

VIBROIZOLIACINIŲ SISTEMŲ, NAUDOJAMŲ LAZERINĖSE
IR NANOTECHNOLOGIJOSE, TYRIMAIJustinas Kuncė¹, Mindaugas Jurevičius²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹Kuncel3@gmail.com; ²Mindaugas.Jurevicius@vgtu.lt*

Santrauka. Nagrinėjama vibroizoliacinės sistemos, sudarytos iš optinio stalo ir dviejų neigiamo standumo staliukų, efektyvumas žadinant harmoniniu ir neharmoniniais būdais 0,2–110 Hz diapazone. Aprašyta eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika ir atlikti virpesių perduodamumo tyrimai. Ištirta sudėtinė sistema, sudaryta iš dviejų neigiamo standumo virpesių izoliavimo staliukų ir optinio stalo. Nustatytos vibracijų slopinimo charakteristikos. Pateikti eksperimentų metu gauti rezultatai ir išvados.

Reikšminiai žodžiai: vibroizoliacinės sistemos, neigiamas standumas, virpesiai, žemieji dažniai, perduodamumas.

Įvadas

Nanotechnologija yra viena iš labiausiai šiandien besivystančių technologijų, vadinama ateities technologija, nes pasiekia teorinį tikslumo lygį, kuris yra molekulės ar atomo dydžio.

Šios naujausios technologijos neatsiejama dalis – medžiagos, valdomos atomo lygmeniu. Tam, kad būtų galima suvaldyti šias mikroskopines daleles ir joms naudojamą įrangą (lazerius, mikroskopus), reikalingas didelis tikslumas (Optical-Laser Systems 2012).

Dirbant su optiniais mikroskopais ir lazeriniais interferometrais tyrimų rezultatai gali būti labai iškraipyti dėl sukeltų išorinių virpesių, triukšmo, temperatūros, drėgmės ir magnetinių laukų poveikio (Optical-Laser Systems 2012). Vieną iš didžiausių įtakų įrangai daro pagrindo virpesiai. Todėl reikėtų pašalinti šią pagrindinę priežastį, nes virpesiai gali būti dideli trikdžiai jautriai darbo įrangai, kuri dirba nanodalelių tikslumu. Dėl šios priežasties didėja efektyvių virpesių slopinimo sistemų, skirtų iš aplinkos atsirandantiems virpesiams slopinti, poreikis (Fundamentals of Vibration 2012).

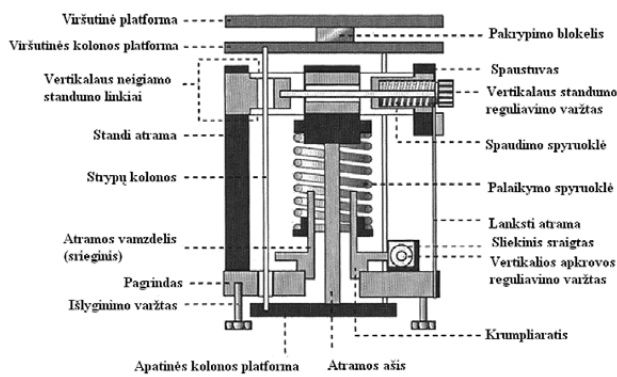
Kuriant žemojo dažnio virpesių izoliavimo sistemas šiuo metu daug dėmesio skiriama aktyvioms ir pasyvioms virpesių izoliavimo sistemoms. Aktyvios virpesių izoliavimo sistemos, esant sudėtingoms aplinkos sąlygoms, negali užtikrinti tinkamo izoliavimo, be to, yra brangesnės, sudėtingesnės ir mažiau patikimos nei pasyvios (Mead 1999). Siekiant sumažinti išlaidas ir pagerinti virpesių izoliavimo charakteristikas buvo sukurtos naujo tipo neigiamo standumo pasyvios sistemos. Tokio tipo sistemų kūrimas ir tyrimai vyksta dėl didelio jų poreikio pramonėje

ir mokslinėse laboratorijose, nes šių sistemų gebėjimas efektyviai izoliuoti virpesius net pačiomis sunkiausiomis sąlygomis yra didelis. Taikant parengtą neigiamo standumo virpesių izoliavimo sistemą yra gerokai supaprastinamas virpesių izoliavimo procesas. Jis tampa pigesnis, užima mažiau laiko ir reikalauja mažiau darbo sąnaudų, lyginant su kitais šiuo metu taikomais virpesių izoliavimo būdais (McMahon 2009).

