

- (11) Patento numeris: **6807** (51) Int. Cl. (2021.01): **H02N 2/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2020 028**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2020-07-21**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2021-01-25**
- (45) Patento paskelbimo data: **2021-03-10**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (72) Išradėjas:
Dalius MAŽEIKAS, LT
Andrius ČEPONIS, LT
- (73) Patento savininkas:
Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
—

- (54) Pavadinimas:
Pjezoelektrinė sukamojo judesio pavara ir jos tvirtinimo būdas

- (57) Referatas:

Išradimas skirtas sukurti mažų gabaritų, pjezoelektrinę pavara, sukuriančią sukamąjį rotoriaus judesį bei tinkamą montuoti kartu su elektronikos komponentais spausdintinėje plokštėje (angl. printed circuit board - PCB) ar įrenginiuose, kuriuose pavara montuoti skirtas turis yra ribotas. Pjezoelektrinė pavara sudaryta iš tampriai tarpusavyje sujungtų trijų metalinių stačiakampių plokštelių (5), kurių išilginės simetrijos ašys sudaro 120° kampą, o plokštelių (5) išilginės simetrijos ašyje ir sujungimo vietose padarytos pailgos išpjovos (15, 16), sumažinančios konstrukcijos struktūrinį standumą ir leidžiančios padidinti sukimo virpesių amplitudes. Ant kiekvienos metalinės plokštelės (5) viršutinio ir apatinio plokščio paviršiaus priklijuotos keturios pjezokeramikos plokštelės (7), poliarizuotos storio kryptimi. Plokštelių (5) susijungimo centre yra padaryta apskritimo formos kiaurymė (17), kurios paviršius veikia kaip kontakto zona (20), o prie kiaurymės (17) viršutinio ir apatinio paviršiaus spyruoklė (1) prispaustas dvipusis rotorius (2, 3). Laisvuosiuose plokštelių (5) galuose sukonstruotos „T“ - formos strypinės pakabos. Pakabose strypų (11) profiliai modifikuoti cilindrinėmis išpjovomis, sumažinančiomis strypų standumą ir pjezoelektriškos pavaros mechaninių virpesių slopinimą, atsirandantį dėl pavaros standaus tvirtinimo prie korpuso (4). Pjezoelektrinė pavara žadinama trimis harmoniniais signalais (13), kurių fazių skirtumas (2/3)·π. Rotoriaus (2, 3) sukimosi kryptis keičiama keičiant dviejų signalų fazes per (2/3)·π.

IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priskiriamas elektro-mechaninių ir mechatroninių sistemų sritims. Tai mažatūrė sukamojo judesio pavara, tinkama montuoti kartu su elektronikos komponentais vienoje spausdintinėje plokštėje (PCB) ir gali būti taikoma tiksliose pozicionavimo ir nukreipimo sistemose, tokiose kaip optinių lęšių, filtrų pozicionavimo ar lazerio spindulio nukreipimo sistemose.

TECHNIKOS LYGIS

Klasikinių elektromagnetinių pavarų taikymas, elektronikos ar mechatronikos sistemose pasižyminčiose dideliu elektronikos komponentų tankiu ir mažu bendru sistemos tūriu, sukuria nepageidaujamą elektromagnetinių laukų poveikį jautrioms elektronikos sistemoms, mažina elektronikos sistemų patikimumą, todėl reikia spręsti elektromagnetinės taršos poveikio problemas. Taip pat, dėl technologinių ir konstrukcinių elektromagnetinių pavarų ypatumų, bendras mechatroninės sistemos tūris negali būti lengvai mažinamas, nors elektronikos komponentai gali būti lengvai sutankinami. Taigi, pavaros taikymo išplėtimas apribotas bendru sistemos užimamu tūriu, kuris yra įtakojamas elektromagnetinių pavarų trūkumais. Viena iš mokslinių tyrimų krypčių yra sumažinti elektronikos ar mechatronikos sistemų tūrį ir minimizuoti elektromagnetinės taršos įtaką didelio tankumo elektronikos sistemose kuriant naujo tipo mažatūres, pjezoelektrines pavaras, kuriose sukamasis judesys sukuriamas ne elektromagnetinių laukų, o statoriaus aukšto dažnio mechaninių virpesių pagalba. Dabartiniu metu sparčiai besivystant elektronikos ir mechatronikos sistemoms, tokio tipo pjezoelektrinių pavarų kūrimui skiriamas ypatingas dėmesys.

