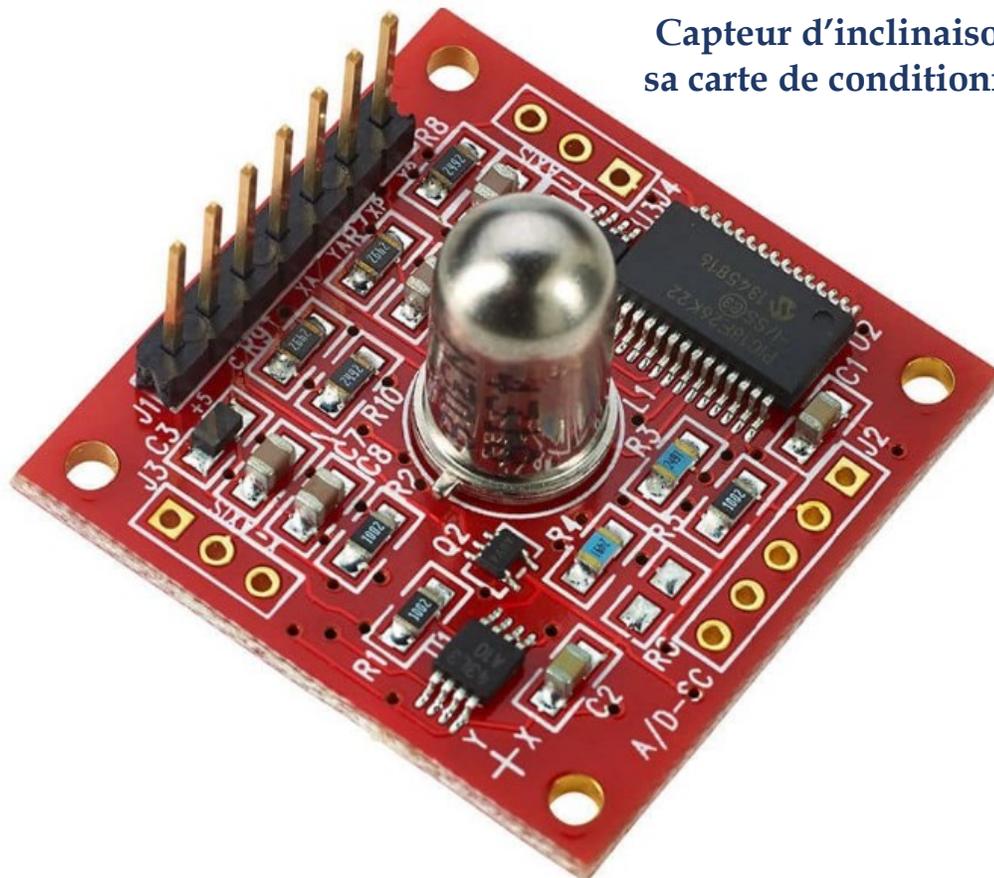


PARTIE**1**

La fonction ACQUERIR



Capteur d'inclinaison avec sa carte de conditionnement

LES CAPTEURS

Mise en situation

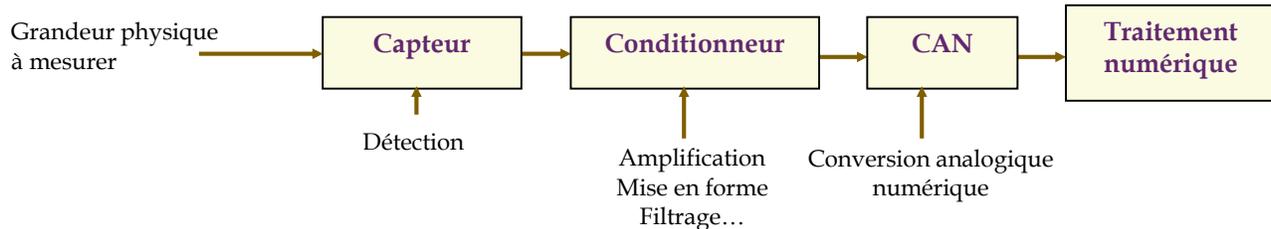
En automobile, tout devient électronique, l'injection, l'allumage, la climatisation, l'indicateur de vitesse du véhicule, la position des sièges, le freinage...

Tout cela est géré par des calculateurs à base de microprocesseur

Cependant, pour fonctionner, ces calculateurs ont besoin d'informations qui sont prélevées sur le moteur, la boîte de vitesse, les roues... C'est le rôle des capteurs.

Rappel de la chaîne d'acquisition

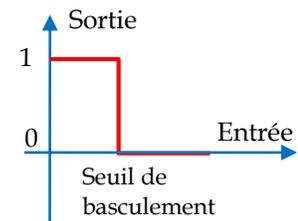
La chaîne d'acquisition d'un système technique permet de transformer une grandeur à mesurer en un signal électrique exploitable. Le traitement, lorsqu'il est numérique, fait appel à une adaptation analogique numérique



Selon la nature du signal de sortie, on peut classer les capteurs en 3 grandes catégories :

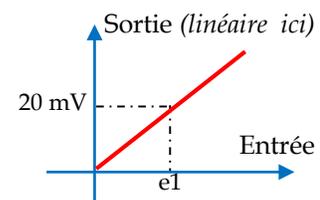
- Capteur logique ou Tout Ou Rien (TOR) : la sortie est binaire (information vraie ou fausse).
Exemples : détecteur de fin de course, thermostat

Caractéristique de transfert d'un capteur logique



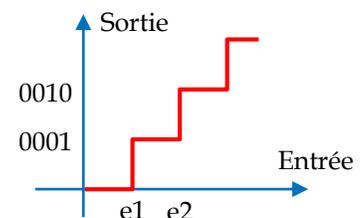
- Capteur analogique : la sortie varie de façon progressive (variation continue).
Exemples : thermocouple, dynamo tachymétrique

Caractéristique de transfert d'un capteur analogique



- Capteur numérique : la sortie varie par échelons.
Exemple : codeur absolu

Caractéristique de transfert d'un capteur numérique



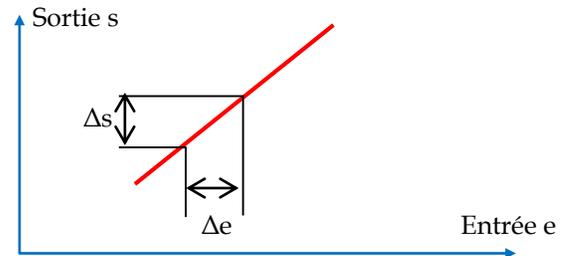
Caractéristiques des capteurs

⇒ La sensibilité

C'est le rapport entre la variation de la grandeur de sortie et celle de la grandeur d'entrée $S = \Delta s / \Delta e$

⇒ La linéarité

Un capteur est linéaire si sa caractéristique de transfert $s=f(e)$ est linéaire donc si sa sensibilité est constante dans toute sa plage d'emploi



⇒ Autres caractéristiques : l'étendue de mesure, la précision, la fidélité et la rapidité

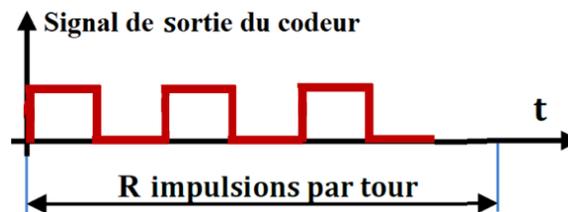
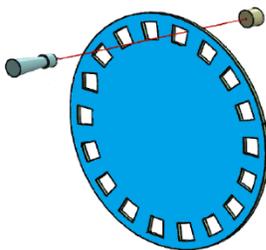
Les capteurs numériques

1. Codeur Incremental

L'élément principal est un disque portant une piste divisée régulièrement en secteurs alternativement opaques et transparents.

