ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY.
Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VI (XVI), 2007

L'ECHANGE DE LA CHALEUR DANS LE CAS DE REFROIDISSEMENT DES CPU

Ioan MIHAI
"Ştefan cel Mare" University
str. Universităţii nr. 13, 720 225 Suceava
mihai.i@fim.usv .ro

Mots clé: *Refroidissement, CPU, Conduction thermique,*

Résume : Le processus du sur chauffage qui atteint les éléments components des circuits électroniques d'un ordinateur, impose souvent des systèmes spécialisés de refroidissement. Devienne important de déterminer par le calcul mathématique quelles sont les températures dans les différentes couches de CPU. Il est absolument nécessaire de tenir compte de la source génératrice de la chaleur due aux courants qui passent dans les circuits électroniques. On présente dans ce travaille un modèle de calcul et ses résultats, pour le CPU d'un ordinateur.

1. INTRODUCTION

Jusque à ce moment, dans l'exploitation de refroidissement du CPU, se sont imposé quasi - totalement des systèmes basées sur les courants de l'air, fournis par des ventilateurs spécialisées. Même que cette technique est bien connue, quand il fait chaud dans la zone de travail d'ordinateur, les CPU ou différents composantes de la plaque de basse se détruisent. Dans le dernier temps, se sont développés des systèmes complémentaires de refroidissement, qui utilise des principes comme :

- l'utilisation d'effet Peltier ;
- le refroidissement à l'aide de l'eau ;
- tubes thermiques multiples ;
- mini installation frigorifique.

On présente au débute de ce article, la modélisation analytique qui concerne l'échange global du transfert de la chaleur, dans les parois de CPU. On va déterminer par calcule, la température qui change, dans n'importe quelle point de la structure.

2. LA MODELISATION ANALYTIQUE QUI CONCERNE L'ECHANGE GLOBAL DU TRANSFERT DE LA CHALEUR DANS LES PAROIS À STRUCTURE COMPLEXE

Le courant qui passe par les éléments électroniques composant de CPU, conduise à l'apparition d'une forte chaleur. Cette chaleur à une tendance de se dissiper vers l'extérieur de CPU. On peut parler sans doute, d'un système d'échange à sources internes des chaleurs. Dans ce cas particulière on peut considère le CPU comme un corps d'une structure irrégulier. Ce hypothèse a la base, la propriété structurale de CPU : entre le différents multicouches des matérielles homogènes on trouve un contact imparfaite. La présence des : dénivellations, certaines surfaces rugueuses, différentes couches de l'air, etc. réduit fortement la valeur de la conductivité thermique.

Habituellement, pour éviter des calcules laborieuses, dans les cas du parois à structure complexe [1,2,3,6,9], on va changer celui-ci par l'un homogène, du même taille, à la condition de maintenir le coefficient de conductivité. On impose dans le même temps, pour les deux situations (réelle et modelé), que le fluxe thermique transmis, reste identique. Une image globale sur la transmission de la chaleur au cœur de CPU, vers l'extérieur, est présente dans la fig.1.

L'équation générale de la conduction thermique [1-9], est :

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\nabla_T^2 + \frac{q_v}{\rho c_p} \tag{1}$$

où, T – la température [K], τ - temps [s], a - coefficient de la diffusivité thermique [m^2/s], q_v $q_v = q_v(x, y, z, \tau)$ représente la densité génératrice de la source de chaleur, fonctionne qui change avec le temps, exprime en [W/m^3], ρ - densité du matériel [kg/m^3], c_p – chaleur spécifique à la pression constante [J/kg K].

Les hypothèses de travaille sont :

- les parois sont plans parallèles ;
- q_v = constant ;
- la propagation de la chaleur est unidirectionnelle ;

