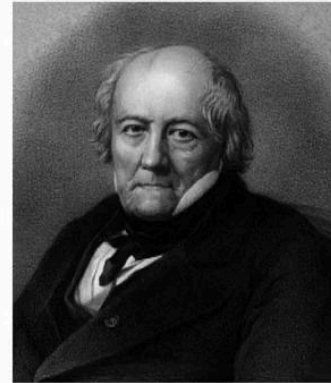


## Thermodynamique

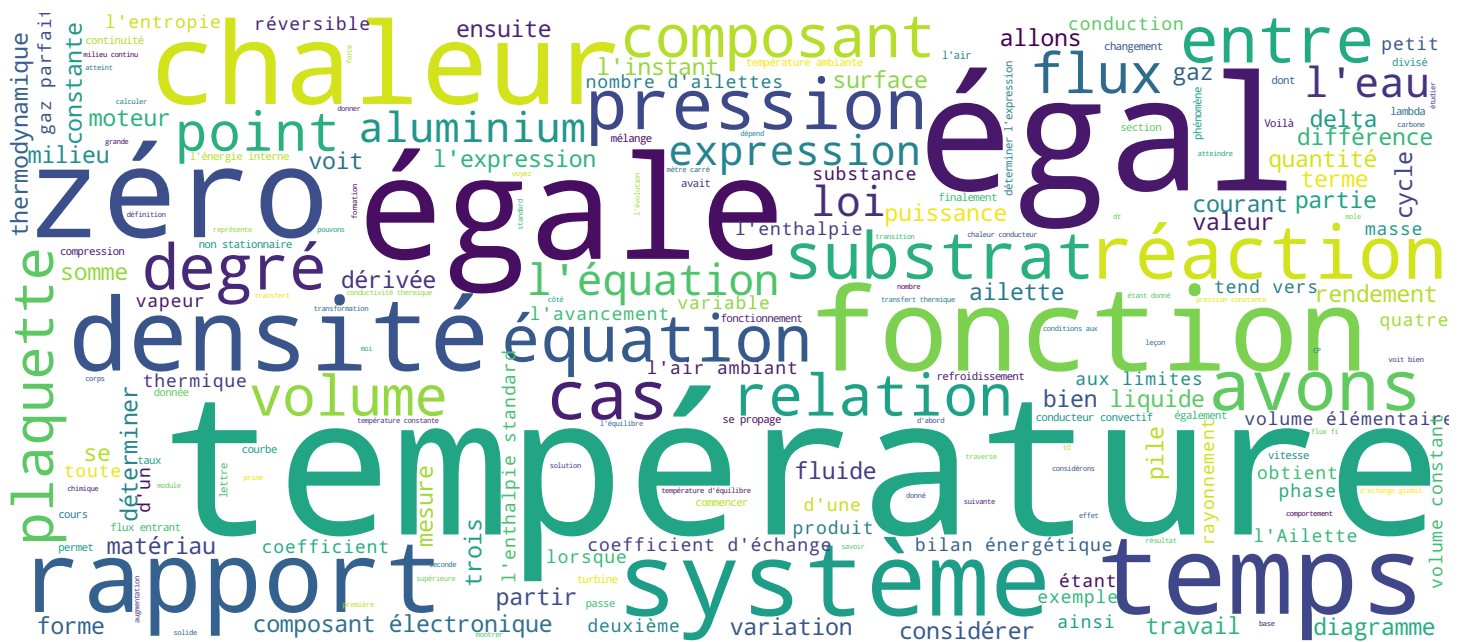
# Transfert conductif en régime non stationnaire : Application



