Cours 2 Lois générales

Introduction

Comme nous avons eu l'occasion de voir dans le cours précédent, la thermique est gérée par des équations différentielles qui ne sont valables que dans certaines conditions seulement. Nous allons essayer de dégager dans ce cours un certain nombre de lois à partir d'une équation complètement générale. Les équations les plus générales sont des équations de conservation, ici de la puissance :

$$\boxed{\Phi_e + P - \Phi_s = \Phi_{st}}$$

Cette loi nous dit que la puissance entrante Φ_e plus la puissance générée P moins la puissance sortante Φ_s est égale à la puissance stockée Φ_{st}. P sera pour nous une puissance électrique, la puissance stockée n'a pas encore été rencontrée.

Le principe général est la conservation de l'énergie ou des puissances. Cette formule montre qu'il existe au moins deux raisons pour lesquelles la puissance thermique ne se conserve pas :

- variation d'énergie interne (liée ici à la puissance stockée)
- apport ou retrait de chaleur

I) Répartition des températures

1°) Rappel : distribution des températures (si Φ se conserve)

L'équation qui régit la distribution de température dans le cas où P=0 et Φ_{st}=0 a été obtenue au cours précédent. Cela peut naturellement s'écrire :

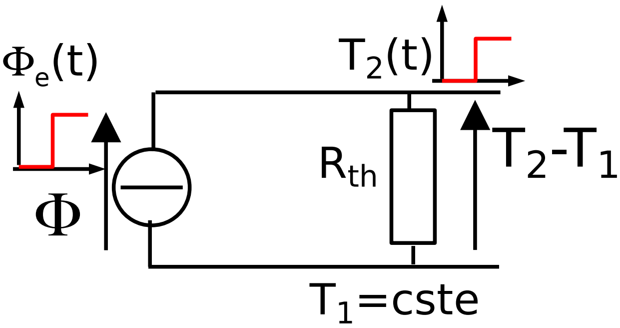
$$\Phi_e - \Phi_s = 0$$

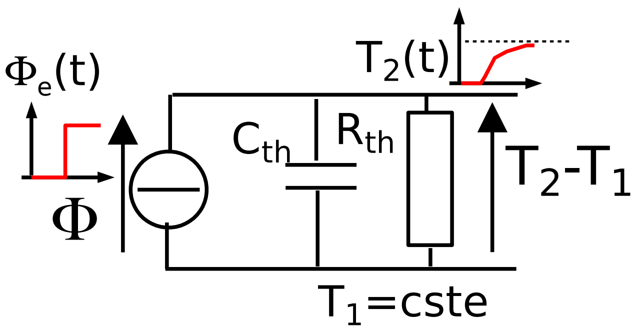
soit

$$\left.\begin{array}{l} \Phi_s - \Phi_e = \dfrac{d\Phi}{dx}\cdot\Delta x = 0 \\ \Phi = \dfrac{dQ}{dt} = -k\cdot S\cdot\dfrac{dT}{dx} \end{array}\right\} \text{ donnent } \quad \boxed{\Phi_s - \Phi_e = \frac{d\Phi}{dx}\cdot\Delta x = \frac{-d}{dx}k\cdot S\cdot\frac{dT}{dx}\cdot\Delta x = 0}$$

2°) Non conservation de la puissance thermique Φ (variation d'énergie interne)

Une variation de température n'est jamais brutale, ainsi le modèle ci-contre avec résistance thermique seule est incomplet.





Il faut ajouter un condensateur pour tenir compte d'une constante de temps

Le phénomène physique représentant cette constante de temps a déjà été étudié dans le cours n°1 : dQ=m.c.dT

Cette relation introduit en effet : Φ_{st}=dQ/dt=m.c.(dT/dt)

Si nous définissons la capacité thermique C_{th} : C_{th} = m.c alors cette relation devient :

$\Phi_{st}=C_{th}\cdot\frac{dT}{dt}$ à comparer à $i(t)=C\cdot\frac{du(t)}{dt}$

qui montre bien pourquoi on parle de <u>capacité</u> thermique.

