

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

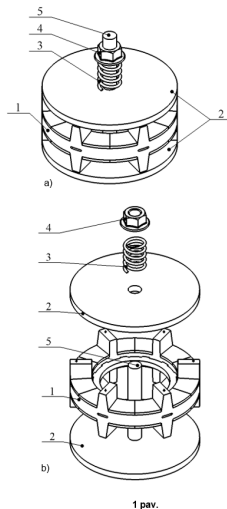
(21) Paraiškos numeris: **2024 012**
(22) Paraiškos padavimo data: **2024-04-11**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2024-11-11**
(45) Patento paskelbimo data: **2024-12-10**

(73) Patento savininkas:
Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT
Vytauto Didžiojo universitetas, K. Donelaičio g. 58, 44248 Kaunas, LT
(72) Išradėjas:
Piotr VASILJEV, LT
Dalius MAŽEIKA, LT
Andrius ČEPONIS, LT
Sergejus BORODINAS, LT
Regimantas BAREIKIS, LT
Arūnas STRUCKAS, LT

(54) Pavadinimas:
Didelės galios pjezoelektrinė sukamoji pvara

(57) Referatas:

Išradimas skirtas sukurti didelės galios pjezoelektrinę pavarą, leidžiančią pasiekti didelį sukimo momentą, greitį bei veikimo stabilumą esant didelėms apkrovoms. Pjezoelektrinė pvara susideda iš tampraus žiedo formos statoriaus (6), kuriame abipus žiedo išdėstyti trapeciniai dantys (7), kurių horizontalioje simetrijos ašyje suformuotos įpjovos (8), o tarp dantų (7) išdėstyti pjezoelektriniai elementai (9). Prie viršutinių ir apatinių dvipusių trapecinių dantų (7) paspyruokliuotai per standžius frikcinius elementus (10) prispausti disko formos rotoriai (2), kurie sukami paveikiant pjezoelektrinius elementus (9) vienu ar dviem elektriniais harmoniniais signalais, kurių dažnis suderintas su tampraus žiedo (6) išilginių virpesių rezonansiniu dažniu. Žadinant pavarą dviem harmoniniais signalais, jų fazių skirtumas turi būti $\pi/2$. Žadinant vienu elektriniu signalu, veikiama tik viena iš pjezoelektrinių elementų grupių (18, 19), o kita paliekama pasyvia. Pakeitus harmoninius signalus į pjūklo ar stačiakampio formos signalą, o pjezoelektrinių paketų grupes (18, 19) apjungus į bendrą grupę gaunamas inercinis pavaros veikimo principas.



IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priskiriamas elektro-mechaninių, mechatroninių sistemų ir robototeknikos sritims. Pavaros konstrukcija, jos sudarymo ir veikimo principas gali būti taikomi kuriant aukšto tikslumo ir didelės galios sukamojo judesio sistemas, tokias kaip giroskopinės ar erdvinio pozicionavimo sistemas, skirtas valdyti objektų poziciją erdvėje ar plokštumoje. Giroskopinės ir kitos pozicionavimo sistemos, sukurtos naudojant šias pavaras, taikytinos mažųjų žemės palydovų ar kitų objektų erdvinės ar plokštuminės pozicijos valdymui, nustatymui ir derinimui nenutrūkstamame cikle.

TECHNIKOS LYGIS

Mažieji žemės palydovai vis plačiau taikomi komunikacijos, ryšių ir kitų tyrimų srityse, todėl iškyla poreikis ypač tiksliai valdyti, derinti ir palaikyti šių objektų erdvinę ar plokštuminę poziciją. Šiam tikslui pasiekti naudojamos aukšto patikimumo, tikslumo ir didelės galios pavaros bei vykdikliai, kuriems, atsižvelgiant į jų taikymo sritį, keliami griežti masės ir montavimo tūrio reikalavimai. Siekiant įvykdyti šiuos reikalavimus, vis plačiau naudojamos pjezoelektrinės pavaros ir varikliai. Šiuo metu yra žinomi keli techniniai sprendimai ir patentai, kuriuose siūlomos ir sprendžiamos šios techninės problemos.

