

Resumo

Neste trabalho de dissertação apresenta-se um estudo numérico e experimental realizado sobre o controlo activo de vibrações de vigas com sensores e actuadores piezoeléctricos. Apresenta-se uma revisão sobre os materiais inteligentes, com particular destaque para os materiais piezoeléctricos, identificando-se as suas leis constitutivas. Uma formulação teórica rigorosa de uma viga inteligente com sensores e actuadores piezoeléctricos é apresentada. O modelo teórico estabelecido é discretizado pelo método dos elementos finitos. Para o modelo mecânico considera-se na sua formulação a teoria layerwise para a aproximação do campo de deslocamentos da viga e das camadas piezoeléctricas. Um modelo eléctrico para diferentes condições de fronteira eléctricas é considerado, nomeadamente camadas com eléctrodos em circuito fechado ou circuito aberto, respeitando a condição de área equipotencial e diferença de potencial eléctrico prescrito, e camadas sem eléctrodos. Utilizando uma formulação variacional, o efeito piezoeléctrico directo, para as diferentes condições de fronteira eléctricas, é incorporado no modelo mecânico através de aproximações fisicamente adequadas para o campo eléctrico na direcção axial e transversal. Assim, um modelo de elementos finitos de viga que considera uma teoria electromecânica acoplada através de parâmetros de rigidez efectivos, para diferentes condições de fronteira eléctricas, é proposto. As teorias de controlo por feedback do deslocamento ou velocidade, a ganho ou amplitude constantes, e as teorias de controlo óptimo LQR e LQG são apresentadas e avaliadas na capacidade de controlar a vibração. Para a análise da acção estática dos actuadores piezoeléctricos, funções de resposta em frequência e controlo activo de vibrações, em regime livre e forçado, de vigas com camadas piezoeléctricas contínuas ou segmentadas são apresentados diversos casos de estudo e as soluções obtidas pelo modelo de elementos finitos proposto. A comparação com soluções analíticas aproximadas e numéricas disponíveis na literatura demonstra a robustez e a fiabilidade da teoria desenvolvida em aplicações de vigas finas e espessas. Finalmente, é apresentado um estudo experimental, com comparação entre resultados numéricos e experimentais, da acção estática dos actuadores piezoeléctricos e do controlo activo de vibrações por feedback da velocidade, através de um transdutor laser, e do deslocamento, numa viga com actuadores e sensores piezoeléctricos.

Abstract

In this dissertation a numerical and experimental study about active control of vibrations of beams with piezoelectric sensors and actuators is presented. A revision about intelligent materials focusing the piezoelectric materials is realized and their constitutive laws identified. A precise theoretical formulation of an intelligent beam with piezoelectric sensors and actuators is also presented. The established theoretical model is discretized by the finite element method. The layerwise theory is considered in the formulation of the mechanical model in order to approximate the displacement field of the beam and piezoelectric layers. An electric model for different electric boundary conditions is

considered, namely, electroded layers with the electrodes left open or closed, with the equipotential area condition insured and electric potentials prescribed, and non-electroded layers. Using a variational formulation, the direct piezoelectric effect, for the different electric boundary conditions considered, is incorporated into the beam theory via suitable approximations for the axial and transverse electric fields. In that way, a finite element model of a beam taking into account the electromechanical coupling by means of effective stiffness parameters is proposed. The displacement or velocity feedback control theories at constant amplitude or constant gain, and the optimal control theories LQR and LQG, are presented and evaluated on their ability to control the vibration. For the analysis of the free and forced response of the static action of piezoelectric actuators, frequency response functions and active control of vibrations of beams with continuous or segmented piezoelectric layers, several case studies and solutions obtained with the proposed finite element model are presented. Comparisons with numerical and approximated analytical solutions have shown the reliability and robustness of the developed theory in applications with thin and thick beams. Finally, an experimental study of the static action of the piezoelectric actuators and active control of vibrations with velocity feedback, using a laser transducer to measure the velocity, or displacement feedback, using a piezoelectric sensor, is presented and a comparison with numerical results is performed for a beam with piezoelectric sensors and actuators.