Patentinėje paraiškoje JPH11235060A / patente JP3142811B2 (paskelbtoje 1999 metais) aprašyta pjezoelektrinė sukamojo judesio pavara, sudaryta iš trijų „L“-formos gėmbių junginio su netaisyklingu skerspjuviu. Trys „L“-formos gėmbės yra tarpiai tarpusavyje sujungtos trumposiomis savo dalimis, taip sudarydamos neišardomą statoriaus konstrukciją. Pjezoelektrinės plokštelės, skirtos žadinti gėmbių lenkimo virpesius, yra sumontuotos apačioje kiekvienos „L“-formos gėmbės. Rotorius yra montuojamas viršutinėje statoriaus dalyje ir į statorių remiasi trejomis kontaktinėmis grupėmis. Rotoriaus prispaudimo jėga kontroliuojama keičiant

nuolatinio magneto, kuris yra sumontuotas apačioje statoriaus, poziciją. Veikiant pjezoelektrines plokšteles harmoniniu signalu, sužadinami sinchroniniai trijų „L“-formos gėmbių lenkimo virpesiai, kurių dėka sukuriamas rotoriaus sukamasis judesys, o keičiant nuolatinio magneto, atsakingo už rotoriaus prispaudimo jėgą, poziciją, gali būti keičiamas sukimosi greitis ir momentas. Kita vertus, nuolatinio magneto taikymas sistemoje nesprendžia techninių problemų, susijusių su magnetinių laukų poveikiu didelio tankio elektronikos sistemoms.

Patente CN105634328B (paskelbtame 2016 metais) aprašyta pjezoelektrinė sukamojo judesio pavana, sudaryta iš dviejų stačiakampių plokštelių ir žiedo, kurie tarpusavyje yra tampriai sujungti. Tarp dviejų stačiakampių plokštelių ašių yra sudarytas 90° kampas. Ant abiejų, stačiakampių plokštelių plokščių paviršių yra pritvirtintos pjezoelektrinės plokštelės, kurios skirtos sužadinti bėgančios bangos tipo mechaninius virpesius žiede. Žiedo centre patalpintas sferinis rotorius, kuris paveiktas bėgančios bangos tipo virpesiais, sukuria sukamąjį judesį. Bėgančios bangos tipo virpesiams statoriuje sužadinti naudojami du harmoniniai elektriniai signalai, kurių fazių skirtumas yra π . Siekiant pakeisti sukamojo judesio kryptį, žadinimo signalų fazės turi būti pakeistos į priešingas. Pavaros tvirtinimas realizuotas nejudamai įtvirtinant stačiakampių plokštelių laisvuosius galus. Toks tvirtinimo būdas slopina pjezoelektrinės pavaros virpesius ir mažina pavaros dinaminę charakteristikų reikšmes. Patente rotoriaus prispaudimo sistema nėra aprašyta, bet galima numanyti, kad rotoriaus prispaudimas realizuojamas panaudojant rotoriaus svorio jėgą. Tokio tipo pavara gali būti montuojama kartu su elektronikos elementais spausdintinėje plokštėje, bet dideli rotoriaus gabaritai didina bendrą sistemos tūrį.

Pjezoelektrinė sukamojo judesio pavana aprašyta patentinėje paraiškoje CN110492785A (paskelbtoje 2019 metais), kuri yra artimiausia technine prasme šiam išradimui. Pjezoelektrinė sukamojo judesio pavana yra sudaryta iš keturių pjezoelektrinių bimorfinių plokštelių, tampriai sujungtų tarpusavyje 90° kampu ir taip suformuoja kryžiaus formos statorių. Kiekviena plokštelės viršutinis ir apatinis paviršiai yra padengti pjezoelektrinėmis plokštelėmis, kurių poliarizacijų kryptys yra priešingos ir kurios skirtos žadinti lenkimo virpesius plokštumoje. Plokštelių sujungimo taške yra suformuota apskritimo formos kontakto zona, kurioje patalpinamas kūgio formos dvipusis rotorius su spyruokline prispaudimo sistema. Lenkimo virpesiai plokštumoje žadinami taikant du harmoninius signalus, kurių fazių

