

Lietuvos
Respublikos
valstybinis
patentų biuras

(11) **LT 6915 B**

(51) Int. Cl. (2022.01): **H01L 41/00**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2020 035**
(22) Paraiškos padavimo data: **2020-09-21**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2022-03-25**
(45) Patentų paskelbimo data: **2022-05-25**

(73) Patentų savininkas:
Vytauto Didžiojo universitetas, K. Donelaičio g. 58, 44248 Kaunas, LT

(72) Išradėjas:
Piotr VASILJEV, LT
Ying YANG, CN
Dalius MAŽEIKAS, LT
Regimantas BAREIKIS, LT
Sergejus BORODINAS, LT
Arūnas STRUCKAS, LT
Jianmin QIU, CN

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Regimantas BAREIKIS, Saltoniškių g. 54-100, Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:
Plokščias greitaigis pjezoelektrinis variklis

(57) Referatas:

Išradimas skirtas sukurti greitaigį pjezoelektrinį variklį su padidintu veleno sukimosi greičiu, užtikrinant varančio rotorų kontakto patikimumą, bei išplečiant jo funkcines galimybes: dviejų rotorų, besisukančių priešingomis kryptimis panaudojimo ir variklio maitinimo įtampos sumažinimo. Išradimas, kaip ir analogas gali būti labai efektyviai pritaikytas kuriant pavaras mikroskraidantiems aparatams (mikrodronams). Pjezoelektrinį variklį sudaro plokščios formos radialinių virpesių aktuatorius, pagamintas iš dviejų koncentrinų žiedų, tarpiai sujungtų tarpusavyje lamelėmis. Lamelės smailiu kampu nukreiptos į rotorius. Didesnio diametro žiedo plokščioji dalis sujungta plonu pjezokeraminiu disku, poliarizuotu pagal jo storį. Lamelinė zona pagaminta išgaubta tuščiaavidurio apskrito kūgio pavidale: išgaubimo kampas neviršija 30 laipsnių. Aktuatoriaus mažesnio diametro plokščioji žiedo dalis slystamai kontaktuoja su paspyruokliuotu į ją rotoriumi. Priklijavus prie kitos (laisvos) plokščios pjezoelemento dalies koncentriškai veidrodiniu atspindžiu papildomą aktuatorių su išgaubta lameline zona taip, kad abiejų aktuatorių lamelių kryptys sutaptų, atsiranda galimybė sukurti du rotorius, sujungtus su vienu veleno. Atsiranda galimybė gauti iš variklio du ašinius sukumus, nukreiptus priešingomis kryptimis, jeigu prie minėto pjezoelemento bus priklijuoti aktuatoriai, kurių lamelių kryptys priešingos. Paspyruokliuoti rotorai suksis priešingomis kryptimis, kas praplečia funkcines variklio taikymo galimybes. Kad padidinti pjezovarklio galią ir sumažinti maitinimo įtampą, prie minėtų aktuatorių priklijuojami du papildomi pjezoelementai taip, kad jų poliarizacijos kryptys būtų priešingomis kryptimis pjezoelemento, esančio tarp aktuatorių.

LT 6915 B

Technikos sritis:

Pateiktas išradimas priskiriamas prie pjezoelektrinių variklių klasės. Išradimas labai efektyviai gali būti pritaikytas kuriant greitaigės mažų gabaritų ir svorio daugiafunkcines patikimas pavaras, kas ypač aktualu mikroskraidantiems aparatams (mikrodronams), girooskopams - stabilizatoriams ir kt. technikai.

