

Complément du TP3 : AO Applications

1. Détecteur de Température

Une résistance NTC est une résistance non linéaire dont la valeur décroît avec la température d'où son sigle anglais NTC pour Negative Temperature Coefficient. Sa valeur nominale désigne la valeur de la résistance à température ambiante de **25°C** lorsque la puissance dissipée est nulle. Son inertie thermique relativement grande impose une stabilisation de la tension à ses bornes avant toute mesure.

Sa caractéristique est donnée sous forme d'un diagramme tension/courant à échelles logarithmiques. L'effet Joule devant être négligeable, il convient de limiter au maximum le courant qui la traverse.

2. Détecteur de Distance

A travers son seul principe, la mesure de la lumière réfléchie par un objet, un capteur de distance impose de nombreuses contraintes:

- rayonnement de la diode électroluminescente D_1 aussi monochromatique (\rightarrow pas de confusion avec la lumière ambiante) et directif que possible ;
- sensibilité spectrale de la photodiode D_2 compatible avec le rayonnement de la LED ;
- isolation optique des deux diodes : la lumière reçue par la photodiode doit être représentative de la lumière réfléchie par l'objet.

Pratiquement, on utilise une diode GaAs infrarouge ($\lambda = 950 \text{ nm}$) et un photo-détecteur parfaitement couplé, de sensibilité spectrale centrée sur 950 nm. Le recours à une diode infrarouge écarte en partie l'influence non recherchée de la lumière ambiante - spectre du visible entre 400 et 750 nm.

On isole optiquement la photodiode de la diode en insérant cette dernière dans une sorte de pavillon. A défaut de celui-ci, on peut glisser une feuille cartonnée noire ou tout autre objet faisant office d'isolant optique. Physiquement, les deux diodes sont placées côte à côte et au bord de la plaque Hirshman afin d'éviter les réflexions parasites sur sa surface.

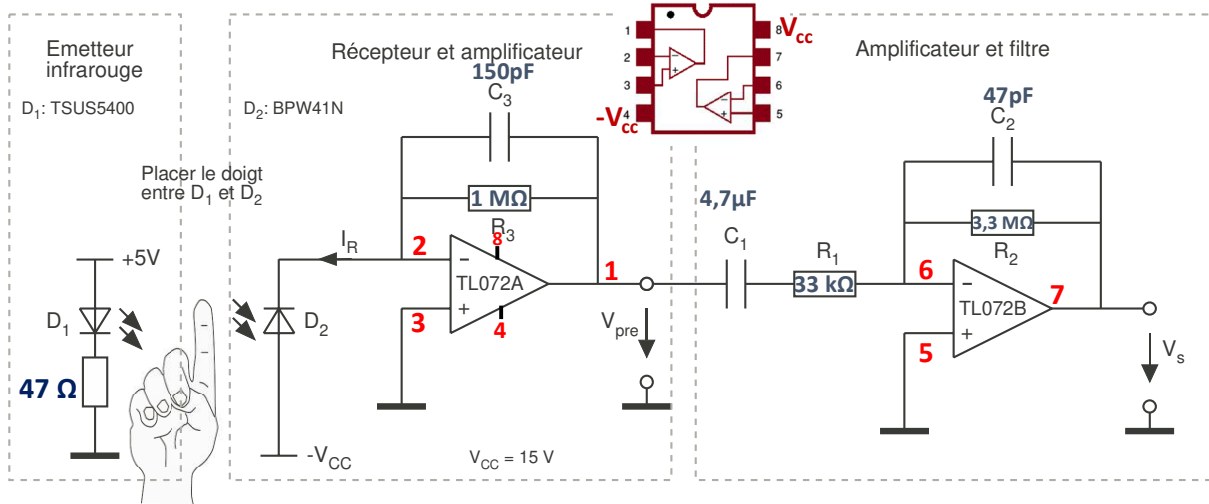
- a) Si $U_j = 1.3 \text{ V}$, $I = 0.09 \text{ A} \rightarrow R_1 = 41 \Omega$
- b) $P_{R1} = 0.35 \text{ W} \rightarrow$ On utilisera donc une résistance normal de 47Ω (valeur normalisé) ou $82\Omega/82\Omega$ par précaution.
- c) Comme le choix des diodes est dicté par la gamme des distances à mesurer, la calibration du capteur est liée aux caractéristiques des objets dont on veut évaluer la distance. La quantité de lumière réfléchie par un objet dépend tout à la fois de sa section et de l'indice de réflexion de sa surface.

Dans le cas présent, les critères d'étalonnage reposent sur l'hypothèse d'une gamme de mesure de 10 cm et d'un objet non ponctuel similaire au papier blanc.

$R_2 = 750 \text{ k}\Omega \rightarrow$ pratiquement **$R_2 = 820 \text{ k}\Omega$**

- b) Pôle $f_p = 10 \text{ Hz} \rightarrow C = 1/2\pi f_p R_2 \approx 20 \text{ nF}$

3. Mesure optique du pouls (PPG)



1- Emetteur infrarouge

L'émetteur est composé d'une diode infrarouge avec une résistance série limitant le courant à $I_e = 90$ [mA]. Calculer la valeur de R pour la tension d'alimentation spécifiée ($V_+ = 5$ [V]), sachant que la tension de jonction vaut $U_j \approx 1.3$ [V].

