Approche documentaire : accéléromètre et sismomètre

Consignes : L'Approche Documentaire doit rester un travail personnel pour prolonger et approfondir le cours. Un soin particulier doit être apporté à la rédaction. Tous les résultats seront encadrés. Essayer d'exploiter au maximum les documents fournis.

1 Présentation

1.1 De la manette de console...

La notion de filtrage n'est pas réservée aux circuits électriques. Elle peut être étendue à tout type de système, par exemple mécanique. Il existe de nombreux filtres mécaniques, comme les sismomètres, les amortisseurs de voitures, les accéléromètres...
Ces derniers sont de plus en plus utilisés dans les manettes de consoles de jeux vidéos, les téléphones portables ou les tablettes. Il s'agit alors de choisir l'accéléromètre adapté à l'utilisation que l'on souhaite en faire. On se propose d'étudier ici, l'accéléromètre ADXL330. Il s'agit d'une puce électronique qui transforme une accélération mécanique en signal électrique. Les deux premières lettres désignent le fabricant (ici Analog Devices) ; les chiffres et lettres qui suivent précisent de quel circuit il s'agit. Ce circuit est, entre autre, utilisé dans les manette de WII.

1.2 ... à la recherche en géophysique

Une application a été très récemment envisagée par des chercheurs en géophysique. Il s'agit d'une démarche collaborative, consistant à mutualiser les informations reçues par les smartphones des différentes personnes située dans une zone touchée par une secousse sismique. La sensibilité des accéléromètres des smartphones actuels permet d'envisager la détection de séismes de magnitude 3 à 4 environ ce qui correspond à des accélérations de l'ordre de 5 à 50 mg (1 mg $\simeq 10^{-2}$ m.s^{-1}). La magnitude correspond à une échelle logarithmique. Un sismographe mesure les mouvements du sol. Il se décline sous de nombreuses formes, il en existe de différentes bandes passantes et de différents gains. La fréquence d'enregistrement est usuellement comprise entre 0,01 Hz et quelques dizaines de Hz. La figure 1 présente un exemple possible d'enregistrement.

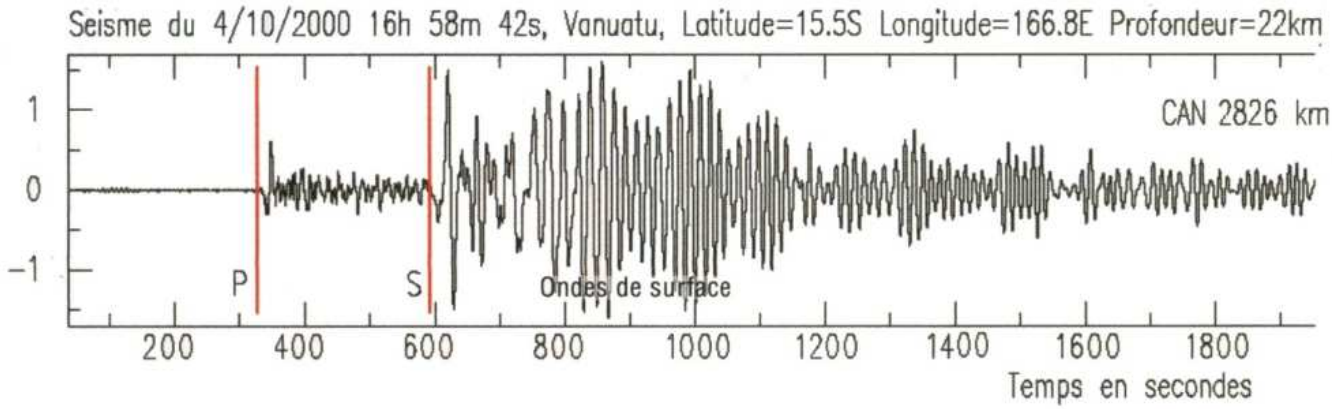


Figure 1 – Sismogramme enregistré à Canberra le 4 Octobre 2000 d'un séisme situé dans le Pacifique.

Des sismographes trois axes permettent d'enregistrer distinctement les effets des ondes sismiques selon la direction de déplacement du sol. Les ondes sismiques sont des ondes élastiques. Les vibrations engendrées par un séisme se propagent dans toutes les directions. On distingue les ondes de volume qui traversent la Terre et les ondes de surface qui se propagent parallèlement à sa surface. On ne considère par la suite que les ondes de volume. Elles se propagent à l'intérieur du globe. Leur vitesse de propagation dépend du matériau traversé et d'une manière générale elle augmente avec la profondeur. L'onde P, ou onde primaire est, comme son nom l'indique, l'onde qui arrive la première, elle est aussi appelée onde de compression ou onde longitudinale. Le déplacement du sol qui accompagne son passage se fait par dilatation et compression

successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde. C'est la plus rapide (6 km.s^{-1} près de la surface) et elle est enregistrée en premier sur un sismogramme. Elle est responsable du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre. Elle voyage directement du foyer du tremblement de terre au lieu de mesure. C'est cette onde qui sonne l'alerte du tremblement de terre, mais ce n'est pas la plus dangereuse. En effet c'est l'onde S secondaire qui arrive quelques secondes plus tard qui est plus destructrice car elle est transversale et non longitudinale comme l'onde P. A son passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Cette onde ne se propage pas dans les milieux liquides, elle est en particulier arrêtée par le noyau de la Terre. Sa vitesse est plus lente que celle des ondes P (environ 4 km.s^{-1}), elle apparaît en second sur les sismogrammes.
Parmi les autres ondes que l'on pourrait citer, il y a l'onde pcP qui part de la source, rebondit sur le noyau et arrive en surface. Enfin l'onde pP qui rebondit une fois sur la croûte avant d'arriver.

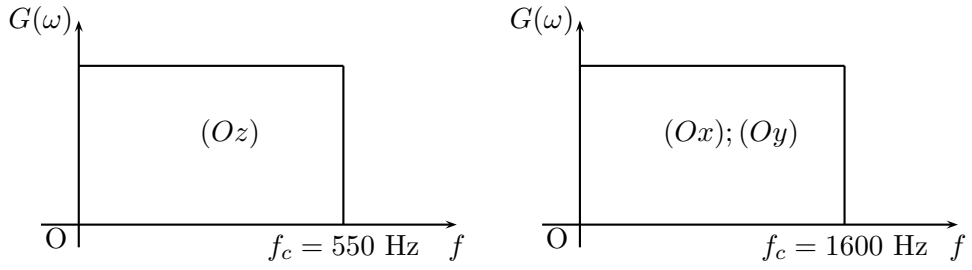
2 Questions

En vous aidant du datasheet donné en annexe et de votre de cours de physique, répondez aux questions suivantes :

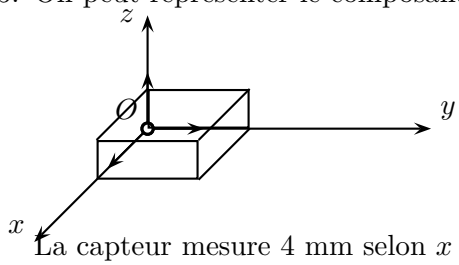
1. Le composant ADXL330 mesure-t-il l'accélération suivant un seul axe ou selon les trois coordonnées d'espace ? Quel est le rôle du bloc noté DEMOD sur le datasheet ?
2. Quelles sont les bandes passantes indiquées sur la notice constructeur ? Proposer un graphe rendant compte de la réponse fréquentielle du capteur.
3. L'utilisateur peut-il diminuer ces bandes passantes ? les augmenter ?
4. Qu'arrive-t-il aux signaux dont la fréquence est située en dehors de cette bande passante ?
5. Les dimensions de la puce sont précisées sur la notice. Dessiner la puce en perspective en indiquant ses dimensions et les axes correspondants.
6. Quel ordre de grandeur en terme de fréquence d'excitation un utilisateur de jeu vidéo peut-il atteindre ? Les caractéristiques du capteur sont-elles compatibles avec cette valeur ? Pourquoi la bande passante doit-elle être supérieure à la fréquence maximale d'utilisation ?
7. Retrouver la formule donnant la distance de l'épicentre au sismomètre en fonction des dates d'arrivée des ondes S et P et de leur vitesse.
8. Les caractéristiques du composant sont-elles en accord avec les contraintes à satisfaire du point de vue fréquentiel ? Peut-on espérer détecter des tremblements de magnitude 3 ? de magnitude 4 ? Le capteur pourrait-il transmettre des données fiables pour un séisme important de magnitude 6,7, soit une accélération de 2 m.s^{-1} environ ?
9. Comment pourra-t-on distinguer les ondes de type P et de type S ?
10. Pour l'axe (Ox), le capteur est monté sur une capacité de 0,47 μF. Quelle est la valeur de bande passante possible, compte tenu de la variabilité de la résistance interne du composant ?
11. Estimer la fréquence des ondes P sur l'enregistrement donné plus haut. Ces ondes seraient-elles détectées avec cette valeur ?
12. Pourquoi a-t-on fait ce choix d'une capacité de 0,47 μF pour l'usage habituel du capteur sur un smartphone ?
13. Quel(s) intérêt(s) représente le projet évoqué ? Discuter sa faisabilité.

