

# TP7φ : Capteur de température à l'aide d'une diode

## Objectifs pédagogiques du TP :

- Mesurer une tension, un courant et une résistance de manière directe et indirecte.
- Étudier et visualiser la caractéristique d'un dipôle non-linéaire.
- Mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental.

### Matériel disponible :

- Générateur basse fréquence, alimentation stabilisée, deux multimètres, plaquette d'acquisition Sysam SP5.
- Résistance 1 kΩ, diode à jonction semi-conductrice, module générateur de courant, platine de montage.

## Travail demandé

Dans un compte-rendu, vous expliquerez clairement les **objectifs**, les **protocoles** mis en œuvre, les **observations** et **mesures** réalisées puis effectuerez une **analyse** critique des résultats en évaluant les incertitudes de mesures.

### 1. Montage simple-alternance et caractéristique d'une diode :

- Réaliser le montage redresseur simple alternance avec une diode, une résistance  $R = 1 \text{ k}\Omega$  et une alimentation sinusoïdale d'amplitude  $E_0 = 5 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 100 \text{ Hz}$ . Acquérir la tension d'alimentation  $e(t)$ , la tension  $u_R(t) = Ri(t)$  aux bornes de la résistance et la tension  $u(t)$  aux bornes de la diode.
- Tracer la caractéristique  $I(U)$  de la diode dans une nouvelle fenêtre. À l'aide d'un ajustement affine dans la zone passante, déterminer la tension seuil  $U_s$  ainsi que la résistance apparente  $R_d$ .

### 2. Réalisation d'un capteur de température à l'aide d'une diode :

- Mesurer, en fonction de la température  $T$ , la tension seuil  $U(T)$  aux bornes de la diode passante alimentée par une source de courant  $I_0 \simeq 2 \text{ mA}$  puis effectuer un ajustement affine en prenant les températures en kelvins. Évaluer l'o.d.g. de l'énergie  $E_g$  du gap à l'aide des valeurs obtenues.

### 3. Bonus : caractéristique du générateur de courant :

- Évaluer la caractéristique  $I(U)$  du générateur de courant en le faisant débiter dans une résistance variable. En déduire la résistance interne  $r$  et le courant de court circuit  $I_0$  pour un réglage à 50%.

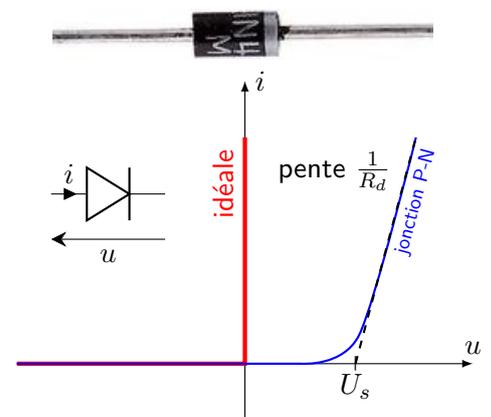
## I La diode : un dipôle non-linéaire

### I.1 Diode à jonction P-N semi-conductrice

Une diode idéale est un dipôle non-linéaire et non-symétrique qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens, sans lui opposer de résistance. Lorsqu'elle est traversée par un courant, la diode est dite "passante" et oppose une résistance nulle. Lorsqu'elle est branché dans l'autre sens, elle est dite "bloquante" et elle oppose une résistance infinie.

Les diodes réelles, à jonction P-N de semi-conducteurs, présentent des écarts au modèle idéal : elles ne laissent passer le courant qu'au delà d'une tension seuil  $U_s \simeq 0,5 \text{ V}$  et elle oppose alors une très faible résistance apparente

$R_d = \frac{du}{di}$ , appelée résistance dynamique.



- Lorsqu'elle est bloquante ( $u < U_s$ ), elle se comporte comme un interrupteur ouvert :

- Lorsqu'elle est passante ( $i > 0$ ), elle se comporte comme un générateur idéal de force contre é.m.  $U_s$  associé

à une résistance  $R_d$  faible : Ainsi,  $u = U_s + R_d \times i$ .

### I.2 Caractéristique courant-tension d'une diode

- La caractéristique courant-tension  $I(U)$  d'une diode à jonction semi-conductrice est donnée par la relation de

SCHOCKLEY :  $I = I_s \left[ \exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right) - 1 \right]$  où  $k_B$  est la constante de BOLTZMANN,  $T$  la température,  $e$  la charge élémentaire,  $U$  la tension aux bornes de la diode et  $I_s$  le courant inverse de saturation.

