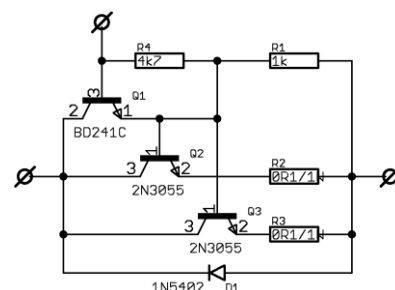


Abb. 2: Parallelschaltung von zwei Leistungstransistoren

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

- Die althergebrachten Glimmerscheiben
- Wärmeleitfolien aus Silikonelastomer in unterschiedlicher Materialstärke
- Wärmeleitfolien aus Polyimid (Kapton)
- Silikonschaumfolien
- Aluminiumoxydscheiben

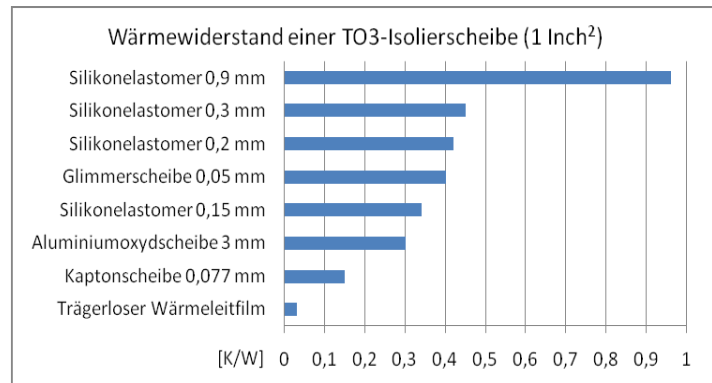


Abb. 3: Wärmewiderstand unterschiedlicher Materialien mit gleich großer Fläche

Achtung: Wenn hier vom Wärmewiderstand die Rede ist, dann handelt es sich dabei nicht um eine Materialkonstante, sondern um einen Wert, der bauteilspezifisch ist und ganz wesentlich von Ausführung und Anordnung des Bauteils und der Größe der Fläche abhängt, die die Wärme überträgt!

Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes ist hingegen eine Materialkonstante, die sich allerdings mit der Temperatur geringfügig ändert [1].

Ist keine Potentialtrennung notwendig, dann kann der Transistor ohne jede Zwischenlage direkt auf dem Kühlkörper montiert werden. Dies hat in der Regel jedoch nicht den kleinstmöglichen Wärmewiderstand zur Folge; eine Verbesserung lässt sich durch Zugabe von Wärmeleitpaste erreichen.

3. Wärmeleitpasten haben den Zweck, wärmeisolierende Lufteinschlüsse, die wegen winziger Unebenheiten zwischen Gehäuse und Glimmerscheibe oder Kühlkörper immer vorhanden sind, zu verdrängen. Tatsächlich ist es so, daß aufeinanderliegende metallische Oberflächen sich nur an wenigen Punkten wirklich berühren.

Auch hier gibt es eine Anzahl unterschiedlicher Produkte und Qualitäten:

- Silikonfreie Wärmeleitpaste
- Silikonhaltige Wärmeleitpaste (hat üblicherweise geringfügig bessere Wärmeleiteigenschaften als silikonfreie Paste)
- Metallhaltige Wärmeleitpaste (zumeist elektrisch leitend!)
- Graphitwärmeleitpaste (elektrisch leitend!)
- Flüssiges Metall (elektrisch leitend!)
- Wärmeleitkleber
- Trägerloser Wärmeleitfilm als Folie

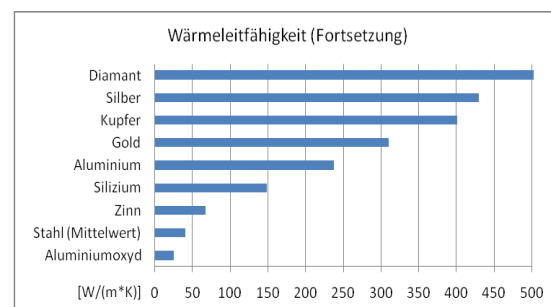
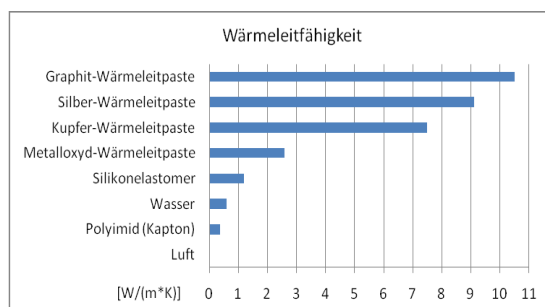


Abb. 4: Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Stoffe

4. Kühlkörper bestehen zumeist aus einer gut wärmeleitenden Aluminiumlegierung, seltener aus dem wesentlich teureren Kupfer. Neben der mechanischen Ausführung ist für uns die Kenngröße des Wärmewiderstandes von maßgeblicher Bedeutung. Er wird in den Datenblättern mit R_{th} bezeichnet, die Maßeinheit ist [K/W].

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

K = Temperaturerhöhung in Kelvin (1 K = 1 Grad C)

W = zugeführte Verlustleistung in Watt

Der Wärmewiderstand gibt also an, wie groß die Temperaturdifferenz des Kühlkörpers oder Bauteils zu seiner die Wärme abführenden Umgebung wird, wenn man ihm eine Verlustleistung von 1 W zuführt.

Weil die Wärme nicht direkt von dort, wo sie entsteht, an die Kühlluft übertragen werden kann, enthält die Bezeichnung eines Wärmewiderstandes je nachdem, um welchen es sich handelt, einen Zusatz zur weiteren Unterscheidung. Bei diesen Zusätzen handelt es sich um nicht genormte, herstellerspezifische Bezeichnungen. Beispiele (entnommen aus dem Katalog von [2]):

R_{thG} Innerer Wärmewiderstand des Halbleiters

R_{thM} Wärmewiderstand der Montagefläche

R_{thK} Wärmewiderstand des Kühlkörpers

Zu 1.

Am Beispiel eines linear geregelten Netzgerätes soll der Vorteil einer Parallelschaltung von mehreren Leistungstransistoren 2N3055 gezeigt werden (2 Stk. in Abb. 2). Das Datenblatt [3] von ON Semiconductors gibt für diesen Typ einen maximalen Wärmewiderstand von 1,52 °C/W an, die maximal zulässige Verlustleistung ist mit 115 W angegeben und die maximal zulässige Sperrschichttemperatur liegt bei 200 °C. Die am Längsregler auftretende Verlustleistung soll 100 W betragen bei einer maximalen Temperatur der Umgebungsluft von 40 °C:

Bei Verwendung eines einzigen Transistors beträgt die Temperaturdifferenz im Transistor

$100 \text{ [W]} \cdot 1,52 \text{ [°C/W]}$ entsprechend 152 °C. Für die Übertragung der Wärme auf die Umgebungsluft verbleiben nur mehr

$200 \text{ [°C]} - 152 \text{ [°C]} - 40 \text{ [°C]}$ entsprechend 8 [°C], was auf jeden Fall zu wenig ist, um mit vernünftigem Aufwand machbar zu sein. Dabei ist die im Datenblatt genannte zulässige Verlustleistung noch gar nicht erreicht.