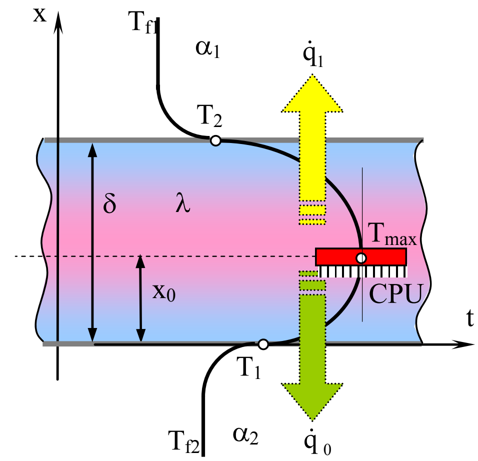


Fig. 1 La propagation de la chaleur dans la région de CPU

Si on admet que la direction de la propagation pour la chaleur est sur l'axe x, alors l'équation 1, devienne :

$$\frac{d^2T}{dx} = -\frac{q_v}{\lambda} \tag{2}$$

que représente une équation différentielle d'ordre deux, ne homogène. Deux intégration successives de l'équation différentielle, conduise à :

$$T(x) = -q_v\frac{x^2}{2\lambda} + C_1x + C_2 \tag{3}$$

Cette relation représente l'équation du champ de la température, pour les parois stratifiées, avec des sources génératrices de la chaleur. La relation obtenue, indique un champ de la température parabolique. La chaleur va se déplacer dans deux directions différentes. Si la source génératrice n'est pas disposée symétrique (cas plus souvent), alors le fluxe thermique a deux components de sens différent.

Pour obtenir les constantes C_1 et C_2 d'intégration, on impose des conditionnes à la limite (quand x=0, T=T_1 et x=δ, T=T_2). En utilisent les constants, on obtienne :

$$T_{(x)} = -q_v\frac{x^2}{2\lambda} + \left(\frac{T_2 - T_1}{\delta} + \frac{q_v\delta}{2\lambda}\right)x + T_1 \tag{4}$$

La relation obtenue corresponde à des matériaux qui ont une structure homogène.

Pour déterminer l'expression du plan neutre x_0 il faut imposer que la dérivation de la température en rapport avec la direction x, soit nulle :

$$-\frac{q_v x}{\lambda} + \frac{T_2 - T_1}{\delta} + \frac{q_v\delta}{2\lambda} = 0 \tag{5}$$

Alors :

$$x_0 = \frac{\lambda(T_2 - T_1)}{\delta q_v} + \frac{\delta}{2} \tag{6}$$

La relation 6 représente *l'équation du plan neutre* [1-9] qui corresponde à un plan parallèle auprès des parois de CPU, caractérisé par une température maximale.

L'expression mathématique pour les densités des fluxes thermiques qui sont transmisses vers les deux facettes de parois du CPU, sont :

$$\dot{q}_0 = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{\delta} - \frac{q_v \delta}{2} = -q_v \cdot x_0 \tag{7}$$

$$\dot{q}_1 = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{\delta} + \frac{q_v \delta}{2} = (\delta - x_0) q_v \tag{8}$$

Les signes différentes indique la propagation dans deux sens oppose pour les fluxes thermiques. Si on tienne compte que le CPU et ses éléments constitutifs sont en contact avec l'air débite par le ventilateur, alors il est nécessaire de considérer dans le modèle mathématique le phénomène de la convection thermique. Il devienne possible de déterminer l'expression de la température T1 et T2 sur les surfaces du CPU, en utilisant les relations indiquées par [3]:

$$T_1 = T_{f1} + \frac{T_{f2} - T_{f1} + 2\delta q_v \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} \right)}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} + 2 \frac{\alpha_1}{\lambda} \delta} \tag{9}$$

$$T_2 = T_{f2} + \frac{T_{f1} - T_{f2} + 2\delta q_v \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} \right)}{1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} + 2 \frac{\alpha_2}{\lambda} \delta} \tag{10}$$

Si on remplace les dernières relations dans l'équation 4 on obtient l'expression du calcul pour la température dans différentes couches de CPU.

