

Epreuve de :

## Science Industrielle GE/GM

*Durée : 4 heures*

*Le : 19/06/2023*

*Aucun document n'est autorisé*

*La calculatrice est autorisée*

- 
- Dans le cas où un(e) étudiant(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.
  - L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire est rigoureusement interdit.
  - Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.
- 

Systeme à étudier :

## Robot d'impression 3D en béton

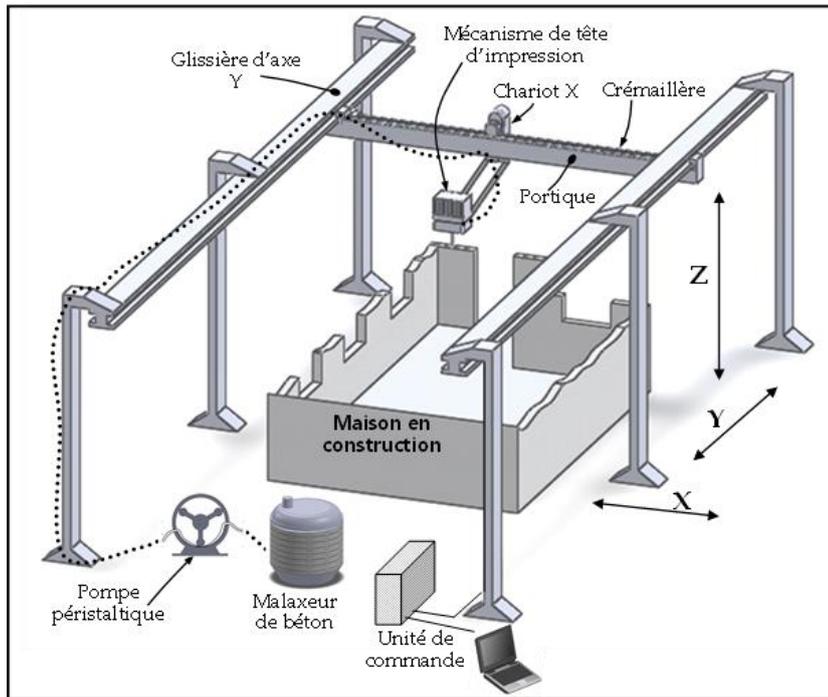


**Le sujet comporte trois parties indépendantes :**

- **Partie 1 :** étude mécanique du robot 3D
- **Partie 2 :** étude électrique du robot 3D

## Présentation du système

Les architectes ont souvent besoin de créer des structures originales et esthétiques, mais que les techniques de construction traditionnelles peuvent être limitatives en termes de possibilités. Pour répondre à ce besoin, il existe des procédés d'impression 3D en béton qui permettent de réaliser des formes géométriques non courantes. Cette étude se concentre sur l'analyse d'un procédé spécifique, qui utilise une imprimante 3D pour extruder un béton hydraulique particulier. L'imprimante est montée sur un portique robotisé de grandes dimensions, ce qui permet d'imprimer des structures de grandes tailles. Cette technologie offre donc une alternative intéressante pour les architectes qui souhaitent créer des ouvrages originaux et esthétiques, en utilisant des formes et des géométries inspirées par des tendances artistiques.



**Figure 1 : Architecture du système d'impression 3D en béton**

L'entraînement de la tête d'impression du béton liquide (voir figure 1) s'effectue par plusieurs mouvements dont deux translations suivant les directions X et Y (TX et TY) .

La translation suivant l'axe Y est motorisée par un moteur et un transmetteur (non représentés sur la figure 1).

Les données de consignes des actionneurs sont introduites par clavier ou console- utilisateur, et sont traitées ensuite par l'unité de commande, un bus de données protégé relie les différents éléments de la chaîne d'information.

Tous les actionneurs du système contiennent des codeurs incrémentaux intégrés, ces actionneurs sont commandés par des variateurs alimentés via un coffret électrique principal.

Le malaxeur en béton est un équipement clé dans la production de béton, qui doit être mélangé à une température appropriée pour garantir la qualité et la durabilité des structures construites. En effet, la température peut affecter la résistance et la durabilité du béton. Par conséquent, les malaxeurs modernes sont conçus pour maintenir le béton à une température constante pendant le mélange, en utilisant des dispositifs de refroidissement ou de chauffage. Ces équipements permettent de contrôler la température du béton en fonction des conditions climatiques, de la composition des matériaux et des exigences de la construction. Ainsi, le choix du malaxeur en béton doit prendre en compte les caractéristiques thermiques de la production de béton pour garantir un mélange de qualité.



