



## Køling af elektronikkomponenter

Dette dokument skulle gerne give et overblik over – og forståelsen af - hvordan fysikken og beregningerne i køling af elektronik fungerer.

Der er givet fejl og uklarheder i materialet, der kan rettes. Giv mig gerne et praj, så fremtidige versioner kan gøres bedre!!

/ Valle

Disposition:

Her er nogle Af overskrifterne i dokumentet:

- Hvorfor afsættes varme
- Hvor meget afsættes
- Hvorfor er det et problem
- Måder varme kan ”flyttes”
- Varmens vej fra Chippen til husoverflade
- Ohms lov anvendt på varme
- Beregningseksempler
- Kølefinner

### Årsag til varmeafsætning

Når der løber strøm i ledninger og elektroniske komponenter, afsættes der energi. Et billede af dette kan opnås, hvis man forestiller sig elektronerne i bevægelse på grund af et elektrisk felt, fx skabt af forsyningsspændingen. Den positive pol har højere spænding, der er det samme som elektrontryk, og elektronerne løber mod et lavere tryk, - eller nedad - ligesom vand i et tyngdefelt.

Når elektronerne er påvirket af det elektriske kraftfelt, accelereres de, og opnår en kinetisk energi.



Formlen for kinetisk energi er:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 [\text{Joule}]$$

Altså, 0,5 gange massen gange hastigheden i anden potens.

Obs: elektroner er stof, de vejer noget, - ganske vist ikke særligt meget, men alligevel !!

Men elektronerne støder ind i de atomer, der udgør den leder, eller halvledermateriale, elektronerne løber i. Herved bremses de, og afgiver deres bevægelsesenergi til atomerne, hvor det ses som kraftigere vibration. Jo kraftigere vibration, jo varmere siger vi, stoffet er.

**Tjek de "Brownske Movements"**

Altså afgives og overføres bevægelsesenergi fra elektronerne og afsættes som varme.

Den energi, der afsættes stiger med tiden, dvs. lidt energi afsat hele tiden i lang tid giver meget energi afsat.

### **Microscopic description:**

*Joule heating is caused by interactions between the moving particles that form the current (usually, but not always, electrons) and the atomic ions that make up the body of the conductor. Charged particles in an electric circuit are accelerated by an electric field but give up some of their kinetic energy each time they collide with an ion. The increase in the kinetic or vibrational energy of the ions manifests itself as heat and a rise in the temperature of the conductor. Hence energy is transferred from the electrical power supply to the conductor and any materials with which it is in thermal contact.*

Fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Joule\\_heating](https://en.wikipedia.org/wiki/Joule_heating)

### **Ligevægt !!**

Når temperaturen i en komponent begynder at stige, vil varme kunne "flyde" mod et "koldere sted".

Temperaturen vil vedblive at stige ved fortsat varmeafsætning indtil der er ligevægt mellem tilført og bortledt varme. Varme kan bortledes ved Konvektion, Varmeledning eller Varmestråling. Herom senere.

Tidligere fyldte elektronik meget mere end i dag. Dvs. der skete varmeafgivelse fra en større flade. Men efterhånden som man downsizer elektronik, bliver alting mindre, og varmeafsætning sker på et meget mindre sted. Dette besværliggør jo bortledning af varme.



I fx en processor skal der flyttes ladninger hver gang et sted, - fx udgangen på en Gate - skal ændre status, fra Høj til Lav, - eller omvendt. Det at flytte ladninger betyder, at der skal løbe en strøm. Og eftersom der er modstand i ledende materialer, afsættes energi som varme.

Det må jo også betyde at med stigende frekvens, vil energiafsætningen jo selvfølgelig også stige. Der skal flyttes flere ladninger på kortere tid, altså svarende til større strøm.

Det er bl. a. her udfordringen for udviklere af processorer ligger. Man kan afsætte mindre energi ved fx at sænke spændingen processoren arbejder med. Følgelig skal færre ladninger flyttes. Eller at gøre de fysiske lederbaner i processoren mindre, så der skal færre elektroner til at lade op / aflade.

## Hvor meget energi afsættes?

Afsat energi kan findes af:

$$E_{\text{varme}} = \Delta U \cdot I \cdot t [\text{Volt} \cdot \text{Ampere} \cdot \text{Sekund}] = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{\Delta U^2}{R} \cdot t [\text{Joule}]$$

Energien afgivet – eller afsat – i løbet af **et sekund**, eller pr. sek. kaldes effekten, og den kan udtrykkes med følgende formler

$$P_{\text{varme}} = \Delta U \cdot I [\text{Watt}]$$

$$P_{\text{varme}} = I^2 \cdot R [\text{Watt}]$$

$$P_{\text{varme}} = \frac{\Delta U^2}{R} [\text{Watt}]$$

Effekt er energi pr sekund, med enheden  $\left[\frac{J}{s}\right] = [\text{Watt}]$

## Diode-strækning, PN-overgang:

I enhver transistor eller diode, såvel som lysdioder, er der spændingsfald. I dioder og i diodestrækningen fra Basen til Emitter er der en spændingsfald på ca. 0,7 Volt. I røde lysdioder ca. 2 Volt.

Varme- effekten afsat i en diode regnes som  $P = \Delta U \cdot I [W]$

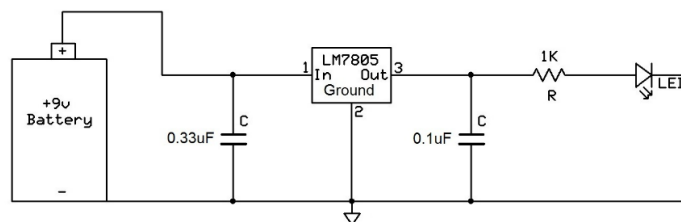
Altså 0,7 gange strømmen.



## Eksempel, Spændingsgenerator LM7805

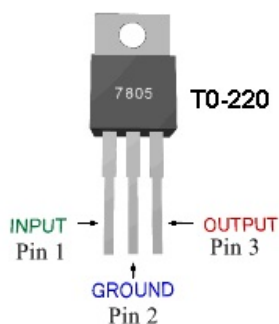
IC-en LM7805 er en spændingsregulator:

Den virker som en gastryk-regulator i en gasflaske eller en lufttryksregulator i et kompressorsystem. Der lukkes kun så meget ud på udgangen, at et bestemt tryk opretholdes, selv ved forbrug.



Der bruges også en trykregulator i røgdykker og dykkerudstyr !!

Man forsøger helst i en konstruktion at undgå, at der afsættes effekt. Men nogle gange kan det desværre ikke undgås. Som i dette tilfælde:



Der kommer fx 12 Volt ind, - og komponenten lukker kun et tryk på 5 Volt ud. De er altså et spændingsfald over regulatoren

Den effekt der afsættes kan igen regnes som  $\Delta U \cdot I$

Lad os antage, at den elektronik, der får de 5 Volt trækker 500 mA, altså 0,5 A.

Dette betyder, at der afsættes:

$$P_{\text{varme}} = \Delta U \cdot I = (12-5) \cdot 0,5 = 3,5 \text{ Watt.}$$

Varmeafledningsforholdene bestemmer så, hvor varm komponenten bliver.

Fra: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/How-to-connect-a-voltage-regulator-in-a-circuit>

## Problemer ved opvarmning af elektronik

Hvad er det så for problemer, der opstår ved ophedning af elektronik ??

Varme genereres i resistive elementer så snart, der løber strøm. Herved stiger temperaturen i og omkring komponenten. Komponentens temperatur vil fortsætte med at stige til komponenten dør – med mindre varme transporteres væk.

Hvis komponenter arbejder ved rumtemperatur kan de fungere i årevis. Men komponenter kan fejle ved høje temperaturer.

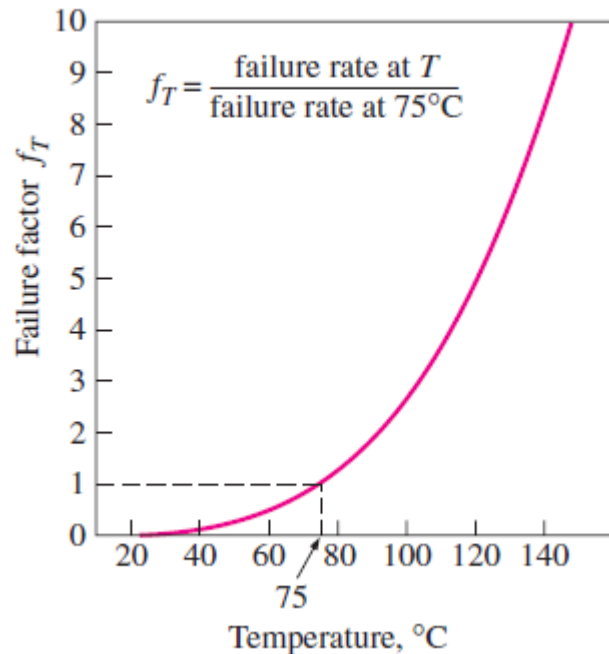


Årsagerne kan være diffusion i halvleder-materialet, kemiske reaktioner og fejl i bonding materialet mm.

Fejlraten i komponenter stiger næsten eksponentiel med temperaturen, som vist i grafen.

Jo koldere elektronik, jo mere driftssikker.

En tommelfingerregel siger, at fejlraten halveres for 10 graders reduktion i komponentens junction-temperatur ( dvs. på selve chippen ).



## Generelt:

Elektronik arbejder ikke med samme temperatur som omgivelserne. I så fald ville de jo ikke kunne slippe af med varmen.

Men det betyder jo også, at når man tænder et elektronisk apparat, vil der ske en temperaturstigning.

Den periode, hvor opvarmningen sker, kaldes ” transient operating stage ”

Når komponenten er opvarmet til en ligevægt, hvor tilført varme er lig bortledt varme, har komponenten nået ” Steady Operating Condition ”

Gentagne opvarmninger og afkølinger kaldes ” Temperature cycling ”. Disse stresser komponenter mere end en konstant temperatur-drift.

Eksperimentelt er det observeret at en fejlrate i elektronisk udstyr stiger 8 gange ved temperaturcykler på mere end 20 grader.

Se: <http://highered.mheducation.com/sites/dl/free/0073398187/835451/Chapter15.pdf>

Stød og vibration er andre stressfaktorer på elektronik!!



## Varme udvidelses koefficienter

Hver materiale en IC-komponent er opbygget af har forskellige varmeudvidelseskoefficienter. Det har man jo selvsagt forsøgt at overkomme ved opbygningen af IC-en, men det stresser alligevel komponenten. Ligeledes er der udvidelseskoefficienter for selve printpladen og for loddetin!

## Varmecykler

Cykler er mere skadelige end konstant temperatur.

## Elektrolytkondensatorer

Elektrolytten i elektrolytkondensatorer kan degenereres eller kan fordampe? Dette er vist brugt som indbygget fejlkilde i Samsung Fjernsyn. Dvs. man kunne få fjernsynet til at holde – fx til kort efter garantiperioden!!

Grundfos-pumper har også været nævnt i samme forbindelse!!

## Migration

Ved stigende temperatur øges materialemigration mellem fx ledende baner på chippen.

## Temperaturparametre på komponenternes performance.

Mange komponenter er i datablade rated til et bestemt temperaturområde. Det betyder, at fabrikanterne garanterer, at komponenterne overholder de opgivne data indenfor et givet temperaturområde. Og at data ikke kan garanteres, hvis temperaturområdet overskrides.

Se fx på en forstærker-komponent, en OPAMP, til at forstærke analoge signaler.

De fra fabrikantens side stemplet LM158, LM258 eller LM358 alt efter hvor gode de er til at overholde specifikationerne. LM358 er "laveste kvalitet" og dem vi har råd til !!. LM258 bruger Danfoss, og 158 er militær-udgaven !! Dem kan fabrikanten få en større pris for. !!