Jean-Baptiste Biot, 1774-1862



Dr. Chantal Maatouk

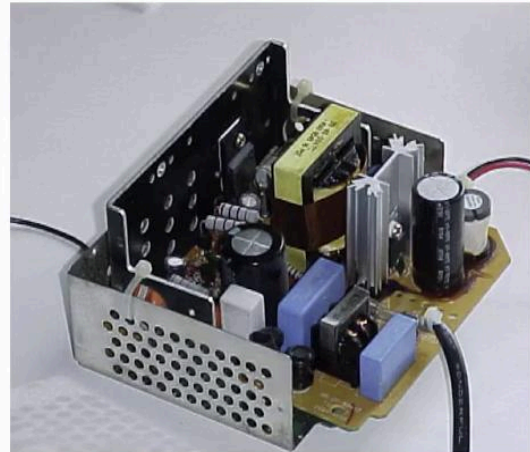


Search MOOC



Video





Thermodynamique

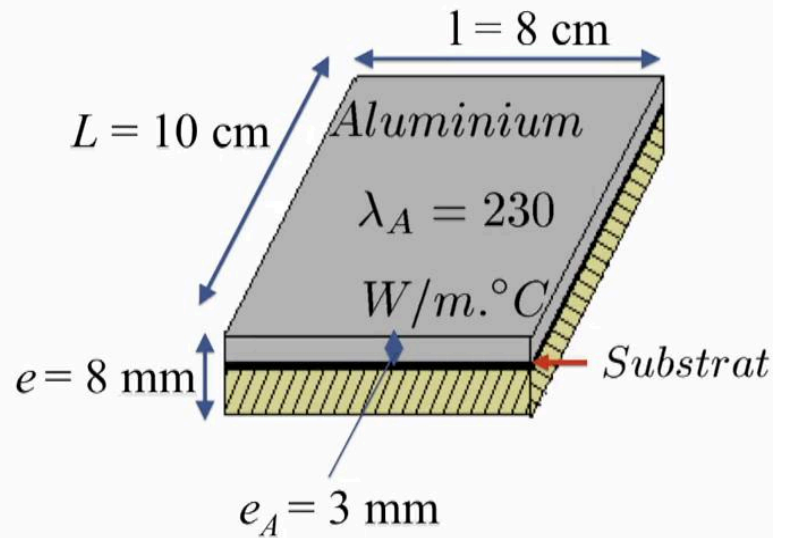
Comme vous le savez, certains composants électriques fonctionnent lorsqu'ils sont actifs, dégage une puissance qui, par effet Joule, entraîne la surchauffe de ce composant. L'objectif de cet exercice est d'étudier l'équilibre thermique d'un composant électrique et de voir les solutions qu'on peut utiliser pour remédier à cette surchauffe. Pour cela, on va mettre en application l'équation de la chaleur, la loi de Fourier, la loi d'Ohm et ainsi qu'on va intégrer le refroidissement par l'intermédiaire d'ailettes de refroidissement.

Notes

Summary



0m 03s



Thermodynamique

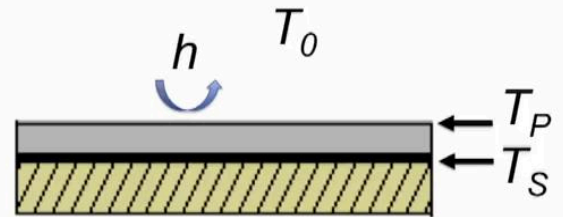
On propose d'étudier un composant électronique de forme parallèle, les pics des disques de dix centimètres de long, de huit cm de large et qui a une épaisseur de huit mm. En général, les composants électroniques sont composés d'une couche isolant. Dans ce cas, elle est de cinq mm. Sur la couche isolante, on vient de poser un substrat d'épaisseur négligeable dans laquelle on va noyer un conducteur. Sur le substrat, on va poser une plaquette en aluminium. Dans ce cas, elle est de trois mm avec une conductivité thermique de  $\lambda_A = 230 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  qui va servir à évacuer la chaleur dégagée par le conducteur vers l'ambiance.

Notes

Summary



0m 42s



Données :

$$\phi_S = 20 \text{ W}$$

$$T_{S, \text{limite}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h = 15 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

Thermodynamique

Lorsque le composant est actif, le conducteur noyé dans le substrat dégage une puissance contrainte de se distribuer uniformément sur la surface du composant et on note  $T_S$  la température de ce substrat. Cette température de S est limitée à 80 degrés pour éviter la détérioration de ce composant électronique, la puissance ainsi dégagée se propage dans l'aluminium par conduction. Elle est ensuite évacuée vers l'ambiance par un transfert de chaleur conducteur convectif régi par le coefficient d'échange convectif H. Dans ce cas H, il est à quinze et il est égal à quinze watts par degré par mètre carré. On note  $T_P$  la température de la surface supérieure de la plaquette en aluminium.

Notes

Summary



1m 25s



1. Exprimer  $\phi_s$  en fonction de  $(T_s - T_0)$

Hypothèses :

- Le flux de chaleur dissipé par le conducteur est unidirectionnel, perpendiculaire à la surface du substrat
- Surface de contact entre le substrat et l'isolant est adiabatique
- Résistance de contact entre le substrat et la plaquette en aluminium est négligeable
- Flux nul sur les surfaces latérales

Thermodynamique

Dans un premier temps, on va étudier le comportement de ce composant électronique en régime stationnaire. Pour cela, on va commencer par déterminer l'expression du flux  $\phi_s$  en fonction de la différence de température  $T$  de  $S$ . Du substrat était zéro de l'air ambiant. Pour pouvoir résoudre ce problème, on va d'abord supposer quelques hypothèses qui s'appliquent à notre cas d'étude. D'abord, on va considérer que le flux de chaleur dissipée par le substrat est unidirectionnel et se propage suivant une direction perpendiculaire à ce substrat. Ensuite, on va considérer que la surface qui sépare le substrat et l'isolant est une surface adiabatique, donc on n'a pas de flux de chaleur échangée à cette interface. Ensuite, on va considérer que la résistance de contact entre le matériau en aluminium et le substrat lui même est négligeable. Et finalement, on va négliger les flux de chaleur échangés par les surfaces latérales de ce composant, vu ses caractéristiques géométriques.

Notes

Summary



2m 20s

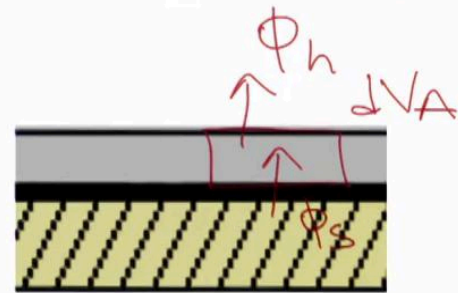
# Comportement du composant en régime permanent

En régime permanent, la somme de tous les flux entrant dans le volume doit être nulle