Technikos lygis:

Labai sparčiai vystantis kompiuterinei technikai, mechatroninių įrenginių informacijos apdorojimo ir valdymo organai tampa miniatiūriniais ir žymiai pralenkia pagal svorio ir gabaritų parametrus vykdymo organus, kurių darbas paremtas klasikinių elektros variklių panaudojimu. Viena iš mokslinių tyrimų kryptų, siekiant sumažinti atotrūkį tarp kompiuterinės ir mechaninės mechatroninių įrenginių dalies, yra kūrimas principaliai naujo tipo mašinų - pjezoelektrinių variklių, kuriuose rotorius sukamas ne elektromagnetinių laukų sąveikoje, bet orientuotų ultragarsinio dažnio virpesių. Dabartiniu metu, besivystant greitaigiams mechatroniniams įrenginiams, kaip pvz, skraidantiems arba plaukiantiems mikrorobotams, didelis dėmesys skiriamas mažų gabaritų ir svorio greitaigių variklių kūrimui.

Žinomas pjezoelektrinis variklis, aprašytas patente US 4,019,073 B2 (1977 m.), kurio rotorius sukamas radialiniais virpesiais, žadinamais pjezokeraminio žiedo, ir perduodamais rotorui paspyruokliuotų lamelių pagalba. Čia lamelės panaudotos atlikti dvejopą funkciją: virpesių perdavimas į kontakto su rotoriumi zoną ir spyruoklės vaidmuo. Tai apriboja variklio galios didinimą, nes didesnės energijos perdavimą nuo pjezoelemento riboja lanksčių lamelių storio didinimas. Be to variklio patikimumą riboja atskirų lamelių kontakto su rotoriumi nevienodumas.

Patente US 4.959,580 B2 (1990 m.) tas pats autorius variklio galiai padidinti siūlo modernizuotą lamelių tvirtinimo būdą - jų litavimą prie pjezokeraminio disko elektrodų. Tai šiek tiek padidina galią, tačiau neišsprendžia žemo patikimumo problemų.

Patente US 4,884,002 B2 (1989 m.) galiai padidinti siūloma išplėsti lamelių skaičių, grupuojant jas eilėmis, o patente US 7,105.987 B2 (2006 m.) - keisti lamelių konfigūracijas. Tačiau kontaktavimo zona lieka principaliai ta pati - eilė pavienių taškų, kas neišsprendžia variklio patikimumo problemų, ypač greitaigių variklių.

Patente US 6,664,712 B2 (2003 m.) plokščio pjezovariklio aktuatoriuje padarytos figūrinės iškarpos, kurių pagalba suformuotos kampu į rotorius paviršių nukreiptos lamelės. Radialiniai pjezožiedo virpesiai lamelių pagalba transformuojami į rotorius sukimą. Priklijavus prie kito pjezožiedo plokščio paviršiaus tokį pat aktuatorių, ir paspyruokliavus prie jo lamelių papildomą rotorių, galima gauti kito rotorius sukimą priešinga kryptimi. Nors siūlomas patentas praplečia funkcines variklio galimybes, tačiau kontaktavimo zona lieka principialiai ta pati - eilė pavienių taškų, kas neišsprendžia variklio patikimumo problemų, ypač greitaiegių variklių atveju.

Artimiausias techninė esmė šiam išradimui pjezoelektrinis variklis, aprašytas patente LT 6636 B2 H01L41/00 (2019 m.). Pjezoelektrinį variklį sudaro radialinių virpesių aktuatorius, prie kurio vidinės radialinės dalies tampriai prijungtos lamelės - bangolaidžiai smailiu kampu nukreiptos į rotorius konusinį paviršių, o kiti lamelių - bangolaidžių galai tampriai sujungti su išorine radialine žiedo formos cilindro dalimi, kurio vidinė dalis slystamai ir paspyruokliuotai sujungta su rotoriumi. Viena plokščia aktuatoriaus pusė sujungta su pjezoelektriniu keitikliu, pvz. plonu pjezokeraminiu disku, poliarizuotu pagal jo storį. Priklijavus prie kitos aktuatoriaus plokštumos papildomą pjezoelementą, gaunam reversyvinį pjezovariklį, kas žymiai praplečia jo panaudojimo galimybes. Norint išgauti iš variklio du ašinius sukimus, nukreiptus priešingomis kryptimis, iš kitos cilindrinio žiedo pusės paspyruokliuojamas papildomas rotorius. Abu rotoriai turi galimybę be papildomų priemonių sukis viens kitam priešingomis kryptimis. Nors pjezovariklis pagal siūlomą patentą paprastas gamybos atžvilgiu, patikimai dirba išvystydamas kelis tūkstančius apsukų/min, tačiau jo stabiliam darbui panaudotos dvi aktuatoriaus virpesių modos, kas komplikuoja variklio maitinimo ir valdymo sistemos kūrimą.