(2 pts) **Question 5 :** En utilisant la méthode statique, déterminer la liaison équivalente aux deux liaisons en parallèle en E et F. (réduire les torseurs au point E)

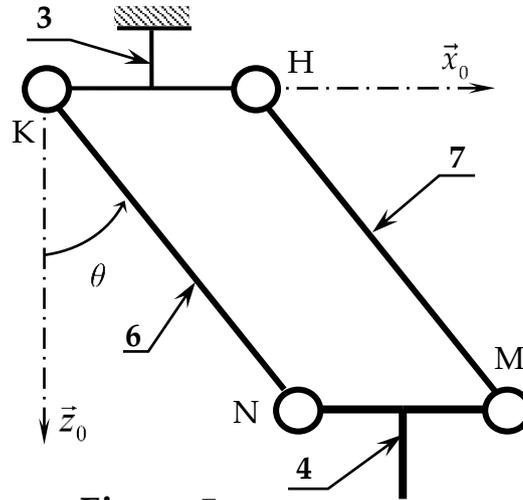
(1 pts) **Question 6 :** Calculer son degré d'hyperstatisme (h).

(1 pts) **Question 7 :** Quel est l'impact de ce degré d'hyperstatisme sur la réalisation de cette liaison.

**Pour la suite, on considère la chaîne composée des solides (3, 6, 4, 7), voir figure 5**

(1 pts) **Question 8 :** Quelle est la nature du mouvement entre les pièces (4) et (3), justifier.

(1 pts) **Question 9 :** en déduire  $\overline{\Omega(4/3)}$ .



**Figure 5**

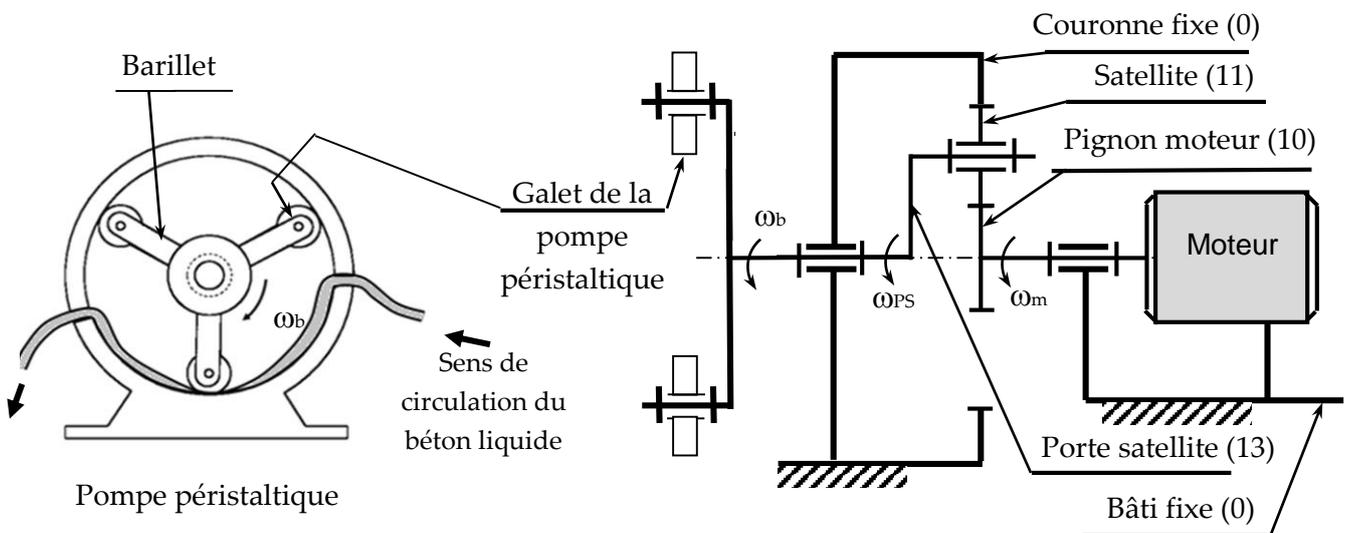
### 3- Entrainement de la pompe péristaltique :

Le principe de la pompe péristaltique est de presser un tuyau flexible dans lequel circule le fluide, le mouvement du fluide dans le tuyau est obtenu en pressant celui-ci par des galets.

