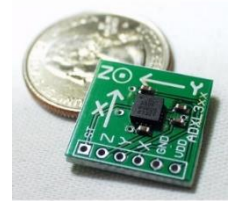


DM pour le lundi 2 mai

Un microaccéléromètre capacitif

Un accéléromètre est un micro-capteur capacitif que l'on trouve dans un smartphone, un drone ou même dans des prothèses auditives implantées dans l'oreille interne ! On peut modéliser certains accéléromètres par une série de condensateurs plans dont les capacités varient en fonction de l'accélération que subit le capteur.



Accéléromètre ADXL330 Source : Robotkraft

La première partie de l'exercice porte sur l'étude d'un microaccéléromètre capacitif. Dans la seconde partie, un dispositif expérimental capacitif est étudié.

Données :

- Permittivité de l'air $\epsilon_{air} = 8,9 \times 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$;
- La capacité C d'un condensateur plan s'exprime en fonction de l'écart entre ses armatures d , la surface des électrodes S et la permittivité du milieu : $C = \epsilon \frac{S}{d}$

1. Fonctionnement d'un accéléromètre capacitif

L'accéléromètre capacitif ADXL330 est modélisé par une série de condensateurs plans. Lorsque ce capteur est soumis à une accélération, la géométrie des condensateurs change ce qui provoque la variation de leurs capacités. La valeur de la capacité permet d'accéder aux valeurs des paramètres géométriques des condensateurs. L'accélération est alors déduite des paramètres par un étalonnage.

1.1. Un dispositif ultra miniaturisé

L'accéléromètre étudié est composé d'une partie mobile qui peut se déplacer par rapport au support le long de l'axe de mesure XX' (voir figure 1). La partie mobile et le support forment de peignes enchevêtrés l'un dans l'autre. La partie mobile, appelée masse mobile, est reliée au support par deux barres flexibles qui jouent le rôle de ressorts. Les tiges en regard les unes des autres constituent les armatures d'un ensemble de condensateurs plans. Ce dispositif est extrêmement miniaturisé : sa surface est de l'ordre de 1 mm^2 et son épaisseur de l'ordre de $1 \mu\text{m}$.

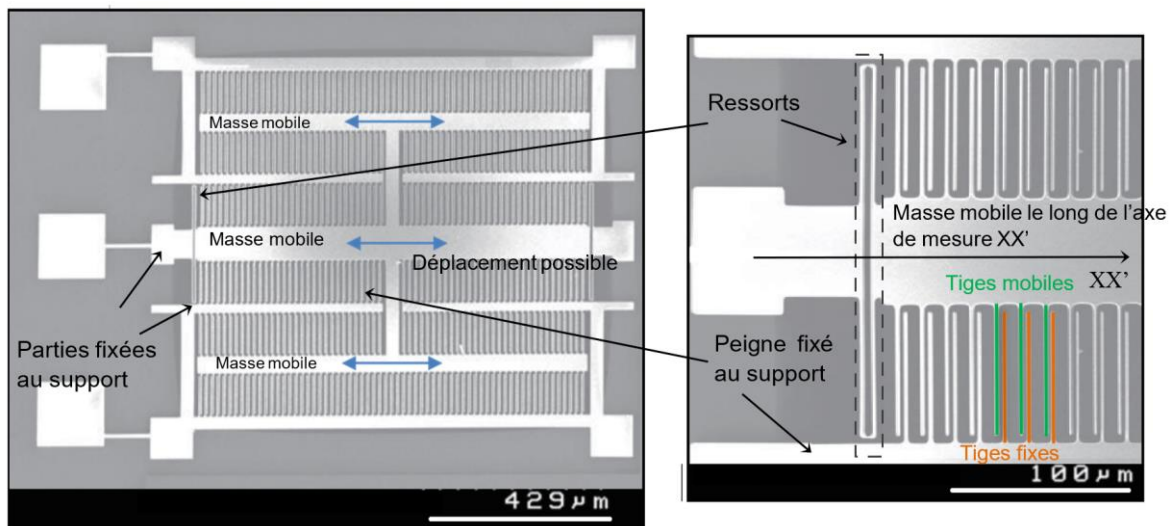


Figure 1. Images au microscope électronique à balayage de l'accéléromètre ADXL330