On peut appliquer la loi d'Ohm sur la résistance R :

$$R = \frac{V_+ - U_j}{I_e} = \frac{5 - 1.3}{0.09} = 41 \Omega \text{ (valeur normalisée } 47 \Omega \text{ ou } 82 \Omega // 82 \Omega)$$

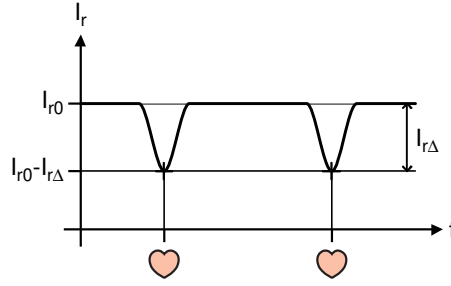
On notera que la puissance dissipée dans cette résistance est relativement importante:

$$P = \frac{U_R^2}{R} = \frac{(V_+ - U_j)^2}{R} = \frac{(5 - 1.3)^2}{39} = 0.35 \text{ W}$$

On utilisera donc une résistance normal ou $82 \Omega // 82 \Omega$ par précaution.

2- Récepteur & Préamplificateur

La photodiode polarisée en inverse est traversée par un courant proportionnel à l'intensité lumineuse reçue. Entre les battements cardiaques, on a un courant de repos $I_{r0} = 8$ [μA]. La diminution du courant correspondant à une pulsation cardiaque vaut $I_{r\Delta} = 40$ [nA]:



On considère tout d'abord le circuit en ignorant C_3 . Calculer:

- a) La valeur de R_3 qui donne une tension de sortie au repos (entre les battements cardiaques) égale à $V_{cc}/2$.

Le courant de repos I_{r0} est également celui qui traverse la résistance R_3 . La tension de sortie au repos vaut donc:

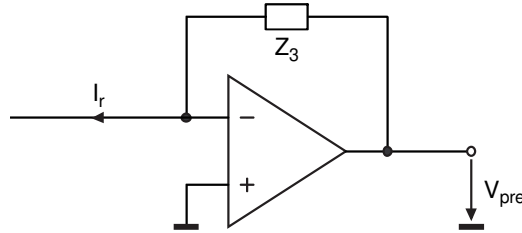
$$V_{pre0} = R_3 I_{r0} \rightarrow R_3 \approx 1 \text{ M}\Omega \text{ (valeur normalisée)}$$

Lors d'un battement cardiaque, la tension de sortie du préamplificateur diminue de:

$$V_{pre\Delta} = R_3 I_{r\Delta} \approx 40 \text{ mV}$$

On introduit C_3 . Calculer:

- b) La fonction de transfert $\underline{H}_{pre}(j\omega) = \underline{V}_{pre}(j\omega)/\underline{I}_r(j\omega)$ du préamplificateur. Tracer le diagramme de Bode (unité dBΩ).



L'impédance complexe utilisée en contre-réaction de l'amplificateur vaut:

$$\underline{Z}_3(j\omega) = R_3 // C_3 = \frac{R_3 \frac{1}{j\omega C_3}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}} = \frac{R_3}{1 + j\omega R_3 C_3}$$

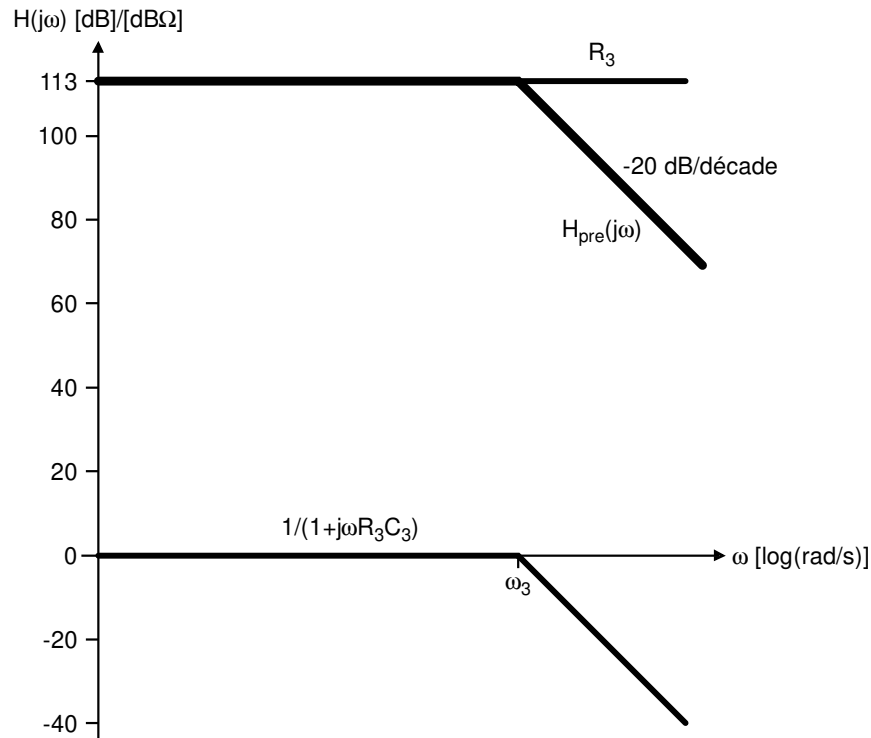
On a donc:

