

Oponentský posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Jan Václavík

Název práce: Návrh aktivních laditelných akustických metamateriálů a metapovrchů

Školitel: prof. Ing. Pavel Mokřý, Ph.D.

Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií, Ústav mechatroniky a technické informatiky

Oponent: doc. Ing. Martin Pustka, Ph.D.

VÚTS, a.s. Liberec

Předložená disertační práce obsahuje 148 stran včetně úvodních listů, vlastní práce má 108 stran a je členěna do 8 kapitol. Text je doplněn seznamy obrázků, tabulek, zkratk, symbolů a použité literatury. V příloze je uveden přehled publikační činnosti disertanta.

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Disertační práce navazuje na aktuální výzkum moderních metod pro řízení tuhosti piezoelektrických prvků pomocí elektronických obvodů se zápornou kapacitou. Tyto systémy jsou používány zejména pro aktivní potlačování hluku a vibrací, což je v současné době velmi sledovaná oblast vzhledem ke snižování hlukové zátěže a ochraně lidského zdraví.

Práce je zaměřena na specifickou oblast kompozitních metamateriálů a metapovrchů a v ucelené formě představuje prostředky pro jejich návrh, ladění přenosových vlastností a experimentální ověřování. Téma práce je disertabilní a přínosné pro daný obor.

Vyjádření k postupu řešení, použitým metodám a splnění stanoveného cíle

V úvodní kapitole je přehledně definováno pět cílů disertační práce. V následujících částech autor postupně představuje metody řešení založené na teoretické analýze problému a uvádí výsledky experimentálních činností.

Kapitola 2 popisuje základní principy a současný stav v oblasti akustických metamateriálů a metapovrchů s řízenou tuhostí. V kapitole 3 autor představuje dvě základní zařízení pro řízení přenosu mechanického kmitání a zvukového vlnění spolu s analytickými modely tohoto přenosu. Kapitola 4 obsahuje popis hlavních laboratorních systémů pro měření přenosové charakteristiky, měření tvarů kmitu plošných útvarů a měření toku elektrické energie adaptivní soustavou. Výchozí metody a postupy uvedené v těchto kapitolách jsou v dalším použity pro řešení stanovených cílů práce.

Kapitola 5 se věnuje konstrukci obvodů se zápornou kapacitou. Autor zmiňuje obtížnost sestavení obvodu z reálných obvodových součástek, uvádí různá zapojení a hodnotí je z hlediska specifického použití. Uvedena je analýza výkonové části obvodu a posouzení různých řešení výkonových stupňů.

Kapitola 6 je zaměřena na experimentální ověření přenosových vlastností metapovrchů a jejich stability. Posouzení je provedeno z hlediska naladění pracovního bodu a adaptivního řízení dynamické tuhosti pomocí syntetické impedance ve zpětnovazebním obvodu. Úspěšně je identifikována pracovní oblast se zápornou tuhostí.

V kapitole 7 je uvedeno inovativní řešení metapovrchů pro difrakční akustické struktury, umožňující řízení amplitudy a fáze a tím směřování a tvarování procházející akustické vlny.

Kapitola 8 přehledně shrnuje výsledky práce. V textu ale postrádám výhled a podrobnější doporučení pro další výzkum v této oblasti.

Dosažené výsledky splňují předpokládané cíle. Autor prezentuje ucelenou metodiku pro návrh, realizaci, řízení a experimentální ověření vlastností plošných akustických soustav s nezanedbatelnými příčnými rozměry.

Stanovisko k výsledkům a významu původního konkrétního přínosu autora

Hlavním přínosem disertanta je podle mého názoru zejména původní výzkum elektronických a řídicích obvodů a pokročilé návrhy a realizace experimentů. Navržená řešení pro řízení přenosu akustického vlnění jsou úspěšně demonstrována na jednoduchých modelových soustavách. Pro technickou praxi by v budoucnu bylo výhodné posoudit účinnost těchto systémů také v reálných provozních podmínkách.

