

### **Exemple d'examen final**

Durée : 3 heures.

Répondre sur le questionnaire en utilisant les pages blanches comme brouillon  
Toute documentation permise, sauf par Internet

Nom \_\_\_\_\_ code permanent \_\_\_\_\_

#### **1. Répondre par Vrai ou Faux entre les crochets aux questions suivantes (5 pts) :**

- 1) [  ] Les convertisseurs N/A requièrent souvent l'usage d'un filtre de construction.
- 2) [  ] Les capteurs à semi-conducteurs permettent d'opérer à des températures plus élevées que les autres types.
- 3) [  ] La sensibilité d'un capteur dépend de sa linéarité
- 4) [  ] Les phototransistors offrent une meilleure sensibilité que les photodiodes, mais au prix d'un courant d'obscurité plus grand
- 5) [  ] L'usage d'un amplificateur opérationnel permet de régler plusieurs problèmes reliés à l'adaptation d'impédances entre les étages d'un circuit électronique.
- 6) [  ] L'isolation de masse est nécessaire entre le microcontrôleur et les actionneurs dans les interfaces de puissance
- 7) [  ] Un triac possède l'avantage sur un thyristor de ne pas demander de circuit de remise à zéro lorsqu'on l'utilise avec des charges en courant continu.
- 8) [  ] Les modules de puissance permettent d'intégrer les fonctions d'une interface d'e/s de microcontrôleur dans un seul boîtier.
- 9) [  ] Un régulateur PID offre une meilleure performance tout en coûtant moins cher qu'un régulateur « oui-non ».
- 10) [  ] Les systèmes d'exploitation en temps réel permettent un accès direct au matériel, contrairement aux systèmes d'exploitation utilisés en bureautique.

**Répondre aux questions suivantes (9 points) :**

- a) Citer trois sources d'erreur communes dans les convertisseurs a/n et n/a

Linéarité, biais, bruit de quantification

---

---

- b) À quoi sert un circuit d'interface entre un microcontrôleur et un actionneur?

Actuateur : Isolation des masses, transduction/amplification/commutation de puissance.

---

---

- c) Donner l'avantage d'utiliser un capteur actif en comparaison avec un capteur passif  
fournit directement une tension, courant ou signal de fréquence au microcontrôleur

---

---

- d) Pourquoi utilise-t-on souvent des coupleurs optiques à détection de passage à zéro pour piloter des actuateurs qui fonctionnent en courant alternatif ?

Pour pouvoir commuter directement des charges inductives et éviter le bruit de commutation.

---

---

- e) Pourquoi est-il déconseillé d'utiliser la commande dérivative seule ?

Mène à des comportements oscillatoires en présence de bruit ; aussi le calcul de la dérivée n'est pas parfait.

---

---

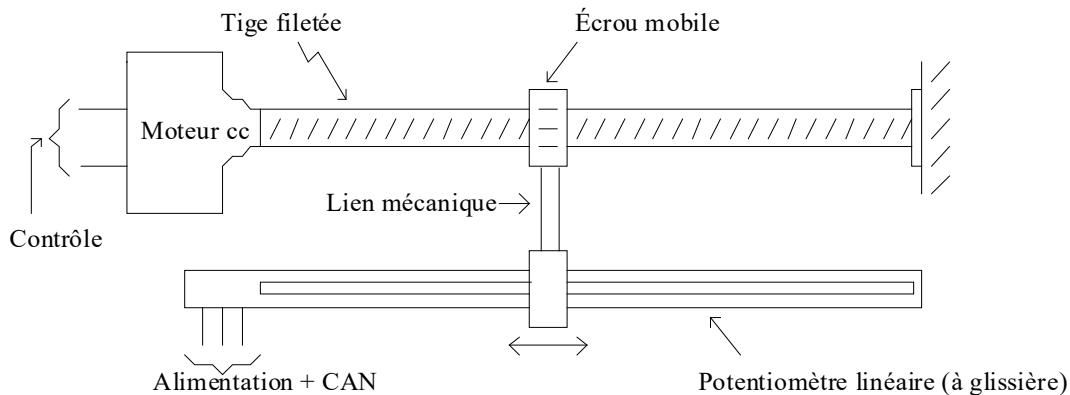
- f) Expliquer pourquoi un exécutif en temps réel permet de simplifier la programmation de systèmes embarqués

Permet de se concentrer sur la l'application et non sur l'exécution des tâches qui la composent

---

## II. Faire les problèmes suivants :

1. Le schéma de principe suivant montre un moteur à rotation réversible dont l'arbre est fixé à une tige filetée; un écrou est inséré dans la tige permettant ainsi de convertir les rotations du moteur en déplacements linéaires de l'écrou. La tige est filetée à raison de 10 tours/cm et la vitesse de rotation maximale du moteur est 1800 tours/minute.



- a) Sachant que la sortie du potentiomètre mesurant les déplacements de l'écrou est reliée à un convertisseur A/N de 10 bits, et sachant que la longueur du potentiomètre est de 10 cm, donner le déplacement minimum que le système peut mesurer (2 points)

$$10 \text{ bits} \Rightarrow 1023 \text{ correspondent au déplacement maximal de } 10 \text{ cm} \Rightarrow Q = 10 / 1023 = 97 \mu\text{m}$$

- b) En supposant que le moteur change de sens en 0.1 s et qu'il effectue des déplacements minimums équivalents à 1 pas de résolution du convertisseur A/N, donner la fréquence maximale du signal qui pourrait être généré par des changements successifs de la direction de rotation du moteur (3 points).

