

Statistische energie-analyse

Edwin Reynders

KU Leuven, Dept. Burgerlijke Bouwkunde, Kasteelpark Arenberg 40, B-3001 Leuven, België

Statistische energie-analyse (SEA) is een methode om energiestromen tussen de componenten van een vibro-akoestisch systeem te analyseren bij hoge frequenties. Na een reflectie over de essentiële verschillen tussen het laag- en hoogfrequent trillingsgedrag van individuele systeemcomponenten, wordt in deze lezing de modellering van hoogfrequente componenten en vervolgens van volledige systemen behandeld. Zowel de meer traditionele SEA aanpak als recente ontwikkelingen, zoals hybride deterministische-SEA (Det-SEA) en SEA variantieberekeningen, komen aan bod.

Eerst wordt één enkele systeemcomponent beschouwd, zoals een akoestisch volume of een wand. Wanneer die geëxciteerd wordt met een hoogfrequente zuivere toon, ontstaat een golfveld waarbij de golflengte veel kleiner is dan de gemiddelde vrije weglengte in de component en waarbij het golfveld erg gevoelig is kleine lokale variaties in geometrie en materiaaleigenschappen, omdat die verstrooiend werken. Wanneer een gedetailleerd model (zoals een eindige elementenmodel) van de systeemcomponent wordt opgesteld, vereist dit niet alleen een groot aantal vrijheidsgraden (vanwege de kleine golflengtes en het grote aantal modes), maar in principe ook een bepaling van alle onzekere parameters en hun invloed op de gezochte responsgrootheden (bijvoorbeeld met een Monte Carlo analyse). Bijgevolg zijn zowel een grote modelleringsinspanning als een grote rekenkracht vereist.

Het feit dat het golfveld bij hoge frequenties erg gevoelig is aan kleine verstrooiende elementen, kan echter ook uitgebuit worden. Indien de onzekerheid m.b.t. deze elementen wordt ingerekend, blijken bij hoge frequenties zowel de gemiddelde waarde van het golfveld als de standaardafwijking onafhankelijk te zijn van de precieze aard en de statistische eigenschappen van deze verstrooiende elementen. Hierdoor hoeft men ze niet in detail te modelleren, maar kan men rechtstreeks hun effect op het golfveld beschouwen. Men bekomt dan immers een golfveld waarin de onzekerheid aan random golfverstrooiing maximaal is, m.a.w. een diffuus veld.

In SEA worden de hoogfrequente systeemcomponenten dus gemodelleerd als diffuse golfvelden; deze worden ook deelsystemen genoemd. Elk deelsysteem wordt gekenmerkt door slechts één vrijheidsgraad, de gemiddelde totale vibro-akoestische energie. Per deelsysteem wordt een energiebalans opgesteld. Alle balansen tesamen vormen een klein lineair stelsel dat eenvoudig op te lossen is. Bij het opstellen van een energiebalans wordt rekening gehouden met zowel extern toegevoerde energie naar het deelsysteem, energiedissipatie in het deelsysteem, als energie-uitwisseling met de andere deelsystemen. Dit laatste vereist de berekening van de zogenaamde koppelverliesfactoren, die traditioneel uit transmissiecoëfficiënten voor oneindig uitgestrekte verbindingen berekend worden. Meer recent werd de hybride Det-SEA methode ontwikkeld waarmee verbindingen met eindige lengte en willekeurige complexiteit nauwkeurig ingerekend kunnen worden. Deze kunnen op hun beurt gebruikt worden om de traditionele werkwijze om te keren en bijvoorbeeld de diffuse geluidisolatie van een eindige en complex opgebouwde wand nauwkeurig te bepalen uit de desbetreffende koppelverliesfactor. Recent werd SEA ook uitgebreid met een variantie-analyse, die toelaat om de onzekerheid die inherent is aan het diffuse karakter van elk deelsysteem te begroten.

Referenties

- R.H. Lyon and R.G. DeJong. *Theory and application of statistical energy analysis*. Butterworth-Heinemann, Newton, MA, second edition, 1995.
- R.J.M. Craik. *Sound transmission through buildings using statistical energy analysis*. Gower, Aldershot, UK, 1996.
- P.J. Shorter and R.S. Langley. Vibro-acoustic analysis of complex systems. *J. Sound Vib.*, 288(3):669–699, 2005.
- E. Reynders, R.S. Langley, A. Dijckmans, and G. Vermeir. A hybrid finite element - statistical energy analysis approach to robust sound transmission modelling. *J. Sound Vib.*, 333(19):4621–4636, 2014.