## Måder varme kan "flyttes"

## Konvektion, Varmeledning og Stråling:



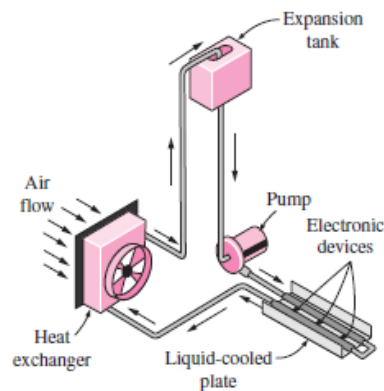
Varmen kan ikke flyde mellem to områder, uden at der er en temperaturforskel. Varme kan kun flyttes til et koldere sted. Og kun, når det kolde sted kan komme af med varmen. Ellers bliver det kolde sted jo bare varmt, og varmeflowet stopper.

Ved **konvektion** overføres varmen til et medium, fx luft eller væske. Væsken kan fx være vand eller olie. Luften eller vandet skal strømme forbi de varme overflader og optage varmen, og transportere den væk, og afgive den et andet sted.

Hvis varmen i sig selv driver bortskaffelsen af varme, kaldes det naturlig konvektion. Varmen "løber" af sig selv. Det er det, der sker ved en stue-radiator. I elektronik fx via køleribber på bagsiden af apparatet.

Tvinges luft eller vand forbi et varmt system, kaldes det for aktiv køling eller "forceret køling".

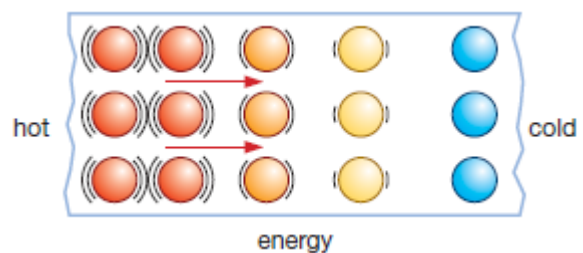
Eksempel på forceret køling.



Udover konvektion, hvor varme bortskaffes ved at opvarme luft, som så enten selv stiger opad, eller flyttes med en blæser, kan varme flyttes ved **varmeledning** og infrarød **varmestråling**:

**Varmeledning** er bevægelse af varme fra partikel til partikel gennem materialet.

Varme partikler vibrerer hurtigere og kraftigere end kolde. Herved kolliderer de med naboerne, og overfører herved vibrationer, og dermed energi.



Det kendes fra håndtaget på en stegepande.

Varmeledning sker gennem en solid masse af et fast stof som fx aluminium eller kobber

Når der eksisterer to temperaturer vil der naturligt foregå en energiudligning mellem de to energini-



veauer. Fra det materiale med den højeste temperatur til det eller de materialer med en lavere temperatur. Varmeledning foregår fx. via metal, eller anden materiale, der har en god "varmeledningsevne".

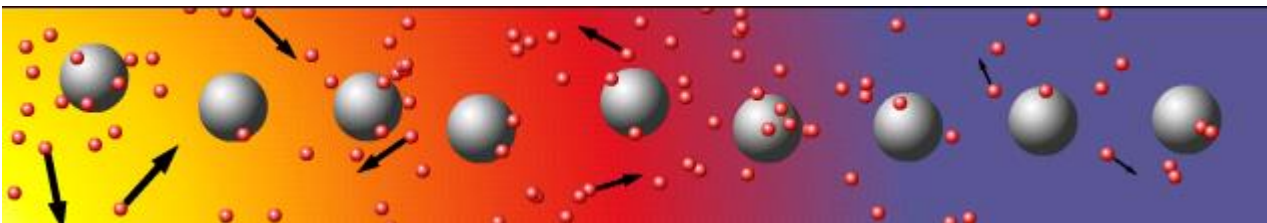
Et materiales evne til at lede varme afhænger af materialet selv. Den specifikke varmeledningsevne kaldes  $\lambda$  ( lambda ) og er udtrykt ved:

$$\lambda = \frac{P_{th} \cdot l}{\Delta T \cdot A} \left[ \frac{W}{K \cdot m} \right]$$

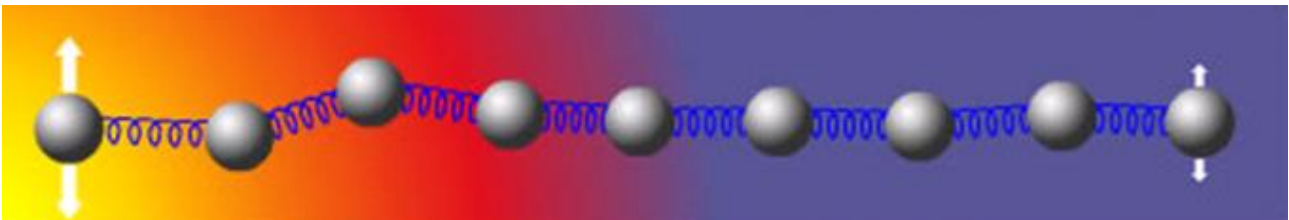
$P_{th}$  er varmebelastningen i Watt  
 $l$  er materialets længde i meter, varmen skal transporteres.  
 $\Delta T$  er temperaturforskellen i Kelvin  
 $A$  er materialets areal i  $m^2$ .

En god varmeledningsevne bevirker altså et lille fald i temperaturen hen igennem fx en stang.

Her et par illustrative billeder:



Kilde: <http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Heat%20Transfer/Conduction%2002.html>



Kilde: <http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Heat%20Transfer/Conduction%2001.html>

Varmeledningsevne for nogle materialer:

Materiale, 20 grader C	Varmeledningsevne i $\left[ \frac{W}{K \cdot m} \right]$
Vand	0,595
Luft	0,0257
Aluminium	226
Sølv	422
Kobber	402





Varmeledning kan udregnes efter følgende ligning:

$$\Phi = \frac{\lambda}{l} \cdot A \cdot \Delta T \left[ W = \frac{\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{[m]} \cdot [m^2] \cdot [K] \right] = \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot m^2 \cdot K \right] = [Watt]$$

## Varmestråling:

Varme kan fjernes vha. varmemstråling, såkaldt emission. Alle legemer med en temperatur over det absolutte nul udstråler energi. Jo varmere legemet er, jo mere stråling udsender det.

$$\Phi = \sigma \cdot A \cdot T^4 [Watt]$$

Hvor:

$\sigma$  ( Sigma ) er Stefan-Boltzmann-konstanten:

$$\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

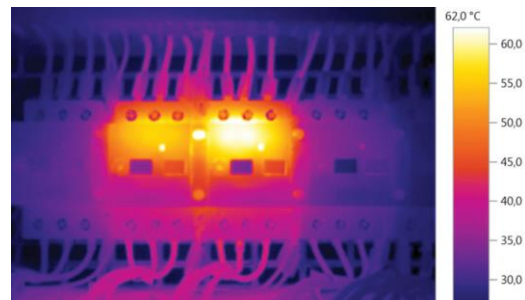
A er overfladearealet

$m^2$

T er legemets temperatur i Kelvin.

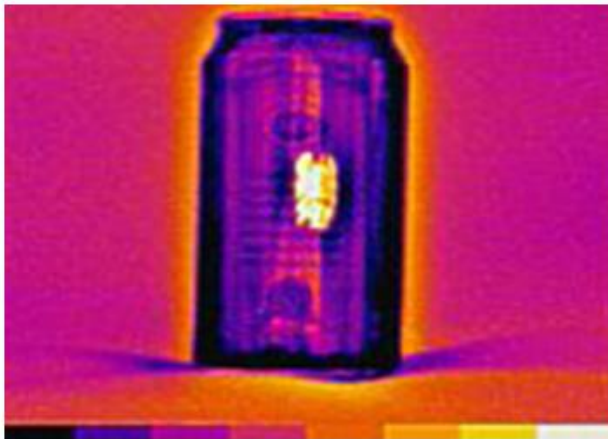
Arealet udtrykker at jo større areal, jo mere udstråles.  
Men vigtigst er at temperaturen optræder i 4. potens.

Her er termofotografering brugt til at se på belastningen i forskellige grupper i et elskab.



## Emissionskoefficient

Nu er det bare ikke sådan, at ikke alle legemer med samme temperatur udstråler lige meget. Det kan illustreres af følgende billeder:



Kilde: [http://www.x26.com/articles/understanding\\_emissivity.html](http://www.x26.com/articles/understanding_emissivity.html)

*This can of brew is ice cold straight out of the fridge. When scanned with an infrared camera you would expect the entire image to be relatively even in temperature and to appear "cold" in relation to the background. Can you explain the apparent "hot" spot in the center of the can. Hint: it's not a fingerprint!*

*The paint on the outside of the can has been scratched off in a small area. The bare aluminum has a different emissivity than the painted aluminum. The camera can only allow for one emissivity setting at one time so to the detector the bare aluminum "images" hotter than the rest of the can.*

Se mere om Emissionskoeffetient:

[http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d\\_447.html](http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html)

( Data for mange materialer)

Data for alu: [http://www.engineeringtoolbox.com/radiation-heat-emissivity-aluminum-d\\_433.html](http://www.engineeringtoolbox.com/radiation-heat-emissivity-aluminum-d_433.html)

Det venstre billede af dåsen ovenover er taget med et infrarød kamera. Her ses det tydeligt, at dåsen har fået skrabet malingen af. Her er der større varmeudstråling end fra den malede overflade.

Dette fænomen udtrykkes i en emissionskoefficient  $\epsilon$ . ( Epsilon ). Den har en værdi mellem 0 og 1.

Så derfor skal formlen for udstråling rettelig være:

$$\Phi = \sigma \cdot \epsilon \cdot A \cdot T^4 \text{ [Watt]}$$

Her et skema for forskellige materials emissionskoefficient ved en given temperatur:

Overflade	Temperatur, Grader C	$\epsilon$ ( Epsilon)
Mat sort		1



Alu, blank poleret	20	0,039
Kobber, Blank poleret	20	0,030
Kobber, sort oxideret	20	0,78

Det ses, at mat sort aluminium har en meget højere emissionskoefficient eller emissionsgrad end blanke køleplader.

## **Et praktisk eksempel, Radiation:**

Det antages, at en komponent skal køles kun ved varmestråling fra en fastspændt køleplade. Det ville fx være tilfældet, hvis komponenten befandt sig i vakuum.

Den varmebelastning, eller varmemængde pr sekund, der skal fjernes ved stråling antages at være 50 Watt, og kølepladens overflade er 200 cm<sup>2</sup>. Emissionsgraden er 0,9

Kølepladens temperatur kan beregnes af:

$$T = \sqrt[4]{\frac{\Phi}{\sigma \cdot \varepsilon \cdot A}} \approx \sqrt[4]{\frac{50}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 10^{-4}} \left[ \frac{Wm^2 K^4}{Wm^2} \right]} \approx 470 K \approx 197^\circ C$$

Dette er under ideelle betingelser, der forudsætter, at hele arealet af kølepladen har kontakt til komponenten, der skal køles.

Mon det er rigtigt? Hvad med omgivelsestemperaturen?? Omgivelserne stråler jo også tilbage!!

Det ses også, at hvis der var valgt ikke sort aluminium, ville temperaturen være ca. dobbelt så høj.

Det må også indses, at hvis kølepladen har plader, der står over for hinanden, absorberes jo en stor del af strålingen igen i de øvrige finner og dette vanskeliggør selvfølgelig varmestrålingen.



Se animation ( død ? ): <http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Heat%20Transfer/Radiation.html>

Se også et dokument om [Black Body Radiation på min hjemmeside](#)

## **Varmens vej fra Chippen til Husoverfladen**

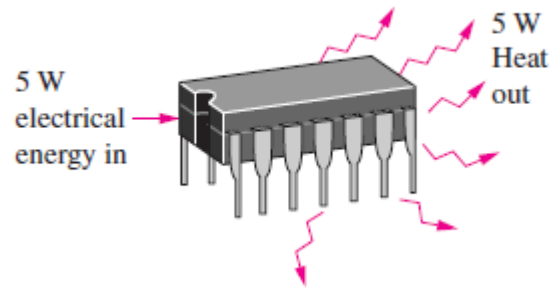
Varme på IC-Chips.