Autour de la piste, sont installés un émetteur et un récepteur de lumière.

Les impulsions émises par le codeur peuvent renseigner sur la position, sur la vitesse et sur le sens de mouvement



Résolution :

R = nombre de points/tour

Précision angulaire :

c'est la plus petite position angulaire détectée ; soit $\theta = \frac{360^\circ}{R}$ ou $\theta = \frac{2\pi}{R}$

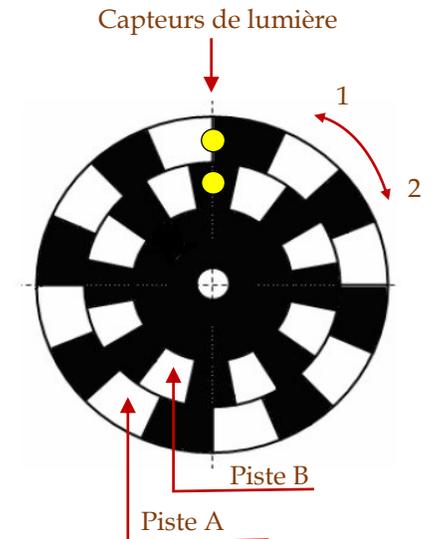
Vitesse de rotation :

$N = 60 \cdot \frac{f}{R}$ (N en tr/min ; f : fréquence du signal de sortie du codeur)

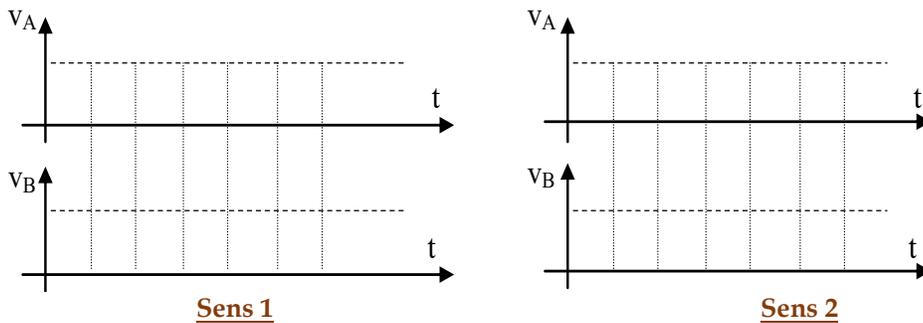
Application 3 : détection de sens de rotation

Principe : Analyse du déphasage entre les signaux des voies A et B

Le codeur est équipé de 2 pistes A et B décalées comme l'indique la figure. Chacune des pistes est dotée d'un capteur de lumière à base d'émetteur-récepteur

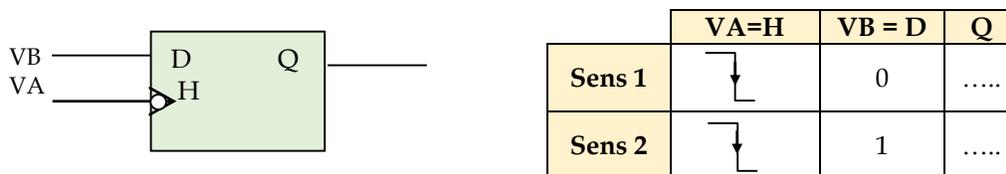


- Tracer l'allure des signaux v_A et v_B issus des capteurs A et B



- On relie les 2 sorties v_A et v_B à une bascule D puis on constate l'état de la sortie Q à chaque front descendant de l'horloge

Rappel : Pour une bascule D, à chaque front sur H, l'état de l'entrée D est transféré en sortie



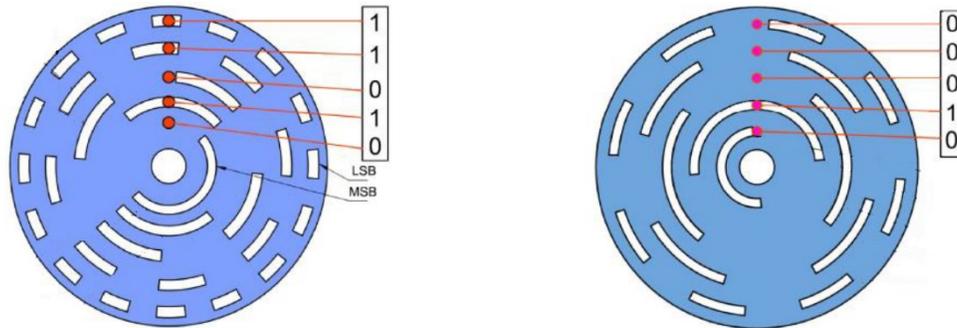
- Conclusion

On obtient une information logique qui correspond au sens de rotation. En effet, la sortie Q se maintient toujours à : 0 pour le premier sens et 1 pour le deuxième sens

2. Codeur absolu

Le codeur absolu génère le code numérique correspondant à la **position** d'un mobile, moyennant :

- Un disque codé le plus souvent en Gray et comportant N pistes
- Un ensemble de N émetteurs-récepteurs (un capteur de lumière par piste)



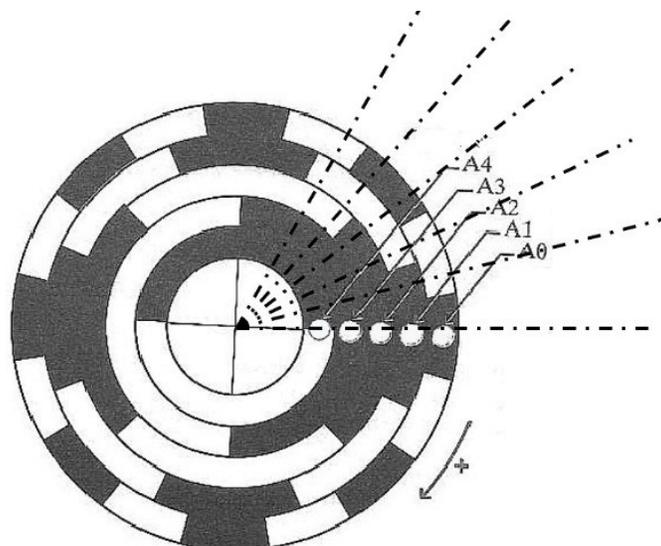
Résolution : $R = 2^n$ positions/tour

Précision angulaire : $\theta = \frac{360^\circ}{2^n}$

Exercice

Pour le codeur absolu fourni ci-dessous, donner :