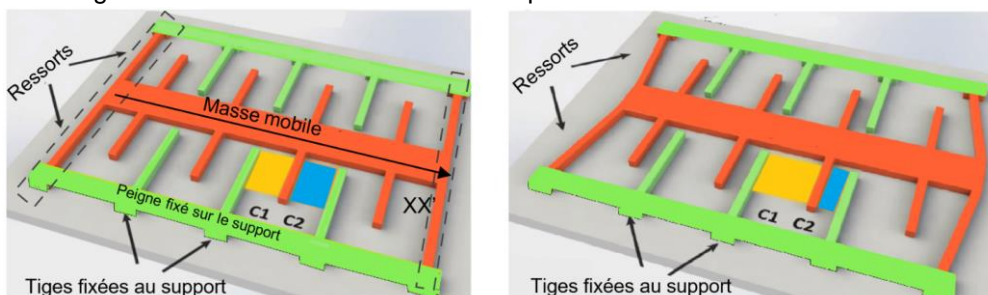
Source « A MEMS Capacity Accelerometer middle ear.. » M.A. Zurcher...

1.1.1. Évaluer l'ordre de grandeur de la distance entre deux tiges successives du peigne fixe

1.1.2. La longueur d'une tige est de $65 \mu\text{m}$ en déduire la valeur de la surface des tiges en regard.

1.2. Capteur modélisé par une série de condensateurs plans

Lorsque le support subit une accélération dans le référentiel terrestre, la masse mobile se déplace par rapport au support en sens inverse de l'accélération sous l'effet des forces de tensions des ressorts (l'un est comprimé, l'autre étiré). Les peignes en regard se décalent faisant varier les capacités des condensateurs élémentaires (figure 2).



(a) Support sans accélération : les deux condensateurs élémentaires ont la même capacité $C_1=C_2=C_0$

(b) Support soumis à une accélération : $C_1 \neq C_2$

Source : d'après « How MEMS Accelerometer Gyroscope Magnetometer Work » (you tube)

Figure 2. Modélisation du capteur par une série de condensateurs plans élémentaires

1.2.1. A l'aide des valeurs trouvées aux questions 1.1, évaluer l'ordre de grandeur de la capacité C_0 d'un condensateur élémentaire lorsque le support n'est soumis à aucune accélération (on considérera que le milieu diélectrique est l'air). Comparer aux ordres de grandeur des valeurs usuelles de capacité.

1.2.2. Dans la configuration du schéma (b) de la figure 2, comparer les valeurs des capacités C_1 et C_2 . Justifier.

1.3. Une mesure d'accélération

La tension électrique de sortie U_S délivrée par l'accéléromètre capacitif est une fonction affine la valeur de la coordonnées a_x du vecteur accélération du capteur suivant l'axe de mesure XX' : $U_S = U_0 + B \times a_x$.

Pour l'accéléromètre ADXL330, $U_0 = 1,50$ V est la tension électrique lorsque le capteur n'est soumis à aucune accélération et $B = 0,0306$ V·m⁻¹·s² est la sensibilité du capteur.

Ce capteur est embarqué dans un drone en mouvement rectiligne horizontal. Le drone accélère le long de l'axe de mesure XX' du capteur. À l'instant de la mesure, la tension électrique de sortie de l'accéléromètre est de 2,02 V.

Comparer la valeur de l'accélération du drone à celle de l'accélération moyenne d'une moto qui passe d'une vitesse nulle à une vitesse de 100 km·h⁻¹ en 3 s. Commenter.

2. Méthode de détermination de l'écart entre les armatures par mesure de la capacité.

L'objectif de l'expérience suivante est d'illustrer une méthode pour déterminer l'écart entre les armatures d'un condensateur par mesure de sa capacité.

Deux carrés de feuille d'aluminium de 25 cm de côté sont séparés par un film de polyéthylène (film alimentaire). On réalise le montage électrique ci-dessous. Les mesures de tensions sont réalisées à l'aide d'un microcontrôleur.