$\Phi_e=\Phi_{st}+\Phi_s$ et donc $0=\Phi_{st}+\Phi_s-\Phi_e$

On a vu aussi que :

$\Phi_s-\Phi_e=\frac{-d}{dx}k\cdot S\cdot\frac{dT}{dx}\cdot\Delta x$ et $\Phi_{st}=C_{th}\cdot\frac{dT}{dt}=\rho\cdot S\cdot\Delta x\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t}$

$$(\rho\cdot S\cdot\Delta x\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t})-\frac{\partial}{\partial x}(k\cdot S\cdot\frac{\partial T}{\partial x})\cdot\Delta x=0$$

$(\rho\cdot S\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t})-\frac{\partial}{\partial x}(k\cdot S\cdot\frac{\partial T}{\partial x})=0$ Si S et k ne dépendent pas de x.

$$(\rho\cdot S\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t})-k\cdot S\cdot(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2})=0$$

Si S et k ne dépendent pas de x.

$$\boxed{(\rho\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t})-k\cdot(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2})=0}$$

<u>Exemple</u> : se débarrasser des dérivées partielles (exo3 TD6)

Un composant électronique est modélisé par une résistance thermique R_{th} et une capacité thermique C_{th}. Il est soumis soudainement à un échelon de puissance. Exprimer l'équation différentielle liant Φ, R_{th}, C_{th} et T_2(t)-T_1. Quelle est la valeur asymptotique de T_2(t) ?

<u>Refroidissement</u> : Le composant précédent a atteint la température T_2, nous le laissons se refroidir. Donner l'équation différentielle et sa solution.

Une puissance périodique Φ de période T et de rapport cyclique α=0,5 est dissipée dans le composant. On prend T<<T_{th}=R_{th}.C_{th}.

Dessiner l'allure de T(t) et établir la valeur moyenne de la température moyenne de la jonction.

<u>3°) Non conservation de la puissance thermique Φ (apport de puissance P)</u>

On part encore de Φ_e+P – Φ_s= Φ_{st} mais P est non nul (cas le plus général)

$\frac{1}{S\cdot\Delta x}\cdot P=(\rho\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t})-k\cdot(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2})=\phi$ Si ϕ est la densité volumique de puissance W/m^3

$$\boxed{\phi+k\cdot(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2})=(\rho\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t})}$$

<u>Exemple</u> : (à traiter en cours) p59 $T(x)=a+bx+cx^2$

La température le long d'un mur de longueur 1m est T(x) avec a=900°C, b=-300°C/m et c=-50°C/m^2. Si ϕ =1000W/m3, S=10m2, r=1600 SI, k=40W/m c=4kJ/kg.K quels sont Φ_e, Φ_s et Φ_{st} ainsi que dT/dt pour x=0m et 0,25m puis 0,5m.

II) Les puissances électriques

Dans le cas de signaux périodiques, la formule générale que l'on prendra est :

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

1°) Cas du sinusoïdal

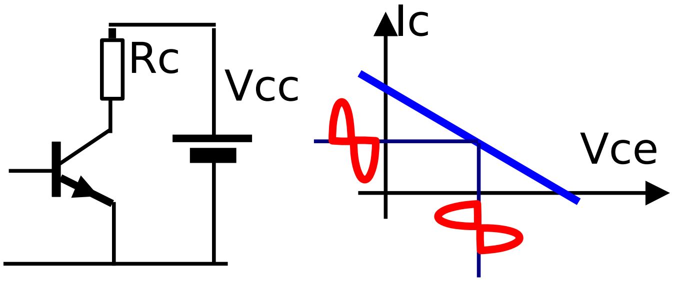
Soit une tension : $u(t)=U_M \sin(\omega t+\varphi_{U/I})$

Soit un courant : $i(t)=I_M \sin(\omega t)$

Alors la puissance s'écrit (sans démonstration) :

$$P=\int u(t)\cdot i(t)\,dt=\frac{U_M}{\sqrt{2}}\cdot\frac{I_M}{\sqrt{2}}\cdot\cos(\varphi_{U/I})=U_{eff}\cdot I_{eff}\cdot\cos(\varphi_{U/I})$$

