

Modellazione, simulazione e verifica sperimentale delle non linearità negli altoparlanti a bobina mobile

Candidato: Filippo Bartolozzi

Relatore: Dott. Roberto Magalotti (rmagalotti@bcspeakers.com)

Correlatore: Prof. Gabriele Pasquali (gabriele.pasquali@unifi.it)

Gli altoparlanti professionali, comunemente utilizzati negli impianti di riproduzione sonora in palazzetti e teatri, sono progettati per avere la massima efficienza e produrre il massimo livello sonoro. In una tipica situazione di utilizzo, dove ad un altoparlante professionale sono erogati centinaia di Watt di potenza, esso esibisce un comportamento non lineare, che lo sottopone ad indesiderati sforzi meccanici e provoca distorsioni nella pressione da esso prodotta. Dal punto di vista di un costruttore di altoparlanti, è molto importante poter prevedere il comportamento di un altoparlante nelle tipiche condizioni di utilizzo, in modo da compiere scelte progettuali mirate, riducendo le distorsioni prodotte ed assicurando una maggiore stabilità e durata dei prodotti.

Soltanto in anni relativamente recenti è stato presentato un modello teorico che descrive il comportamento non lineare dell'altoparlante trovandone la causa nella dipendenza dalla posizione istantanea della bobina di alcuni parametri caratterizzanti l'altoparlante. Tale modello, proposto da Wolfgang Klippel, è stato accolto favorevolmente dai costruttori di altoparlanti, in quanto rende conto di molti fenomeni sperimentalmente osservati e permette una progettazione più mirata. Nonostante la sua diffusione, tuttavia, non sono mai stati compiuti studi particolarmente accurati sulla reale efficacia del modello.

In collaborazione con la B&C Speakers S.p.A., una delle maggiori ditte costruttrici di altoparlanti professionali, con sede a Bagno a Ripoli, è stata dunque compiuta un'analisi sul modello proposto da Klippel; in particolare, è stato messo a punto un apparato sperimentale con il quale sono state misurate la corrente che scorre nella bobina e la posizione del diaframma di altoparlanti dalle diverse caratteristiche, eccitati da stimoli sinusoidali di frequenza ed ampiezza noti. Per confrontare i risultati sperimentali con le previsioni del modello, è stata messa a punto una simulazione in ambiente MATLAB, basata sul modello di Klippel. Nel codice del programma di simulazione è stata inclusa anche una interfaccia grafica di facile utilizzo, così da poter essere impiegata dai tecnici della B&C Speakers in fase di progettazione di nuovi altoparlanti. Il confronto con la simulazione è stato compiuto sia nel dominio dei tempi, sia nel dominio delle frequenze.

L'analisi ha evidenziato come il modello di Klippel riesca a rendere conto di molti fenomeni non lineari effettivamente riscontrati nelle misurazioni, purché si abbia una buona stima dei parametri dell'altoparlante. Per ottenere un buon accordo coi dati sperimentali è risultato fondamentale considerare il riscaldamento cui è sottoposta la bobina durante l'utilizzo dell'altoparlante stesso. Per assicurare previsioni ulteriormente accurate è tuttavia necessario includere nel modello anche altri meccanismi non lineari presenti nell'altoparlante, a cominciare da una descrizione del comportamento viscoelastico esibito dalle sospensioni dell'altoparlante.

Modelling, Simulation and Experimental Verification of Nonlinearities in Moving-Coil Loudspeakers

Student: Filippo Bartolozzi

Supervisor: Mr. Roberto Magalotti (rmagalotti@bcspeakers.com)

Co-examiner: Prof. Gabriele Pasquali, P.h.D. (gabriele.pasquali@unifi.it)

Professional loudspeakers, usually found in PA systems in concert halls and theatres, are designed with maximum efficiency and maximum sound pressure level in mind. In typical working conditions, where loudspeakers are supplied with hundreds of Watts of power, their nonlinear behaviour arises, causing detrimental mechanical stresses and distortions in the produced sound pressure. Being able to foresee speakers behaviour under the typical working condition is vital for loudspeakers manufacturers, as it allows to make thoughtful design choices, reduce distortions and improve products stability and durability.

Only in recent years a theoretical model accounting for nonlinear behaviour has been presented by Wolfgang Klippel; according to it, nonlinearity is caused by loudspeakers parameters depending on voice coil instantaneous position. The model has been favourably welcomed by manufacturers, as it accounts for lots of experimentally observed nonlinear effects and it allows to make better choices in the design process. Despite its diffusion, however, accurate analysis on the real suitability of the model have never been carried out.

Together with B&C Speakers, S.p.A., one of the largest and most prestigious professional loudspeaker transducer manufacturers in the world, based in Bagno a Ripoli (Florence), a critical analysis on Klippel's model was carried out; particularly, an experimental apparatus was developed, through which both the current flowing into the voice coil and the diaphragm position were measured for different loudspeakers while they were excited with sinusoidal signals of known amplitude and frequency. In order to make comparison between experimental data and the model predictions, a simulation tool based on Klippel's model was developed under MATLAB environment. Together with the simulation tool, an easy-to-use graphical user interface (GUI) was created, too, so that it could be used by R&D engineers during the design process. Comparisons between simulations and measurements were performed both in time and frequency domain.

The analysis performed showed Klippel's model manages to reproduce and account for various nonlinear effects actually encountered during measurements, provided that correct estimation on loudspeaker parameters are available. In order to get consistent results from simulations, voice coil heating during the measurement process had to be considered. To obtain more accurate results from simulations, further nonlinear mechanisms need to be considered, the most important of which appears to be loudspeakers suspensions viscoelastic behaviour.