Patente EP0449048A1 aprašoma pjezoelektrinė sukamojo judesio pavara, pagrįsta daugiasluoksniais pjezoelektriniais keitikliais. Pavaros konstrukciją sudaro daugiasluoksniai pjezoelektriniai keitikliai, kurie tolygiai paskirstyti aplink banguotą rotorių. Keitiklių laisvuosiuose galuose sumontuoti cilindriniai antgaliai arba cilindriniai riedėjimo elementai, kurie per trintį prispausti prie banguoto rotoriaus. Siekiant gauti sukamąjį rotoriaus judesį, pjezoelektriniai daugiasluoksniai keitikliai paveikiami žadinimo įtampa ko pasėkoje sukuriama išilginiai keitiklių poslinkiai, kurie per keitiklių antgalius ir netolygų rotorių paverčiami radialine jėga, kuri veikia rotorių ir sukuria sukamąjį rotoriaus judesį. Pavara žadinama nuolatine įtampa, kuri laiko intervalais, apibrėžtais rotoriaus banguotumu, paduodama į pjezoelektrinius keitikius. Reversinis pavaros judesys gali būti gaunamas keičiant pjezoelektrinių daugiasluoksnių keitiklių žadinimo eiliškumą.

JAV patente US5955820A aprašoma pjezoelektrinė žiedo formos sukamoji pavara. Pavaros konstrukciją sudaro pjezoelektrinis žiedas, ant kurio viršutinės ir apatinės plokštumų pritvirtinti tamprios kryžiaus formos asimetrinės, pakilusios nuo

žiedo plokštumos, konstrukcijos. Apatinė, asimetrinės konstrukcijos, dalis įtvirtinama nejudamai, o prie viršutinės konstrukcijos dalies, per trinties jėgą, prispaustas rotorius. Pavaros veikimas pagrįstas radialinės pjezoelektrinio žiedo virpesių modos žadinamos harmoniniu elektriniu signalu, kuris paduodamas į viršutinį ir apatinį pjezoelektrinio žiedo elektrodus. Žadinant radialinę pjezoelektrinio žiedo virpesių modą, sukuriama radialiniai visos konstrukcijos virpesiai, kurie dėka asimetrinių konstrukcijų ir pavaros įtvirtinimo būdo sukuria asimetrinės konstrukcijos radialinius, lenkimo ir išilginius virpesius, kurie statoriaus ir rotoriaus kontakto zonoje sukuria elipsės formos judesio trajektoriją, todėl kontakto metu per trinties jėgą sukuriama rotoriaus sukamasis judesys.

Patente US6628045B2 aprašoma pjezoelektrinė žiedo formos sukamoji pvara. Pavarą sudaro tamprus žiedas, ant kurio iš vienos pusės suformuojami stačiakampiai dantys, prie kurių viršūnių per trinties jėgą prispaudžiamas disko formos rotorius, o iš kitos tampraus žiedo pusės montuojamas pjezoelektrinis žiedas, kurio elektrodas padalijamas į lygias dalis. Pavaros veikimas pagrįstas bėgančios bangos žadinimu žiede naudojant lenkimo virpesius, kurie žadinami dviem harmoniniais signalais, kurių fazių skirtumas yra $\pi/2$. Sužadinus žiede bėgančios bangos virpesius, dantų viršūnėse susiformuoja elipsės formos judesio trajektorijos, kurios per trinties jėgą sukuria sukamąjį rotoriaus judesį. Dantų geometriniai parametrai parenkami taip, kad jie padidintų žiedo lenkimo virpesių amplitudes ir užtikrintų didesnį rotoriaus sukimosi greitį bei sukimo momentą. Dantų aukštis tiesiogiai proporcingas sukuriamam pavaros sukimo greičiui, tačiau apkraunant pavarą didesne jėga, statoriaus dantys pradeda klupti ko pasekoje sumažėja pavaros sukimosi greitis ir momentas, didėja kontakto zonos dėvėjimasis ir mažinamas pavaros patikimumas.