- Le nombre de pistes :
- La résolution (nombre de positions possibles) :
- La précision en degrés (le plus petit angle qui provoque un changement du code de sortie) :
- Les codes numériques correspondant aux angles 22.5°, 45° et 46° :



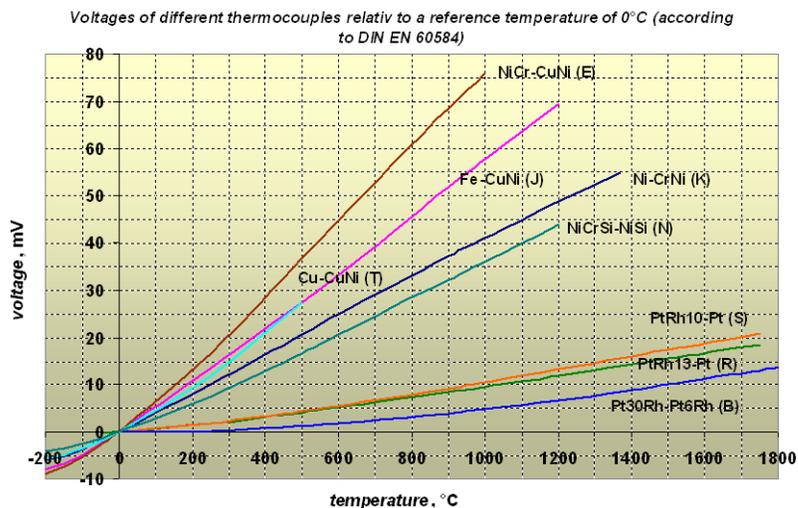
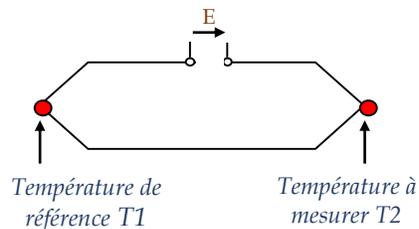
Angle (°)	0	22.5	45	46
Sortie numérique	0 0 0 0 0

Les capteurs analogiques

1. Capteur de température

⇒ Mesure par thermocouple

Un thermocouple est constitué de deux conducteurs de natures différentes reliés en 2 points. Une f.é.m E , fonction de la différence des températures T_1 et T_2 , apparaît entre ces deux points



⇒ Mesure par thermistance

Une thermistance est constituée d'un matériau semi-conducteur. Sa résistance varie en fonction de la température

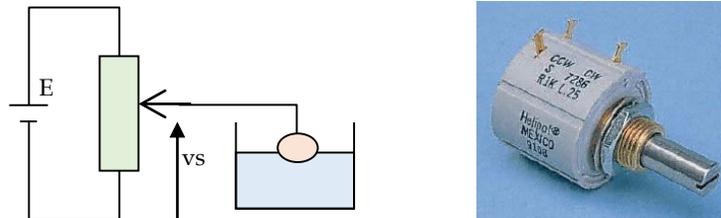
On distingue deux types de thermistances : les CTN et les CTP

- Les CTN (Coefficient de Température Négatif) sont des thermistances dont la résistance diminue de façon uniforme avec la température.
- Les CTP (Coefficient de Température Positif) sont des thermistances dont la résistance augmente fortement avec la température

4. Capteur de déplacement ou de position

⇒ Capteur résistif linéaire ou angulaire

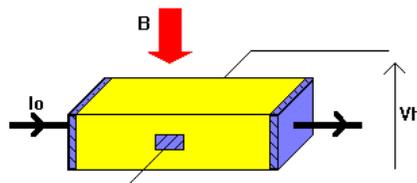
Essentiellement utilisé pour mesurer des déplacements linéaires ou angulaires (Jauge de carburant, niveau de cuve...), il utilise le principe du montage potentiométrique permettant d'obtenir une relation directe entre la tension v_s et le déplacement



5. Effet Hall

Si un courant I_0 traverse un barreau conducteur immergé dans un champ magnétique B perpendiculaire à I_0 , une tension V_h dite de Hall, proportionnelle au champ magnétique et au courant I_0 , apparaît sur les faces latérales. Les capteurs à Effet Hall permettent de :

- Réaliser des capteurs de position et de vitesse sans contact, utilisés notamment dans l'automobile (boîte à vitesse, cardans,...)
- Mesurer les champs magnétiques (Teslamètres)
- Mesurer l'intensité des courants électriques : capteurs de courant à Effet Hall.



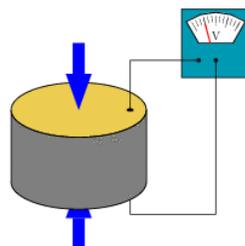
6. Piézoélectricité

La piézoélectricité est la propriété que possèdent certains corps de :

- Générer une tension sous l'action d'une contrainte mécanique
- Se déformer sous l'effet d'une tension électrique (effet piézoélectrique inverse)

Le plus connu des matériaux piézoélectriques est sans doute le quartz, toujours utilisé aujourd'hui dans les montres pour générer des impulsions d'horloge

Application : capteur de pression, d'accélération, de force...



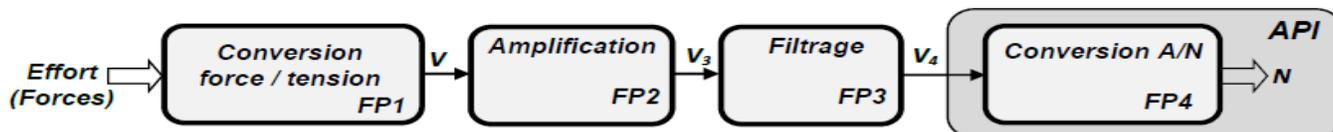
Exercices

Exercice 1 : Examen national 2019, session normale

A. ETUDE DE LA CHAÎNE D'ACQUISITION DES FORCES DE SERRAGE ET DE FORGEAGE

Si l'effort exercé par les électrodes sur les tôles n'est pas respecté, la qualité des soudures sera médiocre. Un contrôle des forces de serrage et de forgeage est donc indispensable.

Ci-dessous, le schéma fonctionnel de la chaîne de mesure des forces exercées sur les tôles :



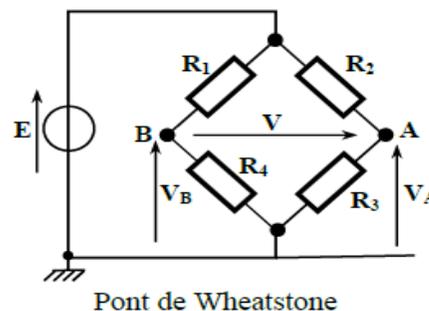
Tâche 1 : Étude de la fonction FP1

La mesure des forces de serrage et de forgeage se fait à l'aide d'un capteur de force à jauges d'extensométrie (voir image ci-contre).



Ce capteur comporte 4 jauges de contrainte identiques montées en pont de Wheatstone (figure ci-contre).