Eine Nachrechnung ergibt, daß die 115 W eine Temperaturdifferenz im Transistor von 175 °C zur Folge haben, die Leistungsangabe also auf eine Gehäusetemperatur von 25 °C bezogen ist, was in vielen Datenblättern auch vermerkt ist. Wir lernen daraus, daß es sich bei diesen 115 W nur um einen theoretischen Wert handelt, der die praktisch auftretenden Verhältnisse in keiner Weise berücksichtigt. Jetzt wird vielleicht auch klar, warum beim selbstgebauten Netzgerät die Endstufe hin und wieder kaputtgegangen ist...

Wenn wir jedoch statt einem drei dieser spottbilligen Transistoren verwenden, dann entfallen auf jeden Transistor nur mehr 33,3 W und seine innere Temperaturdifferenz geht auf 50,7 °C zurück. Zur Wärmeabfuhr von seinem Gehäuse an die Umgebungsluft verbleiben jetzt 109,3 °C.

Eine Schaltung zur gleichmäßigen Aufteilung der Verlustleistung ist in Abb. 2 dargestellt: Der Spannungsabfall an den zusätzlichen Widerständen in den Emitterstromkreisen der Transistoren gleicht eine unterschiedliche Stromverstärkung weitgehend aus, sodaß durch jeden Transistor annähernd der gleiche Strom fließt. Die Widerstände sollen beim größten Strom einen Spannungsabfall von ca. 0,3 V verursachen und sie müssen die an ihnen entstehende Verlustleistung vertragen können.

In den obigen Rechnungen sind der leichten Durchschaubarkeit wegen keinerlei Reserven enthalten. In der Praxis hält man immer einen Sicherheitsabstand zur maximalen Sperrschichttemperatur ein und ebenso macht man einen Sicherheitszuschlag bei der Umgebungstemperatur. Wer sich dafür näher interessiert, sei auf die Datenblätter der diversen Halbleiterhersteller und Kataloge der Kühlkörperhersteller [2] verwiesen.

Zu 2.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Ist eine Potentialtrennung zwischen Bauteilgehäuse und Kühlkörper notwendig, dann geschieht dies üblicherweise durch eine Isolierscheibe, die unter das Bauteil gelegt wird. Eine solche Zwischenlage behindert den Wärmetransport vom Bauteilgehäuse zum Kühlkörper ganz beträchtlich, weshalb ihr entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen ist:

- Harte und spröde Zwischenlagen wie Glimmer oder Aluminiumoxyd sind nicht in der Lage, sich den immer vorhandenen Unebenheiten der metallischen Oberflächen anzupassen. Folglich liegen sie auch unter mechanischem Anpreßdruck nur an wenigen Punkten ihrer Oberfläche tatsächlich auf dem Gegenstück auf, den großen Rest der Flächen trennt ein dünner Luftpolster, der die Wärme noch viel schlechter leitet als die Isolierscheibe (vgl. Abb.4). Es gilt, die Luft durch einen die Wärme besser leitenden Stoff zu ersetzen. Diese Aufgabe übernimmt bei richtiger Anwendung die Wärmeleitpaste.
- Flexible Folien aus Silikongummi machen die Zugabe von Wärmeleitpaste überflüssig, weil sie sich mehr oder weniger gut zusammenpressen lassen und so die Luft aus den Zwischenräumen verdrängen. Ihre Montage ist einfacher als die von harten Zwischenlagen, die Wirkung geht aus der Tabelle 2 hervor. Sie unterscheiden sich voneinander durch recht unterschiedliche Wärmeleiteigenschaften, die nur durch einen Versuch ermittelt werden können.

Die für uns maßgebliche Eigenschaft der Wärmeleitung ist bei einigen Zwischenlagen im nachfolgenden Abschnitt „Versuchsergebnisse“ in Tabellenform zusammengefaßt.

Zu 3.

Die Pasten weisen erhebliche Unterschiede hinsichtlich ihrer Fähigkeit auf, die Wärme zu leiten. Der wärmeleitende Stoff in den bekannten, oft weißen Pasten ist Aluminiumoxyd (ungiftig), Berylliumoxyd, welches giftig ist, aber die Wärme etwas besser leitet, ein anderes Metalloxyd oder auch völlig anderes Material wie Graphit. Als Bindemittel dient Silikonöl oder eine silikonfreie, synthetische Flüssigkeit. Pasten mit Silikonöl sind bis 250 °C wärmebeständig, die silikonfreien bis etwa 150 °C.

Viele dieser Pasten leiten die Elektrizität nicht, einige sind jedoch elektrisch leitend, was beim jeweiligen Anwendungsfall zu beachten ist. Grundsätzlich gilt, daß die Anwendung umso wirksamer wird, je dünner die Pastenschicht ist, durch die die Wärme hindurch muß. Dabei wird immer vorausgesetzt, daß die Lufteinschlüsse verdrängt worden sind. Hinweise zur Verarbeitung sind im Abschnitt „Anwendung der Pasten“ zu finden.

Eine Sonderstellung nehmen thermoplastische Folien ein, die als „trägerloser Wärmeleitfilm“ bezeichnet werden und beim Überschreiten einer Temperatur von ca. 50 °C vom festen, aber flexiblen in einen pastenartigen Zustand übergehen. In diesem Zusammenhang wird der Ausdruck „Phasenänderung“ gebraucht. Verwendet werden sie häufig zwischen modernen Prozessoren und dem aufgesetzten Kühlkörper, wobei der Anpreßdruck durch Federkraft entsteht.

Wenn keine Potentialtrennung erforderlich ist, wird man das wärmeerzeugende Bauteil direkt auf dem Kühlkörper montieren. Auch hier gilt aber wieder, daß alle Luftpolster zwischen den beiden Oberflächen mittels Wärmeleitpaste zu verdrängen sind.

Um die Wirkung der Pasten deutlich zu machen, enthält die Tabelle im Abschnitt „Versuchsergebnisse“ auch einen Versuch, bei dem die beiden metallischen Flächen ohne Wärmeleitpaste aufeinanderliegen. Die Aussagekraft eines solchen Versuchs ist allerdings beschränkt, weil der Zustand der beiden Flächen nicht genau nachvollziehbar ist und eine Wiederholung mit anderen Teilen zu schlechteren oder besseren Ergebnissen führen kann.