Exemple : transistor en classe A



On montrera en cours qu'au point de repos $P_{Transistor}$ = 24W et qu'avec une sinusoide d'amplitude maximum on a $P_{Transistor}$ =12W

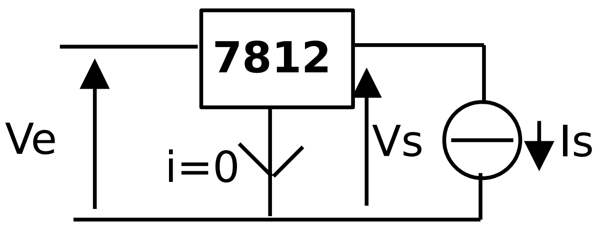
Rc = 24 Ω   Vcc = 48 V

2°) Cas où I est constant

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T u(t).i(t).dt=\frac{1}{T}\int_0^T u(t).I.dt=I\frac{1}{T}\int_0^T u(t).dt=I.U_{moy}$$

$$\boxed{P=\frac{1}{T}\int_0^T u(t).i(t).dt=I.U_{moy}}$$

Exemple



VS = 12 V
IS = 0,8 A
Ve = redressement double alternance filtré variant entre 16V et 20V

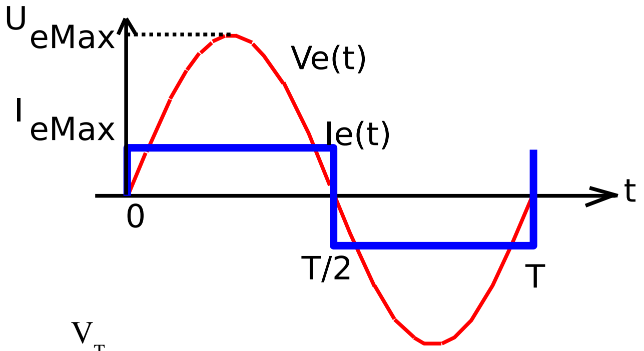
3°) Cas où U est constant

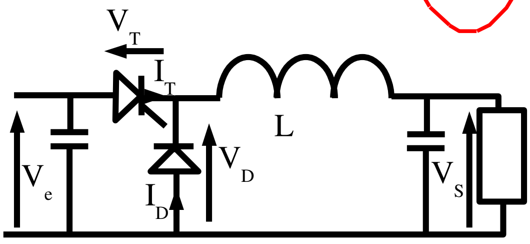
$$P=\frac{1}{T}\int_0^T u(t).i(t).dt=\frac{1}{T}\int_0^T U.i(t).dt=U\frac{1}{T}\int_0^T i(t).dt=U.I_{moy}$$

$$\boxed{P=\frac{1}{T}\int_0^T u(t).i(t).dt=U.I_{moy}}$$

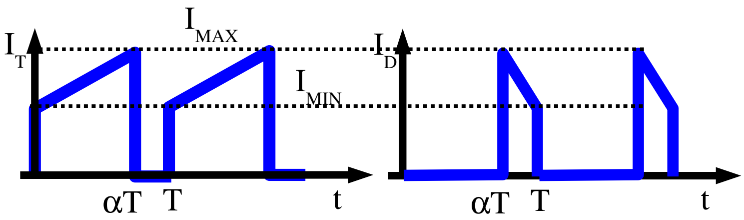
Exemple

4°) Exemples





Hacheur série (Figure 2)



(DS 2005)

1°) Sachant que lorsque le thyristor conduit, il est parcouru par le courant I_T et la tension à ses bornes est constante et vaut V_{Tcond}, calculer la puissance électrique dans le thyristor en fonction de a, I_{MAX}, I_{MIN} et V_{Tcond} .

2°) Sachant que lorsque la diode conduit, elle est parcourue par le courant I_D et la tension à ses bornes est constante et vaut V_{Dcond}, calculer la puissance électrique dans la diode en fonction de a, I_{MAX}, I_{MIN} et V_{Dcond} .