- R_1 et R_3 : Jauges qui travaillent en extension, avec :
 $R_1 = R_3 = R_0 + \Delta R$ avec R_0 : résistance au repos.
- R_2 et R_4 : Jauges qui travaillent en compression, avec :
 $R_2 = R_4 = R_0 - \Delta R$ avec R_0 : résistance au repos.
- La variation relative $\frac{\Delta R}{R_0}$ de la résistance d'une jauge est liée à l'effort F par la relation : $\frac{\Delta R}{R_0} = K \times F$ avec $K = 4.10^{-7} \text{ N}^{-1}$.



Pont de Wheatstone

Question : 28. Exprimer les tensions V_A et V_B en fonction de E , R_0 et ΔR .

[2 pts]

Question : 29. Montrer alors que : $V = E \frac{\Delta R}{R_0}$.

[1 pt]

Question : 30. En déduire l'expression de V en fonction de F (prendre $E = 10 \text{ V}$).

[1 pt]

Question : 31. Quelle est alors la valeur de la sensibilité s du capteur en $\mu\text{V}/\text{N}$?

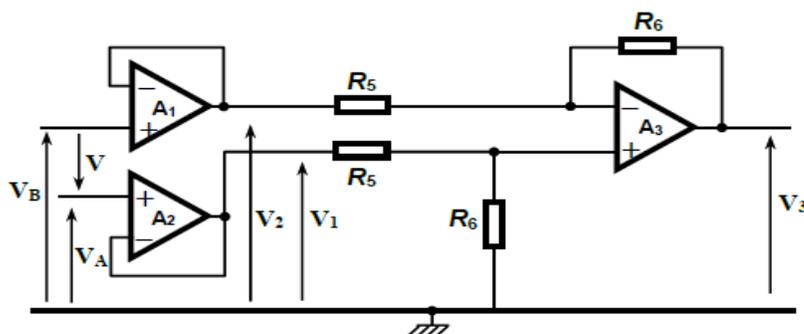
[1 pt]

Question : 32. Calculer la valeur V_{MAX} de V qui correspond à l'effort maximal $F_{\text{MAX}} = 2500 \text{ N}$.

[1 pt]

Tâche 2 : Étude de la fonction FP2

Le schéma de l'étage FP2 est donné ci-contre, les amplificateurs opérationnels (A_1 à A_3) sont supposés parfaits.



Question : 33. Quel est le rôle des amplificateurs opérationnels A_1 et A_2 montés en suiveurs ?

[1 pt]

Question : 34. Sachant que $V = V_1 - V_2$, Montrer que $V_3 = \frac{R_6}{R_5} \cdot V$

[4 pts]

Question : 35. On donne $R_6 = 100 \text{ k}\Omega$. Calculer R_5 pour obtenir $V_3 = 0,5 \text{ V}$ lorsque $F = 2500 \text{ N}$.

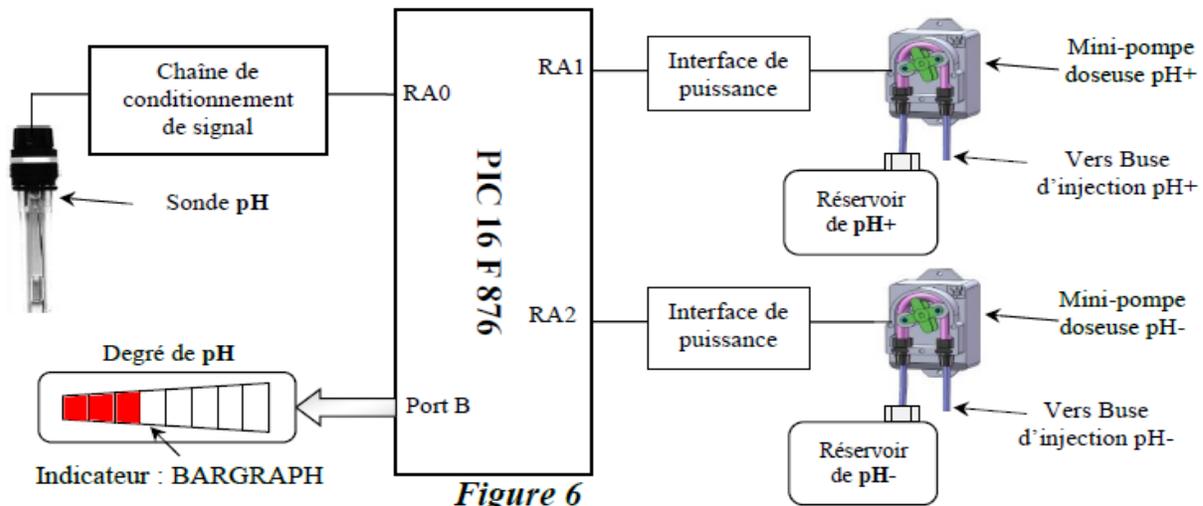
[2 pts]

Exercice 2 : Examen national 2019, session de rattrapage

Le **pH** (degré d'acidité : valeur sans unité) est un élément de mesure de la qualité de l'eau. Une eau parfaite pour la baignade a un **pH** de 6,9 à 7,7.

Pour contrôler le degré d'acidité de l'eau de la piscine, on installe un système de régulation (**Figure 6**), qui mesure le pH de l'eau grâce à une sonde **pH**.

En fonction des écarts constatés, ce système de régulation injecte des produits chimiques (pH+ ou pH-) dans le circuit de l'eau grâce à deux **mini-pompes**.

**Tâche 1 : Acquisition, conditionnement et numérisation du signal**Acquisition du pH :

La sonde **pH** est munie de deux électrodes. Entre ces deux électrodes apparaît une tension électrique **E**, image du degré du pH, dont l'expression est : $E = E_0 - 1,984 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot pH$

Avec :

- **E**: tension entre les deux électrodes (en Volt) ;
- **E₀**: tension standard de l'électrode de référence (en Volt) ;
- **T**: température absolue en °K (on rappelle que : $T (^{\circ}K) = T (^{\circ}C) + 273$) ;
- **pH** : degré d'acidité de l'eau.

L'expression $a = 1,984 \cdot 10^{-4} \cdot T$ représente la pente théorique de la fonction de transfert de la sonde (**a** en Volt (V) et **T** en Kelvin (°K)).

Q.35- Calculer les valeurs numériques de **a** en mV pour $T = 25^{\circ}C$, puis pour $T = 20^{\circ}C$; [2 pts]

Q.36- Calculer alors, la valeur de la tension d'offset ($v_{offset} = \Delta a / \Delta T$) en $\mu V/^{\circ}C$. [1 pt]

Conditionnement du signal :

La différence de potentiel **E** entre les deux électrodes de la sonde est conditionnée avant d'être numérisée par le CAN interne du PIC 16F876.

Le circuit de conditionnement du signal (**figure 7**) fournit une tension **U₃**, proportionnelle à la tension **E** aux bornes de la sonde pH.

