



## Refroidissement d'un transistor ou autres semiconducteurs

Werner Tobler (HB9AKN), Chemin de Palud 4, 1800 Vevey

### Généralités:

Un transistor au silicium ou autre dispositif semi-conducteur, ne doit pas dépasser une température bien déterminée à ses jonctions, afin d'éviter l'emballement thermique. Cette température est de l'ordre de 150 à 200 degrés C selon le dispositif. Une fois le processus d'emballement amorcé, si l'on interrompt pas rapidement le courant, le semi-conducteur sera rapidement détruit. Il faut donc évacuer la chaleur produite à l'intérieur des jonctions. Cette chaleur sera proportionnelle à la puissance dissipée, et celle-ci dépendra largement des possibilités d'évacuation des calories produites. Nous avons l'expression suivante:

$$T_j - T_u = R_{thj} \cdot P_{tot} \quad (1)$$

avec:

$T_j$  = Température de la jonction (degrés C)

$T_u$  = Température ambiante (degrés C)

$R_{thj}$  = Résistance thermique totale (degrés C / Watt)

$P_{tot}$  = Puissance dissipée (Watts)

De l'expression (1), on obtient:

$$R_{thj} = (T_j - T_u) / P_{tot} \quad (2)$$

On remarque l'analogie avec la loi d'Ohm  $R = U/I$ .

$R_{thj}$  représente donc l'opposition totale à l'écoulement de la chaleur produite par la dissipation au point de la jonction à la température  $T_j$ , vers l'air ambiant à la température  $T_u$ . La valeur de  $R_{thj}$  est une spécification donnée pour un transistor. Elle exprime la facilité avec laquelle le transistor peut conduire la chaleur produite vers l'extérieur du transistor. Plus cette valeur est petite, plus la conduction thermique est bonne. On trouve cette valeur dans les spécifications techniques du transistor. Par exemple pour le transistor MRF 454 nous avons une valeur de 0,7 degrés C/W qui correspond à la valeur de  $R_{thj}$ . Voyez plus loin sur les schémas 1 et 2 l'emplacement de ces résistances thermiques.

Si on fixe la valeur  $T_j$  à 150 degrés C, on a par exemple:

$$R_{thj} = (150 - 25) / 0,5 = 250 \text{ degrés C/Watt}$$

ceci pour un transistor de 0,5 Watt à la température de 25 degrés C.

La puissance maximale dissipable dépend donc de la température ambiante pour une résistance thermique  $R_{thj}$  donnée.

### Remarque:

De l'expression (2), on voit que plus la résistance thermique  $R_{thj}$  est petite, pour une différence de température donnée, plus la puissance thermique  $P_{tot}$  évacuée est grande. Le meilleur radiateur aura donc la plus faible valeur possible de  $R_{thj}$ .

### Représentation symbolique

La résistance thermique totale  $R_{thj}$  peut se décomposer de la façon suivante:

a) Transistor sans refroidisseur.

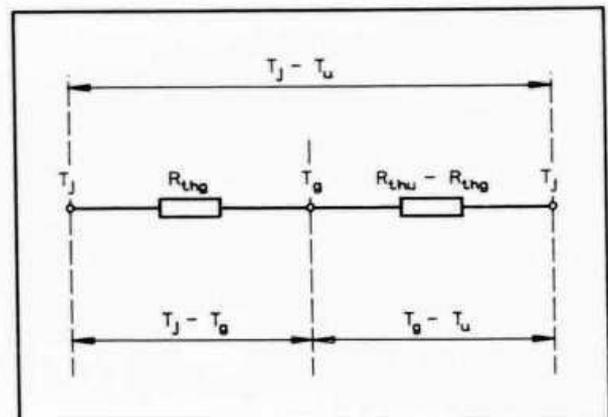


Figure 1: Schéma thermique d'un transistor sans refroidisseur

$T_j$ : Température de la jonction

$T_g$ : Température du boîtier

$T_u$ : Température ambiante

$R_{thjg}$ : Résistance thermique entre jonction et boîtier

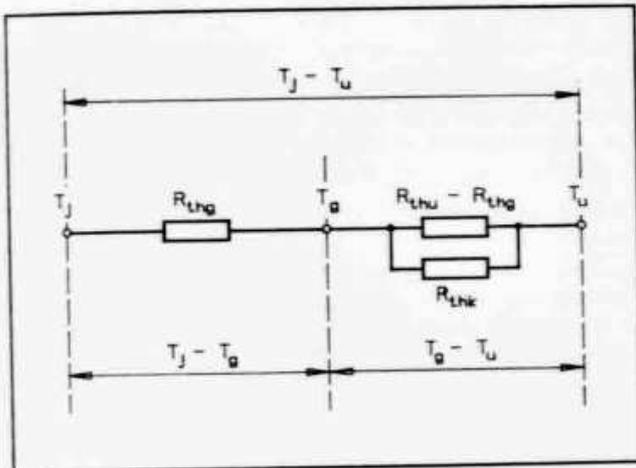
$R_{thh} - R_{thjg}$ : Résistance thermique entre boîtier et air ambiant

