KÜHLKÖRPER

RISIKEN UND NEBENWIRKUNGEN

EINE ART BEIPACKZETTEL

ALEXANDER C. FRANK, DIPL.-ING.

ETH ZÜRICH, V1.0 MÄRZ 2008 - WWW.CHANGPUAK.CH

Einleitung

In Halbleitern entstehen Verluste, die in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben wird.

Wenn nun die im Halbleiter entstehende Wärmemenge grösser ist, als die Menge, welche abgeführt wird, so steigt die Temperatur an.

Eine übermässige Erwärmung führt zu kürzerer Lebenserwartung oder sogar bis zum Tod des Halbleiters.

Es liegt also in der Hand des Entwicklers, ob seine Elektronik langlebig und zuverlässig sein wird.

Da jedoch ein grösserer Kühlkörper zweifellos auch teurer ist, so ist die endgültige Lösung stets ein Kompromiss zwischen Kosten und Nutzen.

Arten von Kühlung

In diesem Papier wollen wir drei Arten von Kühlung unterscheiden :

1. kein Kühlkörper erforderlich
2. Kühlkörper erforderlich
3. Kühlkörper nicht ausreichend

1 .:. Kein Kühlkörper erforderlich

Dies ist natürlich der einfachste Fall - und darum auch der am wenigsten interessante ...

2 .:. Kühlkörper erforderlich

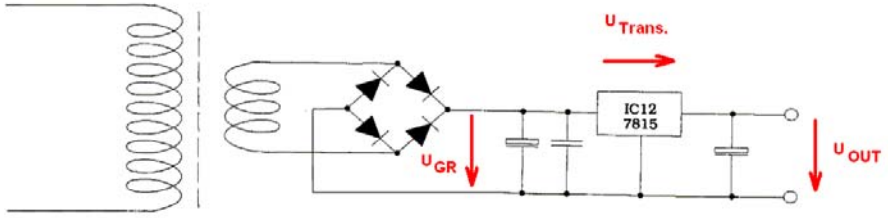
2.1 Ermitteln der Verlustleistung

Um ein Kühlkörper dimensionieren zu können, muss vorgängig die im schlimmsten Fall (worst case) entstehende Verlustleistung ermittelt werden. Baut man zum Beispiel ein Netzteil, so würde man annehmen, dass der (unbedarfte) Benutzer den Ausgang kurzschliesst ...

In jedem Falle ist die entstehende Verlustleistung die Differenz zwischen zugeführter Leistung und abgeführter Nutzleistung.

$P_{zugeführt} = P_{Verlust} + P_{Nutz}$ bzw.: $P_{Verlust} = P_{zugeführt} - P_{Nutz}$

Unser Beispiel-Netzteil sehe in etwa so aus :



Nehmen wir an, es habe folgende Spannungen / Ströme :

- Spannung am Gleichrichter : $U_{GR} = 22$ V
- Spannung am Ausgang : $U_{OUT} = +15$ V
- maximaler Strom : $I_{max} = 2.5$ A

Wenn nun der Benutzer den Ausgang kurzschliesst ($U_{OUT} = 0$ V), so fliessen I_{max} und die ganze Spannung U_{GR} fällt über dem Regeltransistor ab. ($U_{Trans} = U_{GR}$)

Die Verlustleistung würde in diesem Falle $P_{max} = U_{GR} * I_{max}$ betragen.

(In unserem Beispiel also 22V * 2.5A = 55 W)

Im Normalbetrieb hingegen beträgt die Spannung über dem Regeltransistor $U_{Trans.} = U_{GR} - U_{OUT}$. $P_{Verlust} = 7$ V * 2.5 A = 17.5 W.

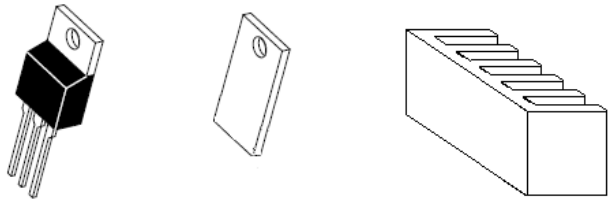
Welche Verlustleistung müssen wir nun zur Berechnung des Kühlkörpers verwenden ???

Nun, das kommt darauf an, ob unsere Marketingabteilung behauptet, das Netzteil sei "Dauer-Kurzschlussfest" oder nicht.

Wir berechnen den Kühlkörper für beide Fälle und entscheiden dann, welche Lösung die günstigere ist.

