

Proposition d'une nouvelle formule d'accélération du mouvement pour l'accéléromètre

Proposal of a new movement acceleration formula for the accelerometer sensor

Abdelaziz Lakehal¹

Department of Mechanical Engineering
Mohamed Chérif Messaadia University
P.O. Box 1553, Souk-Ahras, 41000, Algeria,
lakehal21@yahoo.fr

Zine Ghemari²

Electrical Engineering Department
University of M'sila
M'sila, Algeria
ghemari-zine@live.fr

Résumé— Dans ce papier, nous avons développé un modèle mathématique qui met en relation l'accélération du mouvement en fonction de la fréquence naturelle et le taux d'amortissement de l'accéléromètre piézorésistif d'une part, et l'accélération en fonction de l'erreur de mesure d'une autre part. Ce modèle permet de réduire l'erreur de mesure de l'accélération et d'augmenter la précision de l'accéléromètre par un bon choix du taux d'amortissement. Le modèle développé a été validé par des tests de simulation.

Mots clés—Accéléromètre; amortissement; erreur; Mesure.

Abstract— In this paper, a new mathematical model links the movement acceleration as a function with the natural frequency and the damping rate of piezoresistive accelerometer was developed in the hand and the movement acceleration as a function of the measurement error in the other hand. This model allows reducing the acceleration measurement error and increasing the accelerometer accuracy by the right choice of damping rate and frequency range. Experimental tests and simulations are performed to validate this model.

Keywords—Accelerometer; Damping; Error; Measurement.

I. INTRODUCTION

Toutes les machines en fonctionnement produisent des vibrations, images des efforts dynamiques engendrés par les pièces en mouvement. Ainsi, une machine neuve en excellent état de fonctionnement produit très peu de vibrations. La détérioration du fonctionnement conduit le plus souvent à un accroissement du niveau des vibrations [1-2].

La mesure des vibrations en niveau global permet de qualifier l'état général d'une machine par comparaison à des normes ou des mesures précédentes. Cette stratégie de surveillance consiste en un suivi de l'évolution dans le temps d'un ou de plusieurs indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération). Les vibrations mécaniques sont détectées par un capteur de vibration, monté sur le palier de la machine, il convertit le signal mécanique en un signal électrique qui sera acheminé à un mesureur de vibrations pour l'analyser et afficher la valeur globale de la vibration [3-5].

La surveillance par analyse des vibrations est un outil indispensable pour une maintenance moderne, puisqu'elle permet, par un dépistage ou un diagnostic approprié des défauts, d'éviter la casse et de n'intervenir sur une machine qu'au bon moment et pendant des arrêts programmés de production [6-7].

Capteur de vibration, système d'acquisition du signal, interprétation et prise de décision représente une chaîne de matériels et de tâches qui dépend principalement de la fiabilité de mesure de l'accéléromètre. Ce dernier représente le premier élément à prendre en considération pour avoir une surveillance et un diagnostic fiable. L'objectif principal de ce travail est d'améliorer les performances de l'accéléromètre (capteur de vibration) par la proposition d'une nouvelle relation qui relie l'accélération des mouvements vibratoires en fonction de l'erreur de mesure.

II. LE MODELE MECANIQUE DE L'ACCELEROMETRE PIEZORESISTIF

Dans le cas où l'accéléromètre piézorésistif subit un mouvement vibratoire généré par les forces mécaniques extérieures, le corps d'épreuve (électrode mobile) se déplace. Ce mouvement défini par la loi de Newton et peut être présenté par le modèle suivant (voir Fig.1):

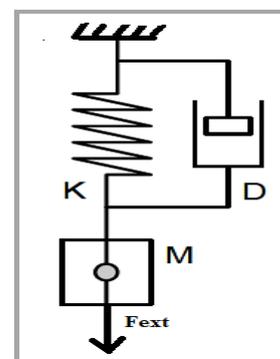


Fig. 1.Principe de fonctionnement de l'accéléromètre

POUR AVOIR L'ARTICLE COMPLET CONTACTER L'AUTEUR



La 3^{ème} **C**onférence **I**nternationale sur la **M**aintenance et la
Sécurité **I**ndustrielle (**CIMSI**)
Skikda; le 09 et 10 Novembre 2015

Proposition d'une nouvelle formule de l'accélération de l'accéléromètre

Abdelaziz Lakehal,
Department of Mechanical Engineering,
Mohamed Chérif Messaadia University, P.O. Box
1553, Souk-Ahras 41000, Algeria.

