

Génie électrique

1^{ère} TSI 1

Devoir Surveillé : N°5

- ♦ 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 :

Exosquelette



Le sujet comporte trois parties :

Partie 1 : amplification de signal électromyogramme EMG

Partie 2 : Filtrage du signal EMG

Partie 3 : conversion analogique numérique et choix de fréquence d'échantillonnage

I. Présentation du système

L'exosquelette est un appareil qui apporte à un être humain des capacités qu'il ne possède pas ou qu'il a perdues à cause d'un accident. Ce type d'appareil peut permettre à une personne de soulever des charges lourdes et diminuer considérablement les efforts à fournir sans la moindre fatigue (figure 1). Après avoir revêtu un exosquelette adapté à sa morphologie et à sa taille, l'utilisateur peut faire ses mouvements en bénéficiant d'une grande fluidité.



Figure 1

II. Mise en situation

L'exosquelette (figure 2) est constitué :

- D'un support de charge transportée 4 ;
- De deux moteurs de l'articulation de la hanche ;
- De deux cuisses 2 et 2' ;
- De deux moteurs de genou ;
- De deux jambes 1 et 1' ;
- De deux articulations de cheville, non motorisées ;
- De deux pieds 3 et 3'.

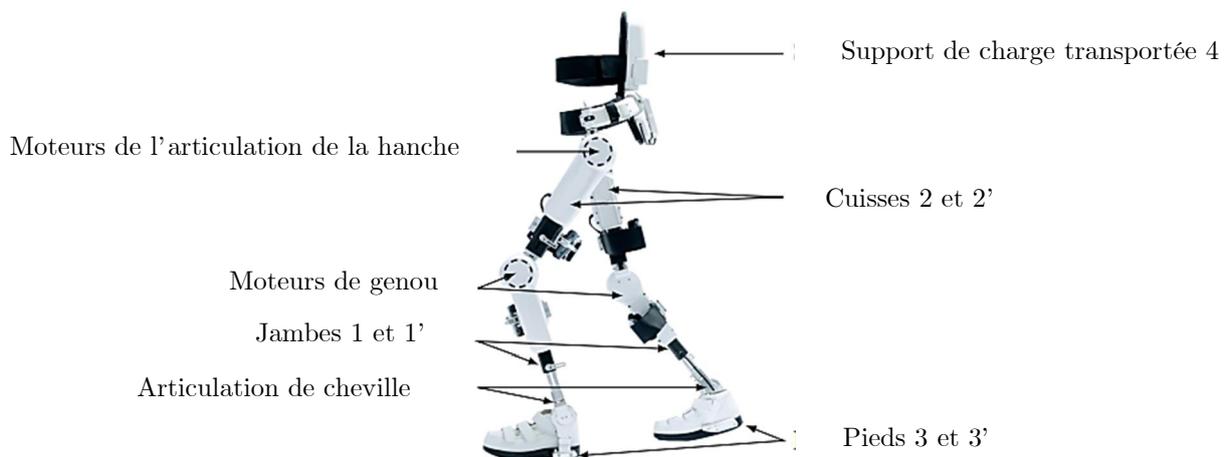


Figure 2

Les actionneurs équipant chaque axe (genoux et hanches) de l'exosquelette sont des moteurs synchrones de type « Brushless » couplés à des réducteurs de vitesse de type « Harmonic Drive ». Chaque moteur est alimenté par une carte de positionnement incluant un onduleur triphasé, la source d'énergie étant un pack de batteries

de tension nominale égale à 36 V. La carte de positionnement exploite les signaux des capteurs à effet Hall intégrés dans le moteur ainsi que ceux d'un codeur incrémental monté sur l'axe moteur.

