ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION D'AUTOMNE 2015

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

14-BI-B3 BIOINSTRUMENTATION

PREMIÈRE PARTIE : QUESTIONS À CHOIX MULTIPLES (20%)

Pour chacune des 10 questions suivantes, choisir l'énoncé le plus approprié (a, b, c ou d).
Une bonne réponse pour une de ces questions correspond à 2% de la note totale.
Bien lire et relire chaque question.

---

1) Quel est le plus faible courant qui est susceptible de provoquer un arrêt cardiaque ? Note : tous les courants indiqués ont une durée de 3 s et circulent entre les deux mains.
   1) Un courant AC de 100 mA
   2) Un courant DC de 100 mA
   3) Un courant AC de 10 mA
   4) Un courant DC de 10 mA

---

2) Les micro-chocs électriques :
   a) Sont beaucoup moins dangereux que les macro-chocs électriques.
   b) Sont dus au passage d'un courant entre un conducteur inséré dans le corps (exemple : un cathéter) et un conducteur qui est en contact avec la peau.
   c) Peuvent être dus à des différences de potentiel entre la mise à la terre de différents circuits d'alimentation dans une chambre d'hôpital.
   d) Peuvent être négligés lors de la conception des appareils médicaux.

---

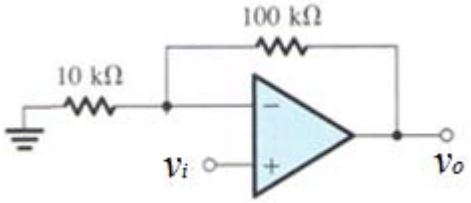
3) Le courant de fuite pour les électrodes branchées au patient d'un appareil utilisé pour enregistrer l'électrocardiogramme :
   a) Est mesuré entre les dérivations et la terre du circuit d'alimentation de l'appareil.
   b) Peut être mesuré lorsqu'on applique une tension de 120 V AC entre les dérivations et la terre.
   c) Peut causer la fibrillation ventriculaire dans certaines circonstances.
   d) Tous les énoncés précédents sont vrais.

---

4) Le seuil de non-lâcher pour un courant circulant entre les deux mains d'un sujet adulte :
   a) Varie entre 10 mA et 100 mA pour une fréquence de 60 Hz.
   b) Est plus élevé chez les hommes que chez les femmes pour une fréquence de 60 Hz.
   c) Est plus élevé pour un courant continu ou pour un courant de fréquence supérieure à 1000 Hz.
   d) Tous les énoncés précédents sont vrais.

5) Ce circuit utilise un amplificateur opérationnel idéal. Quelle est son impédance d'entrée ?

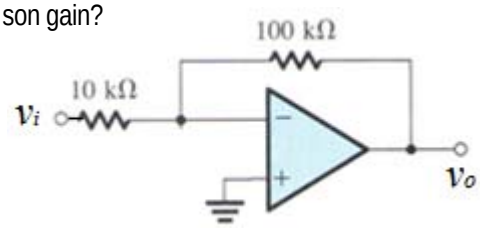
a) $Z_{in} =$ 10 kΩ
b) $Z_{in} =$ 100 kΩ
c) $Z_{in} =$ 9.09 kΩ
d) $Z_{in} \rightarrow \propto$



---

6) Ce circuit utilise un amplificateur opérationnel idéal. Quel est son gain?

a) Gain de -11
b) Gain de -10
c) Gain de +11
d) Gain de +10



---

7) Quelle est la fréquence d'échantillonnage la plus appropriée pour un signal électromyographique (EMG) ayant une bande passante de 0,5 à 1000 Hz ?

a) 0.5 Hz
b) 5 Hz
c) 1000 Hz
d) 5000 Hz

---

8) Quel type de filtre doit-on utiliser à l'entrée d'un convertisseur analogue-numérique ?