Dans cette étude, le mouvement des galets est obtenu par un moteur électrique associé à un réducteur d'engrenage à train épicycloïdal (figure 6).

**Exigence id="1.2.1" (A respecter) :**

Text ="La pression d'alimentation de la tête d'impression sera supérieure ou égale à 0,2 bar"



**Figure 6**

Données : (voir figure 6).

- ☞ Nombre de dents du planétaire (10) (pignon moteur) :  $Z_{10} = 34$ .
- ☞ Nombre de dents du satellite (11) :  $Z_{11}$
- ☞ Nombre de dents de la couronne dentée fixe (0) :  $Z_0 = 68$
- ☞  $C_m$  : couple moteur
- ☞  $C_b$  : couple résistant que le tuyau du béton applique sur l'arbre de la pompe et  $\omega_b = \omega_{PS} = \omega_{13}$ .
- ☞ On néglige les pertes de puissance dans la transmission (rendement = 1).
- ☞ On pose :  $S$  la section du tuyau du béton.

$$K = \frac{\omega_b}{\omega_m}$$

(2 pts) **Question 10** : En utilisant la formule Willis, déterminer le rapport du réducteur

(1 pts) **Question 11** : Calculer  $Z_{11}$  : le nombre de dents du satellite (11) (voir figure 6).

(1 pts) **Question 12** : Déterminer l'expression du couple  $C_b$  en fonction de  $C_m$  et  $K$  (Régime établi).

(1 pts) **Question 13** : On pose  $F_b = \frac{C_b}{R_b}$  où  $F_b$  est la force de pression à l'intérieure du tuyau de béton et  $R_b$  le rayon du barillet de la pompe. Déterminer alors l'expression de la pression  $P$  (supposée constante) à l'intérieur du tuyau en fonction de  $C_m, K, S$  et  $R_b$ .

(1 pts) **Question 14** : Conclure quant au respect de l'exigence (1.2.1), on donne

$$C_m = 20Nm ; R_b = 0,35m ; K = 0,3 ; S = 7000mm^2$$

## B. Etude électrique du robot 3D

### Acquisition de la température de béton dans le mélangeur.

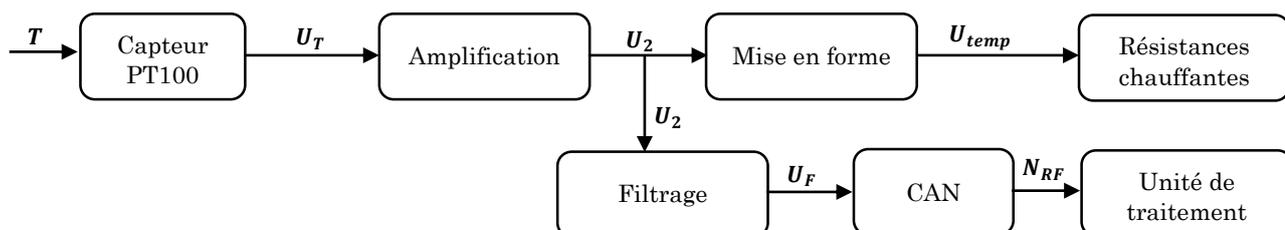
La température idéale pour malaxer le béton dans un malaxeur dépend du type de ciment utilisé, des adjuvants, de la température ambiante et de l'humidité relative de l'air. En général, la température du béton prêt à être malaxé doit être comprise entre 10°C et 30°C.

Le fabricant de systèmes d'impression 3D en béton a équipé son malaxeur des éléments suivants :

- Une sonde PT100 (capteur) pour mesurer la température du béton en temps réel pendant le fonctionnement.
- Des résistances chauffantes pour maintenir la température du béton lorsque celle-ci est inférieure à 5°C.
- Un système de refroidissement automatique qui s'active lorsque la température du béton dépasse 30°C.

Le schéma électrique de commande pour le système de chauffage et de refroidissement (**voir annexe 1**)

Le schéma présenté se compose principalement de deux parties distinctes : la première partie est responsable de la commande des résistances chauffantes (via la tension de commande  $U_{temp}$ ), tandis que la seconde partie est dédiée à l'acquisition de la température pour l'afficher dans le système de commande et à la commande du système de refroidissement.



