

TP Contrôle Industriel

Utilisation d'une détection synchrone pour la mesure de signaux
Modulés de faible intensité, application à l'effet mirage .

I.Introduction :

Parmi les nombreuses méthodes permettant de mesurer une élévation de température, la méthode mirage occupe une place de choix. Développé au laboratoire d'optique physique (CNRS), sa grande sensibilité lui permet de détecter des variations de température aussi faible que 10^{-4} K dans l'air et jusqu'à 10^{-7} K dans certains liquides. La mesure, qui repose sur la détection de la variation d'un flux lumineux à la traversée d'un gradient d'indice induit par un échauffement, sera effectuée dans un premier temps, puis nous mesurerons la diffusivité thermique.

II.Principe :

1. La longueur de diffusion thermique est définie par :

$$T_{ac} = T_0 \exp\left(-\frac{1}{m}x\right) \cos\left(\omega t - \frac{x}{m}\right) \quad (1)$$

Où T_0 est la température à l'interface du fluide milieu.

μ est appelé longueur de diffusion thermique et pilote la propagation du phénomène ainsi que son amortissement : $m = \sqrt{\frac{a}{pf}}$ où a est la diffusivité thermique du matériau.

2. Mesure de l'élévation de température

Si un faisceau lumineux traverse un gradient d'indice perpendiculaire à la surface de l'échantillon, et si on suppose que l'angle θ de déviation des rayons lumineux est faible, celui-ci s'écrit :

$$q = L \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} \frac{T_0}{m} \quad (2)$$

(dans notre cas car le gradient d'indice est d'origine thermique)

Où L est la distance d'interaction du faisceau avec le gradient d'indice et n l'indice du milieu.

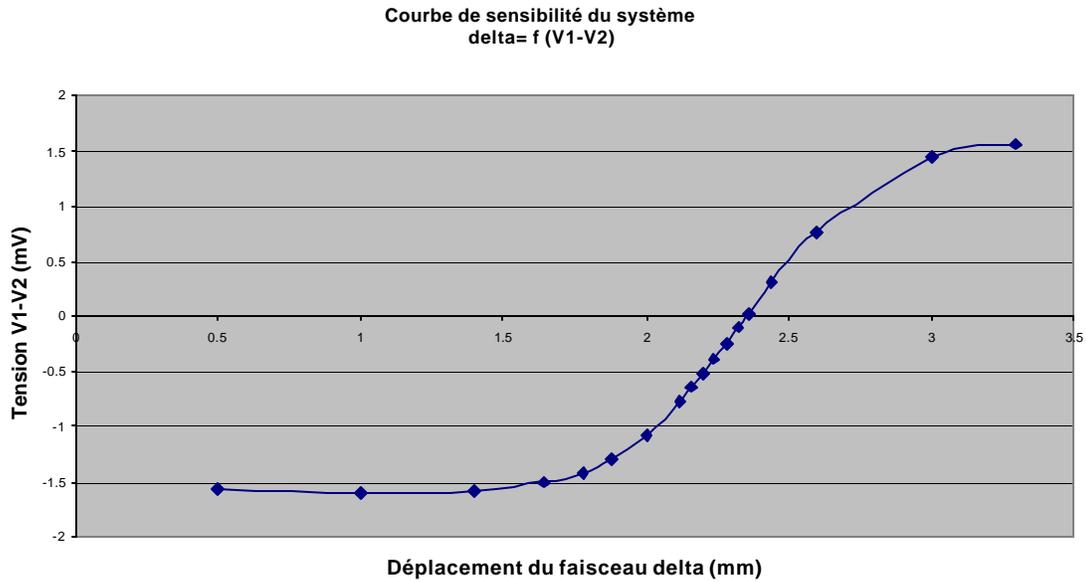
Pour mesurer la déviation mirage, nous utiliserons une diode à cadran. Celle-ci est placée de façon à ce que le spot du faisceau soit centré à l'intersection de deux cadrans. Les tensions V1 et V2 délivrées par ceux-ci sont alors égales. La différence des tensions mesurées est alors directement proportionnelle au déplacement du spot sur la diode lui-même proportionnel au premier ordre à l'angle de déviation.

