

Bureau d'étude : Récupération de l'énergie électrique d'une poutre piézoélectrique

De manière générale un matériau piézoélectrique transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique et inversement. Ces matériaux sont utilisés dans de nombreuses applications :

- Génération de son ou d'ultrason
- Générateur de sur-tension (allume gaz, briquet)
- Transformateur (électrique)
- Actionneur de positionnement, ...

Nous allons étudier un système de récupération d'énergie mécanique. Un tel système récupère l'énergie mécanique issue des vibrations ambiantes afin d'alimenter des systèmes électriques de faible consommation (typiquement de quelques μW au mW). On peut par exemple utiliser ces systèmes pour des interrupteurs sans fils.

On souhaite alimenter un datalogger servant à mesurer la température d'une carcasse interne de moteur. Le datalogger transmet par ondes radios les mesures effectuées à la fin de la campagne de mesure. Plutôt que d'utiliser une pile, on décide de récupérer l'énergie produite par les vibrations du moteur, une poutre piézoélectrique assure la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique.

1) Analyse de la consommation du datalogger.

Le constructeur fournit les données de consommation électrique de son datalogger. Celui-ci possède 3 modes de fonctionnement : le mode « mesure », le mode « veille » et le mode « transmission radio ». Les consommations sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Grandeur	Valeur
Tension nominale (V)	3,6
Plage de tension d'alimentation (V)	Entre 2,4 et 4,2 volts
Consommation mode "veille" (μA)	0,5
Consommation mode "mesure" (mA)	0,1
Durée pour faire une mesure (s)	0,5
Consommation mode "radio" (mAh@3,6V) X est le nombre de trames à transmettre Il y a une trame pour transmettre une mesure.	$0,0001 \cdot X + 0,001$
Durée pour envoyer l'ensemble des mesures (s)	10

Tableau 1 : Caractéristiques électriques du datalogger

Les mesures sont effectuées à intervalles réguliers durant le fonctionnement et stockées dans la mémoire du datalogger. Après chaque mesure, le datalogger repasse en mode "veille". A la fin de la campagne de mesure, les données sont toutes transmises par radio en un seul "paquet".

On donne : durée de la campagne de mesure : **D = 2h,**
Fréquence de mesures : **1 mesure toutes les 10 minutes**

Combien y a-t-il de transmissions sur la durée d'une campagne de mesure?
Tracez la forme de $i(t)$ sur 2 heures en incluant la transmission finale.

Sur la durée d'une campagne de mesure (avec la transmission finale), calculer la consommations en mode veille, celle en mode mesure et celle en mode transmission. En déduire la consommation totale du datalogger et la puissance moyenne consommée.

Nous allons dans ce bureau d'études utiliser une pastille piézoélectrique initialement utilisée comme un buzzer pour récupérer l'énergie produite par ses déformations. Ce piézo n'est pas, à la base, prévu pour récupérer de l'énergie, ces performances ne sont donc pas optimales.

2) Caractérisation de l'actionneur piézoélectrique (séance 1 et 2)

Le but de cette première partie est de déterminer et de valider les paramètres du modèle électrique équivalent autour de la résonance. Ce modèle sera utilisé ensuite pour simuler le système complet incluant la poutre piézoélectrique, le redresseur, le stockage et le datalogger.

a) Modélisation électrique d'un piézoélectrique

La piézoélectricité est la propriété de certains matériaux à se polariser électriquement sous l'action d'une force mécanique et/ou de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique.

Nous allons dans ce bureau d'étude simplifier au maximum la modélisation en considérant que la charge déplacée par l'élément piézoélectrique (q) est proportionnelle au déplacement du bout de la poutre piézoélectrique (u), soit :

$$q = \alpha \cdot u$$

Avec α constante électromécanique.

Par dérivation, on en déduit que le courant piézoélectrique i_{pz} vaut :

$$i_{pz} = \alpha \cdot \frac{du}{dt}$$

Avec du/dt la vitesse de déplacement du bout de la poutre piézoélectrique.

Nous considérons le piézoélectrique comme un générateur de courant dont l'amplitude est proportionnelle à la vitesse à laquelle il est déformé. Les piézoélectrique possèdent une constance diélectrique non négligeable que nous prenons en compte par la mise en parallèle d'une capacité C_{pz} . Le modèle global est donc le suivant.

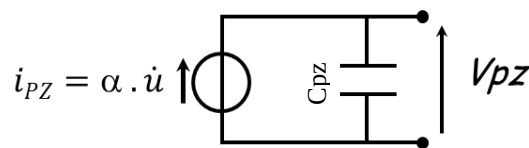


Figure 1 : Modélisation de l'actionneur piézoélectrique

b) Mesure des caractéristique du piézoélectrique

La pastille piézoélectrique est montée sur une règle au bout de laquelle est placée un accéléromètre qui sert (en plus de mesurer l'accélération de la règle!!!) de masse.