Premier principe s'écrit :

$$\begin{cases} \phi_S - \phi_h = 0 \\ \phi_S = \lambda_A \cdot \frac{S}{e_A} \cdot (T_S - T_p) \\ \phi_h = h \cdot S \cdot (T_p - T_0) \end{cases}$$

$$\phi_S = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{e_A}{\lambda_A}} \cdot S \cdot (T_S - T_0)$$



$$T_S = \phi_S \cdot \frac{K}{S} + T_0$$

A.N. :  $T_S = 187^\circ\text{C}$

! Risque de détérioration du composant

Thermodynamique

Sur la figure suivante, on voit une partie du composant électronique. On va considérer un volume élémentaire dans la plaquette en aluminium qu'on va noter d'hévéa, d'hévéa. On reçoit du substrat un flux  $\phi_s$  et évacue par la surface supérieure de la plaquette en aluminium un flux noté  $\phi_h$  échangée avec l'air par conducteur convection. Si on applique le premier principe à ce volume élémentaire en régime permanent, la somme de tous les flux entrant dans ce volume doit être égale à zéro. Ainsi, si  $\phi_h$  est égal à zéro, si  $\phi_s$  est le flux de chaleur qui se propage par conduction à la plaque est en aluminium, donc  $\phi_s$  est exprimé suivant la loi de Fourier et si  $\phi_h$ , c'est le flux évacué par conducteur convection et qui est régi par la loi de Newton. En combinant ces trois expressions, on peut donc déterminer l'expression de  $T_p$  à partir de cette équation, en remplaçant l'expression de  $T_p$  dans cette expression et en considérant donc la première équation qui est si  $\phi_h$  égale à  $\phi_s$ , on peut alors déterminer si  $\phi_s$ , en fonction d'un coefficient d'échange global contenant le cas de  $\phi_s$  et de la différence de température entre  $T_S$  et  $T_0$ . À partir de cette expression.

Notes

Summary





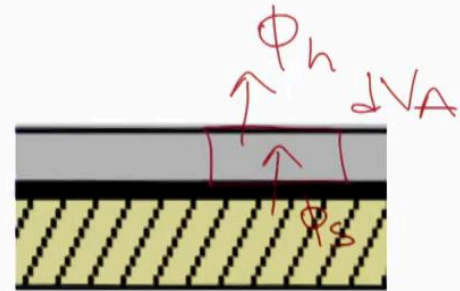
# Comportement du composant en régime permanent



En régime permanent, la somme de tous les flux entrant dans le volume doit être nulle

Premier principe s'écrit :

$$\begin{cases} \phi_S - \phi_h = 0 \\ \phi_S = \lambda_A \cdot \frac{S}{e_A} \cdot (T_S - T_p) \\ \phi_h = h \cdot S \cdot (T_p - T_0) \end{cases}$$



$$T_S = \phi_S \cdot \frac{K}{S} + T_0$$

A.N. :  $T_S = 187^\circ\text{C}$

**! Risque de détérioration du composant**

$$\Rightarrow \phi_S = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{e_A}{\lambda_A}} \cdot S \cdot (T_S - T_0)$$

Thermodynamique

On peut alors en déduire l'expression de  $t_s$  et de calculer sa valeur, puisque les différents paramètres de l'expression sont bien connus. Dans le cas d'un composant simple. Comme on le voit, la température du substrat atteinte est de 187 degrés. Cette température est supérieure à la température limite acceptable par le composant, ce qui risque de détériorer ce composant étant donné un corps que l'on même des délais de refroidissement.

Notes

Summary

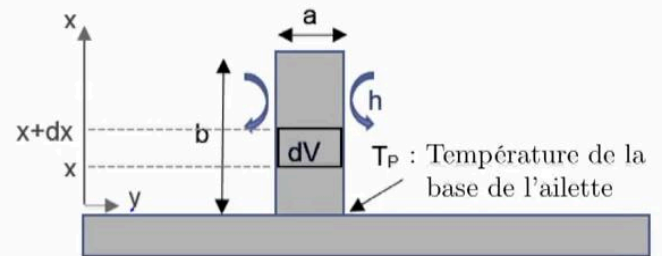


5m 07s



2. Déterminer le flux de chaleur dissipé par une ailette

On note,  $T(x)$  : Température de l'ailette sur  $dx$   
 $\theta(x) = T(x) - T_0$



Thermodynamique

La question de dimensionnement peut se poser de différentes manières. Dans le cas étudié, on décide de bien définir les caractéristiques géométriques de l'Ailette et de choisir le matériau. Et donc la question serait de déterminer le nombre d'ailettes nécessaires pour atteindre l'objectif et pour avoir un bon fonctionnement de ce composant électronique. Pour les lettres choisies, on a considéré une hauteur B qui est égale à deux cm. Une section carrée de l'ailette égale à A étant de deux mm. Cet élève va échanger avec l'air ambiant un flux de chaleur conducteur convectif régi par le coefficient d'échange convectif H qui est égal à quinze watt par mètre carré. On va d'abord chercher à déterminer le flux de chaleur évacué par une ailette pour ensuite pouvoir déterminer le nombre d'ailettes qu'il faut pour un bon fonctionnement de ce composant. Pour cela, on va noter de X comme étant la température d'une tranche de cette ailette entre un abscisse x et x plus de x. On a également fait état de Hicks comme étant égal à la différence entre la température de la tranche de l'élève et de Hicks et la température ambiante effectuée en maintenant le bilan énergétique sur un volume élémentaire compris entre x et x dx de satellite.