I elektroniske komponenter, fx. i transistorer eller spændingsregulatorer, afsættes der energi ved ladningernes opbremsning mod atom-strukturen. Energien afsættes som varme, og komponenten bliver varm. Og de fleste komponenter kan ikke tåle at blive varmere end ca. 125 grader C inde på selve silicium-chippen. Max tilladte temperatur kan aflæses i databladet.

Hvor varm chippen bliver, afhænger selvfølgelig af start-temperaturen og mængden af varme, der afsættes. Men i høj grad også af varmetransporten fra chippens indre til omgivelserne.

Der vil indstille sig en temperatur-ligevægt, således, at mængden af tilført energi er lig med den energi, der føres væk til omgivelserne ved en given temperatur.



Transporten af energi væk fra komponenten kan ske på flere måder, enten som:

- Varmeledning,
- Konvektion eller ved
- Infrarød stråling, varmestråling.

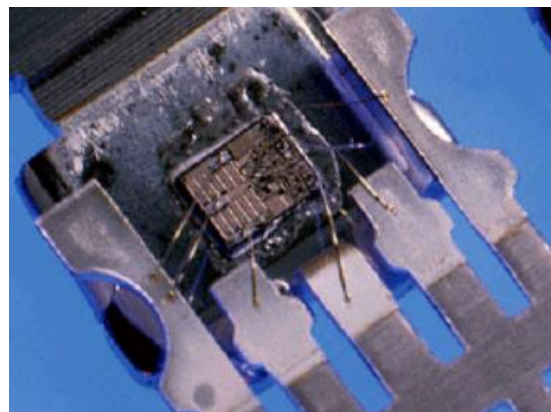
Bliver chippens temperatur for høj, ødelægges den. Er der mulighed for at chippens temperatur bliver for høj, må der selvfølgelig i udviklingen af kredsløbet tages forholdsregler for at undgå ødelæggelse.



Mange moderne komponenter har temperaturmåling indbygget, og de lukker simpelthen ned for deres funktion hvis de bliver for varme. Dvs. at komponenten ikke ødelægges, den beskytter sig selv!!



Til højre ses indmaden i en IC før den pakkes ind i beskyttende plastic.

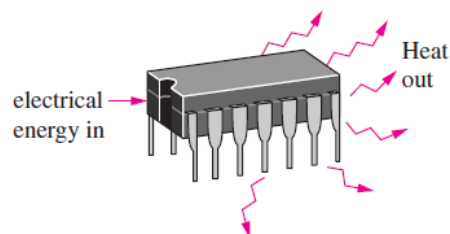




## Køleplade

Hvis ikke varmen afsat i en IC finder vej væk, vil temperaturen fortsætte med at stige!

Forsvinder der varme, vil der indstille sig en ligevægt, på en sådan måde, at IC-ens opnåede temperatur svarer til at den tilførte energi er lig den energi, der bortledes. - enten ved konvektion, varmeledning eller varmestråling, - typisk en kombination.



Men varmen kan hjælpes i transporten væk til omgivelserne ( Ambient ) ved at der monteres en køleplade.

En køleplade vil ikke direkte køle IC-en, men den forbedrer varmetransporten - varmeafgivelsen til omgivelserne.

Sidder en komponent indesluttet i en kasse, er den i realiteten godt varme-isoleret, idet varmetransporten til den omgivende luft er bremset ret godt. Luften omkring er i realiteten den eneste aftager af varmen.

Så jo bedre, komponenten er isoleret fra luften omkring apparatet, jo højere kan en komponents temperatur blive, og jo lettere vil den ødelægges. Ved arbejde med store strømme i elektronik er det helt essentielt at vurdere varmekon forholdene.

I tilfældet af fx en CPU, er der på et meget lille areal samlet millioner af transistorer, samtidig med at store ladningsmængder = strøm skal transporteres rundt på chippen på kort tid.

Ved hver skift fra lav til høj eller omvendt i gatene i CPU-en, skal der flyttes ladninger, og når ladninger flyttes, løber der strøm. Jo hurtigere dette sker, jo flere ladninger skal flyttes pr sekund, altså jo større strøm skal løbe, og jo større energi afsættes i banernes modstand og diodespændingsfald.

$$P = \Delta U \cdot I \text{ [Watt]}$$

Altså jo hurtigere en processor skal arbejde, jo mere varme produceres, og jo mere køling er nødvendig.

Køling består i de fleste tilfælde i at transportere varmen til en køleplade, der så overfører varmen til den omgivende luft. Luften omkring kølepladen bliver varm, hvorved dens vægtfylde falder, og luften stiger opad - og nyt koldere luft kommer frem til kølepladen.

Men det kan være nødvendigt aktivt at øge varmeafledningen med en blæser.





Med en blæser kan man hele tiden tilføre nyt – koldt – luft, som så varmes op og bevirker at en større mængde varme transporteres væk pr tidsenhed.

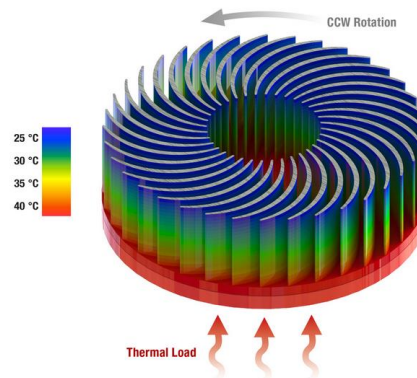
Nogle steder er der ligefrem brugt vandkøling for at transportere varme nok væk!!



Nyt smart princip på forceret køling:

Søg på: ” sandia spinning heatsink ”

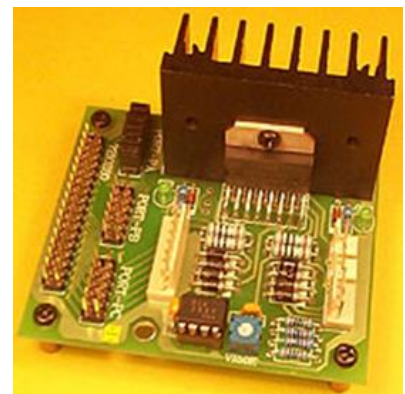
Her er det selve kølefinnerne, der spinner.



For nogle komponenter kan det være tilstrækkeligt, hvis man blot kan forøge varmetransporten væk fra chippen med en køleplade.

Med en køleplade lettes varmetransporten fra chippen til luften. Man kan sige, varmeledningsevnen fra komponenten til luften bliver større, eller at **varmemodstanden** fra chippen til luften bliver mindre.

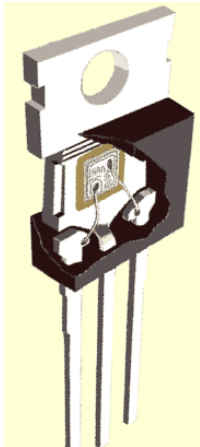
En IC-chip kan tåle en max. temperatur, kaldet “Junction-temperaturen” eller  $T_j$ . Denne temperatur kan aflæses i databladet. Hvis ikke, kan der regnes med at  $T_j$  max. er 125 °C.



## Varmens vej fra chippen

De fleste komponenter er pakket godt ind i beskyttende plastik. Men den varme, der produceres på selve chippen skal jo stadig ledes væk.

For mange komponenter går varmetransporten enten via plastikken til husets overflade og videre til luften, eller via ”Bond-trådene” til IC’ens ben, og herfra til luften, evt. hjulpet af printpladen.



Nogle komponenter har påmonteret køleplader, der gør varmetransport væk fra chippen indeni meget lettere.

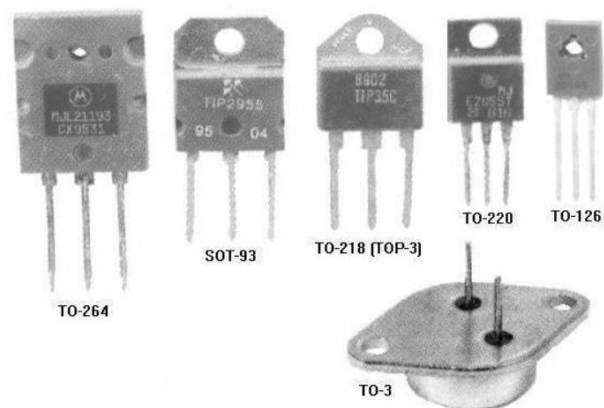
Komponenterne kan yderligere skrues fast på fx et apparats bagplade eller til en kølefinne.

For komponenter, der skal håndtere store effekter, sker den væsentligste varmetransport fra chippen til hus-overfladen normalt via et stykke metal på bagsiden, der kan bruges til fastspænding af komponenten.

<http://www.johnhearfield.com/Eng/Heatsinks.htm>

Flere eksempler på transistor-huse.

Man skal dog passe på, fordi metal-bagpladen typisk er forbundet til en af tilslutningsterminalerne. !!



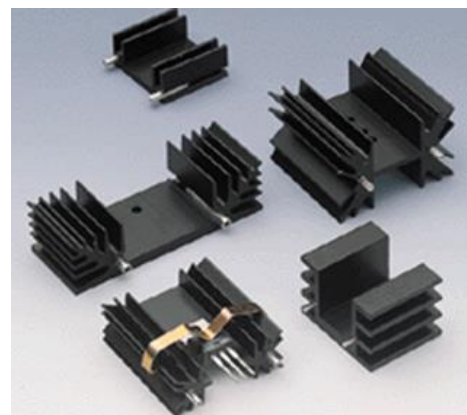
Kilde: <http://sound.whsites.net/heatsinks.htm>

## Køleplader, Heatsink

For at øge en komponents overflade der jo har berøring med omgivende luft ( konvektion ) og for at øge strålingsarealet kan man montere en køleplade på komponenten.

Her er vist nogle køleplader, der kan spændes på en transistor eller IC. Der findes et hav af udformninger.

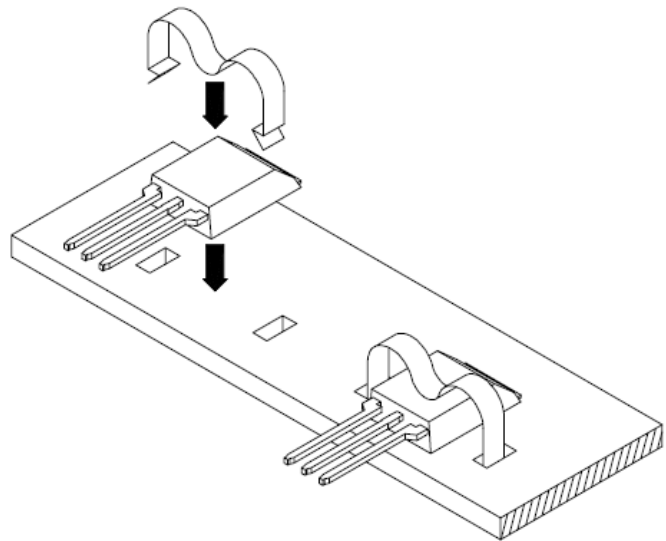
IC'en skal spændes godt fast for at varmetransporten fra komponenten til kølepladen bliver så effektiv som muligt.



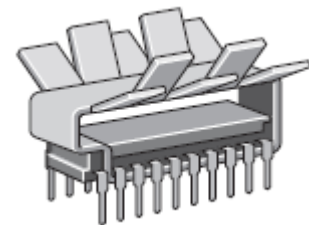


For god kontakt er det vigtigt, at der er rimelig gode kontaktkræfter, der presser bagpladen fast mod monteringspladen.