III. Etude du système

a) Sensibilité du système :

On détermine la sensibilité du système à la mesure de déplacement du spot sur la photodiode :

Position faisceau (mm)	V1 - V2 (mV)
3.3	1.562
3	1.439
2.6	0.77
2.44	0.307
2.36	0.01
2.32	-0.108
2.28	-0.256
2.24	-0.388
2.2	-0.52
2.16	-0.648
2.12	-0.786
2	-1.09
1.88	-1.308
1.78	-1.417
1.64	-1.511
1.4	-1.589
1	-1.603
0.5	-1.576



La sensibilité du capteur est exprimé grâce à la partie linéaire de la courbe ; l'équation de cette droite est $y=3.31x-7.79$. La pente de cette droite nous donne donc la sensibilité qui est de 3.11mV/mm

b) Analyse des bruits

- Faisceau coupé : (bruit de la chaîne d'acquisition)

$$V1-V2 = -48.67 - 7.718 = -56.388\text{mV}$$

Cette valeur correspond au **bruit blanc**

- Faisceau non coupé :

Cette mesure n'a pu être effectuée car nous ne disposons pas de polariseur. Mais cette valeur devrait correspondre au **bruit Schottky**.

c) Déplacement minimum « continu » mesurable

Pour cela on utilisera la relation : $q = L \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} \frac{T_0}{m}$

Avec comme milieu de l'huile de paraffine pour laquelle $a=7.10^{-8}m^2.s^{-1}$

et $\mu=0.05mm$ à 10Hz.

Le tableau 2 fourni avec l'énoncé nous donne la valeur de $\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} = 5.10^{-4} K^{-1}$

et $L=10mm$ et $T_0=25^\circ C=298.15K$

On trouve $\theta=29.82^\circ$

d) Principe de la détection synchrone

Lorsque le filtrage du bruit est critique, et qu'une très grande sélectivité est rendue possible par l'étroitesse du spectre du signal, on a recours à une méthode de détection linéaire, susceptible d'offrir une largeur de bande inférieure à une fraction de hertz pour des fréquences de modulation aussi élevées que souhaité : il s'agit de la détection synchrone. On multiplie le signal modulé à la fréquence θ par la fonction $\cos(2p\theta t)$ en phase avec la modulation (d'où le terme synchrone, en anglais lock-in).

On intègre ensuite sur une durée T.

D'un point de vue pratique, ce procédé de détection nécessite une structure instrumentale plus étoffée : il faut disposer d'une référence synchronisée sur la modulation, d'une possibilité d'ajuster la phase, et faire le produit du signal par la référence. Cette dernière opération est très souvent réalisée approximativement, mais plus simplement, en remplaçant la fonction $\cos(2p\theta t)$ par une fonction créneau alternativement égale à +1 et -1, de même fréquence et de même phase.

Mesure du bruit harmonique pour quelques fréquences :

Pour	10Hz	B=35mV
	50Hz	B=7mv
	100Hz	B=3.5mv

IV. Mesure de la diffusivité thermique

D'après la relation $a = m^2 p f$ on a $m = \sqrt{\frac{a}{p f}}$

Avec $a = 7.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
Et $f = 50 \text{ Hz}$

$$\text{Donc } m = \sqrt{\frac{7.10^{-8}}{p.50}} \Rightarrow m = 20 \text{ mm}$$

On remarque qu'à $60 \text{ }\mu\text{m}$ nous n'avons plus de signal mesurable car l'atténuation est de la forme exponentielle $A = e^{-\frac{D}{m}}$ avec $D = 2.10^{-8} \text{ m}$