L'étude proposé dans ce sujet est la conception de la chaine d'information réalisant l'exigence fonctionnelle « acquérir l'intention de la mise en mouvement » ;

III. Acquérir l'intention de la mise en mouvement

Une piste prometteuse, étudiée par plusieurs chercheurs pour établir la consigne de déplacement, consiste à utiliser les signaux électriques apparaissant au niveau des muscles dès que la personne contracte ces derniers. L'intention de contracter un muscle s'initie au niveau du cerveau. Une information traverse alors le système nerveux pour provoquer la contraction du muscle par un processus chimique. Les modifications ioniques qui apparaissent alors entraînent des changements du potentiel électrique. Ces changements de potentiel sont recueillis par des électrodes posées sur la surface de la peau. Le signal recueilli, appelé EMG (électromyogramme), est fortement bruité et de faible amplitude. Sa **bande passante** est comprise entre **10** et **500 Hz**.

Ce signal est amplifié et adapté pour atteindre un niveau compatible avec le convertisseur analogique-numérique. Ce dernier présente une résolution de **10 bits** et sa plage d'entrée est comprise entre **0** et **3 V** (figure 3).

L'adaptation consiste en un décalage positif du signal de 1,5 V. La présence de bruit au-delà de la bande passante du signal nécessite un filtrage analogique passe-bas pour éviter tout repliement de spectre.

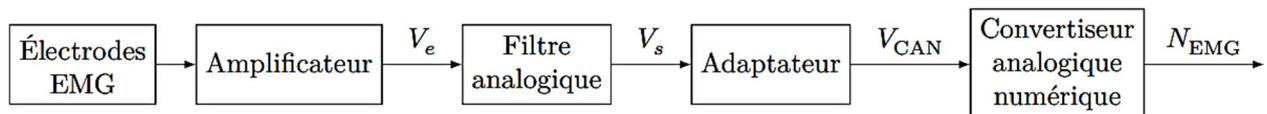


Figure 3

Le sujet comporte trois parties :

Partie 1 : amplification de signal électromyogramme EMG

Partie 2 : Filtrage du signal EMG

Partie 3 : conversion analogique numérique et choix de fréquence d'échantillonnage

Partie 1 : amplification de signal électromyogramme EMG

Un électromyogramme (EMG) est un potentiel électrique généré au niveau des fibres musculaires quand les muscles sont contractés. Il permet d'obtenir des informations sur l'état des muscles. Pour détecter ces signaux, on utilise **les électrodes de surface** sont fixées sur la peau au niveau du muscle ciblé. Elles fournissent le signal électrique est fortement bruité et de faible amplitude de **10mV** maximum.

Pour cette raison, le signal EMG est amplifié par un amplificateur d'instrumentation **AD620** représenté dans la figure 4. le document de constructeur est donné à l'annexe.



Exigence d'amplification : la tension de sortie d'amplificateur doit être au maximum de **3V**, pour ne pas dépasser la tension de convertisseur CAN.

Dans ce circuit, la résistance R_G est externe. Sa valeur est donc choisie par l'utilisateur en fonction de l'amplification G désirée