Her eksempler på samling af IC og køleplade med fjedre.

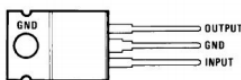
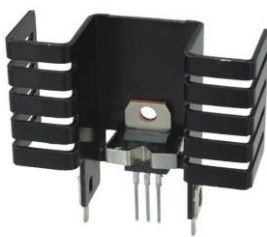


Der findes også køleplader til montering oven på IC-er



## Elektrisk isolering i varmeledningsvejen.

Isolerskiver også kaldet ”washer” eller Thermopad



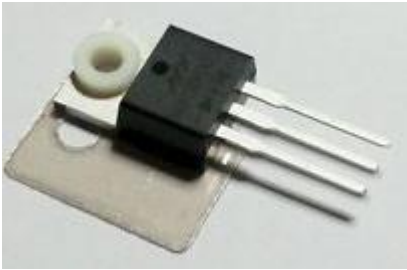
Bruges ekstern køleplade, fx bagsiden af et apparat, eller hvis der er monteret flere komponenter på samme køleplade må man tage højde for, at metal-pladen på IC'en kan have elektrisk forbindelse til elektronikken.

Dette kan betyde, at man er nødt til at isolere komponent og køleplade mod elektriske strømme, men helst ikke isolere for varmetransporten.

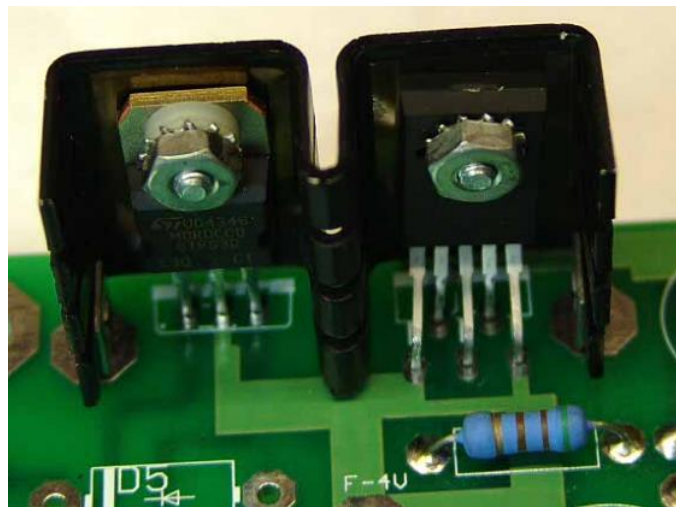
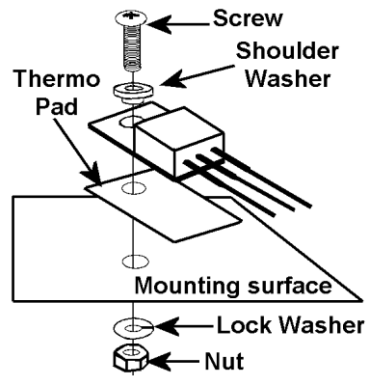
Tjek fx hvilken pin, der er forbundet til bagpladen på en LM317

Det kan ske med varmeledende isoler-skiver.





Eksempel på elektrisk isolerende – men ikke varme-isolerende - montage af IC.

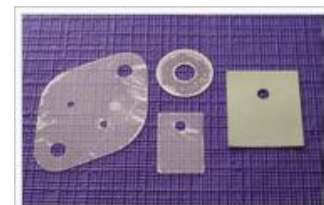


Varmetransporten skal altså ske gennem et egnet elektrisk isolerende materiale, fx glimmer eller varmeledende silikone eller andet. !!

Når IC-er eller transistorer monteres på en varmeaftagende plade, vil der på mikroskopisk plan stadig være masser af huller i overfladestrukturen, der ikke slutter helt tæt.

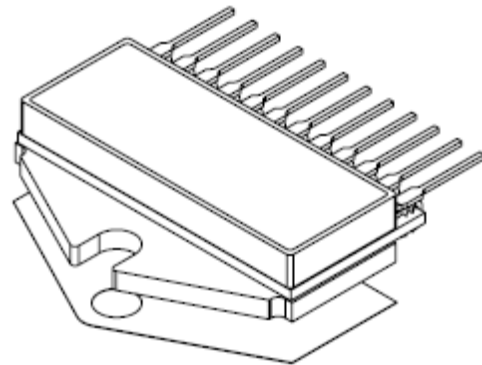
Dvs. at der er bitte små luftfyldte hulrum, der ikke leder varme særlig godt. Derfor bør der anvendes varmeledende pasta, der kan fylde hullerne op. Eller varmelede-pads, der fungerer som pasta.

Skal komponenterne isoleres fra kølepladen, er det nødvendigt at anvende fx glimmerskiver, keramik ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BeO}$ ), Silikonegummi eller et specielt kunststof, fx Polyamid.





Billede af elektrisk isolerskive.

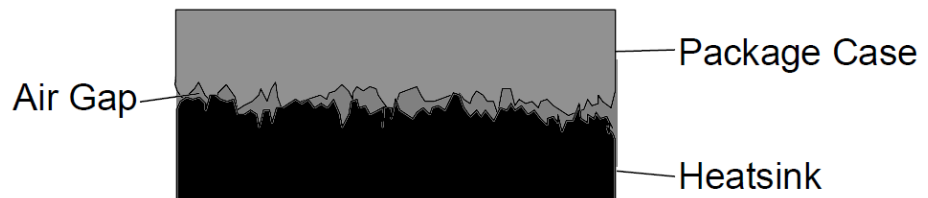


## Kølepasta:

Når transistor og køleplade monteres sammen, vil de på det mikroskopiske plan ikke slutte komplet sammen. De to overflader er ikke helt plane, der vil blive efterladt små hulrum med fanget luft.

Luft virker som isolering og for at forhindre dette, bruges kølepasta til at udfylde hulrummene!

Her et forstørret billede af de mikroskopiske hulrum.



Når man arbejder med kølepasta skal man jo ikke øge varmemodstanden ved at påføre for tykt et lag.

Der skal bruges så lidt, som muligt! Kun nok til at udfylde de mikroskopiske huller.

Kølepasta fås i sprøjte, til at påføre fladerne.



Kølepasta, Thermal Grease, Thermal Compound.

## Varmemodstand.

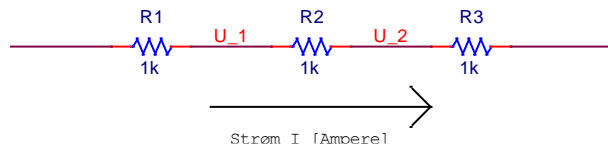


I byggebranchen bruger man normalt begrebet varmeledningsevne ved beregninger af hvor godt et hus er isoleret i mure og vinduer. Man kalder det for et materiales U-værdi.

I elektronikken kender vi jo Ohms Lov, hvor det er en spændingsdifference der driver en strøm gennem en modstand.

Strømmen I beregnes af:

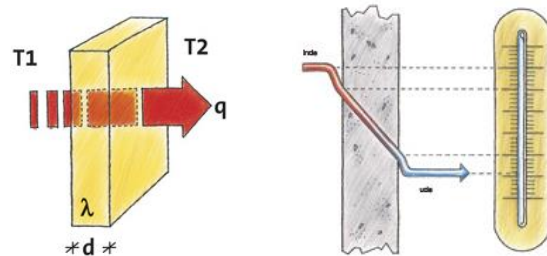
$$I = \frac{U_1 - U_2}{R_2} = \frac{\Delta U_{R2}}{R_2}$$



Strømmen går fra et højere tryk til et lavere.

Nøjagtig på samme måde, som varme forsvinder fra et sted med højere temperatur til et sted med lavere temperatur.

Man kan opfatte temperaturer som varmespændinger.



Billeder fra: <http://www.isover.dk/r%C3%A5dgivning/bygningsteori/varme>

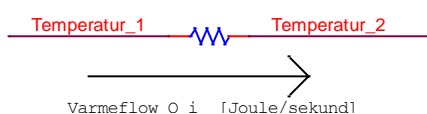
Det må gælde, at jo bedre isoleringsevne, jo mindre varmekraft. Ligesom: Jo større modstand, jo mindre elektrisk strøm.

Og jo større temperaturtryk ( varmespænding ), jo større varmekraft. ( Varmetab ). Jo større elektrisk spænding, ( elektrontryk ), jo større elektrisk strøm.

## Ohms Lov anvendt på Varmeflow.

I det følgende vil vi se på Ohms lov brugt på varmekraft.

Hvis der forefindes to temperaturer, vil modstanden mod varmekraft kunne kaldes en Termisk modstand,  $R_{termisk}$  eller på engelsk,  $R_{thermal}$  forkortet  $R_{th}$ .



$$Q_{varmekraft} = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$$



Dette svarer til Ohms Lov:  $U = I \cdot R$ , omformet til  $I = \frac{U}{R}$

Varmeflowet er lig temperaturforskellen divideret med varmemodstanden.

Eller den termiske modstand er:  $R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{Q_{varmeflow}} \left[ \frac{Kelvin}{Watt} \right]$  eller blot  $\left[ \frac{K}{W} \right]$

Så enheden for varmemodstand må være K/W.

Hvis der ikke er ligevægt, vil temperaturen i komponenten stige indtil ligevægt.

Ved ligevægt må varmeflowet, der skal væk, være lig den tilførte energimængde pr sekund, dvs. den afsatte effekt, P [Watt]

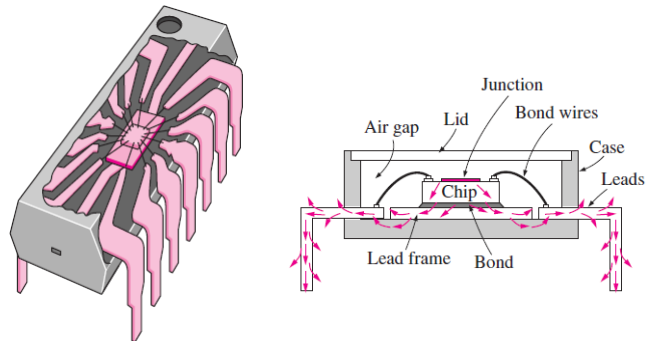
Varmemodstanden i [k/W] udtrykker, hvor mange graders temperaturforskelle, der skal til for at der kan presses 1 Watt gennem varmemodstanden.

## Varmestrækning i IC-er.

Varmen i elektronik opstår typisk på selve chippen, i PN-overgangene i forbindelserne mellem de forskellige transistorer, og selvfølgelig i ledebanerne.

Det er på selve IC-en forbindelserne er.

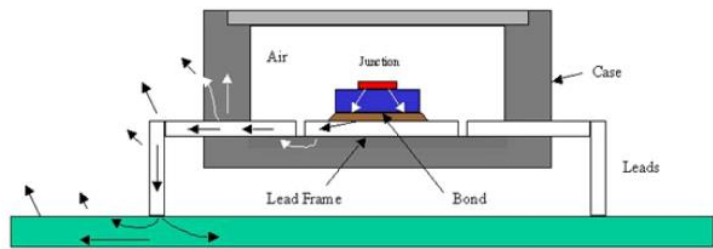
Forbindelserne kaldes Junction.





På billedet vises varmetransport væk fra en IC-chip.

Der ses både varmeledning og konvektion, varmen overføres til luft:



Dette bruges til at beskrive de forskellige varmestrækninger.

Fx beskriver  $R_{th \text{ junction-case}}$  varmestandsen fra selve chippen til IC-husets overflade.

Her et eksempel fra en spændingsgenerator 7805:

Symbol	Parameter	Value	Unit	
$V_I$	Input Voltage	$V_O = 5V \text{ to } 18V$	35	V
		$V_O = 24V$	40	V
$R_{thJC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	5	$^{\circ}C/W$	
$R_{thJA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	65	$^{\circ}C/W$	
$T_{OPR}$	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^{\circ}C$
		LM78xxA	0 to +125	
$T_{STG}$	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^{\circ}C$	

Varmestandsen  $R_{thJ-C}$  er varmestandsen fra chippen til overfladen, hvor der så spændes en køleplade på.