Tyrimo objektas

Tiriama sudėtinė sistema, sudaryta iš dviejų neigiamo standumo staliukų „Minus K 500BM-1“ ir optinio stalo. Neigiamo standumo izoliatoriai naudoja visiškai mechaninę koncepciją (1 pav.) žemojo dažnio virpesiams izoliuoti. Vertikalios eigos izoliaciją užtikrina standi spyruoklė, kuri kartu su neigiamo standumo mechanizmu atlaiko svorio spaudimą. Grynasis vertikalusis standumas yra padaromas iš labai mažai paveikiamos, statinę apkrovą palaikančios spyruoklės. Strypų kolonos sujungtos tiek su vertikalaus judesio izoliatoriais, tiek su horizontalaus judesio izoliatoriais. Horizontalusis strypo kolonų standumas yra sumažintas „strypo kolonų“ efekto.

Neigiamo standumo izoliatoriai naudoja vieną sistemą, kad izoliuotų naudingąsias apkrovas nuo vertikalaus judėjimo, ir kitą, kad apsaugotų įrangą nuo horizontalių poslinkių. Abi sistemos naudoja neigiamo standumo mechanizmą, kad išlaikytų bendrą standumą, taigi ir žemą rezonansinį dažnį. Mechanizmai šiek tiek skiriasi kiekviena judėjimo kryptimi (McMahon 2009).



1 pav. Neigiamo standumo staliuko „Minus K 500BM-1“ vibracijos izoliatoriaus sudėtinė schema (Negative-Stiffness Vibration 2012)

Fig. 1. Component diagram of a vibration isolator of the negative – stiffness table “Minus K 500BM-1”

Rezultatas – kompaktiškas pasyvus izoliatorius, gebantis slopinti labai žemus vertikalius ir horizontalius savuosius dažnius ir aukštus vidinius konstrukcinius dažnius. Izoliatoriai (sureguliuoti esant 0,5 Hz) pasiekia 93 % izoliacijos efektyvumą, kai dažnis yra 2 Hz, ir 99 %, kai dažnis yra 5 Hz, bei 99,7 %, kai dažnis yra 10 Hz (McMahon 2009).

Darbo metodika

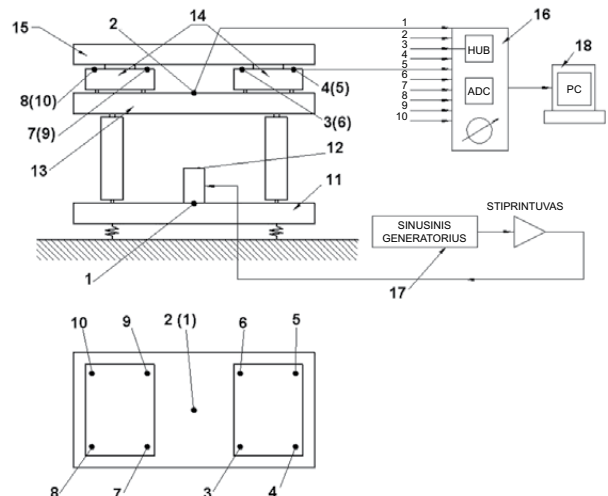
Ekspirimentinių bandymų tyrimams buvo suprojektuotas ir išbandytas specialus vibracijų sužadavimo stendas, kur 2 ir 3 paveiksluose skaičiais sužymėtos vienodos stendo sudedamosios dalys: 1–10 – akcelerometrai; 11 – pagalbinė plokštė su pneumatinėmis atramomis; 12 – vibratorius; 13 – optinis stalas mod. 1VIS96W; 14 – du neigiamo standumo staliukai „Minus K 500BM-1“; 15 – papildoma paskirstytoji 330 kg apkrova; 16 – signalų analizatorius; 17 – sinusinis virpesių generatorius; 18 – kilnojamoji matavimo rezultatų apdorojimo įranga „Machine Diagnostics Toolbox Type 9727“ su kompiuteriu DELL.