Vzhledem k působení ve výzkumném týmu se disertant odkazuje také na vybrané výsledky dosažené jinými autory. Tyto odkazy jsou vždy uvedeny a osobní přínos autora je také deklarován školitelem v úvodu práce.

Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni

K formální úpravě nemám připomínky, práce je zpracována systematicky a jednotlivé postupy a závěry jsou přehledně formulovány. Vyskytuje se bohužel řada chyb a překlepů, které by odstranila pečlivější korektura textu. Některé diagramy v kapitolách 6 a 7 (např. obr. 6.4) jsou kvůli malému písmu velmi špatně čitelné.

V souvislosti s vlastnostmi metapovrchů bych místo termínu „akustická ztráta“ doporučoval používat spíše termín „akustická přenosová ztráta“ nebo jenom „přenosová ztráta“ (transmission loss).

Vyjádření k publikacím studenta

V seznamu vlastních publikací uvádí autor 22 publikací souvisejících s tématem disertace, z toho je 8 článků v časopisech zařazených do Q1 nebo Q2. Všechny publikace jsou připraveny v autorském kolektivu. Dále autor uvádí dalších 26 publikací z jiných oborů mimo zaměření disertace. Publikáční činnost doktoranda je nadprůměrná a překračuje požadavky na disertaci.

Dotazy k práci

1. V kapitole 2.1 nejsou zcela jasně definovány pojmy akustická, specifická akustická a charakteristická akustická impedance. Tyto veličiny jsou pro přenos akustického vlnění zásadní, můžete uvést jejich přesnou definici (včetně jednotek)?
2. Proč po připojení bočníku dochází ke snížení tlumení (změně imaginární části modulu pružnosti) při mechanické rezonanci soustavy, viz např. obr. 5.8?

3. V práci jsou uvedeny výsledky laboratorních zkoušek prováděné obvykle v úzkém frekvenčním pásmu. Do jaké míry je metoda řízení tuhosti pomocí kapacitního bočníku v současném stavu použitelná pro reálné aplikace?

Závěr

Disertační práce Ing. Jana Václavíka splňuje požadavky kladené na udělení akademického titulu Ph.D. Práce obsahuje původní výsledky a disertant prokázal schopnost samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje. Práci doporučuji přijmout k obhajobě a po jejím úspěšném provedení autorovi udělit příslušný titul.

V Liberci dne 10. června 2021

doc. Ing. Martin Fustka, Ph.D.

Posudek disertační práce

Doktorand: Ing. Jan Václavík
Název práce: Návrh aktivních laditelných akustických meta materiálů a meta povrchů
Školitel: prof. Ing. Pavel Mokřý, Ph.D.
Studijní program: P3901 – Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: 3901V055 – Aplikované vědy v inženýrství
Pracoviště: Technická univerzita v Liberci,
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Rozsah práce: Doktorandská práce obsahuje 101 stran textu včetně 6 stran se seznamem použité literatury, který obsahuje 52 položek. Na dalších 6 stránkách jsou odkazy na vlastní publikace. Jedná se o 8 článků v časopisech s IF a 22 článků ve sbornících z konferencí. Tyto publikace patří do okruhu zaměření disertační práce. Mimo zaměření předložené práce publikoval dalších 7 článků v časopisech s IF a 26 článků ve sbornících z konferencí.

Předložena disertační práce se zabývá aktivním tlumením vibrací s využitím piezoaktuátorů. Tlumení kmitání tenkých ploch má efekt i snižování hluku. Protože piezoaktuátor má charakter kapacitní zátěže, k tlumení vibrací se používá negativní kapacitor. Práce se zabývá dvěma strukturami, které odpovídají módům piezoelektrického aktuátoru danými tzv. „strain coefficient“ s označením d_{33} a d_{31} . První mód odpovídá deformaci ve směru polarizace a druhý je kolmý na tento směr. Vývoj systémů na bázi piezoaktuátorů probíhá v období posledních asi dvaceti let. Pracoviště na TU Liberec podle mého názoru je sleduje nejnovější trendy v tomto oboru. Podle údajů zjistitelných na internetu, předchozí obhájená disertační práce byla podána na TUL v roce 2013 ing. Milošem Kodejškou a zabývala se piezoaktuátory s deformací ve směru polarizace. Doktorand toto řešení na začátku své práce zmiňuje, avšak zaměřuje se na piezoaktuátory aplikované na povrch skořepiny.