$$97 \mu\text{m} = 9.7 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \Rightarrow 9.7 \cdot 10^{-4} \text{ cm} * 10 \text{ tours/cm} = 9.7 \cdot 10^{-3} \text{ tours}$$

$$1800 \text{ tours/min} \Rightarrow 1800 / 60 = 30 \text{ tours/s} \Rightarrow 9.7 \cdot 10^{-3} \text{ tour se fera en } 9.7 \cdot 10^{-3} / 30 = 3.23 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

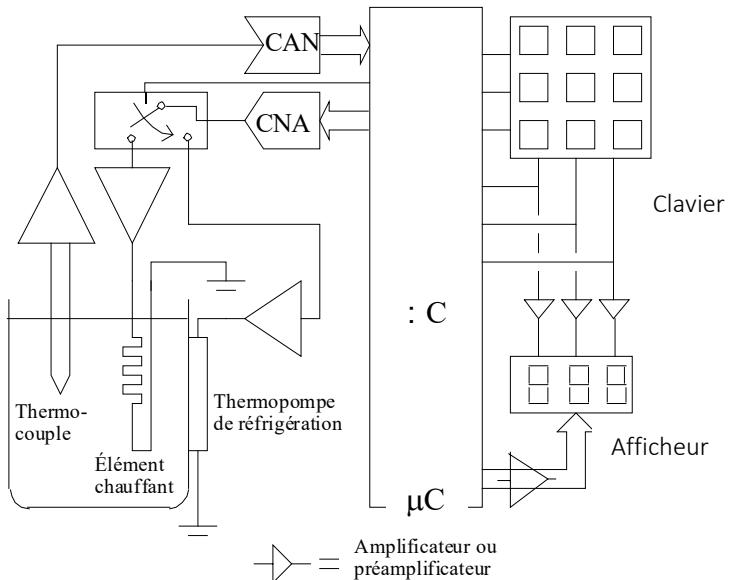
Quantité négligeable devant 0.1 s et la fréquence du signal est  $1/(2*0.1 \text{ s})=5 \text{ Hz}$

1. Le schéma ci-contre donne le principe d'un régulateur de température pour laboratoire de films photographiques. Il fonctionne comme suit : Après l'entrée de la température désirée au clavier (point de consigne  $T_c$ ), le système mesure régulièrement la température du bain  $T_m$  et met en action un élément chauffant ou un élément réfrigérant comme suit :

Condition Action

$T_m < T_c - \epsilon$  Élément chauffant allumé  
Élément réfrigérant éteint

$T_m > T_c + \epsilon$  Élément chauffant éteint  
Élément réfrigérant allumé



où  $\epsilon$  représente la bande d'hystérèse. Le système est conçu pour contrôler des températures entre 15°C et 40°C. Les e/s binaires des convertisseurs A/N et N/A varient entre 00<sub>hex</sub> et ff<sub>hex</sub> et les temps de réponse des différents capteurs et actuateurs sont de 10 s.

- a) Quelle est la période de mise à jour maximum que l'on devrait utiliser pour le régulateur afin de respecter les temps de réponse des capteurs et des actuateurs qui se trouvent dans le système ? (2 pt)

5 s si on veut respecter le critère de Nyquist

- b) Donner la période d'oscillation de la température du bain si on fixe le point de consigne à 15°C  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  et en sachant que le système chauffe à 1°C/s et refroidit à 0.25°C/s. (3 pts)

Pour aller de 14.5° à 15.5° il faut  $1/1^\circ/\text{s} = 1 \text{ s}$

Pour aller de 15.5° à 14.5° il faut  $1/0.25^\circ/\text{s} = 4 \text{ s}$

La période est donc  $4 \text{ s} + 1 \text{ s} = 5 \text{ s}$

- c) Supposer que l'on modifie le mode de commande des éléments chauffant et réfrigérant pour que leur signaux de commande soient proportionnels à l'erreur  $e_p = T_m - T_c$ , qu'ils varient entre 0% et 100% du maximum fourni par le convertisseur N/A avec des valeurs correspondant à 10% du maximum pour  $e_p = 0$ . Pour des gains proportionnels de 6 et 2.5, respectivement, donner l'équation numérique du contrôleur pour ses deux sorties proportionnelles en spécifiant le signe du gain pour chacune (4 pts)

$$c_c = -6 * 100 * (V_m - V_c) / (255 - 0) + 10$$

$$c_r = 2.5 * 100 * (V_m - V_c) / (255 - 0) + 10$$

$V_m - V_c$  est d'abord normalisé dans la plage de 15 à 45 degrés pour correspondre à 0-255.

- d) Donner les plages d'opération linéaire des deux contrôleurs avec les données précédentes (4 pts)

$0 = -600e_c + 10 \Rightarrow e_c = 1,67\% \quad 100 = -600e_c + 10 \Rightarrow e_c = -15\% \quad e_c \in [-15\%, 1,67\%]$

$0 = 250e_r + 10 \Rightarrow e_r = -4\% \quad 100 = 250e_r + 10 \Rightarrow e_r = 36\% \quad e_r \in [-4\%, 36\%]$

Dans les deux cas, les gains sont mal choisis pour couvrir linéairement toute la bande de correction

- e) Supposer que l'élément chauffant perd de son efficacité avec le temps de manière que son rendement pour une commande donnée (son gain) diminue de 10%; quel est l'impact sur la bande de proportionnalité de son contrôleur ? proposer un mode de régulation qui compense pour cela (3 pts)

Il faut compenser la diminution de  $e_c$  par une augmentation équivalente de  $c_c$  en l'absence d'erreur si on veut maintenir la bande de proportionnalité. On peut résoudre l'équation de  $c_c$  avec le nouveau gain et  $e_c$  pour  $c_c=0$  pour trouver la constante requise ( $0\% = -540*1.67\% + c_0 \Rightarrow c_0 \sim 9\%$ ) ou on peut remplacer le terme constant par correction intégrale (régulateur PI)

**Meilleurs vœux !**