

Mise en œuvre (après calculs) d'un dissipateur thermique (« thermal heatsink »).

Généralités.

Le but du présent article est de permettre (après calculs) de choisir le dissipateur thermique qui généralement accompagne un composant électronique (diode, transistor, triac, ...) composé de jonctions « semi-conductrices » (type P-N ou N-P) à base de silicium, germanium,

En théorie, on rappellera qu'un transfert thermique (entre une « source chaude » et une « source froide ») peut se faire :

- par conduction : un matériau (aluminium, cuivre, ...) est utilisé pour véhiculer la chaleur.
- par convection : un fluide (air, eau, ...) est utilisé pour réaliser le transfert thermique.
- par rayonnement : la « source chaude » réalise le transfert thermique en émettant un rayonnement (des rayons « infra-rouges »).

Notion de Tj (la température de jonction) et de Tjmax (la température de jonction maximale).

Lors de la mise en exploitation d'un composant électronique, les jonctions du composant subissent un échauffement; il y a augmentation de la température de la jonction. La température d'une jonction (la Tj exprimée en degré Celcius) est limitée (en fonction de la technique de construction du composant et surtout en fonction du matériau choisi : silicium, germanium, ...) à une valeur maximale (la Tjmax) qui, dépassée, provoquera la destruction de la jonction (et par conséquent la destruction du composant). Actuellement, les composants intègrent généralement plusieurs jonctions. En effet, un transistor « classique » intègre 2 jonctions (la jonction émetteur-base et la jonction base-collecteur), un composant « régulateur de tension » intègre plusieurs transistors, plusieurs diodes, Il est évident qu'il serait impensable de considérer chacune de ces jonctions. En fait, le constructeur d'un composant spécifie (dans la « data sheet » du composant) une seule Tjmax (probablement celle relative à la jonction la plus « fragile » du composant).

La première considération importante à retenir est **qu'il est impératif de ne jamais atteindre ou dépasser la Tjmax du composant** (sinon il y a risque de destruction du composant). Citons par exemple la Tjmax d'un transistor de puissance (à base de silicium) qui est de l'ordre de 150°C.

Notion de Pd (Puissance dissipée).

Mise en exploitation, la jonction (soumise à une différence de potentiel U et traversée par un courant I) présente une Pd (puissance dissipée exprimée en Watts) qui sera à l'origine d'une augmentation de la température des jonctions.

Calculons la Pd à partir de 2 exemples pratiques :

- un transistor de puissance (dont le Vce est de 6V et le Ice de 10A) présentera une puissance dissipée $Pd = 6 \times 10 = 60W$.
- un régulateur de tension qui fonctionne avec une Vin de 20V, une Vout de 10V et un Iout de 1A, présentera une puissance dissipée $Pd = (Vin - Vout) \times Iout = (20 - 10) \times 1 = 10W$.

Notion de Ta (la température ambiante).

La mise en exploitation d'un composant électronique (et donc de ses jonctions) se fait dans un environnement thermique (généralement l'air ambiant) caractérisé par la notion de « température ambiante » : la Ta (exprimée en degré Celcius).

Quelle est la Ta à considérer dans les calculs relatifs à un dissipateur thermique ?

La réponse n'est pas évidente et sera fonction du milieu thermique dans lequel le composant sera exploité. Prenons 3 exemples :

Exemple n°1.

Supposons :

- que le composant fait partie d'un circuit qui ne contient que quelques composants (plus ou moins éloignés les uns des autres) qui ne dégagent pas trop de chaleur
- que le circuit est placé dans un milieu dont la température est plus ou moins constante (par exemple une pièce habitable normalement chauffée)
- qu'il n'est prévu aucune augmentation importante de la température du milieu ambiant

Dans ce cas, la Ta à utiliser dans les calculs peut être la température du local dans lequel le composant est exploité; généralement on choisira une Ta de 25°C.

Exemple n° 2.

Supposons :

- que le composant fait partie d'un circuit qui contient de nombreux autres composants qui dégagent de la chaleur
- que le circuit est placé dans un coffret fermé dont les ouïes de ventilation sont insuffisantes
- que les rayons du soleil influencent la température ambiante
- qu'aucun ventilateur n'est prévu pour évacuer la chaleur (par convection forcée de l'air ambiant)

Dans ce cas, la Ta à utiliser dans les calculs peut être de l'ordre de 55°C.