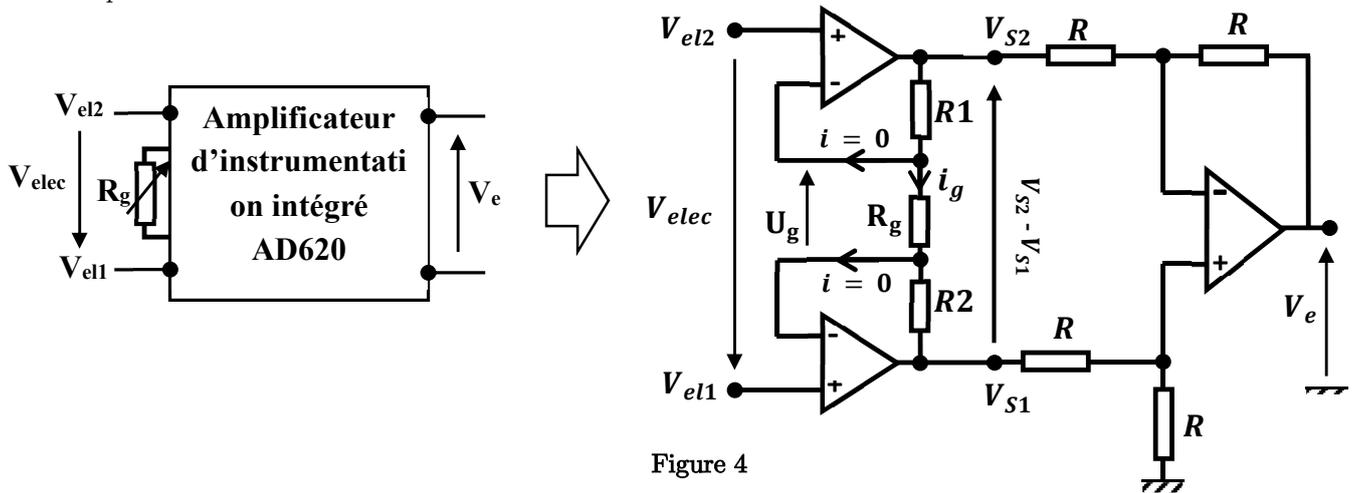


Figure 4

- Q1. Donner les valeurs des résistances internes d'amplificateur R_1 et R_2 à partir de document constructeur (voir l'annexe).
- Q2. Exprimer la tension V_2 en fonction de V_{s1} et V_{s2} .
- Q3. Exprimer U_g en fonction V_{e1} et V_{e2} , puis en fonction de R_g et i_g .
- Q4. Si $R_1=R_2$. Exprimer la tension $(V_{s2} - V_{s1})$ en fonction de R_1 , R_g et i_g , puis en fonction U_g , R et R_g .
- Q5. A partir des expressions précédentes. Montrer que $V_2 = G \cdot V_{elec}$, avec $G = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)$. Comparer ce gain avec le gain de constructeur.
- Q6. En vous rappelant que la tension maximale délivrée par les deux électrodes $V_{elec} = 10 \text{ mV}$. Calculer la valeur du gain G nécessaire afin de répondre au cahier des charges. Puis déduire la valeur de la résistance R_g .

Partie 2 : Filtrage du signal EMG

Le signal amplifié est fortement bruité. La présence de bruit au-delà de la bande passante du signal nécessite un filtrage analogique passe-bas pour éviter tout repliement de spectre. Le concepteur a choisi un filtre passif (figure 5) et une fréquence d'échantillonnage du convertisseur analogique-numérique élevée. L'étude suivante, menée en représentation complexe, a pour objectif la détermination de la valeur minimale de cette fréquence d'échantillonnage.

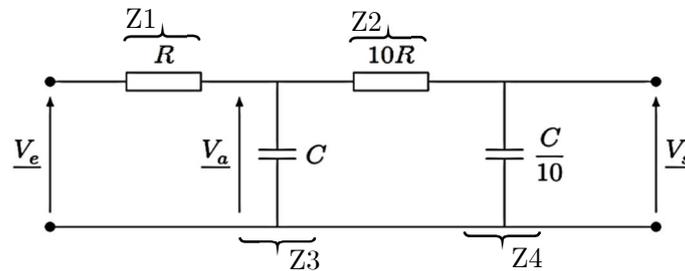


Figure 5

- Q7. Exprimer les impédances Z_1 , Z_2 , Z_3 et Z_4 en fonction de R et C .
- Q8. Exprimer la tension V_a en fonction de V_e , V_s , Z_1 , Z_2 et Z_3 puis en fonction de V_e , V_s , R et C .
- Q9. Exprimer la tension V_s en fonction de V_a , Z_2 , Z_4 puis en fonction de V_a , R et C .
- Q10. En déduire l'expression de la fonction de transfert $H(j\omega)$ sous la forme :

$$H(j\omega) = \frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)} = \frac{1}{1 + 2m j \frac{\omega}{\omega_0} + (j \frac{\omega}{\omega_0})^2}; \text{ Déterminer les expressions de } \mathbf{m} \text{ et } \boldsymbol{\omega}_0 \text{ en fonction de } \mathbf{R} \text{ et } \mathbf{C}.$$

Le concepteur du système impose au filtre de respecter le gabarit de filtrage présenté dans la figure 6, afin de trouver les valeurs de résistance \mathbf{R} et le condensateur \mathbf{C} .

