

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2025 013**

(22) Paraiškos padavimo data: **2025-07-15**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2026-01-26**

(71) Pareiškėjas:

**VŠĮ Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT**

(72) Išradėjas:

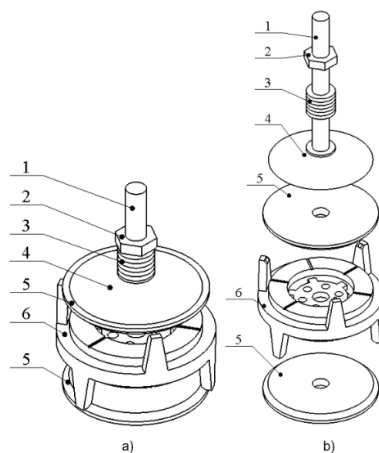
**Dalius MAŽEIKA, LT
Andrius ČEPONIS, LT
Laurynas ŠIŠOVAS, LT**

(54) Pavadinimas:

Pjezoelektrinė inercinė sukamojo judesio pavara su aktyviai valdomu rotorių prispaudimu

(57) Referatas:

Išradimas skirtas padidinti pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros sukimosi greitį, sukimo momentą, kampinio judesio tikslumą bei išplėsti jos funkcines galimybes. Sukamojo judesio pavara susideda iš statoriaus (6), kurį sudaro tamprus žiedas (9) su trapeciniais dantimis (8) ir frikciniiais elementais (7). Trapecinių dantų (8) geometrinės savybės parinktos taip, kad jų pirmos virpesių modos dažnis sutaptų su tampraus žiedo (9) lenkimo virpesių dažniu. Pjezoelektriniai žiedai (10) pritvirtinti prie tampraus žiedo (9), o jų poliarizacijos kryptys (13) suderintos su tampraus žiedo (9) simetrijos ašimi. Elektriniai signalai iš generatoriaus (12) sužadina pjezoelektrinių žiedų (10) ir tampraus žiedo (9) deformacijas, kurios per trapecinius dantis (8) perduodamos rotoriams (5), sukuriant jų kampinius poslinkius. Daugiasluoksnis pjezoelektrinis keitiklis (3) reguliuoja kūginės spyruoklės (4) suspaudimo laipsnį, keisdamas trinties jėgą tarp rotorių (5) ir frikcinių elementų (7), užtikrindamas stabilų sukamąjį judesį.



1 pav.

PJEZOELEKTRINĖ INERCINĖ SUKAMOJO JUDESIO PAVARA SU AKTYVIAI VALDOMU ROTORIŲ PRISPAUDIMU

IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priklauso elektro-mechaninių, mechatroninių sistemų ir robototeknikos sričiai.

- 5 Pjezoelektrinės pavaros koncepcija, konstrukcija, sudarymo bei veikimo principai gali būti pritaikomi mažo tūrio, aukšto tikslumo sukamojo judesio pavaroms, skirtoms optinių įrenginių, tokių kaip lęšiai, veidrodžiai ar optiniai filtrai, kampinei padėčiai valdyti. Naudojant šią pjezoelektrinę pavarą sukurtos pozicionavimo ar kitos aukšto tikslumo judesio pavaros gali būti taikomos lazerio spindulio, tiriamo bandinio pozicionavimui ar kitų objektų kampinės
- 10 padėties valdymui, nustatymui bei derinimui nenutrūkstamame cikle.