Selbst flüssiges Metall wird als Ersatz für Pasten zur Verbesserung der Wärmeleitung angeboten. Es handelt sich dabei um eine Gallium–Indium–Zinn-Legierung mit einem Schmelzpunkt um 10 °C. Sie greift Aluminium an und ist elektrisch ebenfalls gut leitend. Der Stoff wird zwar als für den Menschen unbedenklich angepriesen, es liegen aber keinerlei diesbezügliche Langzeiterfahrungen vor. Wegen der hohen Kosten und der etwas schwierigen Anwendung kommt er allenfalls für die CPU-Kühlung infrage. Nähere Informationen über die Zusammensetzung solch ungewöhnlicher Legierungen sind bei [4] zu finden.

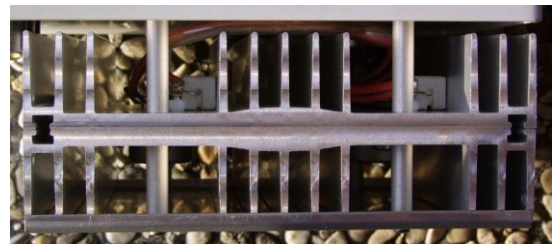
Zu 4.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Ein Kühlkörper soll möglichst viel Wärme an seine Umgebungsluft abgeben, wozu eine große Oberfläche notwendig ist; andererseits sind kleine Abmessungen wünschenswert. Diese sich widersprechenden Forderungen verlangen bei einem neu aufzubauenden Gerät entsprechende Planung:

- Der Zutritt frischer Luft darf nicht behindert werden, die Abluft muß ungehindert abströmen können. Es ist deshalb auf ausreichende Abstände ringsum zu achten, besonders aber zum Boden hin, wobei 2 cm genügen.
- Die Kühlrippen sind senkrecht anzuordnen. Liegen sie waagrecht, dann verringert sich bei natürlicher Kühlung (also ohne die Verwendung eines Ventilators) die Wärmeabgabe um 15 bis 20 %.
- Schwarz eloxiertes Aluminium gibt die Wärme besser ab als naturfarbenes; der Unterschied beträgt 10 bis 15 %.
- Der Kühlkörper muß die notwendige Montagefläche für die ermittelte Anzahl der Halbleiter aufweisen
- Die Montageflächen müssen nicht nur glatt sein, sondern auch plan, damit die Teile möglichst gut aneinander liegen

Abb. 5: Zusammenbau zweier Kühlkörper zur Vergrößerung der Oberfläche (Draufsicht). Die beiden gleichartigen Teile sind Rücken an Rücken miteinander verschraubt, dazwischen ist eine ganz dünne Schicht Wärmeleitpaste



Wärmeverteilung:

In einigen Geräten entsteht die Wärme nicht über einen längeren Zeitraum, sondern dort wird in kurzer Zeit auf kleinem Raum eine große Wärmemenge frei, wie das bei einer modernen Kunstantenne der Fall ist. Der Bereich unmittelbar um den Lastwiderstand erwärmt sich wegen der vergleichsweise langsamen Wärmeausbreitung im Aluminium sehr stark und rasch, der Großteil des Kühlkörpers ist jedoch noch kaum warm. Bei diesem Belastungsfall wird leicht die zulässige Grenztemperatur des Widerstandes überschritten.

Eine Verbesserung erreicht man, wenn der Widerstand nicht auf dem Aluminium-Kühlkörper, sondern auf einer angemessen großen und dicken Platte aus Kupfer montiert wird, die die Wärme besser leitet und großflächig auf den eigentlichen Kühlkörper verteilt (Abb. 1). Selbstverständlich muß der Kühlkörper entsprechend massiv sein, damit die Wärme gut und möglichst rasch auf seine gesamte Fläche, insbesondere die Rippen, weitergeleitet wird. Hersteller von hochbelasteten CPU-Kühlern wenden diese Methode ebenfalls an (dort als Heat Spreader bezeichnet).

Bei selbstgebauten Geräten trachtet man üblicherweise danach, Material zu verwenden, das irgendwann den Weg in das Bauteile-Vorratslager gefunden hat. Eine Möglichkeit, bei einem vorhandenen Kühlkörper den Wärmewiderstand ungefähr zu bestimmen, besteht darin, ihn mit einem ähnlichen aus dem Katalog eines Herstellers zu vergleichen. Der von [2] herunterladbare Katalog ist zwar sehr umfangreich (65 MB), liefert dafür aber auch gute Anhaltspunkte. Diese Methode reicht aus, um ein brauchbares Ergebnis zu erhalten.

Messung des Wärmewiderstandes:

Wer es genau wissen will, kommt um eine Messung des Wärmewiderstandes nicht herum. Der Aufwand dafür ist beträchtlich, denn es ist nicht nur die Temperatur des Kühlkörpers zu messen, es muß auch die umgesetzte Leistung möglichst genau bekannt sein. Dazu braucht man

- ein einstellbares und stabilisiertes Netzgerät, mit dem die Verlustleistung am Meßobjekt einstellbar ist, sowie
- eine Konstantstromschaltung für den Leistungstransistor, der als Wärmequelle dient. Ohne diese ändert sich der Strom mit zunehmender Temperatur, was das Meßergebnis verfälschen würde.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

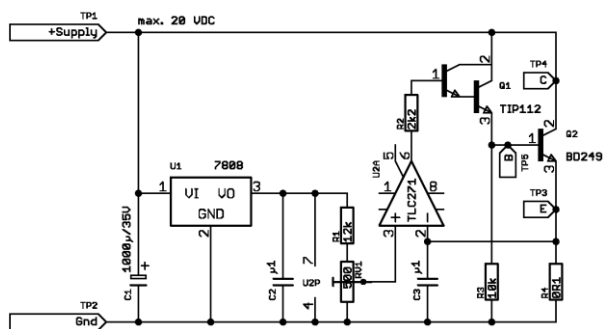


Abb. 6: Konstantstromschaltung

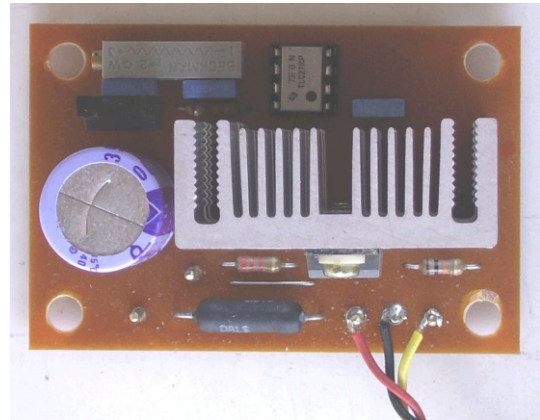


Abb. 7: Fertige Baugruppe

Die Konstantstromschaltung weist keine Besonderheiten auf, die Versorgungsspannung der Baugruppe kann zwischen 12 und 20 V betragen. Die Referenzspannung wird mit einem 7808 erzeugt, den Strom stellt man mit RV1 ein. Der Spannungsabfall an R4 wird mit der eingestellten Spannung verglichen und vom Operationsverstärker auf den vorgegebenen Wert nachgeführt. Als Transistoren können genauso Typen verwendet werden, die ähnliche Daten aufweisen wie die im Schaltbild angegebenen. Im Betrieb ist darauf zu achten, daß die Verlustleistung an Q2 im Rahmen bleibt und die zulässige Sperrschichttemperatur nicht überschritten wird. Für Q1 ist ein Kühlkörper erforderlich.

