

## TD4- Capteur& Instrumentation

### Problème : Principe du thermocouple et loi élémentaire :

Un circuit conducteur composé de deux matériaux différents et soumis à un gradient de température est le siège d'une f.e.m, fonction de la nature des matériaux utilisés et de leurs températures : c'est l'effet Seebeck. On nomme thermocouple un tel circuit thermoélectrique. Au travers de la mesure de la f.e.m du thermocouple, on peut déterminer la température d'une des jonctions des deux matériaux si on connaît la température de l'autre jonction.

Les différents types de thermocouples existants permettent de couvrir une étendue de mesure allant de  $-250^{\circ}\text{C}$  à  $2500^{\circ}\text{C}$ .

**Enoncé :** Lorsque la jonction de deux conducteurs A et B de natures différentes est à la température T, il s'établit, de part et d'autre de cette jonction, une différence de potentiel  $e_{A/B}^T$  qui ne dépend que de la nature des deux conducteurs et de la température T (voir Figure 1). C'est l'effet Peltier.

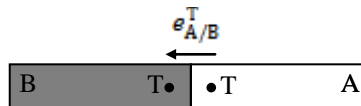


Figure 1 f.e.m de Peltier

Entre deux points d'un même conducteur A aux températures T et T', il existe une force électromotrice  $e_A^{T;T'}$  qui ne dépend que de la nature du conducteur et des deux températures T et T'. C'est l'effet Thomson (voir Figure 2). La f.e.m de Thomson du matériau A, coefficient qui en réalité est une fonction de la température :

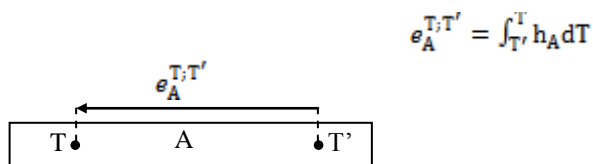


Figure 2 f.e.m de Thomson

$$e_A^{T;T'} = \int_{T'}^T h_A dT$$

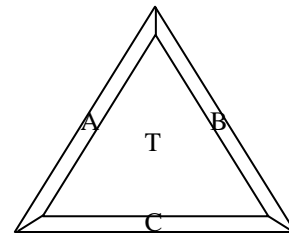


Figure 3 Circuit isotherme constitué de conducteurs différents en série

1. On considère un circuit fermé constitué de trois conducteurs A, B, et C de natures différentes, en série, l'ensemble étant à la température T (voir figure 3). En utilisant le second principe de la thermodynamique, montrer que la différence de potentiel entre les conducteurs A et B est la même en présence ou en l'absence du conducteur C.
2. On considère un circuit fermé (voir figure 4) constitué de deux conducteurs A et B de natures différentes et dont les deux jonctions sont respectivement aux températures T et T'.

Ce circuit constitue un thermocouple. Etablir l'expression de la f.e.m  $E_{A/B}^{T;T'}$  dite de Seebeck résultant des effets Peltier et Thomson dans le circuit.

3. On considère deux thermocouples constitués par les couples A-B et C-B dont les jonctions sont aux températures T et T' et dont les f.e.m de Seebeck sont respectivement  $E_{A/B}^{T;T'}$  et  $E_{C/B}^{T;T'}$ . En déduire la f.e.m de Seebeck  $E_{A/C}^{T;T'}$  du thermocouple A-C dont les jonctions seraient aux températures T et T' et la loi dite des métaux successifs.

4. Déterminer la f.e.m de Seebeck  $E_{A/B}^{T;T'}$  du couple A-B aux températures T et T' connaissant les f.e.m de Seebeck  $E_{A/B}^{T;T''}$  du couple aux températures T et T'', et  $E_{A/B}^{T'';T'}$  du couple A-B aux températures T'' et T', ce qui constitue la loi dite températures successives.

5. Soit le thermocouple constitué par le couple A-B de f.e.m de Seebeck  $E_{A/B}^{T;T'}$ . On désire déterminer l'effet de l'introduction d'un nouveau conducteur C dans l'hypothèse où les deux extrémités du conducteurs C sont à la même température.

