
Master thesis and internship[BR]- Master's thesis : Identification of nonlinear frequency response and backbone curves using phase-locked loop methods[BR]- Integration internship

Auteur : Marchant, Louise

Promoteur(s) : Kerschen, Gaëtan

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil en aérospatiale, à finalité spécialisée en "aerospace engineering"

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/23340>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

IDENTIFICATION OF NONLINEAR FREQUENCY RESPONSE AND BACKBONE CURVES USING PHASE-LOCKED LOOP METHODS

Vibration testing plays an important role in the development of modern engineering structures by revealing their dynamic limitations, providing validation data for numerical models, and serving as a benchmark in standardised testing procedures. While modal analysis of linear systems is a well-established process, with linear systems characterised by constant resonance frequencies regardless of excitation amplitude, the adoption of novel materials and complex structures in the aeronautical industry has led to the increased occurrence of nonlinear phenomena. Such systems may exhibit multiple stable and unstable solutions, superharmonic and subharmonic resonances, and amplitude-dependent frequency responses, thereby challenging classical identification techniques in the reconstruction of complete bifurcation diagrams.

To identify complete frequency response and backbone curves of nonlinear structures, experimental continuation methods have recently gained interest. This thesis investigates the implementation of a phase-locked loop (PLL) algorithm in the LabVIEW FPGA environment to perform real-time tracking of fundamental frequency response and backbone curves, with a view towards industrial application.

The PLL approach is first developed within the Simulink environment as a reference model, and is validated numerically and experimentally. The algorithm is then implemented in LabVIEW, and multiple tests are performed on experimental setups. Results demonstrate that the LabVIEW-based PLL achieves real-time computation of frequency response and backbone curves with an accuracy comparable to that of the Simulink implementation. An industrial application of the present work can be considered to track frequency response and backbone curves of fundamental resonances of nonlinear systems. However, instabilities arising from the inappropriate calibration of controller gains when identifying unstable responses prevent a smooth application of the method, and a robust technique for determining these gains has yet to be established.

Keywords: Nonlinear dynamics, Experimental continuation, Phase-locked loop method, Nonlinear frequency response curve, Backbone curve

IDENTIFICATION DES COURBES DE RÉPONSE EN FRÉQUENCE NON-LINÉAIRES ET DE LIEU DES POINTS DE RÉSONANCE À L'AIDE DE MÉTHODES DE BOUCLE À VERROUILLAGE DE PHASE

Les essais vibratoires jouent un rôle essentiel dans le développement des structures d'ingénierie modernes, en révélant leurs limitations dynamiques, en fournissant des données de validation pour des modèles numériques, et en servant de référence dans les procédures d'essais normalisées. Alors que l'analyse modale des systèmes linéaires est un processus bien établi, où les systèmes linéaires sont caractérisés par des fréquences de résonance indépendantes de l'amplitude d'excitation, l'adoption croissante de matériaux innovants et de structures complexes dans l'industrie aéronautique met de plus en plus en évidence des phénomènes non-linéaires. De tels systèmes peuvent présenter plusieurs solutions stables et instables, des résonances super-harmoniques et sous-harmoniques, ainsi que des réponses en fréquence qui dépendent de l'amplitude d'excitation, que les techniques classiques d'identification ne permettent pas de distinguer.

Afin d'identifier les courbes complètes de réponse en fréquence des structures non-linéaires, les méthodes de continuation expérimentale suscitent un intérêt croissant. Cette thèse investigue la mise en œuvre d'un algorithme de boucle à verrouillage de phase (PLL) dans l'environnement LabVIEW FPGA, permettant le suivi en temps réel de réponses fréquentielles, dans une optique d'application industrielle.

La méthode de boucle à verrouillage de phase est premièrement développée dans l'environnement Simulink en tant que modèle de référence, et est validée numériquement et expérimentalement. L'algorithme est ensuite implémenté dans LabVIEW, et plusieurs essais sont réalisés sur des bancs expérimentaux. Les résultats montrent que la PLL implantée sur LabVIEW permet un calcul en temps réel des courbes de réponse en fréquence avec une précision comparable à celle obtenue avec Simulink. Une application industrielle des travaux présentés peut être envisagée pour le suivi des courbes de réponses en fréquence et de lieu des points de résonance associées aux résonances fondamentales des systèmes non-linéaires. Cependant, les instabilités découlant d'une calibration inappropriée des gains du contrôleur lors de l'identification de réponses instables empêche une application fluide de la méthode, et une technique robuste pour déterminer ces gains reste à établir.

Mots-clés : Dynamique non-linéaire, Continuation expérimentale, Méthode de boucle à verrouillage de phase, Courbe de réponse en fréquence non-linéaire, Courbe de lieu des points de résonance