Notes

Summary





# Comportement du composant en régime permanent



- Bilan énergétique sur un volume élémentaire compris entre  $x$  et  $x+dx$ :

- ✓ Flux conductif  $\phi(x)$  entrant par la section  $S(x)$
- ✓ Flux conductif  $\phi(x+dx)$  entrant par  $S(x+dx)$
- ✓ Flux conducto-convectif  $\phi_h(x)$  entrant par  $(p \cdot dx)$

$$\left[ \frac{d^2\theta}{dx^2} = \frac{h \cdot p}{\lambda_A \cdot S} \theta = m^2 \theta \right]$$

- Conditions aux limites:  $\begin{cases} \theta(0) = T_p - T_0 \\ \frac{d\theta}{dx} = 0 \big|_{x=b} \end{cases}$

- Solution générale :

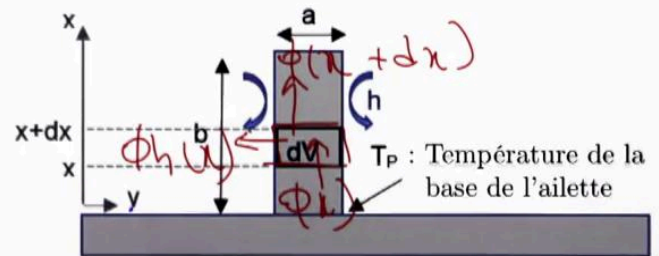
$$\theta(x) = C_1 \cdot \exp(m \cdot x) + C_2 \cdot \exp(-m \cdot x)$$

- On considère que l'ailette est infinie :

$$x \rightarrow \infty, \exp(-m \cdot x) \rightarrow 0 \text{ et } \exp(m \cdot x) \rightarrow \infty \\ \Rightarrow C_1 = 0 \text{ et } C_2 = T_p - T_0$$

- Flux évacué par l'ailette s'écrit :

$$\phi_{ail} = a^2 \cdot m \cdot \lambda_A \cdot (T_p - T_0)$$



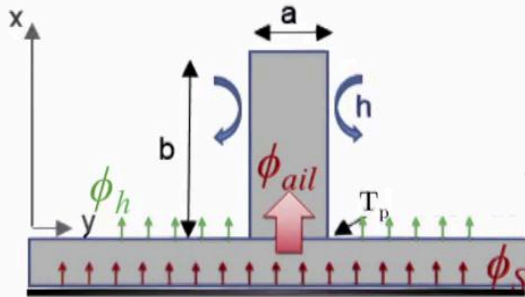
Thermodynamique

Sur ce volume élémentaire, on a un flux conductif  $\phi_i$  de  $x$  qui traverse l'élément par la section  $X$ , un autre flux conductif qui traverse la section  $x+dx$  de  $X$  et plus de  $x$  et  $y$  est noté  $\phi_{i+dx}$  de  $x$  plus de  $x$ . Par sa surface latérale, l'élément échange avec l'ambiance un flux de chaleur conducto-convectif noté  $\phi_h$  de  $X$ . La surface latérale de l'ailette est  $p \cdot dx$  et il est égal à  $4a \cdot dx$ . Le périmètre de cette ailette de  $x$  est égal à  $4a$ . En régime permanent, la somme des flux entrants dans un volume élémentaire est égale à zéro. Ce qui nous permet de déterminer l'équation générale de l'ailette. Maintenant, il reste à déterminer les conditions aux limites. Un  $x$  est égal à zéro. La température de la base de l'élément  $T_p$  de  $X$  est égale à la température de la surface supérieure de la plaque en aluminium  $T_0$ . Via la géométrie de cet élément, c'est la hauteur  $b$  est bien plus grande que la section  $A$ . Si on peut dire que le flux échangé par le sommet de cette ailette est négligeable et on peut l'assimiler à zéro, ce qui nous ramène à une deuxième condition aux limites en  $x$  égal à  $b$  qui est égal à détecter sur  $tx$  égal à zéro.

Notes

Summary





A.N. :  $T_{s,limite} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $h' = 41,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$   
 $n_{min} = 20,2$

Nombre d'ailettes minimal ?

Exprimons  $\phi_S = f(T_S - T_0)$

- Conduction dans la plaquette

$$\phi_S = \lambda_A \cdot \frac{S}{e_A} \cdot (T_S - T_p) \Rightarrow T_p = T_S - \frac{\phi_S \cdot e_A}{\lambda_A \cdot L \cdot l}$$

- Convection "plaquette et ailettes" et ambiance

$$\phi_S = \phi_{h'} = h \cdot (L \cdot l - n \cdot a^2) \cdot (T_p - T_0) + n \cdot \phi_{aile}$$

$$\phi_S = h' \cdot L \cdot l \cdot (T_S - T_0)$$

$$h' = \left( \frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{L \cdot l}{h L l - n h a^2 + n a^2 m \lambda_A} \right)^{-1}$$

