

T.P.

Conception et mise en œuvre d'un capteur thermométrique

par Jean-Paul LAINE
Lycée Louis-Vincent - 57000 Metz

Préliminaires : Cette manipulation nécessite au totale environ 3 séances de T.P.

Elle recouvre différents thèmes du programme de l'option IESP (en classe de seconde) :

- étude d'un capteur (sensibilité, linéarité, temps de réponse...),
- mise en œuvre de circuits intégrés (A.O.) pour la réalisation d'une fonction donnée,
- utilisation de l'outil informatique pour l'acquisition des mesures et leur traitement.

Mis à part le matériel informatique, elle ne nécessite que du matériel et des composants d'usage courant. Pour notre part, nous avons utilisé une interface de type «ORPHY» associée au logiciel «REGRESSI».

BUT DU T.P.

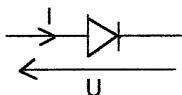
Réaliser un système mettant en jeu un capteur de température et un conditionneur associé permettant de délivrer en bout de chaîne une tension de sortie U_s variant entre 0 et 5 V pour des températures comprises entre 0°C et 100°C.

Remarque : la tension maximum de 5 V a été retenue en fonction des possibilités de l'interface. Le convertisseur A/N étant sur 8 bits, la plus faible variation de tension détectable sera au mieux de $5/255$ V soit environ 20 mV, ce qui correspond à environ 0,3°C théoriquement.

1. LE CAPTEUR DE TEMPÉRATURE

Il s'agit d'une simple diode de redressement (type 1N4002 ou 1N4006 par exemple) qui, lorsqu'elle est alimentée en courant constant (quelques mA), présente entre ses bornes une tension U variant quasi linéairement en fonction de la température θ du milieu ambiant.

Pour une diode au silicium de ce type et une intensité de courant de 1 mA, on a en moyenne les valeurs suivantes : $U_0 = 0,7$ V à 0°C et $U_{100} = 0,5$ V à 100°C soit une sensibilité s de -2 mV par degré.



1.1. Le générateur de courant

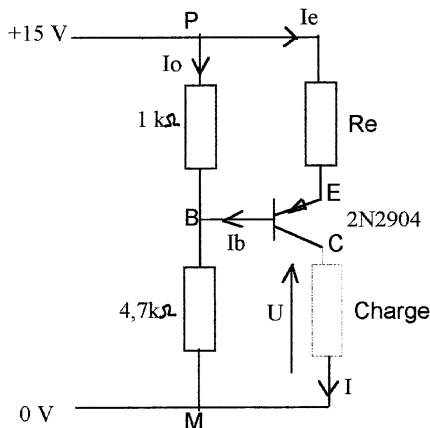
La solution retenue ici met en jeu un transistor PNP. On pourra utilement faire étudier au préalable les performances du montage en y incorporant diverses charges (conducteurs ohmiques de diverses valeurs, accumulateur de 1,2 V...) et en particulier la diode utilisée.

Remarque : On peut également régler l'intensité I du courant dans la charge en agissant sur la valeur de la résistance d'émetteur R_e .

Montage :

$$\text{Hyp : } I_e \approx I \text{ et } I_b < I_0$$

$$V_{be} = 0,7 \text{ V}$$



Avec $R_e = 2 \text{ k}\Omega$, on a ici : $U_{BM} = 15 \cdot 4,7/5,7 = 12,4 \text{ V}$ soit $U_{EM} = 12,4 + 0,7 = 13,1 \text{ V}$ et $U_{PE} = 1,9 \text{ V}$.

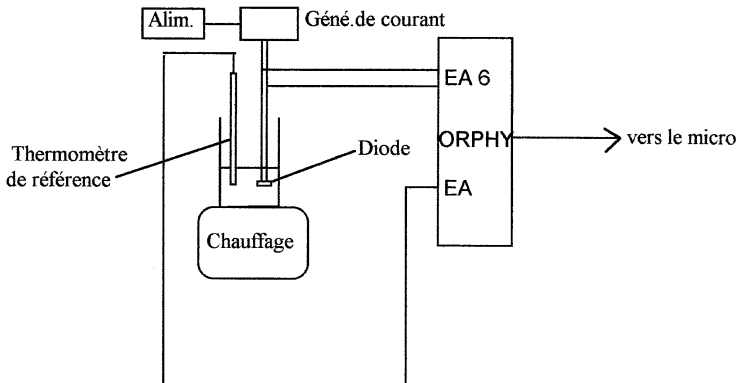
En conséquence $I_e = I = U_{PE}/R_e = 1 \text{ mA}$ environ.

Le montage peut être réalisé de toute pièce par les élèves mais il peut s'avérer commode de disposer de maquettes pré-construites réalisées sur circuit imprimé pour faciliter l'étude ultérieure.

1.2. Étude du capteur

Prévoir deux fils souples assez longs soudés aux bornes de la diode et ensuite gainer l'ensemble avec une gaine thermo-rétractable de façon à avoir une bonne étanchéité tout en conservant une inertie thermique faible. En effet, il sera nécessaire d'immerger la diode dans l'eau afin d'obtenir les températures voulues.