Exemple n° 3.

Supposons :

- que le coffret (qui contient le circuit) est empilé sur d'autres coffrets et cela sans respecter une distance suffisante pour évacuer la chaleur
- que les rayons du soleil influencent la température ambiante
- qu'une panne du ventilateur (chargé du refroidissement du boîtier) est à envisager
- qu'une augmentation de la température du local est envisagée

Dans ce cas, la Ta à utiliser dans les calculs sera relativement élevée; elle sera par exemple de l'ordre de 75°C.

Personnellement (dans les calculs relatifs au refroidissement d'un composant), je choisis systématiquement une Ta de 75°C. Cela me permet d'envisager de faire fonctionner le composant dans des conditions thermiques « sévères » (telles que panne du ventilateur, importante augmentation de la température du local, ...).

Notion de Rth (Résistance thermique).

La notion de résistance thermique permet de quantifier l'augmentation de température provoquée par la puissance dissipée par le composant.

La résistance thermique (exprimée en degré Celcius par Watt) symbolise l'augmentation de température provoquée par une augmentation de 1 W de la puissance dissipée.

Par exemple, une Rth de 4°C/W signifie qu'une augmentation de 1W de la Pd provoquera une augmentation de 4°C de la température.

Dans les calculs thermiques, on doit distinguer différentes Rth :

- la Rth j-c (Rth « junction-case ») (Rth « jonction-boitier »)
- la Rth c-h (Rth « case-heatsink ») (Rth « boitier-dissipateur »)
- la Rth h-a (Rth « heatsink-ambient air ») (Rth « dissipateur-air ambiant »)
- la Rth c-a (Rth « case-ambient air ») (Rth « boitier-air ambiant »)
- la Rth j-a (Rth « junction-ambient air ») (Rth « jonction-air ambiant »)

Pour comprendre le rôle joué par chacune des Rth, il faut se rappeler que la « source chaude » est la jonction (située dans le composant); celle-ci s'échauffe et transfère la chaleur d'abord au boitier du composant. Deux cas sont alors à envisager :

- si le composant n'est pas placé sur un dissipateur thermique, la chaleur est alors directement transmise du boitier du composant vers l'air ambiant.
- si le composant est placé sur un dissipateur thermique, la chaleur est d'abord transmise du boitier du composant vers le dissipateur thermique et ensuite du dissipateur thermique vers l'air ambiant.

Dans les 2 cas (c'est-à-dire avec ou sans dissipateur thermique), la Rth à utiliser dans les calculs sera la Rth j-a c'est-à-dire celle (obtenue par l'addition des Rth concernées) qui se situe globalement entre la jonction du composant et l'air ambiant.

La Rth j-c (Rth « junction-case ») (Rth « jonction-boitier »).

La Rth j-c représente la Rth située entre la jonction et le boitier du composant.

Le transfert thermique (entre la jonction du composant et le boitier du composant) s'effectue par conduction dans le matériau semi-conducteur (silicium, germanium, ...).

Le constructeur du composant spécifie la Rth j-c du composant (via une « data sheet ») et ce selon le type de boitier (TO-220, TO-3P, ...) du composant.

Par exemple, un composant en boitier TO-3P peut présenter une Rth j-c de 0.6°C/W.

La Rth c-h (Rth « case-heatsink ») (Rth « boitier-dissipateur »).

La Rth c-h représente la Rth située entre le boitier du composant et le dissipateur thermique (« thermal heatsink »).

Le transfert thermique (entre le boitier du composant et le dissipateur thermique) se fait par conduction.

Le constructeur du composant spécifie la Rth c-h du composant (via une « data sheet ») et ce selon le type de boitier (TO-220, TO-3P, ...) du composant.

Par exemple, un composant en boitier TO-3P peut présenter une Rth c-h de 0.2°C/W.

Remarques concernant la « thermally conductive grease » et les entretoises (en mica ou en silicone).