Og  $R_{thJ-A}$  varmestandsen fra Chippen til omgivelserne, ( Ambient ), dvs. uden køleplade.

$R_{th \text{ Case-Amb}}$  er den eneste der kan manipuleres med.  $R_{th \text{ Jc-Case}}$  er opgivet af fabrikanten!!

Eksempel:

Igen ses på effektafsætningen i en spændingsgenerator 7805, der regulerer 12 Volt ned til 5 Volt.

Strømforbruget er i dette eksempel 500 mA.

Spændingsfaldet  $\Delta U$  er 12 - 5 volt, = 7 Volt.

P afsat er  $\Delta U \cdot I = 7V \cdot 0,5 A = 3,5 W$

$R_{th \text{ jc-amb}}$  - uden køleplade aflæses i datablad = 65 C/W

Omgivelsestemperaturen sættes her til 20 grader C.

Chippens temperatur må følgelig blive:



$$T_{\text{ambient}} + R_{\text{th-ja}} \cdot P = 20 + 65 \text{ K/W} \cdot 3,5 \text{ W} = 20 + 227,5 \text{ grader} = 247,5 \text{ grader}$$

Men ifølge databladet kan ICen max tåle at blive 125 grader, så køleplade er altså påkrævet

## Nu monteres der en køleplade.

I datablad for IC-en aflæses en termisk modstand  $R_{\text{th-J-C}}$  (Junction-Case) på 5 [C/W]

Og for en køleplade:  $R_{\text{th-H-A}}$  (Heatsink-ambient) = 13,5 [C/W]

Men desuden må der være en overgangsmodstand fra Case til Heatsink, der er afhængig af hvordan og hvor godt montagen er foretaget.

Her regnes  $R_{\text{th-C-H}}$  (Case to Heatsink) til 1 [K/W]

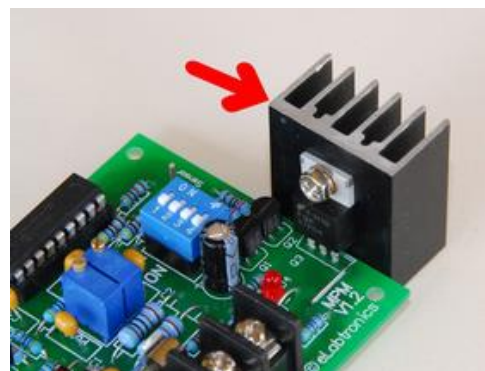
Varmemodstandene er i serie, hvorfor de kan adderes:

Nu findes:

$$T_{\text{junction}} = 20\text{C} + (R_{\text{th-JC}} + R_{\text{th-CH}} + R_{\text{th-HA}}) \cdot P$$

$$T_{\text{junction}} = 20 + (5 + 1 + 13,5) \cdot 3,5 = 20 + 68 = 88 \text{ C}$$

Altså kan den nu tåle varmebelastningen med påmonteret køleplade.



Der er set bort fra evt. elektrisk isolering og kølepasta !! Herom senere !!

Så:

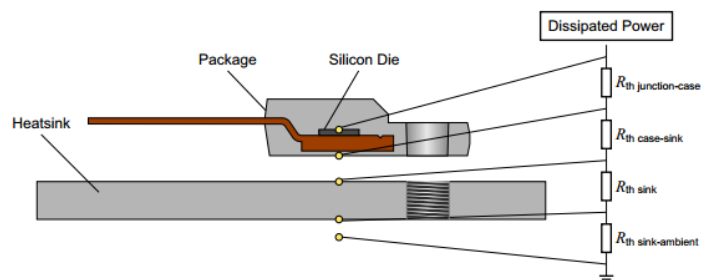


$$\sum R_{th} = R_{th\ Total} = R_{Junction-case} + R_{Case-Heatsink} + R_{Heatsink-ambient}$$

En varmemodstand for en køleplade kan fx. være 4 [K/W], og det betyder, at dens temperatur vil stige 4 grader i forhold til omgivelserne for hver Joule / sekund som er lig Watt, der afsættes i den.

## Flere varmemodstande i serie:

Man kan opfatte de forskellige delstrækninger, varmen skal transporteres gennem som en række serieforbundne varmemodstande. Dvs. fra Chippen til IC-huset, fra huset gennem glimmerisoleringen, fra isoleringen til kølepladen, og fra kølepladen til luften.



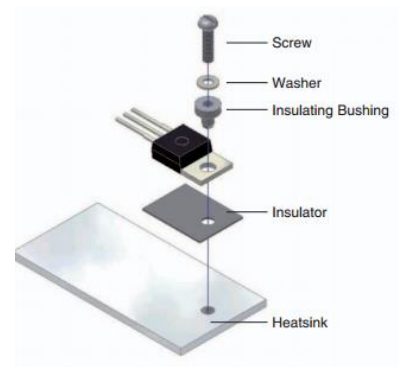
Og disse varmemodstande kan adderes, idet de jo er i serie som almindelige modstande i serie i elektronikken.

$$R_{th\ jc-amb} = R_{th\ jc-mb} + R_{th\ mb-h} + R_{th\ h-amb}$$

Og:

$$T_{jc\ max} = T_{amb} + P_{afsat} \times \sum R_{th}$$

Varmemodstanden fra chip til hus, for glimmerskiver og for kølepladen kan aflæses i datablade. Se mere senere.



Hvis varmen yderligere skal transporteres gennem en form for elektrisk isolering, vil man også øge varmemodstanden fra chip til omgivelserne.





Dette kan udtrykkes med formlen:  $\Phi_{varme} = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{varme}} \left[ W = \frac{K}{K/W} \right]$

Bemærk, at varmeflowet  $\Phi_{varme}$  udtrykker den afsatte effekt P [Watt] i komponenten.

Bemærkes skal det også, at der forsvinder lidt varme ved varmestråling (radiation).

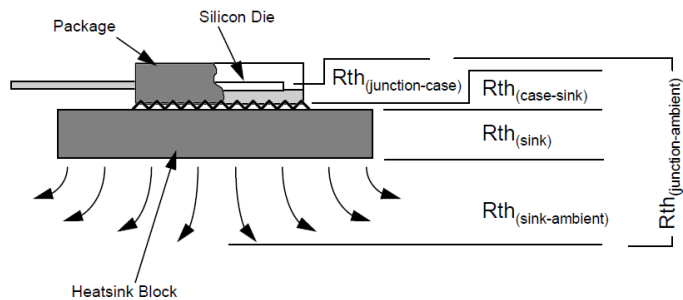
Her er formlen for varmestråling:

$$\Phi = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot T^4 \text{ [Watt]}$$

## Forskellige varmemodstande:

I varmesammenhæng bruges forskellige benævnelser for de forskellige temperaturer og termiske modstande, dvs. varmemodstande:

Og mange navne er tysk inspireret, og der bruges forskellige forkortelser.



Illustrationen viser et eksempel på varmetransport gennem nogle varmemodstande.

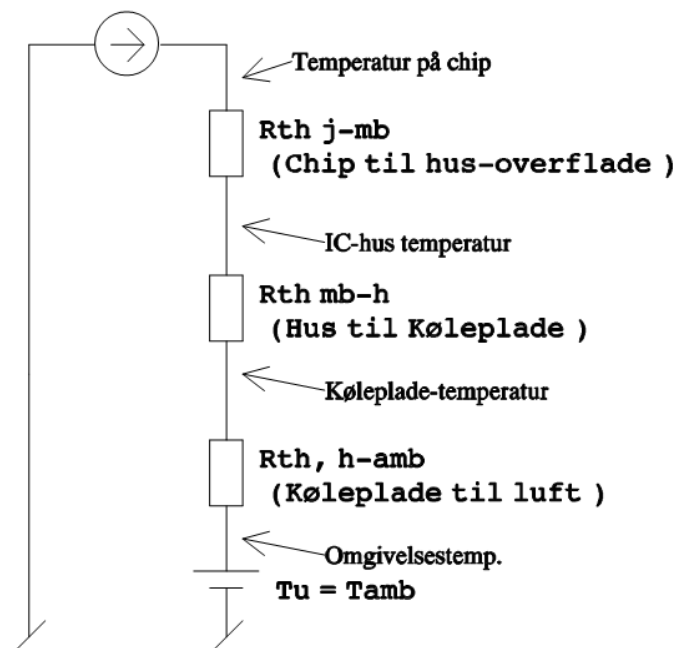
$P_w$  er den effekt der afsættes på chippen.

Den transporteres fra chippen – Junction - til husoverfladen - MountBase, videre via evt. glimmerskive til kølepladen Mountbase - Heatsink, og herfra til luften Heatsink-Ambient.

Temperaturen må altså stige fra omgivelserne og ind mod chippen.

Omgivelsestemperaturen er vist som en varmespænding,  $T_{ambient}$ .

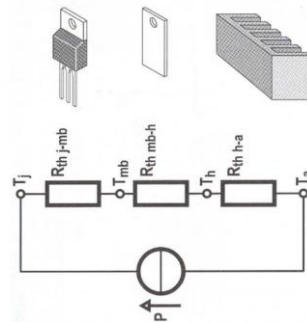
### $P_w$ , afsat effekt







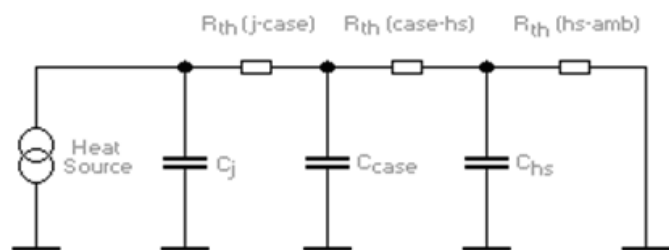
Et andet eksempel !!



[http://www.changpuak.ch/electronics/calc\\_23.php](http://www.changpuak.ch/electronics/calc_23.php)

## Varmeoverførsel set i relation til et lavpasfilter

Dette diagram illustrerer, hvordan varme og varmeoverførsel kan analogiseres til et elektrisk lavpasfilter. Termodynamisk illustrerer det, hvordan varmen transporteres væk fra varmekilden. Varmen genereres af varmekilden til venstre, og transporteres mod højre til luften i omgivelserne gennem de forskellige varme-modstande.



Kapaciteterne illustrerer delemnernes varmekapacitet. De tages kun med i transientberegninger, og bruges ikke ved normale overslagsberegninger.

Transientberegninger betyder, at man også inddrager og regner på tidsforløb, dvs. hvor lang tid der går før varmeafsætning starter, til der sker noget på fx en komponents overflade.