Zine Ghemari
Electrical Engineering Department
University of M'sila
M'sila, Algeria
ghemari-zine@live.fr

Plan de travail

- Introduction
- Le modèle mécanique de l'accéléromètre piézorésistif
- Validation du modèle développé
 - *Résultats expérimentaux*
 - *Résultats de simulation*
 - *Réduction de l'erreur de mesure*
- Conclusions

Introduction

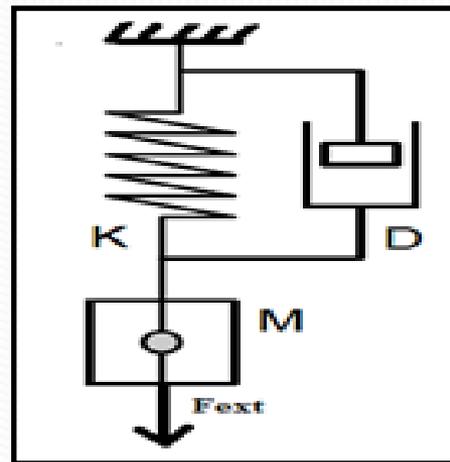
L'accéléromètre est le premier élément de la chaîne de mesure de vibration, il converti le mouvement vibratoire en signal électrique.

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer les performances de l'accéléromètre (capteur de vibration) par la proposition d'une nouvelle relation qui relie l'accélération des mouvements vibratoires en fonction de l'erreur de mesure.

Le modèle mécanique de l'accéléromètre piézorésistif

Dans le cas où l'accéléromètre piézorésistif subit un mouvement vibratoire généré par les forces mécaniques extérieures, le corps d'épreuve (électrode mobile) se déplace. Ce mouvement est défini par la loi de Newton et peut être présenté par le modèle suivant (voir Fig.1):

Figure.1. Principe de fonctionnement de l'accéléromètre



$$\bullet \sum F = m\gamma = m \, d^2x/dt^2 \quad (1)$$

Le système est composé des éléments suivants: la masse, le raideur et l'amortisseur; alors, le modèle devient:

$$m(d^2x/dt^2) + c (d^2x/dt^2) + k x(t) = - m(d^2y/dt^2) \quad (2)$$

Après la simplification des équations, on obtient l'équation (3) :

$$x = \omega^2 y / \omega_n^2 [(1 - (\omega / \omega_n)^2)^2 + (2\zeta\omega / \omega_n)^2]^{1/2} \quad (3)$$

L'accélération du mouvement vibratoire est défini par:

$$a = \omega^2 y / [(1 - (\omega / \omega_n)^2)^2 + (2\zeta\omega / \omega_n)^2]^{1/2} \quad (4)$$

L'erreur de mesure est exprimée par la relation suivante :

$$E = [1 / (1 - (\omega / \omega_n)^2)^2 + (2\zeta\omega / \omega_n)^2] - 1 \quad (5)$$

D'après l'équation (5), nous pouvons écrire l'expression suivante:

$$(E + 1)^{1/2} = [1 / (1 - (\omega / \omega_n)^2)^2 + (2\zeta\omega / \omega_n)^2]^{1/2} \quad (6)$$

En substituant l'équation (4) dans l'équation (6), on obtient:

$$a = \omega^2 y (E + 1)^{1/2} \quad (7)$$

L'équation (7) est un nouveau modèle qui met en relation l'accélération du mouvement et l'erreur de mesure de l'accéléromètre.