$R_{thj}$ : Résistance thermique entre jonction et air ambiant

On peut donc agir sur la résistance thermique  $R_{thh} - R_{thjg}$  qui représente l'opposition à l'écoulement de la chaleur entre le boîtier du composant et l'air ambiant. On ne pourra par contre rien améliorer à la résistance thermique  $R_{thjg}$  qui est

l'opposition à l'écoulement de la chaleur à l'intérieur du composant lui-même entre la jonction et le boîtier. Pour améliorer la première résistance thermique soit  $R_{thj}$ - $R_{thg}$ , on augmentera la surface de refroidissement donc la conduction de chaleur. Pour améliorer encore le transfert, on peut se servir de pâte spéciale thermoconductrice que l'on appliquera sur les surfaces en contact.

b) Transistor avec refroidisseur.



**Figure 2:** Schéma thermique d'un transistor avec refroidisseur  
 $R_{thk}$ : Résistance thermique du refroidisseur

La résistance thermique  $R_{thk}$  du radiateur est donnée par le fabricant.

### Exemple de calcul pratique

On désire déterminer la puissance maximale dissipable par un transistor muni d'un boîtier TO-5 muni lui-même d'un radiateur en étoile avec une température ambiante de 25 degrés C.  $P_{tot}$  du transistor sans radiateur est 0.8 W. On lit dans les spécifications du transistor qu'une température maximale de jonction de 200 degrés C est possible. En appliquant l'équation (1) on obtient:

Résistance thermique totale  $R_{thj} = (200 - 25)/0.8 = 218,75$  degrés/W soit environ 220 degrés/Watt.  $R_{thj}$ - $R_{thg}$  vaut pour un boîtier TO-5 180 degrés C/Watt ceci est une donnée disponible pour ce type de boîtier.

La résistance thermique entre le boîtier et la jonction vaut:

$$R_{thg} = 220 - 180 = 40 \text{ degrés/Watt}$$

$R_{thk}$  vaut pour ce radiateur  $R_{thk} = 46$  degrés/Watt Cette valeur est fournie par le fabricant de radiateur.

$$R_{thj} = R_{thg} + R_{thk} = 40 + 46 = 86 \text{ degrés/Watt}$$

$$P_{tot} = (200 - 25)/86 = 2 \text{ Watts}$$

C'est la puissance totale dissipable par ce transistor muni de ce système de refroidissement. On voit ici toute l'importance de la résistance thermi-

que  $R_{thj}$  de laquelle dépend la puissance dissipable par le transistor.

### Exemple 2

On veut dimensionner le radiateur nécessaire pour évacuer la chaleur produite par un amplificateur final HF composé de deux transistors MRF 454 travaillant avec une température ambiante de 25 degrés C.

On lit dans les caractéristiques de ces transistors que la résistance thermique jonction-boîtier est de 0,7 degrés C/W. Cela correspond à la résistance  $R_{thj}$ .  $P_{tot}$  du MRF 454 est 80 W. En appliquant l'équation (1) en supposant que la température maximale de jonction tolérable soit de 200 degrés C, on a:

$$R_{thj} = (200 - 25)/80 = 2,18 \text{ degrés C/Watt}$$

Cette valeur étant valable pour un transistor seulement. On a:

$$R_{thk} = 2,18 - 0,7 = 1,48 \text{ degrés C/Watt}$$

Notre amplificateur est constitué de deux transistors identiques montés en push-pull de sorte qu'il faut diviser la valeur ci-dessus par deux soit 0,74 degrés C/Watt. Il faudra donc trouver un radiateur ayant ces spécifications. Signalons que la résistance thermique figure dans le catalogue des radiateurs.

### Remarque:

Ces calculs sont basés sur un fonctionnement continu de l'amplificateur, ce qui ne correspond pas au fonctionnement réel en CW ou SSB. Dans ces deux derniers modes, la puissance moyenne dissipée en chaleur est moindre.

Si on ignore tout des caractéristiques du radiateur que l'on désire employer, comme c'est souvent le cas lorsqu'on récupère du matériel, le meilleur moyen consiste à faire le montage suivant:

- Charger l'amplificateur sur antenne fictive.
- Contrôler la température moyenne du radiateur à l'aide d'un thermomètre. (Choisir un endroit moyen sur le radiateur).
- Exciter l'entrée BF du transceiver à l'aide d'un enregistrement de signaux CW BF ou de paroles.

La température est au départ à la valeur ambiante et se stabilisera à une certaine valeur. Si elle continue à augmenter, cela signifie que le radiateur est insuffisant et on risque dans ce cas l'emballement thermique des transistors.

### Conclusions:

Nous pensons avoir été utile en rappelant certaines notions parfois oubliées. Il existe beaucoup de dispositifs à semi conducteurs nécessitant un refroidissement adéquat, et les cas étudiés ci-dessus sont des cas simples. Il existe des cas plus complexes utilisant des thyristors ou autres mais, le fabricant fournit une assistance pour les cas compliqués.