## Oversigt over termer og forkortelser for varmemodstande:

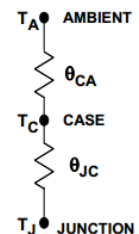
Forkortelse / formel-tegn	Forklaring
$T_j$	J står for Junction temperatur, dvs. Chip temperaturen. Maxværdi gælder fx. for 2N3055: 200°, BD140: 150°, 7812: 125°



$T_{amb}$	Omgivelses-temperatur, Ambient. Normalt regnes med 20 eller 25 grader.
$R_{th\ j-mb}$ $R_{thJ-Case}$	Varmemodstand, fra chip til hus. Mb står for Mount Base. Bruges ved montering på køleplade. J-Case er kun strækningen til husoverfladen.  Findes i datablad. Fx. 1,5 K/W for 2N3055, 35 K/W for BC140, 10 K/W for BD140, 4 K/W for 7812
$R_{th\ j-amb}$ $R_{th\ J-Ambient}$	Varmemodstand mellem chip og omgivelser <b>uden</b> kølepladeanvendelse. J-amb er værdi fra Junction til ambient. Denne værdi skal bruges hvis der ikke monteres Heatsink.  Rth amb er for BC140 = 200 K/W, for 7812 = 50 K/W, for BD140 = 110 K/W

En anden oversigt:

- ◆  $\theta$  = Thermal Resistance ( $^{\circ}C/W$ )
- ◆  $P$  = Total Device Power Dissipation (W)
- ◆  $T$  = Temperature ( $^{\circ}C$ )
- ◆  $\Delta T$  = Temperature Differential =  $P \times \theta$
- ◆  $\theta_{JA}$  = Junction-Ambient Thermal Resistance
- ◆  $\theta_{JC}$  = Junction-Case Thermal Resistance
- ◆  $\theta_{CA}$  = Case-Ambient Thermal Resistance
- ◆  $\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CA}$
- ◆  $T_J = T_A + (P \times \theta_{JA})$
- ◆ Note:  $T_{J(Max)} = 150^{\circ}C$  (Sometimes  $175^{\circ}C$ )



You can see that:

$$\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CA}$$

Now when you add a heatsink, you are inserting another thermal resistance between the case and ambient air, so your equation becomes:

$$\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}$$

Where  $T_{cs}$  is thermal resistance of the case to your sink. This depends on your interface material, sometimes known as "thermal grease". Various factors (surface area, applied pressure) change how well the thermal grease will conduct heat. An estimate of  $.25^{\circ}C/W$  seems reasonable.

$T_{sa}$  is the thermal resistance of the sink to ambient. ( $3^{\circ}C/W$  as stated, with some airflow)  
So to calculate your maximum allowable ambient temp:

$$T_A = T_J - P * (\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA})$$

Kilde: <https://electronics.stackexchange.com/questions/94275/thermal-calculation-for-a-d2pak-with-a-smt-heatsink>

*The limiting factor in whether a heat sink is needed and if so what thermal rating is required, will be determined by the temperature of the silicon junction in the device in your application. This will depend on the power dissipated in the device, the local ambient temperature adjacent to the part and the overall thermal resistance of the device and its*



mounting in the application.

The equation to use is known as the Thermal Equilibrium Equation:-

$$T_j = Pd (R_{thJC} + R_{thCS} + R_{thSA}) + T_{amb} \quad \text{for discrete parts mounted on heatsink, or}$$

$$T_j = Pd (R_{thJA}) + T_{amb} \quad \text{for discrete devices without heatsink.}$$

Where

$T_j$  = junction temperature

$Pd$  = dissipated power (RMS current through the part x voltage drop) + switching losses if applicable.

$R_{thJC}$  = thermal resistance, junction to case (from the device data sheet).

$R_{thCS}$  = thermal resistance, case to heat sink (from the device data sheet).

$R_{thSA}$  = thermal resistance of the heatsink to air.

$R_{thJA}$  = thermal resistance, junction to ambient for surface mount devices or through hole parts not on heatsinks.

$T_{amb}$  = ambient temperature immediately adjacent to the module in your application.

Remember for every 10°C the junction is below the maximum permitted, you will approximately double the inherent reliability of the part in your application.

Fra: [http://irf.custhelp.com/app/answers/detail/a\\_id/91](http://irf.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/91)

## Thermal Circuit

Before discussing the heat sink selection process, it is necessary to define common terms and establish the concept of a thermal circuit. The objective is to provide basic fundamentals of heat transfer for those readers who are not familiar with the subject. Notations and definitions of the terms are as follows:

$Q$ :

total power or rate of heat dissipation in W, represent the rate of heat dissipated by the electronic component during operation. For the purpose of selecting a heat sink, the maximum operating power dissipation issued.

$T_j$ :

maximum junction temperature of the device in °C. Allowable  $T_j$  values range from 115°C in typical microelectronics applications to as high as 180°C for some electronic control devices. In special and military applications, 65°C to 80°C are not uncommon.

$T_c$ :

case temperature of the device in °C. Since the case temperature of a device depends on the location of measurement, it usually represent the maximum local temperature of the case.

$T_s$ :

sink temperature in °C. Again, this represents the maximum temperature of a heat sink at the location closest to the device.

$T_a$ :



ambient air temperature in °C.

Using temperatures and the rate of heat dissipation, a quantitative measure of heat transfer efficiency across two locations of a thermal component can be expressed in terms of thermal resistance  $R$ , defined as

$$R = \Delta T / Q$$

Where  $\Delta T$  is the temperature difference between the two locations. The unit of thermal resistance is in °C/W, indicating the temperature rise per unit rate of heat dissipation. This thermal resistance is analogous to the electrical resistance  $R_e$ , given by Ohm's law:

$$R_e = \Delta V / I$$

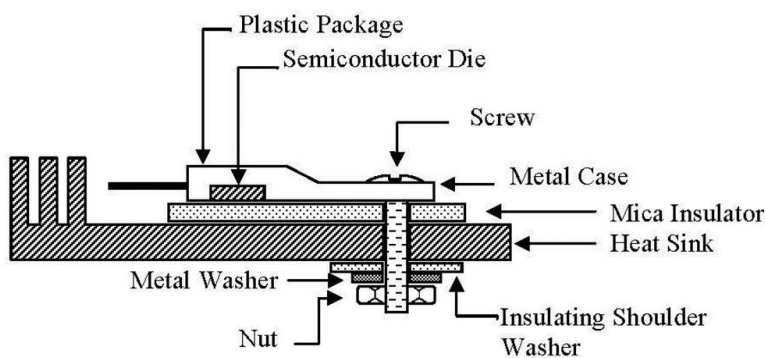
With  $\Delta V$  being the voltage difference and  $I$  the current.

<https://www.electronics-cooling.com/1995/06/how-to-select-a-heat-sink/>

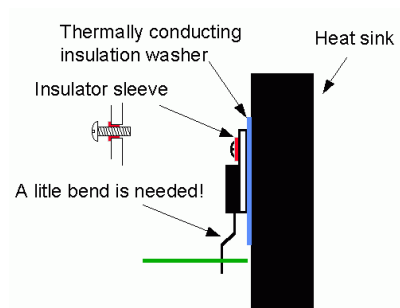
## Varmemodstand for Glimmerskiver, Heatsink insulator

For glimmerskiver opgives flg. varmemodstande:

Tykkelse [mm]	Uden varmepasta [K/W]	Med varmepasta [K/W]
0,05	1,2	0,5
0,1	1,5	0,8



Her ses hvordan glimmerskiver eller den elektriske isolator monteres !!



Fra: <http://www.nutsvolts.com/magazine/article/how-to-intro-to-heatsink-selection-and-installation>

Og: <http://www.sensibleaudio.dk/25w/25wamp.htm>



## Monteringsmåde

IC monteret på heatsink: Typiske værdier ( Kilde: Elektor 9/94 ) Kan bruges, hvis ikke mere komponentspecifikke data kan findes.

	Varmeledende pasta	Rth mb-h ( heatsink ) [K/W]
Uden elektrisk isolering	nej	0,05-0,2
Uden elektrisk isolering	ja	0,005 – 0,1
Aluminiumoxidplader	ja	0,2 – 0,6
Glimmerskiver 0,05 mm	ja	0,4 – 0,9
Siliconeskiver	nej	0,84 – 0,88

Rth mb-h	heatsink monteret direkte på køleprofil, uden pasta	0,6 K/W
Rth mb-h	heatsink monteret direkte på køleprofil, med pasta	0,1 K/W
Rth mb-h	heatsink monteret med 0,05 mm glimmer og pasta	0,3 K/W

## Køleplade – Heatsink.

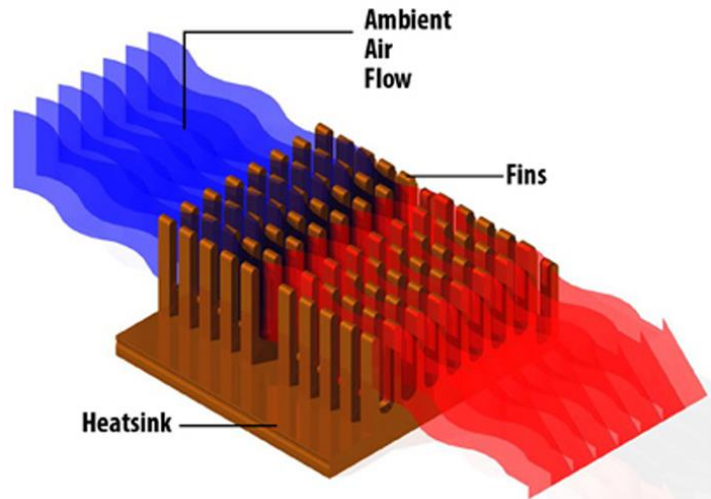
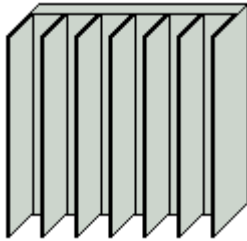
I nogle applikationer anvendes et apparats chassis som heatsink. I andre tilfælde er der monteret et decideret heatsink. Det gælder fx på vore B&O powersupply.

Fælles for heatsink er, at de skal overføre varme til luften. Her kun ved passiv overførsel, altså uden blæser!! men ved konvektion og varmestråling.

Heatsinks er normalt udført med flere finner for at øge varmeoverførselen til luften.

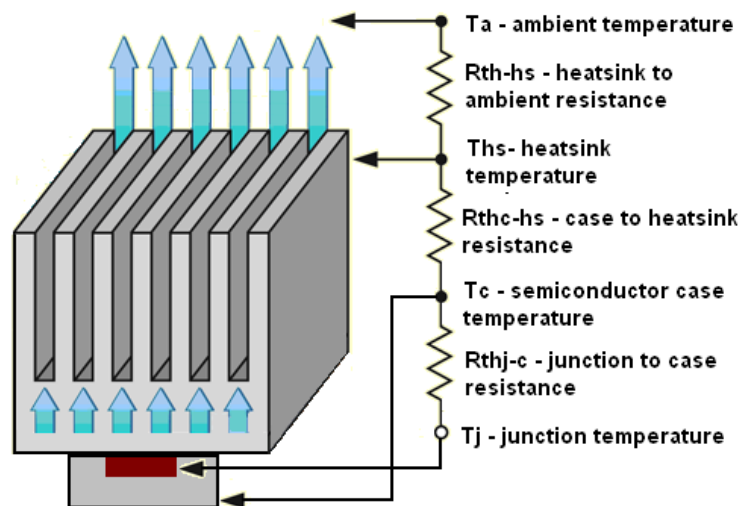


Heatsinkens finner er nødt til at vende sådan, at varmen kan stige opad.



<http://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-heat-sink/>

Her en illustration !!



