

(21) Paraiškos numeris: **2020 033** (51) Int. Cl. (2021.01): **H02N 2/00**

(22) Paraiškos padavimo data: **2020-09-09**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2021-09-10**

(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: —

(71) Pareiškėjas:

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

(72) Išradėjas:

Dalius MAŽEIKA, LT
Andrius ČEPONIS, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

—

(54) Pavadinimas:

Pjezoelektrinė sukamojo-slenkamojo judesio pavara

(57) Referatas:

Išradimas skirtas sukurti plokščią pjezoelektrinę pavara, sukuriančią varomosios grandies sukamąjį arba slenkamąjį judesį išilgai ašies. Pjezoelektrinė pavara sudaryta iš keturių metalinių stačiakampių plokštelių (1), tarpiai statmenai tarpusavyje sujungtų trapezinės formos strypais (18) ir ant kurių viršutinio ir apatinio plokščio paviršiaus priklijuotos keturios pjezokeramikos plokštelės (2), poliarizuotos storio kryptimi. Strypų susijungimo taške yra padaryta apskritimo formos kiaurymė (21), prie kurios viršutinio ir apatinio paviršiaus spyruokle prispaustas dvipusis rotorius (6, 7) arba statmenai montuojamas didelio standumo strypas (14), išilgai kuriuo juda slankiklis (13). Strypai (18) atlieka bangolaidžių funkciją perduodant ir transformuojant pjezoelektrinių bimorfinių plokštelių lenkimo virpesius į rotoriaus sukamąjį arba slankiklio slenkamąjį judesį. Sukamasis arba slenkamasis varomosios grandies judesio tipas gaunamas naudojant skirtingas vykdiklio lenkimo virpesių modas, kurios sužadinamos harmoniniais arba nesimetriniais elektriniais signalais. Sukimo judesiui sužadinti gali būti naudojamos trys žadinimo schemas, o slenkamajam judesiui viena schema. Pakeitus žadinimo signalų fazes, gaunamas reversinis judesys. Pjezoelektrinė pavara gali būti pritaikyta montuoti į spausdintinę plokštę bei montuojamas mechatronikos įrenginiuose, kuriuose pavarai skirtas tūris yra ribotas.

PJEZOELEKTRINĖ SUKAMOJO-SLENKAMOJO JUDESIO PAVARA

IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priskiriamas elektro-mechaninių, mechatroninių sistemų ir robototeknikos sritims. Tai įrenginys, skirtas kurti didelio tikslumo daugiafunkcines, mažų gabaritų sukamojo ir slenkamojo judesio pavaras, įskaitant ir reversines ir gali būti taikoma tiksliose pozicionavimo sistemose, tokiose kaip tokiose kaip optinių lęšių, filtrų pozicionavimo ar lazerio spindulio nukreipimo sistemose.

TECHNIKOS LYGIS

Sparčiai vystantis precizinėms pozicionavimo ar optikos sistemoms, mechatronikos komponentai turi užtikrinti aukštą pozicionavimo tikslumą ir užimti vis mažesnę tūrį bendroje sistemos konstrukcijoje. Šiuolaikiniai elektronikos komponentų gabaritai lengvai mažinami, todėl didžiąją pavaros tūrio dalį sudaro elektromagnetiniai varikliai ir pavaros, kurios paprastai montuojamos atskirai nuo elektroninių valdymo sistemų dėl santykinai didelių pavaros gabaritų, skleidžiamo elektromagnetinio triukšmo ar konstrukcinių ypatumų. Viena iš mokslinių tyrimų kryptų yra siejama su naujo tipo mažo tūrio, daugiafunkcinių pjezoelektrinių pavarų kūrimu, kuriose išėjimo grandies sukamasis ir slenkamasis judesys yra sukuriamas ne elektromagnetinio lauko, o statoriaus aukšto dažnio mechaninių virpesių pagalba. Tai leidžia supaprastinti pavaros konstrukciją, sumažinti mechatroninių sistemų gabaritus, elektromagnetinį triukšmą, padidinti įrenginių funkcionalumą ir kurti integruotas mechatronines sistemas.

Žinoma pjezoelektrinė pvara, aprašyta patente CN101572505A (paskelbtame 2009 metais), kuri gali asinchroniškai sukurti sukamąjį ar slenkamąjį judesį, veikdama dvejuose skirtinguose režimuose. Kiekvienam veikimo režimui taikomi du skirtingi pavaros jungimo būdai. Pjezoelektrinę pavarą sudaro kvadratinė plokštelė su apvalia skylė centre, du pjezoelektriniai žiedai, pritvirtinti prie abiejų statoriaus pusių. Pjezoelektrinių žiedų elektrodai padalinti į keturias lygias dalis, o statoriaus apačioje yra keturios pleišto formos kontaktų zonos. Pavaros sukamasis judesys sukuriamas žadinant statoriuje bėgančios bangos tipo virpesius. Dėl trinties tarp statoriaus ir rotorius, sužadinti mechaniniai virpesiai sukuria rotorius sukamąjį judesį. Norint gauti slenkamąjį judesį, pavaros statoriuje žadinami stovinčios bangos tipo virpesiai, kurie

perduodami į pleišto formos kontaktines zonas, kurios kontaktuodamos su išėjimo grandimi pastumia ją. Pjezoelektrinė pavara turi apribotą poslinkio diapazoną dėl slenkamajam judesiui gauti naudojamo veikimo principo, o sukamojo judesio dinaminės charakteristikos apribotos sąveikos tarp statoriaus ir rotoriaus ypatumais.