a) Passe-bas
b) Passe-haut
c) Passe-bande
d) Aucun

---

9) Quelle est l'amplitude $|H(j\omega)|$ de la fonction de transfert suivante : $H(j\omega) = \frac{1+j\omega}{1-j\omega}$

a) $(1+\omega^2)/(1-\omega^2)$
b) $(1-\omega^2)/(1+\omega^2)$
c) +1
d) –1

---

10) À quel type de filtre correspond la fonction de transfert suivante : $H(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega\tau}$

a) Passe-bas
b) Passe-haut
c) Passe-bande
d) Rejet de bande

SECONDE PARTIE : QUESTIONS À DÉVELOPPEMENT (80%)

11) Concepts de base et fonctions de transfert (20%)

Soit l'équation différentielle suivante qui décrit la relation entre l'entrée et la sortie d'un instrument de mesure. On considère que *x*(*t*) est l'entrée, *y*(*t*) est la sortie et que *a*, *b*, *c*, *e*, *f* et *g* sont des constantes :

$$a\frac{dy(t)}{dt} + b \times x(t) + c + y(t) = e\frac{dy(t)}{dt} + f \times x(t) + g$$

a) Trouver la fonction de transfert de cet instrument : $H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}$ (10%)

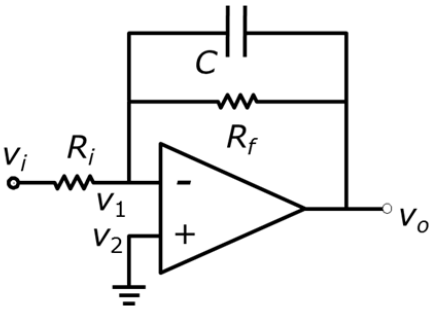
b) Quel est le type de réponse de cet instrument ? (passe-haut? passe-bas? passe-bande?) (5%)

c) Trouver la constante de temps de cet instrument. (5%)

---

12) Filtre actif (20%)

Vous voulez amplifier et filtrer un signal électrocardiographique à l'aide du circuit actif illustré ci-contre. On considère que l'amplificateur opérationnel est idéal.



a) Trouver la fonction de transfert du circuit : (5%)

$H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}$

b) Quel est le type de ce filtre ? (passe-haut? passe-bas? passe-bande?) (5%)

c) Sachant que R_i = 10 k Ω, quelle doit être la valeur de R_f pour obtenir un gain de 100 ? (5%)

d) Pour la valeur de R_f calculée précédemment, quelle doit être la valeur de *C* pour obtenir une fréquence de coupure de 100 Hz? (5%)

---

13) Numérisation de signaux (20%)

a) Pour un signal électrocardiographique ayant une plage de fréquence de 0.05 Hz à 100 Hz, quelle doit être la fréquence d'échantillonnage la plus basse que vous pouvez utiliser?

(5%)

b) Un convertisseur analogue/numérique qui n'est pas précédé d'un filtre *antialiasing* opère à une fréquence d'échantillonnage de 500 échantillons/seconde. Un signal sinusoïdal ayant une fréquence de 490 Hz est présent à l'entrée du convertisseur. Quelle sera la fréquence apparente du signal numérisé?

(5%)

c) Un convertisseur analogue/numérique de 16 bits ayant une plage d'entrée de $\pm$ 5 V est utilisé pour convertir un signal ECG. Trouver la taille du pas de quantification du convertisseur.

(5%)

d) Donnez l'équation d'un filtre numérique permettant de dériver un signal numérisé $x(n)$, où n est l'indice temporel de l'échantillon (n = 1, 2, 3…).

(5%)

---

14) Sécurité électrique à l'hôpital (20%)

Un patient est décédé soudainement à l'unité de soins intensifs de votre hôpital au moment où l'infirmière le branchait à un moniteur comprenant une dérivation électrocardiographique. Suite à une plainte d'un membre de la famille qui était présent lors du décès, on vous demande d'étudier tous les aspects pertinents de la sécurité électrique.

a) Qu'allez-vous mesurer ? (10%)

b) Décrire votre montage et les instruments de mesure ? (5%)

c) Quelles sont les normes que vous appliquerez et les valeurs seuils ? (5%)