skirtumas yra $\pi/2$. Sukamojo judesio krypties keitimas pasiekiamas keičiant žadinimo signalų fazes į priešingas. Pjezoelektrinės pavarą įtvirtinama nejudamai užfiksuojuant plokštelių laisvuosius galus. Pjezoelektrinės pavaros konstrukcija leidžia ją taikyti sistemose, kuriose ypač svarbus montavimo tūris ar galimybė pavarą montuoti kartu su elektronikos komponentais. Kita vertus, aprašytas pavaros įtvirtinimo būdas, struktūriškai slopina pavarą ir neužtikrina maksimalių pavaros dinaminų charakteristikų. Be to, statoriaus konstrukcinis standumas yra didelis, todėl pavarai sužadinimui reikalinga aukšta įtampa.

IŠRADIMO ESME

Šio išradimo tikslas yra padidinti aukščiau aprašytų plokštelių konstrukcijų pjezoelektrinių pavarų kontakto zonoje generuojamų virpesių amplitudes, pavaros dinamines charakteristikas ir našumą.

Išradimo tikslas pasiekiamas tuo, kad pjezoelektrinėje pvaroje, susidedančioje iš tampraus „Y“-formos (trikampės žvaigždės formos) lenkimo virpesių vykdiklio, žadinamo priklijuotomis prie jo plonomis pjezoelektrinėmis plokštelėmis, kontakto su rotoriumi zonoje generuojami sukamieji virpesiai, kurių amplitudės yra padidinamos išpjovomis išdėstytomis išilgai plokštelės simetrijos ašies, išpjovomis, esančiomis centrinėje vykdiklio dalyje ir „T“-formos strypiniais tvirtinimo elementais, kurie tampriai tvirtinami kiekvienos plokštelės laisvuose galuose, o jų profilis modifikuotas cilindrinėmis išpjovomis, kurios sumažina strypų standumą ir virpesių slopinimą, atsirandantį dėl pavaros standaus tvirtinimo. Pjezoelektrinių elementų elektrodai sujungiami su trijų fazių harmoninių signalų generatoriumi. Varomoji grandis – dvipusis rotorius – yra slystamai prispaustas prie vykdiklio centre esančios kiaurymės viršutinio ir apatinio paviršių.

Pjezoelektrinės pavaros našumas ir rotoriaus sukimosi greitis padidėja, minėtų vykdiklio kiaurymės ir dvipusio rotoriaus kontakto zonoje suformavus kūginį arba sferinį paviršių ir naudojant kūgio arba sferos formos rotorių, nes taip padidinamas kontakto paviršiaus plotas.

Siekiant, kad tamprioje „Y“-formos plokštelėje, kuri veikia kaip vykdiklio pasyvus sluoksnis, būtų sužadintos kuo didesnės rezonansinių virpesių amplitudės, ji yra gaminama iš medžiagos, turinčios aukštą mechaninės kokybės koeficientą, o

išilgai plokštelių simetrijos ašies einančios išpjovos ir centre esančių išpjovų ilgių pora parenkamos taip, kad kontakto zonos virpesių amplitudės būtų didžiausios, o pavaros tvirtinimui naudojami strypų matmenys ir skerspjūvio profilio išpjovos parenkami taip, kad rezonansinis jų lenkimo dažnis sutaptų su vykdiklio lenkimo plokštumoje rezonansiniu dažniu.

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.

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

(a) išskaidytasis pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros vaizdas;

(b) pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros aksonometrinis vaizdas;

Pav. 2 Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros tvirtinimo elementų principinė schema;

Pav. 3 a,b Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros žadinimo schema:

(a) vaizdas iš viršaus;

(b) vaizdas iš apačios.