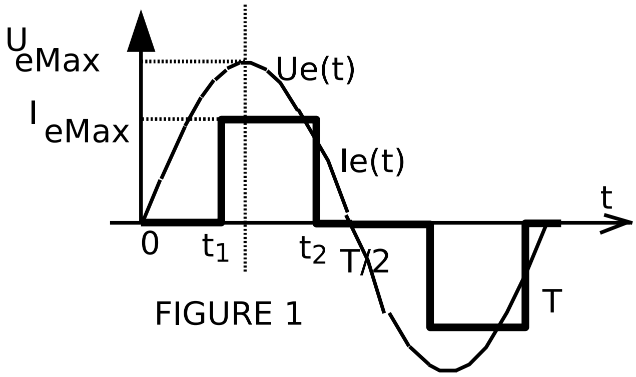


FIGURE 1

(DS 2007)

On vous propose un calcul de la puissance moyenne sur une demi-période :

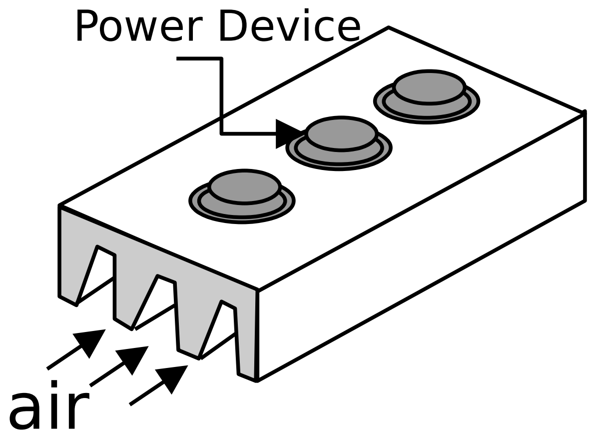
$$P=\frac{2}{T}\int_{t_1}^{t_2} U_{eMax}\cdot I_{eMax}\cdot\sin\omega\, t\cdot dt$$

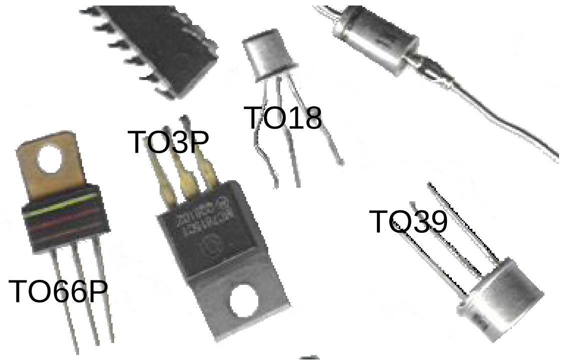
En vous aidant du fait que $\int \sin\omega\, t\cdot dt=\frac{-\cos\omega\, t}{\omega}$

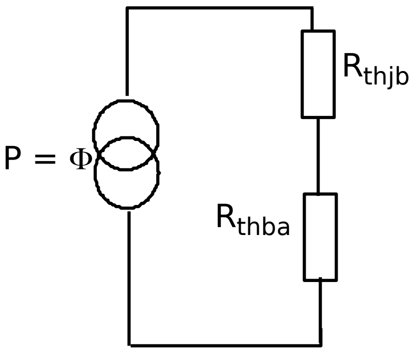
calculer de manière littérale la puissance électrique P