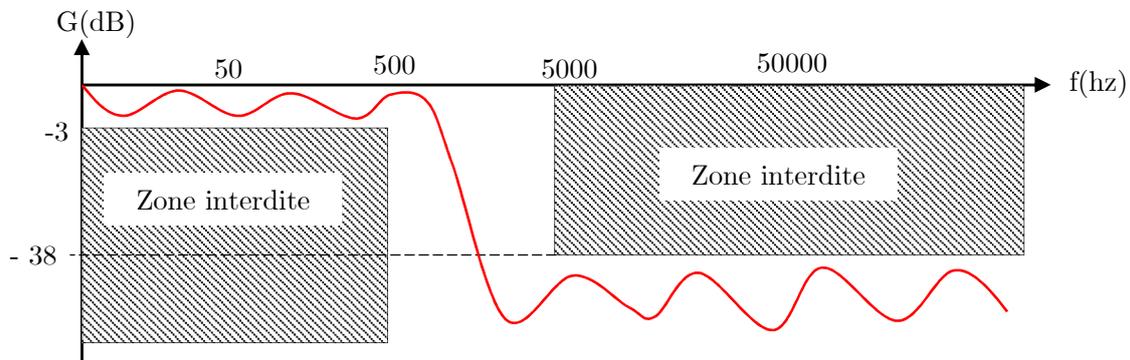


Figure 6

Q11. Quel type de filtre faut-il placer pour respecter le gabarit de filtrage ? Quel est l'ordre minimal de ce filtre ?

Q12. A partir du gabarit de filtrage. Trouver la fréquence de coupure \mathbf{f}_0 . Connaissant la relation de $\boldsymbol{\omega}_0$, calculer la valeur de la résistance \mathbf{R} si la valeur de condensateur $\mathbf{C}=1\mu\mathbf{F}$.

On s'intéresse par la suite à tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert du filtre précédent, cette dernière présente un facteur d'amortissement supérieur 1, et pour cela il faut la mettre sous la forme de deux fonctions de transfert du 1er ordre :

$$H(j\omega) = \frac{1}{(1 + \tau_1 j\omega)(1 + \tau_2 j\omega)} \text{ Avec } \tau_1 = 0.436 \text{ ms et } \tau_2 = 0.232 \text{ ms}$$

Q13. Exprimer le module $|\mathbf{H}(j\boldsymbol{\omega})|$ et la phase $\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{H}(j\boldsymbol{\omega}))$ en fonction de $\boldsymbol{\tau}_1$ et $\boldsymbol{\tau}_2$.

Q14. Mettre la fonction de transfert $\mathbf{H}(j\boldsymbol{\omega})$ sous la forme canonique :

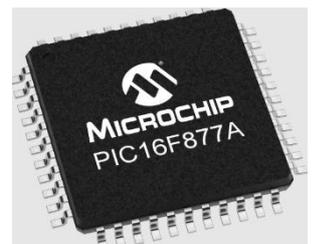
$$H(j\omega) = \frac{1}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})}, \text{ que vaut les valeurs de } \boldsymbol{\omega}_1 \text{ et } \boldsymbol{\omega}_2;$$

Q15. Tracer le diagramme de Bode asymptotique et le diagramme réel (gain et phase).

