

Montage 24 : Capteurs ; principes physique caractéristique et application.

Introduction

Les capteurs sont des dispositifs qui permettent de transformer une grandeur physique (température, champ magnétique,...) en une grandeur généralement électrique. Exemple : sonde à effet Hall, balance, thermomètre,...

Remarque : Faire une petite expérience avec une photorésistance reliée à un ohmmètre et montré que la résistance varie en fonction de l'éclairement. Relever les valeurs pour ensuite réutiliser cette même photorésistance dans l'éclairage du réverbère.

Il existe plusieurs type de capteur dont:

- Les **Actifs** qui génère une tension(ou intensité) en fonction de la grandeur physique mesurée (photodiode, sonde à effet Hall,...)
- Les **Passifs** dont leurs impédance est fonction de la grandeur physique mesurée (thermistance, photorésistance,...)

Afin d'identifier et comparer différents capteurs entre eux ont regarde d'importantes caractéristiques qui leur sont propre tel quel la sensibilité, le temps de réponse, la sensibilité, la reproductibilité,...

I) Capteur de température.

❖ Principe de fonctionnement

Thermistance : Résistances sensibles aux variations de température, composé d'oxydes métalliques semi-conducteur. Il en existe 2 types:

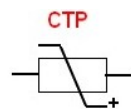
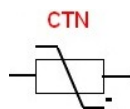
Capteur a Température Négative

Quand T augmente

R diminue.

Equation de la forme : $R_{ctn} = A \exp(B/T)$

Avec: A (resp B) coefficient Positif (resp négatif) et T température absolue (en K)



Capteur a Température Positive

Quand T augmente

R augmente.

R_{ctp} suit une loi linéaire

Remarque : Dans le cas de la CTN on peut la linéarisée en traçant $\ln(R_{ctn}) = f(1/T)$ car $\ln R = \frac{B}{T} + \ln a$
La pente = B nous donne le gap (voir annexe semi conducteur) car $B = \frac{qEg}{2k}$ d'où $Eg = \frac{B2k}{q}$

Résistance métallique : composée d'un métal dont la résistance varie en fonction de la température

Ex : la résistance de platine (R_{pt}) dont la résistance varie linéairement en fonction de la température selon une loi du type $R = R_0 (1 + AT)$ avec A coefficient positif, T en °K et R₀ résistance à 0°C.

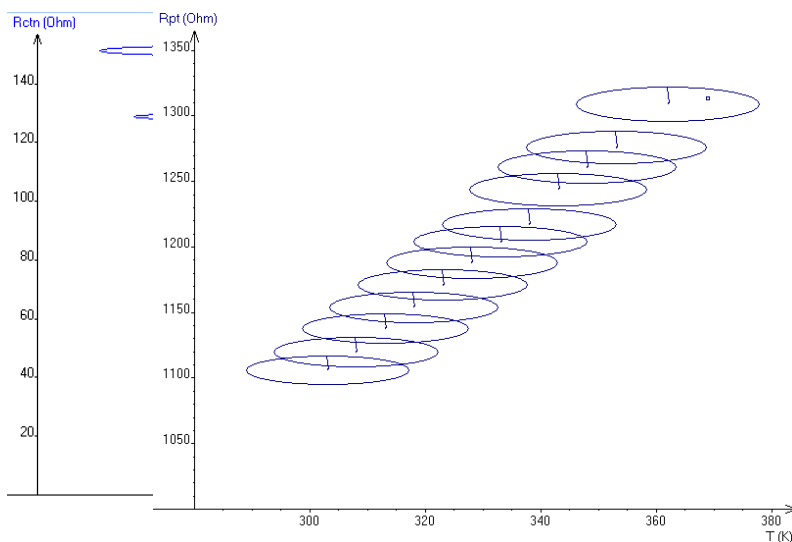
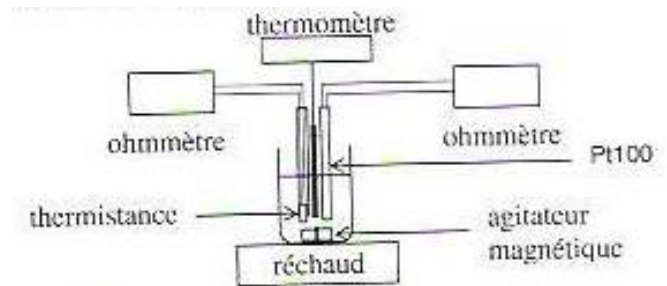
❖ Vérification expérimentale des lois pour la résistance de platine et la CTN