L'accéléromètre donne une tension proportionnelle à l'accélération avec un gain que l'on notera k . Rechercher la valeur de ce gain (internet). Un conditionneur permet ensuite d'augmenter ce gain d'un facteur K_{cond} que vous sélectionnerez. Le gain entre l'accélération $\ddot{u}$ et la tension de l'accéléromètre V_{acc} se note : $k_{acc} = \frac{V_{acc}}{\ddot{u}} = k \cdot k_{cond}$

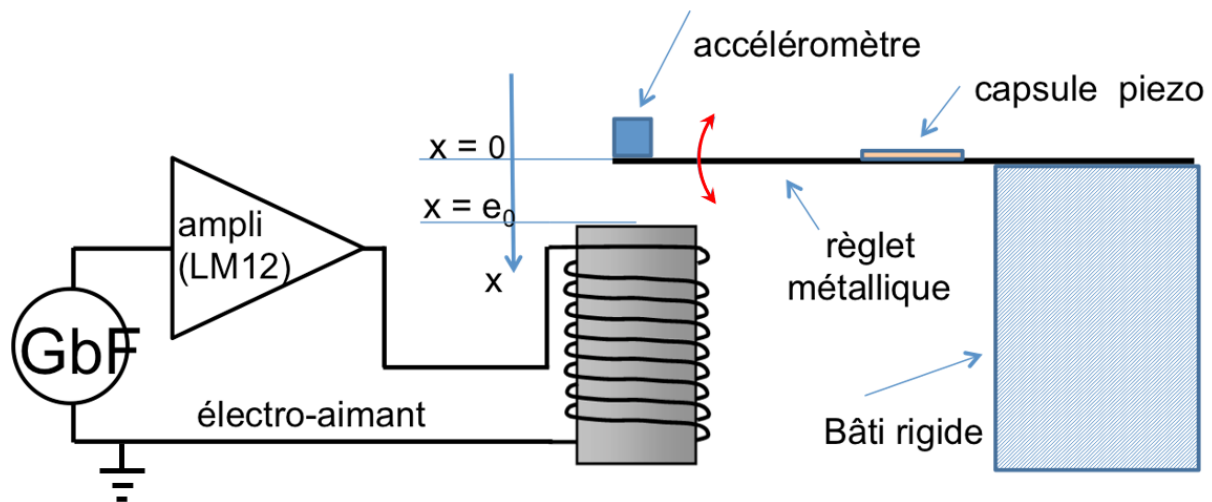


Figure 2 : Dispositif de caractérisation de l'ensemble règle + piézoélectrique

Afin de faire vibrer la poutre piézoélectrique nous utiliserons un champ magnétique alternatif produit par un électro-aimant. Dans un premier temps nous vous demandons de :

- Faire vibrer la poutre manuellement et déterminer la fréquence de résonance (ne pas mettre en fonctionnement l'électroaimant).
- Toujours avec l'électroaimant éteint, déplacer la règle jusqu'au circuit magnétique. Brancher ensuite une sonde de tension mesurant la tension du piézoélectrique V_{PZ} . Il faudra préalablement synchroniser sur cette dernière l'oscilloscope en mode SINGLE. Qu'observez-vous ?
- A partir de cette mesure, proposer et mettre en œuvre une méthode permettant de mesurer la capacité C_{PZ} du piézoélectrique.
- Par calcul, et en considérant l'excitation du piézoélectrique comme sinusoïdale, donner la relation entre la tension donnée par l'accéléromètre V_{acc} et la tension du piézoélectrique V_{PZ} .
- Vous alimentez maintenant l'électroaimant avec le GBF pour faire varier la fréquence de vibration entre 0 et 20 Hz. Mesurer l'amplitude de V_{acc} , de V_{PZ} ainsi que leur fréquence respective. En déduire la valeur de la constante électromécanique α en fonction de la fréquence (entre 0 et 20 Hz). A partir du graphe donner la valeur de la fréquence de résonance.

3) Récupération de l'énergie à partir d'un piézoélectrique

Dans cette partie on récupérera l'énergie délivrée par le piézo. Le montage utilisé dans un premier temps pourrait être modifié afin de récupérer plus de puissance (commande SSHI).

a) Pont de diode (séance 2)

On cherche à récupérer l'énergie provenant d'une vibration, le signal délivré par le piézo est donc alternatif. La manière la plus simple de récupérer toute l'énergie est d'utiliser un pont redresseur et de stocker l'énergie dans une capacité. Le montage à réaliser est celui présenté sur la figure suivante :

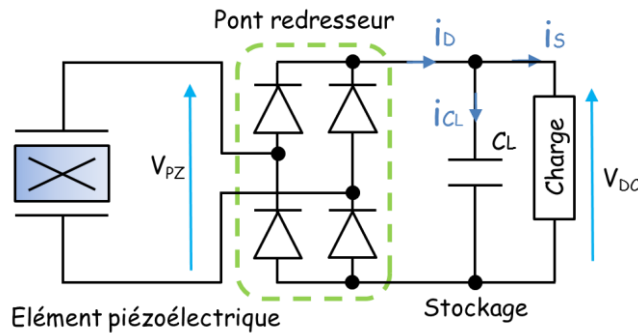


Figure 3 : Pont redresseur débitant sur charge résistive (Technique de l'ingénieur D 3 235)