<http://www.smeps.us/thermal.html>

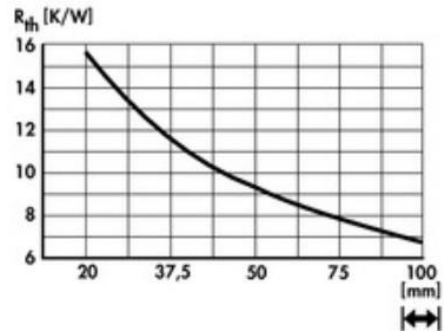
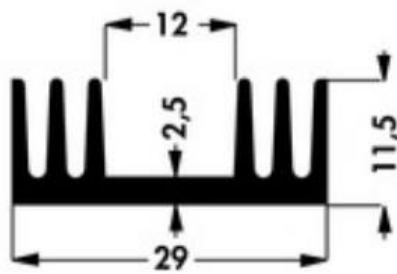
## Eksempler på Køleplader, Heatsink:

Type

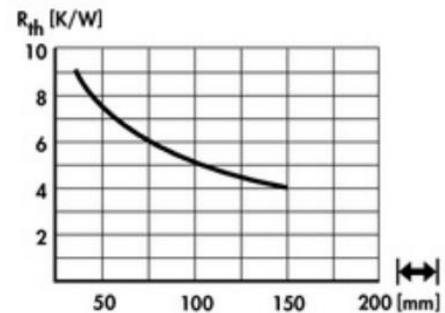
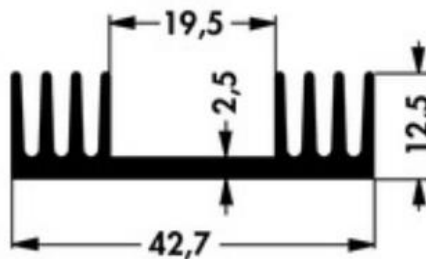
Længde af heatsink:



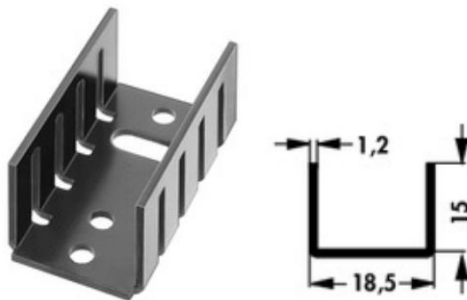
SK 09



SK 59



ICK 35



width	18.5 mm
height	15 mm
plate thickness	1.2 mm
length	35 mm
thermal resistance $R_{th}$	15 K/W
drilling pattern	TO 220
surface	black anodised

## Beregninger på heatsinks

Det er svært at regne eksakt på heatsinks, men det må jo nok være sådan, at jo større areal, en kølefinne har, jo nemmere kan den overføre varme til luften, og dermed vil dens varmemodstand være mindre.

Tjek værdier på heatsinks, fx her: <http://uk.rs-online.com/web/c/hvac-fans-thermal-management/electronics-heating-cooling/ heatsinks/>

Men i det følgende er der brugt en tommelfingerregel for beregning af termisk modstand for en heatsink:

Den lyder:



$$R_{Thermal} = \frac{50}{\sqrt{A}} = [K / Watt],$$

Hvor:

A = heatsink-areal i  $cm^2$ .

Kilde: <http://sm0vpo.altervista.org/begin/heat-0.htm>

Og fx: [http://microguard.dk/bookmark/icons/radio\\_calculations.html](http://microguard.dk/bookmark/icons/radio_calculations.html)

Formlen kan omformes til:

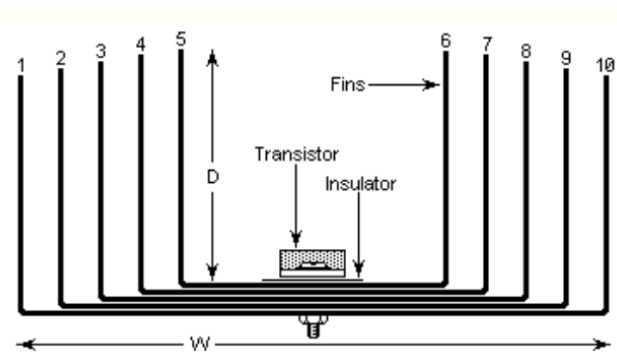
$$A = \left(\frac{50}{R_{th}}\right)^2 [cm^2]$$

Følgende er et beregningseksempel: Der er lavet en heatsink af 18 SWG, dvs. 1,22 mm tyk aluminiumplade.

Heatsinken er 20 cm bred, ( W ), 10 cm dyb ( D ), og 12 cm høj.

Hver finne er  $10\text{ cm} \times 12\text{ cm} = 120\text{ cm}^2$ .  
Hver finne har 2 sider, altså  $240\text{ cm}^2$ . Der er 10 finner, dvs.  $2400\text{ cm}^2$ .  
Bagpladen er  $2 \times 20 \times 12\text{ cm} = 480\text{ cm}^2$ .

I alt  $480 + 2400 = 2880\text{ cm}^2$ .



Se: <http://sm0vpo.altervista.org/begin/heat-0.htm>

Der findes en varmemodstand:  $\frac{50}{\sqrt{2880}} = \frac{50}{53,66} = 0,93 [K / W]$

Se fx: <http://www.myheatsinks.com/calculate/thermal-resistance-plate-fin/>

## Max kølepladetemperatur

Der kan også regnes på kølepladens max. temperatur, når den skal overføre en bestemt varmestrøm til luften:

Ønskes maksimal køleplade-temperatur til ca.  $100\text{ }^\circ\text{C}$  findes den maksimale effekt der kan afsættes,





hvis pladens varmemodstand = 4 [K/W] og  $T_{amb} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\text{Max afsat effekt i køleplade} = \frac{(100 - 20)^{\circ}\text{C}}{4\text{ K/W}} = 20[\text{W}]$$

## **Bestemmelse af termisk modstand ved test**

En praktisk metode til at bestemme den termiske modstand af en køleplade er at teste den under nøje kendte betingelser.

Der placeres en varmeafgivende komponent på kølepladen, med de samme forhold som på apparatet. Den varmeafgivende komponent isoleres på bagsiden, så varmen tvinges gennem køleplade. Det kan fx være med glasuld eller flamingo.

Der tilføres en spænding, så der afsættes en kendt effekt. Herefter måles kølepladens temperatur og omgivelsestemperaturen.

## **Dimensionering af køleplade fx for en ladetransistor for batterilader:**

Husk, at dimensionere efter "Worst Case".

Givet: Max delta  $U_{CE}$  for et kredsløb er 7,3 Volt, og ladestrømmen er 1 A.

Der afsættes:  $P_{Afsat} = \Delta U \cdot I$

Altså afsættes  $7,3\text{ [V]} \cdot 1\text{ [A]} = 1\text{ Watt}$ .

Transistoren, der i dette tilfælde er en TIP 127, kan håndtere mere end 50 Watt, så første tanke er, at det går sagtens!!

Transistorens  $R_{th\text{ Junction-Case}} = 2,2\text{ K/W}$ , og dens maksimale tilladte junction temperatur er 150 Grader.

Ved en  $T_{ambient}$  på 25 grader fås delta  $T = 125\text{ K}$ , men for at helgardere, sættes delta  $T$  fra chip til omgivelsestemperatur til 80 K.

$$R_{thK} = \frac{\Delta T}{P_{Varme(max)}} - R_{th-JC-Case} [\text{K/W}]$$
$$= \frac{80}{7,3} - 2,2 \approx 8 [\text{K/W}]$$



Der skal altså vælges en køleplade bedre end 8 K/W.

## Chassis som heatsink.

Det sker ofte, at et apparats chassis bruges som heatsink.

Eksempel:

En aluminiumboks på 5 x 10 x 20 cm har en ydre overflade på de lodrette flader, hvor luften kan strømme op forbi på:

$$A = 2 \cdot (5 \cdot 10 + 10 \cdot 20) = 500 \text{ cm}^2$$

Varmemodstanden findes som:  $R_{varme} = \frac{50}{\sqrt{500}} = 2,2 \left[ \frac{K}{W} \right]$

En anden – og bedre - formel for beregning af varmeafgivelse fra plader kan findes på:

<https://electronics.stackexchange.com/questions/321676/determine-whether-chassis-is-a-suitable-heatsink>

## Eksempel: Powersupply

Et stort varmeproblem opstår i en Powersupply, der får stor indgangsspænding, og skal levere lav udgangsspænding, og en stor strøm.

Fx ved en indgangsspænding på 24 volt, 15 Volt ud, og et forbrug på 3 Amp.

Der konverteres altså  $(24-15) \cdot 3 = 27$  Watt til varme.

Sættes udgangsspændingen ned til 5 Volt, stadig med 3 A's forbrug, fås hele  $(24 - 5) \cdot 3 = 63$  W.

Dette kræver en køleplade, men hvor stor ??



Operating Junction Temperature Range,  $T_J$  .....  $-65^\circ$  to  $+200^\circ\text{C}$   
 Storage Temperature Range,  $T_{stg}$  .....  $-65^\circ$  to  $+200^\circ\text{C}$   
 Thermal Resistance, Junction-to-Case,  $R_{thJC}$  .....  $1.52^\circ\text{C/W}$



En transistor i fx TO3 – hus, har en termisk modstand på 1,5 grader pr watt.

Dvs. for hver Watt, der afsættes i den, stiger dens temperatur 1,5 grader over omgivelsernes temperatur. Dvs. ca. 20 graders omgivelser +  $63 * 1,5 = 20 + 94,5 = 114,5$  grader.

En Clip On heatsink med en karakteristik på 40 K/W vil begrænse transistorens temperatur til ca. 40 grader + 30 grader ambient, i alt ca. 70 grader C. **????Skal vist regnes om !**

Kølefinnerne, eller heatsink'en leder varmen væk fra transistoren til omgivelsesluften, og jo større heatsink, jo mindre stiger transistorens temperatur. Jo større heatsink, jo mindre er dens K/W-værdi. Heatsinkens varmemodstand måles i K/W.

Hvis effektafsættelsen i transistoren er 63 Watt, og dens temperatur ikke må overstige 100 grader C ved 30 grader omgivelsestemperatur må transistorens temperatur kun stige 70 grader over omgivelserne.

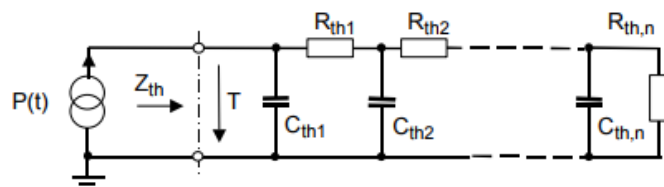
$70 \text{ grader} / 62 \text{ W} = 1,13$ , derfor behøves en heatsink på 1,13 K/W eller mindre.

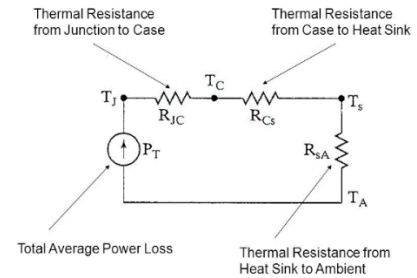
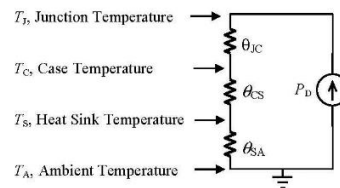
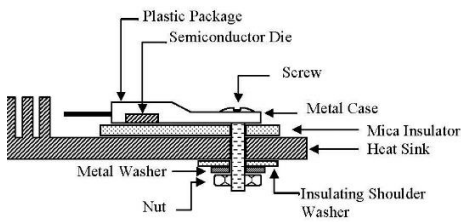
De fleste komponentleverandører angiver deres heatsinks i K/W ( eller i C/W ).

## ORCAD Simulering

Det er muligt at få ORCAD til at regne på varmetransport. Varmemodstande skal blot erstattes med rigtige modstande, omgivelsestemperaturen med en spændingsgenerator, - og en given varmeafsætning med en strømgenerator.

Kondensatorerne kan placeres hvis der skal tages hensyn til tidsvariationer, - men for vores brug kan de udelades.



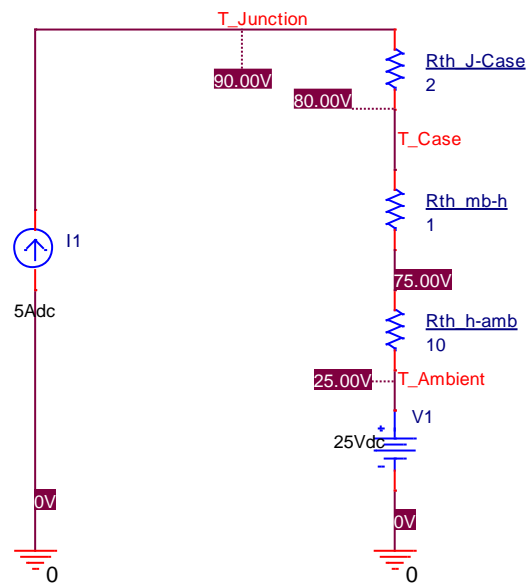


## Her et eksempel på en orcad simulering.

Rth\_mb-h er en værdi for samlingen mellem komponenten og heatsinken.