On considère que :

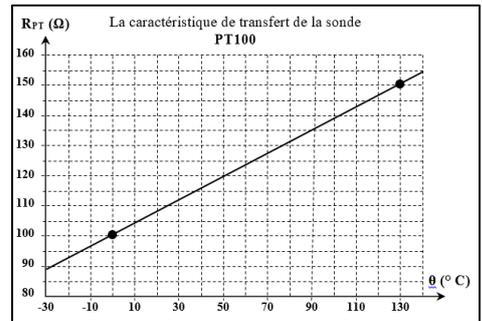
- Les amplificateurs opérationnels sont parfaits sont alimentés entre 0 et 15V ( $V_{cc}=15V$ ).
- Le générateur de courant fournit un courant  $I_0 = 1$  mA ;
- VRF1 est la tension continue de référence.

## 1. Etude de capteur PT100

Pour mesurer la température du béton, une sonde de type PT100 2 fils est utilisée. Cette sonde est symbolisée dans le schéma électrique par la résistance RPT. La sonde PT100 est dotée d'une linéarité représentée graphiquement par la courbe de la figure ci-contre. Cette linéarité est décrite par la relation suivante :  $R_{PT} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$

Avec :

- $R_{PT}$  : résistance en  $\Omega$  de la PT100.
- $\theta$  : température en  $^{\circ}\text{C}$ .
- $\alpha$  : coefficient de température.
- $R_0$  : résistance à  $0^{\circ}\text{C}$ .



(1 pts) **Question 15** : Indiquer les grandeurs d'entrée et de sortie de ce capteur en précisant l'unité de chaque grandeur.

(1 pts) **Question 16** : Ce capteur est-il actif ou passif ? Justifier votre réponse.

(1 pts) **Question 17** : Déterminer graphiquement la sensibilité  $s$  de la PT100 et préciser son unité.

(1 pts) **Question 18** : A partir de la caractéristique  $R_{PT} = f(\theta)$ , Calculer alors les valeurs de  $R_0$  et de  $\alpha$ , préciser leurs unités.

(1 pts) **Question 19** : Exprimer la tension  $U_T$  en fonction de  $I_0$ ,  $R_0$  et de  $\alpha$ , et la mettre sous la forme  $U_T = U_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$

Que vaut la valeur  $U_0$  ?

(1 pts) **Question 20** : Quelles sont les valeurs maximale et minimale de la résistance  $R_{PT}$  que peut prendre dans notre application la sonde PT100 puis  $U_T$  ?

## 2. Etude le bloc d'amplification

La tension fournie par le capteur PT100 est de faible amplitude, nécessitant une amplification pour être adaptée à la fonction requise, comme le filtrage ou la mise en forme du signal. Pour répondre à cette exigence, le fabricant a mis en place deux blocs d'amplification : le montage AOP1 et le montage AOP2, qui sont chargés d'amplifier le signal de sortie de la sonde PT100.

- On admet que :  $R_{PT}(\theta) = 0,4 \cdot \theta + 100$  avec  $R_{PT}$  en  $\Omega$  et  $\theta$  en  $^{\circ}\text{C}$
- On donne les valeurs des résistances :  $R_1 = 2,2 \text{ K}\Omega$  ;  $R_2 = 47 \text{ K}\Omega$  et  $R_3 = 10 \text{ K}\Omega$

(1 pts) **Question 21** : Déterminer le régime de fonctionnement de montage à AOP1 et AOP2.

Montrer que  $U_1 = 22,4 U_T$ .

(1 pts) **Question 22** : Déduire des relations précédentes, l'expression de la tension  $U_1$  en fonction de  $\theta$ .

Montrer que  $U_2 = \frac{R_4}{R_3} \cdot (U_1 - V_{RF1})$ .

On donne l'expression de la tension  $U_2 = 8,94 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \theta$

(1 pts) **Question 23** : Calculer la valeur de la résistance  $R_4$  pour avoir une sensibilité  $s'$  de  $100 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ . donner  $R_4$  dans la série E12

**Série E12** : 10 - 12 - 15 - 18 - 22 - 27 - 33 - 39 - 47 - 56 - 68 - 82

(1 pts) **Question 24** : Déterminer l'intervalle  $[U_{2\min}, U_{2\max}]$  de la tension  $U_2$  qui correspond à la marge de mesure de la température.