Deux cas sont à envisager selon l'endroit où on introduit ce conducteur C: Soit on coupe le conducteur B et on insère le nouveau conducteur C réalisant ainsi deux nouvelles jonctions à la température T'' du condensateur B avec le conducteur C ; soit on introduit le conducteur C entre le conducteur A et le conducteur B auquel cas les deux jonctions du conducteur C seront considérées à la température T.

Quel est l'effet de l'introduction du conducteur C ?

Les valeurs des f.e.m  $E_{A/B}^{T;T'}$  de Seebeck sont tabulées en fonctions de la température T pour chaque type de couple A-B communément utilisé en prenant comme température de référence T'=0°C (température de soudure froide).

On considère un thermocouple de type K, soit Chromel-Alumel (alliage Ni et Cr- alliage Ni et Al) dont la f.e.m de Seebeck  $E_{NiCr/NiAl}^{T;0}$  est donnée dans le tableau suivant en fonction de la température T en °C.

T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	4096	4138	4179	4220	4262	4303	4344	4385	4427	4468
110	4509	4550	4591	4633	4674	4715	4756	4797	4838	4879
120	4920	4961	5002	5043	5084	5124	5165	5206	5247	5288
130	5328	5369	5410	5450	5491	5532	5572	5613	5653	5694
140	5735	5775	5815	5856	5896	5937	5977	6017	6058	6098

Tableau des f.e.m de Seebeck  $E_{NiCr/NiAl}^{T;0}$  en  $\mu V$

6. Le thermocouple est connecté à un micromètre de grande impédance d'entrée (voir figure 5) Les bornes de ce dernier sont à 0°C. Il indique une tension  $V_{mes,0}=5104 \mu V$ . Quelle est la température T de la soudure de mesure dite température de soudure chaude.

7. Les fils des thermocouples sont d'un coût élevé. Ceci s'explique par la pureté des matériaux utilisés et les technologies de fabrication mises en œuvre de façon à assurer l'interchangeabilité des thermocouples.

Lorsque le microvoltmètre doit se trouver à distance de la soudure de mesure (c'est le cas lorsque la température est très élevés), on remplace les câbles du thermocouple par des câbles d'extension pour ramener le signal à l'entrée du voltmètre. Ces câbles de moindre coût, sont notés ici XA pour celui connecté au chromel et XB pour celui connecté à l'alumel (voir figure 6).

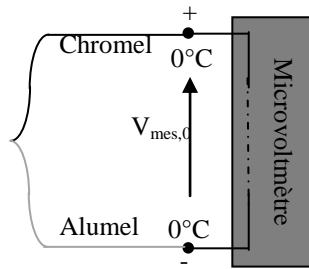


Figure 5 : Principe de la mesure

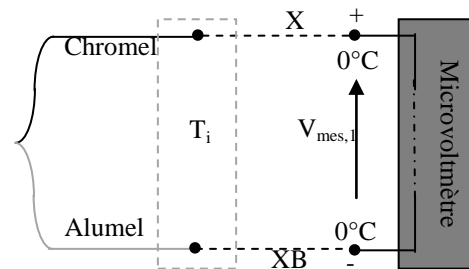


Figure 6 : Principe de la mesure avec câbles d'extension

Soit  $T_i$ , la température à laquelle se trouvent les jonctions entre les câbles d'extension et le thermocouple de mesure.

Quelle condition doit vérifier le couple XA-XB pour que la présence des câbles d'extension ne modifie pas la mesure à savoir pour que l'on ait  $V_{mes,1} = V_{mes,0}$  ?

Quel problème se pose alors ? Comment peut-on y remédier ?

N.B Il est souhaitable de continuer le problème (page 134 –Les capteurs -50 exercices et problèmes corrigés).