Prohlášení o osobním přínosu doktoranda ing. Jana Václavíka na řešení problému tlumení vibrací je na straně xi. Souhrnně je jeho podíl na dosaženém výsledku odhadnut na 30%, jak písemně potvrzuje jeho školitel prof. Pavel Mokřý. Pečlivě je dokumentován původ převzatých grafů od spoluřešitelů.

Dovolují si poznamenat, že takto formulovaný přínos je dost neurčitý. Po prostudování obsáhlého textu vyplývá, že svým obsahem se disertační práce zabývá více samostatně obhájitelnými tématy. Je to soustava pro akustická měření a digitální holografii, které jsou popsány v kapitole 4. Dalším tématem je konstrukce bočníku a rozbor toků mechanické a elektrické energie. Hlavním výsledkem je experimentální analýza vlastností skořepiny jako krytu akustického boxu. Za přípravu experimentů a jejich vyhodnocení, které jsou popsány v kapitole 7., si zaslouží doktorand zvláštního ocenění.

Aktuálnost zvoleného tématu

Oponent se má vyjádřit také k užitečnosti disertační práce. Téma disertační práce je velmi aktuální, protože řeší problematiku snižování hluku a vibrací. Experimenty jsou zaměřeny na průzvučnost oken, i když se nejedná o ploché sklo, ale vypouklou skořepinu. Po ukončení výzkumu a vývoje vznikne velmi žádané zařízení.

Disertační práce má 8 kapitol. Kapitola 2 se zabývá teorií a představuje aktuální stav poznání v oblasti aktivních akustických metamateriálů a metapovrchů. Zařízení studovaná v této práci jsou popsána v kapitole 3. Je zmíněno nejen zařízení, kterým se zabýval dříve ing. Miloš

M. Kodejška

Kodejška, Ph.D., ale i snižování vibrací skleněné skořepiny. Metody charakterizace akustických vlastností aktivních akustických metapovrchů jsou uvedeny v kapitole 4. Je to soustava pro akustická měření a digitální holografii, Kapitola 5 představuje klíčové výsledky v otázkách designu elektroniky pro aktivní akustické metapovrchy, přičemž je kladen důraz na analýzu celkové energetické účinnosti obvodu negativní impedance. Hlavní výsledky týkající se adaptivních akustických metapovrchů jsou uvedeny v kapitole 6. Část této kapitoly se zabývá řízenou změnou akustických vlastností aktivního akustického metapovrchu a algoritmem pro automatické udržování těchto parametrů. V kapitole 7 je uveden přehled konstrukce, metod charakterizace a výsledků vztahujících se k aplikaci akustických metapovrchů pro konstrukci akustického rozhraní umožňující manipulaci s fází procházející vlny, dovolující např. nepřírozenou změnu směru šíření vlny po průchodu rozhraním. Závěry jsou shrnuty v kapitole 8.

Splnění stanovených cílů

Cíle disertační práce jsou vytyčeny na straně 3 a 4 a navazují na popis motivací k vypracování disertační práce. Stručné lze tyto cíle charakterizovat takto:

1. Vývoj metod umožňujících aktivní řízení akustické (nebo mechanické) impedance dvourozměrných struktur.
2. Konstrukce systémů, které představují rovinné akustické metamateriály.
3. Analýza metod pro optimální návrh elektronických výkonových obvodů, které minimalizují spotřebu elektrické energie.
4. Analýza stability aktivních akustických metamateriálů a metapovrchů.
5. Konstrukce laditelných aktivních akustických metapovrchů a jejich využití v systémech pro řízení zvukového pole s využitím principů zobecněného Snellova zákona.

Popis řešení těchto 5 dílčích cílů odpovídá kapitolám 2 až 5. Na základě textu disertační práce lze konstatovat, že tyto cíle byly beze zbytku splněny.