Pasyvieji žemojo dažnio virpesių izoliatoriai yra šiek tiek jautrūs nedideliame svorio pokyčiui, taip pat dideliems poslinkiams. Ši problema sušvelninama naudojant optinį stalą (13). Jis naudojamas kaip pagrindas, ant kurio padėtas neigiamo standumo vibroizoliacinis staliukas. Neigiamo standumo vibroizoliacinės sistemos vibracijų perduodamumo ir kitų dinaminių parametų tyrimai atlikti naudojant 330 kg išskirstytąją apkrovą (15).

Bandymo metu ant pagalbinės plokštės su pneumatinėmis atramomis (11) buvo uždėti vibratorius (12), akcelerometras (1) ir optinis stalas (13), o ant jo – akcelerometras (2) ir du neigiamo standumo vibroizoliaciniai

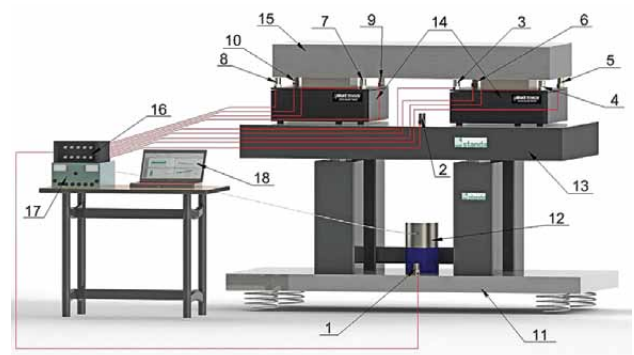
staliukai „Minus K 500BM-1“ (14). Ant jų viršaus vibracijų žadinimo kryptimi pritvirtinami vibracijų jutikliai – akcelerometrai (3–10), kurie matuoja virpesius. Kad neigiamo standumo staliukai normaliai veiktų, ant jų uždėdama 330 kg išskirstytoji apkrova (15). Vibracijoms sukelti naudojamas vibratorius (12), o reikiamos formos ir charakteristikų elektriniai svyravimai (harmoniniai ir neharmoniniai) sukeliama bandymų signalų generatoriais (17). Virpančio kūno judesys, perduotas iš akcelerometrų, transformuojamas ir signalų analizatoriuje pakeičiamas į elektrinį signalą (16). Pakeistas signalas perduodamas į monitoriaus ekraną arba į registratorių, kur jis saugomas kompiuteryje (18) tolesniam naudojimui. Paskui šis signalas apdorojamas siekiant nustatyti reikiamas mechaninės sistemos virpesių charakteristikas.

Kompiuteriu matavimo signalai buvo apdorojami naudojant „Origin 7.5“ programinį paketą. Nubraižyti laikiniai ir spektriniai grafikai, apskaičiuotas perduodamumas.



2 pav. Vibroizoliacinių sistemų bandymų stendo bendra blokinė schema

Fig. 2. Block diagram of a vibroisolation system

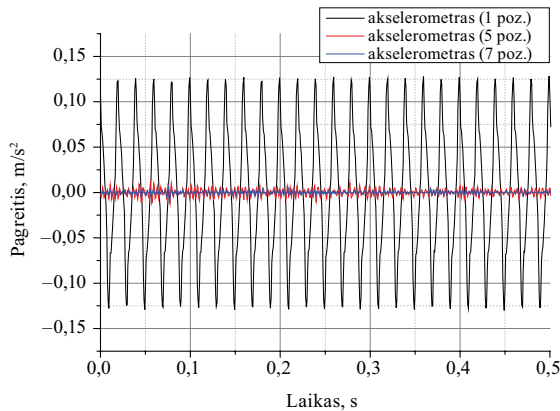


3 pav. Vibroizoliacinių sistemų bandymų stendo grafinis vaizdas
Fig. 3. A graphical image of vibroisolation systems

Rezultatai

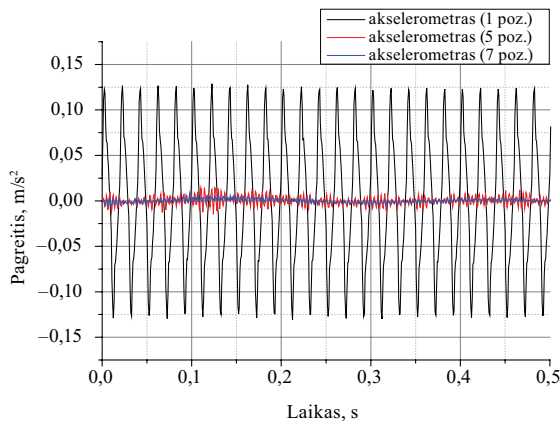
Kai platformai suteikiamas kinematinis harmoninis žadinimas, gauti rezultatai parodyti 4 ir 5 pav.