5 Patente CN104410324A (paskelbtame 2015 metais) aprašyta dviejų laisvės laipsnių pjezoelektrinė pavara, kurios vykdiklį sudaro bimorfinis žiedas su sriegiu centre. Pjezoelektrinių žiedų, pritvirtintų ant vykdiklio abiejų plokščių paviršių, išoriniai elektrodai padalinti į keturias lygias dalis. Vykdiklio centre įstatomas strypelis su išoriniu sriegiu, kuris kartu su vykdikliu sudaro srieginę pavara. Vykdiklio žadinimui naudojamas keturių
10 fazių elektrinių signalų generatorius, kurio gretimų įtampos signalų fazės skiriasi per $\pi/2$. Pavaros veikimo principas pagrįstas bėgančios bangos tipo virpesių žadinimu vykdiklio centre, kurie sukuria sukamuosius strypelio su sriegiu judesius. Dėka srieginio sujungimo tarp vykdiklio ir strypelio, gaunamas ir slenkamasis judesys. Slenkamojo judesio kryptis priklauso nuo bėgančios bangos sklidimo krypties. Pavara sukuria
15 sinchronišką sukamąjį ir slenkamąjį judesį, kurio kryptį galima keisti keičiant žadinimo signalų fazių reikšmes per π . Dėl srieginio sujungimo tarp vykdiklio ir strypelio, slenkamasis ir sukamasis judesiai yra susiję tarpusavyje, kas apriboja tokios pavaros taikymo galimybes.

Patente JP2009219281A (paskelbtame 2009 metais) aprašytas dviejų laisvės
20 laipsnių pjezoelektrinė pavara, kuri sukuria sukamąjį ir slenkamąjį išėjimo grandies judesį. Pavara sudaro tuščiaviduris kubo arba aštuonkampio gretasienio formos vykdiklis su apvalia kiauryme centre. Ant vykdiklio išorinio paviršiaus pritvirtintos keturios arba daugiau pjezoelektrinės plokštelės, kurias paveikus elektriniais signalais, žadinami bėgančios arba stovinčios bangos tipo mechaniniai virpesiai. Išėjimo grandis –
25 cilindras talpinamas vykdiklio centre esančioje skylėje. Vykdiklio skylėje sugeneruoti virpesiai perduodami išėjimo grandžiai, ko rezultate, sukuriamas slenkamasis arba sukamasis išėjimo grandies judesys. Judesio valdymui reikalingi šeši valdymo signalai, kurių dažniai ir fazės skiriasi. Dėl to sudėtingėja pavaros elektroninė valdymo konstrukcija. Taip pat prispaudimo jėga tarp vykdiklio ir išėjimo grandies negali būti
30 reguliuojama dinamiškai, kas apriboja tokios pavaros dinamines charakteristikas.

IŠRADIMO ESMĖ

Išradimo tikslas yra padidinti pjezoelektrinės pavaros dinamines charakteristikas, patikimumą, tikslumą bei praplėsti funkcines galimybes.

Išradimo tikslas pasiekiamas tuo, kad pjezoelektrinėje pavaroje, susidedančioje
5 iš plokščio tampraus lenkimo virpesių vykdiklio, kurį sudaro keturios bimorfinės pjezoelektrinės plokštelės, tampriai sujungtos trapecijos formos strypais į vientisą konstrukciją, ir žadinamo harmoniniu arba nesimetriniu elektriniu signalu, kontakto su rotoriumi zonoje, generuojami sukamieji virpesiai, kurie transformuojami į rotoriaus sukimąsi. Rotoriaus, o kartu ir veleno, sukimosi greitis bei pavaros dinaminės
10 charakteristikos didinamos trapecinių strypų pagalba, kurie transformuoja bimorfinių plokštelių lenkimo virpesius į kontakto zonos sukamuosius judesius ir juos padidina, bei išpjovomis, išdėstytomis išilgai ir skersai plokštelių simetrijos ašių, kurios sumažina plokštelių standumą ir didina kontakto zonos virpesių amplitudes.

Siekiant padidinti rotoriaus sukimosi greitį, pjezoelektrinio vykdiklio pasyvusis
15 sluoksnis gaminamas iš aukštos mechaninės kokybės standžios medžiagos, o strypų ilgis parenkamas kartotinis ketvirčiui strypo lenkimo virpesių bangos ilgio.

Pjezoelektrinės pavaros funkcinės galimybės praplečiamos ir jos patikimumas didinamas tuo, kad rotoriaus sukimasis gaunamas naudojant kelias skirtingas vykdiklio lenkimo virpesių formas ir dažnius, žadinant tuo pačiu keturių fazių harmoninių signalų,
20 tarp kurių gretimų fazių skirtumas yra $\pi/2$, generatoriumi, tačiau skirtingomis žadinimo schemomis, kurios skiriasi tuo, kad bimorfinėje plokštelėje pjezoelektrinių elementų, išdėstytų eilėje arčiau centro, žadinimo signalo fazė perstumiama per π .

Kai pjezoelektrinio bimorfinio vykdiklio elektrodai žadinami nesimetriniu elektriniu signalu, kurio dažnis artimas pjezoelektrinio vykdiklio lenkimo virpesių modai, tai
25 rotorius yra sukamas žingsniniu režimu su neribota kampinio poslinkio eiga bei vieno mažiausio sugeneruoto žingsnio skyra.

Siekiant praplėsti pjezoelektrinės pavaros funkcines galimybes, vykdiklio centre statmenai vykdiklio plokštumai standžiai tvirtinamas didelio standumo strypas, ant kurio patalpinamas paspyruokliuotai prispaustas slankiklis, kuris juda išilgai strypo žingsniniu
30 režimu, kai vykdiklio pjezoelektrinių elementų elektrodai sujungiami prie nesimetrinių signalų generatoriaus, kurio dažnis artimas plokštelių vienai iš lenkimo virpesių modų, taip, kad plokštelėse būtų sužadinami lenkimo statmenoje plokštumoje virpesiai.

BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

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

- 5 **Pav. 1 a,b** Pjezoelektrinės pavaros, veikiančios sukimo režimu, principinė schema:
(a) išskleistinis pjezoelektrinės pavaros, veikiančios sukimo režimu, vaizdas;
(b) pjezoelektrinės pavaros, dirbančios sukimo režimu, izometrinis vaizdas;

10 **Pav. 2 a,b** Pjezoelektrinės pavaros, veikiančios slenkamuoju režimu, principinė schema:
(a) išskleistinis pjezoelektrinės pavaros, veikiančios slenkamuoju režimu, vaizdas;
(b) pjezoelektrinės pavaros, veikiančios slenkamuoju režimu, izometrinis vaizdas;

15 **Pav. 3** Pjezoelektrinių plokštelių poliarizacijos kryptys:
(a) – vaizdas iš viršaus;
(b) – vaizdas iš apačios.