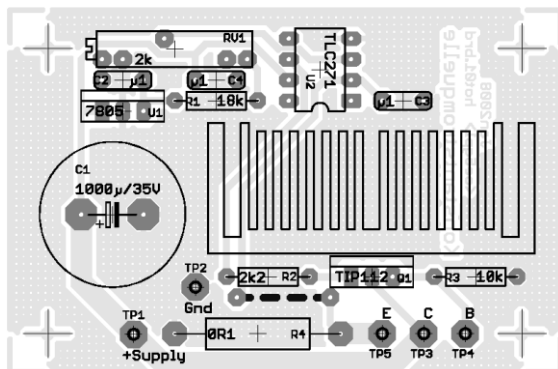


Abb. 8: Bestückungsplan der Konstantstromschaltung

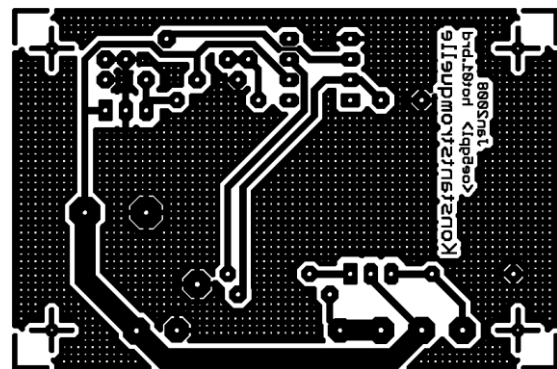


Abb. 9: Leiterplatten-Layout der Konstantstromschaltung

Die mit Q2 erzeugte Wärmemenge ist in der Schaltung nach Abb. 6 um etwa 4 % geringer als die der Baugruppe zugeführte Leistung, weil Q2 nur eine Stromverstärkung in der Gegend um 25 hat. Der notwendige Basisstrom für Q2 produziert eine Verlustleistung in Q1 auf der Platine und nicht auf dem zu prüfenden Kühlkörper. Der Fehler läßt sich vermeiden, wenn für Q2 ein Leistungs-FET verwendet wird. Dann kann auch Q1 entfallen und Q2 wird direkt vom TLC271 angesteuert.

Bei der Messung geht es darum, jene Temperatur festzustellen, bei der die zugeführte Leistung gleich groß ist wie die vom Kühlkörper abgegebene; das ist jener Punkt, bei dem sich die Temperatur nicht weiter erhöht.

Das läßt sich auf zweierlei Art erreichen: Man kann nach dem Einschalten lange genug warten, bis das System seinen Gleichgewichtszustand erreicht hat, oder man heizt mit erhöhter Leistung rasch auf und nimmt bei Erreichen der voraussichtlichen Endtemperatur die Leistung auf das der Größe des Kühlkörpers entsprechende Maß zurück. In jedem Fall ist die Prozedur zeitaufwendig.

Die Spitze des Temperaturfühlers darf nur eine ganz geringe Masse haben, damit sie einer Temperaturänderung rasch folgen kann. Übliche Anlage- und Einstechfühler für den Sonntagsbraten sind für diesen Zweck nicht geeignet, weil sie zu träge reagieren und wegen der großen metallenen Fühleroberfläche eine Kühlwirkung haben – sie liefern deshalb ein falsches Meßergebnis. Bewährt hat sich ein Typ-K-Thermoelement, das nur aus den beiden dünnen Thermodrähten mit dünner Isolierung besteht. Das Ende gleich hinter der Schweißperle wurde mit einem etwa 10 cm langen Schutzschlauch zusätzlich thermisch isoliert. Der Signalwandler war ein FLUKE 80TK, der auf ein normales Digitalmultimeter aufzustecken ist.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Macht man die Messung an demselben Kühlkörper mit unterschiedlichen Verlustleistungen, dann stellt sich heraus, daß ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen zugeführter Verlustleistung und erreichter Kühlkörpertemperatur besteht. In Abb. 10 kommt das zum Ausdruck. Erklären kann man die Eigenschaft, daß mit steigender Temperatur die Wärmeabgabe besser wird, damit, daß die Luftturbulenzen an der metallenen Oberfläche zunehmen, was die Wärmeübertragung an die Luft begünstigt. Ebenso nimmt der Anteil der durch Strahlung abgeführten Wärme zu.

Die Umgebungstemperatur hat bei diesem Versuch 21 °C betragen.

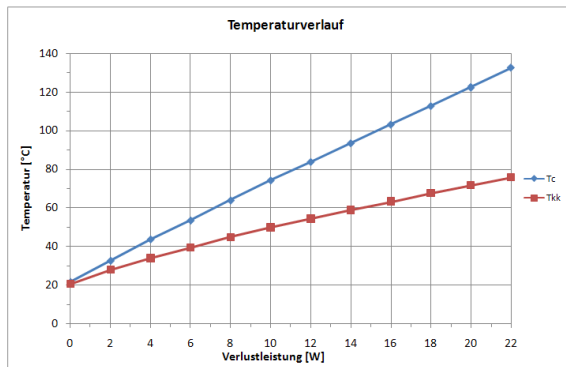


Abb. 10: Temperaturen bei der Versuchsanordnung in Abhängigkeit von der Verlustleistung
 T_c = Transistor-Flanschtemperatur
 T_{kk} = Kühlkörpertemperatur

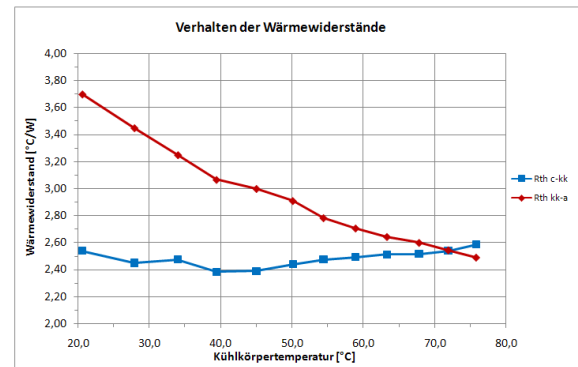


Abb. 11: Verlauf der Wärmewiderstände in Abhängigkeit von der Temperatur
 $R_{th\ c-kk}$ = Flansch → Kühlkörper
 $R_{th\ kk-a}$ = Kühlkörper → Umgebung

In Abb. 11 wurde der rechnerisch ermittelte Wärmewiderstand zwischen Transistorflansch und Kühlkörper sowie zwischen Kühlkörper und Umgebungsluft in Abhängigkeit von der Kühlkörpertemperatur dargestellt. Der etwas unregelmäßige Verlauf der Kurven ist auf Meßungenauigkeiten zurückzuführen. Man erkennt schön, daß der Wärmewiderstand zwischen Flansch und Kühlkörper von der Temperatur unabhängig ist, während jener zwischen Kühlkörper und Umgebungsluft bei größerer Oberflächentemperatur kleiner wird.

