

# Capteur pour skieur

Plusieurs entreprises proposent des masques connectés (RideOn, ReCon,...) ou des capteurs à installer sur ses skis (Xensr, Capturs,...) permettant d'analyser sa technique : vitesse, accélération, hauteur des sauts, nombre de descentes,...

Un premier système mécanique (qu'on appelle accéléromètre), qui ne sera pas étudié, permet de transcrire l'accélération selon chaque composante en grandeurs électriques. Il faut ensuite transmettre les bonnes informations au logiciel qui les traitera et les affichera sur l'application dédiée.

Une équipe de skieurs s'est prêté au jeu et il a été constaté que les mouvements de ski intéressants à étudier correspondent à des accélérations variant à des fréquences inférieures à 20 Hz. Tous les mouvements possédant une accélération variant à une fréquence plus grande que 20 Hz sont dues à des petites vibrations dans le ski et ne sont pas intéressants.

Le cahier des charges suivant a donc été proposé :

- ▷ Gain nominal (en régime continu) 0 dB
- ▷ Atténuation dans la bande de 0 à 20 Hz inférieure à 3 dB
- ▷ Atténuation pour les fréquences supérieures à 40 Hz supérieure à 10 dB

1. Quel type de filtre permettrait de répondre au cahier des charges ?

On rappelle que la fonction de transfert sous forme canonique réduite pour un filtre d'ordre 1 peut être  $\underline{H}_1(x) = \frac{H_0}{1 + jx}$  ou  $\underline{H}_2(x) = \frac{H_0 jx}{1 + jx}$  où  $x = \frac{f}{f_0}$  avec  $f_0$  la fréquence propre.

2. A quel type de filtre correspondent les fonctions de transfert  $\underline{H}_1(x)$  et  $\underline{H}_2(x)$  ?
3. Retrouver la pente des asymptotes du diagramme de Bode en gain du filtre d'ordre 1 répondant au cahier des charges. Calculer le gain en décibels à la fréquence de coupure.
4. Montrer que le filtre d'ordre 1 ne peut satisfaire le cahier des charges.

On choisit donc un filtre de même nature mais d'ordre 2 de fonction de transfert

$$\underline{H}(x) = \frac{1}{1 + j\frac{x}{Q} - x^2}$$

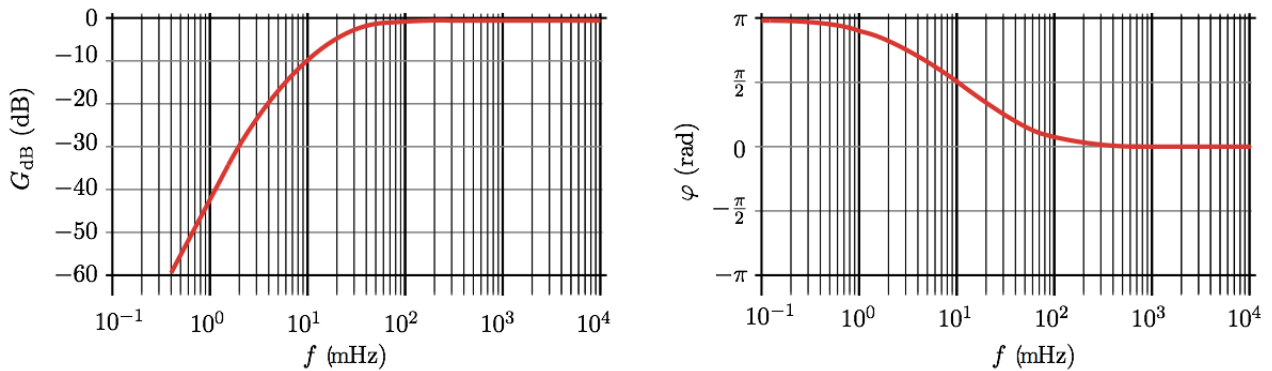
5. Retrouver la pente des asymptotes du diagramme de Bode en gain de ce filtre. Peut-il satisfaire le cahier des charges ?
6. En prenant  $f_0 = 20$  Hz, quelles sont les valeurs de  $Q$  pour lesquelles le filtre respecte le cahier des charges ?

Le capteur mesure l'accélération, mais l'application permet de connaître le nombre de sauts par exemple. Pour cela, un traitement numérique doit être effectué et la première étape est de soustraire au signal sa moyenne. Un filtre permet donc de moyennner le signal pour obtenir la vitesse. Une analyse fréquentielle permet alors d'extraire les fréquences dominantes et de les comparer à la fréquence de variation de l'accélération lors d'un saut.

7. Quel filtre (nature et ordre de grandeur de la fréquence propre) permet de moyennner un signal de fréquence supérieure à 0,1 Hz ?

L'application permet également de connaître la vitesse. Connaissant l'accélération, il faut donc intégrer le signal. Malheureusement, un bruit continu (de fréquence nulle) perturbe l'intégration, qui diverge du fait de ce bruit.

Pour répondre à ce problème, les ingénieurs ont proposé d'utiliser un filtre dont le diagramme de Bode est le suivant :

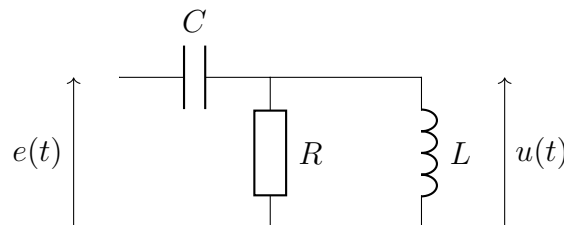


8. Indiquer de quel type de filtre il s'agit.  
 9. Identifier l'ordre du filtre (il s'agit d'un filtre classique) et sa fréquence caractéristique  $f_0$ .  
 10. On envoie en entrée le signal suivant :

$$e(t) = E_0 + E_0 \cos(\omega t) + E_0 \cos(10\omega t + \frac{\pi}{2}) + E_0 \cos(100\omega t - \frac{\pi}{3}),$$

avec  $f = \omega/2\pi = 2$  mHz et  $E_0 = 1$  V. Déterminer l'expression du signal  $s(t)$  de sortie du filtre et tracer son spectre.

11. Justifier qualitativement que le montage ci-dessous peut avoir ce diagramme de Bode.



12. Déterminer la valeur du facteur de qualité à partir du diagramme de Bode.