Palyginus 4 ir 5 pav. laikiniuose grafikuose pateiktas pagreičių amplitudes, esant skirtingiems žadintimų dydžiams, gauti skirtumai tarp pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija) ir neigiamo standumo staliukų (2 pav., 5 ir 7 pozicija) yra apie 40 kartų. Tai rodo, kad virpesių izoliavimo sistema tiek kartų yra slopinama.



4 pav. Pagreičio laikinis grafikas, kai žadinimas buvo 0,8 Hz dažnio. Gauti virpesiai, kai akselerometrai buvo ant: pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija), pirmo neigiamo standumo staliuko (2 pav., 7 pozicija) ir antro neigiamo standumo staliuko (2 pav., 5 pozicija)

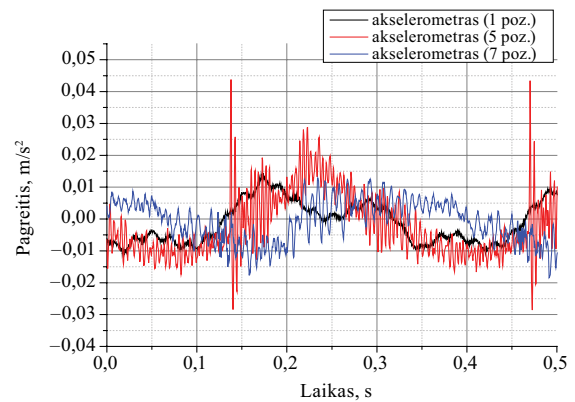
Fig. 4. Diagram of temporal acceleration under excitation frequency of 0.8 Hz. The vibrations were obtained when accelerometers were put on a supporting plate (Fig. 2. Item 1), the first table of negative stiffness (Fig. 2. Item 7) and the second table of negative stiffness (Fig. 2. Item 5)



5 pav. Pagreičio laikinis grafikas, kai žadinimas buvo 1,8 Hz dažnio. Gauti virpesiai, kai akselerometrai buvo ant: pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija), pirmo neigiamo standumo staliuko (4 pav., 7 pozicija) ir antro neigiamo standumo staliuko (4 pav., 5 pozicija)

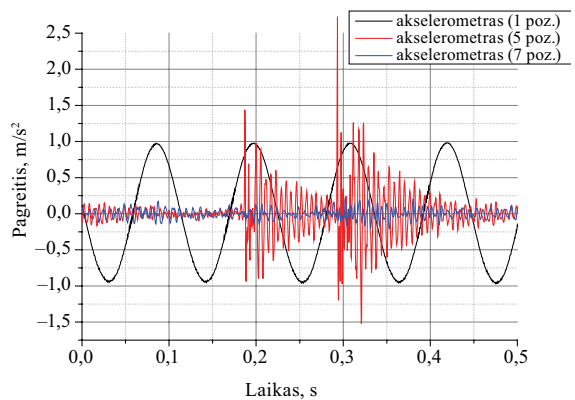
Fig. 5. Diagram of temporal acceleration under excitation frequency of 1.8 Hz. The vibrations were obtained when accelerometers were put on a supporting plate (Fig. 2. Item 1), the first table of negative stiffness (Fig. 2. Item 7) and the second table of negative stiffness (Fig. 2. Item 5)

Palyginę 6 ir 7 pav. laikiniuose grafikuose pateiktas pagreičių amplitudes nuo 3 Hz iki 10 Hz matome, kad ant vieno neigiamo standumo staliuko (2 pav., 5 pozicija) gauti virpesiai yra didesni nei pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija). Tai rodo, kad šioje vietoje sistemoje nevyksta slopinimo, nors ant kito neigiamo standumo staliuko gauti virpesiai (2 pav., 7 pozicija) yra mažesni nei pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija). Iš to galime spręsti, kad nuo 3 Hz iki 10 Hz dėl neaiškių priežasčių sistema nėra gerai slopinama.