### 3. Mise en forme du signal U2.

La tension amplifiée U2 est comparée à des seuils spécifiques pour activer les résistances chauffantes. Les amplificateurs opérationnels AOP3 et AOP4 fonctionnent en mode de commutation, et les tensions de seuil Vs1 et Vs2 sont fixées respectivement à 1 V et 3 V.

Le schéma de principe est présenté ci-dessus, où les diodes D1 et D2 sont considérées idéales :

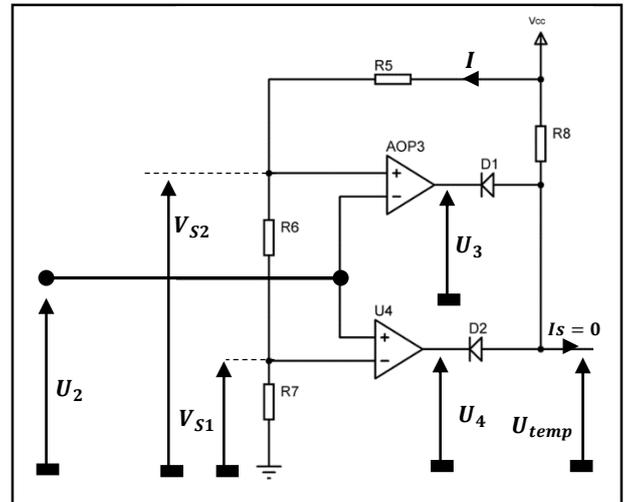
(1 pts) **Question 25** : Sachant que  $R6 = 1 \text{ K}\Omega$ , calculer la valeur du courant I et en déduire les valeurs des résistances R5 et R7.

(1 pts) **Question 26** : Remplir le tableau suivant en indiquant l'état des diodes (passante ou bloquée).

Cas	U3	U4	D1	D2	Utemp
$U2 < Vs1$	.....	.....	.....	.....	.....
$Vs1 < U2 < Vs2$	.....	.....	.....	.....	.....
$U2 > Vs2$	.....	.....	.....	.....	.....

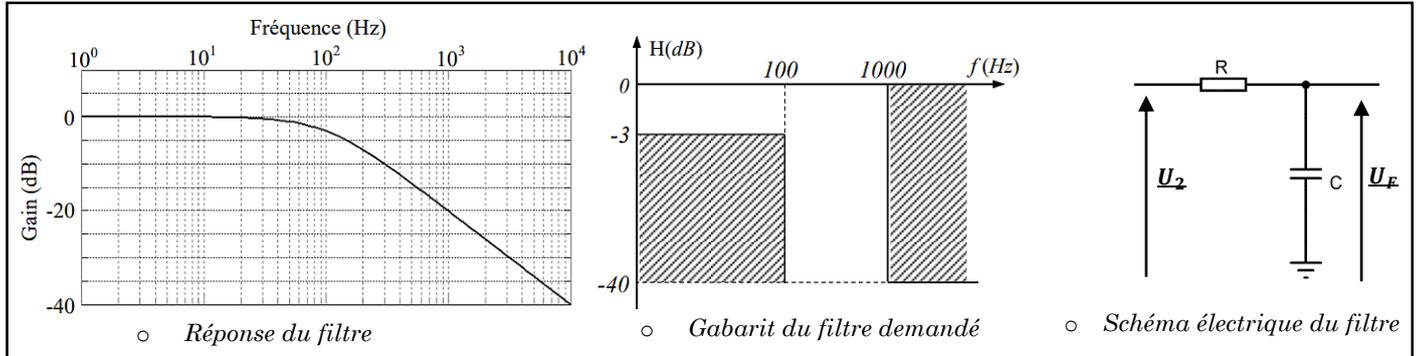
(1 pts) **Question 27** : Tracer la caractéristique de U3 en fonction de U2 et U4 en fonction de U2. à partir des deux graphes précédents la caractéristique Utemp en fonction de U2.

(1 pts) **Question 28** : Décrire brièvement la fonction réalisée par ce schéma.



