

KAMPO MATAVIMO KOMPARATORIAUS DINAMINIŲ CHARAKTERISTIŲ
TYRIMAIArtūras Kilikevičius¹, Valdemar Prokopovič², Vytautas Makarskas³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹arturas.kilikevicius@vgtu.lt; ²prokopovicvaldemar@gmail.com; ³v.makarskas@gmail.com

Santrauka. Straipsnyje aprašytas precizinio kampo matavimo komparatoriaus mechaninės sistemos tikslumas, atliekant matavimus. Išnagrinėtos dėl virpesių atsirandančios dinaminės sistemos paklaidos. Nustatytas ir eksperimentiškai išmatuotas virpesių poveikis matavimo rezultatui. Nagrinėjamas atvejis, kai sistemai buvo sukeltas išorinis žadinimas. Rasta priklausomybė tarp virpesių poveikio ir kalibravimo rezultatų tikslumo.

Reikšminiai žodžiai: kampo matavimas, komparatorius, kalibravimas, virpesiai, dinaminės charakteristikos.

Įvadas

Kampo matavimo komparatorius yra gana sudėtinga, iš daugelio komponentų susidedanti mechatroninė sistema. Dėl sudėtingos prietaiso konstrukcijos vidiniai ir išoriniai ryšiai, kurie žadina sistemą, gali veikti matavimų rezultatus, atsiranda matavimų paklaidų (Kilikevičius, Vekteris 2006; Kasparaitis *et al.* 2007, 2008; Kaušinis *et al.* 2009). Pagrindinis darbe tiriamas uždavinys – nustatyti vidinių ir išorinių sistemą žadinančių veiksnių įtaką kampo matavimo mechatroninio komparatoriaus kalibravimo tikslumui bei sistemos kokybiniam parametrui.

Vienas iš pagrindinių tokių mechatroninių sistemų sudarymo kriterijų yra paklaidų sandara, kuri nurodo, kokio dydžio paklaidos gali būti toleruojamos kiekvienoje sistemos projektavimo, gamybos ar eksploataavimo stadijoje. Norima paklaidas padaryti valdomomis ir kontroliuoti jų poveikį, t. y. ištirti, kurios paklaidos dominuojančios, jų valdymo galimybes, taip pat nustatyti šių paklaidų poveikį kalibravimo paklaidų (neapibrėžties) biudžetui (Kilikevičius, Vekteris 2006; Kasparaitis *et al.* 2007, 2008; Kaušinis *et al.* 2009).

Dinaminių parametrų matavimai plačiai naudojami norint įvertinti arba sukontroliuoti tikslų matavimo sistemų, kalibravimo prietaisų ar įvairiausių precizinių mašinų būvį. Matuojamojo parametro tyrimas bei jo pokyčių laike vertinimas, imantis atitinkamų veiksmų pagal gautus rezultatus, padeda nustatyti ir pašalinti paklaidų šaltinius. Šias funkcijas atlieka virpesių matavimo sistemos. Atliekamų matavimų patikimumas priklauso nuo daugelio dalykų – tiriamojo objekto charakteristikų matavimo sistemos struktūros, matavimo aplinkos (Kaušinis *et al.* 2009; Kilikevičius *et al.* 2009, 2010a, 2010b).

Tyrimų objektas. Darbo tyrimų objektas yra kampo matavimo mechatroninis komparatorius. Norint gauti virpesių poveikio duomenis šiam įrenginiui, reikia išanalizuoti komparatoriaus paklaidas, atsirandančias dėl vidinių ir išorinių sistemą žadinančių veiksnių įtakos (Kilikevičius, Vekteris 2006; Kasparaitis *et al.* 2007, 2008; Kaušinis *et al.* 2009).

Darbo uždaviniai. Darbo tikslui pasiekti reikia spręsti šiuos uždavinius (Kilikevičius, Vekteris 2006; Kasparaitis *et al.* 2007, 2008; Kaušinis *et al.* 2009):

- 1) remiantis mokslinė-technine literatūra, susisteminti šios srities žinias;
- 2) sukurti precizinio kampo matavimo komparatoriaus sistemos dinaminis bei matematinis modelius ir atlikti sistemos modeliavimą, įvertinant eksperimentiškai rastus koeficientus;
- 3) išnagrinėti dinamines paklaidas, atsirandančias dėl virpesių poveikio; nustatyti šių paklaidų įtakos kompensavimo galimybes ir eksperimentiškai ištirti, kaip virpesiai veikia matavimo rezultatus, sukeldami sistemai išorinį žadinimą; išmatuoti kalibravimo metu atsirandančius virpesius ir nustatyti kalibravimo tikslumo priklausomybę nuo šių virpesių.