Išradimo tikslas - padidinti pjezovariklio veleno sukimosi greitį, jo galią, funkcionavimo stabilumą ir patikimumą, bei išplėsti jo funkcines taikymo galimybes.

Pirmas tikslas: variklio sukimosi greičio, funkcionavimo stabilumo ir patikimumo padidinimas pasiekiamas tuo, kad pjezovarikyje, susidedančiame iš plokščios formos radialinių virpesių aktuatoriaus, sudaryto iš dviejų koncentrinų žiedų, tampriai sujungtų tarpusavyje lamelėmis, smailiu kampu nukreiptomis į rotorių, o didesnio diametro žiedo plokščioji dalis sujungta su plonu pjezoelementu, plokščio aktuatoriaus lamelinė zona pagaminta išgaubta tuščiavidurio apskrito kūgio pavidale,

o išgaubimo kampas neviršija 30 laipsnių. Pjezovariklio veleno sukimosi greitis funkcionavimo stabilumas ir patikimumas padidėja dėka to, kad, aktuatorius žadinamas tik viena moda - radialine, o rotorius sukamas plokščiu aktuatoriaus koncentrinio žiedo paviršiumi.

Antras tikslas: variklio galios padidinimas pasiekiamas priklijavus prie kitos (laisvos) plokščios pjezoelemento dalies koncentriškai veidrodiniu atspindžiu papildomą aktuatorių su išgaubta lameline zona taip, kad abiejų aktuatorių lamelių kryptys sutaptų, atsiranda galimybė sukti du rotorius, sujungtus su vienu velenu t.y. padidinti variklio galią.

Jeigu prie minėto pjezoelemento priklijuoti aktuatorius, kurių lamelių kryptys priešingos atsiranda galimybė išgauti iš variklio du ašinius sukimus, nukreiptus priešingomis kryptimis, Paspyruokliuoti rotoriai suksis priešingomis kryptimis, kas praplečia funkcinės variklio taikymo galimybes.

Trečias tikslas: papildomas pjezovariklio greičio padidinimas ir maitinimo įtampos sumažinimas pasiekiamas prie minėtų aktuatorių priklijuojant du papildomus pjezoelementus taip, kad jų poliarizacijos kryptys būtų priešingomis kryptimis pjezoelemento, esančio tarp aktuatorių.

Išradimui paaiškinti pateikiami brėžiniai:

Fig. 1 - pavaizduota principinė pjezoelektrinio variklio schema; Fig. 2 - aktuatoriaus vaizdas; Fig. 3 - pjezovariklio konstrukcija; Fig. 4 - vaizdas, iliustruojantis antro rotoriaus panaudojimo galimybę; Fig. 5 - vaizdas, iliustruojantis lamelių išsidėstymą; Fig. 6 - dviejų rotorių vienos veleno sukimosi krypties pjezovariklio pjūvis; Fig. 7 - dviejų velenų priešingų sukimosi kryptių pjezovariklio pjūvis; Fig. 8 - dviejų velenų variklio vaizdas, iliustruojantis lamelių išsidėstymą; Fig. 9 - žemos maitinimo įtampos pjezovariklio pjūvis; Fig. 10 - pjezoelementų pajungimo ir „dviejų generatorių“ pjezoelektrinio variklio schema.