III) Calcul des radiateurs thermiques

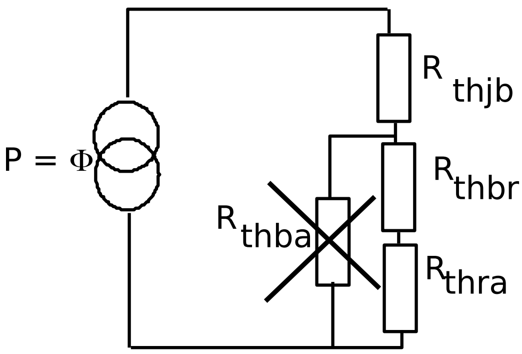
1°) Régime permanent

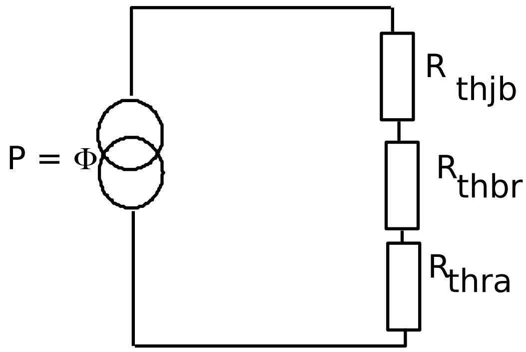




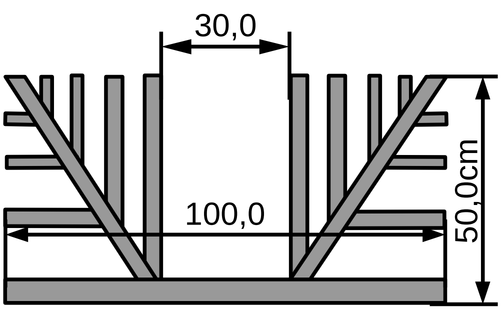


Composant seul

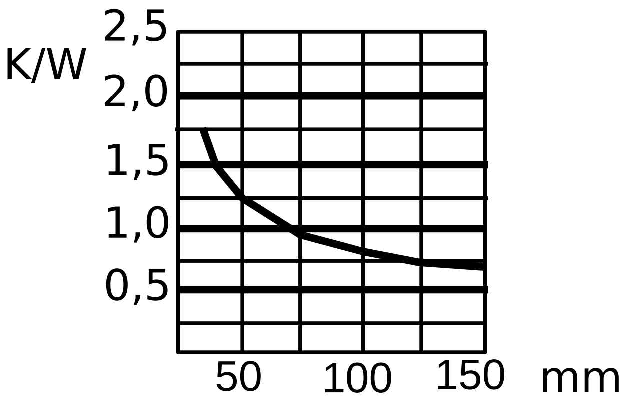




Composant avec radiateur



SK 88

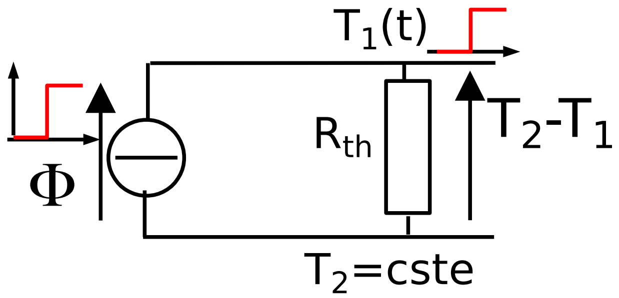


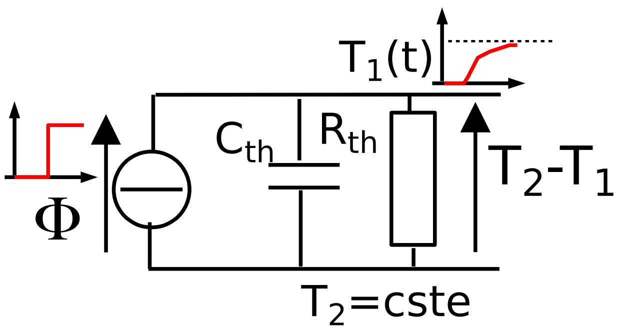
Exemple : (à traiter en cours)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_d%27Ohm_thermique donne deux exemples
https://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_radiateur_calcul.html Calcul de radiateurs, en français, avec trois exemples
http://www.giacomazzi.fr/electron/radiateur/radiateur.htm Les radiateurs, article en français avec un exemple

2°) Les régimes transioires

Une variation de température n'est jamais brutale, ainsi le modèle ci-contre avec résistance thermique seule est incomplet.





