



Oponentský posudek habilitační práce

Autor práce: Ing. Martin Pustka, Ph.D.

Název práce: Spektrální vlastnosti kruhových piezokeramických rezonátorů

Oponent: Ing. Petr Sedlák, Ph.D., Oddělení ultrazvukových metod, Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i.

Aktuálnost tématu

Piezoelektrické rezonátory představují významný prvek v řadě aplikací jako např. elektronické obvody s krystalovými oscilátory či měniče v akustických a ultrazvukových aparaturách. K jejich návrhu je třeba znát vliv vlastností piezomateriálu a vliv geometrie rezonátoru na výsledné spektrální vlastnosti. Předkládaná práce se věnuje analytickým modelům kmitání těchto rezonátorů. Výhodou těchto modelů je jejich velká numerická efektivita, jež především při návrhu nových rezonátorů s požadovanými spektrálními vlastnostmi může hrát klíčovou roli. Nevýhodou analytických metod je pak obecně užší spektrum použití dáno požadavkem na jednoduchou geometrii rezonátoru a jednoduchost okrajových podmínek (uchycení, tvar elektrod). Vývoj analytických metod vyžaduje velmi dobrý vhled do podstaty kmitání rezonátoru nezbytný k navržení efektivních aproximačních funkcí pro hledaná pole výchylek a elektrostatického potenciálu. Téma habilitační práce tak pokládám za vědecky zajímavé a aktuální.

Zpracování

Habilitační práce představuje ucelený přehled použití analytických modelů pro výpočet spektrálních vlastností kruhových piezorezonátorů s příčnou izotropií. V úvodu je uveden stručný přehled literatury věnující se danému tématu, následuje konkretizace úlohy – specifikace geometrie rezonátoru, symetrie (∞m) a konstitutivního vztahu (lineární rovnice piezoelektriny) a zavedení náhradního elektrického obvodu, jež umožňuje popsat vývoj impedance rezonátoru v okolí rezonanční frekvence. Před uvedením úplného piezoelektrického řešení rezonátoru s obecnou geometrií jsou popsána řešení limitních případů (limitní případy geometrie kruhového rezonátoru) – podélné a radiální kmity kruhové tyče a tloušťkové a radiální kmity kruhové desky. Tyto limitní případy pak slouží k interpretaci asymptot frekvenčních křivek rezonátorů s obecnou geometrií. Úplné piezoelektrické řešení pro kruhový rezonátor s obecným poměrem poloměru a tloušťky je odvozeno na základě teorie druhého řádu pro piezoelektrické desky pomocí rozvoje hledaných polí posunutí a elektrického potenciálu do řady harmonických funkcí. Výsledná aproximace se ukazuje velmi přesná v širokém rozsahu frekvencí i geometrií. V práci jsou pak uvedeny konkrétní příklady vypočítaných frekvenčních spekter (pro piezokeramiky BaTiO₃, NCE51, NCE40), nechybí srovnání s experimentálními daty z vlastních dřívějších prací [87] a [94]. Celkově je práce zpracována přehledně a kvalitně.

Závěr

Navrhuji přijmout předloženou práci jako habilitační a doporučuji pokračovat v habilitačním řízení její obhajobou před vědeckou radou.

V Praze dne 26. 2. 2020

Ing. Petr Sedláček, Ph.D.

Dotazy k práci:

- Práce přehledně uvádí použití analytických modelů k výpočtu spektrálních vlastností kruhových piezokeramických rezonátorů. Jako alternativní metoda je v práci zmíněna metoda konečných prvků (MKP). Částečně mi ale v práci chybí zmínka o jiných numerických metodách, jenž by, zejména pro jednoduchou geometrii kruhových piezorezonátorů, mohly být výrazně efektivnější než MKP. Jedná se o numerické metody rozkládající hledané pole posuvů a elektrického potenciálu do vhodné funkční ortogonální báze (Ritz–Rayleigh, nově např. SCM metoda – viz. Quintanilla, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 137(3) 2015), kde funkční báze je, na rozdíl od MKP, „globální interpolant“ hledaných polí a vhodným zvolením této báze lze dosáhnout výrazného numerického zefektivnění. Podobně jako v MKP vede hledání spektra rezonátoru na lineární úlohu a diagonalizaci matice, což může být v určitých případech jednodušší než řešení nelineární rovnice (3.85).
- V práci je detailně popsán vliv vazby radiálních a tloušťkových módů na frekvenční spektrum. Je možné u reálných piezorezonátorů vlivem např. nepřesností v geometrii očekávat i nenulovou vazbu s módy bez osové symetrie (p, d, f...)?