Den afhænger af materialet mellem Case og Heat-sink, og hvordan kølepladen er monteret.

Om der er brugt elektrisk isolering.



## Korrektionsværdier:

Rth_h-amb:	Værdi er typisk opgivet for sort eloxseret alu, og monteret med lodrette finner.
Blank alu	Værdien er ca. + 10 %
Heatsink monteret med vandrette finner	Der kan sagtens skulle adderes 20-40%
Heatsink monteret inde i en kasse med stillestående luft	Værdien er meget højere pga. reduceret airflow.

## Nogle typiske værdier for forskellige typer IC-huse



Her er flere. Kan vist med fordel samles i næste version !!

Package	Junction to Case (C/Watt)	Junction to Air (C/Watt)
TO-3	5	60
TO-39	12	140
TO-220	3	62.5
TO-220FB	3	50
TO-223	30.6	53
TO-252	5	92
TO-263	23.5	50
D2PAK	4	35

Kilde: <https://www.allaboutcircuits.com/tools/heat-sink-calculator/>

Og: <http://www.daycounter.com/Calculators/Heat-Sink-Temperature-Calculator.phtml>

### Her en anden oversigt: 4 typiske huse.

		Max effect @ 25 grader ambient	Rth-Case k/W	Rth-Amb k/W
TO-92,	BC547	500 mW	< 150	< 250
TO-126	BD675	40 W	<= 3,12	<= 100
TO-220		110 W	<= 1,14	<= 90
TO-3	2N3055	115 W	<= 1,5	

Og en mere:

Hustype	Eks	Effekt Watt	Rth JC-Case Fra chip til køle- plade. K/W, max	Rth-amb Fra chip til omgivende luft, uden køleplade K/W max
TO-92	BC547	500 mW ved Tamb = 25 grader 400 mW ved Tamb = 50 grader	150	250
TO-126	BD675	40	3,12	100
TO-220	RFP50N05	110	1,14	90
TO-220	IRF540	125	1	
TO-3	2N3055	115	1,5	

Oversigt over forskellige IC-hustyper og typiske værdier ( kilde Elektor 9/94 )

Hustype:	Rth j-a [K/W]	Rth j-mb [K/W]	Boltet til Heatsink, Rth c-hs		
			Direkte	Med Pasta	Micra + Pasta
TO-18	500	200			
TO-92	250	150			
TO-39	200	12,5			



TO-126	100	2,1 - 5	1,0	0,5	3,0
TO-220	62 - 75	1,15 - 3,1	1,0 - 1,3	0,5-0,8	0,8-1,4
TO-3	40	0,7 - 1,75	0,3-0,7	0,3-0,5	0,3 - 0,6

## Note:

BC547 eller BC337 brugt som switch transistor:

Der vil aldrig være 100 % kontakt mellem collector og emitter. Der vil altid være et lille spændingsfald, kaldet  $U_{ce\_sat}$ . Typisk måske så lille som 0,1 Volt. Det giver en effektafsætning på fx:

$$P_{\text{afsat}} = U_{ce\_Sat} \times I_{ce}$$

Dvs. ved fx 70 mA Collectorstrøm afsættes 7 mW

Ved Mosfet er det on-modstanden, der tæller. Den kan være på nogle få milli-Ohm.

Dvs. At  $P_{\text{afsat}} = I_{ds}^2 \times R_{ds\_on}$ ,

Selv ved en lille  $R_{ds\_on}$  på 10 mOhm fås ved en strøm på 50 A:

$$50 \times 50 \times 0,01 = 25 \text{ W.}$$

Ved pulsning af strømmen reduceres selvfølgelig noget afh. af dutycyclen.

## Max chip-temperatur:

Her gås der ud fra, at IC'en er kraftig, fx en krafttransistor, må Junctiontemperaturen ikke overstige 125 eller 150 grader. Det kan aflæses i databladet for komponenten!

Som omgivelsestemperatur kan som sikkerhedsmargin regnes med 50 grader. Altså findes en  $\Delta T$  fx 100 K.

Eksempel.: En krafttransistor, fx BD645 i en TO-220 hus, har en termisk modstand på 2 K/W.

Er belastningen  $P_v = 10 \text{ Watt}$  ( max er 62 W ) giver formlen:

$$R_{thK} = \frac{100 [K]}{10 [W]} - 2 [K/W] = 8 [K/W]$$

Den anvendte køleplade må altså max have en termisk modstand på 8 K/W.

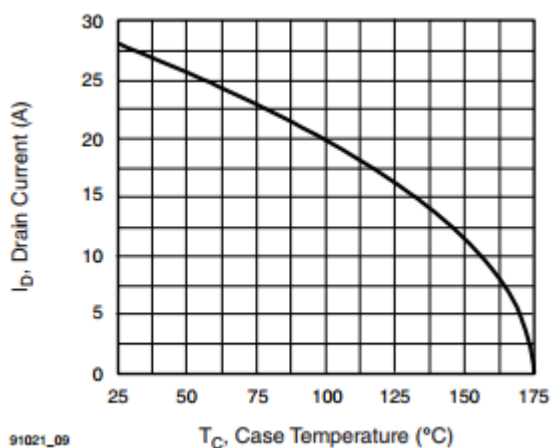
Eks. Mosfet transistor



For en MOSFET transistor IRF540 gælder:

Total effektafsætning ved 25 grader C må være 125 Watt, som aftager 1 Watt/grad C over 25 grader, altså slutter ved 150 Grader C.

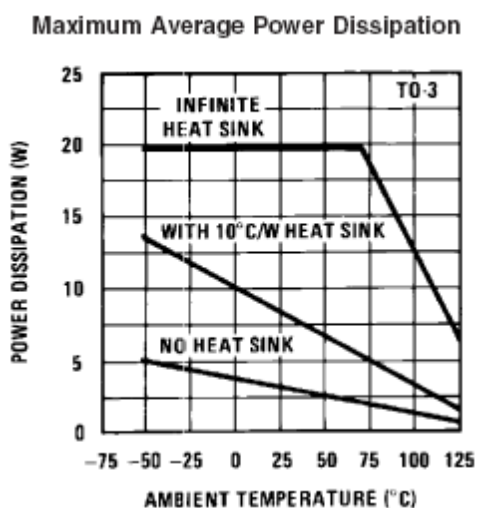
THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{thJA}$	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	$R_{thCS}$	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{thJC}$	-	1.0	



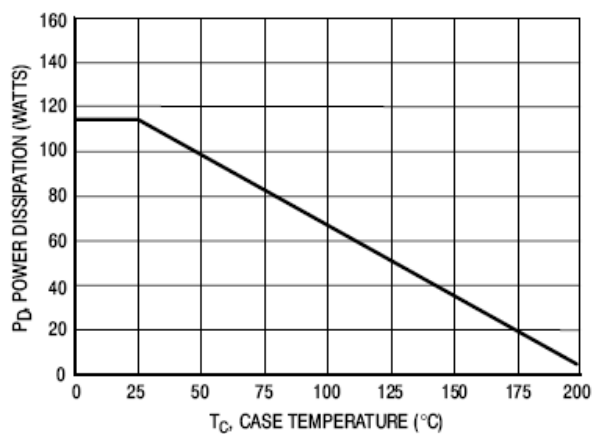
Maximum Drain Current vs. Case Temperature.

<http://www.vishay.com/docs/91021/91021.pdf>

Se fx følgende grafer.



LM7812



2N3055



## Værdier for nogle komponenter:

Følgende gives en samlet oversigt over nogle komponenters varmekorhold.

<u>Komponent</u>	<u>Uden Køling</u> R <sub>th j-amb</sub> Chip til omgi- velser [K/W]	<u>Med Køling</u> R <sub>th j-mb</sub> Chip til hus [K/W]	<u>Max Chip- temp</u> T <sub>j</sub> [° C] eller [K]	
2N3055		1,5	200	
BD136-140	110	10	150	
7812	50	4	125	
BC140	200	35		
BD675-682		3,13	150	
BC546-550	250	150		P <sub>tot</sub> = 500 mW med tilledning = max. 2 mm.
BC337, BC327	200 i fri luft 156 på pcb, LoddeØ = min. 10x10 mm på collector-ben.		150	P <sub>tot</sub> = 800 mW

## Oversigt

Flg. oversigt viser sammenhænge mellem begreber, der hører til emnet..

Der er lidt forvirring angående de forskellige formelsymboler, idet der er hhv. engelske og tyske benævnelser i forskellige kilder. Derfor er der i skemaet her anført flere navne på begreberne.

<u>Formel</u>	<u>Begreb</u>	<u>Forklaring</u>	<u>Formeltegn</u>	<u>Enhed</u>
	Varmespænding	Forskellen mellem 2 temperaturer, fx. T <sub>j</sub> - T <sub>amb</sub> .	T <sub>j</sub> , T <sub>u</sub> , T <sub>amb</sub> , j = junction, u=umgebun- gen amb = ambient	Δ°C, K





	Varmemodstand, Termisk modstand	Varmemodstand er et udtryk for hvor godt eller dårligt et materiale leder varme. Specifik varmemodstand.	$R_{th}$ $R_{termisk}$	$^{\circ}C/W, K/W$
$P_w = \Delta T/R_{th}$	Varmestrøm, Verlustleistung	Varmestrøm er den mængde varme ( den afsatte effekt ), der skal ledes væk hvert sekund.	$P_w, P_{tot}$	Watt

Links til sider om Heatsink: ( er de stadig valide ?)

<http://www.giangrandi.ch/electronics/thcalc/thcalc.shtml>

<http://www.designworldonline.com/how-to-select-a-suitable-heat-sink/#>

[https://www.engineersedge.com/calculators/heat\\_sink\\_convection\\_with\\_fins\\_calculator\\_10048.htm](https://www.engineersedge.com/calculators/heat_sink_convection_with_fins_calculator_10048.htm)

<http://www.electronics-cooling.com/2003/02/estimating-parallel-plate-fin-heat-sink-thermal-resistance/>

<http://www.farnell.com/datasheets/54432.pdf>

[http://irf.custhelp.com/app/answers/detail/a\\_id/91](http://irf.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/91)

Søg: [https://www.google.dk/search?q=ambient+tsink+case&rlz=1C1GGRV\\_enDK752DK753&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwigsoTfw6bWA-hUELVAKHbx7DN8QsAQIKA&biw=1455&bih=700#imgrc=Q9IqVjgU0XSB5M:](https://www.google.dk/search?q=ambient+tsink+case&rlz=1C1GGRV_enDK752DK753&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwigsoTfw6bWA-hUELVAKHbx7DN8QsAQIKA&biw=1455&bih=700#imgrc=Q9IqVjgU0XSB5M:)

<https://electronics.stackexchange.com/questions/94275/thermal-calculation-for-a-d2pak-with-a-smt-heatsink>

<https://electronics.stackexchange.com/questions/246622/power-dissipation-of-power-mosfet>

<http://www.electronics-cooling.com/1995/06/how-to-select-a-heat-sink/>

En online beregner: <http://www.giangrandi.ch/electronics/thcalc/thcalc.shtml>

<https://www.translatorscafe.com/cafe/EN/units-converter/thermal-resistance/v/>

<https://www.sparkfun.com/tutorials/314>

<http://highered.mheducation.com/sites/dl/free/0073398187/835451/Chapter15.pdf>

<https://electronics.stackexchange.com/questions/246622/power-dissipation-of-power-mosfet>



<http://www.heatsinkcalculator.com/blog/top-3-mistakes-made-when-selecting-a-heat-sink/>

[http://electro-music.com/forum/phpbb-files/heatsink\\_basics\\_726.pdf](http://electro-music.com/forum/phpbb-files/heatsink_basics_726.pdf)