IŠRADIMO ESMĖ

Šio išradimo esmė ir tikslas yra padidinti pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros sukimo momentą, greitį, veikimo stabilumą, patikimumą ir išplėsti funkcines galimybes.

Išradimo tikslas pasiekiamas tuo, kad pjezoelektrinėje žiedo formos sukamojo judesio pvaroje ant tampraus žiedo viršutinio ir apatinio paviršiaus išdėstomi trapeciniai dantys taip suformuojant dvipusį trapecinį dantį, o jų vieta ant tampraus

žiedo parenkama taip, kad sutaptų su žiedo formos statoriuje žadinamų išilginių virpesių pūpsniais, o atstumas tarp dantų simetrijos ašių būtų lygus išilginių virpesių bangos ilgiui. Pjezoelektriniai elementai neišardomai montuojami tarp trapecinių dantų ant viršutinio ir apatinio žiedo paviršių taip, kad toje pačioje plokštumoje šalia esančių elementų poliarizacijos kryptys būtų priešingos ir nukreiptos išilgai elementų storio. Viršutiniame ir apatiniame žiedo paviršiuje esantys pjezoelektriniai elementai turi priešingas poliarizacijos kryptis.

Pavaros sukimo momentas padidinamas dėl statoriaus žiede žadinamų išilginių rezonansinių virpesių, kurie užtikrina elektros energijos keitimą į mechaninę energiją bei stabilų veikimą esant didelėms variklio apkrovoms ir dėl dvipusio disko formos rotoriaus, ant kurio kontaktinio paviršiaus nejudamai pritvirtinamas žiedas, pagamintas iš trinčiai atsparios didelio standumo medžiagos, pavyzdžiui Al_2O_3 . Rotoriaus sukimosi greitis didinamas dėl įpjovos, kuri suformuojama dvipusiuose trapecijos formos dantyse. Įpjovos ilgis turi būti ne didesnis negu $2/3$ pačio danties pločio dėl ko padidinamos trapecinių dantų viršūnių virpesių amplitudės bei sumažinamas bendras pavaros aukštis.

Pavaros veikimo stabilumas didinamas naudojant trapecijos formos dantis, kurių ilgasis pagrindas patalpinamas ant tampraus žiedo, ko pasėkoje sumažinamas jų klupdymas esant didelėms ašinėms apkrovoms. Funkcinės pavaros galimybės praplečiamos taikant skirtingas atskirų pjezoelektrinių elementų ar jų grupių žadinimo schemas ir būdus.

BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

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

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

(a) – izometrinis pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros vaizdas;

(b) – išskleistinis pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros vaizdas;

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

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

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

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

(a) – vaizdas iš viršaus;

(b) – vaizdas iš apačios;

Pav. 4 Dvipusių trapecinių dantų pasiskirstymo schema;

Pav. 5 Sukamojo judesio pavaros virpesių modos:

BRĖŽINIAI – pažymėtų objektų aprašymas

1 – pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros statorius;

2 – disko formos rotorius;

3 – prispaudimo spyruoklė;

4 – veržlė;

5 – velenas;

6 – tamprus žiedas;

7 – dvipusis trapecinis dantis;

8 – įpjova;

9 – pjezoelektrinis elementas;

10 – standus frikcinis kontaktinis elementas;

11 – statoriaus įtvirtinimo žiedas;

12 – slankiklis;

13 – pjezoelektrinės slenkamojo judesio pavaros statorius;

14 – tamprus kvadrato formos strypas;

15 – signalų generatorius;

16 – signalų komutacijos įrenginys;

17 – pjezoelektrinių elementų poliarizacijos kryptis;

18 – pirma pjezoelektrinių elementų grupė;

19 – antra pjezoelektrinių elementų grupė;