• Ce courant inverse de saturation s'exprime en fonction de la température et de l'énergie  $E_g$  du gap semi-conducteur :  $I_s(T) = KT^3 \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right)$ , valable lorsque  $k_B T \ll E_g$ .  $K$  est une constante qui dépend des matériaux utilisés. **O.d.g.** : pour la plupart des diodes,  $E_g \simeq 1$  eV et  $k_B T \simeq 25$  meV à température ambiante  $T = 300$  K.

### 1.3 Influence de la température

• Quand la diode est polarisé en direct (passante), on a  $\exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right) \gg 1$  donc  $I = KT^3 \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right)$ .

En passant aux logarithmes, on obtient 
$$U = \frac{E_g}{e} - \frac{k_B T}{e} (3 \ln T + \ln K - \ln I).$$

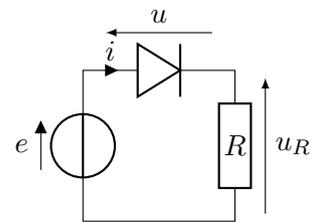
• Pour des températures variant de 0°C à 100°C,  $\ln T$  varie très peu. Si l'on fixe  $I$ , par exemple avec un générateur de courant, la tension aux bornes de la diode est une fonction affine de la température : 
$$U = -aT + b.$$

**O.d.g.** : Comme  $E_g \simeq 1$  eV,  $b \simeq 1$  V. Pour  $I = 5$  mA et  $T = 300$  K, on obtient  $a \simeq 2.10^{-3}$  V.K<sup>-1</sup>.

## II Montage redresseur simple alternance

Pour transformer une tension sinusoïdale en tension continue, la première étape consiste généralement en un **redressement** du signal. Le redressement idéal consiste à prendre la valeur absolue  $|e|$  de la tension  $e$  de sorte à obtenir un signal dont la valeur moyenne n'est plus nulle. Il suffit ensuite de filtrer ce signal par un moyenneur pour obtenir une tension continue. On réalise ce montage, appelé double-alternance, à l'aide de quatre diodes.

On se propose ici d'étudier une version simplifiée qui se contente de ne conserver que la partie positive du signal  $e$ . Ce montage, appelé **simple-alternance**, ne nécessite qu'une diode mais ne conserve que la moitié de la valeur moyenne.



- Lorsque la diode est passante, on a  $u \simeq U_s$  donc  $u_R = e - U_s$ .
- Lorsque la diode est bloquante,  $i = 0$  donc  $u_R = 0$  et on obtient  $u = e$  : la diode est bloquante lorsque  $e < U_s$ .

## III Générateur de courant continu

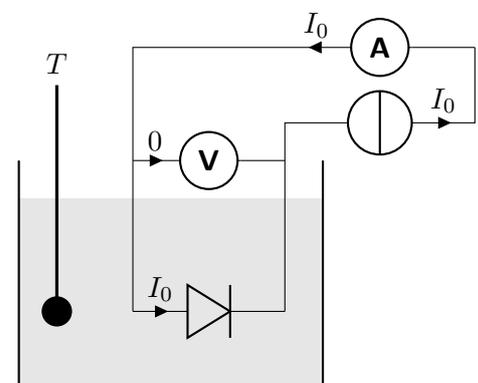
Le générateur de courant utilisé est un module pour platine de montage.

- Il nécessite une alimentation continue extérieure +15/0 V reliée entre la borne ◦ +15 et la borne ◦ 0.
- Le potentiomètre central permet d'ajuster la valeur  $I$  du courant délivré.
- La borne ◦ S est La sortie du générateur. On referme le circuit sur la borne ◦ 0.



## IV Capteur de température à diode – montage expérimental

On remplit d'eau un ballon en verre, disposé sur un chauffe ballon. On place ensuite la diode et le thermomètre de référence dans le ballon. La diode est reliée à un générateur de courant. On mesure le courant qui parcourt la diode à l'aide d'un ampèremètre et la tension à ses bornes à l'aide d'un voltmètre.



- Au cours de la manipulation, on veillera à ce que le courant  $I_0$  alimentant la diode soit constante.
- À l'aide du chauffe ballon, on fait varier la température  $T$  de l'eau, que l'on mesure avec un thermomètre.
- Pour plusieurs températures  $T$ , on mesure la tension  $U(T)$  aux bornes de la diode. Cette tension est supposé varier de façon affine avec la température :  $U = -aT + b$ .