Pour une paroi qui contient « n » couche du matériel [6], la densité du fluxe transmis sur une direction :

$$\dot{q} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \ldots \frac{T_k - T_{k+1}}{\frac{\delta_k}{\lambda_k}} = \ldots \frac{T_n - T_{n+1}}{\frac{\delta_n}{\lambda_n}} \Rightarrow \dot{q} = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{\delta_j}{\lambda_j}} \quad [\mathrm{W/m^2}] \tag{11}$$

Le flux thermique dans les mêmes conditions:

$$\Phi = \dot{q} A = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{\delta_j}{\lambda_j}} A \quad [\mathrm{W}] \tag{12}$$

Si la structure se trouve dans un milieu fluide, on peut considéré :

$$\dot{q} = \frac{T_{f1} - T_1}{\frac{1}{\alpha_1}} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \ldots \frac{T_k - T_{k+1}}{\frac{\delta_k}{\lambda_k}} = \ldots \frac{T_n - T_{n+1}}{\frac{\delta_n}{\lambda_n}} = \frac{T_{n+1} - T_{f2}}{\frac{1}{\alpha_2}} \tag{13}$$

La relation qui caractérise la densité du fluxe thermique dans ce cas, devienne :

$$\dot{q} = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^{n} \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_2}} \tag{14}$$

La relation de la densité thermique, dans une couche quelconque k+1 est :

$$\dot{q} = \frac{T_{f1} - T_1}{\frac{1}{\alpha_1}} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \ldots \frac{T_k - T_{k+1}}{\frac{\delta_k}{\lambda_k}} \tag{15}$$

On obtienne :

$$\dot{q} = \frac{T_{f1} - T_{k+1}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^{k} \frac{\delta_j}{\lambda_j}} \tag{16}$$

Parce ce que la densité du fluxe thermique se conserve, alors on peut égaliser les relations 14 et 16 :

$$\frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^{n} \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{T_{f1} - T_{k+1}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^{k} \frac{\delta_j}{\lambda_j}} \tag{17}$$

On peut obtenir avec la dernière relation la température dans une couche quelconque k+1 pour une paroi solide, stratifie, noyé dans un fluide (exemple l'air) :

$$T_{k+1} = T_{f1} - \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^{n} \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_2}} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^{k} \frac{\delta_j}{\lambda_j} \right) \tag{18}$$

En résumant, si on considère en plus une source génératrice de la chaleur, la relation (18) devienne :

$$T_x = T_{f1} - \left[\left(\frac{T_2 - T_1}{\delta} + \frac{q_v \cdot \delta}{2\lambda_x} \right) \cdot x \right] + \frac{q_v \cdot x^2}{2 \cdot \lambda_x} \tag{19}$$

3. LES RESULTATS OBTENUES PAR CALCUL EN MATHCAD

Pour déterminer la température dans les différentes couches de CPU, ont utilisée le logiciel MathCad. On a considère un processeur de 2 GHz qui fournisse une source génératrice de chaleur. Le calcul mathématique donné la température pour des couches de 0.5 a 0.5 mm, mais il est possible d'épaissir le réseau. Ensuite on va présenter les résultats de calcul. Dans la zone de température maximale de CPU, les valeurs obtenues par calcul [7] sont présentent dans la figure 2.