Le constructeur du composant précise généralement si la Rth c-h citée est celle qui est relative à l'utilisation ou non de « graisse thermique » (« thermally conductive grease »). Celle-ci (qui

est thermiquement conductrice et pas électriquement conductrice) est posée en une fine couche pour améliorer le transfert thermique.

Le boîtier du composant peut être du type « isolé » ou « non isolé ».

Si le boîtier est du type « isolé », toutes les connexions du composant (émetteur, base, collecteur, ...) sont électriquement isolées du boîtier du composant.

Si le boîtier est du type « non isolé », une des connexions du composant (par exemple le collecteur d'un transistor de puissance) est électriquement reliée au boîtier du composant. Dans ce cas, on remarquera que, si le composant « non isolé » est directement fixé sur le dissipateur thermique, celui-ci sera au potentiel du composant. Le dissipateur ne pourra (dans certains cas) accueillir qu'un seul composant et devra être électriquement isolé du coffret, des autres dissipateurs, ...

Pour isoler électriquement un composant « non isolé », on place une entretoise (en mica ou en silicone) entre le dissipateur et le boîtier du composant.

On remarquera que les vis de fixation (qui fixent le composant sur le dissipateur) sont soit isolantes (par exemple en nylon) ou traversent de petites entretoises isolantes qui sont placées dans le trou de fixation du composant.

Dans tous les cas, il est conseillé (pour garantir un bon transfert thermique) de poser une fine couche de graisse thermique de chaque côté de l'entretoise c'est-à-dire entre :

- d'une part le boîtier du composant et une face de l'entretoise
- d'autre part le dissipateur et l'autre face de l'entretoise

La Rth h-a (Rth « heatsink-ambient air ») (Rth « dissipateur-air ambiant »).

La Rth h-a représente la Rth située entre le dissipateur et l'air ambiant et sera utilisée (dans les calculs) uniquement si on utilise un dissipateur thermique.

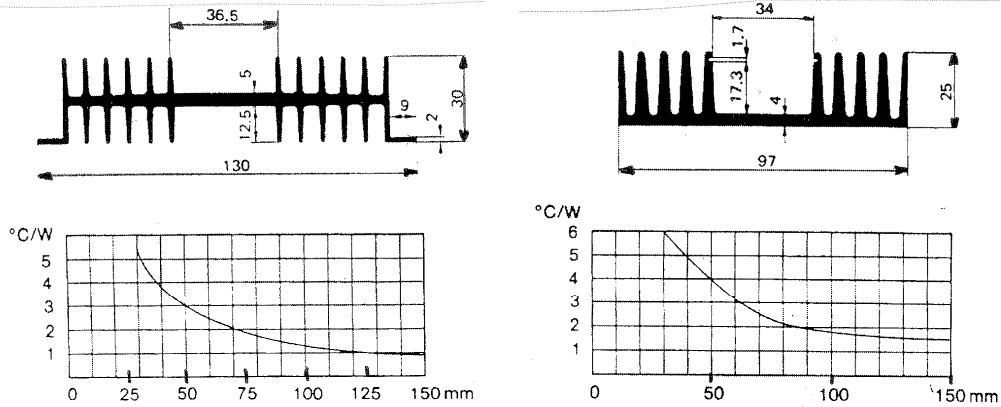
Le transfert thermique (entre le dissipateur et l'air ambiant) se fait par convection et par rayonnement.

La valeur de la Rth h-a est :

- spécifiée par le constructeur du dissipateur (via une « data sheet »)
- fonction des dimensions (le volume) du dissipateur ainsi que du matériau qui constitue le dissipateur (aluminium brut ou peint en noir, cuivre, or, ...).

Si le dissipateur est acheté chez un constructeur de dissipateurs, une « data sheet » permet de connaître la Rth h-a du dissipateur. Certains constructeurs fournissent le dissipateur en longueur de 1 mètre (la largeur et la hauteur du dissipateur étant fixes). Dans ce cas, l'utilisateur coupe (après avoir fait les calculs thermiques) la longueur utile.

Exemple : A partir des 2 dissipateurs repris ci-après, estimons la longueur à couper dans le dissipateur (vendu en 1 mètre de longueur) pour présenter une Rth h-a calculée.



