

Le Refroidissement des Semi-Conducteurs

- **Puissance dissipée dans les composants de puissance**

Les pertes par effet Joule sont données par le produit de la chute de tension V aux bornes du composant et le courant I qui le parcourt sur une période T du cycle de fonctionnement.

$$P(t) = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

Pour faciliter les calculs, on découpe ces pertes par les pertes par conduction (fonctionnement statique du composant) et les pertes par commutation (lors des changements d'état).

a) Pertes par conduction

Pour le transistor :

$$P_{conT} = V_{CEsat} \cdot I_{Cmoy}$$

Les pertes par effet Joule par conduction dans le transistor, sont données par le produit de la tension Collecteur-Emetteur saturée (V_{CEsat}) et du courant moyen I_{Cmoy} . On prend la valeur la plus défavorable pour V_{CEsat} reprise dans la fiche du composant et on considère le courant moyen fourni réellement par le transistor.

Pour la diode :

En conduction, la tension aux bornes de la diode vaut :

$$V_F = V_{t0} + R_d \cdot I_{F(AV)}$$

La tension V_F est celle qu'on mesure directement aux bornes de la diode

Il en résulte que les pertes par conduction P_{conD} sont définies par :

$$P_{\text{conD}} = V_{T0} \cdot I_{F(AV)} + R_d \cdot I_{F(RMS)}^2$$

Avec:

$I_{F(AV)}$: Courant direct moyen dans la diode

$I_{F(RMS)}^2$: Courant direct efficace dans la diode.

Le R_d est indiqué dans les caractéristiques ou se déduit de la formule de la tension V_F .

b) Pertes par commutation

Pour le transistor :

$$P_{\text{comT}} = \frac{1}{2} \cdot V_{CE} \cdot I_{C\text{max}} \cdot (T_r + T_f) \cdot F$$

Avec :

$I_{C\text{max}}$: Courant collecteur maximum

$T_r + T_f$: Temps de montée et de descente du courant collecteur

Pour la diode :

La formule générale des pertes est : $P_{\text{off}} = W_{\text{off}} \cdot F$

Avec :

W_{off} : (en J) l'énergie dissipée à chaque commutation

F (en Hz) la fréquence de commutation

Les pertes par commutation à l'ouverture sont données par la formule suivante :

$$P_{\text{comD}} = Q_{rr} \cdot V_F \cdot F$$

Avec Q_{rr} fournit par les caractéristiques

c) Puissance dissipée totale

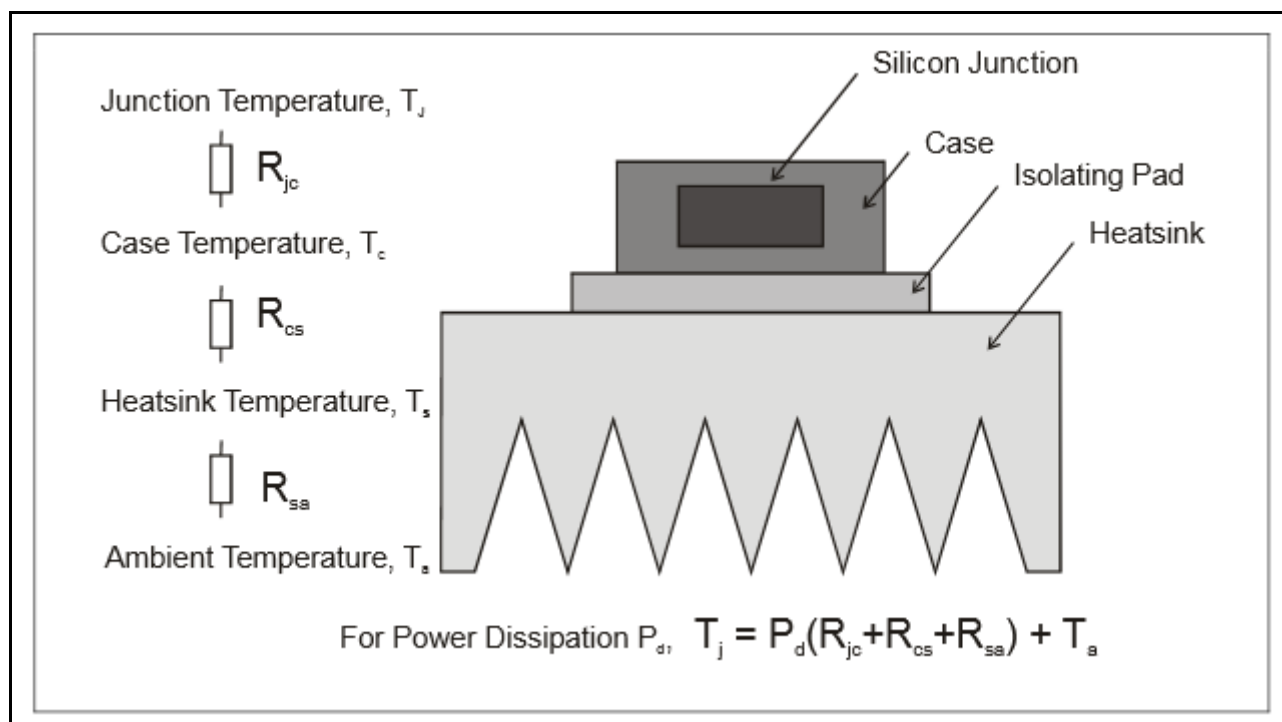
Les pertes totales s'évaluent donc comme suit :

$$P_T = P_{conT} + P_{comT}$$

$$P_d = P_{conD} + P_{comD}$$

- Loi d'Ohm thermique

Voici le schéma d'un composant de puissance monté sur refroidisseur muni d'ailettes à ventilation naturelle.