Postup řešení

Výzkum s mezinárodní odezvou lze provozovat jen s potřebným materiálním a přístrojovým vybavením. Po prostudování práce mohu konstatovat, že doktorand využil do krajnosti vše, co měl k měření a provádění experimentů k dispozici. Úctyhodný je rovněž počet použitých publikovaných prací k obohacení textu.

K postupu řešení nemám připomínky. Hlavní výsledek disertační práce je obsažen v kapitolách 4, 5, 6 a 7. V kapitole 4 je popsáno akustické měření, digitální holografická interferometrie a měření toku elektrické energie. Kapitola 5 se zabývá konstrukcí bočníku (obvodů záporné kapacity). V kapitole 6 jsou popsány adaptivní metapovrchy. Kapitola 7 se zabývá metapovrchy pro difrakční akustické struktury. Celé řešení je tak unikátní, že nelze dílčí výsledky srovnávat s podobným řešením v jiné laboratoři. Doktorand tyto konkurenční výsledky ani nepopisuje..

Mám poznámku k hodnotám elektrických součástek na str. 44. Není přesnost číselných hodnot přehnaná?

Otázky k obhajobě

Při prezentaci nebo rozpravě by mohly být odpovězeny tyto otázky:

1. Jaké jsou frekvence prvního a druhého tvaru kmitů skořepiny?
2. Pokuste se vysvětlit velmi jednoduše princip negativního kapacitoru tak, aby byl použitelný ve výuce.



3. Kromě ukázek (fotografií) tlumených ploch by mohlo být při prezentaci ukázána fotografie zařízení z obr. 3.1.
4. Ve vzorcích je popisována kapacita jako komplexní číslo. Proč není použito označení impedance nebo admitance kapacitního charakteru?
5. Skořepinová plocha není rovinná. Vysvětlíte důvody jejího prohnutí/vydatí.

Důvodem položení otázek není upozornění na chyby, slouží pouze k oživení diskuze při obhajobě. Celá disertační práce jistým způsobem standardizuje popis systému aktivního tlumení vibrační ploch v českém jazyce. Možná, že vznikne i dostupná publikace v češtině, a proto je třeba dbát na pečlivé vyjadřování.

Formální úroveň práce

Text disertační práce je velmi čtivý, jeho autor se umí technicky vyjadřovat. Nevšiml jsem si žádné jazykové chyby. Grafy jsou přehledné a všechny popisy mají dostatečnou velikost. Práce je přesycena zkratkami. Vhodnější by bylo jednodušší vyjadřování a použít české označení. Nadužívána je rovněž předpona „meta“. Opodstatnění dává této předponě internet

[What are metamaterials and metasurfaces? Definition, properties and applications \(nanowerk.com\)](https://nanowerk.com/What-are-metamaterials-and-metasurfaces-Definition-properties-and-applications/),

avšak podle mne nemusí být používána všude. Rozumím, proč piezomateriál je metamateriál, protože jeho vlastnosti nejsou dány jen chemickým složením, ale i polarizací domén. Touto poznámkou nechci snížit vědeckou hodnotu disertační práce.

Publikace autora disertační práce

Doktorand ing. Jan Václavík publikoval Jedná se o 8 článků v časopisech s IF a 22 článků ve sbornících z konferencí. Podle názvu jsou všechny publikace v angličtině. Autorství článků je kolektivní. Podílí se na vývoji složitých zařízení, kde je třeba spolupráce specialistů z různých oborů. Podle mne je jeho publikační aktivita nadprůměrná, jedná se o zkušeného vyzrálého autora.

Závěr

Doktorand prokázal ve smyslu paragrafu 47 vysokoškolského zákona schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje a přispěl významně k rozvoji oboru aktivnímu tlumení kmitání s využitím piezoaktuátorů, které jsou připojeny k negativnímu kapacitoru. Jeho disertační práce odpovídá obecně uznávaným požadavkům k udělení akademického titulu Ph.D. Doporučuji tuto práci bez výhrad k obhajobě.

V Ostravě 3. 8. 2021

3

Prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.

VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní Ostrava