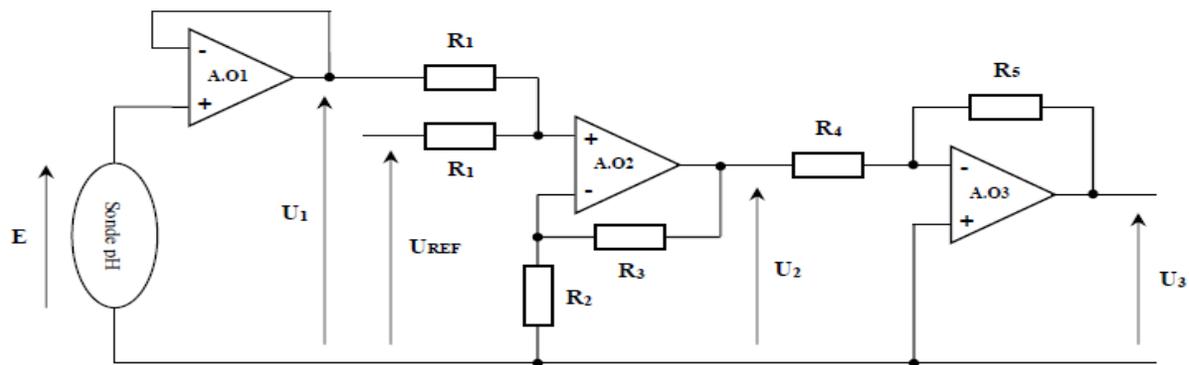


Figure 7

On considère ce qui suit :

- Les amplificateurs opérationnels AO1, AO2 et AO3 sont supposés parfaits ;
- A la température $T = 25^{\circ}\text{C}$ on a $E = 0,4137 - 0,0591.\text{pH}$ (en V) ;
- $U_{REF} = -0,4137$ V.

Q.37- Donner l'expression de la tension U_2 en fonction des tensions U_1 et U_{REF} . [3 pts]

Q.38- Donner l'expression de la tension U_3 en fonction de la tension U_2 . [2,5 pts]

On admet par la suite que :

$$U_3 = -\frac{R_5}{R_4} \cdot \frac{R_2 + R_3}{2R_2} (U_{REF} + U_1)$$

Q.39- Sachant que $U_1 = E$ et que $U_{REF} = -0,4137$ V, donner l'expression de la tension U_3 en fonction du degré d'acidité pH. [1 pt]

Q.40- Sachant que $R_2 = R_4 = 10$ k Ω , $R_3 = 33$ k Ω et que $U_3 = 5$ V pour un degré d'acidité $\text{pH} = 14$, calculer la valeur de la résistance R_5 . [2 pts]

Numérisation :

Le degré d'acidité pH de l'eau de la piscine doit être régulé dans une plage de pH entre 6,9 et 7,7. La tension U_3 image du pH est convertie par le module C.A.N (Convertisseur Analogique Numérique) intégré au PIC16F876.

On donne :

- La valeur numérique N résultat de la conversion correspondante au niveau d'acidité pH est :

$$N = \frac{U_3 - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} \cdot 255$$

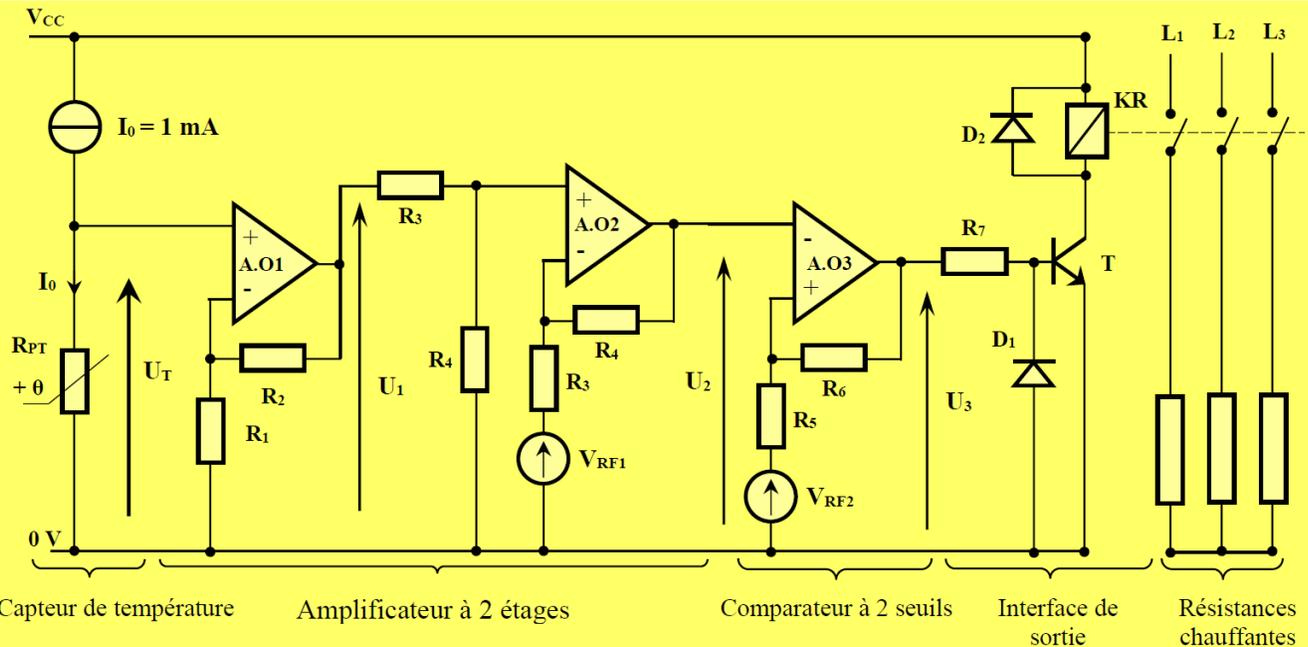
- $V_{REF+} = V_{DD} = 5$ V ; $V_{REF-} = V_{SS} = 0$ V ;
- $U_3 = 0,357$. pH (en Volt).

Q.41- Déterminer les valeurs de U_3 correspondant aux niveaux d'acidité : $\text{pH} = 6,9$ et $\text{pH} = 7,7$. [2 pts]

Q.42- Déterminer les valeurs N1 et N2 du mot N (valeurs en décimal) correspondant respectivement aux degrés d'acidité : $\text{pH} = 6,9$ et $\text{pH} = 7,7$. [2 pts]

Exercice 3 : Examen national 2020, session normale**Tâche 1 : Commande du circuit de chauffage**

Le chauffage est assuré par 3 résistances chauffantes. La température est prélevée par le capteur **PT100** dont la résistance R_{PT} varie avec la température. Le schéma de commande du dispositif de chauffage est le suivant :



On considère que :

- Les amplificateurs opérationnels sont parfaits avec $\pm V_{sat} = \pm V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$;
- Le générateur de courant fournit un courant $I_0 = 1 \text{ mA}$;
- V_{RF1} et V_{RF2} sont des tensions continues de référence.