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

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

Detalus aprašymas. Pjezoelektrinę sukamojo judesio pavarą sudaro tamprus žiedo formos statorius (1), kuriame radiališkai išsidėstę dvipusiai trapeciniai dantys (7), tarpusavyje sujungti neišardomai taip suformuojant bendrą žiedo formos statoriaus (1) konstrukciją, ir paspyruokliuotai prispausti du disko formos rotoriai (2). Kiekvieno dvipusio trapecinio danties (7) horizontalioje simetrijos ašyje suformuojama įpjova (8), kuri leidžia sumažinti dvipusių trapecinių dantų (7) aukštį. Standūs frikciniai kontaktiniai elementai (10) patalpinami ant viršutinių ir apatinių dvipusių trapecinių dantų (7) plokštumų. Frikciniai elementai (10) tiesiogiai kontaktuoja su dviem disko formos rotoriais (2), kurie sujungti su pavaros vėliu (5). Rotoriaus prispaudimo jėga keičiama per prispaudimo spyruoklę (3), keičiant veržlės (4) vertikalią poziciją ant vėlio (5). Pavaros statoriaus (1) tampraus žiedo (6) vidutinis skersmuo parenkamas taip, kad tenkintų sąlygą $D = nC/\pi f$ (čia D – vidutinis tampraus žiedo skersmuo; n – sveikasis skaičius; C – žiedo išilginių virpesių bangos sklaidimo greitis; f – pavaros rezonansinis dažnis). Dvipusiai trapeciniai dantys (7) patalpinami žiedo (6) išilginių virpesių pūpsniuose, o jų aukštis kartu su žiedo aukščiu (6) parenkamas taip, kad būtų lygus arba artimas lenkimo virpesių pusės bangos ilgiui. Dvipusių trapecinių dantų (7) horizontalioje simetrijos ašyje formuota įpjova (8), kurios ilgis parenkamas taip, kad neviršytų $2/3$ bendro danties pločio. Viršutiniame ir apatiniame pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros statoriaus žiedo (6) paviršiuose, tarp dvipusių trapecinių dantų (7) montuojami pjezoelektriniai elementai (9), kurių šalia esančių elementų poliarizacijos kryptys yra priešingos ir nukreiptos išilgai elementų storio. Viršutiniame ir apatiniame žiedo paviršiuje esantys pjezoelektriniai elementai (9) turi priešingas poliarizacijos kryptis. Pjezoelektrinės sukamojo judesio pavaros įtvirtinimas realizuojamas naudojant statoriaus įtvirtinimo žiedą (11), kuris neišardomai sujungiamas su statoriumi (1) išilginių virpesių mazginėse zonose, o pats įtvirtinimo

žiedas (11) standžiai sujungiamas su kitomis konstrukcinėmis pavaros dalimis. Formuojant sukamojo judesio pavarą, prie standžių frikcinių kontaktinių elementų (10), slystamai, prispaudžiami du disko formos rotoriai (2), kurie tarpusavyje sujungti velenu (5). Prispaudimo jėgą formuoja prispaudimo spyruoklė (3), kurios sukuriamas prispaudimo jėga reguliuojama keičiant veržlės (4) vertikalią poziciją.

