

ZELF VOEDINGEN ONTWERPEN EN BOUWEN

KOELPLAATBEREKENINGEN

H. J. C. OTTEN

In het buizentijdperk was een elektronisch apparaat met een elektrisch kacheltje door de warmte die de buizen uitstraalden. De komst van de transistor bracht hier verandering in, elektronische apparaten zijn veel 'koeler' geworden. Toch zijn er nog wel warmte-afvoer problemen overgebleven, een goed voorbeeld daarvan is de serietransistor bij gestabiliseerde voedingen. Deze transistor wordt doorlopen door de volle uitgangsstroom en heeft een spanningsverschil van enige volts nodig om goed te kunnen werken. Vooral bij gestabiliseerde voedingen met een tot lage waarden terug te regelen uitgangsspanning kan het te dissiperen vermogen aanzienlijk zijn. Het opgenomen vermogen wordt geheel in warmte omgezet, deze warmte moet via een koelplaat aan de buitenlucht worden afgestaan, anders wordt de transistor zo heet dat hij de geest geeft.

R_{C-HS} = warmteweerstand transistor-behuizing naar koelplaat (Engels: heatsink).

R_{HS-A} = warmteweerstand koelplaat naar buitenlucht in omgeving van koelplaat (Engels: air).

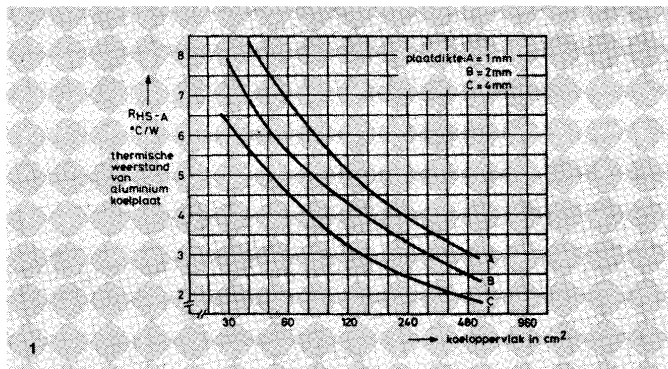
De transistor moet een vermogen P opnemen, dit vermogen is gelijk aan: $P_{transistor} = U \times I$... (1) waarbij U de collector-emitterspanning van de transistor is en I de emitterstroom. P_t wordt geheel in warmte omgezet. Tussen de transistorjunctie en de buitenlucht ontstaat door de warmteproductie in de junctie een temperatuurverschil $T_J - T_A$, waarin T_J de junctietemperatuur en T_A de temperatuur van de buitenlucht is.

Waar is een koelplaat nodig?

Koelen van transistoren is bijna altijd noodzakelijk als de transistor veel vermogen moet regelen, zoals in gestabiliseerde voedingen en in eindversterkers. Meestal wordt in bouw-beschrijvingen het koelprobleem afgedaan met de magische woorden: 'Deze transistor moet goed worden gekoeld!', zonder verder op de grootte van de koelplaat in te gaan. Bij metalen behuizingen is dit vaak ook geen probleem, de behuizing kan zelf als koelplaat dienen. In andere gevallen zal de grootte van de koelplaat moeten worden berekend.

De wet van Ohm voor warmtetransport (afb. 2)

Hoe groot een koelplaat moet worden is met een eenvoudig rekensommetje en de in afb. 1 getekende grafiek globaal te berekenen. De warmte ontstaat in de transistorjunctie en moet via de transistorbehuizing en de koelplaat



naar de buitenlucht worden afgevoerd. Voor dit warmtetransport moeten een paar thermische weerstanden worden overwonnen, de volgende thermische of warmteweerstanden zijn van belang:

R_{J-C} = warmteweerstand transistor-junctie naar transistorbehuizing (Engels: case).

Tussen vermogen P_t , temperatuurverschil $T_J - T_A$ en de thermische weerstanden is het volgende verband, wat wel de Wet van Ohm voor warmtegeleiding wordt genoemd:

$$R_{\text{totaal}} = R_{J-C} + R_{C-HS} + R_{HS-A}$$

$$= \frac{T_J - T_A}{P_t} \dots (2)$$

T0-3 : $R_{J-C} = 2 \dots 3,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
 T0-220: $R_{J-C} = 2,5 \dots 3,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
 T0-5 : $R_{J-C} = 30 \dots 40 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
 R_{C-HS} is meestal in de grootte-orde van $0,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

Een rekenvoorbeeld

Als voorbeeld nemen we een transistor die een stroom van 1 A moet verwerken en een spanningsverschil van 10 V tussen collector en emitter heeft. De transistor moet dus een vermogen van 10 W dissiperen. De transistor heeft een T0-3 behuizing met een $R_{J-C} = 2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ en $R_{C-HS} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$. De maximaal toelaatbare temperatuur van de junctie is $125 \text{ } ^\circ\text{C}$ en de buitenlucht heeft een temperatuur van maximaal $60 \text{ } ^\circ\text{C}$. Ingevuld in formule (3) levert dit:

$$R_{HS-A} = \frac{125 \text{ } ^\circ\text{C} - 65 \text{ } ^\circ\text{C}}{10 \text{ W}} - 2 \text{ } ^\circ\text{C/W} - 0,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$= 6,5 - 2,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

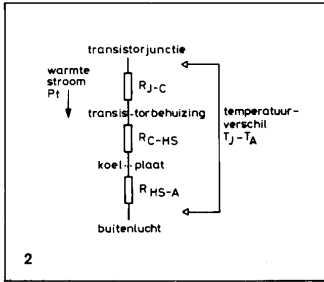
$$= 4,0 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

In afb. 1 is een grafiek getekend die het verband tussen thermische weerstand R_{HS-A} en het oppervlak van de koelplaat aangeeft voor blank aluminium met een dikte van 1, 2 en 4 mm. Om op het voorbeeld terug te komen, als de te gebruiken koelplaat een dikte van 2 mm heeft, zullen we bij de benodigde R_{HS-A} van $4 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ een oppervlak van 120 cm^2 nodig hebben. Een koelplaat van 10 bij 12 cm zal dan voldoen.