Étude du capteur de température :

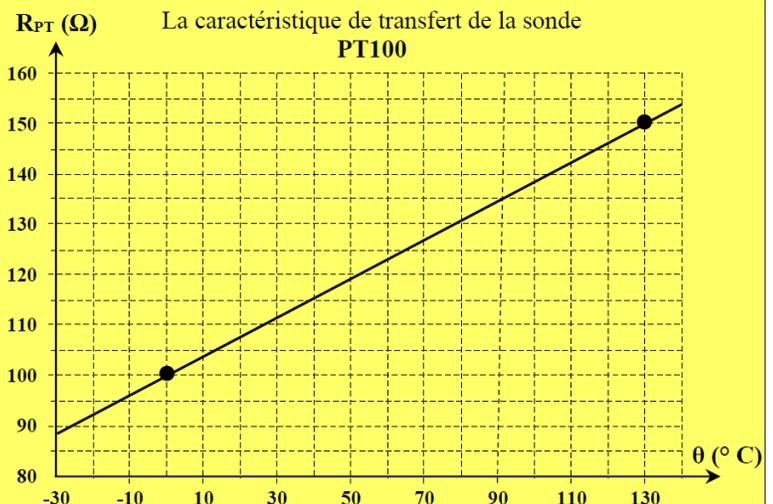
La mesure de la température est réalisée à l'aide d'une sonde de type **PT100** 2 fils.

La sonde **PT100** symbolisée par la résistance R_{PT} possède une linéarité (figure ci-contre) représentée par la relation suivante :

$$R_{PT} = R_0 \cdot (1 + \alpha \theta)$$

Avec :

- R_{PT} : résistance en Ω de la **PT100**.
- θ : température en $^{\circ}\text{C}$.
- α : coefficient de température.
- R_0 : résistance à 0°C .



Exercice 5 : Examen national 2021, session normale

L'ADCP est équipé d'un capteur acoustique dit transducteur. Ce dernier émet des ondes ultrasons qui sont réfléchies sur des particules en suspension entraînées par le courant d'eau (Figure 14).

La différence en fréquence des signaux émis et reçu dépend de la vitesse des courants marins : c'est l'effet Doppler.

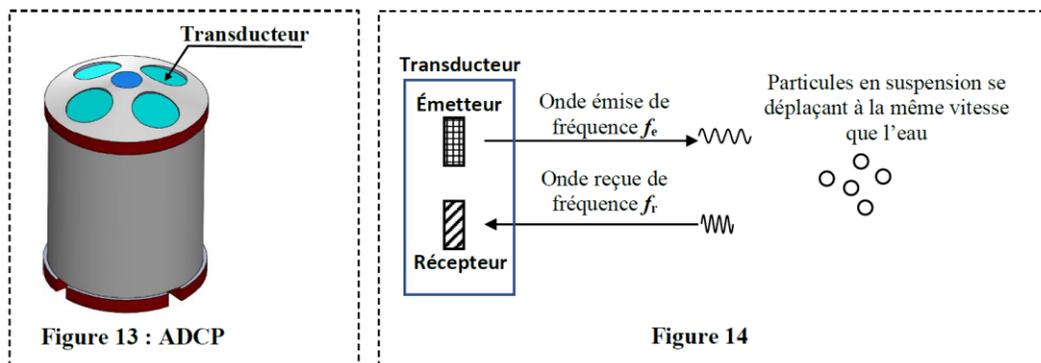


Figure 13 : ADCP

Figure 14

Le décalage Doppler $\Delta f = f_r - f_e$ (différence entre la fréquence f_r de l'onde reçue et la fréquence f_e de l'onde émise) est donné par la relation :

$$\Delta f = \frac{2 \cdot f_e \cdot V}{c}$$

Où : Δf : décalage Doppler (en **Hz**) ;

f_e : fréquence de l'onde émise (en **Hz**) ;

V : vitesse des courants marins (en **m/s**) ;

c : vitesse du son dans le milieu (en **m/s**).

La fréquence d'émission utilisée par le transducteur est $f_e = 150 \text{ kHz}$, ce dernier mesure un décalage Doppler $\Delta f = 300 \text{ Hz}$, on donne la vitesse du son dans le milieu $c = 1500 \text{ m/s}$:

Question : 30. calculer la vitesse V (en **m/s**) des courants marins. 1 pt

Question : 31. Calculer, en **kHz**, la fréquence f_r de l'onde reçue. 1 pt

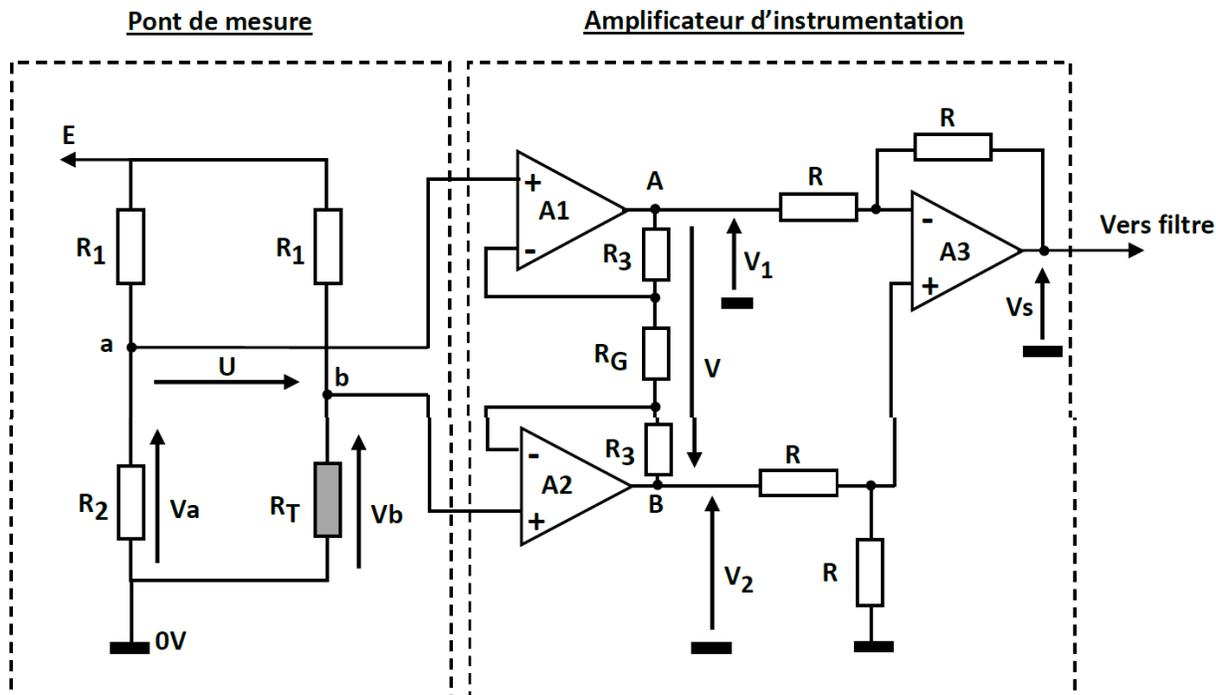
Question : 32. Pour un décalage Doppler Δf positif, préciser, en se référant au **DRES 03**, le sens de déplacement des particules 1 pt

La vitesse du son dans l'eau de mer n'est pas constante mais dépend de certains paramètres ambiants dont la température.

Ainsi, il faut renseigner la température de l'eau afin d'en tenir compte.

La mesure de la température se fait par un capteur à base d'une sonde **PT100** associée à un montage de conditionnement. Ce dernier se compose d'un pont de mesure (pont de Wheatstone), d'un amplificateur d'instrumentation et d'un filtre (figure ci-dessous).

Ce conditionneur fournit à sa sortie une tension pratiquement proportionnelle à la température.