### Exercice : Temps de réponse d'un capteur de lumière (photoconducteur) :

Parmi les capteurs optiques on peut distinguer les photodiodes. En effet, la photodiode peut fonctionner, suivant le point de fonctionnement (voir figure 1), en mode photoconducteur ou en mode photovoltaïque

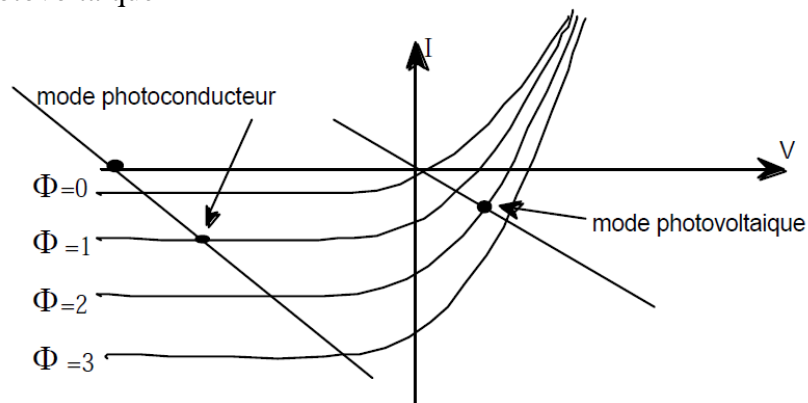


Figure 1 : points de fonctionnement des modes photoconducteur et photovoltaïque

Electriquement, les photodiodes sont équivalentes à des sources de courant (somme du courant d'obscurité et du courant de lumière) en parallèle avec la résistance et la capacité de la jonction polarisée en inverse. L'impédance de charge de la photodiode peut toujours se ramener à une résistance  $R_L$  en parallèle avec une capacité  $C_L$ .

**Enoncé** : La caractéristique courant-tension d'une photodiode est donnée sur la figure 2. Cette photodiode est utilisée en mode photoconducteur suivant le schéma de la figure 3 :

1. Exprimer  $I_d$  en fonction de  $V_P - V_N$ .
2. Représenter graphiquement le point de fonctionnement ( $I_d$ ,  $V_P - V_N$ ) pour un flux  $\Phi_0$ .

3. On admet que  $I_d = k \Phi$  où  $k$  est une constante de proportionnalité. Comme dit précédemment, on peut présenter la photodiode par un générateur de courant est une résistance  $R_D$  on parallèle avec une capacité  $C_D$ . Donner l'origine physique est  $R_D$  et de  $C_D$ .

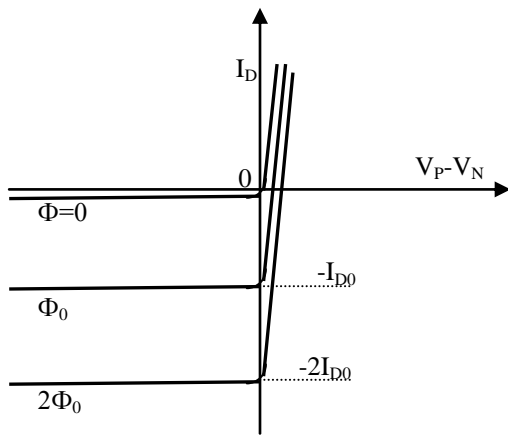


Figure 2 Caractéristique de la photodiode

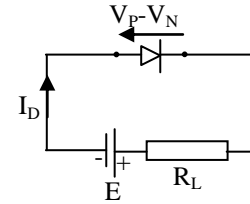


Figure 3 polarisation de la photodiode en mode photoconducteur

4. Montrer que le montage photoconducteur de la figure 3 se réduit à celui de la figure 4. Pour les valeurs numériques suivantes :  $R_D = 10^{11} \Omega$ ,  $R_D = 10^{11} \Omega$ ,  $C_D = 10 \text{ pF}$ . Donner les valeurs numériques de  $R$  et  $C$ .

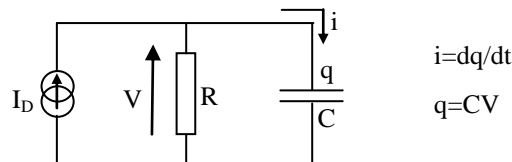


Figure 4 Schéma électrique équivalent

5. Etablir l'équation différentielle reliant  $V$  et  $I_D$ .

6. On suppose que pour  $t < 0$  le flux  $\Phi = 0$  ; et que pour  $t \geq 0$  le flux est constant (soit  $\Phi = \Phi_0$ ) Donner l'expression de  $V = f(t)$ .

7. Tracer  $V = f(t)$ . Calculer le temps de réponse  $\tau$  du système de la figure 4 .