TECHNIKOS LYGIS

- Aukšto tikslumo lazerinių ir kitų optinių sistemų taikymas įvairiose pramonės, medicinos bei mokslinių tyrimų srityse prisideda prie šių veiklos sričių rezultatų gerinimo, įrenginių tikslumo ir kokybės didinimo bei skatina šių sričių vystymąsi. Tačiau tuo pačiu tai lemia didėjančią
- 15 poreikį itin tiksliai valdyti ir derinti optinių sistemų, lęšių, veidrodžių, tiriamųjų bandinių ar kitų objektų kampinę padėtį. Pjezoelektrinės pavaros, varikliai ir vykdikliai leidžia užtikrinti reikiamą pozicionavimo tikslumą ir poslinkio pasikartojamumą bei tenkinti keliamus reikalavimus. Šiuo metu egzistuoja keli techniniai sprendimai ir patentai, siūlantys šių problemų sprendimo būdus.
- 20 JAV patente US5955820A aprašoma pjezoelektrinė žiedo formos sukamojo judesio pvara, kurios konstrukciją sudaro pjezoelektrinis žiedas ir prie jo pritvirtintos tamprios kryžiaus formos asimetrinės konstrukcijos, pakilusios nuo žiedo horizontaliosios plokštumos. Apatinė asimetrinės konstrukcijos dalis įtvirtinta nejudamai, o prie viršutinės dalies per trinties jėgą prispaustas rotorius. Pavaros veikimas pagrįstas radialinės pjezoelektrinio žiedo virpesių
- 25 modos žadinimu harmoniniu elektriniu signalu ko pasėkoje visoje konstrukcijoje generuojami radialiniai virpesiai, kurie, dėl asimetrinių konstrukcijų ir specifinio įtvirtinimo, sukuria papildomus radialinius, lenkimo bei išilginius virpesius statoriaus kontakto zonoje taip suformuojant elipsės formos judesio trajektorijas. Statoriaus kontaktinės zonos virpėdamos kontaktuoja su prie statoriaus prispaustu rotoriumi, ko pasėkoje dėl trinties jėgos
- 30 sukuriamas rotoriaus sukamasis judesys.

Patente US6628045B2 aprašoma žiedo formos pjezoelektrinė sukamojo judesio pvara. Pavarą sudaro žiedo formos statorius, kurio vienoje pusėje suformuoti stačiakampiai dantys, o kitoje pusėje pritvirtintas pjezoelektrinis žiedas, kurio laisvasis elektrodas padalytas į lygias dalis. Pavaros rotorius paspyruokliuotai prispaustas prie dantytos statoriaus pusės. Pavaros veikimas grindžiamas bėgančios bangos tipo lenkimo virpesių žadinimu statoriuje, žadinant pjezoelektrinio žiedo elektrodus dviem harmoniniais signalais su fazių skirtumu $\pi/2$. Sužadinus bėgančios bangos virpesius, dantų viršūnėse formuojamos elipsės formos judesio trajektorijos, kurios kontaktuoja rotoriumi ir dėl trinties jėgos sukuria rotoriaus sukamąjį judesį. Statoriaus dantų geometrija parenkama taip, kad padidintų žiedo lenkimo virpesių amplitudę, ko pasėkoje didinamas rotoriaus sukimosi greitis ir sukimo momentas. Didinant dantų aukštį didėja ir pavaros sukimosi greitis, tačiau padidinus statoriaus prispaudimo jėgą, dantys pradeda klupti, dėl ko mažėja pavaros sukimosi greitis ir sukimo momentas, intensyvėja kontakto zonos dėvėjimasis ir mažėja pavaros patikimumas.

Patente CN110729919A aprašoma pjezoelektrinė žiedo formos sukamojo judesio pvara, kurią sudaro tamprus žiedo statorius, ant kurio viršutinių ir apatinių paviršių patalpinti pjezoelektriniai elementai, kurių lokacijos sutampa su žiedo lenkimo virpesių pūpsniais. Ant statoriaus viršutinio ir apatinio paviršių suformuoti stačiakampiai dantys, kurių vieta ant tamprus žiedo parenkama taip, kad nesutaptų su statoriaus lenkimo virpesių pūpsniais ar mazgais, bet, žadinant pjezoelektriniais elementais statoriaus stovinčios bangos virpesius, virpėtų asinchroniškai bei sukurtų priešingų kryptų jėgas, kurios per trinties jėgą būtų perduodamos į paspyruokliuotai prie viršutinių ir apatinių dantų prispaustą rotorių ir taip sugeneruotų sukamąjį rotoriaus judesį.