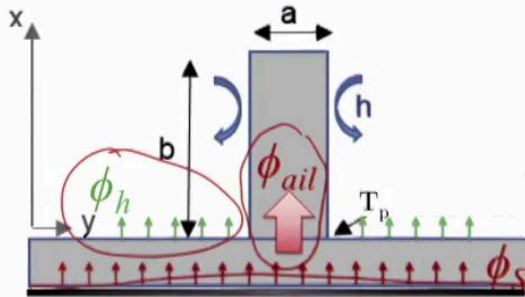
Thermodynamique

La solution générale de l'équation de l'Ailette s'écrit telle que  $T = C_1 \exp(m_2 x) + C_2 \exp(-m_2 x)$  et  $C_1$  et  $C_2$  étant les constantes d'intégration. On va déterminer si on considère que  $x$  tend vers l'infini, l'exponentielle de  $x$  ou bien de  $m$  de  $x$  tend vers zéro et l'exponentielle de  $m$  de  $x$  tend vers l'infini, ce qui est impossible. Ainsi, on peut dire que la constante  $C_1$  est égale à zéro et  $C_2$  est égal à  $T_p - T_0$ . Le flux qui traverse les lettres en  $X$  est égal à zéro et dégagé par les surfaces latérales de l'ailette par conduction. Convection. En faisant cette égalité et en remplaçant dans l'équation générale de l'Ailette, on peut déterminer le flux évacué par une ailette qui s'écrit suivant cette forme et qui dépend de  $A_2$ . La section de Linette  $M$  qui a une constante  $\lambda_A$  la conductivité thermique de la plaquette en aluminium et la différence de température entre la base de l'Ailette et l'air ambiant. Maintenant, il faut déterminer le nombre d'ailettes qu'il faut pour un bon fonctionnement de ce composant électronique. On va d'abord commencer par exprimer  $\phi_S$  en fonction de  $T_S - T_0$ .

Notes

Summary





A.N. :  $T_{s, \text{limite}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $h' = 41,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$   
 $n_{\text{min}} = 20,2$

Nombre d'ailettes minimal ?

Exprimons  $\phi_S = f(T_S T_0)$

- Conduction dans la plaquette

$$\phi_S = \lambda_A \cdot \frac{S}{e_A} \cdot (T_S - T_p) \Rightarrow T_p = T_S - \frac{\phi_S \cdot e_A}{\lambda_A \cdot L l}$$

- Convection "plaquette et ailettes" et ambiance

$$\phi_S = \phi_{h'} = h.(L.l - n.a^2).(T_p - T_0) + \underline{n.\phi_{ail}}$$

$$\phi_S = h'.L.l.(T_S - T_0)$$

$$h' = \left( \frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{L l}{h L l - n h a^2 + n a^2 m \lambda_A} \right)^{-1}$$

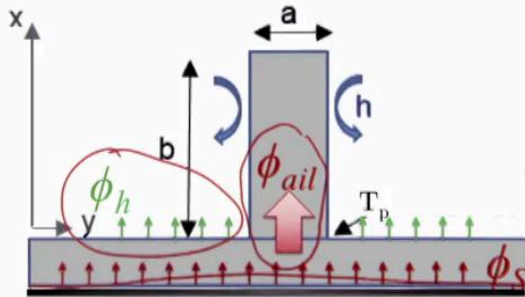
Thermodynamique

On sait bien que le flux  $q_s$  qui provient du conducteur dans le substrat qu'on voit ici se propage dans la plaquette en aluminium par conduction et il est régi, suivant cette expression de fils de S. À partir de cette expression de fille de S, on va déterminer l'expression de la température. Ce flux sortant de la plaquette en aluminium Fraser va s'évacuer d'une part par un échange conducteur convectif par l'intermédiaire des surfaces de la plaquette en aluminium non couverte par les ailettes. D'autre part, il va être évacué dans les lettres, d'abord par conduction à l'intérieur de l'Ailette. Et puis ce flux va se. Va se dégager par un échange conducteur convective par l'intermédiaire des surfaces latérales de l'ailette. Si on écrit le bilan énergétique de ce système, on a que  $q_s$  égal à  $q_{hp}$ . Si  $h$  prime étant le flux de chaleur conducteur convectif et échangé d'une part d'un par l'intermédiaire de la plaquette en aluminium non couvertes par les ailettes et d'autre part par les ailettes elle même. Et est ici définie le nombre d'ailettes qu'il faut pour atteindre l'objectif recherché.

- Notes

## Summary





A.N. :  $T_{s,limite} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $h' = 41,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$   
 $n_{min} = 20,2$

Nombre d'ailettes minimal ?

Exprimons  $\phi_S = f(T_S - T_0)$

- Conduction dans la plaquette

$$\phi_S = \lambda_A \cdot \frac{S}{e_A} \cdot (T_S - T_p) \Rightarrow T_p = T_S - \frac{\phi_S \cdot e_A}{\lambda_A \cdot L \cdot l}$$

- Convection "plaquette et ailettes" et ambiance

$$\phi_S = \phi_{h'} = h \cdot (L \cdot l - n \cdot a^2) \cdot (T_p - T_0) + n \cdot \phi_{ail}$$

$$\phi_S = h' \cdot L \cdot l \cdot (T_S - T_0)$$

$$h' = \left( \frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{L \cdot l}{h \cdot L \cdot l - n \cdot h \cdot a^2 + n \cdot a^2 \cdot m \cdot \lambda_A} \right)^{-1}$$

Thermodynamique

En simplifiant cette expression, le flux fide s'exprime en fonction de h prend le nouveau coefficient d'échange global de l'ensemble plaquettes en aluminium, squelette de la surface, 1 fois L du composant électronique et de la différence de température entre le substrat et l'air ambiant  $t_0$ . Si on pose c s, la température est limite du substrat comme étant égale à 80. On détermine un nouveau coefficient d'échange global H égal à 41,6 comparé au coefficient d'échange qu'on avait en absence des lettres sur la plaquette en aluminium. On voit bien qu'on a amélioré le transfert thermique entre le substrat et la remplissant en ajoutant des ailettes et pour atteindre la température limite, ou bien pour éviter une surchauffe de ce composant et se limiter à une température de substrat de 80 degrés. Le nombre de lettres nécessaires est de 21.