Tyrimų metodai. Darbe atlikti eksperimentiniai tyrimai su programine įranga *Matlab*, *Pulse* ir *Origin*. Pagrindiniai statistiniai skaičiavimai buvo atlikti naudojant statistinius paketus *Microsoft Excel* ir *Origin*.

Eksperimentinę tiriamojo darbo medžiagą sudaro virpesių matavimo sistemų duomenys. Eksperimentai buvo atliekami UAB *Metrology Precizika* precizinio kampo brūkšnių matų komparatoriaus laboratorijoje. Virpesiai matuoti *Brüel & Kjær* ir *Hottiger* kompanijų matavimo įranga.

Tyrimo uždaviniai ir sprendimo analizė. Įvertinant atliktą brūkšnių ilgio matų kalibravimo sistemų ir jų komponentų analizę ir norint pagrįsti naujai kuriamos brūkšnių matų kalibravimo sistemos struktūrinius sprendimus, daugiausia dėmesio darbe skirta kampo matų kalibravimo sistemos dinaminėms paklaidoms tirti ir paklaidų atsiradimo priežastims nustatyti.

Atlikus literatūros apžvalgą, pastebėta, kad kalibravimo sistemų dinaminiam tyrimams buvo skirta mažai dėmesio (Kilikevičius, Vekteris 2006; Kasparaitis *et al.* 2007, 2008; Kaušinis *et al.* 2009), ypač:

- kampo matų kalibravimo sistemos dinaminėms paklaidoms, veikiančioms kalibravimo sistemos tikslumą, nustatyti ir jų įtakai kalibravimo tikslumui apskaičiuoti;
- sistemos dinaminų parametrų tyrimams;
- eksperimentiniams brūkšnių kampo matų kalibravimo dinaminio režimu virpesių tyrimams ir kalibravimo neapibrėžčiai įvertinti.

Tiriamasis objektas

Šiais laikais gaminami įvairiausi brūkšniniai matai. Jų dydžiai būna nuo kelių mikrometrų iki kelių metrų. Brūkšnių matų gamybai naudojamų medžiagų diapazonas yra labai platus: plienas, invaras, stiklas, stiklo keramika. Naudojamos ir pačios naujausios medžiagos, turinčios nedidelį šiluminio plėtimosi koeficientą. Skiriasi ir matų gradavimo tankis, kuris gali kisti nuo 0,5 μm itin aukšto tikslumo skalių iki kelių milimetrų ar daugiau. Naudojant skaitmeninius matavimo mikroskopus, galima atlikti tikslų brūkšnių kampo matų kalibravimo sistemų vietos nustatymą ir įvertinti brūkšnių kokybę bei jų išdėstymo tikslumą.

Komparatorius yra etaloninėje patalpoje.

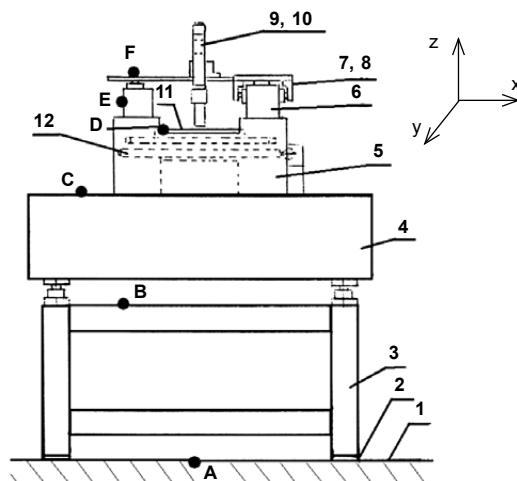
Kampo komparatorių sudaro 9 pagrindinės dalys:

- mikroskopas su skaitmenine vaizdo kamera;
- pavara;
- valdiklis;
- duomenų surinkimo ir apdorojimo kompiuteris;
- granitinė plyta;
- granitinis stovas (atrama);
- granitinės kreipiamosios;
- kariatėlės, esančios ant granitinių kreipiamųjų, ant oro guolių;
- sukamasis staliukas.