Pav. 4 a,b Pjezoelektrinės pavaros, veikiančios sukamuoju režimu, žadinimo schema, kai žadinama statmena plokštumai (angl. out – of – plane) lenkimo virpesių moda:
(a) – vaizdas iš viršaus;
(b) – vaizdas iš apačios.

20 **Pav. 5 a,b** Pjezoelektrinės pavaros, veikiančios sukamuoju režimu, žadinimo schema, kai žadinama lenkimo virpesių moda plokštumoje (angl. in – plane) harmoniniu signalu:
(a) – vaizdas iš viršaus;
(b) – vaizdas iš apačios.

25 **Pav. 6 a,b** Pjezoelektrinės pavaros, veikiančios sukamuoju režimu, žadinimo schema, kai žadinama lenkimo virpesių moda plokštumoje (angl. in – plane) nesimetrinio signalu:
(a) – vaizdas iš viršaus;
(b) – vaizdas iš apačios.

30

Pav. 7 a,b Pjezoelektrinės pavaros, veikiančios slenkamuoju režimu, žadinimo schema:

(a) – vaizdas iš viršaus;

(b) – vaizdas iš apačios.

5 **Pav. 8 a,b,c,d** Pjezoelektrinio vykdiklio lenkimo virpesių modos, naudojamos rotoriaus sukamajam judesiui gauti:

(a) – lenkimo virpesių moda plokštumoje (angl. in – plane), kai naudojama žadinimo schema, parodyta 5 pav.;

10 (b) – lenkimo virpesių moda statmenoje plokštumoje (angl. out – of – plane), kai plokštelė lenkiasi skersinės simetrijos ašies atžvilgiu ir naudojama žadinimo schema, parodyta 4 pav.;

(c) – lenkimo virpesių moda (angl. out – of – plane), kai plokštelė lenkiasi išilginės simetrijos ašies atžvilgiu ir naudojama žadinimo schema, parodyta 4 pav.

15 **Pav. 9** Pjezoelektrinio vykdiklio lenkimo virpesių moda, naudojama slankiklio slenkamajam judesiui gauti. Naudojama žadinimo schema 7 pav.

BRĖŽINIAI – pažymėtų objektų aprašymas

- 1 vykdklio tampri plokštelė su išpjovomis (piezoelektrinio vykdiklio pagrindas,
- 20 statorius);
- 2 pjezoelektrinės plokštelės;
- 3 pavaros tvirtinimo korpusas (spausdintinė plokštė);
- 4 vykdklio tvirtinimo vieta;
- 5 rotoriaus prispaudimo spyruoklė ;
- 25 6 ašis su pusiau sferiniu rotoriumi;
- 7 pusiau sferinis rotorius;
- 8 rotoriaus prispaudimo spyruoklės fiksatorius;
- 9 prispaudimo spyruoklės fiksatoriaus įtvirtinimo varžtai;
- 10 kontakto zona tarp piezoelektrinio vykdiklio kiaurymės ir rotoriaus;
- 30 11 pjezoelektrinis vykdiklis;

- 12 hyperelastinis tuščiaviduris cilindras;
- 13 viena slankiklio pusė;
- 14 didelio standumo strypas;
- 15 piezoelektrinės plokštelės poliarizacijos kryptis, nukreipta nuo plokštumos;
- 5 16 keturių fazių harmoninių signalų generatorius;
- 17 dviejų fazių nesimetrinių signalų generatorius;
- 18 tamprus trapecinis strypas;
- 19 stačiakampės išpjovos, tamprių plokštelių išilginės simetrijos ašyse;
- 20 stačiakampės išpjovos, tamprių plokštelių skersinės simetrijos ašyse;
- 10 21 apskritimo formos kiaurymė vykdiklio centre
- 22 stačiakampės išpjovos trapeciniuose strypuose
- 23 tamprus tvirtinimo strypas

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

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

5

Detalus pavaros aprašymas. Sukamojo – slenkamojo judesio pjezoelektrinę pavara (Pav.1) sudaro pjezoelektrinis vykdiklis (11), sudarytas iš keturių tamprių plokštelių (1), sujungtų tarpusavyje 90° kampu tampriais trapecijos formos strypais (18) į vientisą konstrukciją ir plonų pjezoelektrinių plokštelių (2), kurios poliarizuotos storio kryptimi ir priklijuotos prie tamprių plokštelių (1) viršutinio ir apatinio plokščio paviršiaus taip, kad viršutiniame ir apatiniame paviršiuose esančių pjezoelektrinių plokštelių (2) poliarizacijos kryptys (15) būtų priešingos (Pav.3). Siekiant sumažinti pjezoelektrinio vykdiklio (11) standumą ir padidinti kontakto zonos (10) virpesių amplitudes, kiekvienoje tamprioje plokštelėje (1), išilgai jos išilginės ir skersinės simetrijos ašies, suformuotos stačiakampio formos išpjovos (19, 20). Taip pat papildomai yra padarytos stačiakampės išpjovos (22) tampriuose trapeciniuose strypuose (18).

Vykdiklio (11) centre suformuota apvali kiaurymė (21), kurioje talpinamas didesnio nei kiaurymė (17) skersmens pirmasis pusiau sferinis rotorius (7) ir ašis su standžiai įtvirtintu tokio pat dydžio antruoju pusiau sferiniu rotoriumi (6). Abiejų rotorių (6) ir (7) sferiniai (ar kūginiai) paviršiai slystamai kontaktuoja su vykdiklio apvalios kiaurymės (21) briaunomis, tuo būdu sudarydami kontakto zoną (10) tarp vykdiklio ir rotoriaus. Pirmasis rotorius (7) ir ašis su antruoju rotoriumi (6) surenkami į vieną sistemą ir prispaudžiami prie kiaurymės (21) briaunų spyruokle (5), užmauta ant ašies (6) ir užfiksuota fiksatoriumi (8), kurio padėtis ant ašies užfiksuojama fiksatoriaus tvirtinimo varžtais (9), kurie tampriai prispaudžiami prie ašies ir dėl trinties jėgos tarp ašies ir varžto užfiksuoja fiksatoriaus (8) padėtį ant ašies. Rotoriaus pusių (6) ir (7) prispaudimo jėga gali būti keičiama, keičiant prispaudimo spyruoklės (5) fiksatoriaus (8) padėtį ant ašies. Pjezoelektrinė pavara standžiai tvirtinama korpuse (3) tam skirtose tvirtinimo vietose (4) per trumpus tvirtinimo strypelius (23), kurių ilgis parenkamas taip, kad izoliuotų virpesių sklaidimą į korpusą.