### 4. Filtrage du signal fournit par PT100

Le capteur PT100 mesure la température et la convertit en une tension U2. Cependant, cette tension est perturbée par deux composantes sinusoïdales : l'une à une fréquence de 172 kHz et l'autre à une fréquence de 1 kHz. L'objectif est de vérifier si le filtre choisi, présenté ci-dessus, est approprié pour éliminer ces perturbations.



(1 pts) **Question 29** : A partir de réponse du filtre. De quel type de filtre s'agit-il ? Donner sa fréquence de coupure à  $-3 \text{ dB}$ .

Déterminer la pente dans sa bande atténuée. En déduire l'ordre du filtre.

(1 pts) **Question 30** : Déterminer :

- La fonction de transfert du filtre électrique.
- L'expression de la fréquence de coupure  $f_c$ .
- La valeur de la résistance R sachant que le condensateur  $C = 10 \mu\text{F}$ .

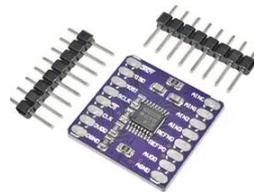
(1 pts) **Question 31** : Ce filtre respecte-t-il le gabarit ? Si non, préciser pourquoi.

Le filtre utilisé atténue-t-il les deux composantes mentionnées ?

### 5. Traitement numérique du signal

Une fois la température captée, amplifiée et filtrée, la prochaine étape consiste à traiter numériquement les données. Cette étape commence par la conversion analogique-numérique, suivie du filtrage numérique, du calcul et enfin de l'affichage de la valeur de la température mesurée. Cette valeur est ensuite transmise à une unité de commande pour analyse et stockage.

On utilise le CAN de référence ADC1242 (Annexe 3), alimenté sous une tension de 5V aussi bien sur Vcc que sur Vref. Aussi, sa tension plein échelle PE est égale à 5V. La fréquence de son horloge  $f_{CLK}$  est de 1MH. On note le quantum. L'erreur maximale commise par la conversion est égale à  $\varepsilon = \pm q/2$  (quantification centrée).



On note :

- **T<sub>a</sub>** : Le temps d'acquisition du CAN correspond à la période pendant laquelle l'échantillonneur est fermé.
- **T<sub>c</sub>** : le temps de conversion du CAN correspond à la durée nécessaire pour convertir une tension analogique en une valeur numérique.
- **T<sub>L</sub>** : Le temps requis pour que la tension aux bornes d'un condensateur atteigne 98% de sa valeur finale correspond au temps de charge défini par la formule  $T_L = 5.R_L.C_L$ , où  $R_L$  représente la résistance en série avec le condensateur et  $C_L$  sa capacité électrique.

(1 pts) **Question 32** :A partir de documentation technique du CAN ADC1242. Déterminer :

- Déterminer l'expression du temps d'acquisition  $t_A$  en fonction  $f_{CLK}$  puis calculer sa valeur.
- Déterminer l'expression du temps d'acquisition  $t_c$  en fonction  $f_{CLK}$  puis calculer sa valeur.
- Déterminer  $R_L$  et  $C_L$  puis Calculer le temps chargement de circuit de blocage **T<sub>L</sub>**.

(1 pts) **Question 33** :Calculer le temps d'échantillonnage minimal  $T_{e_{min}}$  et déduire la fréquence d'échantillonnage maximal  $F_{e_{max}}$ .

