



HAL
open science

Amortissement vibratoire multimodal d'une plaque non périodique par couplage à son réseau piézoélectrique analogue

Robin Darleux, Boris Lossouarn, Jean-François Deü

► **To cite this version:**

Robin Darleux, Boris Lossouarn, Jean-François Deü. Amortissement vibratoire multimodal d'une plaque non périodique par couplage à son réseau piézoélectrique analogue. 9èmes Journées Jeunes Chercheurs en vibrations, Acoustique et Bruit, JJCAB 2019, Nov 2019, Besançon, France. hal-02916880

HAL Id: hal-02916880

<https://hal.science/hal-02916880v1>

Submitted on 12 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contexte : Amortissement vibratoire de structures mécaniques minces

Réseau électrique analogue

Problématique

Le concept d'amortissement multimodal par couplage à un réseau piézoélectrique analogue peut-il être étendu à des structures non périodiques ?

Objectifs

- Extension du concept à une plaque non périodique
- Modèle prédictif du couplage d'une structure à son réseau piézoélectrique analogue

1. Analogie électrique d'une plaque simplement appuyée : design et validation

Méthode

Analogie électro-mécanique directe [1]

Force F	↔	Tension V
Vitesse \dot{u}		Courant électrique \dot{q}
Souplesse $1/D$		Capacité C
Masse m		Inductance L
Amortissement visqueux		Résistance R
Bras de levier a		Transformateur de rapport \hat{a}

Modèle mécanique continu $\xrightarrow{\text{FDM}}$ Modèle mécanique discret $\xrightarrow{\text{}}$ Modèle électrique à éléments localisés

La structure mécanique et son analogue électrique doivent avoir :

- Les mêmes formes modales
- Les mêmes fréquences propres

Cas d'étude

Modèle : Kirchhoff-Love (a, D, m)
42 patches piézoélectriques

Réseau électrique analogue (\hat{a}, C, L)
42 cellules unitaires

Couplage modal [2]

$$\frac{1}{a^2} \frac{D}{m} = \frac{1}{\hat{a}^2} \frac{1}{LC}$$

Cellule unitaire réalisée
Composants passifs [3] et ajustables

Cellule unitaire idéale

Validation

Numérique

Modal Assurance Criterion (MAC) :

- Modes de vitesse de la plaque obtenus par FEM
- Modes de courants électriques du réseau analogue

→ Mêmes formes modales

Expérimentale

Comparaison des formes opérationnelles mesurées et adimensionnées

→ Mêmes formes opérationnelles

Top row: $\frac{\dot{q}_w}{V_{exc}}$ at 102 Hz, 223 Hz, 268 Hz, 389 Hz, 543 Hz

Bottom row: $\frac{\dot{u}}{F_{exc}}$ at 101 Hz, 218 Hz, 250 Hz, 376 Hz, 468 Hz

2. Modèle prédictif du couplage d'une structure à son analogue électrique

Développement

Modélisation par éléments finis d'une structure recouverte de patches piézoélectriques fins et polarisés dans leur direction transverse [4] :

$$\begin{pmatrix} M_m & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{V} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_m & K_c \\ -K_c^T & K_e^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F \\ Q_\theta \end{pmatrix}$$

Modélisation par éléments localisés du réseau analogue :

$$V = -(M_e \ddot{Q}_w + D_e \dot{Q}_w)$$

$$Q_\theta = P Q_w$$

Couplage \Rightarrow

$$\begin{pmatrix} M_m & 0 \\ 0 & M_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{Q}_w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & D_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{U} \\ \dot{Q}_w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_m + K_c K_e K_c^T & K_c K_e P \\ K_e K_c^T & K_e P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ Q_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F \\ 0 \end{pmatrix}$$

Validation

- Plaque : AU4G, milieu linéaire élastique homogène isotrope
- Patches PZT : PIC 153, milieu isotrope transverse
- Maillage : Hexa20, ~30k éléments

FRF Vitesse (dB) vs Fréquence (Hz)

3. Extension à une plaque non périodique

Cas modifié

Masse d'une cellule unitaire : 40 g
Ajout d'une masse : 207 g

Position

→ Modification locale de m et D
→ Modification locale du réseau

Critère : Égalité des 1^{ères} fréquences de résonance numériques

Choix : L ajusté de 244 mH à 1,34 H

Validation

Numérique

Expérimentale

Top row: $\frac{\dot{q}_w}{V_{exc}}$ at 93 Hz, 199 Hz, 244 Hz, 361 Hz, 417 Hz

Bottom row: $\frac{\dot{u}}{F_{exc}}$ at 92 Hz, 193 Hz, 230 Hz, 341 Hz, 384 Hz

→ Analogie électrique validé jusque 600 Hz

Et ensuite ?

- Géométries complexes
- ≠ conditions limites
- Gradients de propriétés

Bibliographie restreinte

- [1] R.H. MacNeal, *The solution of partial differential equations by means of electrical networks*, PhD Thesis, California Institute of Technology, 1949.
- [2] B. Lossouarn et al., *Design of a passive electrical analogue for piezoelectric damping of a plate*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2018.
- [3] B. Lossouarn et al., *Design of inductors with high inductance values for resonant piezoelectric damping*, Sensors and Actuators A: Physical, 2017.
- [4] O. Thomas et al., *Vibrations of an elastic structure with shunted piezoelectric patches: efficient finite element formulation and electromechanical coupling coefficients*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2009.