Il faut ajouter un condensateur pour tenir compte d'une constante de temps

Le phénomène physique représentant cette constante de temps a déjà été étudié dans le cours n°1 : dQ=m.c.dT
Cette relation introduit en effet : Φ=dQ/dt=m.c.(dT/dt)
Si nous définissons la capacité thermique C_{th} : C_{th} = m.c alors cette relation devient :

$\Phi = C_{th} \cdot \frac{dT}{dt}$ à comparer à $i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt}$

qui montre bien pourquoi on parle de capacité thermique.

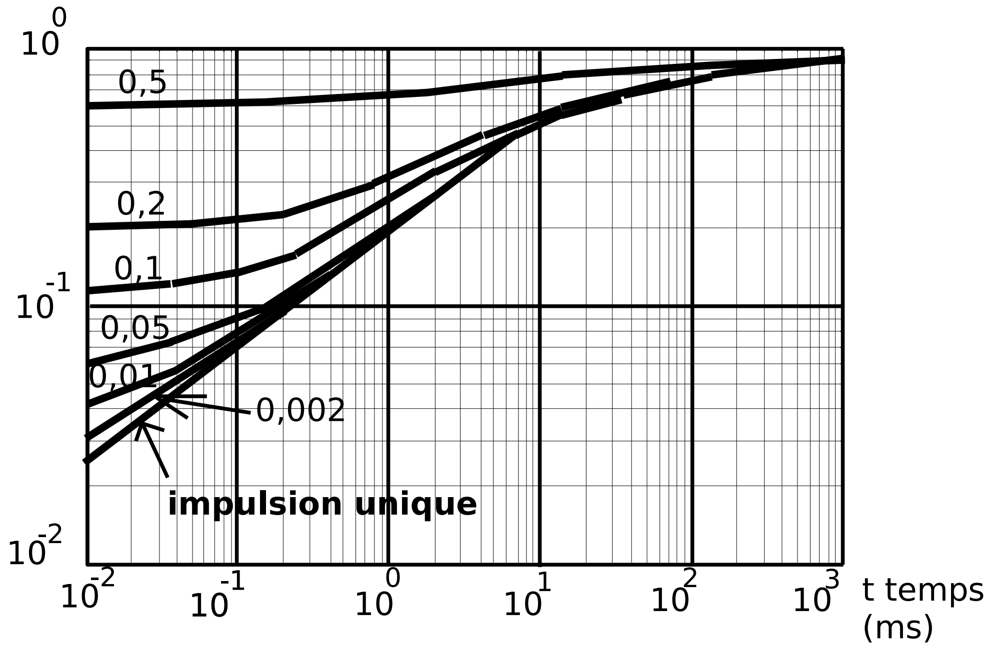
Exemple :
Un composant électronique est modélisé par une résistance thermique R_{th} et une capacité thermique C_{th}. Il est soumis soudainement à un échelon de puissance Φ.
Exprimer l'équation différentielle liant Φ, R_{th}, C_{th} et T_1(t)-T_2. Quelle est la valeur asymptotique de T_1(t) ?
Refroidissement: Le composant précédent a atteint la température T_2, nous le laissons se refroidir. Donner l'équation différentielle et sa solution.

Une puissance périodique Φ de période T et de rapport cyclique α=0,5 est dissipée dans le composant. On prend $T \ll T_{th} = R_{th}.C_{th}$.
Dessiner l'allure de T(t) et établir la valeur de la température moyenne de la jonction.

2°) Régime transitoire (suite)

On définit une impédance thermique : (t: durée, D rapport cyclique)

$Z_{th}(t) = r(t,D).R_{th}$



L'impédance thermique permet de calculer la température crête :

$T2_{crête} = r(t,D).R_{th}.P + T1$

tandis que la température moyenne est donnée par :

$T2_{moy} = R_{th}.P.D + T1$

Si l'on applique tout cela à un composant électronique on obtient :

$$\boxed{Tj_{\ crête} = P.(r(t,D).Rth_{jb} + D.Rth_{ba}) + Ta}$$

Exemple : (à traiter en cours)

