



CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

Mécanique

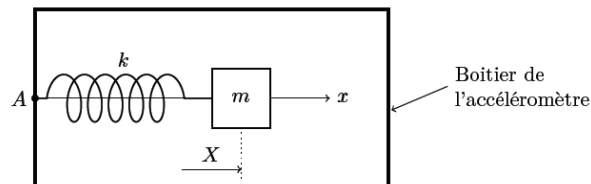
La console de jeu vidéo Nintendo Wii a été la première à proposer des manettes équipées d'accéléromètres développés conjointement avec la société franco-italienne STMicroelectronics. Il s'agit du composant électronique ADLX 330 dont quelques caractéristiques sont données en annexe. Grâce à ces accéléromètres, la télécommande est capable de déterminer un grand nombre de mouvements que le joueur produira dans l'espace :

gauche-droite, haut-bas, avant-arrière, rotation, torsion, etc. Tout geste avec les bras et les mains peut donc être interprété par les jeux Wii.



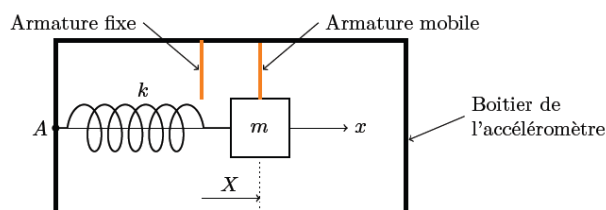
1) Le composant ADLX 330 vous semble-t-il adapté à l'utilisation proposée ?

L'accéléromètre est de type pendulaire, modélisé par le système suivant : une masse  $m$  est astreinte à se déplacer le long de l'axe  $Ax$ . Elle est soumise à une force de rappel de la part d'un ressort de constante de raideur  $k$ , d'une force de frottement fluide proportionnelle à la vitesse de la masse dans le boîtier.  $X(t)$  repère la position de la masse par rapport à la position d'équilibre au repos. À  $t = 0$ , le boîtier est soumis à une accélération  $\vec{a} = a\vec{u}_x$  constante. Un dispositif annexe permet la mesure de  $X(t)$ .



- 2) Donner l'expression de  $X(t)$  si le système, initialement au repos et à la position d'équilibre, subit une accélération indicielle  $a = 1\text{m.s}^{-2}$  avec une réponse pseudo-périodique.
- 3) On souhaite que la pulsation propre s'identifie à la pulsation de coupure à -3dB. Quelle valeur doit-on fixer pour le facteur d'amortissement  $M$  ? Donner également une valeur de  $\omega_0$  ?
- 4) Utiliser la fonction graphe du module « moduletrace » sur python afin de tracer l'évolution temporelle de  $X(t)$  pour cette accélération  $a$  indicielle unitaire du boîtier en utilisant les valeurs de la question précédente.
- 5) Analyser le type de réponses obtenues. Évaluer le temps de réponse du capteur. Conclure.

La mesure de  $X(t)$  s'effectue à l'aide d'une méthode électrostatique. Le dispositif orange forme un condensateur dont l'une des armatures est solidaire de la masse  $m$ .



6) Expliquer comment s'effectue la mesure de  $a$ .

#### Annexe pour importer une fonction d'un module

```
import numpy as np #permet d'importer une fonction du module numpy avec utilisation du préfixe np.#
from moduletrace import graphe #permet d'importer la fonction graphe de moduletrace (pas de préfixe pour utiliser cette fonction)
```



## CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

Extrait de la fiche technique du composant ADXL 330

### CARACTÉRISTIQUES

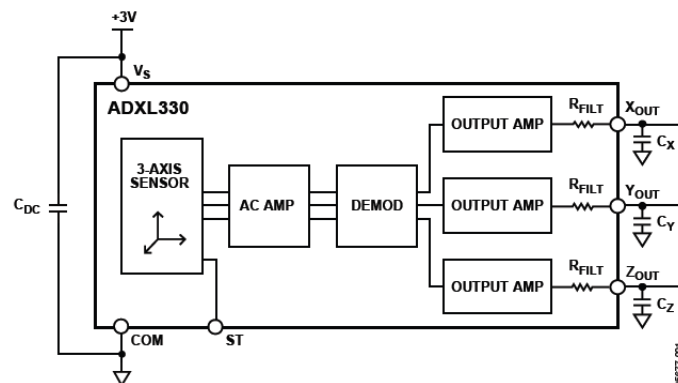
- Capteur 3 axes
- Boîtier compact de faible épaisseur  
4 mm × 4 mm × 1,45 mm LFCSP
- Faible consommation  
180  $\mu\text{A}$  à  $V_s = 1,8\text{ V}$
- Alimentation unique  
entre 1,8 V et 3,6 V
- Résistance à des chocs de 10 000 g
- Excellente stabilité en température
- Tension minimale mesurable en sortie  
 $\pm 3\text{ mV}$