Les amplificateurs opérationnels **A1**, **A2** et **A3** sont considérés parfaits.

Pont de mesure

La sonde **PT100** possède une résistance R_T qui varie avec la température **T** selon la loi :

$$R_T = R_0 + a \cdot T \quad (\text{avec } T \text{ en } ^\circ\text{C}, a \text{ en } \Omega/^\circ\text{C} \text{ et } R_T \text{ en } \Omega)$$

On donne :

- $R_0 = 100 \, \Omega$
- $R_1 = 1,5 \, \text{k}\Omega$
- $a = 0,385 \, \Omega/^\circ\text{C}$ (coefficient de température)
- $E = 5 \, \text{V}$ (tension d'alimentation du pont)

Question : 33. Montrer que $U = E \cdot \left(\frac{R_T}{R_1 + R_T} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$. (remarquer que $U = V_b - V_a$).

1,5 pt

On dit que le pont est en équilibre lorsque sa tension de sortie est nulle ($U = V_b - V_a = 0 \, \text{V} \Rightarrow V_b = V_a$).

Question : 34. Calculer la valeur de R_2 pour que le pont soit équilibré à la température $T = 0 \, ^\circ\text{C}$.

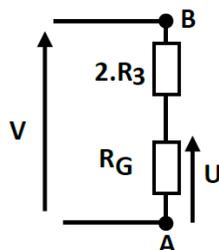
2 pts

Question : 35. Pour $R_2 = R_0$, calculer la valeur de la tension U (en mV) à $T = 25 \, ^\circ\text{C}$.

2 pts

Amplificateur d'instrumentation

La branche **AB** de l'amplificateur d'instrumentation peut être simplifiée comme le montre la figure suivante :



Question : 36. Montrer alors que $V = \left(1 + \frac{2.R_3}{R_G}\right) \cdot U$

1,5 pt

Question : 37. Dans le montage construit autour de l'amplificateur opérationnel **A3**, montrer que $V_s = V$ (remarquer que $V = V_2 - V_1$).

2 pts

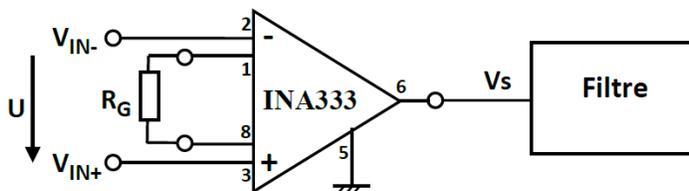
On admet que la caractéristique **U** en fonction de la température **T** peut être assimilée à une droite et a pour équation : $U = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot T$ (avec **T** en °C et **U** en Volt).

Question : 38. Montrer que l'expression de la tension de sortie V_s en fonction de la température **T** est

$$V_s = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{2.R_3}{R_G}\right) \cdot T$$

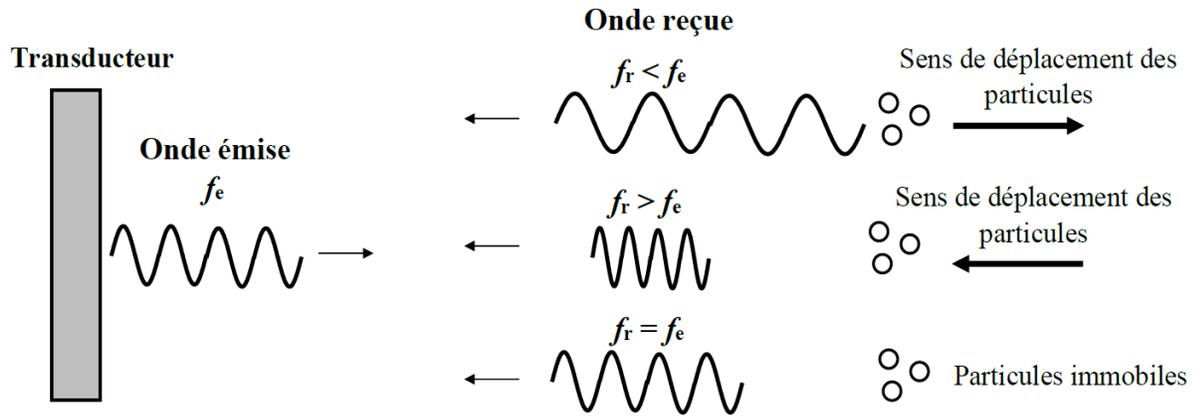
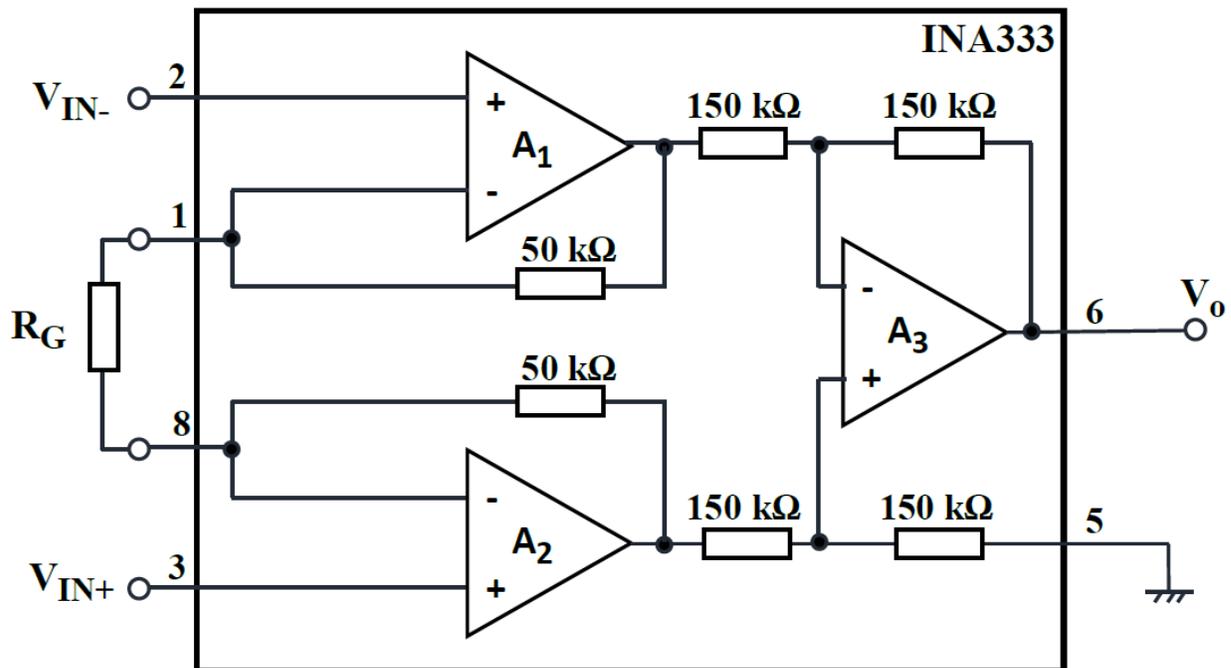
1,5 pt

La réalisation matérielle de l'amplificateur d'instrumentation est confiée à l'amplificateur intégré **INA333** conformément à la figure suivante :



Question : 39. En se référant au schéma interne de l'amplificateur intégré **INA333 (DRES 03)**, relever la valeur de la résistance R_3 . En déduire la valeur à donner à la résistance R_G pour obtenir une tension $V_s = 5 V$ à la température $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

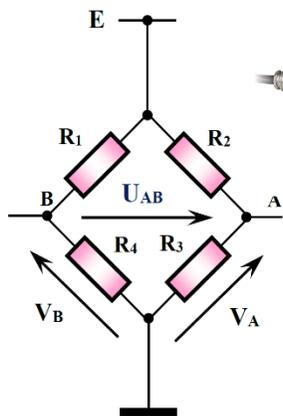
2 pts

DRES 03Fréquence de l'onde reçueSchéma interne simplifié de l'amplificateur d'instrumentation intégré INA333

Exercice 7 : Examen national 2022, session normale**Tâche 1 : Acquisition et conditionnement du signal**

Pour contrôler la masse supportée par la cabine, on utilise un capteur de pesage en traction.