Notes

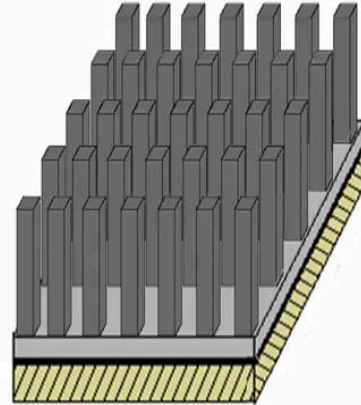
Summary



# Comportement du composant en régime permanent



On décide d'installer  $n = 100$  ailettes



$$h' = 146,7 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$T_s = 37,04 \text{ }^\circ\text{C}$$

Thermodynamique

Pour des mesures de sécurité, on décide de placer sur la plaquette en aluminium sans ailettes. Avec ce nouveau nombre d'ailettes, on augmente davantage la surface d'échange entre le composant et l'air ambiant, ce qui entraîne une augmentation du coefficient d'échange global  $H$  qui passe à 147 Watt par mètre carré et par deux graisses et la température du substrat obtenu pour ce nombre d'ailettes est égale à 37 degrés.

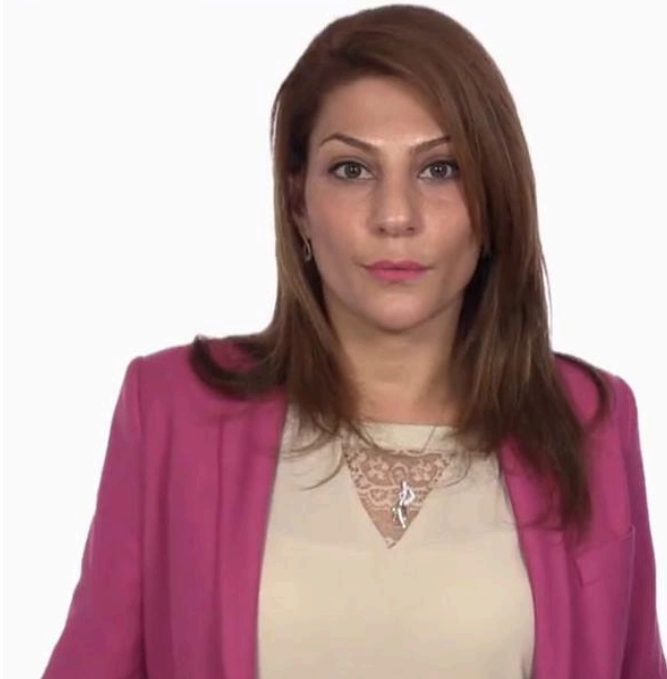
Notes

Summary



13m 11s





Composant soumis à une surpuissance,  $T_s$  augmente.

Nouveau flux  $\phi'_s = 60 \text{ W}$

3. Etablir l'équation de l'évolution de la température dans le composant en fonction du temps
4. Déterminer  $T_s$  et le temps

Thermodynamique

Maintenant, on va étudier le comportement de ce composant électronique lorsqu'il subit un changement d'équilibre thermique, c'est à dire on va étudier son état non stationnaire. Pour cela, on suppose que le composant électronique est soumis à une surpuissance et que le flux  $\phi_s$  qui est dégagé par le conducteur passe de 20 à 60 watts. Avec cette augmentation de la puissance, on a forcément une augmentation de la température du substrat dans cette partie de l'exercice. On va voir comment réagit ce comportement, vers quelle température il va évoluer et quelle serait la température et les minutes qu'il atteint ainsi que le temps qu'il faut pour atteindre cette température. Pour cela, on va commencer par établir l'équation de l'évolution de la température en fonction du temps.

Notes

Summary



13m 42s





- Bilan thermique :

$$\phi'_S - \phi'_h = \rho.V.c.\frac{\partial T_S}{\partial t}$$

$$-h'.(L.l).(T_S(t) - T_0) + \phi'_S = \rho.V.c.\frac{\partial T_S}{\partial t}$$

- Changement de variable

$$G(t) = T_S(t) - T_0 - \frac{\phi'_S}{h'.(L.l)} \Rightarrow \frac{dG}{dt} = \frac{dT_S}{dt}$$

$$dt = -\frac{\rho.V.c}{h'.(L.l)} \cdot \frac{dG}{G}$$

Thermodynamique

En régime non stationnaire, la température du composant varie en fonction du temps. Si on effectue le bilan énergétique appliqué à ce composant, on peut dire que la somme des flux entrant dans ce composant est égale à la variation de son énergie interne exprimée par ce terme, et dépend principalement des propriétés du matériau constituant ce composant qui sont ici ROS et la masse volumique de l'aluminium  $V$ , son volume et sa capacité thermique massique et de la dérivée partielle de la température divisée par la dérivée partielle du temps. Si on remplace de  $s$  qui est le flux dissipé par le substrat par le conducteur et qui se propage par conduction dans la plaquette en aluminium et l'expression de fibres de  $H$  qui est qui correspond au flux de chaleur échangé par conducteurs convection entre le composant et l'extérieur. On obtient ce premier terme de l'égalité si dans lequel on a seulement à la température  $T$  de  $S$  qui dépend du temps. On va diviser l'ensemble. Les deux membres de l'expression par  $h$  prime par mois  $h$  prime  $l$  fois  $L$  et on va effectuer un changement de variable comme suit. La dérivée de  $g$  par rapport au temps est égale à la dérivée de la température de  $S$  du substrat par rapport au temps.