BRĖŽINIAI – pažymėtų objektų aprašymas

- 1 rotoriaus prispaudimo spyruoklė;
- 2 pirmasis pusiau sferinis rotorius;
- 3 ašis su antruoju pusiau sferiniu rotoriumi;
- 4 pavaros montavimo plokštė (korpusas);
- 5 tampri „Y“-formos plokštelė su išpjovomis (piezoelektrinio vykdiklio pagrindas, statorius);
- 6 pavaros tvirtinimo prie plokštės (korpuso) varžtai;

- 7 plonasieniai stačiakampio formos pjezoelektriniai elementai, poliarizuoti pagal jų storį;
- 8 rotoriaus prispaudimo spyruoklės fiksatorius;
- 9 prispaudimo spyruoklės fiksatoriaus įtvirtinimo varžtai;
- 10 pavaros tvirtinimo prie montavimo plokštės (korpuso) „T“-formos strypinė pakaba;
- 11 „T“-formos pakabos skersinis strypas su cilindrinėmis (arba trapecinėmis, arba stačiakampėmis) išpjovomis;
- 12 „T“-formos pakabos tvirtinimo prie korpuso vieta (varžto fiksavimo kilpa);
- 13 trijų fazių harmoninių signalų generatorius;
- 14 pjezoelektrinis vykdiklis;
- 15 stačiakampės išpjovos, tamprių plokštelių išilginės simetrijos ašyse;
- 16 stačiakampės įpjovos, tamprių plokštelių sujungimo vietose;
- 17 apskritimo formos kiaurymė vykdiklio centre;
- 18 piezoelektrinės plokštelės poliarizacijos kryptis, nukreipta nuo plokštumos;
- 19 piezoelektrinės plokštelės poliarizacijos kryptis, nukreipta į plokštumą;
- 20 kontakto zona tarp piezoelektrinio vykdiklio kiaurymės ir rotoriaus.

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Čia ir toliau pjezoelektrinė sukamojo judesio pvara aprašoma su nuorodomis į brėžinius, tačiau techninis pjezoelektrinės pavaros įgyvendinimas nėra ribojamas pateiktu būdu. Galimos įvairios įgyvendinimo būdo modifikacijos ir tobulinimai.

Pavaros konstrukcija ir veikimo principas. Pjezoelektrinę sukamojo judesio pvarą sudaro vykdiklis (14), sudarytas iš trijų tamprių plokštelių (5), tarpiai sujungtų tarpusavyje 120° kampų, ir plonų pjezoelektrinių plokštelių (7), kurios

poliarizuotos storio kryptimi ir priklijuotos prie tamprių plokštelių (5) viršutinio ir apatinio plokščio paviršiaus taip, kad viršutiniame ir apatiniame paviršiuose esančių pjezoelektrinių plokštelių (7) poliarizacijos kryptys (18, 19) būtų priešingos. Siekiant sumažinti vykdiklio (14) standumą ir padidinti kontakto zonos (20) virpesių amplitudes, kiekvienoje tamprioje plokštelėje (15), išilgai jos simetrijos ašies, suformuotos stačiakampio formos išpjovos (15). Taip pat, papildomos stačiakampės išpjovos (16) yra padarytos tamprių plokštelių sujungimo vietose.

Vykdiklio (14) centre suformuota apvali kiaurymė (17), kurioje talpinamas didesnio nei kiaurymė (17) diametro pirmasis pusiau sferinis rotorius (2) ir ašis su standžiai įtvirtintu tokio pat dydžio antruoju pusiau sferiniu rotoriumi (3). Abiejų rotorių (2) ir (3) sferiniai (ar kūginiai) paviršiai slystamai kontaktuoja su vykdiklio apvalios kiaurymės (17) briaunomis, tuo būdu sudarydami kontakto zoną (20) tarp vykdiklio ir rotoriaus. Pirmasis rotorius (2) ir ašis su antruoju rotoriumi (3) surenkami į vieną sistemą ir prispaudžiami prie kiaurymės (17) briaunų spyruokle (1), užmauta ant ašies (3) ir užfiksuota fiksatoriumi (8), kurio padėtis ant ašies užfiksuojama fiksatoriaus tvirtinimo varžtais (9), kurie tampriai prispaudžiamas prie ašies ir dėl trinties jėgos tarp ašies ir varžto užfiksuoja fiksatoriaus (8) padėtį ant ašies. Rotoriaus pusių (2) ir (3) prispaudimo jėga gali būti keičiama, keičiant prispaudimo spyruoklės (1) fiksatoriaus (8) ašinę padėtį.