Penser en préparation de mettre l'eau à chauffer (environ 100°) afin de ne pas perdre de temps par la suite. La gamme de température pour l'expérience est de 10 à 90 °C.

On relève la résistance de la CTN et de la résistance de platine en fonction de la température. Modélisation de $R = f(T)$:

Pour les incertitudes il faut se référer à la doc des appareils de mesure.

On vérifie les modèles

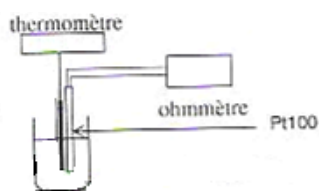


Dans la mesure du possible on modélise les courbes sur Regressi afin de vérifier les modèles (cela ne marche pas tout le temps pour la CTN)

❖ Température d'une solution inconnue.

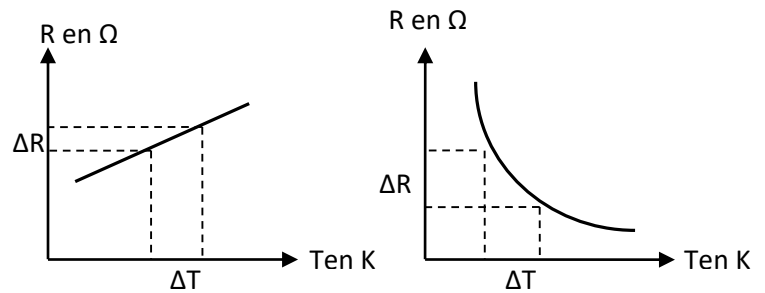
Pour la résistance de platine se servir de la droite d'étalonnage pour trouver la température inconnue d'un b cher rempli d'eau.

Il suffit de reporter la valeur de la Résistance sur la courbe d'étalonnage de la résistance de platine tracée précédemment afin de retrouver la température de la solution inconnue.



Sensibilité : CTN plus sensible à basse température. En effet pour un même écart de température la variation de la résistance est plus importante à basse température qu'à haute.

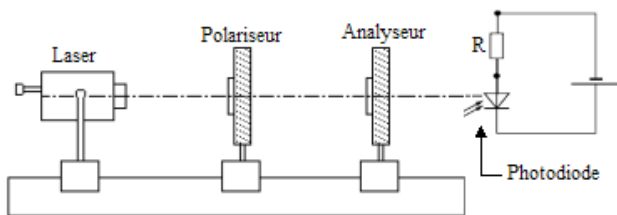
Remarque : Il se peut que l'on puisse comparer la sensibilité des 2 capteurs (cela dépend des capteurs utilisés), mais si possible il faut discuter du fait que pour un même ΔT on a pas un même ΔR . Le capteur ayant un ΔR le plus important est le plus sensible pour cette gamme de température.



II) Capteur de lumière.

❖ Linéarité d'une photodiode.

Lorsque l'on polarise la photodiode en inverse il n'y a pas de courant qui circule dans le circuit puisque la photodiode est dans le sens bloquant. Cependant lorsqu'elle est soumise à un rayonnement de longueur d'onde λ (le laser) il y a création de paires électron-trou et déplacement de charge dans la zone de déplétion ce qui crée un courant inverse.