6 pav. Pagreičio laikinis grafikas, kai žadinimas buvo 3 Hz dažnio. Gauti virpesiai, kai akselerometrai buvo ant: pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija), pirmo neigiamo standumo staliuko (2 pav., 7 pozicija) ir antro neigiamo standumo staliuko (2 pav., 5 pozicija)

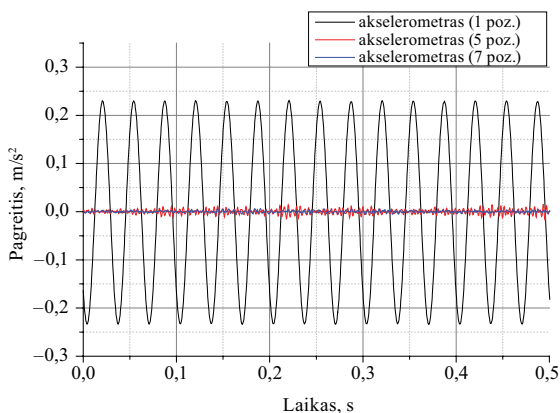
Fig. 6. Diagram of temporal acceleration under excitation frequency of 3 Hz. The vibrations were obtained when accelerometers were put on a supporting plate (Fig. 2. Item 1), the first table of negative stiffness (Fig. 2. Item 7) and the second table of negative stiffness (Fig. 2. Item 5)



7 pav. Pagreičio laikinis grafikas, kai žadinimas buvo 10 Hz dažnio. Gauti virpesiai, kai akselerometrai buvo ant: pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija), pirmo neigiamo standumo staliuko (2 pav., 7 pozicija) ir antro neigiamo standumo staliuko (2 pav., 5 pozicija)

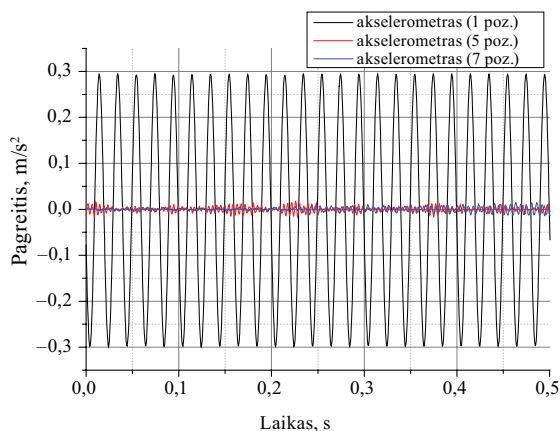
Fig. 7. Diagram of temporal acceleration under excitation frequency of 10 Hz. The vibrations were obtained when accelerometers were put on a supporting plate (Fig. 2. Item 1), the first table of negative stiffness (Fig. 2. Item 7) and the second table of negative stiffness (Fig. 2. Item 5)

Palyginus 8 ir 9 pav. laikiniuose grafikuose pateiktas pagreičių amplitudės tarp pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija) ir neigiamo standumo staliukų (2 pav., 5 ir 7 pozicijos) gaunamas 100 kartų skirtumas. Iš to galime daryti prielaidą, kad sistema nuo 30 Hz pradeda labai gerai slopinti.



8 pav. Pagreičio laikinis grafikas, kai žadinimas buvo 30 Hz dažnio. Gauti virpesiai, kai akselerometrai buvo ant: pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija), pirmo neigiamo standumo staliuko (2 pav., 7 pozicija) ir antro neigiamo standumo staliuko (2 pav., 5 pozicija)

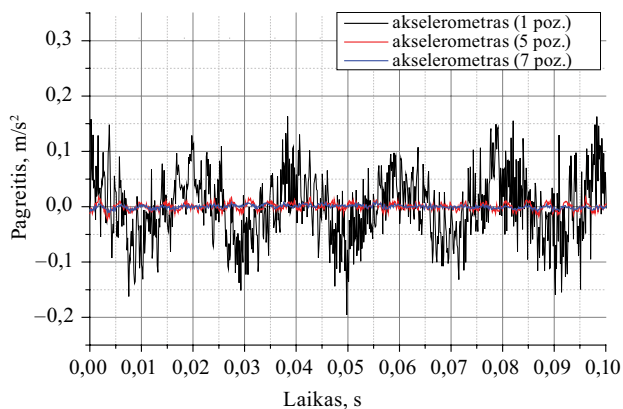
Fig. 8. Diagram of temporal acceleration under excitation frequency of 30 Hz. The vibrations were obtained when accelerometers were put on a supporting plate (Fig. 2. Item 1), the first table of negative stiffness (Fig. 2. Item 7) and the second table of negative stiffness (Fig. 2. Item 5)