III. Validation du modèle développé

A. Résultats expérimentaux

Les paramètres de l'accéléromètre piézorésistif utilisé dans les tests expérimentaux sont: la fréquence naturelle égale à 80 Hz et le taux d'amortissement égal à 0.6. La fréquence relative du mouvement générée par l'excitateur est variée de 0 jusqu'à 25Hz avec un pas de 2.5Hz pour prendre à chaque fois la valeur de l'accélération indiquée par l'accéléromètre et les résultats expérimentaux obtenus sont résumés dans le tableau suivant

Tableau.1. Résultats expérimentaux de l'accélération

La fréquence relative (Hz)	L'accélération du mouvement (mm/s ²)
0	0
2.5	0.0934
5	0.375
7.5	0.8452
10	1.5061
12.5	2.3592
15	3.4065
17.5	4.6510
20	6.0952
22.5	7.7424
25	9.5945

B. Résultats de simulation

Pour valider le nouveau modèle développé, il faut comparer les résultats expérimentaux obtenus avec les résultats de simulation du modèle développé.

Dans le travail de simulation, on calcule le déplacement, l'erreur de mesure et l'accélération du mouvement par les équations 3, 5 et 7. L'amplitude du mouvement est égale à $y = 0.015\text{mm}$ et les mêmes paramètres de l'accéléromètre utilisé dans l'expérimentation ($\zeta = 0.6$ et $\omega_n = 80\text{Hz}$), ensuite on varie la fréquence relative du mouvement tel que dans le travail expérimental ci-dessus. Les résultats de simulation obtenus sont présentés dans le tableau 2 :

Tableau.2. Résultats de simulation obtenus pour $\zeta = 0.6$

La fréquence relative (Hz)	Le déplacement (mm)	L'erreur de mesure (%)	L'accélération (mm/s^2)
0	0	0	0
2.5	0.00005	0.05	0.0938
5	0.00010	0.22	0.3754
7.5	0.00015	0.49	0.8458
10	0.00020	0.86	1.5064
12.5	0.00040	01.32	2.3592
15	0.00050	1.88	3.4066
17.5	0.00070	2.51	4.6511
20	0.00100	03.21	6.0955
22.5	0.00120	03.95	7.7424
25	0.00150	04.73	9.5941

Les deux tableaux 1 et 2 montrent que les résultats obtenus par expérimentation sont similaires à celles des résultats obtenus par simulation. Alors ; on peut déduire que le modèle développé de l'accélération en fonction de l'erreur de mesure de l'accéléromètre est validé.

C- Réduction de l'erreur de mesure

La réduction de l'erreur de mesure est très importante dans le domaine de la mesure parce que elle permet de proposer un nouvel accéléromètre.

En se basant sur le bon choix du taux d'amortissement ainsi que la plage fréquentielle appropriée à l'accéléromètre pour réduire l'erreur de mesure et améliorer la précision de l'accéléromètre piézorésistif.

Dans ce contexte, un choix de la valeur du taux d'amortissement est de 0.68. On exécute la simulation dont les paramètres de l'accéléromètre restent les mêmes tel que dans le travail expérimental ci-dessus sauf le taux d'amortissement devient 0.68. Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau 3

Tableau.3. Résultats de simulation obtenus pour $\zeta = 0.68$

La fréquence relative (Hz)	Le déplacement (mm)	L'erreur de mesure	L'accélération (mm/s ²)
0	0	0	0
2.5	0.00005	0.01	0.0938
5	0.00010	0.06	0.3751
7.5	0.00015	0.12	0.8443
10	0.00020	0.21	1.5016
12.5	0.00040	0.31	2.3474
15	0.00050	0.41	3.3819
17.5	0.00070	0.49	4.6051
20	0.00090	0.55	6.0165
22.5	0.00120	0.57	7.6153
25	0.00150	0.52	9.3992

Le tableau.3 illustre que l'erreur de mesure de l'accéléromètre proposé ($\zeta = 0.68$) est minimisée par rapport à l'erreur de l'accéléromètre utilisé dans l'expérimentale ($\zeta = 0.6$).