Anwendung der Pasten

Die Beschaffenheit der Paste darf nicht zu fest sein, weil sie sich sonst nicht zu einem hauchdünnen Film auseinanderdrücken läßt. Mit alter, schon halb ausgetrockneter Paste wird man deshalb keinen Erfolg haben. Die Konsistenz sollte etwa jener von frischer Zahnpaste entsprechen. Manche zu fest gewordene Pasten werden durch Zugabe von einigen Tropfen Silikonöl und innigem Verreiben wieder verwendbar.

Vor dem Aufbringen sind die Flächen sehr gründlich zu säubern, spürbare Unebenheiten sind zu beseitigen (ganz behutsam mit einer Schlichtfeile, noch besser wäre sehr sauberes Fräsen). Beim Aufbringen ist darauf zu achten, daß im Zuge der Montage Lufteinschlüsse vermieden werden. Damit ist auch gemeint, daß die Paste nicht großflächig verstrichen werden soll, sondern im Mittelpunkt der wärmenden Fläche oder bei einer größeren Fläche höchstens an ein paar Stellen ein kleiner Klumpen der Paste mit einem kleinen, flachen Schraubendreher aufzutragen ist. Die Größe der Klümpchen soll so bemessen sein, daß nach dem Festziehen der Befestigung die Paste an allen vier Seiten der Fläche mäßig austritt. Diese Methode spart zudem bei der nicht immer billigen Paste.

Von der Art der Befestigung des Halbleiters hängt es ab, wie gut die Paste zwischen den Flächen ohne Nacharbeit verteilt wird: Handelt es sich um einen Halbleiter mit Schraubbefestigung, dann genügt es, die Schrauben festzuziehen.

Werden Bauteil und Kühlkörper mit Federkraft zusammengedrückt, wie das bei einem Prozessor der Fall ist, dann sollte man nach dem Einhängen der Feder durch vorsichtiges Hin- und Herdrehen des Kühlkörpers die Paste ein wenig verreiben, um den Film so dünn wie möglich zu machen. Ein Verkanten ist dabei unbedingt zu vermeiden!

Bei einer trägerlosen Wärmeleitfolie ist das Verreiben schädlich, da die sich unter dem Federdruck durch die Hitze des Prozessors ohne weiteres Zutun anpaßt.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Nach der Montage dürfen die Teile nicht mehr getrennt oder verkantet werden, denn sonst wird wieder Luft mit eingeschlossen und die Verhältnisse verschlechtern sich. In diesem Fall ist die Anordnung komplett neu zu montieren. So gut wie alle Pasten lassen sich mit Waschbenzin und Papiertaschentuch sauber entfernen. Bei Flüssigmetall liegen dem Verfasser keine Erfahrungen vor.

Versuchsanordnung und -durchführung

Die Versuchsanordnung bestand aus der oben beschriebenen Konstantstromschaltung und dem Rippenkühlkörper mit einem darauf montierten BUW12A als Wärmequelle. Die Temperaturen von Transistorkühlfläche und Kühlkörper wurden mit zwei Stück Typ-K-Thermoelementen gemessen:

Eines war vorne in einem mit der Kühlfahne des Transistors verschraubten Ringkabelschuh aus Kupfer eingebaut, das andere steckte in gleicher Weise auf der Rückseite des Kühlkörpers genau hinter dem Transistor. Die Befestigungsschraube war dabei elektrisch und thermisch von Transistor isoliert, die Spitzen der Thermoelemente wurden in Wärmeleitpaste eingebettet.

Der Kühlkörper war entsprechend Abb. 12 senkrecht angeordnet und ca. 7 cm von der Tischplatte entfernt, um die Wärmeabfuhr nicht zu behindern.

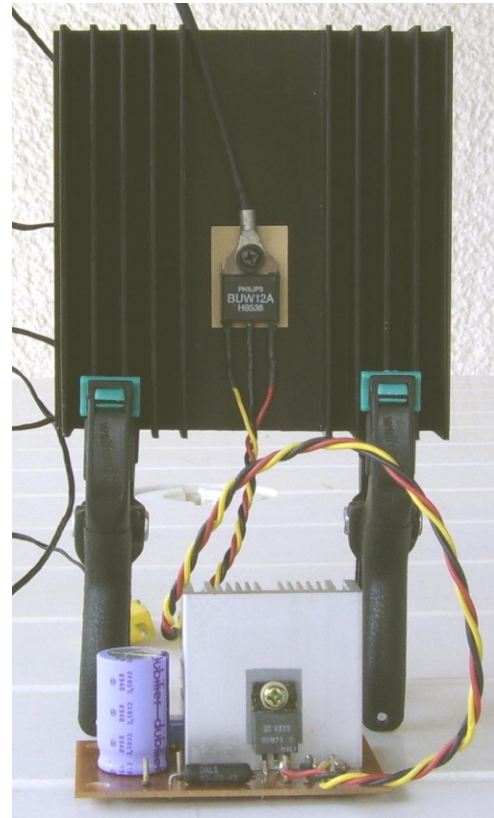


Abb. 12, rechts: Versuchsobjekt Kühlkörper

Kontrolliert wurde die auf der Rückseite des Kühlkörpers mit dem Thermoelement gemessene Temperatur mit einem Infrarot-Thermometer FLUKE 61, wobei der wärmste Punkt des Kühlkörpers gesucht worden ist (etwa in der Mitte hinter dem Transistor).

Auf diese Weise wurde die Wirksamkeit der Zwischenlagen und Pasten ermittelt. Die am Kühlkörper umgesetzte Leistung betrug in allen Fällen 15,0 W (1,04 A bei 15,00 V unter Einrechnung der Minderung von 4 %, die auf der Treiberplatine verloren geht). Es hat sich herausgestellt, daß der verwendete Kühlkörper unter den gegebenen Versuchsbedingungen den thermischen Gleichgewichtszustand bei einer Übertemperatur von 40,3 °C erreicht. Um Zeit zu sparen, ist in der Folge die Anordnung jedesmal zusätzlich mit einem Heißluftgebläse in die Nähe der Endtemperatur gebracht worden.

Zur Kontrolle der Ergebnisse wurde eine weitere Versuchsreihe mit einem AMD-ATHLON64-Prozessor auf einem GIGABYTE-Mainboard durchgeführt. Der Prozessor hat eine eingebaute Temperaturmeßdiode, die vom Mainboard ausgewertet wird. Die zu prüfenden Pasten befanden sich zwischen Prozessor und Kühler, ihr thermisches Verhalten wurde mit der BIOS-Funktion der CPU-Temperaturüberwachung ermittelt. Die vom Prozessor entwickelte Wärmemenge ist nicht bekannt, sie war jedoch während der ganzen Versuchsreihe unverändert, ebenso wie die Drehzahl des Lüfters auf dem Kühler. Der Kühler hat deshalb immer dieselbe Endtemperatur erreicht und die Prozessortemperatur ist bereits ein direktes Maß für den Wärmewiderstand zwischen Wärmequelle und Kühler.