Visos dalys yra tarpusavyje sujungtos ir sinchronizuotos.

Kampo komparatorius (1 pav.) susideda iš masyvios struktūros granitinės kreipiamosios, horizontaliojoje plokštumoje padėtos ant stovo, kuris slopinamas vibroizoliacija,

paklota ant pamato. Granitinės plokštumos virpesių lygis, atlikus matavimus, kai komparatorius yra ramybės būsenos, neviršija 0,7 μm , esant 25 Hz ir 0,1 μm kituose virpesių dažniu ruožuose. Kai į kariatėlių aerostatinus guolius tiekiamas suslėgtas oras, kariatėlės slysta oro guoliais išilgai kreipiančiosios trimis aukšto tikslumo kreipiamosiomis plokštumomis. Tarpelis tarp oro guolių plokštumų ir kreipiančiosios siekia 6 μm . Oro debitas yra labai mažas. Kariatėlės sistema surinkta taip, kad ji stovi ant standžiai įmontuotų aerostatinų atramų, kurios įvertžtos priešingose kreipiančiųjų pusėse sumontuotomis spyruokliuojančiomis aerostatinėmis atramomis. Tokia konstrukcija leidžia sureguliuoti mažus aerostatinų atramų tarpus, taip padidinant jų standumą. 1 pav. raidėmis pažymėti taškai rodo reikšmingus vibracijų matavimo taškus, vertinant vibracijų perduodamumą per kampo komparatoriaus konstrukciją. Šie rezultatai plačiau aprašyti literatūroje (Kasparaitis *et al.* 2012).



1 pav. Eksperimentinis kampo komparatoriaus stendas: 1 – pamatas; 2 – vibroizoliacija; 3 – stovas; 4 – granitinė plyta; 5 – granitinė atrama; 6 – granitinės kreipiamosios; 7, 8 – kariatėlės; 9, 10 – mikroskopai; 11 – sukamasis staliukas; 12 – sliekratis

Fig. 1. Experimental stand of the angle measurement comparator: 1 – foundation; 2 – vibration isolators; 3 – frame; 4 – granite plate; 5 – granite support; 6 – granite guide; 7, 8 – carriages; 9, 10 – microscopes; 11 – indexing table; 12 – worm wheel

Modalinė analizė – procesas, kurio metu konstrukcija apibūdinama pagal tikrinę (rezonanso) dažnį, slopinimą ir modų formas, kitaip tariant, pagal savo dinamines savybes. Kadangi visi kūnai turi masę ir yra plastiški, jie gali virpėti. Todėl didžioji dalis inžinerinių konstrukcijų ir mašinų yra veikiamos tam tikros formos svyruojamųjų judesių. Norint suprasti įvairių konstrukcinių virpesių problemas, reikia nustatyti ir įvertinti rezonansinius dažnius. Naudojamas būdas yra konstrukcijos modalinių parametrų nustatymas.