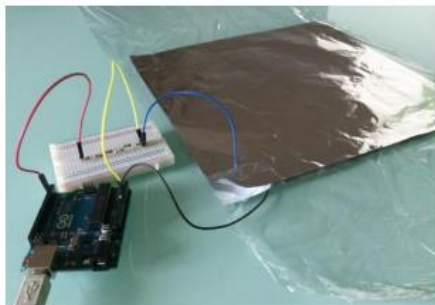


Figure 3a. Photo du dispositif expérimental

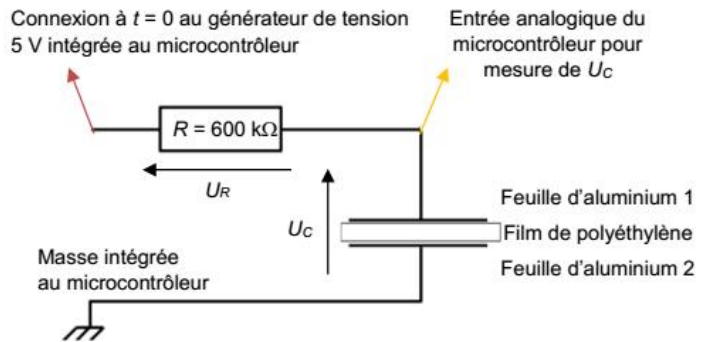
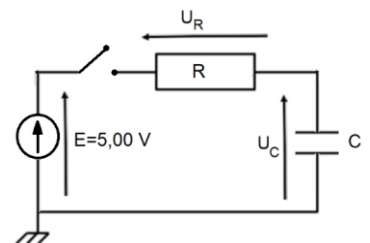


Figure 3b. Schéma électrique équivalent

Données

- Permittivité diélectrique du polyéthylène $\epsilon_{PE} = 19 \times 10^{-12}$ F·m⁻¹.
- Épaisseur usuelle d'un film alimentaire en polyéthylène : 10 µm.

On modélise le dispositif expérimental par un circuit RC idéal. Le schéma électrique équivalent du dispositif est représenté ci-contre. A $t = 0$, l'interrupteur est fermé. Le condensateur initialement déchargé, commence à se charger.



2.1. Indiquer le signe des charges qui s'accablent sur chaque feuille d'aluminium (figure 3).

2.2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension U_C aux bornes du condensateur dans le circuit RC idéal où C désigne la capacité du condensateur et R la résistance du conducteur ohmique du circuit électrique.

Pour la condition initiale $U_C(t=0) = 0,00$ V, la solution de l'équation différentielle est : $U_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ avec $\tau = RC$.

2.3. Déterminer la valeur limite atteinte par U_C lorsque t est très grand devant τ .

A l'aide du microcontrôleur, la tension aux bornes des armatures en aluminium U_C est mesurée au cours du temps pour deux valeurs de résistances différentes $R = 600$ kΩ et $R = 300$ kΩ. Son évolution au cours du temps est représentée ci-dessous :

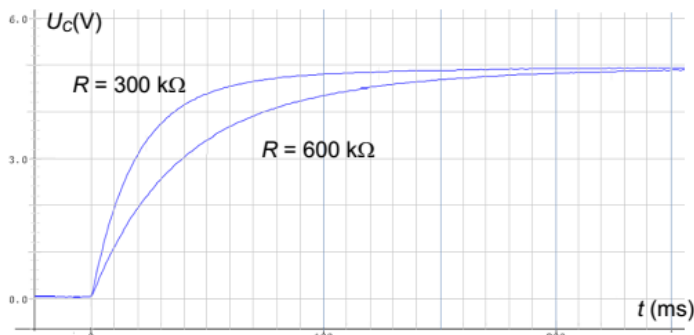


Figure 4. Évolutions de la tension électrique U_C au cours du temps mesurée par le microcontrôleur pour deux valeurs de résistances R .

2.4. Expliquer qualitativement comment il est possible de déterminer l'écart entre les feuilles d'aluminium à partir de ces résultats.