Notes

Summary





- Evolution  $T_S(t)$  :  

$$T_S(t) = T_0 + \frac{\phi'_S}{h' \cdot (L.l)} + G(0) \cdot \exp\left[-\frac{h' \cdot L.l}{\rho \cdot V \cdot c} \cdot t\right]$$
- Quand  $x \rightarrow \infty$ ,  $\exp(-\infty) \rightarrow 0$   

$$\Rightarrow T_S(\infty) \rightarrow T_0 + \frac{\phi'_S}{h' \cdot L.l}$$
- Constante de temps  $\tau = \frac{\rho \cdot V \cdot C}{h' \cdot L.l}$

A.N. :  $T_S(\infty) = 71(^{\circ}\text{C})$   $\tau = 68,3(\text{s})$

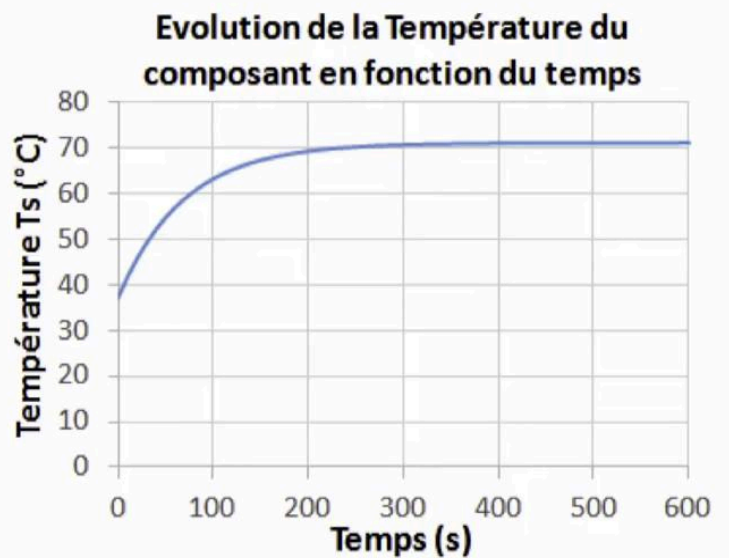
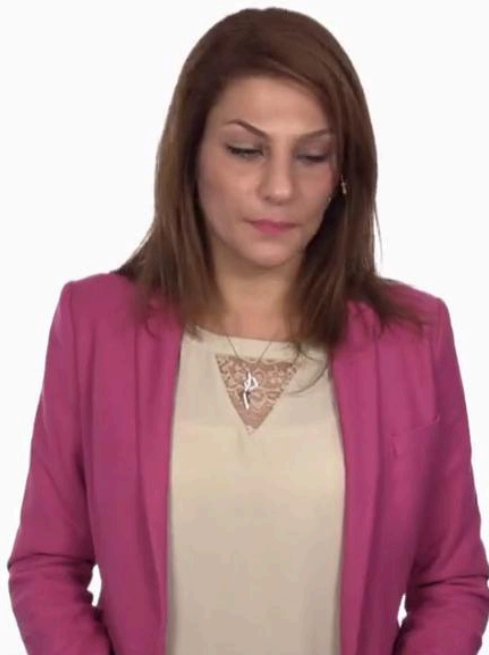
Thermodynamique

Si on remplace ces deux expressions dans l'expression précédente, on peut alors déterminer l'expression de DT en fonction de DG sur le système d'équations suivant. Un composé par l'expression obtenue à partir du bilan énergétique et des conditions aux limites à l'instant T égal à zéro était égal a fini. Sont les suivantes. On va considérer que, à l'instant t égal à zéro, la température du substrat est égale à 37 degrés, c'est à dire à la température de fonctionnement nominal de ce composant. Et ensuite, on va réaliser une intégration entre l'instant T égal à zéro et un autre instant T. La solution de cette intégration est obtenue et elle est égale. Donc comme vous le voyez à g de zéro fois l'exponentielle de 1 fois l divisé par o vc multipliée par le temps T. À partir du résultat de l'intégration, on obtient l'évolution de la température du substrat à tester en fonction de T et de G0. La condition aux limites à l'instant T est égale à zéro lorsque T le temps tend vers l'infini. On voit que l'exponentielle de moins infinie tend vers zéro. Ainsi, on peut déterminer la température T infinie qui est égale à t0 plus un terme constant. Cette température est égale à 71 degrés. On peut également définir une constante de tantot qu'on calcule égale à 68 secondes.

Notes

Summary





Thermodynamique

Sur ce slide, vous pouvez bien voir l'évolution de la température du substrat en fonction du temps. On voit bien que la température est limitée sur laquelle tend. Le nouveau équilibre thermique du composant est égale à 71 degrés.