Q16. Donner l'expression de sortie $V_s(t)$ si : $V_e(t) = 2\sqrt{2} \sin(2\pi f_1 t) + 3\sqrt{2} \sin(2\pi f_2 t)$ avec $\mathbf{f}_1=300\mathbf{hz}$ et $\mathbf{f}_2=10\mathbf{Khz}$;

Partie 3 : conversion analogique numérique et choix de fréquence d'échantillonnage

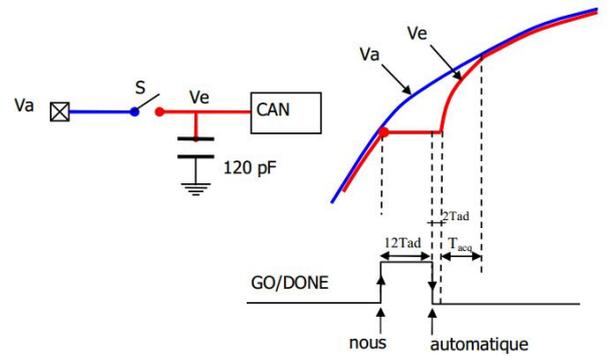
Pour le traitement numérique de l'information, le constructeur du système traite l'information par un microcontrôleur PIC16F877A, Il est généralement moins puissant qu'un microprocesseur en terme de rapidité ou de taille mémoire, il se contente le plus souvent d'un bus 8 ou 16 bits. Ceci en fait un composant très bon marché parfaitement Adapté pour piloter les applications embarquées.



Le signal EMG est amplifié et adapté pour atteindre un niveau compatible avec le convertisseur analogique-numérique du PIC16F877A. Ce dernier présente une résolution de 10 bits et sa plage d'entrée est comprise entre 0 et 3 V.

Le PIC dispose d'un échantillonneur bloqueur intégré constitué d'un interrupteur S, d'une capacité de maintien $C=120 \text{ pF}$. Pendant la conversion, la tension V_e à l'entrée du convertisseur A/N doit être maintenue constante.

La fréquence d'échantillonnage maximal recommandée pour le constructeur du PIC est 12 KHz.



En vous rappelant que le signal EMG est fortement bruité et de faible amplitude. Sa bande passante est comprise entre 10 et 500 Hz.

Q17. Déterminer la fréquence maximale F_{max} du signal EMG et en déduire la fréquence théorique d'échantillonnage f_e , cette fréquence respecte la fréquence maximale d'échantillonnage du PIC.

Quel est le rôle de l'échantillonneur bloqueur ?

Le choix de la fréquence d'échantillonnage f_e du convertisseur analogique-numérique doit conduire au respect du critère $|H(j\omega)| = \frac{|V_s(j\omega)|}{|V_e(j\omega)|} < \frac{q}{\Delta V_{CAN}}$ pour $\omega > \pi f_e$, q étant la résolution et ΔV_{CAN} la plage de conversion du convertisseur.

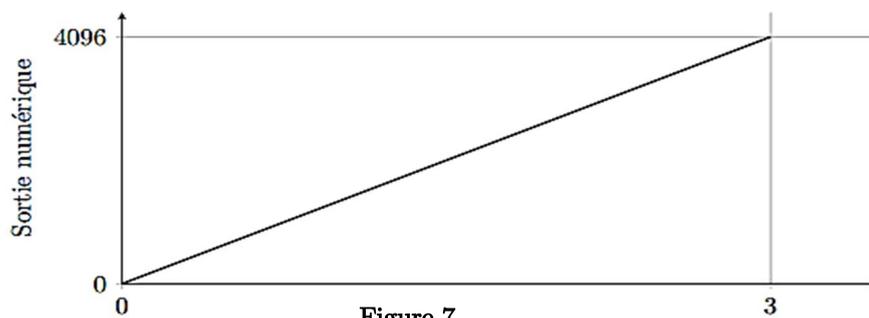


Figure 7

Q18. Déterminer la résolution q en fonction de la plage de conversion ΔV_{CAN} et du nombre de bits N du convertisseur

Q19. Déterminer ensuite la valeur de la fréquence f_e d'échantillonnage nécessaire. Cette fréquence respecte la fréquence maximale du PIC. Si la réponse est non, quelle est la solution que vous proposez ?

Q20. Calculer la tension fournie par les deux électrodes V_{elec} lorsqu'on relève en sortie du convertisseur $N=1100110110$. Sachant que le gain du filtre égal à 1 dans la bande passante (prendre $G=300$).

*** Fin d'épreuve ***