IŠRADIMO ESMĖ

Išradimo esmė ir tikslas yra padidinti pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros sukimosi greitį, sukimo momentą, kampinio judesio tikslumą bei išplėsti jos funkcines galimybes.

Išradimo tikslas pasiekiamas tuo, kad pjezoelektrinė pavara, sudaryta iš žiedo formos statoriaus, kurį sudaro tamprus žiedas, ant kurio viršutinio ir apatinio paviršiaus neišardomai pritvirtinti du pjezoelektriniai žiedai, o ties išoriniu tampraus žiedo skersmeniu ant viršutinio ir apatinio tampraus žiedo paviršiaus patalpinama po tris trapecinius dantis, kurių viršutiniuose paviršiuose tvirtinami frikciniai elementai. Du disko formos rotoriai, sujungti tarpusavyje velenu, paspyruokliuotai prispaudžiami prie viršutiniuose ir apatiniuose dantyse esančių frikcinių elementų. Rotorių prispaudimo jėga keičiama nustatant spyruoklės, kuri sumontuota ant veleno tarp disko formos rotoriaus ir daugiasluoksnio pjezoelektrinio keitiklio, suspaudimą, kuris keičiamas kai nuolatinės srovės elektriniu signalu sužadinamos pjezoelektrinio daugiasluoksnio keitiklio išilginės deformacijos. Statoriaus įtvirtinimui korpusė naudojamas įtvirtinimo diskas, kuris neišardomai suformuotas vidinėje žiedo formos statoriaus dalyje.

Pavaros sukimosi greitis ir sukimo momentas didinami, kai pjezoelektriniai žiedai sinchroniškai žadinami dvejais neharmoniniais elektriniais signalais, kurių fazių skirtumas yra π , o dažnis lygus arba artimas žiedo formos statoriaus lenkimo virpesių savųjų svyravimų dažniui, taip suformuojant neharmoninius stovinčios bangos virpesius statoriuje. Virpesių amplitudės didinamos parenkant trapecijos formos dantų geometrinius matmenis taip, kad dantų pirmos modos lenkimo virpesių savasis dažnis sutaptų su statoriaus žiedo lenkimo virpesių savųjų virpesių dažniu.

Pavaros kampinio judesio tikslumas, dinaminės charakteristikos ir patikimumas didinamas kai rotorių prispaudimo jėga per daugiasluoksnį pjezoelektrinį keitiklį valdoma sinchroniškai statoriaus neharmoninių virpesių atžvilgiu taip užtikrinant rotorių skirtingo dydžio prispaudimo jėgas bei, atitinkamai, trinties jėgas tarp frikcinių elementų ir rotorių skirtinguose statoriaus virpesių fazėse, ko pasekoje didinamas rotorių sukimosi greitis, sumažinamas tribologinių porų tarp rotorių ir statoriaus frikcinių elementų dėvėjimasis ir didinamas pavaros patikimumas.

Funkcinės pavaros galimybės ir kampinio judesio tikslumas gerinami sinchroniškai žadinant pavaros statorių ir pjezoelektrinį daugiasluoksnį keitiklį žemo dažnio neharmoniniais

elektriniais signalais taip sukuriant nanometrines eiles lėtaiėjus disko formos rotorių žingsninius kampinius poslinkius.

BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Brėžinių paveikslai yra pateikti kaip nuoroda į galimą išradimo įgyvendinimą ir neturi riboti išradimo apimties. Nei vienas iš pateiktų brėžinių ir grafikų neturėtų būti laikomi ribojančiais, o tik kaip galimi išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai.

5 Pav. 1 a, b Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros schema:

(a) – izometrinis pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros vaizdas;

(b) – išskleistinis pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros vaizdas;

Pav. 2 a,b Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros statoriaus schema:

(a) – izometrinis pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros statoriaus vaizdas;

10 (b) – išskleistinis pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros statoriaus vaizdas;

Pav. 3 Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros žadinimo schema;

Pav. 4 Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros statoriaus virpesių moda.