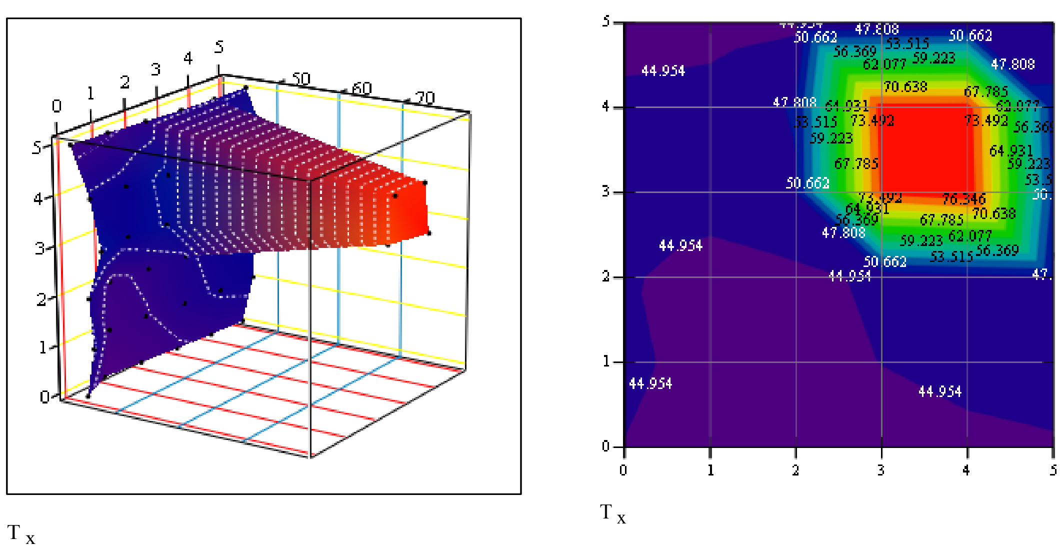
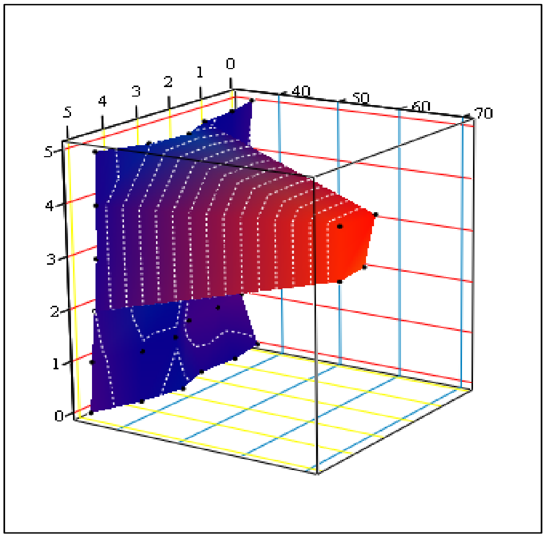
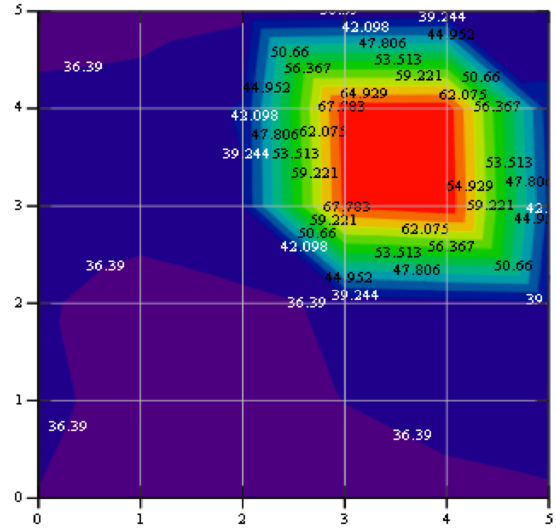


Fig. 2 Valeurs maximales du champ de la température, au coeur de CPU

La température calcule à l'extrémité de CPU (à l'interface avec le radiateur) indiquée une baise d'environ 10-11 [K], voir fig.3.



T z



T z

Fig. 3 La température au l'extrémité de CPU

Le modèle mathématique qui a conduise a ces images, est présenté ici dessus :

$$q_V := 75$$

$$x := \left(3 \cdot 10^{-3}\right) \qquad \delta := 5.5 \cdot 10^{-3}$$

$$T_2 := 307.7 \qquad T_1 := 292$$

$$T_{f1} := \overrightarrow{\begin{pmatrix} 44.8 & 46 & 45.4 & 47.6 & 46 & 43.1 \\ 42.1 & 43.1 & 43.4 & 46.5 & 46.4 & 43.6 \\ 42.8 & 43.7 & 44.3 & 47.6 & 48 & 44.4 \\ 43.6 & 45 & 45.4 & 77.4 & 78.4 & 45 \\ 44.2 & 45.9 & 46.3 & 79.2 & 78.5 & 45.3 \\ 44.6 & 46.4 & 47 & 49.8 & 48.7 & 45.5 \end{pmatrix}}$$