Pavaros veikimo aprašymas: Siekiant gauti disko formos rotorių (2) sukimąsi, pjezoelektriniai elementai (9) per signalų generatorių (15) ir signalų komutacinį įrenginį (16) paveikiami harmoniniais arba neharmoniniais elektriniais signalais taikant skirtingas žadinimo schemas. Pirmuoju atveju sukamieji disko formos rotorių (2) judesiai gaunami paveikiant pirmą pjezoelektrinių elementų grupę (18) harmoniniu elektriniu signalu, kurio dažnis sutampa su tampraus žiedo (6) išilginių virpesių rezonansiniu dažniu, o antra pjezoelektrinių elementų grupė (19) lieka pasyvi, ko pasėkoje tampriame žiede (6) dėl medžiagos Puasono koeficiento sužadunami išilginiai virpesiai, o tuo pačiu ir dvipusių trapecinių dantų (7) asimetriniai lenkimo virpesiai. Dėl asimetrinės žadinimo schemos ir su tampraus žiedo (6) išilginiais virpesiais suderinto dvipusių trapecinių dantų (7) lenkimo virpesiais, standūs frikciniai elementai (10) formuoja elipsines judesio trajektorijas, kurių dėka, per trinties jėgą frikciniai elementai (10) kontaktuodami su disko formos rotoriais (2) juos suka. Antruoju atveju pjezoelektrinių elementų grupės (18, 19) paveikiamos dviem harmoniniais signalais, kurių fazių skirtumas yra $\pi/2$, o dažnis sutampa su tampraus žiedo (6) išilginių virpesių rezonansiniu dažniu. Dėl to tampriame žiede (6) sužadunami išilginiai bėgančios bangos virpesiai, ko pasėkoje dvipusiai trapeciniai dantys (7) sinchroniškai lenkiasi, suformuodami frikcinių elementų (10) elipsės formos judesio trajektorijas ir kontaktuodami su rotoriais (2) sukuria sukamuosius judesius. Trečiuoju atveju pjezoelektrinių elementų grupės (18, 19) bendrai apjungiamos ir paveikiamos pjūklo ar stačiakampio formos elektriniu signalu, ko pasėkoje tampriame žiede (6) sužadunami neharmoniniai išilginiai virpesiai. Toks žadinimo būdas užtikrina dvipusių trapecinių dantų (7) neharmoninius asimetrinius lenkimo virpesius. Standžių frikcinių elementų (10) judesio trajektorijos šiuo atveju yra kreivalinijinės ir frikciniai elementai juda skirtingais greičiais pirmyn bei atgal ko pasėkoje sukuriamas skirtingo dydžio trinties jėga tarp frikcinių elementų (10) ir rotoriaus (2) bei gaunamas inercinis pavarų veikimo principas, kuris užtikrina sukamąjį rotorių (2) judesį.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Pjezoelektrinė pavara, apimanti tamprą žiedą (6), ant kurio neišardomai sumontuoti trapeciniai dantys (7), pjezoelektrinius elementus, žadinamus elektriniais signalais (9) ir prie trapecinių dantų prispaustus du rotorius (2) b e s i s k i r i a n t i tuo kad, pjezoelektriniai elementai (9) yra plokštelės formos ir neišardomai pritvirtinti ant tampraus žiedo (6) viršutinio bei apatinio plokščio paviršiaus tarp trapecinių dantų taip, kad šalia esančių pjezoelektrinių elementų (9) poliarizacijos kryptys būtų priešingos ir nukreiptos išilgai elementų storio.

2. Pavara pagal 1 punktą b e s i s k i r i a n t i tuo, kad tampraus žiedo (6) vidutinis skersmuo parenkamas taip, kad žiedo ilgis būtų dalus iš sveiko išilginių virpesių bangos ilgio skaičiaus, o atstumas tarp trapecinių dantų (7) vertikalių simetrijos ašių būtų lygus vienam arba keliems išilginių virpesių, žadinamų tampriame žiede (6), bangos ilgiams.