BRĖŽINIAI – pažymėtų objektų aprašymas

- 1 – velenas;
- 15 2 – veržlė;
- 3 – daugiasluoksnis pjezoelektrinis keitiklis;
- 4 – kūginė spyruoklė;
- 5 – disko formos rotorius;
- 6 – statorius;
- 20 7 – frikcinis elementas;
- 8 – trapecinis dantis;
- 9 – tamprus žiedas;
- 10 – pjezoelektrinis žiedas;
- 11 – įtvirtinimo diskas;
- 25 12 – signalų generatorius;
- 13 – pjezoelektrinio žiedo poliarizacijos kryptis;
- 14 – pirmą elektrodų grupę;
- 15 – antrą elektrodų grupę.

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Čia ir toliau pavana aprašoma su nuorodomis į brėžinius, tačiau techninis pavaros įgyvendinimas nėra ribojamas pateiktais būdais. Galimos įvairios įgyvendinimo būdų modifikacijos ir tobulinimai.

5 **Detalus pavaros aprašymas:** Pjezoelektrinę sukamojo judesio pavara sudaro statorius (6), sudarytas iš tampraus žiedo (9), ant kurio viršutinio ir apatinio paviršių, neišardomai kas 120 laipsnių sumontuota po tris trapecinius dantis (8), kurių laisvose galuose sumontuojami frikciniai elementai (7). Trapecinių dantų (8) geometriniai matmenys parenkami taip, kad jų pirmos savųjų lenkimo virpesių modos dažnis sutaptų su tampraus žiedo (9) savųjų lenkimo virpesių dažniu. Trapecinių dantų (8) vieta ant tampraus žiedo (9) viršutinio ir apatinio paviršių parenkama taip, kad dantų vertikalioji simetrijos ašis kirstų tampraus žiedo (9) paviršių taip kad sutaptų su lenkimo virpesių mazginėmis zonomis bet tarpusavyje nesutaptų. Pjezoelektriniai žiedai (10), neišardomai, sumontuojami ant viršutinio ir apatinio tampraus žiedo (8) paviršių, o jų poliarizacijos kryptys (13) parenkamos taip, kad sutaptų su

10 tampraus žiedo (9) vertikalia simetrijos ašimi ir būtų nukreiptos ta pačia kryptimi. Pjezoelektrinių žiedų (10) laisvieji elektrodai padalijami į šešias lygias dalis, o elektrodų dalijimo vietos parenkamos taip, kad sutaptų su tampraus žiedo (9) lenkimo virpesių mazginėmis zonomis. Tampraus žiedo (9) vidiniame skersmenyje, neišardomai, sumontuojamas įtvirtinimo diskas (11), kuris sujungiamas su tampriu žiedu (9) taip, kad

15 sujungimo vietos sutaptų tampraus žiedo (9) lenkimo virpesių mazginėmis zonomis. Disko formos rotoriai (5) patalpinami ant statoriaus (6) viršutinių ir apatinių trapecinių dantų frikcinį elementų (7) ir tarpusavyje sujungiami velenu (1), ant kurio sumontuojama kūginė spyruoklė (4) ir daugiasluoksnis pjezoelektrinis keitiklis (3), kurie tarpusavyje sutvirtinami veržle (2) taip suformuojant sukamojo judesio pavara.

25

Pjezoelektrinės pavaros veikimo aprašymas: Disko formos rotorių (5) sukamasis judesys sužadinamas kai iš signalų generatoriaus (12) į pjezoelektrinių žiedų (10) pirmą ir antrą elektrodų grupes (14,15) atitinkamai paduodami pjūklo formos elektriniai signalai, kurių fazių skirtumas yra π , o jų dažnis yra lygus arba artimas tampraus žiedo (9) lenkimo virpesių savajam dažniui. Pirmajame virpesių žadinimo etape tolygiai didėjant signalų amplitudžių reikšmėms sužadinami pjezoelektriniai žiedai (10), o kartu ir tampraus žiedo (9) lenkimo deformacijos, ko pasėkoje tolygiai lenkiasi trapeciniai dantys (8), o frikciniai elementai (7)