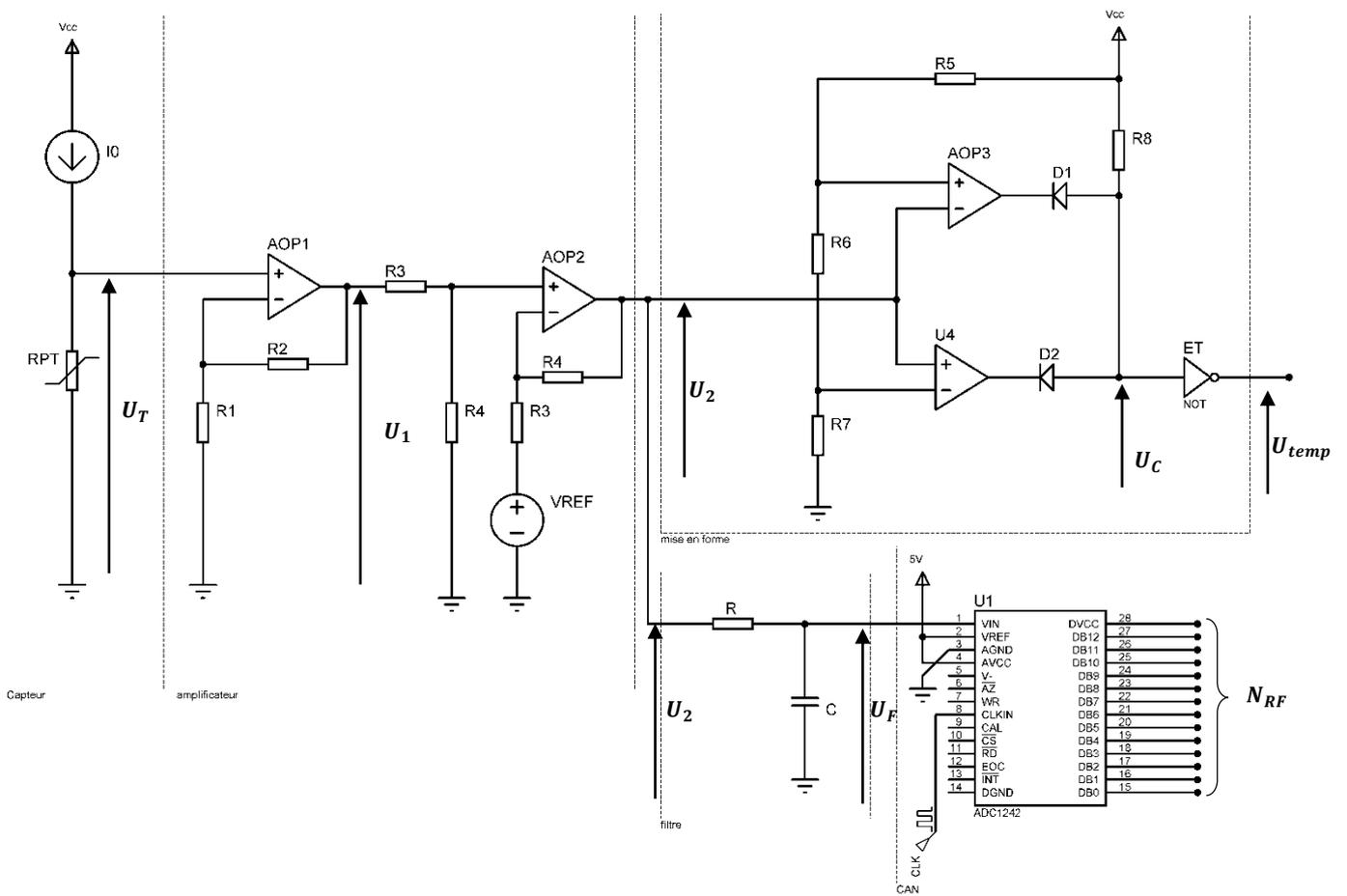
(1 pts) **Question 34** :En supposant que le filtre a un gain de 1 dans la bande passante ( $A_F=1$ ) et que la sortie du CAN indique une valeur numérique de  $N_{RF(2)} = 0110\ 1110\ 0011$ . Déterminer la température correspondant à cette valeur convertie.

*(Afin de répondre à cette question, il est nécessaire d'utiliser les relations mentionnées précédemment.)*

(1 pts)**Question 35** :Synthèse :

En se basant sur les résultats obtenus dans les parties mécanique et électrique, une synthèse des solutions proposées dans le système peut être rédigée. Cette synthèse pourrait présenter les différentes solutions envisagées pour résoudre les problèmes identifiés, en prenant en compte les contraintes et les limites propres à chaque solution. Elle pourrait également mettre en avant les avantages et les inconvénients de chaque solution proposée, ainsi que les compromis qui ont pu être nécessaires pour trouver une solution viable pour le système dans son ensemble. En somme, la synthèse pourrait permettre de dresser un bilan des différentes options envisagées pour résoudre les problèmes mécaniques et électriques du système, en mettant en évidence les choix stratégiques qui ont guidé la prise de décision.

# ANNEXE 1



Document de réponse à rendre

Cas	$U_3$	$U_4$	D1	D2	$U_{temp}$
$U_2 < V_{S1}$	.....	.....	.....	.....	.....
$V_{S1} < U_2 < V_{S2}$	.....	.....	.....	.....	.....
$U_2 > V_{S2}$	.....	.....	.....	.....	.....



## AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for  $DV_{CC} = AV_{CC} = +5.0V$ ,  $V^- = -5.0V$ ,  $t_r = t_f = 20$  ns unless otherwise specified. **Boldface limits apply for  $T_A = T_J = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$** ; all other limits  $T_A = T_J = 25^\circ C$ . (Notes 6 and 7)

Symbol	Parameter	Conditions	Typical (Note 9)	Limit (Notes 10, 18)	Units (Limits)
$f_{CLK}$	Clock Frequency		0.5 4.0	<b>2.0</b>	MHz MHz(min) MHz(max)
	Clock Duty Cycle		50	<b>40</b> <b>60</b>	% %(min) %(max)
$t_C$	Conversion Time		$27(1/f_{CLK})$	<b><math>27(1/f_{CLK}) + 300</math> ns</b>	(max)
		$f_{CLK} = 2.0$ MHz	13.5		$\mu s$
$t_A$	Acquisition Time (Note 15)	$R_{SOURCE} = 50\Omega$	$7(1/f_{CLK})$	<b><math>7(1/f_{CLK}) + 300</math> ns</b>	(max)
		$f_{CLK} = 2.0$ MHz	3.5		$\mu s$
$t_Z$	Auto Zero Time		26	<b>26</b>	$1/f_{CLK}(\text{max})$
		$f_{CLK} = 2.0$ MHz	13		$\mu s$
$t_{CAL}$	Calibration Time		1396		$1/f_{CLK}$
		$f_{CLK} = 2.0$ MHz	698	<b>706</b>	$\mu s(\text{max})$
$t_{W(CAL)L}$	Calibration Pulse Width	(Note 16)	60	<b>200</b>	ns(min)
$t_{W(WR)L}$	Minimum $\overline{WR}$ Pulse Width		60	<b>200</b>	ns(min)
$t_{ACC}$	Maximum Access Time (Delay from Falling Edge of $\overline{RD}$ to Output Data Valid)	$C_L = 100$ pF	50	85	ns(max)
$t_{OH}, t_{1H}$	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of $\overline{RD}$ to Hi-Z State)	$R_L = 1$ k $\Omega$ , $C_L = 100$ pF	30	90	ns(max)
$t_{PD}(\overline{INT})$	Maximum Delay from Falling Edge of $\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ to Reset of $\overline{INT}$		100	<b>175</b>	ns(max)

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed. Some performance characteristics may degrade when the device is not operated under the listed test conditions.

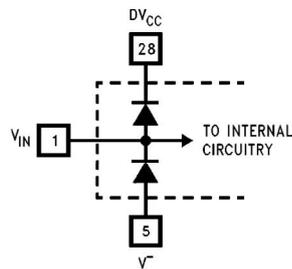
**Note 2:** All voltages are measured with respect to AGND and DGND, unless otherwise specified.

**Note 3:** When the input voltage ( $V_{IN}$ ) at any pin exceeds the power supply rails ( $V_{IN} < V^-$  or  $V_{IN} > (AV_{CC} \text{ or } DV_{CC})$ ), the current at that pin should be limited to 5 mA. The 20 mA maximum package input current rating allows the voltage at any four pins, with an input current limit of 5 mA, to simultaneously exceed the power supply voltages.

**Note 4:** The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{JMAX}$  (maximum junction temperature),  $\theta_{JA}$  (package junction to ambient thermal resistance), and  $T_A$  (ambient temperature). The maximum allowable power dissipation at any temperature is  $P_{Dmax} = (T_{Jmax} - T_A)/\theta_{JA}$  or the number given in the Absolute Maximum Ratings, whichever is lower. For this device,  $T_{Jmax} = 125^\circ C$ , and the typical thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ) of the ADC1242 CIJ when board mounted is  $47^\circ C/W$ .

**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 6:** Two on-chip diodes are tied to the analog input as shown below. Errors in the A/D conversion can occur if these diodes are forward biased more than 50 mV.



TL/H/11735-3

This means that if  $AV_{CC}$  and  $DV_{CC}$  are minimum ( $4.75 V_{DD}$ ) and  $V^-$  is maximum ( $4.75 V_{DD}$ ), full-scale must be  $\leq 4.8 V_{DD}$ .