Pjezoelektrinė pavara standžiai tvirtinama korpuse (4) tvirtinimo varžtais (6) panaudojant „T“-formos strypinės pakabos konstrukciją, kurią sudaro skersinis strypas (11), kurio galai užbaigiami žiedais (12), skirtais fiksavimo varžtams (6) įstatyti, o minėto skersinio strypo (11) skerspjuvis modifikuotas cilindrinėmis išpjovomis siekiant sumažinti vykdiklio (14) virpesių slopinimą tvirtinant jį korpuse (4), ir skersiniam strypui (11) statmenas jungiantysis strypas (10), kuris skirtas sujungti vykdiklį (14) su strypu (11). Praktiškai, pavaros dalys (5, 10, 11, 12) gali būti gaminamos iš vientisos tamprios medžiagos, pavyzdžiui, plieno arba bronzos. Siekiant gauti maksimalias kontaktinės zonos (20) virpesių amplitudes, gali būti keičiami išpjovų (15, 16) ilgiai ir pločiai, o tvirtinimo strypų su modifikuotais skerspjuviais (11) ilgiai ir išpjovų matmenys yra parenkami taip, kad vykdiklio (14) virpesių rezonansinis dažnis jo lenkimo plokštumoje sutaptų su minėtų „T“-formos strypinių pakabų skersinių strypų (11) lyginiu kartotiniu rezonansiniu lenkimo virpesių dažniu, to rezultate sumažėja vykdiklio žadinančių virpesių slopinimas ir

minimizuojama tvirtinimo elementų įtaka pavaros dinaminėms ir elektrinėms charakteristikoms.

Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros veikimas. Pjezoelektrinė pavara žadinama, prie pjezoelektrinių elementų (7) elektrodų iš daugiafazio harmoninio signalų generatoriaus (13) prijungus aukšto dažnio trijų fazių elektrinį signalą su fazinėmis dedamosiomis $U \cdot \sin(\omega \cdot t)$, $U \cdot \sin(\omega t + (2/3) \cdot \pi)$, $U \cdot \sin(\omega \cdot t + (4/3) \cdot \pi)$, kurių dažnis ω yra lygus tamprios plokštelės (5) lenkimo formos plokštumoje rezonansiniam dažniui. Pjezoelektriniame vykdyklyje (14) žadinami plokštelių (5) mechaniniai lenkimo plokštumoje virpesiai suformuoja sukamuosius kiaurymės (17) ir tuo pačiu - kontaktinės zonos (20) judesius, kurie perduodami dvipusiam rotorui (2, 3). Sukamasis rotoriaus (2, 3) judesys formuojamas dėl trinties jėgos tarp rotoriaus paviršiaus ir vykdyklio (14) kontaktinėje zonoje (20), kurios žiedinio paviršiaus visi taškai juda elipsinėmis trajektorijomis.

Norint pakeisti rotoriaus (2, 3) sukimosi kryptį, į dviejų vykdyklio plokštelėse (5) priklijuotų pjezoelektrinių elementų (7) elektrodus paduodamų skirtingų fazių elektriniai signalai sukeičiami vietomis, pavyzdžiui, į $U \cdot \sin(\omega \cdot t)$ fazės įtampai numatytą elektrodą - tiekama $U \cdot \sin(\omega \cdot t + (2/3) \cdot \pi)$ fazės įtampa, o į $U \cdot \sin(\omega \cdot t + (2/3) \cdot \pi)$ fazės įtampai numatytą elektrodą - tiekama $U \cdot \sin(\omega \cdot t)$ fazės įtampa.

APIBRĖŽTIS

1. Pjezoelektrinė sukamojo judesio pavana, apimanti

- statorių iš trijų tarpusavyje tampriai sujungtų plokštelių (5), kurių išilginės simetrijos ašys tarpusavyje sudaro 120° kampus, o statoriaus plokštelių (5) sujungimo centre suformuota apskritimo formos kiaurymė (17) su kontakto zona (20),
- kontakto zonoje (20) slystamai prispaustą dvipusį pusiau sferinį ar kūginį rotorių (2, 3) su spyruokline prispaudimo sistema (1, 8, 9), ir
- prie plokštelių (5) plokščios dalies viršutinio ir apatinio paviršiaus priklijuotus pjezoelektrinius žadinimo elementus (7),

b e s i s k i r i a n t i tuo, kad rotoriaus (2, 3) sukimosi greičiui padidinti sumažinant pavaros standumą,

- kiekviena plokštelė (5) išilginės simetrijos ašyje turi stačiakampio formos išpjovą (15),
- plokštelių (5) sujungimo vietos ties rotoriaus (2, 3) ir statoriaus kontakto zona (20) turi įpjovas (16).