9 pav. Pagreičio laikinis grafikas, kai žadinimas buvo 50 Hz dažnio. Gauti virpesiai, kai akselerometrai buvo ant: pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija), pirmo neigiamo standumo staliuko (2 pav., 7 pozicija) ir antro neigiamo standumo staliuko (2 pav., 5 pozicija)

Fig. 9. Diagram of temporal acceleration under excitation frequency of 50 Hz. The vibrations were obtained when accelerometers were put on a supporting plate (Fig. 2. Item 1), the first table of negative stiffness (Fig. 2. Item 7) and the second table of negative stiffness (Fig. 2. Item 5)

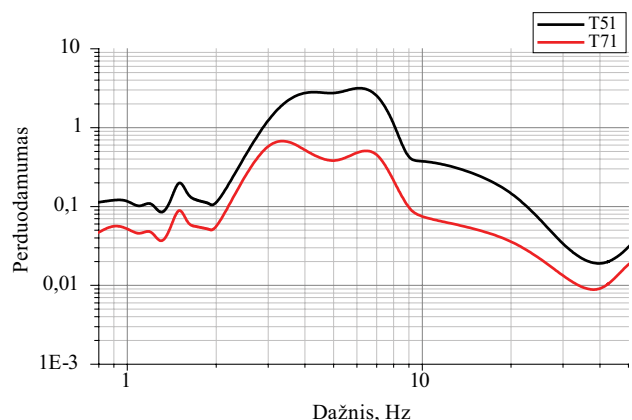
10 pav. laikiniame grafike gaunamas geras virpesių slopinimas, nes palyginus pagreičių amplitudės tarp pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija) ir neigiamo standumo staliukų (2 pav., 5 ir 7 pozicijos), amplitudės sumažėja 40 kartų.



10 pav. Neharmoninių virpesių (baltojo triukšmo) laikinis grafikas. Gauti virpesiai, kai akselerometrai buvo ant: pagalbinės plokštės (2 pav., 1 pozicija), pirmo (2 pav., 5 pozicija) ir antro (2 pav., 7 pozicija) neigiamų standumo staliukų

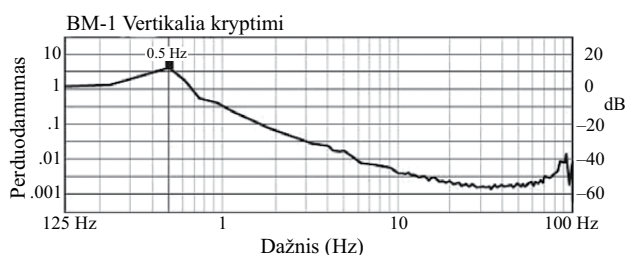
Fig. 10. Diagram of temporal non-harmonic oscillations (white noise). The vibrations were obtained when accelerometers were put on a supporting plate (Fig. 2. Item 1), the first table of negative stiffness (Fig. 2. Item 7) and the second table of negative stiffness (Fig. 2. Item 5)

11 pav. parodytos neigiamo standumo staliukų slopinimo charakteristikos. Nuo 0,8 Hz iki 3 Hz sistema yra slopinama, nes kreivės, esančios žemiau 1, parodo, kad yra slopinimas. Kreivė, esanti žemiau 1, šiuo atveju – 3–8 Hz, parodo, kad slopinimo nevyksta, o paskui vėl nuo daugiau nei 8 Hz, kad slopinimas vyksta.