De betekenis van de berekening voor de praktijk

Formule (3) en de grafiek geven de mogelijkheid de minimum afmetingen van een koelplaat te schatten. Het is verstandig de koelplaat iets groter te nemen (bijv. 20%). De transistor wordt dan niet op de maximaal toelaatbare junctietemperatuur bedreven en beloont u daarvoor met een langere levensduur. De grafiek in afb. 1 heeft betrekking op blank aluminium, en berust op een gemiddelde van de ervaring die men daar mee heeft opgedaan. Wat er niet in is te zien, is dat het van belang is hoe de koelplaat wordt geplaatst. Als de koelplaat rechtop staat is door het schoorsteeneffect de koeling effectiever dan als de koelplaat ligt. De beweging van de lucht in de omgeving van de koelplaat is ook van belang. Bij veel lucht-

- afb. 1 Verband tussen koelloppervlak (aluminium) en koelweerstand van een koelplaat bij verschillende dikten.
- afb. 2 Hoe de warmtestroom P_t onder invloed van het temperatuurverschil door de thermische weerstanden moet stromen.
- afb. 3 Enige veel gebruikte koellichamen (in de handel verkrijgbaar) met de thermische weerstand erbij vermeld.



Het temperatuurverschil $T_J - T_A$ is te vergelijken met het potentiaalverschil U uit de wet van Ohm voor elektrische stromen, P_t (de warmtestroom) met de stroomsterkte I .

Berekening van de benodigde thermische weerstand van de koelplaat

Uit de wet van Ohm voor warmtegeleiding volgt:

$$R_{HS-A} = \frac{T_J - T_A}{P_t} - R_{C-HS} - R_{J-C} \dots (3)$$

Om nu de weerstand van de koelplaat te berekenen moeten de waarden voor de verschillende grootheden in formule (3) worden ingevuld. $T_J - T_A$ is het temperatuurverschil tussen transistorjunctie en de buitenlucht. In de gegevens voor de transistor is de maximale T_J gegeven, meestal is dit zo'n $125 \text{ } ^\circ\text{C}$. De buitenlucht kan een temperatuur hebben die oploopt tot omstreeks $60 \text{ } ^\circ\text{C}$, dit is afhankelijk van de behuizing, de plaatsing van de koelplaat etc. $P_{transistor}$ volgt uit formule (1). R_{J-C} volgt uit de transistorgegevens, de waarde verschilt per behuizing, enige veel gebruikte behuizingen hebben de volgende waarden voor de thermische weerstand:

bovenaanzicht koelspin voor T0-3 ed. $R_{HS-A} = 6 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

bovenaanzicht koelster voor T0-5 + T0-39 $R_{HS-A} = 60 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

koellichaam voor T0-220 en dergelijke plastic transistorbehuizing $R_{HS-A} = 102 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

lengte	R_{HS-A}
3,75 cm	3 $^\circ\text{C/W}$
5,0 cm	2,5 $^\circ\text{C/W}$
7,5 cm	2,2 $^\circ\text{C/W}$

ook in hoogte 6,35 cm, lengte 7,15 cm $R_{HS-A} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$



beweging, bijvoorbeeld door een ventilator, zal de buitenluchttemperatuur lager zijn en kan de koelplaat kleiner worden gekozen. Als de koelplaat van zwart geëloxeerd aluminium is gemaakt, zal de koeling ook effectiever zijn en kan de koelplaat ongeveer 15% kleiner worden gekozen. Als u een koelplaat kant en klaar koopt (er zijn heel mooie te koop) en bij de levering wordt niet vermeld wat de thermische weerstand ervan is, kunt u een schatting daarvan maken door de dikte en het totale oppervlak, inclusief de eventuele ribben, te meten en de thermi-

sche weerstand in afb. 1 op te zoeken. Tenslotte, overdimensioneren van de koelplaat kan geen kwaad, een te kleine koelplaat betekent het einde van de transistor. Overigens, hoe goed de koelplaat ook is, de maximaal toelaatbare vermogensdissipatie van de transistor mag niet worden overschreden. De vermogensdissipatie van een transistor is afhankelijk van de toepassing. In een voedingsschakeling is het het produkt van (gelijk-)stroom door, en spanning over de transistor in de zwaarst belaste toestand. Voor een eindtrap is het gedissipeerde vermo-

gen $0,6 \times P_{\text{sin}}$, waarbij P_{sin} het maximum sinusvermogen is. Voor een schakeltransistor is het gedissipeerde vermogen $n \times 1,2 \times I$ waarbij n de duty-cycle van de sturende blok golf en I de gelijkstroom bij volledig openge-stuurde transistor is. Bij gebruik van siliconen koelpasta tussen transistor en koelplaat wordt de thermische weerstand van transistorbehuizing naar koelplaat $R_{\text{C-HS}}$ verwaarloosbaar klein. Toepassen van een micaplaatje ter isolatie verhoogt $R_{\text{C-HS}}$ met ongeveer $0,8 \text{ }^\circ\text{C/W}$.