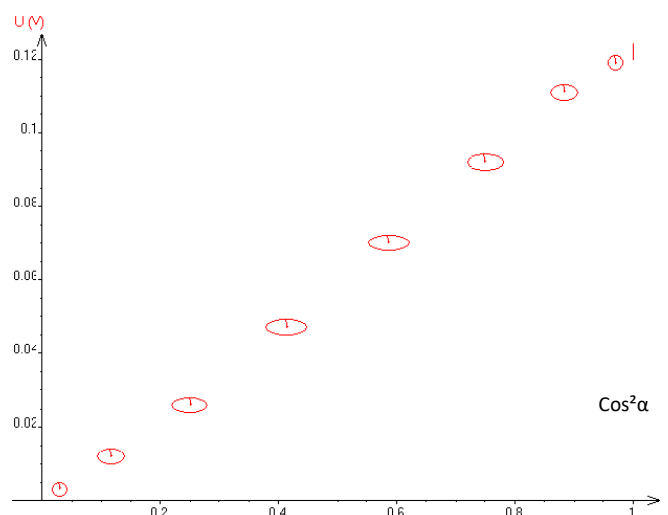


Afin de faire varier l'intensité lumineuse éclairant la photodiode et qui obéit à la loi de Malus $I = I_0 \cos^2 \alpha$. On fait varier l'angle α entre le polariseur et l'analyseur et on trace $U = f(\cos^2 \alpha)$

La linéarité étant vérifiée on explique le fait que les photodiodes puissent être utilisées dans les caméras CCD ainsi qu'en photographies (capteur CMOS).

Remarque :

- Si le laser est déjà polarisé il n'est pas nécessaire d'utiliser 2 polariseurs, 1 seul suffit
- La longueur d'onde du laser dépend de la photodiode utilisée. En effet il faut vérifier pour quel longueur d'onde la photodiode est la plus sensible, et il faut essayer de s'en rapprocher.



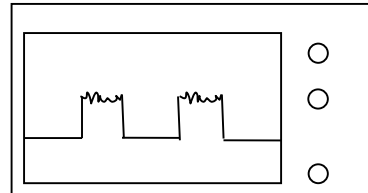
❖ Temps de relaxation.

Il correspond au temps que met le capteur pour retrouver sa résistance initial après une sollicitation lumineuse.

Pour ce faire on utilise le même montage que précédemment mais en remplaçant l'analyseur et le polariseur par un hacheur (disque troué tournant, alimenté par un moteur). Le dispositif ainsi réalisé émet des impulsions lumineuse qui ont pour effet de créer un courant inverse dans le circuit par le biais de la photodiode.

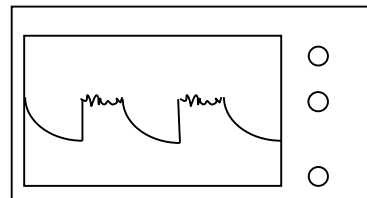
On relève l'intensité dans le circuit en branchant cette fois un oscilloscope aux bornes de la résistance de 1 K Ω .

On visualise pour la photodiode
Ici les temps de relaxation est quasi-instantané



On réalise le même montage mais cette fois en remplaçant la photodiode par une photorésistance.

On visualise pour la photorésistance
Dans ce cas le temps de relaxation est plus long

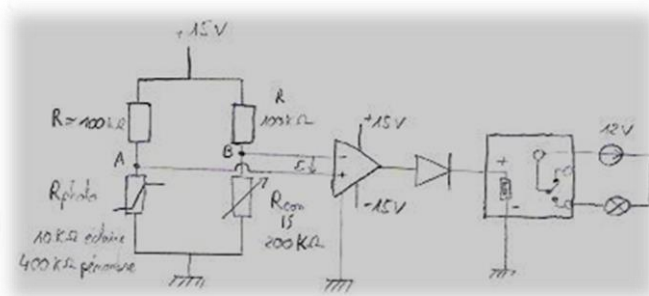


Remarque :

- Pour augmenter la tension visualisée à l'oscilloscope il suffit d'augmenter la résistance.
- Cette manip peut nous permettre de retrouver la fréquence de rotation du moteur. En effet on peut visualiser la période (respectivement la fréquence) qui sépare 2 pulses à l'aide de l'oscilloscope

❖ Application : Allumage d'un réverbère.

