

**EPREUVE D'INSTRUMENTATION****EXERCICE I : Linéarisation parallèle et sensibilité d'une thermistance. (8 points)**

On considère une thermistance dont l'équation caractéristique est :

$$R = R_0 \exp [B(1/T - 1/T_0)] \text{ avec } B = 4250 \text{ K}, T_0 = 273 \text{ K}, R_0 = 1.23 \text{ k}\Omega$$

1. Donner l'expression de la sensibilité du capteur et calculer cette sensibilité. Ce capteur est-il linéaire ? Justifier.

2. On souhaite linéariser ce capteur en montant en parallèle une deuxième résistance fixe ( $R_1$ ). Donner l'expression de la résistance  $R_s$  équivalente à  $R_1$  et  $R$  en parallèle.

3. Quelle est la valeur de  $R_1$  qui permet que l'ensemble des deux résistances  $R_1$  et  $R$  soit linéaire autour d'une température de  $0^\circ\text{C}$  ?

Indication : Calculer la dérivée seconde de  $R_s$  par rapport à  $T$  et annuler cette expression.

4. Quelle est la sensibilité de cet ensemble linéarisé. Conclure.

5. Les résistances étant mesurées à  $0,1 \Omega$  près, calculer la plus petite variation de température décelable au voisinage de  $\theta = 100^\circ\text{C}$  dans les deux cas (capteur seul et capteur linéarisé).

**EXERCICE II : Amplificateur différentiel à 2 amplificateurs opérationnels. (10 points)**

On considère l'amplificateur différentiel décrit sur la figure 1. Il comporte deux AO que l'on considèrera 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  $V$ .

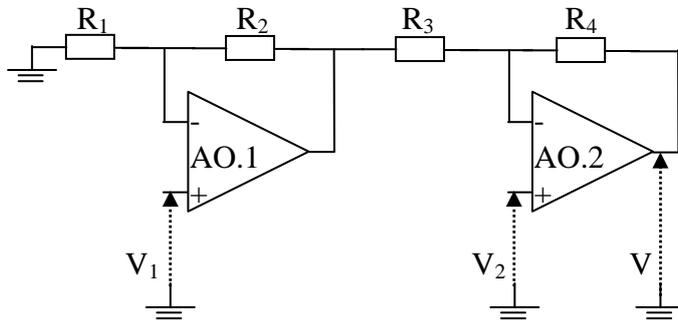


Figure 1

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

**A. Choix des résistances et propriétés.** Le gain différentiel est donné par l'expression :

$$G_d = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{R_4}{R_3} \left( 2 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right]. \text{ Le gain de mode commun est donné par l'expression : } G_{mc} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 R_3}.$$

1. Quel choix de résistance faut-il réaliser pour obtenir un gain différentiel égal à 1001 ? Justifier votre réponse.

2. La tolérance sur les résistances étant de 1%, calculer le gain de mode commun dans le pire des cas.

3. Calculer le taux de rejection de cet amplificateur différentiel.

**B. Bande passante et gain dynamique.** Pour chacun des amplificateurs opérationnels constituant ce montage, le gain  $A$  en boucle ouverte en fonction de la fréquence  $F$  est donné

$$\text{par } A = \frac{A_o}{1 + j \frac{F}{F_{CO}}}. \text{ } A_o \text{ est le gain en boucle ouverte continu égal à } 10^5, \text{ et } F_{CO} = 10\text{Hz la}$$

fréquence de coupure.

1. Calculer la fréquence de gain unité  $F_U$  de chaque amplificateur opérationnel.

2. Le gain différentiel en fonction de la fréquence du montage à deux amplificateurs opérationnels est donné par l'expression :  $G_d(F) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{1}{1 + jF/F_{C2}} \frac{1 + jF/(2F_{C1})}{1 + jF/F_{C1}}$ ,

où,  $F_{C1} = \frac{F_U}{1 + R_2/R_1}$ , et  $F_{C2} = \frac{F_U}{1 + R_1/R_2}$ .

Montrer que pour  $R_1 \gg R_2$ , le gain différentiel ne dépend en première approximation que de ces deux résistances et de  $F_{C2}$ .

3. Déterminer le gain à fréquence nulle de ce montage et sa fréquence de coupure. Pour un gain statique de 1001, quelle sera la fréquence de coupure ( $F_C$ ) ?

### **EXERCICE III : Optimisation d'une chaîne de mesure. (8 points)**

On souhaite faire la mesure du niveau de liquide dans un réservoir de forme cubique d'une contenance de 1000 litres en fonction du temps, et numériser cette information. Pour cela, un flotteur est libre de se déplacer verticalement ; la mesure de sa position permet donc de remonter au volume restant dans le réservoir. Elle est déterminée grâce à un capteur de position qui mesure la position du flotteur. La fréquence haute des variations à mesurer est de  $F_H = 100$  Hz. L'ensemble, capteur / conditionneur délivre une tension nulle pour un volume nul, et une tension de 0.5mV, lorsque le niveau est maximal, c'est à dire pour un volume de 1000 litres. De plus, il génère un bruit blanc dont la tension efficace de bruit est de  $e_{b\_eff} = 5 \cdot 10^{-6}$  V.

Pour l'acquisition, l'utilisateur dispose de plusieurs CAN unipolaires qui digitalisent entre 0-1V, de résolution 8, 12, 16, 32 bits. La fréquence d'échantillonnage est fixée à 10 kHz, la résolution devra permettre de mesurer des variations de 2 litres au minimum.

1. Quelles sont l'unité et la sensibilité de l'ensemble capteur-conditionneur ?

2. Quelle est l'étendue de mesure de cette chaîne ?

**3.** La tension fournie en sortie de l'ensemble capteur/conditionneur est filtrée à l'aide d'un filtre passe-bas de type Butterworth de fréquence de coupure  $F_O$  et d'ordre  $k$ . Le module de la

réponse harmonique est donnée par :  $|H(F)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{F}{F_O}\right)^{2k}}}$

**a)** Etablir la relation entre ordre et fréquence de coupure du filtre pour que le signal restreint à sa fréquence haute  $F_H$  ne soit affaibli au maximum que d'une valeur  $\varepsilon \ll 1$ .

**b)** Calculer la fréquence de coupure minimale  $F_O$  pour un filtre d'ordre 2 et  $\varepsilon \ll 0.1\%$ .

**4.** Quel gain choisissez-vous pour l'amplification ?

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