11 pav. Pirmojo (T51) ir antrojo (T71) neigiamo standumo staliukų perduodamumo grafikas

Fig. 11. Transmissibility diagram of the first (T51) and second (T71) tables of negative stiffness



12 pav. Neigiamo standumo staliuko „Minus K 500BM-1“ perduodamumo grafikas (Transmissibility Curves *et al.* 2012)

Fig. 12. Transmissibility diagram of tables *Minus K 500BM-1* having negative stiffness

Palyginus eksperimentiniais tyrimais gautą perduodamumo kreivę (11 pav.) su pateikta „Minus K Technology“ kreive (12 pav.), matyti, kad nuo 0,8 Hz iki 3 Hz (eksperimento metu gauta kreivė) slopinimas vyksta, o 11 pav. pavaizduotas slopinimas prasideda nuo 0,8 Hz ir didėja kylant žadinimo dažniui, nors iki tol slopinimo nevyko. Abu neigiamo standumo staliukai nuo 9 Hz ima slopinti. Šiuos grafikus sunkiau palyginti, nes eksperimento metu perduodamumo grafikui gauti naudoti duomenys yra nuo 0,8 Hz, o „Minus K Technology“ – nuo 0,3 Hz. Be to, tirta virpesių izoliavimo sistema yra sudėtinė, o 12 pav. pateikta kreivė yra tik vieno neigiamo standumo staliuko, todėl tai gali turėti įtakos duomenims.

Išvados

1. Sukurta neigiamo standumo virpesių izoliavimo sistemos tyrimų metodika.
2. Atlikus eksperimentinius tyrimus, žadinant harmoniniu būdu 0,8–50 Hz diapazone nustatyta, kad virpesių amplitudės nuo 0,8 Hz iki 2 Hz sumažėja 40 kartų, nuo 3 Hz iki 10 Hz sistema nėra gerai slopinama dėl neaiškių priežasčių, o nuo 30 Hz ir daugiau virpesių amplitudės sumažėja 100 kartų. Žadinant neharmoniniu būdu 0,2–110 Hz diapazone nustatyta, kad virpesių amplitudės sumažėja 40 kartų.
3. Gautus rezultatus palyginus su gamykline firmos „Minus K Technology“ virpesių perdavimo kreive, nustatyta, kad sudėtinė sistema, sudaryta iš dviejų neigiamo standumo virpesių izoliavimo staliukų ir optinio stalo, gerai slopina virpesius nuo 0,8 Hz iki 2,0 Hz ir nuo didesnio nei 20 Hz diapazonuose. 3–10 Hz diapazone sistema slopina blogai, todėl to priežastis reikia aiškintis ateityje.

Literatūra

- McMahon, J. 2009. Negative stiffness a big positive for vibration isolation, *Machine Design* 81(9): 52.
- Mead, D. J. 1999. *Passive vibration control*. London: John Wiley & Sons Ltd.
- Fundamentals of Vibration Isolation. 2009 [interaktyvus], [žiūrėta 2012-01-30]. Prieiga per internetą: <http://www.cvimellesgriot.com/products/Documents/TechnicalGuide/Fundamentals-Vibration-Isolation.pdf>
- Negative-Stiffness Vibration Isolators [interaktyvus], [žiūrėta 2012-02-26]. Prieiga per internetą: http://minusk.com/content/technology/how-it-works_passive_vibration_isolator.html
- Optical-Laser Systems| Vibration Isolation [interaktyvus], [žiūrėta 2012-02-26]. Prieiga per internetą: http://minusk.com/content/applications_vibration_isolation_systems/optical_tables_lasers_microscopes_vibration_isolation.html
- Transmissibility Curves for Vibration Isolation [interaktyvus], [žiūrėta 2012-02-26]. Prieiga per internetą: http://minusk.com/content/technology/transmissibility_curves_vibration_isolation_isolators_tables.html

RESEARCH ON VIBRATION ISOLATION SYSTEMS USED IN LASER AND NANOTECHNOLOGIES

J. Kuncė, M. Jurevičius

Abstract

The paper discusses the efficiency of a vibration isolation system made of the optical table and two negative-stiffness tables and considers excitation referring to harmonic and nonharmonic methods in the frequency range of 0,2–110 Hz. The article reviews the types and sources of vibrations and types of vibration isolation systems, including those of negative-stiffness. The paper also presents the methodology of experimental tests and proposes research on vibration transmissibility. A composite system consisting of two vibration isolation table having negative stiffness and an air table has been tested. The results and conclusions of experimental analysis are suggested at the end of the article.

Keywords: vibroisolation systems, negative stiffness, low frequency, transmissibility.