### DESCRIPTION GÉNÉRALE

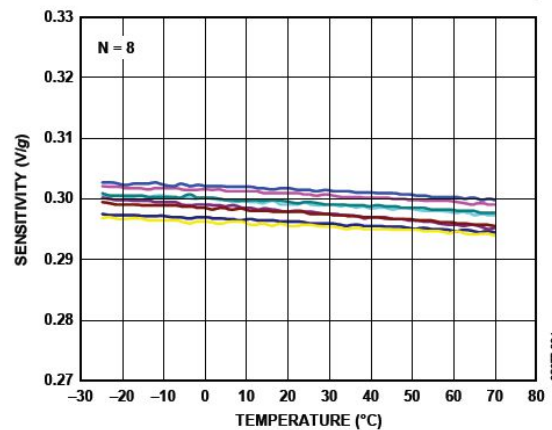
L'ADXL330 est un accéléromètre 3 axes mince et compact de faible consommation avec des sorties conditionnées en tension, le tout sous forme d'un circuit intégré monolithique. Il mesure toute accélération comprise dans une gamme minimale de  $\pm 3g$ . Il peut mesurer l'accélération statique gravitationnelle pour des applications nécessitant de détecter l'inclinaison aussi bien que l'accélération dynamique provenant de mouvements, chocs ou vibrations.

L'utilisateur sélectionne la bande passante de l'accéléromètre en utilisant les capacités  $C_x$ ,  $C_y$  et  $C_z$  sur les sorties  $X_{\text{out}}$ ,  $Y_{\text{out}}$  et  $Z_{\text{out}}$ . Afin de s'adapter à l'utilisation souhaitée, plusieurs bandes passantes peuvent être choisies dans une échelle de 0,5 Hz à 1600 Hz pour les axes X et Y et de 0,5 Hz à 550 Hz pour l'axe Z.

### SCHEMA FONCTIONNEL



Sensibilité suivant l'axe X en fonction de la température



soudé 8 points sur circuit imprimé,  $V_s = 3\text{ V}$



CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

Corrigé

La console de jeu vidéo Nintendo Wii a été la première à proposer des manettes équipées d'accéléromètres développés conjointement avec la société franco-italienne STMicroelectronics. Il s'agit du composant électronique ADLX 330 dont quelques caractéristiques sont données en annexe. Grâce à ces accéléromètres, la télécommande est capable de déterminer un grand nombre de mouvements que le joueur produira dans l'espace :

gauche-droite, haut-bas, avant-arrière, rotation, torsion, etc. Tout geste avec les bras et les mains peut donc être interprété par les jeux Wii.



- 1) Les limites en fréquences recouvrent bien largement les fréquences de stimulation de la télécommande par l'utilisateur (typiquement limité à 10Hz). De même pour la valeur de l'accélération maximale admissible de 3g : le bras de l'opérateur n'atteindra pas une vitesse de 30m/s en une seconde.

- 2) L'équation différentielle est donc du type :

$$m\vec{a}(M) = -k(l - l_0)\vec{u}_x - \alpha\vec{v}$$

$$m(\ddot{a} + \ddot{X}\vec{u}_x) = -k(X)\vec{u}_x - \alpha\dot{X}\vec{u}_x$$

En posant  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$  et  $M = \frac{\alpha}{2\sqrt{km}}$

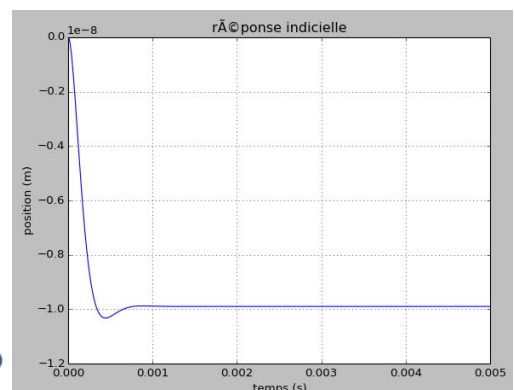
$$\ddot{X} + 2M\omega_0\dot{X} + \omega_0^2 X = -a$$

Donc passé le régime transitoire et pour un mobile initialement au repos, on a  $X_\infty = -a/\omega_0^2$  : on a donc convertit l'accélération en équivalent position :  $X(t) = -a/\omega_0^2 + a/\omega_0^2 e^{-M\omega_0 t} \left( \cos(\omega_a t) + \frac{M}{\sqrt{1-M^2}} \sin(\omega_a t) \right)$

- 3) Il faut  $\omega_0 = 2\pi * 1600$  et  $M = \frac{1}{\sqrt{2}}$
- 4) En complétant le programme, on a :

```
import numpy as np
from moduletrace import graphe

#constantes#
w0=2*np.pi*1600
M=2**-0.5
a=1
wa=w0*(1-M**2)**0.5
#variable temps#
t = np.linspace(0, 0.005, 10000)
x = -a/w0**2+(a/w0**2)*np.exp(-M*w0*t)*(np.cos(wa*t)+M/(1-M**2)**0.5*np.sin(wa*t))
graphe(t,x)
```



Le régime transitoire est de l'ordre de quelques  $\frac{1}{M\omega_0} \approx 0,02s$  : régime transitoire court par rapport à l'excitation de l'utilisateur.

- 5) Dans le modèle du condensateur plan  $C = \frac{\epsilon_0 S}{e}$  et ici  $e \propto a$