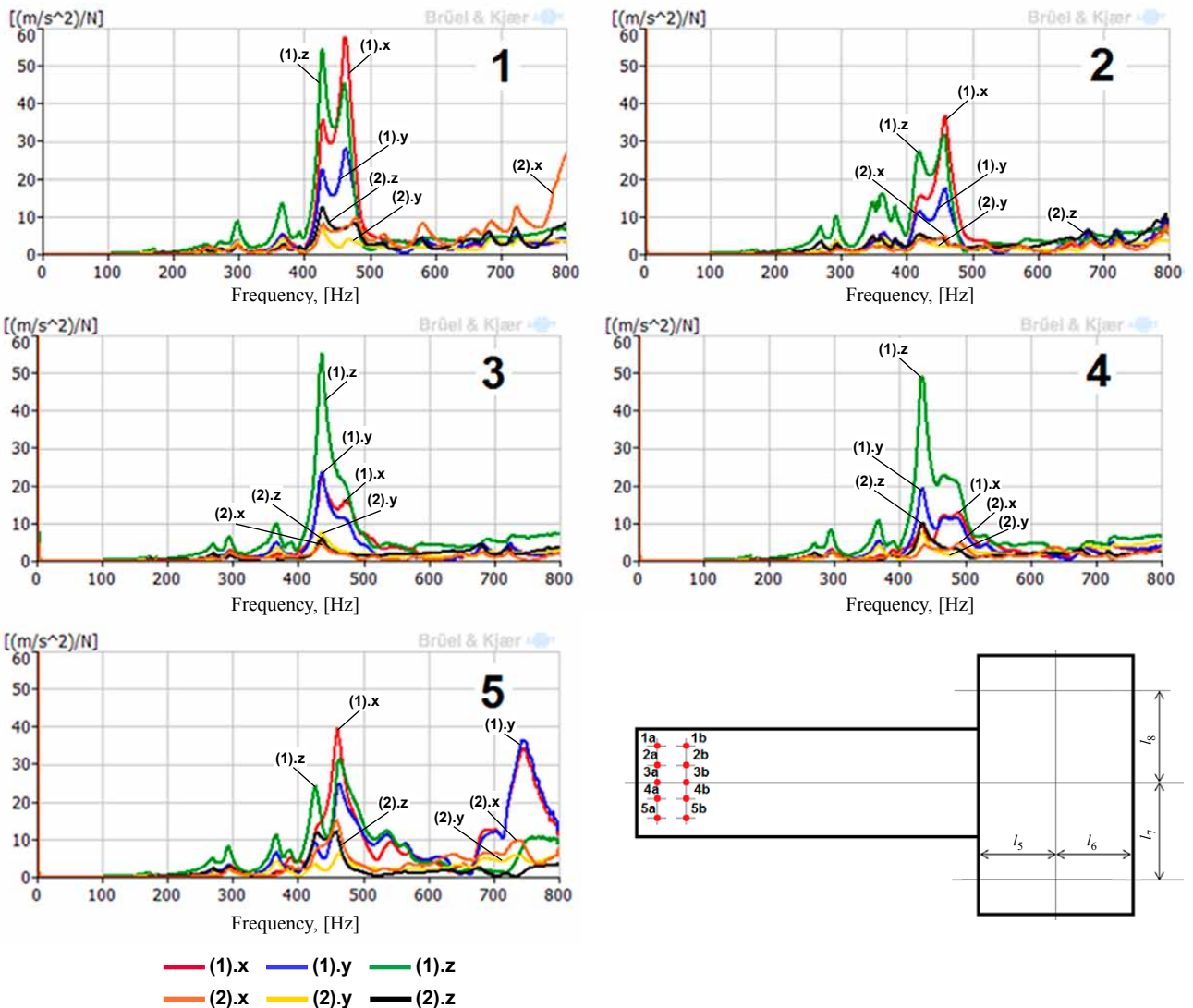
Atliekant modalinę analizę, gaunamas konstrukcijos dinamikos matematinis modelis. Matematinis modelis sudarytas iš modų formų, kurių kiekviena turi tikrinį dažnį ir modalinį slopinimą. Konstrukcijos dinamika apibūdinama pagal modalinius parametrus (Kasparaitis *et al.* 2007).

Modalinei tiriamosios sistemos analizei buvo naudojama tokia įranga: 1) 3-jų ašių akcelerometras 4506; 2) akcelerometrų tvirtinimo magnetai; 3) jėgos jutiklis 8201; 4) vibratorius 4811; 5) stiprintuvas 2626, skirtas jėgos davikliams 8201 arba 8200 signalams sustiprinti.

Eksperimentinė modalinė analizė remiasi modalinių parametrų nustatymu, atliekant bandymus, skirtingai nuo analitinės modalinės analizės, kur modaliniai parametrai gaunami iš baigtinių elementų modelių. Išskiriami du eks-

perimentinės modalinės analizės tipai: klasikinė modalinė analizė ir modalinė analizė darbo režimu. Atliekant klasikinę modalinę analizę, dažnio atsako funkcijos (arba impulso atsako funkcijos) apskaičiuojamos iš išmatuotų žadinimo jėgų ir konstrukcijos atsako į žadinimą.