- Réaliser le montage suivant sans la résistance de charge et avec une capacité de 10 μF , observer les tensions V_{PZ} et V_{DC} lorsque le piézoélectrique vibre à la fréquence de résonance. Commenter vos courbes.
- Refaire cette expérience pour plusieurs valeurs de capacité C_L . Tracer l'évolution de la tension V_{DC} en fonction de la valeur de la capacité.
- Pour au moins une valeur de capacité C_L que vous noterez et en vous plaçant à la fréquence de résonance, mesurer et ENREGISTRER (image et points), la tension V_{PZ} , la tension V_{DC} ainsi que la tension de l'accéléromètre V_{acc} . Ces trois tensions vous serviront à valider le modèle, il est donc IMPERATIF que vous ayez mesuré ces tensions pour la séance 3.
- A partir de la tension V_{acc} calculer le courant I_{PZ_MAX} du piézoélectrique.

b) Simulation du pont de diode (séance 3 et 4)

A l'aide de PSIM réaliser le montage de la figure 3.

On modélisera le piézoélectrique par une source de courant sinusoïdale I_{pz} et la capacité C_{pz} trouvée lors des séances 1 et 2.

- Si ce n'est pas encore fait déterminer la valeur de ce courant I_{PZ_MAX} à partir des mesures précédentes.

ON TRAVAILERA TOUJOURS A LA FREQUENCE DE RESONANCE

- L'évolution des tensions V_{pz} et V_{DC} doit être la même que celle observée expérimentalement. Pour arriver à faire « coller » les courbes expérimentales et simulées vous devrez certainement prendre en compte les éléments parasites du montage.

Maintenant que le modèle est validé vous pouvez l'utiliser.

- Observer (par simulation) l'influence de la résistance sur la puissance récupérée et la tension V_{DC} en régime permanent. Tracer l'évolution de $P=f(R)$, $V_{DC}=f(R)$, et $P=f(V_{DC})$. Expliquer ces résultats

Remplacer la charge (résistance) par une source de courant continu I_{DC} permettant de modéliser la consommation continue d'un dispositif.

- Retrouver les formes d'ondes décrites ci-dessous

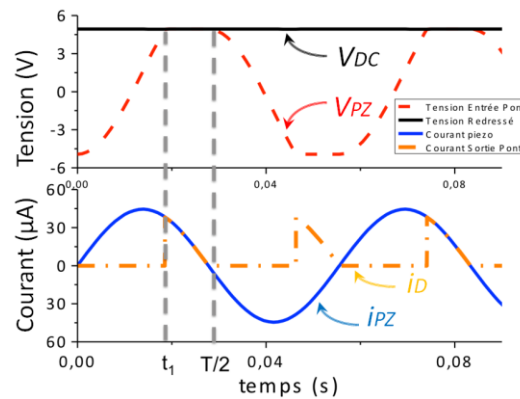


Figure 4 : Evolution des tensions et courants du dispositif

On supposera que la valeur de C_L est suffisante pour que V_{DC} reste constante et en supposera les diodes parfaite.

La source de courant i_{PZ} charge la capacité du piezo C_{PZ} de 0 à t_1 et le pont de diode n'est pas passant.

- A partir de $V_{PZ}(t)$ on peut calculer la puissance transférée sur une demi période. en fonction de V_{DC} , I_{PZ_max} , C_{PZ} :

$$\langle P_{PZ} \rangle = \frac{2}{\pi} \cdot V_{DC} \cdot I_{PZ_max} \cdot \left(1 - \frac{C_{PZ} \omega \cdot V_{DC}}{I_{PZ_max}} \right)$$

- Faire varier la valeur de I_{DC} et tracer la courbe de P_{pz} en fonction de V_{DC} pour 2 valeurs de I_{PZ_max} différentes. Vous devez normalement obtenir deux courbes en cloches

c) Alimentation du datalogger

- Redonner la puissance moyenne consommée par le datalogger (cf partie 1)
- A partir de l'expression de $P=f(V_{DC})$ de l'énergie récupérable calculer le courant I_{pz_max} à fournir par le piezo pour avoir une tension de 3,6 V (la tension maximale acceptable par le datalogger est de 4,2V).
- Calculer la capacité C_L permettant de limiter la chute de tension à 1V lors de l'envoi de la mesure (la tension minimale acceptable par le datalogger est de 2,4V).
- Faire le schéma du dispositif complet sous PSIM. On se servira de sources de courant pilotées par un interrupteur pour modéliser les différentes consommations du datalogger. Par exemple pour la mesure de donnée; l'interrupteur doit être fermé uniquement le temps pendant lequel on fait la mesure.
- Simuler à part la modélisation de la charge alimentée par une source de tension pour vérifier que cette modélisation est bien faite.

d) Modèle complet

- Intégrer le modèle du datalogger avec le modèle du récupérateur d'énergie.
- Vérifier le fonctionnement. Tracer l'évolution de V_{DC} , I_{CL} , E_{CL} (énergie stockée dans le condensateur) en fonction du temps. Montrer ainsi que le piézoélectrique est capable d'alimenter le datalogger.