Pour que le dissipateur de gauche (largeur de 130 mm et hauteur de 30 mm) présente une $R_{th\ h-a}$ de $1^{\circ}\text{C}/\text{W}$ il faut couper une longueur de 125 mm.

Pour que le dissipateur de droite (largeur de 97 mm et hauteur de 25 mm) présente une $R_{th\ h-a}$ de $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ il faut couper une longueur de 80 mm.

Si le dissipateur est un élément de récupération, il est difficile d'en connaître la $R_{th\ h-a}$ car le constructeur de ce dissipateur étant inconnu, il est impossible d'accéder à la « data sheet » du dissipateur. De plus, un dissipateur est un élément électronique qui n'est pas codé et qui peut difficilement être mesuré.

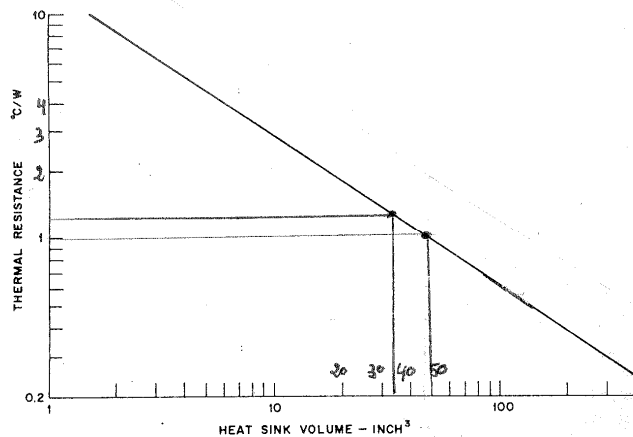
En effet, certains éléments électroniques (les résistances, les condensateurs, ...) possèdent un code et peuvent être mesurés (ohmmètre, capacimètre, ...).

Par contre, un dissipateur thermique n'a pas de code et sa $R_{th\ h-a}$ peut être difficilement mesurée.

Théoriquement, la $R_{th\ h-a}$ du dissipateur pourrait être mesurée en provoquant un « delta Pd » de 1W (au niveau du composant fixé sur le dissipateur) et en mesurant le « delta température » au niveau du dissipateur. En effet, si une variation de la Pd de 1W provoque une variation de la température de 4°C , on peut dire que la $R_{th\ h-a}$ du dissipateur est de $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

Malheureusement, la mise en pratique de cette mesure de la $R_{th\ h-a}$ est très délicate à mettre en œuvre.

En pratique, pour estimer la $R_{th\ h-a}$ d'un dissipateur de récupération, il est possible d'utiliser un abaque (tel que présenté dans le « ARRL handbook ») qui donne une estimation de la $R_{th\ h-a}$ en fonction du volume (spécifié en Inch^3) du dissipateur thermique.



Examinons par exemple, un dissipateur thermique de récupération (qui présente une face plane pour y fixer les composants et une face composée d'ailettes de refroidissement) dont les dimensions sont les suivantes : largeur de 13cm, hauteur de 3 cm et longueur de 21cm. Sachant que 1 inch = 2.54 cm, calculons (en Inch³) le volume de ce dissipateur : volume = (13/2.54) x (3/2.54) x (21/2.54) = 5.12 x 1.18 x 8.27 = 50 Inch³. Pour un volume de 50 Inch³, l'abaque nous donne (pour le dissipateur examiné) un Rth h-a de 1°C/W.

La Rth c-a (Rth « case-ambient air ») (Rth « boîtier-air ambient »).

La Rth c-a représente la Rth située entre le boîtier du composant et l'air ambient et sera utilisée dans les calculs si on n'utilise pas de dissipateur thermique (entre le composant et l'air ambient).

Le transfert thermique (entre le boîtier du composant et l'air ambient) se fait par convection et par rayonnement.

Cette Rth c-a est spécifiée (dans une « data sheet ») par le constructeur du composant.

Par exemple, un composant peut présenter une Rth c-a de 35 °C/W.

On remarquera que la valeur de cette Rth c-a est très élevée. On peut donc constater que, si on n'utilise pas de dissipateur thermique (entre le composant et l'air ambient), une augmentation de 1 W de Pd provoquera une augmentation (élevée) de température de 35°C.