Manipulation : Immerger le capteur dans l'eau que l'on porte à ébullition (bêcher + plaque chauffante). On dispose d'un thermomètre «étalon» pour relever la température : thermomètre à mercure ou mieux une sonde de température pouvant s'adapter directement sur l'interface ORPHY. La diode étant alimentée par l'intermédiaire du générateur de courant, on la relie à l'une des entrées analogiques (E.A.) d'ORPHY de calibre 1 V et on procède à l'acquisition de la température et de la tension U aux bornes de la diode en laissant l'eau se refroidir naturellement.



Deux procédés selon le thermomètre de référence utilisé :

- «semi-automatique» en entrant au clavier les valeurs lues au thermomètre à mercure,

– «automatique» avec la sonde spéciale ORPHY en programmant une durée et un nombre de mesures.

Pour des températures inférieures à la température ambiante jusqu'à 0°C, on refroidit en ajoutant de l'eau glacée mais il faut prévoir une agitation pour homogénéiser le milieu.

1.3. Exploitation des résultats

On linéarise la courbe $U = f(\theta)$ et on détermine la sensibilité s du capteur en utilisant le logiciel «REGRESSI».

Remarque : on peut également étudier le temps de réponse du (ou des) capteur(s) en provoquant une brusque variation de température et enregistrer les phénomènes.

2. LE CONDITIONNEUR

Le but étant de réaliser une chaîne de mesures dont la sensibilité soit de + 50 mV/°C, il faut concevoir un montage pour à la fois :

- amplifier les variations de tension aux bornes de la diode,
- inverser le signe de cette tension,
- décaler le zéro c'est-à-dire avoir une tension de sortie $U_s = 0$ V à $\theta = 0^\circ\text{C}$.

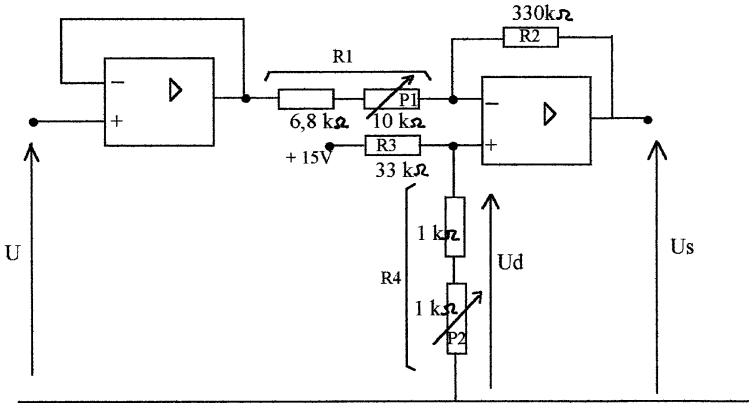
2.1. Montage

La solution retenue est un montage «amplificateur-inverseur» classique à base d'ampli. opérationnels (A.O.) avec décalage de tension en entrée.

Un premier A.O. monté en suiveur de tension évite de perturber le courant dans la diode qui doit être maintenu constant.

Le décalage en tension est réalisé par un montage potentiométrique à l'entrée E^+ de l'A.O.

Les potentiomètres P_1 et P_2 sont nécessaires pour effectuer par la suite l'étalonnage de la maquette et compenser les dispersions dans les valeurs de résistance.



On montre aisément que : $U_d = U_{cc} \cdot \left(R_4 / (R_3 + R_4) \right)$

et que : $U_s = - \left(R_2 / R_1 \right) \cdot U + \left(1 + R_2 / R_1 \right) \cdot U_d$

Avec les valeurs indiquées et en prenant $U = 0,7 \text{ V}$ à 0°C et $U = 0,5 \text{ V}$ à 100°C , on détermine, compte tenu des valeurs de U_s demandées, les valeurs de l'amplification R_2/R_1 et de la tension de décalage U_d .

Soit ici : $R_2/R_1 = 25$ et $U_d = 0,67 \text{ V}$ (soit $R_3/R_4 = 22$).

2.2. Étalonnage de la chaîne de mesures

Points fixes :

- Placer la diode dans la glace fondante et agir sur P_2 de façon à avoir $U_s = 0 \text{ V}$.
- Placer la diode dans la vapeur d'eau bouillante et agir de même sur P_1 pour obtenir $U_s = 5 \text{ V}$.

Reprenre alternativement ces deux réglages jusqu'à bonne reproductibilité.

Vérification de la linéarité : on procède de la même manière que dans l'étude du capteur seul en réalisant une acquisition de mesures par

l'intermédiaire d'ORPHY puis un traitement par REGRESSI (relation entre U_s et θ).

3. CONCLUSIONS

Cette manipulation donne de bons résultats et le «thermomètre» ainsi réalisé peut être mis en œuvre par la suite pour réaliser d'autres travaux. Citons par exemple des mesures calorimétriques (chaleur de réaction, étude d'un changement d'état physique), une régulation de température ou une étude de la variation de conductivité d'une solution ionique en fonction de la température.

Ce dispositif et quelques applications ont été mis au point par une équipe de collègues au lycée «Louis Vincent» à Metz dans le cadre de l'option IESP en classe de seconde.