Vykdiklio dalys (1, 18) gali būti gaminamos iš vientisos tamprios medžiagos, pavyzdžiui, plieno arba bronzos. Siekiant gauti maksimalias kontaktinės zonos (10)

virpesių amplitudes ir padidinti pjezoelektrinės pavaros efektyvumą bei rotoriaus (6, 7) sukimosi greitį, gali būti keičiami išpjovų (19, 20, 22) ilgiai ir pločiai, o strypų (18) ilgis parenkamas kartotinis ketvirčiui strypo lenkimo virpesių bangos ilgio.

Siekiant praplėsti pjezoelektrinės pavaros funkcines galimybes (Pav. 2), pjezoelektrinio vykdiklio (11) centre kiaurymės (21) vietoje statmenai vykdiklio plokštumai standžiai tvirtinamas didelio standumo strypas (14), ant kurio slystamai patalpinamas slankiklis, susidedantis iš dviejų vienodų perpjautų pusiau cilindrų (13), kurie prispaudžiami prie strypo (14) cilindrinio vamzdeliu (12), pagamintu iš hyperelastinės medžiagos. Slankiklis (13) gali judėti išilgai standaus strypo (14) žingsniniu režimu, kai vykdiklio pjezoelektrinių plokštelių (2) elektrodai sujungiami prie nesimetrinių signalų generatoriaus (17), kurio generuojamo signalo dažnis artimas plokštelių (1) vienai iš lenkimo virpesių modų, taip, kad plokštelėse būtų sužadunami lenkimo statmenoje plokštumoje virpesiai (Pav.9).

Pavaros veikimo aprašymas. Aprašytoje pvaroje galimi keturi veikimo režimai (variantai). Trys režimai naudojami rotoriaus sukamojo judesio gavimu ir vienas variantas slankiklio slenkamojo judesiui išilgai standaus strypo gauti.

1 veikimo variantas. Pirmą veikimo variantą iliustruoja Pav. 1, 5, 8a. Padavus į pjezoelektrinių elementų (2), suskirstytų į keturias grupes, elektrodus keturių fazių harmoninį elektrinį signalą, kurio fazių skirtumas $\pi/2$ (Pav.5), o dažnis lygus vykdiklio plokštelių vienai iš lenkimo plokštumoje virpesių formai (Pav. 8a), vykdiklyje sužadunami plokštelių (1) mechaniniai lenkimo plokštumoje virpesiai, kurie tamprių strypų (18) pagalba transformuojami į sukamuosius kiaurymės (21) judesius vykdiklio plokštumoje, kurie toliau perduodami dvipusiam rotorui (6, 7). Sukamasis rotoriaus (6, 7) judesys formuojamas dėl trinties jėgos tarp rotoriaus paviršiaus ir vykdiklio (11) kontakto, kurio žiedinio paviršiaus visi taškai juda elipsinėmis trajektorijomis vykdiklio plokštumoje. Rotoriaus (6, 7) sukimosi kryptis keičiama į priešingą, kai į vykdiklio dviejų priešingų tamprių plokštelių (1) pjezoelektrinių elementų (2) elektrodus paduodamus elektrinius signalus, sukeičiame vietomis. Šis pjezoelektrinės pavaros veikimo variantas leidžia pasiekti didelį rotoriaus sukimosi greitį.

2 veikimo variantas. Antrą veikimo variantą iliustruoja Pav. 1, 4, 8b, 8c. Padavus į pjezoelektrinių elementų (2), suskirstytų į keturias grupes, elektrodus keturių fazių harmoninį elektrinį signalą, kurio fazių skirtumas $\pi/2$ (Pav.4), o dažnis lygus vykdiklio

plokštelių vienai iš lenkimo statmenoje plokštumoje virpesių formai (Pav. 8b, 8c), vykdyklyje sužadinami plokštelių (1) mechaniniai lenkimo statmenoje plokštumoje virpesiai, kurie tamprųjų strypų (18) pagalba transformuojami į erdvinis elipsinius vykdyklio kontaktinės zonos (10) taškų judesius, kurie kontaktuodami su rotoriumi dėl trinties jėgos suka rotorius (6, 7) apie vertikalią ašį. Rotoriaus (6, 7) sukimosi kryptis keičiama į priešingą, kai į vykdyklio dviejų priešingų tamprųjų plokštelių (1) pjezoelektrinių elementų (2) elektrodus paduodamus elektrinius signalus, sukeičiame vietomis. Šis pjezoelektrinės pavaros veikimo variantas leidžia pasiekti didelį rotoriaus sukimosi greitį ir momentą.

10 3 veikimo variantas. Trečią veikimo variantą iliustruoja Pav. 1, 6, 8a. Periodiniai nesimetriniai sukamieji kiauromės (21) kontaktinės zonos virpesiai gaunami padavus iš signalų generatoriaus (17) į pjezoelektrinių elementų (2), suskirstytų į dvi grupes, elektrodus nesimetrinį dviejų priešingų fazių signalą (Pav. 6), kurio dažnis f artimas vykdyklio plokštelių lyginei lenkimo plokštumoje virpesių formai. Kadangi vykdyklis (11) slystamai ir paspyruokliuotai sujungtas su rotoriumi (6, 7) spyruokle (5), tai rotorius, nesimetrinių sukamųjų virpesių veikiamas, kryptingai sukasi žingsniniu režimu su neribota kampinio poslinkio eiga bei vieno mažiausio sugeneruoto žingsnio skyra. Rotoriaus (6, 7) sukimosi kryptis keičiama, sukeičiant nesimetrinio signalo fazes vietomis. Panaudojus šį veikimo variantą, gaunama aukšta rotoriaus sukamojo judesio skyra.

