

## **Modélisation et optimisation de dispositifs non-linéaires d'amortissement de structures par systèmes piézoélectriques commutés**

On s'intéresse dans ce travail à la réduction des vibrations d'une structure mécanique par des éléments piézoélectriques aux bornes desquels on place un circuit électrique passif ou semi-passif. Le premier objectif de cette thèse est de développer des modèles électromécaniques adaptés à la simulation de ces dispositifs. Le deuxième objectif est d'optimiser les éléments piézoélectriques et le circuit pour réduire les vibrations.

Des modèles électromécaniques (analytique et éléments finis) réduits sont proposés, permettant de décrire la dynamique du système structure-piézo-circuit de manière précise et de mettre en valeur le couplage entre un mode de vibration et le circuit électrique.

Ensuite l'utilisation d'une résistance et éventuellement d'une inductance est étudiée. La résistance amène un effet comparable à un amortissement visqueux. L'utilisation d'une inductance permet de créer un système analogue à un amortisseur à masse accordée, et améliore les performances mais requiert un accord précis.

Afin de conserver des performances élevées mais de ne pas avoir d'accord précis à réaliser, on peut utiliser un circuit à commutation qui ferme et ouvre le circuit à des instants bien précis. Ce système, qui est au cœur de cette étude, utilise la charge stockée dans l'élément piézoélectrique pour contrer les vibrations, avec un effet similaire à un frottement sec. Comme l'ouverture et la fermeture sont synchronisées sur les vibrations, il n'y a pas d'accord précis à réaliser, le système est autoadaptatif et peut être autoalimenté. Les fortes non-linéarités en temps entraînent une excitation haute fréquence de la structure qui peut rendre la synchronisation problématique.

Pour chacun de ces systèmes, une analyse théorique des performances est proposée, avec des modèles un ou plusieurs degrés de liberté. Une optimisation des composants est proposée, avec une analyse de l'influence de divers paramètres. Une étude énergétique permet de préciser le mécanisme de réduction de vibration et de proposer des stratégies efficaces pour le choix des instants de commutation. On constate que le coefficient de couplage électromécanique est déterminant pour la performance de chaque système. Les modèles électromécaniques proposés permettent d'optimiser ce couplage, et sont utilisés pour réaliser des dispositifs expérimentaux permettant de tester les résultats. Ceux-ci sont en très bon accord avec la théorie ; on constate cependant la difficulté de synchroniser correctement la commutation.

### **Modeling and optimisation of non-linear vibration damping by switch shunting of piezoelectric elements.**

This work deals with mechanical vibrations reduction by means of passive or semi-passive electrical circuits, coupled to piezoelectric elements. The first goal of this study is to develop an electromechanical model adapted to that case. The second is to optimize the piezo elements and the circuits for vibration reduction.

First, two electromechanical reduced order models (based on analytical and finite element formulations) are proposed, allowing the accurate study of the dynamics of the whole structure-piezo-circuit system, putting an emphasis on the coupling between the vibrations and the circuit.

Then, the use of a resistance and/or an inductance as shunt is considered. The resistance brings an effect similar to a viscous damping device. The inductance allows the creation of a system similar to a tuned mass damper and increases performance, but requires a precise tuning.

In order to obtain good performance without having to tune the system, one can use a switching passive circuit which opens and closes at a precise timing. This system, which is the main object of this study, uses the electrical charge stored on the piezoelectric elements to counter the vibrations, with an effect similar to dry damping. As the switch timing is synchronized on the vibrations, no precise tuning is required, the system is self-adaptive and can be self-powered. The strong non-linearities in time domain create a high frequency excitation of the structure which can disturb the synchronization.

For each system, a theoretical analysis of the performance is made, with either one or several degrees of freedom models. The electrical components are optimized and the influence of various parameters is taken into account. An energy analysis allows to define the damping mechanism, and to optimize the switch timing. The electromechanical coupling factor is shown to be the decisive factor for the performance of all systems. The electromechanical models previously written allow the optimisation of this factor, which is carried out on experimental devices in order to validate the results. These are found to be in excellent agreement with the theory ; however the difficulty of correct switch timing is also observed.