2 pav. iliustruoja kampo matavimo komparatoriaus kariatėlės (1 pav., 8 pozicija) mechaninės sistemos taškų atsaką į išorinį žadinimą (žadinimui sukelti naudojamas vibratorius). Atsakas į žadinimą buvo matuojamas po du taškus vieno matavimo metu, taigi iš viso buvo matuojama dešimtyje taškų. Matuojamųjų taškų išsidėstymas pateiktas 2 pav. apačioje (kariatėlės vaizdas iš viršaus, (1 pav., 8 pozicija), kuriame skaičius rodo matavimo numerį, o raidė – jutiklį (vieno matavimo metu buvo naudojami du jutikliai).



2 pav. Eksperimentinių matavimų rezultatai: penki atskiri matavimai abiejuose taškuose pagal x, y ir z ašis nustatytu dažnių diapazonu

Fig. 2. Results of experimental measurements: 5 measurements are given separately, every 2 points for three (x, y and z) directions, at set frequency spectrum

Matavimo rezultatai (2 pav.) rodo, kad dominuoja šie dažniai: 296, 365, 426 ir 462 Hz (1 ir 2 taškai); 266, 292, 347, 361, 380, 417 ir 456 Hz (3 ir 4 taškai); 266, 294, 365 ir 435 Hz (5 ir 6 taškai); 266, 294, 365 ir 435 Hz (7 ir 8 taškai); 266, 294, 365, 386, 426 ir 461 Hz (9 ir 10 taškai). Rezultatai rodo, kad vertikaliaja kryptimi dominuoja 292–296, 361–365 ir 426 Hz ruožuose, o skersine kryptimi dominuoja 456–461 Hz ruože esančios amplitudės.

Išvados

Atlikti kampo matavimo komparatoriaus dinaminiai tyrimai. Nustatyta dominuojanti virpesių amplitudė vertikaliuoje z ašyje 294–296, 365, 426, 435 Hz dažniais, o horizontaliojoje x ašyje – 461–462 Hz. Gauti rezultatai rodo pavojingus dažnius, kurių reikėtų vengti kampo komparatoriaus darbo metu.

Literatūra

- Kasparaitis, A.; Vekteris, V.; Kilikevičius, A. 2007. Investigation of vibrations acting on mechatronic comparator, *Ultragarsas* 1(62): 38–41. ISSN 1392–2114.
- Kasparaitis, A.; Vekteris, V.; Kilikevičius, A. 2008. Line scale Comparator Carriage vibrations during dynamic calibration, *Journal of Vibroengineering* 10(3): 347–354. ISSN 1392–8716.
- Kasparaitis, A.; Kilikevičius, A.; Barakauskas, A.; Mokšin, V. 2012. Experimental research of vibrations of angle measurement comparator, *Journal of Vibroengineering* 14(4): 1760–1765. ISSN 1392–8716
- Kausinis, S.; Kasparaitis, A.; Barakauskas, A.; Barauskas, R.; Jakstas, A.; Kilikevičius, A. 2009. Line scale Calibration in Non-Ideal Measurement Situation, *Solid State Phenomena* 147–149: 682–685. ISSN 1012–0394.
- Kilikevičius, A.; Vekteris, V. 2006. Diagnostic testing of the comparator carriage vibrations, *Ultragarsas* 2(59): 26–30. ISSN 1392–2114.
- Kilikevičius, A.; Vekteris, V.; Slivinskas, K.; Kasparaitis, A. 2009. Investigation of dynamics of the mechatronic comparator, *Ultragarsas* 2(64): 17–23. ISSN 1392–2114.
- Kilikevičius, A.; Petraška, A.; Juraitis, S. 2010a. Measurement errors of Comparator on Carriage vibrations, *Journal of Vibroengineering* 11(1): 347–354. ISSN 1392–8716.
- Kilikevičius, A.; Vekteris, V.; Slivinskas, K.; Kasparaitis, A.; Juraitis, S. 2010b. Research of the Influence of Vibrations to the Line Scale Gage Calibration Quality, *Solid State Phenomena*, 47–55. ISSN 1012–0394.

THE RESEARCH OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ANGLE MEASUREMENT COMPARATOR

A. Kilikevičius, V. Prokopovič, V. Makarskas

Abstract

The aim of the research was to determine the mechanical stability of angle measurement comparator's system. Vibrations were measured at the significant points of the system for that purpose and dynamic characteristics of the system were established.

Keywords: angle measurements, comparator, calibration, dynamic characteristics.