An beiden Versuchsanordnungen wurde das Verhalten der in Tabelle 1 angeführten Prüflinge untersucht, wobei bei „harten“ Scheiben beidseitig immer dieselbe Paste zum Einsatz kam. Nach dem gleichen Muster sind die Pasten ohne Zwischenlegen einer Isolierscheibe untersucht worden. Ebenso wurde das Temperaturverhalten mit „harter“ Scheibe (gemeint ist eine, die sich nicht zusammendrücken läßt) ohne Paste sowie ohne Paste und ohne Scheibe untersucht, um auch für diese Sonderfälle Werte für die Wirksamkeit der Wärmeleitung zu gewinnen.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Farbe		Bemerkung	el. Eigensch.	Temperaturbereich [°C]	Verträglichkeit	Dichte [g/cm ³]	Wärmeleit- fähigkeit λ [W/(m*K)]
PASTEN mit Plastikfolie 0,05 mm							
Unbekanntes Fabrikat (UF)	weiß	k.A.	isolierend	-50 bis +130 ??	k.A.	k.A.	k.A.
THERMALLOY Thermalcote	weiß	Zinkoxyd + Silikonöl	isolierend	-40 bis +200	ungiftig	1,60	0,765
AUSTERLITZ WPN10	weiß	Metalloxyd + Silikonöl	isolierend	-40 bis +200	k.A.	2,30	0,8
ELECTROLUBE HTC	weiß	Zinkoxyd, silikonfrei	isolierend	-50 bis +130	schwach giftig	2,04	0,9
AKASA AK-450	silbergrau	Silber + Silikonöl	leitend	0 bis +200	k.A.	k.A.	9,24
FISCHER WLPG	schwarz	Graphit, silikonfrei	leitend	-40 bis +320	ungiftig	>1,25	10,5
ISOLIERSCHEIBEN ohne Paste			Farbe			Bemerkung	
Silikonelastomer 0,15 mm	beige		ISOLIERSCHEIBEN mit Paste UF				
Silikonelastomer 0,15 mm	rosa						
Silikonelastomer 0,15 mm	mittelgrau		Plastikfolie 0,05 mm	glasklar			
Silikonelastomer 0,22 mm	hellgrau	glasfaserverstärkt	Glimmer 0,05 mm	glasklar			
Silikonelastomer 0,31 mm	dunkelgrau		Kaptonfolie 0,05 mm	orange	durchsichtig		
Silikonelastomer 0,31 mm	hellgrau		Plastikfolie 0,08 mm	glasklar			
Silikonelastomer 0,34 mm	schwarz		Aluminiumoxyd 2,08 mm	weiß	spröde		
Silikonelastomer 0,44 mm	rot		k.A. --> keine Angaben				
Silikonelastomer 0,45 mm	gelb	glasfaserverstärkt					
Silikonelastomer 0,84 mm	dunkelgrau						

Tabelle 1: Liste der Prüflinge

V Versuchsergebnisse

Gleich zu Beginn ist untersucht worden, ob und wie weit der Wärmewiderstand zwischen Transistor und Kühlkörper von der Anpreßkraft der Transistorkühlfahne abhängt, also wie stark der Einfluß des Anzugsmomentes der Befestigungsschraube ist. Das erwartungsgemäße Ergebnis:

Bei sehr stramm anstatt normal angezogener Schraube wird der Temperaturunterschied um 15 bis 20 Prozent kleiner. Erklären läßt sich der Unterschied durch besseres Verdrängen der Lufteinschlüsse und etwas dünnere Pastenschichten. Der aus dem Rahmen fallende Wert für die Isolierscheibe (1) ist dabei nicht berücksichtigt.



Abb. 13: Der verwendete Drehmoment-schlüssel

Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurde das Anzugsmoment der M3-Schraube für die Transistorbefestigung mit einem primitiven, selbstgebauten Drehmomentschlüssel kontrolliert.

Der Wärmewiderstand des für die Messungen verwendeten Kühlkörpers errechnet sich bei 20 W Verlustleistung nach Abb. 10 zu

$$R_{th} = (71,9 - 21) [^{\circ}\text{C}] / 20 [\text{W}] = 2,55 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}.$$

Die 71,9 °C sind die gemessene Temperatur der Kühlkörperrückseite in der Mitte hinter dem Transistor. Diese Stelle wurde gewählt, weil sie den für die Erwärmung des Transistors maßgeblichen Wert darstellt. Die äußeren Rippen hatten dabei 63 °C, die Umgebungstemperatur betrug 21 °C.

Für einen ungefähr gleich großen Kühlkörper SK28-100 gibt der Katalog von FISCHER Elektronik 2,0 °C/W an. Der Unterschied könnte zumindest teilweise damit erklärt werden, daß bei seiner Messung die Temperatur über die Fläche gemittelt oder aber bei einem höheren Temperaturniveau gemessen wurde, wodurch sich ein besserer Wert ergibt. Der Katalog macht dazu keine näheren Angaben.