La Rth j-a (Rth « junction-ambient air ») (Rth « jonction-air ambient »).

La Rth j-a représente la Rth située entre la jonction du composant et l'air ambient.

Cette Rth j-a est le résultat de l'addition des différentes Rth citées ci-avant et cela selon que l'on utilise ou pas un dissipateur thermique :

- si on n'utilise pas de dissipateur thermique (entre le composant et l'air ambient), le boîtier du composant est directement chargé du transfert thermique avec l'air ambient. Dans ce cas, la Rth j-a = Rth j-c + Rth c-a
- si on utilise un dissipateur thermique (entre le composant et l'air ambient), le boîtier du composant est fixé sur un dissipateur thermique qui est chargé du transfert thermique avec l'air ambient. Dans ce cas, la Rth j-a = Rth j-c + Rth c-h + Rth h-a

La formule.

La formule qui permet de gérer le transfert thermique entre le composant et le milieu ambient est :

$$\mathbf{T_j = T_a + (P_d \times R_{th\ j-a})}$$

- Tj est la température de la jonction (exprimée en degré Celcius)
- Ta est la température du milieu ambient (exprimée en degré Celcius)
- Pd est la puissance dissipée par le composant (exprimée en Watt)
- Rth j-a est la Rth calculée entre la jonction du composant et le milieu ambient (exprimé en °C/W) :
 - si on n'utilise pas de dissipateur thermique (entre le composant et l'air ambient) :
Rth j-a = Rth j-c + Rth c-a
 - si on utilise un dissipateur thermique (entre le composant et l'air ambient) :
Rth j-a = Rth j-c + Rth c-h + Rth h-a

Cette formule montre que la T_j est en fait la somme de deux températures :

- d'une part la T_a (voir antérieurement)
- d'autre part une température qui est le produit de P_d et de $R_{th\ j-a}$

On se rappellera que :

- si le composant travaille en « puissance », la P_d sera élevée
- si on utilise un dissipateur thermique, la $R_{th\ j-a}$ sera petite
- si on n'utilise pas de dissipateur thermique, la $R_{th\ j-a}$ sera grande
- la T_j doit être plus petite que la T_{jmax}

On remarquera que cette formule peut prendre différentes formes selon les besoins :

- $R_{th\ j-a} = (T_j - T_a) / P_d$
- $P_d = (T_j - T_a) / R_{th\ j-a}$
- ...

Les applications pratiques de la formule.

Comme nous le verrons dans l'étude d'un cas pratique, la formule permet :

- de choisir le dissipateur thermique à utiliser pour ne pas dépasser la T_{jmax} (température de jonction maximale) du composant
- de calculer la T_j (température de la jonction du composant) selon qu'on utilise ou pas un dissipateur thermique
- d'estimer si un dissipateur thermique est nécessaire ou pas
- d'estimer si le dissipateur à utiliser sera un « petit » ou un « gros » dissipateur
- de voir l'influence de la T_a (température ambiante) sur le refroidissement du composant
- ...

Examen d'un cas pratique.

Soit un régulateur de tension (en boîtier TO3-P) qui est exploité dans les conditions suivantes :

- $V_{in} = 20V$
- $V_{out} = 10V$
- $I_{out} = 1A$

Les R_{th} fournies par la « data sheet » du régulateur sont :

- $R_{th\ j-c} = 0.6^\circ C/W$
- $R_{th\ c-a}$ (pour un boîtier TO3-P) = $35^\circ C/W$
- $R_{th\ c-h}$ (avec utilisation de « thermally conductive grease ») = $0.4^\circ C/W$

La T_j max du composant = $150^\circ C$

On possède 2 dissipateurs thermiques dont les $R_{th\ h-a}$ sont de $1^\circ C/W$ et de $4^\circ C/W$.

On demande :

1. de voir si un dissipateur thermique est nécessaire
2. de choisir (si nécessaire) un des 2 dissipateurs thermiques
3. de vérifier l'influence de la T_a (la température du milieu ambiant)

Voir si un dissipateur thermique est nécessaire.