Notes

Summary



18m 03s



- Bilan thermique et conditions aux limites :

$$\left\{ \begin{array}{l} -\phi'_h = -h' \cdot (L.l) \cdot (T_S(t) - T_0) = \rho \cdot V \cdot c \cdot \frac{\partial T_S}{\partial t} \\ T_S(0) = 71^\circ C \text{ et } T_S(\infty) = T_0 \\ \theta(t) = T_S(t) - T_0, \frac{d\theta}{dt} = \frac{dT_S}{dt} \end{array} \right.$$

- Expression de  $T_S(t)$

$$T_S(t) = T_0 + (T_S(0) - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{h' \cdot (L.l)}{\rho \cdot V \cdot c} \cdot t\right)$$

Thermodynamique

C'est maintenant. Si on considère que le composant est à 71 degrés et à cet instant là, on coupe l'alimentation de ce conducteur. Donc on a un flux plein de s égal à zéro. Dans ce cas, on va voir comment a varié la température de ce composant et comment évolue la température en fonction du temps, à quel instant ce composant atteint la température normale de fonctionnement qui est de 37 degrés, et à quel moment il atteint une température d'équilibre, c'est à dire une température constante qui est dans ce cas égale à la température ambiante. On va commencer par établir le bilan énergétique appliqué à ce composant qui fonctionne en régime non stationnaire. La somme des flux entrant dans ce système est égale à la variation de son énergie interne. Dans le cas actuel, en absence de puissance dissipée par le conducteur, le seul flux échangé par le conducteur est de h et c'est un flux sortant d'eau le signe moins il est égal à la variation de la température du substrat divisé ou bien en fonction du temps. Les conditions aux limites appliquées donc à ce cas d'étude correspondent à l'instant T est égal à zéro. C'est l'instant où là que le courant a été coupé et un instant T qui correspond aux nouveaux équilibres thermiques que va atteindre le composant.

Notes

Summary



18m 20s

- Bilan thermique et conditions aux limites :

$$\left\{ \begin{array}{l} -\phi'_h = -h' \cdot (L.l) \cdot (T_S(t) - T_0) = \rho \cdot V \cdot c \cdot \frac{\partial T_S}{\partial t} \\ T_S(0) = 71^\circ C \text{ et } T_S(\infty) = T_0 \\ \theta(t) = T_S(t) - T_0, \frac{d\theta}{dt} = \frac{dT_S}{dt} \end{array} \right.$$

- Expression de  $T_S(t)$

$$T_S(t) = T_0 + (T_S(0) - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{h' \cdot (L.l)}{\rho \cdot V \cdot c} \cdot t\right)$$

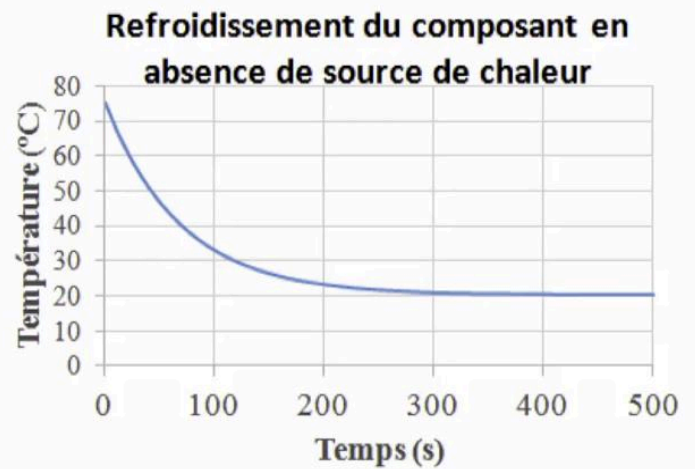
Thermodynamique

On va d'abord effectuer un changement de variable en posant un tas de terre qui est égal à  $t_0$ . La dérivée de  $A$  par rapport au temps est égale à la dérivée de la température du substrat par rapport au temps. En remplaçant l'expression de des Tata surendettées et de Tata dans l'expression précédente. En intégrant celle ci entre à l'instant  $T$  égal à zéro et l'instant  $T$ , on obtient la nouvelle distribution. La nouvelle évolution de la température en fonction du temps qu'on voit exprimer en fonction de  $T_0$ , de  $T_S$ , de zéro et des différents paramètres  $H$  Prime et les caractéristiques géométriques de la plaquette en aluminium et de Rover sur l'évolution de la température ainsi obtenue est reproduit sur ce graphe.

Notes

Summary





Thermodynamique

On voit bien que, à l'instant  $t$  égal à zéro, la température est de 71 degrés. Elle descend jusqu'à 37 degrés à l'instant 70 secondes, elle atteint la température d'équilibre après 480 secondes, la température d'équilibre étant à la température ambiante, ce qui est égale à 20 degrés C.

Notes

Summary







Thermodynamique

En conclusion, nous avons traité durant cette séance le transfert thermique conductive en régime stationnaire et non stationnaire dans un composant électronique. On a vu que lorsque les surfaces d'échange sont insuffisantes pour un bon fonctionnement d'un composant électronique, il suffit d'ajouter des ailettes de refroidissement. Ces ailettes ont pour rôle d'accroître la surface d'échange entre le composant et l'air ambiant et donc d'intensifier les échanges thermiques entre ce système et l'ambiance. Nous avons mis en application les différentes lois physiques et on a étudié le comportement de ce système, donc en régime non stationnaire. Ou on a vu que lorsque ce composant électronique est soumis à une surpuissance, que l'équilibre thermique de ce composant varie et tend vers une nouvelle température d'équilibre. Également, on a vu comment se comporte ce composant lorsque le courant est coupé, c'est à dire lorsqu'il est à une température supérieure à la température ambiante. Quelle serait la dynamique d'évolution de sa température et à quel moment il atteint un nouveau équilibre thermique ? Merci pour votre attention.

Notes

Summary



21m 16s