30

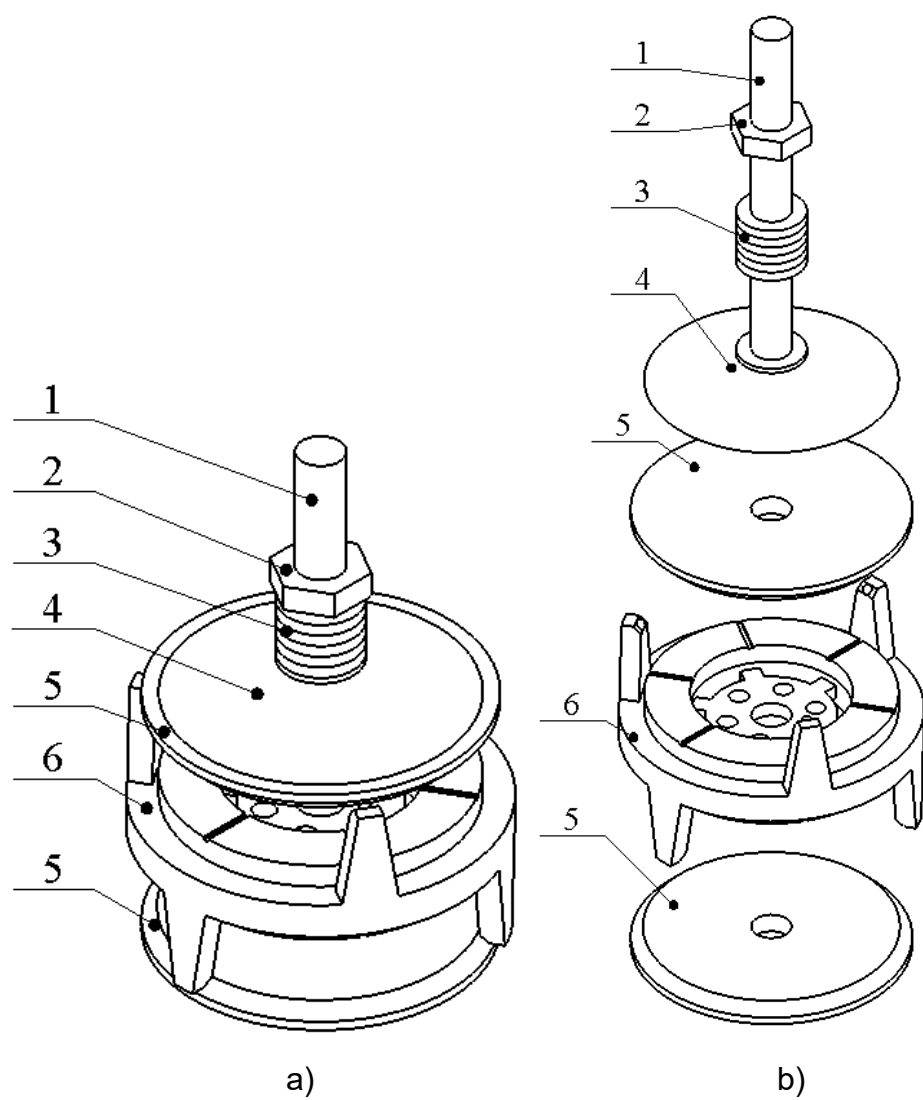
pradedą judėti tampraus žiedo (9) tangentine kryptimi ir dėl statinės trinties jėgos tarp frikcinių elementų (7) ir rotorų (5) sukuria kampinį rotorų (5) ir veleno (1) poslinkį.