La comparaison entre les résultats expérimentaux obtenus ($\zeta = 0.6$) et les résultats de simulation ($\zeta = 0.68$) est montrée dans la figure 2 et la figure 3.

On remarque qu'il y a une différence entre l'accélération mesurée par l'accéléromètre proposé et par l'accéléromètre utilisé dans l'expérimentale

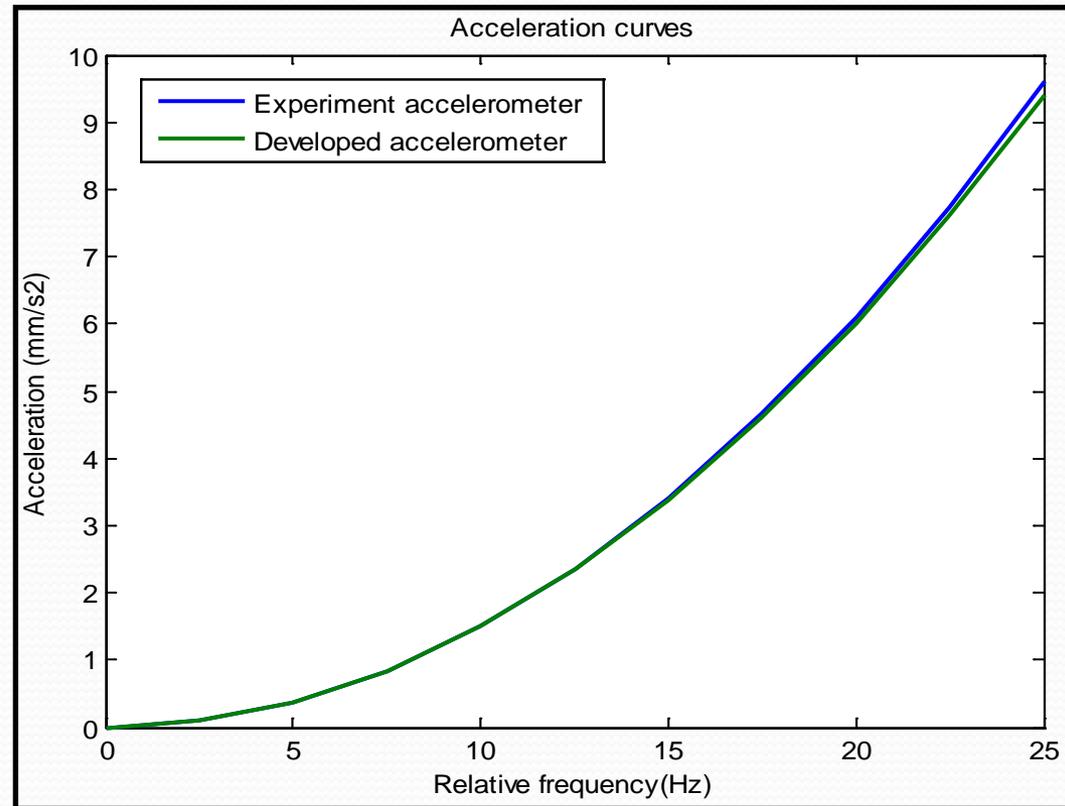


Figure.2. L'accélération du mouvement pour deux accéléromètres, l'un utilisé dans l'expérimentale et l'autre proposé.

On remarque que l'erreur de mesure de l'accéléromètre proposé est plus réduite par rapport à l'accéléromètre utilisé dans l'expérimentale.