Calcul de la T_j du composant en considérant une T_a de 75°C :

- $T_j = T_a + (P_d \times R_{th\ j-a})$
- $P_d = (V_{in} - V_{out}) \times I_{out} = (20 - 10) \times 1 = 10\ \text{W}$
- $R_{th\ j-a}$ (sans dissipateur) = $R_{th\ j-c} + R_{th\ c-a} = 0.6 + 35 = 35.6\ ^\circ\text{C/W}$
- $T_j = 75 + (10 \times 35.6) = 431\ ^\circ\text{C}$

Conclusion : si on compare la T_j ($431\ ^\circ\text{C}$) avec la T_{jmax} ($150\ ^\circ\text{C}$), on constate qu'il est indispensable d'utiliser un dissipateur thermique (entre le régulateur et l'air ambiant).

Choisir un des 2 dissipateurs thermiques.

Dans le cas du « petit » dissipateur (dont la $R_{th\ h-a}$ est de 4°C/W) :

- $R_{th\ j-a}$ (avec un dissipateur) = $R_{th\ j-c} + R_{th\ c-h} + R_{th\ h-a} = 0.6 + 0.4 + 4 = 5\ ^\circ\text{C/W}$
- $T_j = T_a + (P_d \times R_{th\ j-a}) = 75 + (10 \times 5) = 125\ ^\circ\text{C}$
- conclusion : si on compare la T_j ($125\ ^\circ\text{C}$) avec la T_{jmax} ($150\ ^\circ\text{C}$), on voit que le dissipateur peut convenir; cependant on constate que la T_j ($125\ ^\circ\text{C}$) est assez proche de la T_{jmax} ($150\ ^\circ\text{C}$).

Dans le cas du « gros » dissipateur (dont la $R_{th\ h-a}$ est de 1°C/W) :

- $R_{th\ j-a}$ (avec un dissipateur) = $R_{th\ j-c} + R_{th\ c-h} + R_{th\ h-a} = 0.6 + 0.4 + 1 = 2\ ^\circ\text{C/W}$
- $T_j = T_a + (P_d \times R_{th\ j-a}) = 75 + (10 \times 2) = 95\ ^\circ\text{C}$
- conclusion : si on compare la T_j ($95\ ^\circ\text{C}$) avec la T_{jmax} ($150\ ^\circ\text{C}$), on voit que le dissipateur peut convenir et que la T_j ($95\ ^\circ\text{C}$) est assez éloignée de la T_{jmax} ($150\ ^\circ\text{C}$).

Influence de la T_a .

Quelle est la T_a qui poserait problème dans le cas de l'utilisation du « petit » dissipateur (dont la $R_{th\ h-a}$ est de $4\ ^\circ\text{C/W}$) ou du « gros » dissipateur (dont la $R_{th\ h-a}$ est de 1°C/W)?

A partir de la formule $T_j = T_a + (P_d \times R_{th\ j-a})$, posons $T_j = T_{jmax} = 150\ ^\circ\text{C}$ et calculons la $T_a \rightarrow T_{jmax} = 150 = T_a + (P_d \times R_{th\ j-a})$

Dans le cas du « petit » dissipateur :

- $150 = T_a + (10 \times 5) \rightarrow 150 = T_a + 50 \rightarrow T_a = 150 - 50 = 100\ ^\circ\text{C}$.
- conclusion : si on utilise le « petit » dissipateur, la T_j max sera atteinte si la T_a monte à $100\ ^\circ\text{C}$.

Dans le cas du « gros » dissipateur :

- $150 = T_a + (10 \times 2) \rightarrow 150 = T_a + 20 \rightarrow T_a = 150 - 20 = 130\ ^\circ\text{C}$.
- conclusion : si on utilise le « gros » dissipateur, la T_j max sera atteinte si la T_a monte à $130\ ^\circ\text{C}$.

Avant de terminer cet article, il est important de remarquer qu'il est possible d'améliorer grandement le transfert thermique et ce en utilisant une convection forcée de l'air notamment en utilisant un ventilateur (ou plusieurs ventilateurs). Ceci ne sera pas abordé dans le présent article.

Ici se termine l'article. Pour tous commentaires et/ou remarques vous pouvez me contacter via l'adresse « on4laj@uba.be » ou « roger.capouillez@skynet.be ».

73's QRO de ON4LAJ (section UBA-MNS).