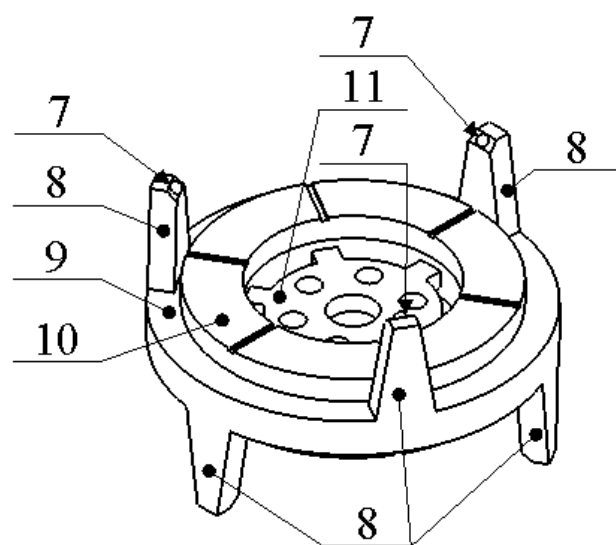
Elektriniams signalams pasiekus maksimalias reikšmes, prasideda antrasis etapas, kai per trumpą laiką elektrinių signalų reikšmės greitai mažėja, taip sukurdamos pjezoelektrinių žiedų (10) ir tampraus žiedo (9) deformacijas, kintančias didesniu greičiu nei pirmame etape. Trapeciniai dantys (8) šiame etape juda priešinga kryptimi, tačiau didesniu greičiu nei pirmojo etapo metu, todėl dinaminės trinties jėga tarp disko formos rotorų (5) bei frikcinių elementų (7) tampa mažesnė ir frikciniai elementai (7) slysta rotorų (5) paviršiais, o veleno (1) sukamieji judesiai nesukuriami. Kartojant šiuos etapus periodiškai, sukuriamas tolygus rotorų (5) ir veleno (1) sukimasis. Priešingos krypties sukamasis judesys gaunamas kai elektrinių signalų fazės pakeičiamos į priešingas. Paveikiant daugiasluoksnį pjezoelektrinį keitiklį (3) iš signalų generatoriaus (12) tiekiamu nuolatinės įtampos teigiamu arba neigiamu elektriniu signalu, sukuriamas keitiklio (3) išilginis pailgėjimas arba sutrumpėjimas ko pasėkoje keičiamas kūginės spyruoklės (4) suspaudimas, o tuo pačiu keičiamas trinties jėgos dydis tarp disko formos rotorų (5) ir frikcinių elementų (7). Synchronizuojant daugiasluoksnio pjezoelektrinio keitiklio (3) išilgines deformacijas bei kūginės spyruoklės (4) suspaudimą su statoriaus (6) žadinimo signalais, sukuriamą kintamo dydžio trinties jėga tarp disko formos rotorų (5) ir frikcinių elementų (7). Tokiu būdu pirmame statoriaus deformacijų etape trinties jėga didinama, o antrame mažinama, užtikrinant didesnį praslydimą tarp kontaktuojančių paviršių. Tokia valdoma trinties jėga leidžia pasiekti didesnį rotorų (5) sukimosi greitį ir momentą.