Le choix des résistances dépend de la photorésistance utilisé. En introduction on a relevé la résistance d'une photorésistance lorsque celle-ci est éclairée et lorsqu'elle est dans la pénombre ($R_{\text{pénombre}} > R_{\text{éclairé}}$). On utilise également une résistance variable qui va nous servir pour fixer la consigne du détecteur.



- Si $R_{\text{photo}} > R_{\text{var}}$ alors $V_b < V_a$ et $\epsilon > 0$ donc $V_{\text{sat}} = +15V \Rightarrow$ relais en position fermé : la lampe brille.
- Si $R_{\text{photo}} < R_{\text{var}}$ alors $V_b > V_a$ et $\epsilon < 0$ donc $V_{\text{sat}} = -15V \Rightarrow$ relais en position ouverte : la lampe ne brille pas.

Démonstration

Diviseur de tension.

$$\left. \begin{aligned} V_A &= \frac{R_{photo}}{R_{photo} + R} \times E \\ V_B &= \frac{R_{con}}{R_{con} + R} \times E \end{aligned} \right\} E = V_A - V_B = \left(\frac{R_{photo}}{R_{photo} + R} - \frac{R_{con}}{R_{con} + R} \right) E = \left(\frac{1}{1 + \frac{R}{R_{photo}}} - \frac{1}{1 + \frac{R}{R_{con}}} \right) E$$

Si $R_{photo} > R_{con} \Rightarrow \frac{1}{1 + \frac{R}{R_{photo}}} > \frac{1}{1 + \frac{R}{R_{con}}}$

d'où $E > 0$ ou a dc + $V_{sat} = 15V$

Conclusion

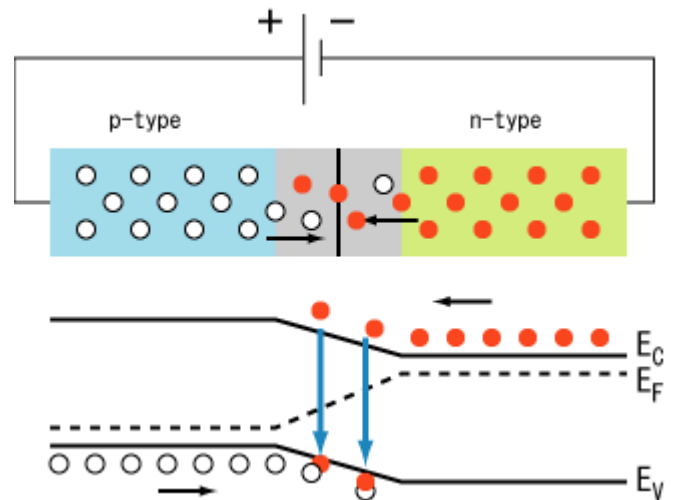
Les capteurs sont utilisés quotidiennement : on les retrouve partout, notamment dans nos voitures, il y a des capteurs de température pour contrôler la température du moteur, du liquide de refroidissement, ... Un dysfonctionnement de ces capteurs peut entraîner de graves conséquences d'où leur grande importance.