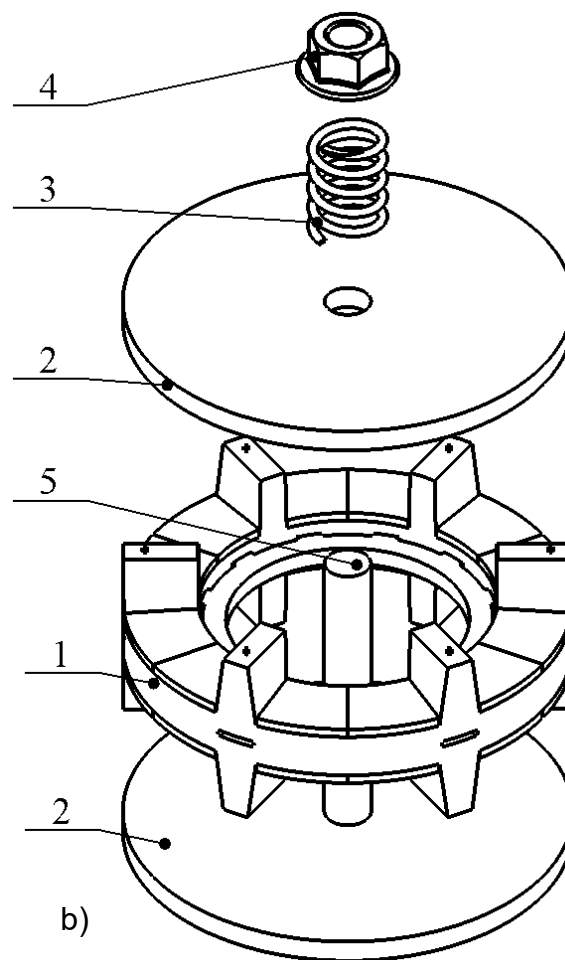
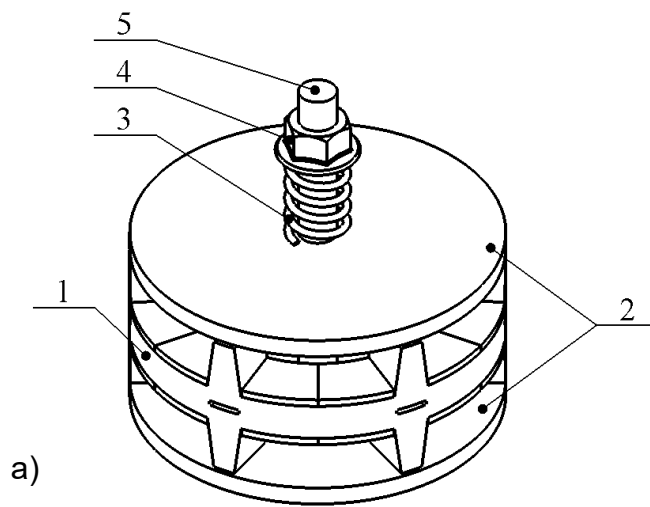
3. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad trapecinių dantų (7) padėtis ant tampraus žiedo (6) yra parenkama taip, kad ji sutaptų su žiedo išilginių virpesių pūpsniais.

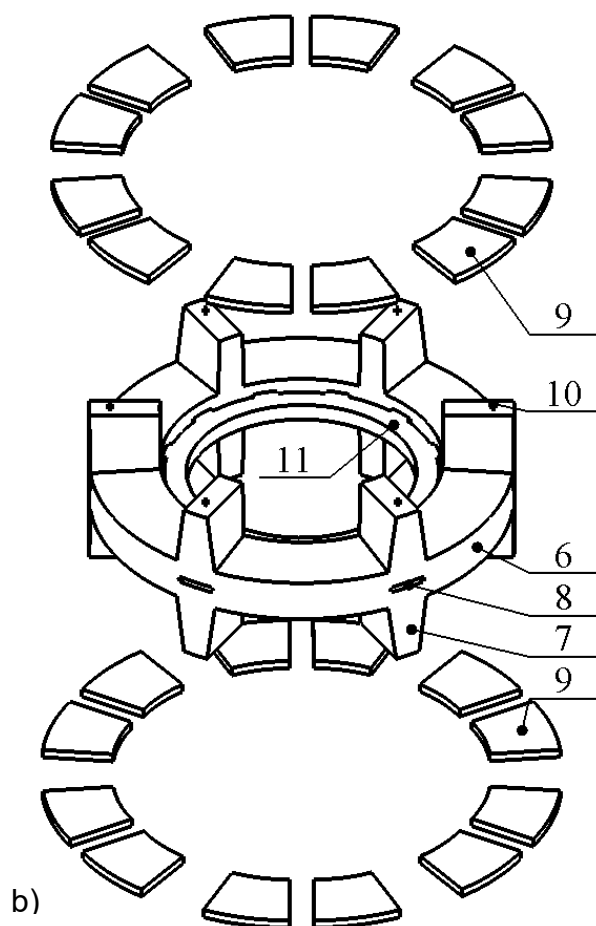
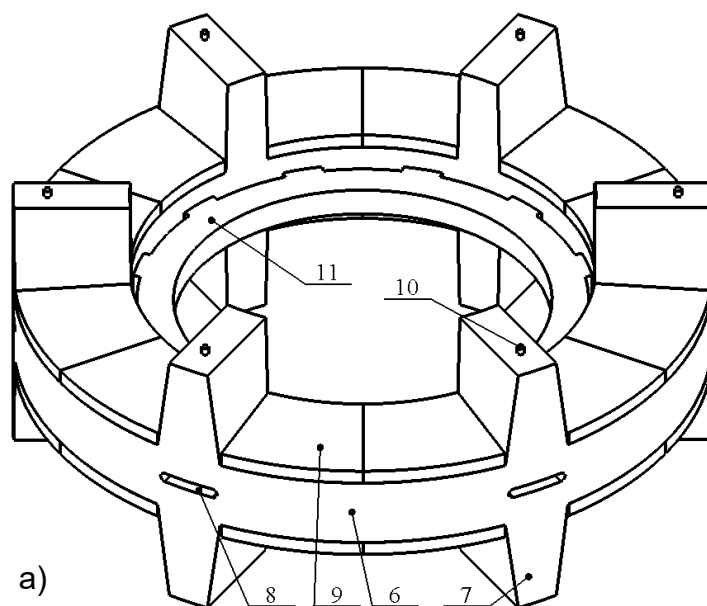
4. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad rotorius sukamasis judesys kuriamas, kai paveikiant pirmą pjezoelektrinių elementų grupę (18) harmoniniu elektriniu signalu, kurio dažnis sutampa su tampraus žiedo (6) išilginių virpesių rezonansiniu dažniu, o antra pjezoelektrinių elementų grupė (19) lieka pasyvi.