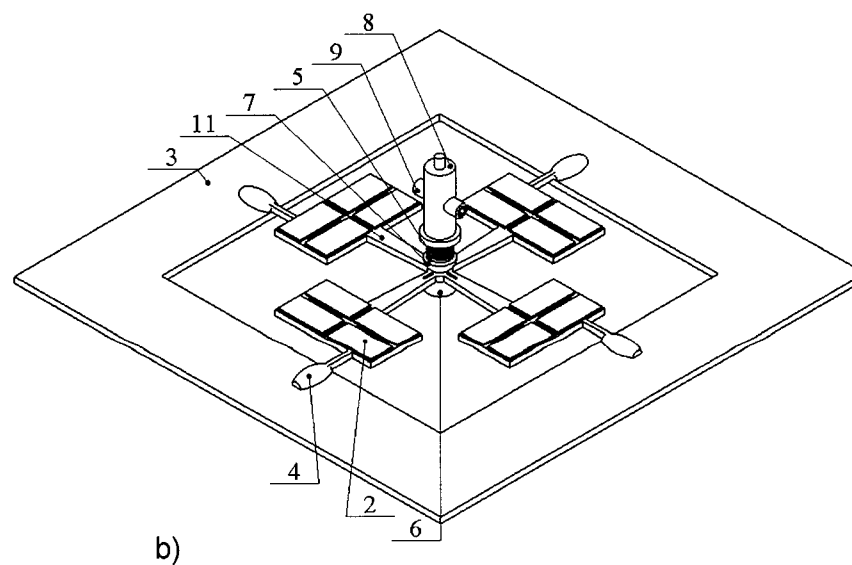
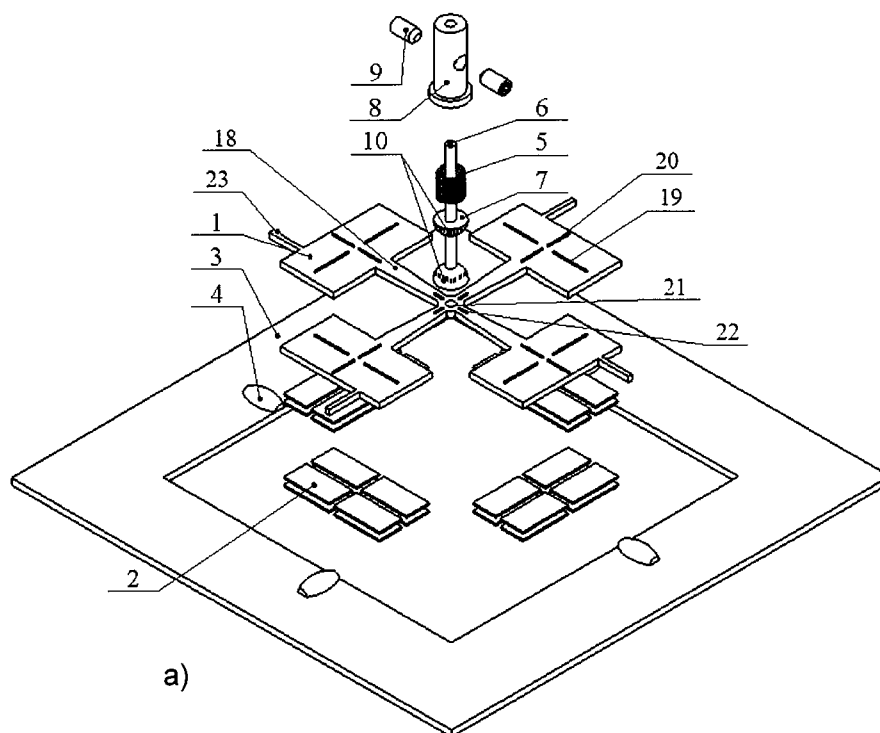
20 4 veikimo variantas. Ketvirtą veikimo variantą iliustruoja Pav. 2, 7, 9. Šis veikimo variantas leidžia panaudojus tą patį pjezoelektrinį vykdyklį (11) ir papildomai jo centre standžiai pritvirtinus didelio standumo strypą (14) su slankikliu (13), gauti slankiklio slenkamąjį judesį strypo (14) atžvilgiu. Pjezoelektrinių elementų (2) suskirstytų į dvi grupes, elektrodus padavus nesimetrinį dviejų fazių signalą (Pav. 7), kurio dažnis f artimas tamprios plokštelės (1) lenkimo statmenoje plokštumoje virpesių modai (Pav. 9.), o fazių skirtumas yra lygus π , didelio standumo strype (14) sužadinami nesimetriniai išilginiai virpesiai, kurie sukelia periodinius žingsninius slankiklio slenkamuosius judesius išilgai strypo (14) su vieno mažiausio sugeneruoto žingsnio skyra. Slankiklio (13) judesio kryptis keičiama, sukeičiant nesimetrinio signalo fazes vietomis. Panaudojus šį veikimo variantą, gaunama aukšta slankiklio (13) slenkamojo sukamojo judesio skyra.