Annexes

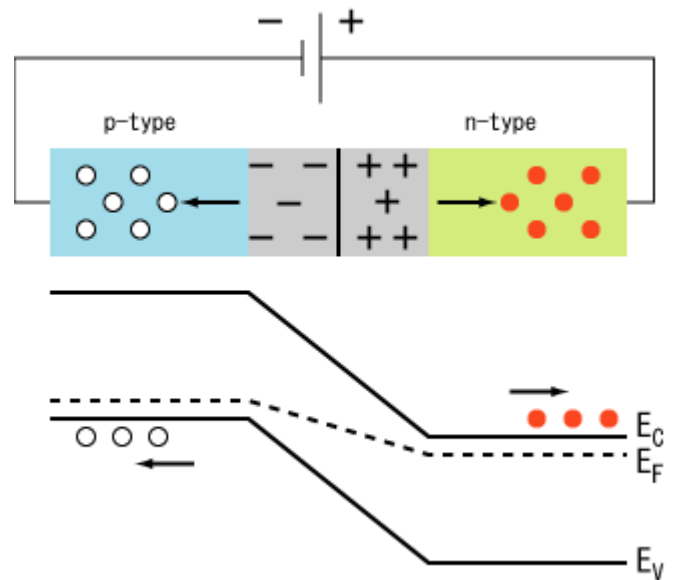
Fonctionnement d'une diode à jonction P-N

Une *jonction P-N* est créée par la mise en contact d'un semi-conducteur (Silicium, Germanium,...) dopé N (éléments de la colonne V ; Phosphore, arsenic, antimoine,...) et d'un semi-conducteur dopé P (élément colonne III ; Bore,...).

Si l'on applique une tension positive du côté de la région P, les porteurs majoritaires positifs (les trous) sont repoussés vers la jonction. Dans le même temps, les porteurs majoritaires négatifs du côté N (les électrons) sont attirés vers la jonction. Arrivés à la jonction, soit les porteurs se recombinent (un électron tombe dans un trou) en émettant un photon éventuellement visible (LED), soit ces porteurs continuent leur course au travers de l'autre semi-conducteur jusqu'à atteindre l'électrode opposée : le courant circule, son intensité varie en exponentielle de la tension.



Si la différence de potentiel est inversée, les porteurs majoritaires des deux côtés s'éloignent de la jonction, bloquant ainsi le passage du courant à son niveau. Ce comportement asymétrique est utilisé notamment pour redresser le courant alternatif.



Comportement des semi-conducteurs

Le comportement des semi-conducteurs, comme celui des métaux et des isolants est décrit via la théorie des bandes. Ce modèle stipule qu'un électron dans un solide ne peut prendre des valeurs d'énergie comprises dans certains intervalles que l'on nomme « bandes », plus spécifiquement bandes permises, lesquelles sont séparées par d'autres « bandes » appelées bandes d'énergie interdites ou bandes interdites.

Lorsque la température du solide tend vers le zéro absolu, deux bandes d'énergie permises jouent un rôle particulier:

- la dernière bande complètement remplie, appelée « bande de valence »
- la bande d'énergie permise suivante appelée « bande de conduction »

La bande de valence est riche en électrons mais ne participe pas aux phénomènes de conduction (pour les électrons). La bande de conduction, quant à elle, est soit vide (comme aux températures proches du zéro absolu dans un semi-conducteur) soit semi-remplie (comme dans le cas des métaux) d'électrons. Cependant c'est elle qui permet aux électrons de circuler dans le solide.

Dans les conducteurs (métaux), la bande de conduction et la bande de valence se chevauchent. Les électrons peuvent donc passer directement de la bande de valence à la bande de conduction et circuler dans tout le solide.

Dans un semi-conducteur, comme dans un isolant, ces deux bandes sont séparées par une bande interdite, appelée couramment « gap ». L'unique différence entre un semi-conducteur et un isolant est la largeur de cette bande interdite, largeur qui donne à chacun ses propriétés respectives.

Dans un isolant cette valeur est si grande (aux alentours de 6 eV pour le diamant par exemple) que les électrons ne peuvent passer de la bande valence à la bande de conduction: les électrons ne circulent pas dans le solide.

Dans les semi-conducteurs cette valeur est plus petite (1,12 eV pour le silicium, 0,66 eV pour le germanium, 2,26 eV pour le phosphore de gallium). Si on apporte cette énergie (ou plus) aux électrons, par exemple en chauffant le matériau, ou en lui appliquant un champ électromagnétique, ou encore dans certains cas en l'illuminant, les électrons sont alors capables de passer de la bande de valence à la bande de conduction, et de circuler dans le matériau.

