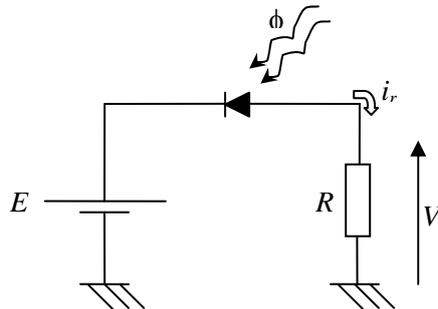


## EPREUVE D'INSTRUMENTATION

**EXERCICE I : Mesure du flux avec une photodiode. (10 points)**

Un montage simple permettant de mesurer un flux lumineux est représenté sur la figure 1. La photodiode polarisée en inverse se comporte comme un générateur idéal de courant en parallèle avec une capacité  $C$ . L'intensité débitée ( $i$ ) par le générateur de courant est proportionnelle au flux lumineux reçu ( $\phi$ ):  $i = S_d \phi$  où  $S_d$  est la sensibilité de la diode. On suppose que cette sensibilité est indépendante de la fréquence de variation de  $\phi$ , dans le domaine habituel de variation. Ce montage expérimental linéaire délivre un signal de sortie sous la forme d'une tension  $V$  aux bornes de la résistance.

**Figure 1.**

1/ Donner l'unité de  $S_d$ .

2/ Représenter le schéma équivalent du montage.

3/ Donner l'équation caractéristique de ce système linéaire. Quel est son ordre ?

4/ En se plaçant en régime statique ou quasi-statique (variations de flux peu rapides), donner l'équation reliant le flux lumineux avec la tension mesurée. Définir le gain statique de ce dispositif.

5/ On considère maintenant des signaux lumineux variables. Calculer la réponse harmonique du système et donner son gain dynamique et sa réponse en phase.

6/ Calculer la fréquence de coupure du système sachant que  $R = 1000 \Omega$  et que la capacité de la photodiode est  $C = 10\text{nF}$ .

7/ A quelle fréquence maximale peut on utiliser ce dispositif pour une perte de moins de 1% par rapport au gain statique nominal ?

8/ Calculer le temps d'établissement à 2% de ce système.

## EXERCICE II : Performances de conditionneurs. (10 points)

On souhaite mesurer de faibles variations de température autour de  $T = 0^\circ\text{C}$ . Pour cela on envisage un capteur dont la résistance varie avec la température. Deux montages sont envisagés. Le premier concerne le montage potentiométrique décrit sur la figure 1. Le capteur de résistance  $R_C$  placé en série avec une résistance  $R_1$  est alimenté par une source de tension continue d'amplitude  $E$ . Le deuxième montage est un montage en pont représenté sur la figure 2. Il est constitué de 4 résistances, dont 3 identiques de valeur  $R_1$  et celle associée au capteur  $R_C$ , et d'une alimentation en tension continue d'amplitude  $E$ .

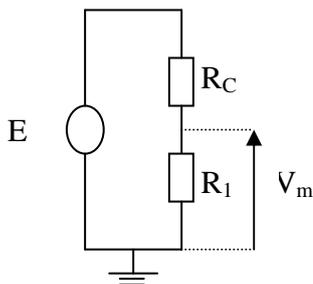


Figure 1.

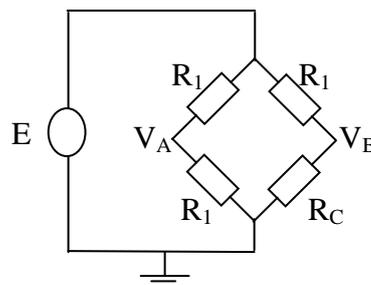


Figure 2

1/ Déterminer pour le montage potentiométrique l'expression de  $V_m$  en fonction des éléments du circuit (Figure 1). Ce conditionneur est-il linéaire ?

2/ Déterminer pour le montage en pont l'expression de  $V_m = V_A - V_B$  en fonction des éléments du circuit (Figure 2). Ce conditionneur est-il linéaire ?

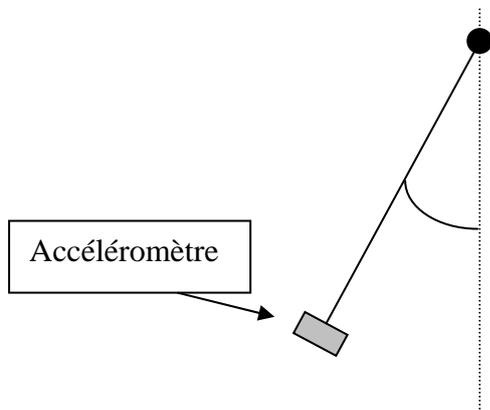
3/ La variation de température autour de  $T = 0^\circ\text{C}$  induit de faibles variations  $\Delta R_C$  telles que  $\Delta R_C \ll R_{C0}$ .  $R_{C0}$  est la résistance du capteur mesurée à  $T = 0^\circ\text{C}$ . Pour chacun des montages, les résistances  $R_1$  sont telles que  $R_1 = R_{C0}$ . Déterminer la sensibilité des conditionneurs pour chaque montage. Lequel des deux est le plus sensible aux variations  $\Delta R_C$  ?