Letztendlich ist die Versuchsreihe dann nicht mit 20 W, sondern nur mit 15 W Verlustleistung durchgeführt worden, um bei möglichst vielen Prüflingen unter einer Transistor-Gehäusetemperatur von 130 °C zu bleiben.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Verlustleistung: 15 W	Dicke	Farbe	Kühlfahne	Kühlkörper	Differenz	Umgebung	FLUKE 61	$R_{th\ c-kk}$	$R_{th\ c-kk(N)}$	Bemerkung	Prozessor	Bemerkung
	[mm]		T_c [°C]	T_{kk} [°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C/W]	[°C/W]		[°C]	
PASTEN ohne Isolierscheibe												
Ohne Paste	0,00		77,3	60,1	17,2	19,9	61,4	1,15			85+	Übertemperatur
Unbekanntes Fabrikat (UF)	0,00	weiß	68,5	60,4	8,1	20,1	61,8	0,54			48	
Unbekanntes Fabrikat	0,00	weiß	66,9	60,5	6,4	20,2	61,6	0,43		ganz fest angezogen		
THERMALLOY Thermalcote	0,00	weiß	66,6	60,5	6,1	19,9	62,0	0,41			48	
AUSTERLITZ WPN10	0,00	weiß	67,2	60,5	6,7	20,1	62,2	0,45			50	
ELECTROLUBE HTC	0,00	weiß	65,1	60,6	4,5	20,2	62,0	0,30			46	
AKASA AK-450	0,00	silbergrau	66,0	60,6	5,4	20,3	61,8	0,36			46	
AKASA AK-450	0,00	silbergrau	65,2	60,6	4,6	20,4	61,6	0,31		ganz fest angezogen		
FISCHER WLPG	0,00	schwarz	66,7	60,7	6,0	20,4	61,8	0,40			47	
FISCHER WLPG	0,00	schwarz	65,6	60,6	5,0	20,4	61,8	0,33		ganz fest angezogen		
ISOLIERSCHEIBEN mit Paste UF												
Plastikfolie	0,05	glasklar	86,8	60,8	26,0	20,8	61,8	1,73	3,47		85+	Übertemperatur
Plastikfolie	0,05	glasklar	86,6	60,5	26,1	20,8	61,0	1,74	3,48	ganz fest angezogen		
Glimmer ohne Paste	0,05	glasklar	94,7	59,8	34,9	19,7	60,8	2,33	4,65		85+	Übertemperatur
Glimmer	0,05	glasklar	73,5	60,2	13,3	20,9	61,4	0,89	1,77		85+	Übertemperatur
Glimmer	0,05	glasklar	71,6	60,2	11,4	20,9	61,4	0,76	1,52	ganz fest angezogen		
Kaptonfolie	0,04	orange	90,0	60,6	29,4	20,9	61,6	1,96	4,90		85+	Übertemperatur
Kaptonfolie	0,04	orange	85,0	60,2	24,8	20,9	61,2	1,65	4,13	ganz fest angezogen		
Aluminiumoxid	2,08	weiß	80,2	60,7	19,5	21,0	61,6	1,30	0,06		85+	Übertemperatur
Aluminiumoxid	2,08	weiß	77,0	60,7	16,3	21,0	61,4	1,09	0,05	ganz fest angezogen		
ISOLIERSCHEIBEN ohne Paste												
Silikonelastomer (A)	0,15	beige	90,4	60,5	29,9	20,1	61,6	1,99	1,33		85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (B)	0,15	mittelgrau	93,9	60,5	33,4	20,3	61,6	2,23	1,48		85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (C)	0,22	hellgrau	101,2	60,7	40,5	20,5	61,8	2,70	1,23		85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (D)	0,31	dunkelgrau	105,9	60,6	45,3	20,6	61,6	3,02	0,97		85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (E)	0,31	hellgrau	107,9	60,8	47,1	20,6	62,0	3,14	1,01		85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (F)	0,32	rosa	103,8	60,4	43,4	20,2	61,4	2,89	0,90		85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (G)	0,34	schwarz	130+			20,7				Übertemperatur	85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (H)	0,44	rot	130+			20,7				Übertemperatur	85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (I)	0,45	gelb	105,5	61,0	44,5	20,8	62,0	2,97	0,66		85+	Übertemperatur
Silikonelastomer (J)	0,84	dunkelgrau	130+			20,8				Übertemperatur	85+	Übertemperatur

Tabelle 2: Versuchsergebnisse

Bei der Beurteilung der in den gelb markierten Spalten ermittelten Wärmewiderstände ist zu bedenken, daß sie verkehrt proportional zur Fläche sind, an der die Wärme übertragen wird. Man erhält deshalb bei derselben Verlustleistung für einen TO3-Transistor andere Werte als für einen im TO247-Gehäuse, es handelt sich hierbei also nicht um Absolutwerte.

In der ersten gelben Spalte fällt bei den Pasten auf, daß es selbst bei ganz ähnlich aussehenden Produkten erhebliche Unterschiede gibt. Gegenüber einer Montage des Halbleiters ohne Paste direkt auf dem Kühlkörper wird der Wärmeübergang mit Paste um das doppelte bis dreifache besser. Wichtig ist, wie schon gesagt, daß die Schicht so dünn wie möglich ist.

Auch bei den Isolierscheiben sind Überraschungen nicht ausgeblieben, denn die alten Glimmerplättchen schlagen sich recht ordentlich und sind bei gleicher Dicke modernen Materialien wie Kapton in thermischer Hinsicht weit überlegen. Das steht im Widerspruch zu den in Abb. 3 ersichtlichen Angaben, nach denen Kapton den deutlich geringeren Wärmewiderstand haben sollte. Den Nachteil der etwas umständlicheren Montage von Glimmerscheiben wiegt der Vorteil des besseren Wärmeübergangs allemal auf.

Die untersuchte Aluminiumoxidscheibe ist trotz ihrer Dicke nicht schlecht und deshalb die richtige Wahl, wenn der Halbleiter an einer hohen Spannung liegt.

Die Scheiben aus Silikonelastomer schneiden durchwegs enttäuschend ab, wobei es Ausreißer sowohl zur schlechten als auch zur guten Seite hin gibt:

Betrachtet man die Scheiben (G) und (H) unter einer starken Lupe, dann erkennt man, daß sie eine sehr raue Oberfläche haben und deswegen die Luft nicht so wie gewünscht aus den Unebenheiten der Oberflächen verdrängen können. Es handelt sich dabei sehr wahrscheinlich um Scheiben, die nur isolieren sollen, aber nicht für die Entwärmung von Bauteilen vorgesehen sind. Hier muß man also aufpassen, daß man nicht zum falschen Material greift. Die Scheibe (J) ist schlichtweg schon zu dick.

Die angenehme Überraschung ist eine gelbe Scheibe (I), die es in thermischer Hinsicht durchaus mit solchen aufnehmen kann, die nur halb so dick sind. Es ist nicht feststellbar, um welches besondere Material es sich dabei handelt, denn abgesehen von der Farbe gleicht sie den meisten anderen. Auch sie empfiehlt sich zur Verwendung bei höheren Spannungen.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Die Untersuchung zeigt deutlich, daß es sowohl bei den Pasten als auch bei den Scheiben erhebliche Unterschiede in ihrer Fähigkeit gibt, die Wärme zu leiten. Die zweite gelbe Spalte bringt das noch deutlicher zum Ausdruck, denn dort ist der Wärmewiderstand so umgerechnet, als ob alle Scheiben 0,1 mm dick wären. Den bei weitem günstigsten Wert von allen untersuchten Materialien hat gepreßtes Aluminiumoxid. Dünne Scheiben aus diesem Material wird man jedoch kaum finden, denn es ist sehr spröde und braucht deshalb eine Mindestdicke, um bei den bei der Montage auftretenden Kräften nicht zu zerbrechen.

Was tun, wenn der Kühlkörper nicht ausreicht?

Ist der Kühlkörper aus irgendeinem Grund nicht in der Lage, im Dauerbetrieb die Wärme so gut abzuführen, daß die Temperatur unter dem für das Bauteil zulässigen Wert bleibt, dann hat der Konstrukteur immer noch einige Möglichkeiten:

- Bei vielen längsgeregelten Netzgeräten mit einstellbarer Ausgangsspannung wird bei großem Strom und niedriger Ausgangsspannung die Grenze des Kühlvermögens überschritten, weil in diesem Betriebszustand im Gerät die größte Verlustleistung auftritt; eine defekte Ausgangsstufe ist sehr oft die Folge. Hat man die Absicht, ein solches Netzgerät selbst zu bauen, dann wird man bereits bei der Wahl der Schaltung auf diesen Umstand Rücksicht nehmen und bei der ohnehin üblichen Strombegrenzung eine mit „Fold-Back“-Kennlinie wählen. Damit ist gemeint, daß die Strombegrenzung bei geringer Ausgangsspannung bei einem kleineren Strom anspricht als bei großer (Abb. 13).

