

ANALISI SIMBOLICA ED OTTIMIZZAZIONE CIRCUITALE DI SISTEMI PIEZO-ELETTROMECCANICI

Massimo Panella

Dipartimento INFO-COM
Università degli Studi di Roma “La Sapienza”
Via Eudossiana 18, 00184 Roma

Negli ultimi anni si è ampiamente diffuso l'utilizzo di materiali piezo-ceramici (PZT), quali trasduttori di energia in sistemi ibridi elettromeccanici per lo smorzamento di fenomeni oscillatori indesiderati. In tali strutture, dette comunemente piezo-elettromeccaniche (PEM), la struttura meccanica vibrante ospita una schiera uniformemente distribuita di trasduttori PZT, gli accessi elettrici dei quali sono interconnessi attraverso opportune reti elettriche.

A tale riguardo è stata considerata la sintesi di reti circuitali analogiche e digitali capaci di implementare algoritmi finalizzati alla soppressione delle vibrazioni su strutture oscillanti. La ricerca è iniziata utilizzando i risultati riguardanti il confronto delle diverse sintesi circuitali proposte, mediante strumenti di calcolo simbolici [1] che rendono possibile lo studio della stabilità e delle prestazioni dell'intero sistema quando i componenti ideali, utilizzati nel progetto dei circuiti di elaborazione, vengono sostituiti con dei componenti reali [2]. La ricerca si è quindi proposta di:

-) modellare con accuratezza la propagazione delle vibrazioni in travi e piastre che ospitano schiere di PZT;
-) utilizzare un calcolatore simbolico che, sulla base dei parametri fisici considerati, determini il comportamento vibrazionale e smorzante in funzione di determinati parametri critici nei componenti (elettronici-attivi) da dimensionare;
-) determinare, sulla base del suddetto modello, una metodologia di dimensionamento nel caso di circuiti di smorzamento analogici e digitali;
-) validare la procedura con particolare riferimento al caso del controllo digitale, in cui si tiene conto in modo estremamente preciso anche delle non idealità della struttura piezo-elettromeccanica.

L'obiettivo principale è stato quello di perfezionare e consolidare le semplici architetture circuitali esistenti e, contemporaneamente, di sviluppare da un punto di vista teorico ed operativo i modelli simbolici per l'analisi e la sintesi di metodi di controllo multimodali per strutture elettromeccaniche più complesse, facendo leva sulle analogie e sulle sinergie con altri settori della ricerca (architetture ed algoritmi per DSP, simulazione circuitale di strutture). In particolare, sono stati rivisitati ed estesi i risultati della sintesi di circuiti multiporta passivi e attivi, tenendo presente che gli obiettivi di ottimalità della ricerca teorica (complessità, dimensioni, requisiti di alimentazione) in questo caso coincidono con i criteri di pratica utilizzabilità delle strutture [3]–[6]. I circuiti analogici restano comunque necessari anche in un approccio digitale per assicurare l'interfacciamento di un sistema di acquisizione dei segnali e l'azione di controllo ad elevata potenza.

D'altra parte, il modellamento esterno della struttura piezo-elettromeccanica, pur basato su analisi teoriche e simulazioni numeriche agli elementi finiti, deve essere calibrato per mezzo di misure sperimentali in presenza di forti disturbi ambientali e rumore di fondo. In tali casi

bisogna fare appello ai più recenti sviluppi dell'elaborazione numerica robusta del segnale multicanale e delle reti neurofuzzy per la predizione ed il controllo non lineare. Nonostante i numerosi lavori già presenti in letteratura, sono stati raggiunti diversi contributi originali al fine di garantire la realizzazione di validi modelli simbolici e la conseguente realizzabilità di un efficiente sistema PEM smorzato. I principali contributi apportati dall'attività di ricerca sono di seguito elencati:

- 1) modellamento accurato della propagazione delle vibrazioni in travi e piastre che ospitano schiere di PZT;
- 2) realizzazione del calcolatore simbolico;
- 3) determinazione di una metodologia di dimensionamento nel caso di circuiti di smorzamento analogici e digitali;
- 4) validazione della metodologia di analisi e sintesi, con particolare riferimento al caso del controllo digitale.

E' stata inoltre valutata la possibilità di interpretare l'insieme di trasduttori PZT come una rete di sensori per la quale utilizzare tecniche di analisi e decomposizione dei segnali multidimensionali da essa provenienti, al fine di sviluppare opportuni modelli predittivi di tipo neurale. A tale riguardo sono state messe a punto metodologie di elaborazione dei segnali multidimensionali provenienti dall'osservazione nella rete di sensori [7], [8].

- [1] M. Panella, M. Paschero e F.M. Frattale Mascioli, "Symbolic Analysis and Optimization of Piezo-Electromechanical Systems", *Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2006)*, pp. 633-636, Kos, Grecia, 2006.
- [2] M. Paschero, M. Panella e F.M. Frattale Mascioli, "Stability Analysis of Optimal PEM Networks", *Electronics Letters*, Vol. 42, No. 17, pp. 961-962, 2006
- [3] M. Panella, M. Paschero e F.M. Frattale Mascioli, "A Modular RC-Active Network for Vibration Damping in Piezo-Electro-Mechanical Beams", *Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2005)*, pp. 5393-5396, Kobe, Giappone, 2005.
- [4] M. Panella e G. Martinelli, "RC Distributed Circuits for Vibration Damping in Piezo-Electromechanical Beams", *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II*, Vol. 52, No. 8, pp. 486-490, 2005.
- [5] M. Panella, M. Paschero e F.M. Frattale Mascioli, "Optimised RC-active Synthesis of PEM Networks", *Electronics Letters*, Vol. 41, No. 19, pp. 1041-1043, 2005.
- [6] M. Panella, M. Paschero e F.M. Frattale Mascioli, "Improved Synthesis of 2-OPA Circuits for Vibration Damping on PEM Structures", sottomesso a *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II*, 2007.
- [7] M. Panella, G. Grisanti e A. Rizzi, "A Probabilistic PCA Clustering Approach to the SVD Estimate of Signal Subspaces", in *Biological and Artificial Intelligence Environments*, pp. 271-279, Springer, 2005.
- [8] M. Panella e A. Rizzi, "Baseband Filter Banks for Neural Prediction", *Proc. of IEEE International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation (CIMCA06)*, Sydney, Australia, 2006.