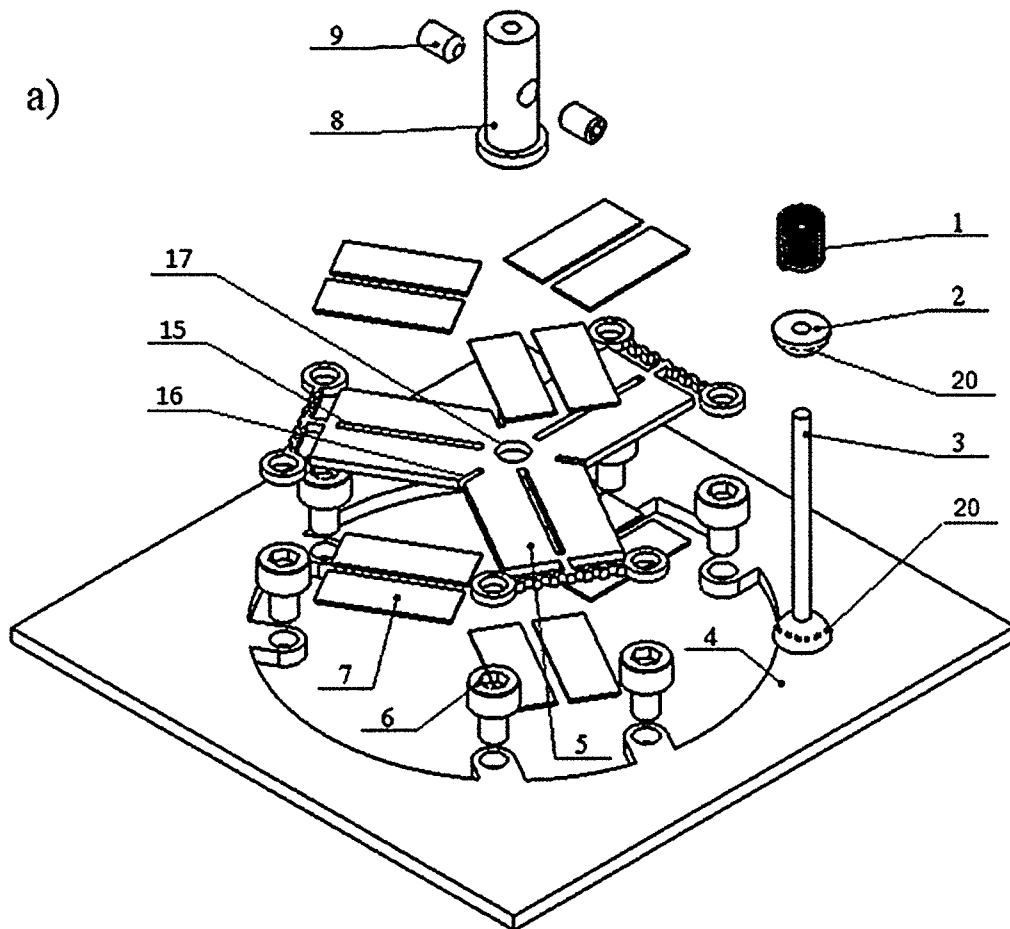
2. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad pjezoelektrinę pavara tvirtinti prie korpuso (4) naudojamos „T“-formos strypinės pakabos (10), kiekviena pakaba turi skersinį strypą (11), kurio išilginis profilis modifikuotas cilindrinėmis, trapecinėmis ar stačiakampėmis išpjovomis, o skersinio strypo (11) galai (12) yra standžiai įtvirtinti korpuse (4).

3. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad „T“-formos pakabose skersinių strypų (11) ilgis parenkamas toks, kad minėtų strypų (11) lenkimo virpesių lyginis rezonansinis dažnis sutaptų su vykdiklio (14) virpesių rezonansiniu dažniu jo lenkimo plokštumoje.

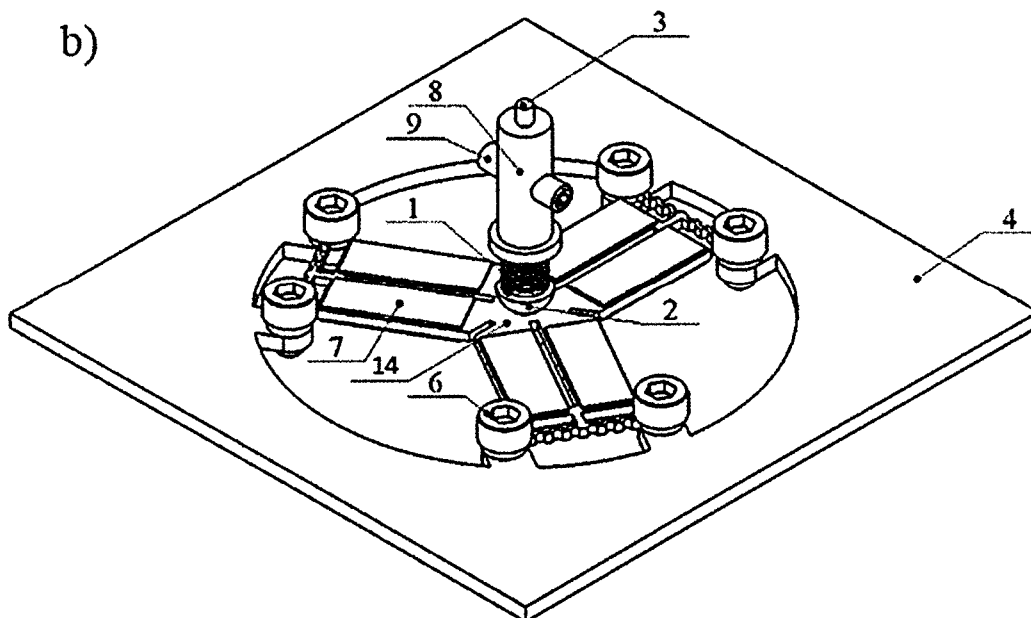
4. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad tamprų plokštelių (5) išilginėse simetrijos ašyse einančios išpjovų (15) ir tamprų plokštelių (5) sujungimo vietose esančių įpjovų (16) ilgių pora parenkama taip, kad vykdiklio ir rotoriaus kontakto zonos (20) sukamųjų virpesių amplitudė būtų didžiausia.