Įrenginio detalus aprašymas.

Pjezoelektrinį variklį (Fig. 1-3) sudaro plokščios formos radialinių virpesių aktuatorius (1), susidedantis iš dviejų koncentrinų žiedų (2), (3) tarpiai sujungtų tarpusavyje lamelėmis (4), smailiu kampu nukreiptomis į rotorius (5). Didesnio diametro koncentrinio žiedo (2) plokščioji dalis sujungta su plonu žiedo formos pjezoelementu (6), kurio elektrodai elektriškai sujungti su generatoriumi, kurio išėjimo

įtampa UI. Plokščio aktuatoriaus lamelinė zona pagaminta išgaubta tuščiavidurio apskrito kūgio pavidale (7). Eksperimentu nustatyta - išgaubimo kampas (8) nevirsija 30 laipsnių. Aktuatoriaus mažesnio diametro plokščioji žiedo dalis (3) slystamai kontaktuoja su rotoriumi (5) paspyruokliuotu jėga (P). Aktuatorius (1) tvirtinamas korpuse (11). Variklio velenas (13) sukasi guolyje (14) ir sujungtas rotoriumi (5). Tam, kad aktuatoriaus radialinių virpesių energija nepersiduotų korpusui (11), tarp jų įvedama svyruoklė (9). Spyruoklės (9) formavimui panaudojama periferinė aktuatoriaus dalis, prakirtus, pvz., lazerio pagalba, išpjovas (10).

Pjezovariklio veleno sukimosi greitis, funkcionavimo stabilumas ir patikimumas padidėja dėka to, kad, aktuatorius žadinamas tik viena moda - radialine, o rotorius (5) sukamas plokščiu aktuatoriaus koncentrinio žiedo (3) paviršiumi.

Pjezovariklio galią galima padidinti sukančią veleną dviem aktuatoriais. Tai pasiekama (Fig. 4-6) priklijavus prie kitos (laisvos) plokščios pjezoelemento (6) dalies koncentriškai veidrodiniu atspindžiu papildomą aktuatorių (14) su išgaubta lameline zona taip, kad abiejų aktuatorių lamelių kryptys sutaptų. Atsiranda galimybė sukti du rotorius (5), sujungtus su vienu velenu (13) ir tuo padidinti variklio galią.

Norint išgauti iš variklio du ašinius sukimus, nukreiptus priešingomis kryptimis, reikia prie minėto pjezoelemento (6) priklijuoti aktuatorius (1) ir (14) taip (Fig.7-8), kad jų lamelių kryptys būtų priešingos. Pasparyuokliuoti rotoriai (5) suksis priešingomis kryptimis, kas praplečia funkcinės variklio taikymo galimybes.

Daugeliui pjezovariklių taikymo atvejų, pvz. taikant mikroskraidančiuose aparatuose, autonominiam maitinimui reikalinga itin maža įtampos reikšmė. Norint sumažinti variklio maitinimo šaltinio įtampos reikšmę, reikėtų konstruoti pjezovariklį, susidedantį iš dviejų atskirų aktuatorių (1), atskirai juos tvirtinant prie variklio korpuso (11) ir atskirai juos užmaitinant nuo dviejų generatorių (U1 ir U2, kaip tas parodyta, pavyzdžiui, Fig.9). Šiuo atveju atsiranda papildomos problemos: aktuatorių ašių centravimas, juos tvirtinant ir kita - papildomas maitinimo šaltinis U2.

Tai pasiekama (Fig.10) prie minėtų aktuatorių (1) ir (14) priklijuojant du papildomus pjezoelementus (15) taip, kad jų poliarizacijos kryptys (p) būtų priešingomis kryptimis pjezoelemento (6), esančio tarp aktuatorių (1) ir (14). Panaudojant tokį elementų sujungimą, gauname trijų pjezoelementų (6-15-15), suklijuotų su dvejais aktuatoriais (1-14) vienalytę radialinių virpesių rezonansinę

virpamą sistemą.