APIBRĖŽTIS

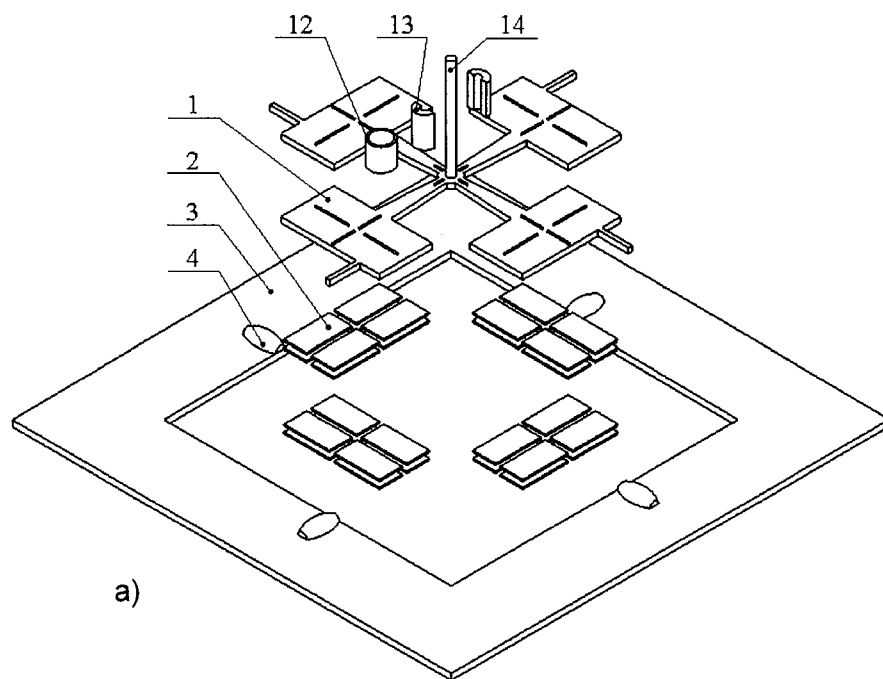
1. Pjezoelektrinė sukamojo – slenkamojo judesio pavara, apimanti
 - statorių iš keturių tamprių plokštelių (1), sujungtų tarpusavyje 90° kampų, o sujungimo centre suformuota apskritimo formos kiaurymė (21) su kontakto zona ir joje slystamai prispaustą dvipusį pusiau sferinį ar kūginį rotorių (6, 7) su spyruokline prispaudimo sistema (5, 8, 9)
 - prie plokštelių (1) plokščios dalies viršutinio ir apatinio paviršiaus priklijuotus pjezoelektrinius žadinimo elementus (2)
 - b e s i s k i r i a n t i tuo, kad tamprių plokštelių sujungimui naudojamos keturios tampriais trapečinės formos strypais (18), kurių vienas galas sujungtas su plokštelėmis (1), o kitu galu visi strypai sujungti tarpusavyje ir atlieka tamprių plokštelių (1) virpesių bangolaidžių funkciją transformuojant plokštelių lenkimo virpesius į rotorių (6, 7) sukamuosius judesius.
2. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad tamprių strypų (18) ilgis parenkamas kartotinis ketvirčiui strypo lenkimo virpesių bangos ilgio, o strypų lenkimo virpesių dažnis sutaptų su tamprių plokštelių lenkimo dažniu.
3. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad rotoriaus (6, 7) sukimą žadinti naudojamas keturių fazių elektrinius signalus su fazinėmis dedamosiomis tarp kurių skirtumas $\pi/2$, o dažnis lygus tamprios plokštelės (1) lenkimo formos plokštumoje arba lenkimo formos statmenoje vykdimiui (11) plokštumoje rezonansiniam dažniui, o rotoriaus (6, 7) sukimo kryptis keičiama pakeitus dviejų signalų, kurių fazių skirtumas π , fazes per π .
4. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad rotoriaus (6, 7) sukimą žadinti naudojami nesimetriniai signalai, paduodami į pjezoelektrinių elementų (2) elektrodus, kurių dažnis parenkamas artimas vienai iš plokštelių (1) lenkimo plokštumoje virpesių modai, taip, kad vykdiklyje būtų sužadinami lenkimo virpesiai.
5. Pavara pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad pjezoelektrinio vykdiklio (11) centre kiaurymės (21) vietoje statmenai vykdiklio plokštumai standžiai pritvirtinamas didelio standumo strypas (14) su slystamai prispaustu slankikliu (13) taip, kad slankiklis galėtų judėti išilgai strypo (14).

6. Pavara pagal 5 punktą, besiskirianti tuo, kad slankiklio judesiai išilgai strypo (14), yra gaunami generatoriaus (17) nesimetriniais signalais, paduodamais į pjezoelektrinių elementų (2) elektrodus, kurių dažnis parenkamas artimas plokštelių (1) vienai iš lenkimo statmenoje plokštumoje virpesių modai, taip, kad vykdyklyje (11) būtų sužadinami lenkimo virpesiai.

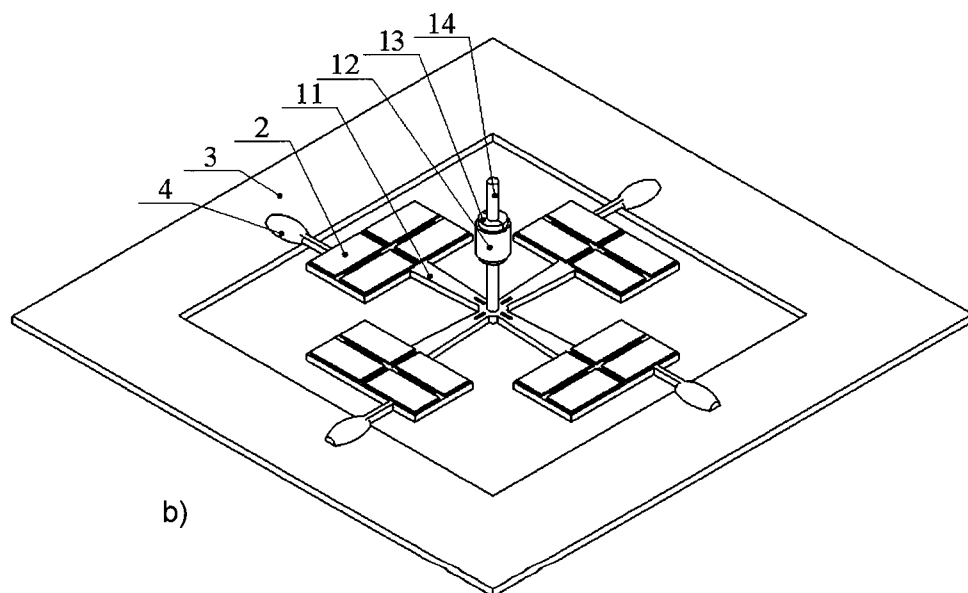
BRĖŽINIAI



1 pav.