Il faut donc que la température de Jonction du semi-conducteur en fonctionnement ne dépasse pas la Température de Jonction Maximum spécifiée par le constructeur (typiquement 150 °C).

Les fabricants de refroidisseurs nous donnent une fiche technique avec des courbes pour évaluer la résistance thermique du dissipateur exprimée en °C/W.

Cf : Exemple pratique développé en séance de cours

La Protection des Semi-Conducteurs

• Choix d'un fusible UR

Les semi-conducteurs sont protégés par des fusibles dits ultra rapides (UR), montés en série et qui assurent la protection contre les courants de court-circuit. Par leur conception, le temps total de fusion est très inférieur à celui des fusibles d'usage général (Gg et aM)

On dimensionne le fusible UR de la manière suivante :

$$I^2t \text{ Fusible UR} < I^2t \text{ du semi-conducteur à protéger}$$

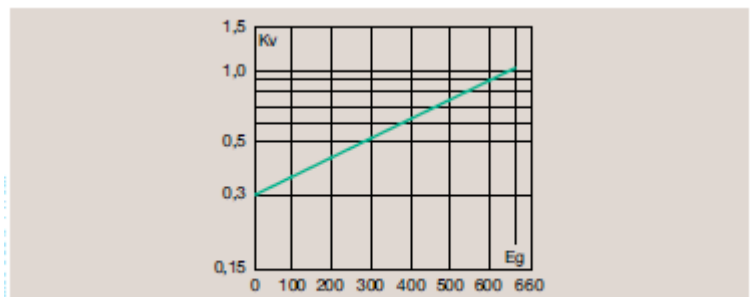
• Contrainte thermique

C'est le premier paramètre à prendre en compte avant le calibre. En effet les fusibles UR sont destinés à la protection des semi-conducteurs. La limite de destruction de ces derniers est donnée par la contrainte thermique maximale admissible. Pour que la protection soit efficace, il faut que la contrainte thermique du fusible

• La tension

La contrainte thermique est généralement donnée pour 660 V. L'utilisation à une tension différente donne lieu à une correction suivant cette formule

$$(I^2t)_V = K_v \times (I^2t)_{660 V}$$



Facteur de correction K_v .

Avec :

K_v : Facteur de correction suivant l'abaque ci-jointe.

$(I^2t)_V$: Nouvel I^2t calculé à la tension efficace d'utilisation

Exemple : Pour $U = 400 V$, l'abaque nous donne : 0,6

L' I^2t du fusible à cette tension devient :

$$(I^2t)_{400 V} = 0,6 \times (I^2t)_{660 V}$$

- **Facteur de puissance**

La contrainte thermique indiquée dans le chapitre "Appareillage de coupure B.T." est donnée pour un facteur de puissance de 0,15 (cos φ du circuit en défaut). Pour d'autres valeurs du facteur de puissance, il y a lieu de multiplier la valeur de la contrainte thermique par le coefficient Ky.

Facteur de puissance	0,1	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Ky	1,04	1,00	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,81

- **Correction en fonction de la température ambiante**

Le calibre d'un fusible UR est donné pour une température ambiante de 20 °C.

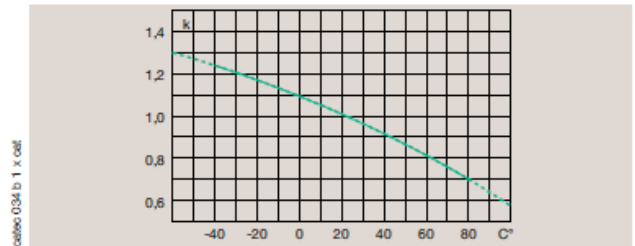
Le courant maximum d'utilisation I_b est donné par :

$$I_b = K_{TUR} \times (1 + 0,05 v) \times I_n$$

I_n : intensité nominale du fusible en A

v : vitesse de l'air de refroidissement en m/s

K_{TUR} : coefficient donné par la figure ci-dessous en fonction de la température de l'air à proximité du fusible.



Facteur de correction K_{TUR}

- **Protection contre les surtensions**

La protection surtension d'un semi-conducteur s'effectue par des varistances (VDR). Le dimensionnement de celles-ci est spécifique aux contraintes d'utilisation et aux normes à observer. De manière générale la Varistance doit toujours être protégée par un fusible adéquat (voir figure ci-après)