APIBRĖŽTIS

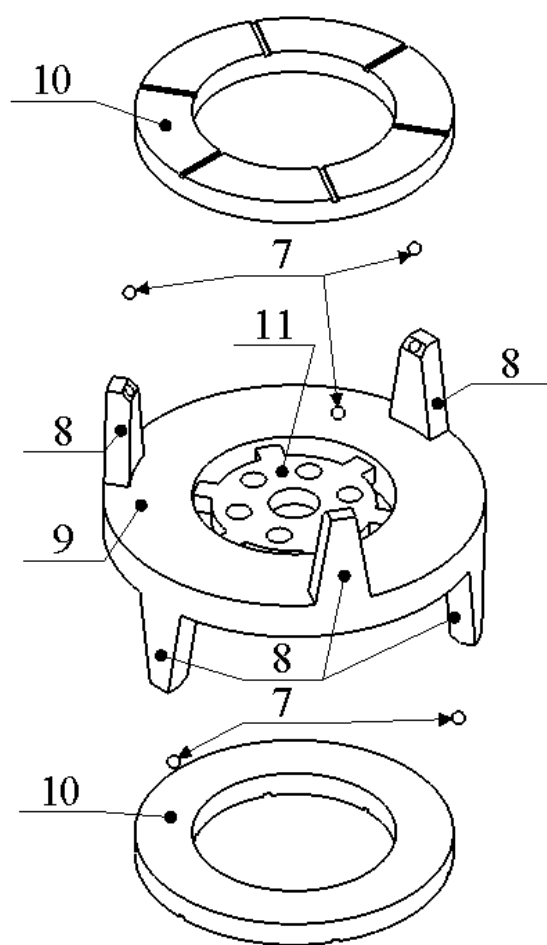
- 5 **1.** Pjezoelektrinė sukamojo judesio pavara apimanti statorių (6) sudarytą iš tampraus žiedo (9), trapecinių dantų (8), frikcinių elementų (7) sumontuotų ant trapecinių dantų (8) viršutinio paviršiaus, pjezoelektrinių žiedų (10), įtvirtinimo disko (11), disko formos rotorių (5), kūginės spyruoklės (4) ir daugiasluoksnio pjezoelektrinio keitiklio (3) ir veleno (1) **b e s i s k i r i a n t i** tuo, kad trapecinių dantų (8) ir tampraus žiedo (9) geometriniai matmenys parinkti taip, kad trapecinių dantų (8) lenkimo virpesių pirmos modos rezonansinis dažnis sutaptų su tampraus žiedo lenkimo virpesių rezonansiniu dažniu.
- 10 **2.** Pavara pagal 1 punktą, **b e s i s k i r i a n t i** tuo, kad trapecinių dantų (8), montavimo vieta ant viršutinio ir apatinio tampraus žiedo (9) paviršių sutampa su tampraus žiedo (9) lenkimo virpesių mazginėmis zonomis.
- 15 **3.** Pavara pagal 1 punktą, **b e s i s k i r i a n t i** tuo, kad įtvirtinimo diskas (11) sujungtas su tampriu žiedu (9) taip, kad sujungimo vietos sutampa su tampraus žiedo (9) lenkimo virpesių mazginėmis zonomis.
- 4.** Pavara pagal 1 punktą, **b e s i s k i r i a n t i** tuo, kad rotorių (5) prispaudimo jėga keičiama paveikiant daugiasluoksnį pjezoelektrinį keitiklį (3) teigiamu arba neigiamu nuolatinės įtampos elektriniu signalu.
- 20 **5.** Pavara pagal 1 punktą, **b e s i s k i r i a n t i** tuo, kad sinchronizuojant daugiasluoksnio pjezoelektrinio keitiklio (3) išilginius poslinkius su tampriame žiede (9) žadinamais virpesiais, sumažinama frikcinių elementų (7) slydimo įtaka disko formos rotorių (5) ir veleno (1) kampinei pozicijai.