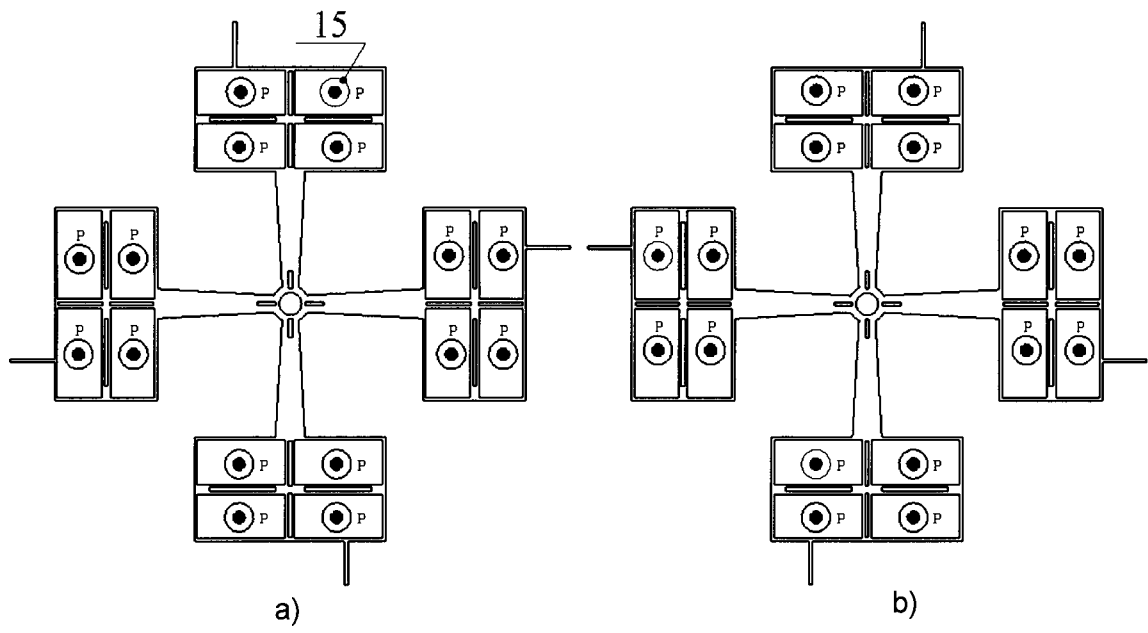


a)



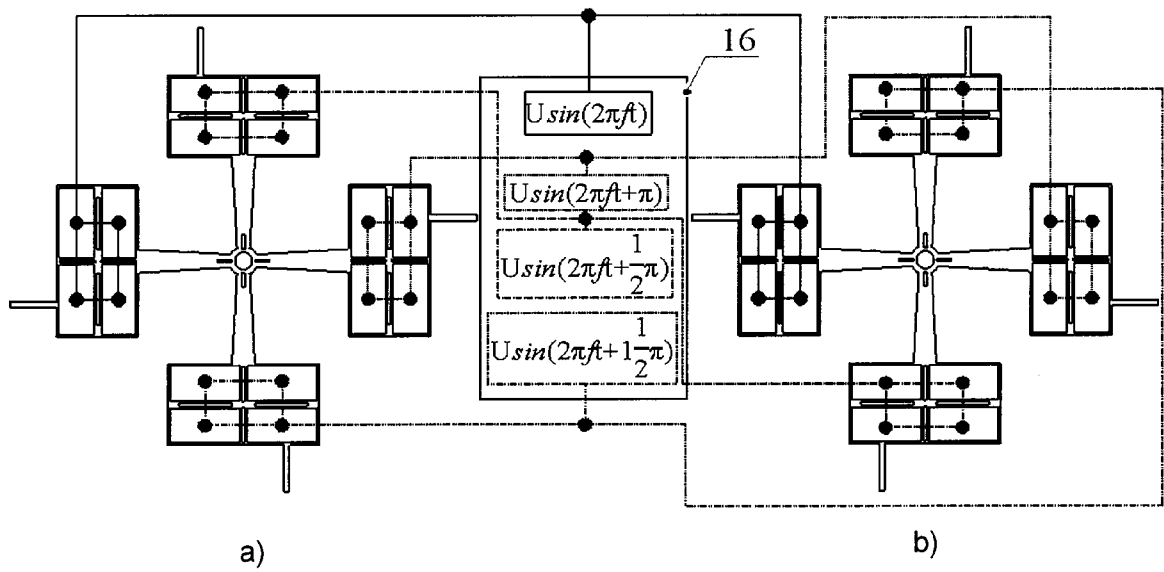
b)

2 pav.

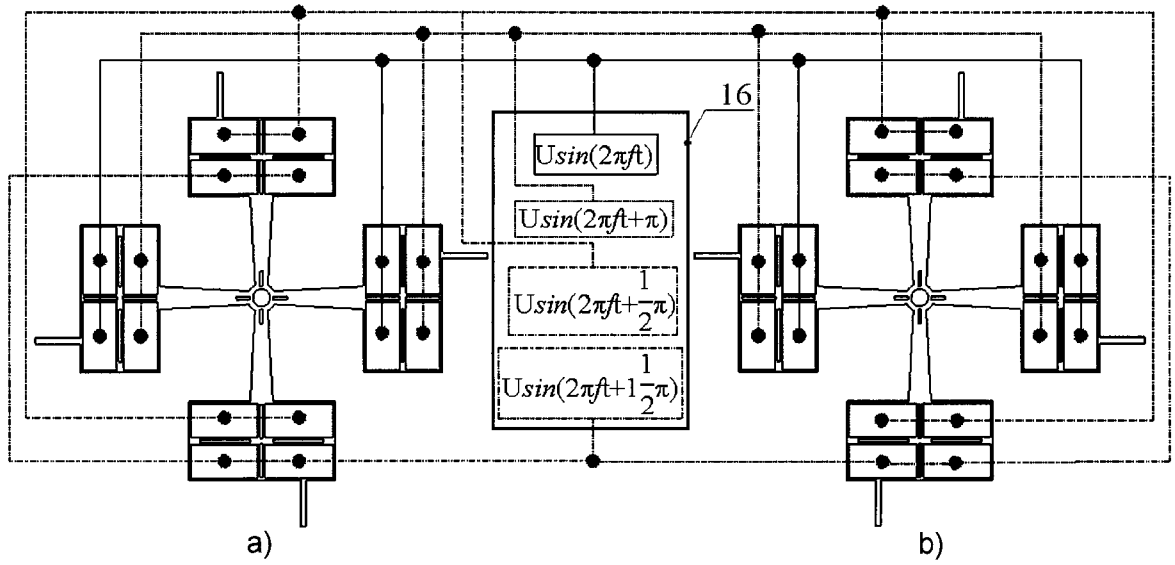


3 pav.