2.2 Der Weg der Wärme

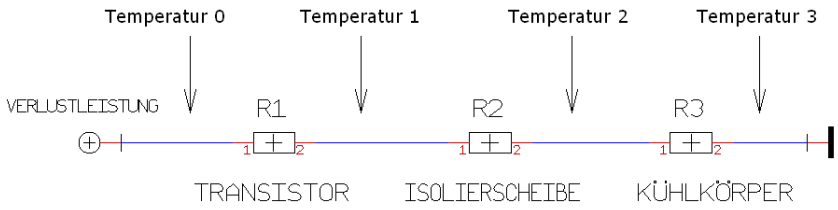
Die im Transistor entstehende Verlustleistung muss auf ihrem Weg nach "draussen" zahlreiche Hindernisse überwinden. Zunächst muss sie vom inneren des Transistors (Halbleiter) nach aussen. Dabei überwindet sie einen "Wärmewiderstand". Ist sie aussen am Transistor, dann muss sie durch die Isolierscheibe und schliesslich über den Kühlkörper an die umgebende Luft.



(Die Scheibe in der Mitte ist nötig, damit der Kühlkörper nicht unter Spannung steht.)

Um den Vorgang zu verstehen, können wir die Wärmewiderstände mit Ohm'schen Widerständen darstellen. Die Wärme, die nach aussen wandert ist der (Wärme)Strom, und die Spannung an den Widerständen stellt die Temperatur dar.

Unser Ersatzschaltbild sieht also folgendermassen aus :



Und zur Berechnung brauchen wir desshalb auch nur das Ohm' sche Gesetz. (bzw. eine Abwandlung davon)

Um die Lernenden zu ärgern haben sich die Hersteller der Datenblätter jedoch viele Abkürzungen einfallen lassen. Darüberhinaus sind die meisten Datenblätter in Englisch geschrieben.

Die Kenntnisse der englischen Begriffe ist daher ein ganz klarer Vorteil !

2.3 "DIXIONNAIRE"

Englisch	Deutsch	Abkürzug
junction	Sperrschicht (eigentl.: Übergang)	j
ambient	Umgebung	a
heatsink	Kühlkörper	
case	Gehäuse	c
amount of heat to be *dissipated*	abzuführende Verlustleistung	

2.4 BERECHNUNG

Zur Berechnung ist nun weiter die maximale Sperrschichttemperatur von Silizium nötig. Dieser Wert beträgt T_{max} = 175 °C. Um eine gewisse Sicherheitsreserve zu haben, legt man für Berechnungen ein maximale Temperatur von $T_{max,S}$ = 150 °C zugrunde. (Wert aus der Praxis)

Mit der Kenntnis der englischen Begriffe findet man nun im Datenblatt des Herstellers des Transitors folgenden Wert : (Bsp.: 2N3055, SGS)

$R_{thj\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.5	°C/W

Dies bedeutet nichts anderes, als dass der thermische Widerstand zwischen Sperrschicht und Gehäuse des Transistors 1.5 °C / Watt beträgt. (maximal)

Als nächstes brauchen wir den thermischen Widerstand der Isolierscheibe. Für eine Isolierscheibe aus Glimmer finden wir :

R_{th} = 0.3°C/W (Farnell, Best.-Nr.: 858535)

Jetzt sind wir bereit um die nötigen Daten des Kühlkörpers zu berechnen.

Wir formulieren nun das Ohm' sche Gesetz für Kühlkörper so :

$$T_{(J\text{-}A)} = P_{DISSIP.} * R_{th\ (J\text{-}A)}$$

Die Temperaturdifferenz (hier: Sperrschicht - Umgebung) ist das Produkt aus Verlustleistung und Thermischem Widerstand.

→ U = I * R

Zurück zu unserem Beispiel. Unser Transistor im Netzteil produziert 55 W Verlustleistung. Der thermische Widerstand des Transistors beträgt 1.5 °C / Watt. (R_1 im Ersatzschaltbild) Das bedeutet, dass die Temperatur (aussen am Gehäuse des Transistors) 55 W * 1.5 °C / Watt also 82.5 °C kleiner ist als die des Siliziums.

Wenn wir eine maximale Temperatur des Siliziums von 150 °C zugrundelegen, so beträgt die Aussentemperatur des Transistors :

$T_{case} = T_j - P * R_{th,j-c}$ also 150 °C - 55 W * 1.5 °C / Watt = 67.5 °C

Der Temperaturabfall über der Isolierscheibe (R_2 im Ersatzschaltbild) beträgt 55 W * 0.3 °C / Watt also 16.5 °C

Die Umgebungstemperatur sei 25 °C.