$$\lambda_x := \overrightarrow{\begin{pmatrix} 4.8 & 4.6 & 4.4 & 4.6 & 4.6 & 4.1 \\ 4.1 & 4.1 & 4.4 & 4.5 & 4.4 & 4.6 \\ 4.8 & 4.7 & 4.3 & 4.6 & 4.8 & 4.4 \\ 4.6 & 4.5 & 4.4 & 4.4 & 4.9 & 4.5 \\ 4.2 & 4.9 & 4.3 & 4.2 & 4.8 & 4.3 \\ 4.6 & 4.4 & 4.7 & 4.8 & 4.7 & 4.5 \end{pmatrix}} \qquad \lambda_z := \overrightarrow{\begin{pmatrix} 4.8 & 4.6 & 4.4 & 4.6 & 4.6 & 4.1 \\ 4.1 & 4.1 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 4.6 \\ 4.8 & 4.7 & 0.3 & 0.6 & 0.8 & 4.4 \\ 4.6 & 4.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 4.5 \\ 4.2 & 4.9 & 0.3 & 0.06 & 0.3 & 4.3 \\ 4.6 & 4.4 & 4.7 & 4.8 & 4.7 & 4.5 \end{pmatrix}}$$

$$T_x := -\left[\left(\frac{T_2 - T_1}{\delta} + \frac{q_V \cdot \delta}{2 \cdot \lambda_x}\right) \cdot x\right] + \left(\overrightarrow{T_{f1}}\right) + \frac{q_V \cdot x^2}{2 \cdot \lambda_x}$$

$$T_z := -\left[\left(\frac{T_2 - T_1}{\delta} + \frac{q_V \cdot \delta}{2 \cdot \lambda_z}\right) \cdot x\right] + \left(\overrightarrow{T_{f1}}\right) + \frac{q_V \cdot x^2}{2 \cdot \lambda_z}$$

Les résultats pour chaque couche de matériel [7], sont sous la forme :

$$T_x = \begin{pmatrix} 36.235 & 37.436 & 36.837 & 39.036 & 37.437 & 34.538 \\ 33.536 & 34.536 & 34.837 & 37.937 & 37.836 & 35.037 \\ 34.235 & 35.136 & 35.738 & 39.036 & 39.436 & 35.837 \\ 35.038 & 36.438 & 36.834 & 68.838 & 69.836 & 36.434 \\ 35.639 & 37.338 & 37.735 & 70.636 & 69.936 & 36.734 \\ 36.036 & 37.835 & 38.437 & 41.236 & 40.137 & 36.938 \end{pmatrix}$$

Le logiciel MathCad, permet de tracer en 3D l'évolution de la température de CPU dans chaque couche de matériel, en modifient les conditionnes initiales. Ainsi, on peut établir par calcule, les régions qui ne supportent pas les régimes thermique dans des conditionnes extrêmes.

4. CONCLUSSIONS

On a proposé dans ce travail une méthode de déterminer par calcule analytique la température dans les différentes couches d'un CPU, qui caractérisent l'échange de la chaleur en régime stationnaire, unidirectionnelle, avec des sources génératrices de la chaleur.

Les résultats obtenus, correspondent aux valeurs expérimentales indiquées par le système de contrôle de la température de CPU. Il est évidemment que le dépassement de températures maximales d'un CPU, peut détruire le système.

Il est donc absolument nécessaire d'un processus adéquat de refroidissement pour le CPU de l'ordinateur. Ainsi, il est devenu possible de déterminer par calcule la température au chaque niveau de CPU, ou au jonction avec le radiateur.

BIBLIOGRAPHIE

1. **BADEA A.** – Initiere în transferul de căldură şi masă, 2004, e-book.
2. **A. BEJAN, A.D. KRAUS**, Heat transfer handbook, John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey, 2003.
3. **CHIRIAC F., LECA A.** - *Procese de transfer de căldură şi de masă în instalaţiile industriale*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.
4. **IORDACHE O., SMIGELSCHI O.** - *Ecuaţiile fenomenelor de transfer de masă şi căldură*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.
5. **ISACHENKO V.P., OSIPOVA V.A., SUKOMEL A.S.** - *Heat Transfer*, Moscova, 1977.
6. **MIHAI I.C. –** *Termotehnică şi transmiterea căldurii,* Editura Universităţii „Ştefan cel Mare", 1996.
7. **I. MIHAI, M. PITICARI**, Application of mini cold store, to cool the CPU, Suceava, 2006. (report)
8. **PETRESCU S., V. PETRESCU** - *Metode şi modele în termodinamica tehnică,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
9. **ŞTEFĂNESCU D., M. MARINESCU, A. DĂNESCU** - *Transfer de căldură în tehnică* (vol. 1,2), Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.