4/ La source de tension n'étant pas parfaite, une composante fluctuante  $\Delta E$  se rajoute à la tension continue  $E$ . Calculer la variation de tension  $\Delta V_m$  induite par  $\Delta E$  pour chacun des montages. Lequel de ces deux montages est le moins sensible aux fluctuations  $\Delta E$  ?

5/ Parmi les deux montages, lequel vous paraît le plus performant ? Justifier votre réponse.

### EXERCICE III : Optimisation d'une chaîne de mesure. (10 points)

On souhaite faire la mesure de l'accélération associée à un pendule pesant. Celui-ci oscille librement autour de sa position d'équilibre à sa fréquence propre  $F_p = 125\text{Hz}$ . Un accéléromètre uniaxe est placé à son extrémité (Figure 3). Il mesure la composante tangente à son déplacement.



**Figure 3**

L'accéléromètre est un capteur différentiel résistif et linéaire qui permet de transformer le mesurande 'm' en tension ' $V_C$ '. Le schéma équivalent du capteur est un générateur de tension parfait délivrant la tension ' $V_C$ ', associé à une résistance ' $R_C = 10^5 \Omega$ ' en série générant un bruit blanc résistif. On rappelle que la densité spectrale de bruit blanc associée à une résistance est donnée par la relation ' $e_b = \sqrt{4k_B T R_C}$ ', où  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ , et  $T$

la température ambiante ( $T = 290^\circ\text{K}$ ). La tension de sortie ' $V_C$ ' varie dans la plage  $-1\text{mV}$ ,  $+1\text{mV}$ .

Le signal est ensuite filtré, amplifié, et numérisé. Le convertisseur analogique numérique peut convertir des tensions comprises entre  $-10$  et  $10\text{V}$ . Plusieurs convertisseurs sont possibles, 8-12-16 bits.

1/ Quelle est l'unité de la sensibilité du capteur ?

2/ Le signal de sortie est un signal sinusoïdal variant à la fréquence  $F_P$ . Il est filtré par un filtre passe bande centré sur  $F_P$  et de largeur  $2\Delta F = 20\text{Hz}$ . En première approximation, on considérera que le gain du filtre est tel que :  $G(F) = 1$  pour  $(F_P - \Delta F) < F < (F_P + \Delta F)$ , et 0 sinon.

a)- Calculer la tension efficace de bruit en sortie du filtre. Etablir l'expression du rapport signal sur bruit 'r'.

b)- On souhaite que  $r < 1\%$  lorsque le signal  $V_C$  est maximal. Est-ce que le filtre est bien adapté ? Sinon, que faudrait-il faire ?

3/ On considère l'amplificateur différentiel décrit sur la figure 4. Il comporte deux AO que l'on considérera idéaux. Le système comprend 4 résistances  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$ . Les tensions d'entrées sont  $V_1$  et  $V_2$ , la tension de sortie après amplification  $V$ .

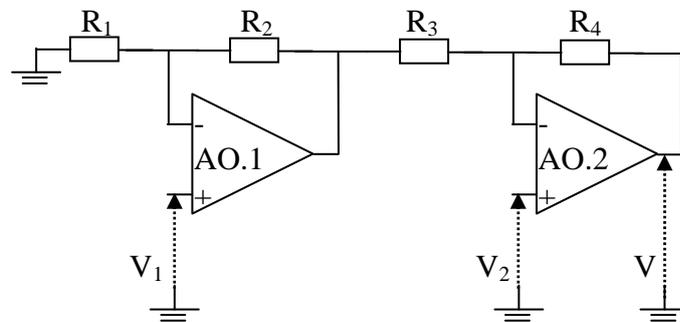


Figure 4.

On définit la tension de mode commun  $V_{mc} = (V_1 + V_2)/2$ , et la tension différentielle

$V_d = V_2 - V_1$ . Le gain différentiel est donné par l'expression :  $G_d = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{R_4}{R_3} \left( 2 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right]$ . Le gain de

mode commun est donné par l'expression :  $G_{mc} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 R_3}$ .

**a)** Quel doit être le gain différentiel et le gain de mode commun afin d'optimiser la chaîne ?

**b)**-Quel choix de résistance faut-il réaliser pour cela ? Justifier votre réponse.

**4/** Parmi les CAN disponibles, lesquels peuvent être utilisés ? Justifier votre réponse.