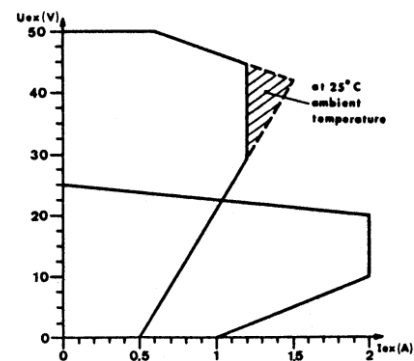


Abb. 14: Fold-Back-Kennlinien

Auf diese Weise ist zwar der entnehmbare Strom bei kleiner Spannung geringer, das Gerät wird jedoch nicht defekt.

- Verwendet das Gerät eine interne Spannung von 12 V DC, die noch mit zusätzlichen 100 mA belastbar ist, dann ist die Montage eines passenden Lüfters aus der Computertechnik der nächste logische Schritt. Damit erhöht sich das Kühlvermögen ganz wesentlich. Um die Geräuschbelastung niedrig zu halten, ist eine temperaturabhängige Drehzahlregelung zu überlegen.
- Ist die Verlustleistung trotz eines bereits angebauten Ventilators noch immer zu groß, so ist eine Temperaturüberwachung des Kühlkörpers mit einfachen Mitteln möglich, wenn ein entsprechender PTC- oder NTC-Widerstand darauf montiert und mit einer Vergleicherschaltung ausgewertet wird. Ist die eingestellte Temperatur erreicht, schaltet der Ausgang solange ab, bis die Temperatur unter den Wiedereinschaltzeitpunkt abgesunken ist. Diese Art von Schutz hat sich bei Experimentiernetzgeräten vorzüglich bewährt, denn auch dort kommt man nur im Ausnahmefall an die Grenze der zulässigen Erwärmung.
- Man macht beim fertigen Gerät einen Erwärmungslauf [5] mit 100 % der Nennleistung, um die Zeit zu ermitteln, nach der das kritische Bauteil seine höchstzulässige Gehäusetemperatur erreicht. Dabei ist selbstverständlich auf sehr gute thermische Kopplung des Meßfühlers zum Bauteilgehäuse zu achten, um richtige Meßwerte zu bekommen. Während der so festgestellten Zeit, die um einen Sicherheitsabschlag von etwa 10 % verringert werden sollte, kann das Bauteil dann vom kalten Zustand aus zu 100 % belastet werden.

Ein gutes Beispiel für diese Art der Temperaturbegrenzung ist die in Abb. 1 gezeigte Kunstantenne, bei der, ausgehend von 20 °C Umgebungstemperatur, der Flansch des Lastwiderstandes bei 200 W Belastung nach etwa 17 Minuten die 100-Grad-Grenze überschreitet:

Aus dem Datenblatt geht hervor, daß dieses 250-W-Widerstandselement ohne Schaden im Inneren eine maximale Temperatur von 150 °C aushalten kann und dabei eine Flanschttemperatur von 100 °C zulässig ist. Daraus ergibt sich ein Wärmewiderstand von $(150 - 100) / 250 = 0,2$ °C/W, was einen ganz besonders geringen Wert darstellt – ein Leistungstristor kommt auf etwa 1,5 °C/W! Bei 200 W ist die Temperaturdifferenz im Widerstand dann $200 \cdot 0,2 = 40$ °C. Nach 17 Minuten hat das Bauteil in der gezeigten Anordnung bei 200 W demnach innen $102 + 40 = 142$ °C erreicht.

Wärmeableitung aus elektronischen Baugruppen

Weil ein solches Gerät nur höchst selten über längere Zeit bis an seine Leistungsgrenze beansprucht wird, hat diese zeitliche Einschränkung so gut wie gar keinen Einfluß auf die Gebrauchsfähigkeit.

Unterlagen

Das für die Konstantstromschaltung verwendete Leiterplatten-Layout ist in der gepackten Datei ‚heat01.zip‘ enthalten, ebenso ein Vergleichsmaßstab zum Überprüfen der Maßhaltigkeit des Druckers. Eine allfällige Änderung der Vergrößerung läßt sich in der *.ps-Datei vornehmen. Wie man mit der *.ps-Datei verfährt, ist bei [6] im Verzeichnis „TIPPS“ unter „Platinenentwurf“ nachzulesen.

Zusammenfassung

Der Beitrag soll Hobby-Elektronikern beim Verständnis der Wärmeleitung eine Hilfe sein und grundsätzliche Hinweise liefern, worauf bei der Planung und der Reparatur von Geräten zu achten ist, in denen Bauteile der Leistungselektronik verwendet werden. Ebenso sind Möglichkeiten zum Schutz des Gerätes für den Fall aufgezeigt, daß der vorhandene Kühlkörper die entstehende Verlustleistung nicht zur Gänze abführen kann.

Eine Versuchsanordnung zur Ermittlung des Wärmewiderstandes von Kühlkörpern wird beschrieben. Die in einer Tabelle zusammengestellten Meßergebnisse an verschiedenen Isolierzwischenlagen und Wärmeleitpasten bieten einen Überblick über die Wirksamkeit der einzelnen Materialien und erlauben so eine rasche Auswahl der Mittel für den jeweiligen Anwendungsfall. Die Versuchsergebnisse decken sich nicht in allen Punkten mit den Angaben, die im Internet zu den unterschiedlichen Materialien zu finden waren. Im Zweifelsfall sollte man eigene Messungen durchführen, um bei thermisch hochbelasteten Bauteilen die wirksamste Anordnung zu finden.

Helmut, OE5GPL

Verweise und Quellen:

- [1] WIKIPEDIA: <http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit>
- [2] FISCHER ELEKTRONIK, Download Druckversion Katalog:
<http://www.fischerelektronik.de/index.php?id=698> (auf „300dpi download ‚pdf‘“ klicken!)
- [3] OAFV-HomePage, TECHNIK/BAUTEILE, Datenblätter:
<http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/>
- [4] MICROWAVES101, Solder for microwave assemblies, Indium Corporation's solder chart:
<http://www.microwaves101.com/encyclopedia/SolderChart.cfm>
- [5] OAFV-HomePage, TECHNIK/MESSEN/HF, 250-W-Kunstantenne, Seite 5:
<http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/>
- [6] OAFV-HomePage, TECHNIK/WERKSTATT/TIPPS, Platinenentwurf:
<http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/>