Le corps d'épreuve du capteur se déforme légèrement lorsqu'il est soumis à une charge et revient à sa position initiale quand cette charge est retirée. Ces déformations extrêmement faibles sont acquises par 4 jauges de contrainte R_1 , R_2 , R_3 et R_4 identiques montées en pont de Wheatstone.

Caractéristiques du capteur de poids

- Etendue de mesure : **1000 Kg**
- Tension d'alimentation max tolérée **15 V**.
- Sensibilité $s = 2 \text{ mV/V}$ (en pleine charge $m = 1000 \text{ Kg}$).
- Charge statique maximale (% sur la pleine échelle) **150 %**.
- Charge de rupture (% sur la pleine échelle) **300 %**.
- Résistance au repos $R = 350 \Omega$.
- R_1 et R_3 des jauges qui travaillent en extension, avec : $R_1 = R_3 = R + \Delta R$
- R_2 et R_4 des jauges qui travaillent en compression, avec : $R_2 = R_4 = R - \Delta R$

Étude du capteur :

- La variation relative $\frac{\Delta R}{R}$ de la résistance d'une jauge est liée à la masse m par la relation : $\frac{\Delta R}{R} = K.m$.
- La tension de déséquilibre du pont de Wheatstone U_{AB} est liée à la variation ΔR par la relation : $U_{AB} = E \cdot \frac{\Delta R}{R}$.
- En pleine charge ($m = 1000 \text{ Kg}$), la sensibilité du capteur $s = \frac{U_{AB}}{E} = 2 \text{ mV/V}$.
- Tension d'alimentation du pont $E = 10 \text{ V}$.

Q.36 - Donner la valeur numérique de la tension U_{AB} en pleine charge.

1,5 pt

Q.37 - Calculer le coefficient K et préciser son unité.

1,5 pt

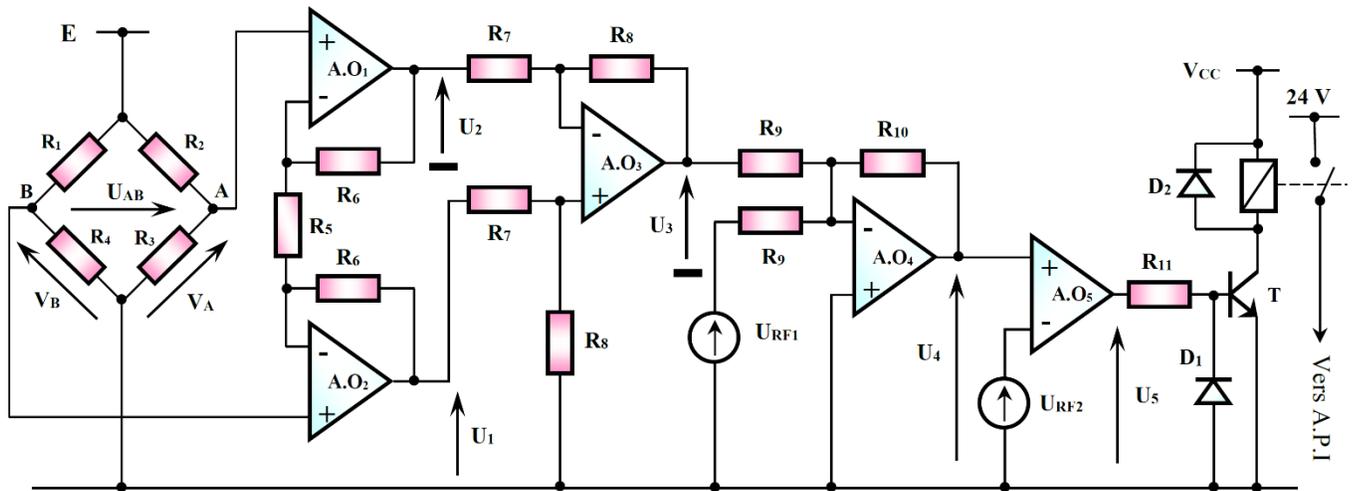
Q.38 - Exprimer la tension U_{AB} en fonction de la masse m .

1,5 pt

Q.39 - Déterminer en **Kg** la charge *statique* C_s maximale supportée par le capteur, et sa charge de *rupture* C_R minimale.

2 pts

Le montage ci-dessous représente le circuit de conditionnement du signal U_{AB} permettant d'informer l'A.P.I en cas de surcharge.



Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits avec $\pm V_{SAT} = \pm V_{CC} = \pm 15$ V.

Étude du conditionneur :

La tension de déséquilibre U_{AB} est amplifiée et mise en forme avant d'être utilisée par l'A.P.I. Pour cela, on utilise un amplificateur (montage autour de AO1, AO2, AO3 et AO4) associé à un comparateur à seuil (montage autour de AO5).

Q.40 - Pour le montage autour de AO3, montrer que $U_3 = \frac{R_8}{R_7} \cdot (U_1 - U_2)$.

2 pts

On donne :

- $R_8 = R_7$;
- $U_1 = 51 \cdot V_B - 50 \cdot V_A$;
- $U_2 = 51 \cdot V_A - 50 \cdot V_B$.

Q.41 - Donner l'expression de U_3 en fonction de U_{AB} , puis en fonction de la masse m (cabine + charge).

2 pts

Q.42 - Pour le montage autour de AO4, montrer que $U_4 = -\frac{R_{10}}{R_9} \cdot (U_3 + U_{RF1})$.

2 pts

On donne :

- $U_3 = -2,02 \cdot 10^{-3} \cdot m$;
- $m = m_0 + m_C$, avec :
 - ✓ $m_0 = 200$ Kg : masse de la cabine vide ;
 - ✓ m_C : masse de la charge transportée ;
 - ✓ m : masse totale (cabine + charge).
- U_{RF1} tension continue de référence ($U_{RF1} = 0,404$ V).

Q.43 - Montrer alors que $U_4 = 2,02 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{R_{10}}{R_9} \cdot m_C$.

1 pt

Q.44 - On veut que U_4 soit égale à 5 V lorsque $m_C = 800$ kg, déterminer alors la valeur de R_{10} , sachant que $R_9 = 22$ k Ω .

1,5 pt