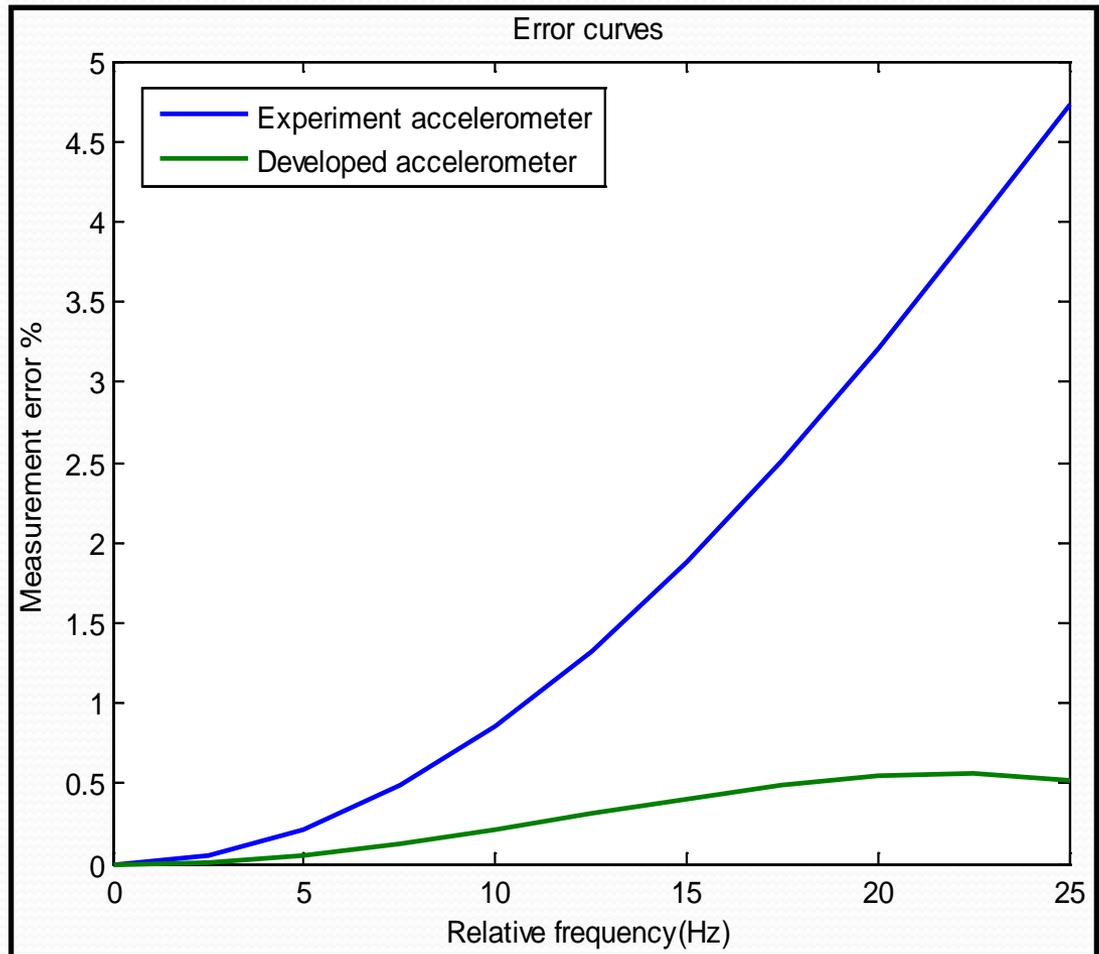


Figure.3. L'erreur de mesure pour deux accéléromètres, l'un utilisé dans l'expérimentale et l'autre proposé.

Conclusion générale

Dans ce travail; nous avons proposé un nouveau modèle mathématique convenable à l'accélération mesurée par l'accéléromètre piézorésistif, qui met en relation la majorité de ses paramètres. Des tests expérimentaux et de simulation sont effectués pour valider ce modèle.

Le modèle proposé permet d'améliorer les paramètres de l'accéléromètre par un bon choix du taux d'amortissement d'une part et par la plage fréquentielle appropriée à l'accéléromètre d'une autre part, ce qui réduit l'erreur de mesure au maximum (limiter à 0.5%) et améliore par conséquent la précision.



Merci pour votre attention