Transistor de puissance darlington NPN

RTC

BDX63 – BDX 63A
BDX 63B – BDX63C

Caractéristiques principales

Puissance maximale T_{mb}<25°C 90W

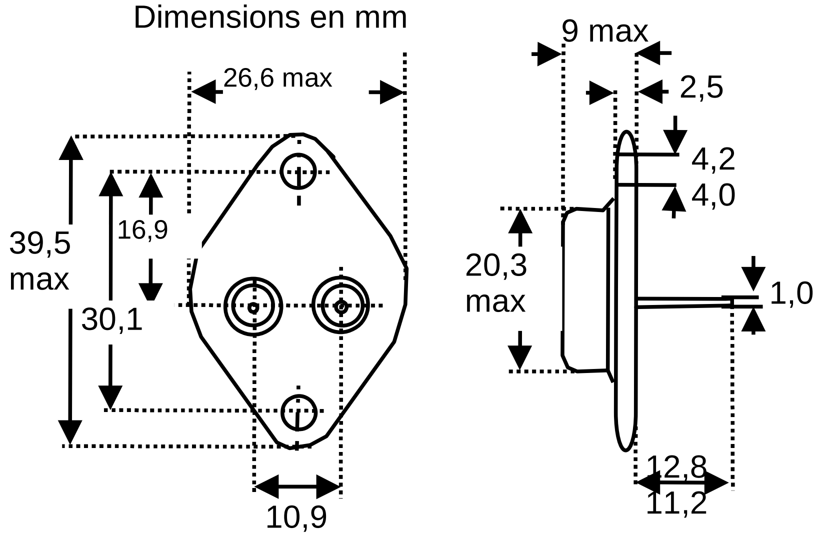
Température de jonction T_j 200°C

Courant collecteur en continu I_C 8A

Courant collecteur en pointe max 12 A

Données mécaniques boîtier TO-3

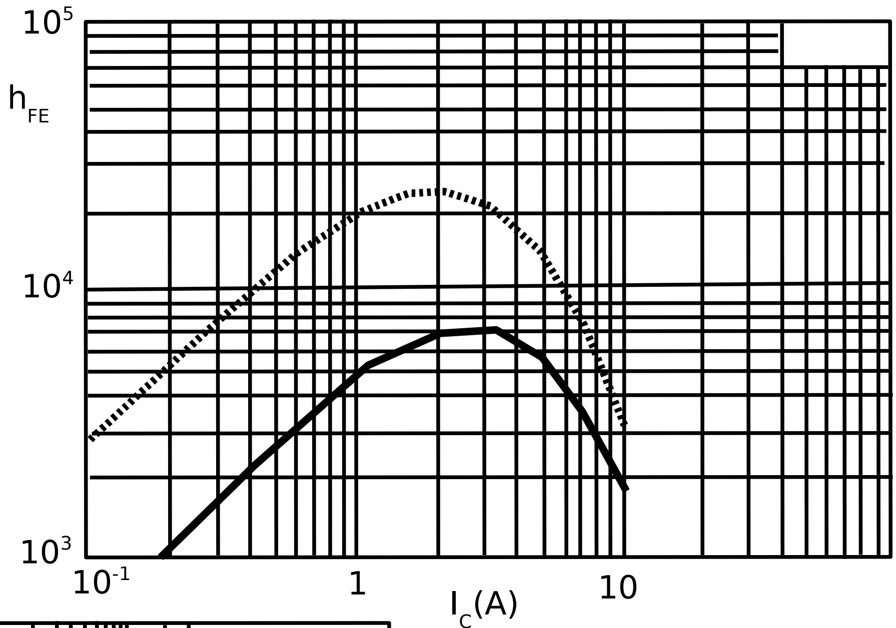
Dimensions en mm

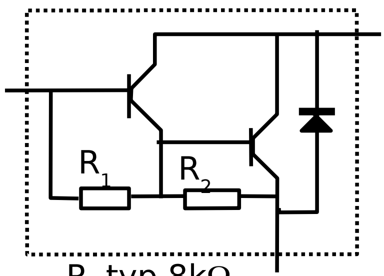


Résistance thermique

Jonction-fond de boîtier

$R_{th\ j\text{-}mb}$ =1,94 K/W





R_1 typ 8kΩ

R_2 typ 100Ω