BRÉŽINIAI



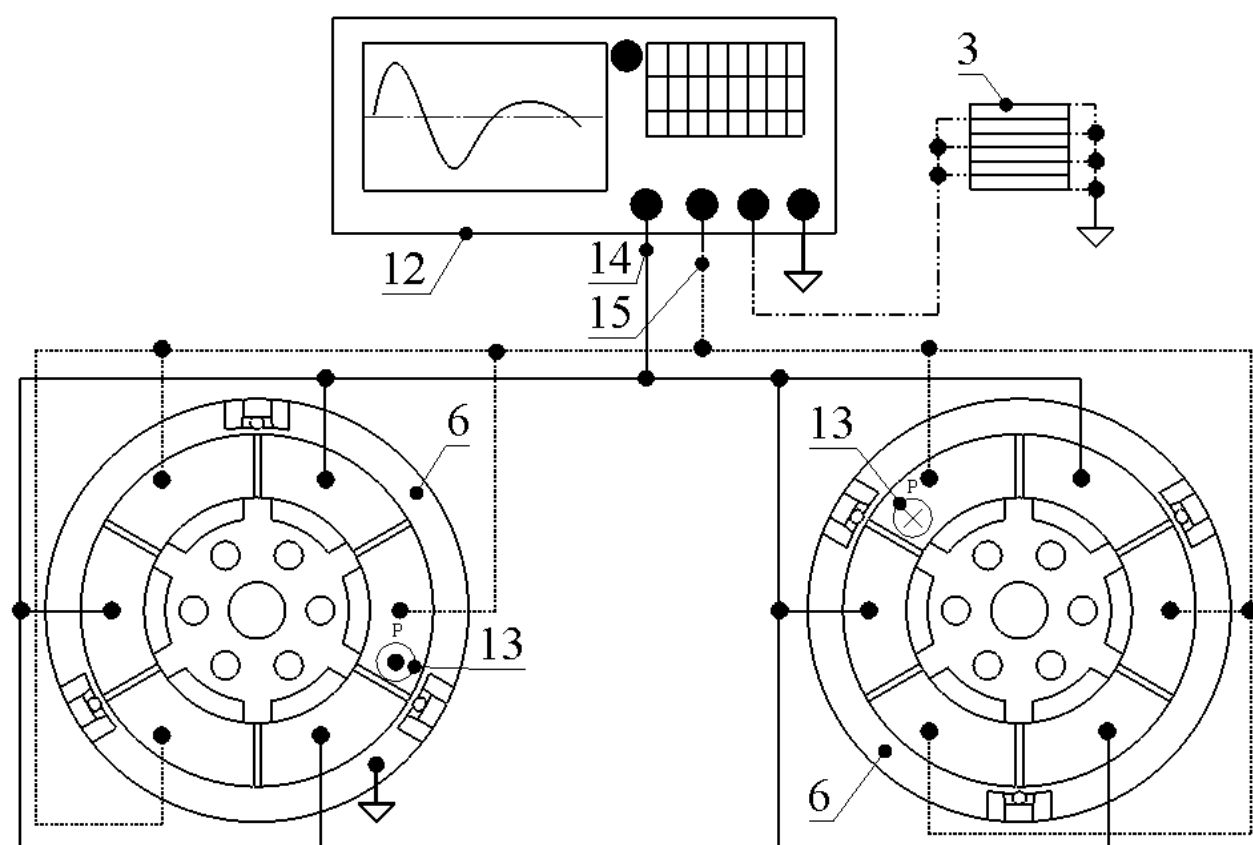


a)

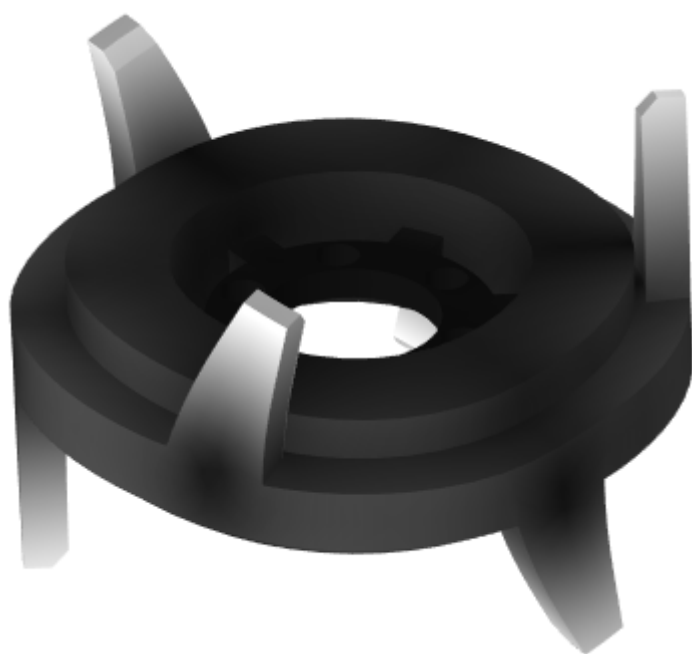


b)

2 pav.



3 pav.



4 pav.