$$\underline{H}_{pre}(j\omega) = \frac{\underline{V}_{pre}(j\omega)}{\underline{I}_r(j\omega)} = \underline{Z}_3(j\omega) = \frac{R_3}{1 + j\omega R_3 C_3} = \frac{R_3}{1 + j \frac{\omega}{\omega_3}}$$

Cette fonction correspond à un filtrage passe-bas, avec un pôle en:

$$\omega_3 = \frac{1}{R_3 C_3} [\text{rad/s}]$$

Le diagramme de Bode de la fonction $\underline{H}_{\text{pre}}(j\omega)$ est:



- c) La valeur de C_3 qui permet de couper les fréquences plus hautes que $f_{\text{max}} = 1 [\text{kHz}]$ (filtrage passe-bas).

On a:

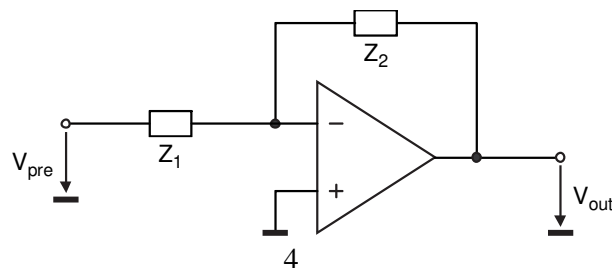
$$f_{\text{max}} = \frac{\omega_3}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_3 C_3}$$

Ce qui donne:

$$C_3 = \frac{1}{2\pi R_3 f_{\text{max}}} \approx 150 \text{ pF (valeur normalisée)}$$

3: Filtre passe-bande

- a) Calculer la fonction de transfert $\underline{H}_{\text{filtre}}(j\omega) = \underline{V}_{\text{out}}(j\omega)/\underline{V}_{\text{pre}}(j\omega)$ du filtre.



La fonction de transfert de ce montage vaut:

$$\underline{H}_{\text{filtre}}(j\omega) = \frac{V_{\text{out}}(j\omega)}{V_{\text{pre}}(j\omega)} = -\frac{\underline{Z}_2(j\omega)}{\underline{Z}_1(j\omega)}$$

avec:

$$\underline{Z}_1(j\omega) = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1 + j\omega R_1 C_1}{j\omega C_1}$$

et

$$\underline{Z}_2(j\omega) = R_2 \parallel C_2 = \frac{R_2 \frac{1}{j\omega C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

En remplaçant, on obtient:

$$\begin{aligned} \underline{H}_{\text{filtre}}(j\omega) &= -\frac{\underline{Z}_2(j\omega)}{\underline{Z}_1(j\omega)} = -\frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{j\omega C_1}{1 + j\omega R_1 C_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1} \\ &= -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}} \cdot \frac{j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}} \end{aligned}$$

où:

$-\frac{R_2}{R_1}$ est le gain constant dans la bande passante ($\omega_1 \ll \omega \ll \omega_2$),

$\frac{1}{1 + j\omega R_2 C_2}$ une fonction de transfert passe-bas avec un pôle en $\omega_2 = \frac{1}{R_2 C_2} [\text{rad/s}]$, et

$\frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1}$ une fonction de transfert passe-haut avec un zéro en $\omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1} [\text{rad/s}]$.

On a donc bien globalement un filtrage passe-bande.

- b) On fixe $R_2 = 3.3 [\text{M}\Omega]$. Calculer la valeur de R_1 afin de donner au filtre un gain de 100 (en valeur absolue) dans la bande passante.**

En utilisant l'équation pour le gain dans la bande passante obtenue au point précédent, on obtient:

$$-100 = -\frac{R_2}{R_1} \Leftrightarrow R_1 = \frac{3.3 \cdot 10^6}{100} = 33 [\text{k}\Omega]$$

- c) Calculer C_1 et C_2 afin que les fréquences plus basses que f_{\min} et plus hautes que f_{\max} soient coupées (filtrage passe-bande).

On a:

$$f_{\min} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad ; \quad f_{\max} = \frac{\omega_2}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

Ce qui donne:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi R_1 f_{\min}} = \frac{1}{2\pi \cdot 33 \cdot 10^3 \cdot 1} \cong 4.8 [\mu F] \text{ (valeur normalisée } 4.7 \mu F)$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi R_2 f_{\max}} = \frac{1}{2\pi \cdot 3.3 \cdot 10^6 \cdot 10^3} \cong 48 [pF] \text{ (valeur normalisée } 47 pF)$$

- d) Tracer le diagramme de Bode du filtre.