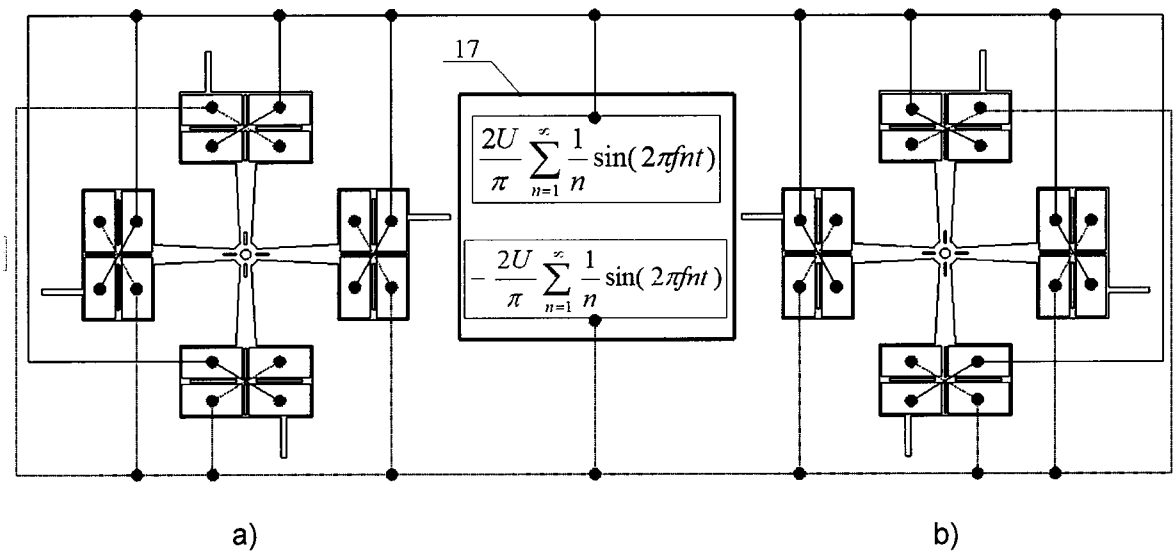
5



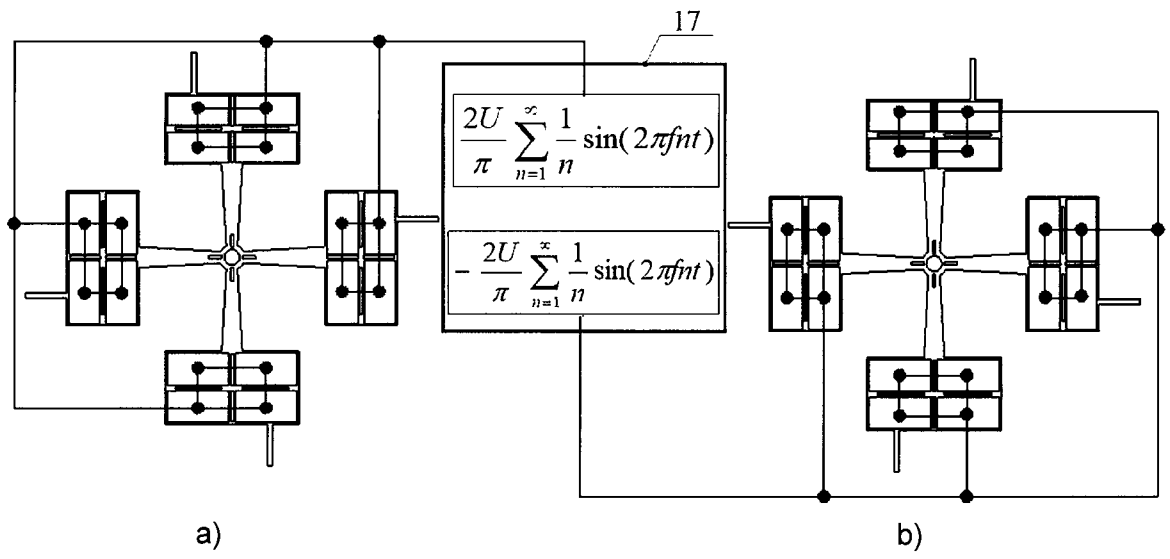
4 pav.



5 pav.

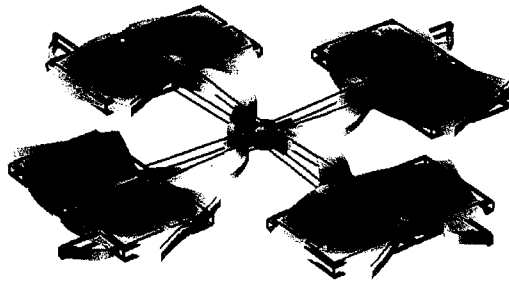


6 pav.

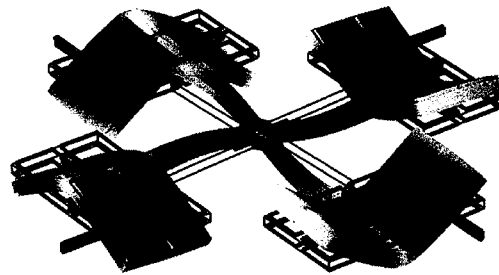


7 pav.

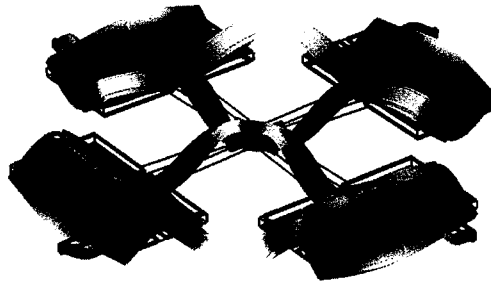
a)



b)

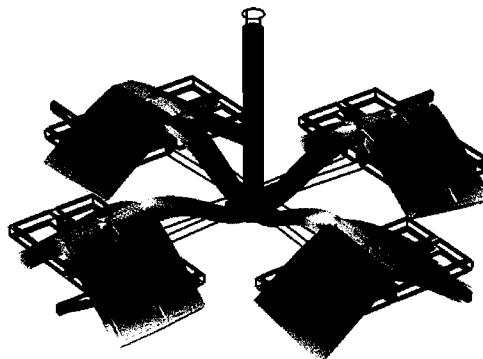


c)



5

8 pav.



9 pav.