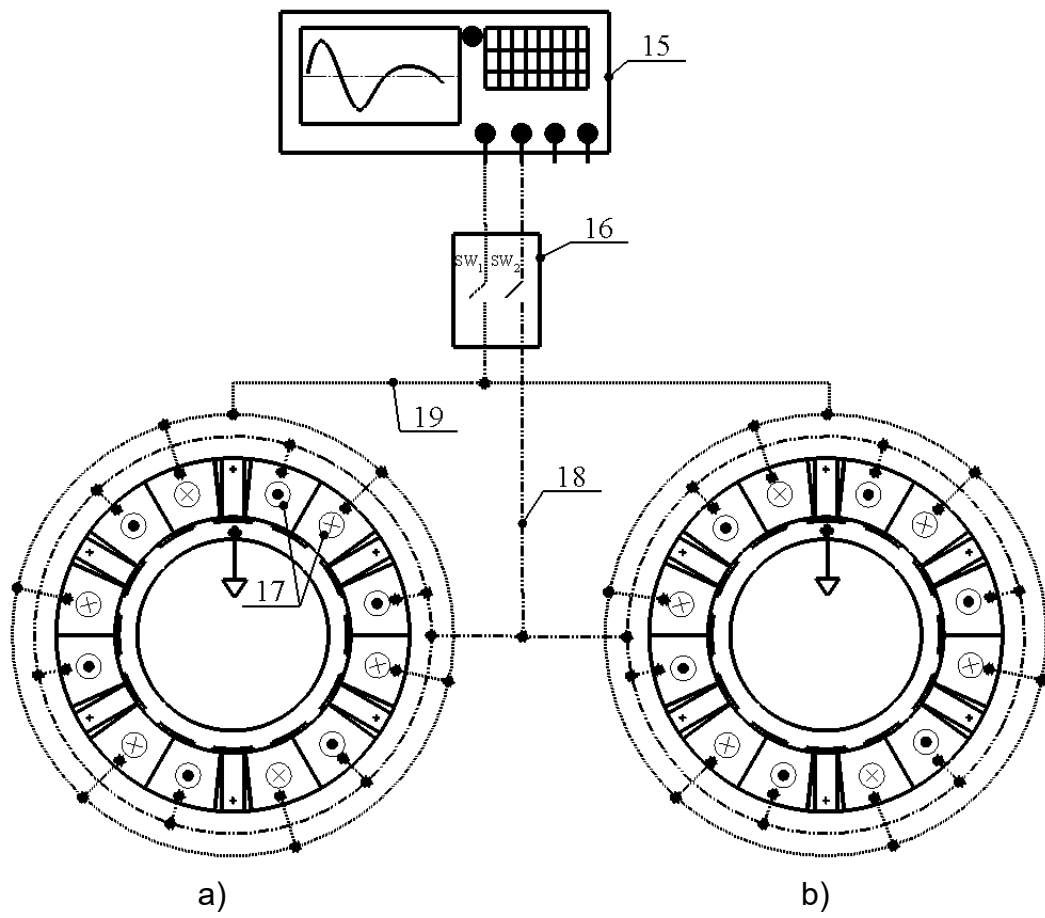
5. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad rotorius sukamasis judesys kuriamas, kai pjezoelektrinių elementų grupės (18, 19) vienu metu paveikiamos dviem harmoniniais elektriniais signalais, kurių fazių skirtumas yra $\pi/2$, o žadinimo signalų dažnis suderintas su tampraus žiedo išilginių virpesių rezonansiniu dažniu.

6. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad rotoriaus sukamasis judesys kuriamas, kai pjezoelektrinių elementų grupės (18, 19) bendrai apjungiamos ir paveikiamos pjūklo ar stačiakampio formos elektriniu signalu, o žadinimo signalų dažnis suderintas su tampraus žiedo išilginių virpesių rezonansiniu dažniu.

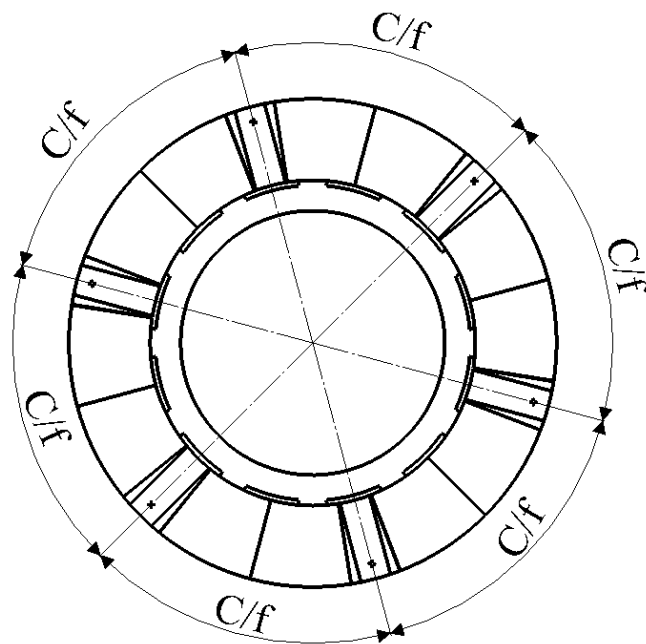
BRĖŽINIAI



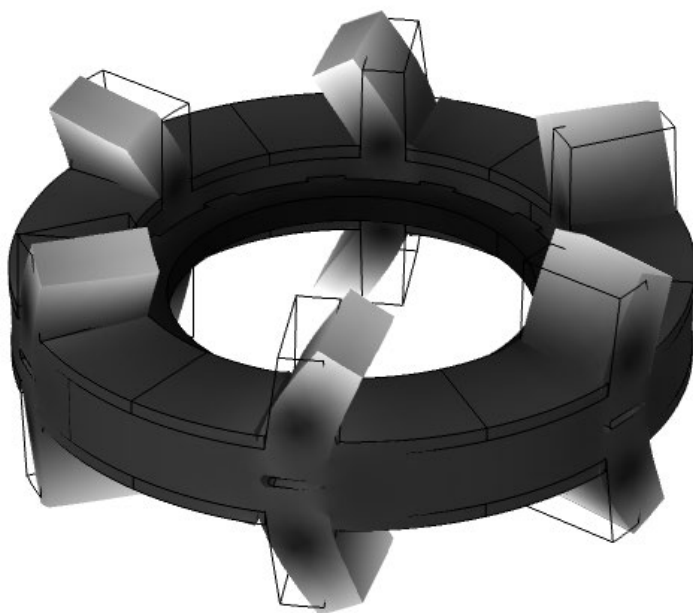




3 pav.



4 pav.



5 pav.