Das bedeutet nichts anderes, als dass die Temperaturdifferenz des Kühlkörpers zur Umgebung $\Delta\vartheta$ = 150 °C - 67.5 °C - 16.5 °C - 25 °C = 41 °C betragen muss.

Unser Kühlkörper muss desshalb einen thermischen Widerstand von R_{th} = 41 °C / 55 W also 0.745 °C/ W aufweisen. Die Angaben im Datenblatt sind oft in K/W. (Kelvin / Watt). Weil wir aber von Differenzen sprechen ist dies gleichbedeutend mit °C/W.

Neues Beispiel. Unser Transistor soll 90 W Verlustleistung gefahrlos überstehen. Die Umgebungstemperatur betrage 30 °C.

Der gesamte thermische Widerstand beträgt also :

$R_{th,gesamt}$ = (150 °C - 30 °C) / 90 W also $R_{th,gesamt}$ = 1.333 K/W.

→ Es dürfte schwierig werden, diesen Wert zu erreichen, weil er bereits in der Grössenordnung des Wertes eines Transistors liegt.

→ Böse Lehrer benützen noch mehr Komponenten. Da gibt es zum Beispiel noch Wärmeleitpaste (mit R_{th}), und anderes. Das grundlegende Prinzip bleibt jedoch stets dasselbe → Spannungsteiler / Ohm'sches Gesetz !

Bei kleinen Verlustleistungen kann auch das Gehäuse als Kühlkörper gebraucht werden. Der thermische Widerstand ist abhängig von der Fläche und beträgt :

$R_{th} = \frac{50}{\sqrt{A}}$ wobei die Fläche A in cm^2 einzusetzen ist.

Was aber tun wir, wenn es zum berechneten thermischen Wert keinen passenden Kühlkörper gibt oder der Kühlkörper grösser wird als das ganze Gehäuse ??? Dann ist Fall 3 angebracht :

3 .:. Kühlkörper nicht ausreichend

Im vorigen Abschnitt wurden Kühlkörper besprochen. Die Abfuhr der Wärme geschieht dabei durch Konvektion. Wenn nun die Abfuhr der Wärme unzureichend ist, kann der Beitrag "Konvektion" vergrössert werden. Dies kann z.B. durch einen Lüfter geschehen. Dadurch wird der thermische Widerstand des Kühlkörpers weiter gesenkt.

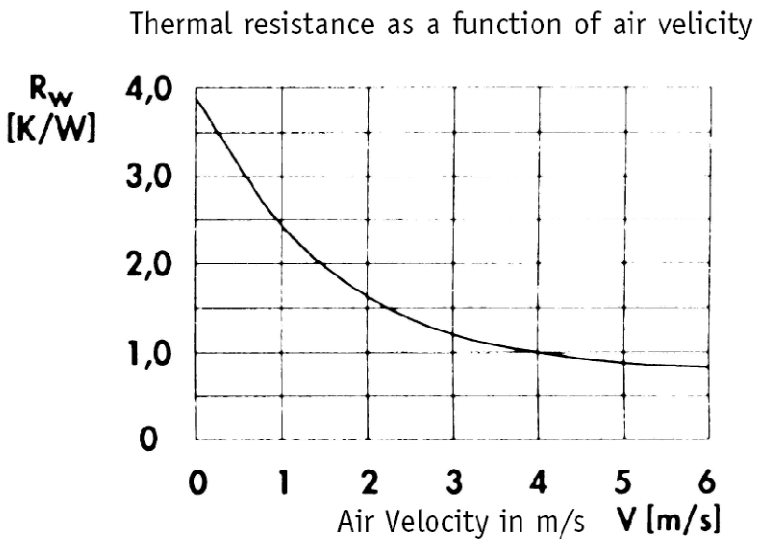


Abb. oben: Reduktion des therm. Widerstandes durch Lüfter [1]

Das Datenblatt des Kühlkörpers gibt dazu weiter Auskunft. Unter Zuhilfenahme der Datenblätter von Lüftern sollte eine Lösung gefunden werden könnne.

Ist auch dies nicht möglich, so könnte man zum Beispiel statt Konvektion mittels Luft auf Wasserkühlung setzen.

Die Möglichkeiten sind mannigfaltig. Oft ist es auch hilfreich das Design zu ändern, indem man z.B. die Verlustleistung auf zwei oder mehr Halbleiter aufteilt.

QUELLENVERZEICHNIS

[1] Application Notes, "Thermal Managment", http://www.gaia-converter.ca