Approche documentaire : accéléromètre et sismomètre

1. Le composant mesure l'accélération selon les trois axes (x,y,z), il est écrit qu'il s'agit d'un « 3 axis accelerometer » . Le transducteur physique est constitué de plaques conductrices parallèles. Lorsque le capteur subit une accélération, une des plaques se déforme ce qui provoque la variation de la capacité du condensateur formé par les plaques. Cette variation de capacité se traduit alors en une différence de phase entre deux signaux sinusoïdaux. Le module DEMOD permet de convertir cette différence de phase en une amplitude et une direction d'accélération.
2. Le capteur possède une bande-passante de $[0; 550\text{ Hz}]$ selon l'axe (Oz) et de $[0; 1600\text{ Hz}]$ selon les axes (Ox) et (Oy). On peut schématiser ceci dans les graphes suivantes :



3. L'utilisateur peut diminuer la bande passante jusqu'à 0,5 Hz selon les trois axes en ajoutant des condensateurs en parralèle entre les sorties X_{out}, , Y_{out} et Z_{out} et la masse. Par contre, il est impossible d'augmenter cette bande passante.
4. Les signaux au-delà de cette bande passante sont éliminés.
5. On peut représenter le composant de la manière suivante :



La capteur mesure 4 mm selon x et y sont et 1,45 mm selon l'axe Oz.

6. Lorsqu'un joueur secoue une manette de WII, on peut estimer que la fréquence est de l'ordre d'une dizaine de Hertz. Le capteur est donc bien adapté à cette utilisation. Dans la pratique, la bande passante est plus grande que 10 Hz car le mouvement de la manette n'est pas purement sinusoïdal mais contient des harmoniques dont il faut tenir compte pour rendre le jeu le plus réaliste possible.
7. On avait établi dans le DM01 : $\left\{ \begin{array}{lcl} t_p & = & t_0 + \frac{\Delta}{c_p} \\ t_s & = & t_0 + \frac{\Delta}{c_s} \end{array} \right.$

   Où Δ est la distance à l'épicentre, t_p et t_s sont les temps d'arrivé des ondes p et s et c_p et c_s sont les vitesses de ces ondes. Donc :

   $\Delta = \frac{c_p c_s}{c_p - c_s}(t_s - t_p)$
8. Sur le sismogramme donné sur la figure 1, on peut estimer la fréquence des ondes sismique à 0,05 Hz, cette fréquence est dans la bande passante du capteur. Du point de vue fréquentielle le capteur est donc adapté à la détection des ondes sismiques. Afin de savoir si le capteur peut détecter une onde de magnitude 3, il faut s'intéresser au niveau de bruit du capteur. Sur la documentation, il est écrit que la densité de bruit est de 280 $\mu g/\sqrt{Hz}$ selon les axes $(0x)$ et $(0y)$ et de 350 $\mu g/\sqrt{Hz}$ selon l'axe $(0z)$. Sur la page 12, la documentation donne la relation entre le niveau de bruit et la densité de bruit, on en déduit qu'il est de 14 mg selon les axes $(0x)$ et $(0y)$ et de 10 mg selon l'axe (Oz). La table 6 donne ensuite des détails sur la statistique du bruit : le signal lié au bruit ne dépasse pas 8 fois le niveau de bruit plus de 0,006 % du temps. On peut donc dire qu'il faut que le signal lié aux secousses sismique doit avoir une amplitude supérieure à 113 mg selon les axes $(0x)$ et $(0y)$ et à 83 mg selon l'axe (Oz)

afin d'être détecté. Ainsi, les séismes d'ordre 3 ou 4 ne pourront pas être détecté. Par contre, un séisme de magnitude 6 pourra l'être.

9. Il est possible de distinguer les ondes S des ondes P car ces ondes véhiculent une vibration selon des axes différents.
10. La fréquence de coupure du filtre de sortie est donné par la relation : $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$, avec $R = 32$ k$\Omega \pm 15\%$. On en déduit donc que pour un condensateur de capacité $C = 0{,}47\ \mu F$, la fréquence de coupure est comprise entre 9 et 12 Hz.
11. Les ondes P ont une fréquence de l'ordre de 0,05 Hz. Celles-ci peuvent donc être détectées par le capteur.
12. On a choisi une fréquence de coupure de 10 Hz, car pour les application usuelles, les fréquences d'excitation sont inférieures à la dizaine de Hertz. Il est intéressant de réduire cette bande passante dans le cas de détection d'onde sismique car le niveau de bruit en sortie du capteur évolue comme la racine carré de la bande passante. Ainsi, plus la bande passante est faible et plus le niveau de bruit en sortie sera faible.
13. Ce projet semble réalisable pour les forts séismes, du point de vue des caractéristiques techniques du capteur présent dans les smartphones. Par contre, un effort important devra être apporté du point de vue analyse de données, en effet, il ne faudra pas confondre une vibration due à un séisme avec une vibration due à un autre phénomène, comme la marche du porteur du smartphone.