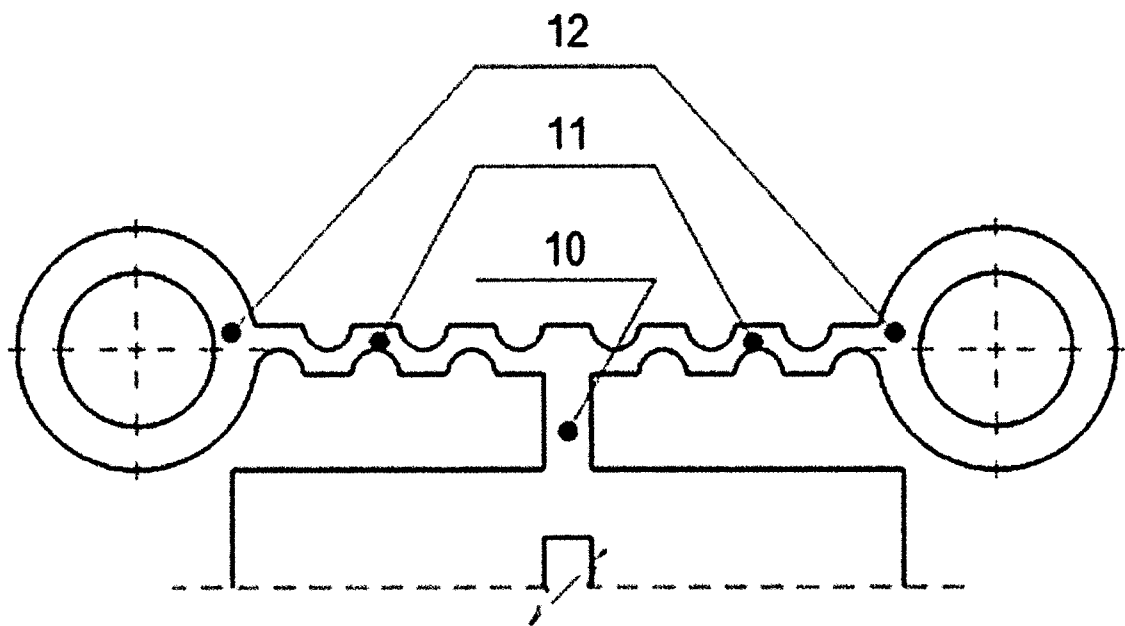
5. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad rotoriaus (2, 3) sukimą žadinti naudojamas trijų fazių elektrinį signalas su fazinėmis dedamosiomis $U \cdot \sin(\omega \cdot t)$, $U \cdot \sin(\omega t + (2/3) \cdot \pi)$ ir $U \cdot \sin(\omega \cdot t + (4/3) \cdot \pi)$, kurių dažnis ω lygus tamprios plokštelės (5) lenkimo formos plokštumoje rezonansiniam dažniui, o rotoriaus (2, 3) sukimo kryptis keičiama pakeitus dviejų signalų fazes per $(2/3) \cdot \pi$.

a)

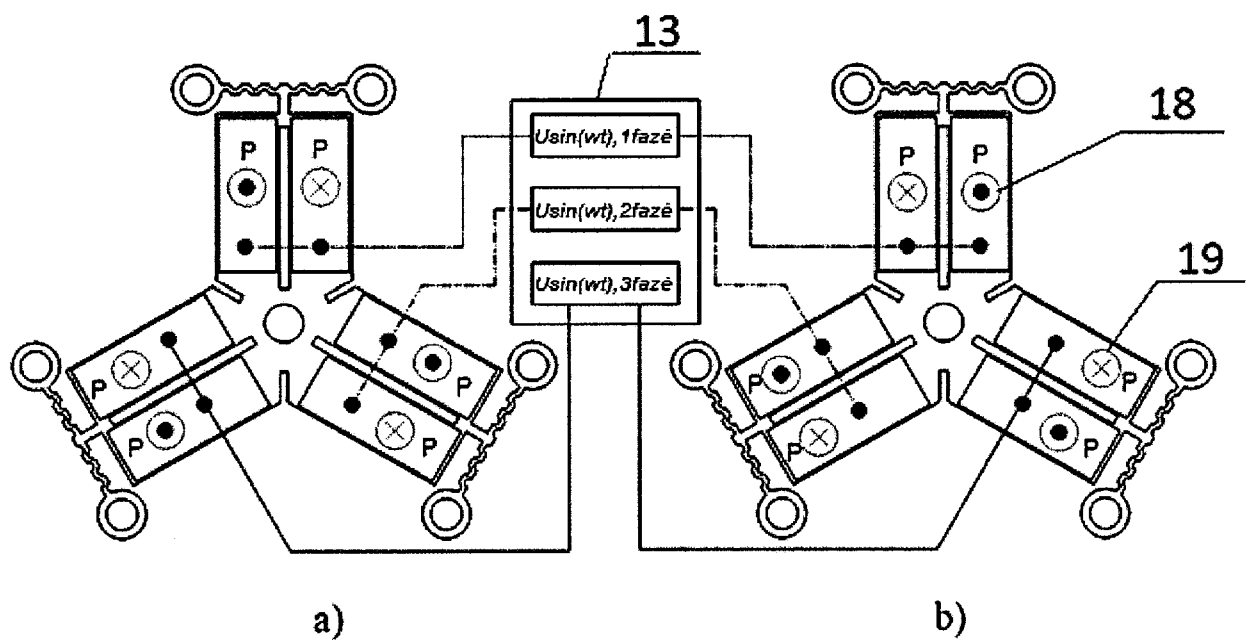


b)





2 pav.



3 pav.