Plokščio greitaeigio pjezoelektrinio variklio veikimas. Padavus į aktuatoriaus (1) pjezoelemento (6) elektrodą radialinių virpesių rezonansinę įtampą (UI), aktuatoriaus koncentriniam žiede (2) žadinami radialiniai virpesiai kryptimi „a“. Radialiniai virpesiai žiede (2) sužadina lamelių (4) išilgines vibracijas (kryptis „b“). Kadangi lamelės (4) sujungtos su koncentriniais žiedais (2) ir (3) smailiu kampu, vibruodamos sukuria aktuatoriaus koncentrinio žiedo (3) sukamuosius virpesius (kryptis „c“). Kadangi lamelinė zona pagaminta išgaubta tuščiavidurio apskrito kūgio kampu (8) pavidale, radialiniai aktuatoriaus virpesiai papildomai transformuojami į koncentrinio žiedo (3) sinfazinius su sukamaisiais vertikalius, statmenus jo plokštumai, virpesius (kryptis „d“).

Tokiu būdu, rotorius (5), veikiamas mažesnio diametro žiedo (3), gauna vertikalaus postūmio (c) -pasukimo (d) smūgines aukšto dažnio vibracijas, kas priverčia jį intensyviai suktis.

Variklis, kurio velenas (Fig.4-6), arba du velenai, kurių kryptys priešingos, sukamas dviem aktuatoriais (Fig.7-8), darbas yra analogiškas: padavus į pjezoelemento (6) elektrodus per elektriškai ir mechaniškai sujungtus (suklijuotus) aktuatorius (1) radialinių virpesių rezonansinę įtampą (UI), aktuatorių koncentrinuose žieduose (2) žadinami radialiniai virpesiai kryptimi „a“, kurie sužadina lamelių (4) išilgines vibracijas (kryptis „b“) ir koncentrinų žiedų (3) sukamuosius virpesius (kryptis „c“) ir vertikalius, statmenus žiedų plokštumai, virpesius (kryptis „d“).

Šios problemos lengvai sprendžiamos vietoj dviejų aktuatorių naudojant sudėtinį vienalytį aktuatorių. Siūloma konstrukcija (Fig.10) leidžia du aktuatorius suklijuoti į vieną vienalytę rezonansinę sistemą. Piezoelementų poliarizavimo kryptys „p“ išdėstytos taip, kad padavus į elektrodus rezonansinio dažnio įtampą UI, vienalytėje gauto aktuatoriaus konstrukcijoje būtų žadinama radialinių virpesių moda. Taigi, maitinimo įtampos sumažinimas gaunamas dėl trijų pjezoelementų sujungimo ir jų sinchroninio maitinimo galimybės.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Plokščias greitaeigis pjezoelektrinis variklis, susidedantis iš plokščios formos radialinių virpesių aktuatoriaus, sudaryto iš dviejų koncentrinų žiedų, tarpiai sujungtų tarpusavyje lamelėmis, smailiu kampu nukreiptomis į rotorį, o didesnio diametro žiedo plokščioji dalis sujungta su plonu pjezoelementu, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad siekiant padidinti variklio greitį, funkcionavimo stabilumą ir patikimumą, plokščio aktuatoriaus lamelinė zona pagaminta išgaubta tuščiavidurio apskrito kūgio pavidale, o išgaubimo kampas neviršija 30 laipsnių.

2. Plokščias greitaeigis pjezoelektrinis variklis pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad siekiant padidinti variklio galią, prie minėto pjezoelemento laisvos plokščios dalies koncentriškai veidrodiniu atspindžiu priklijuotas papildomas aktuatorius su išgaubta lameline zona taip, kad abiejų aktuatorių lamelių kryptys sutaptų.

3. Plokščias greitaeigis pjezoelektrinis variklis pagal 1 ir 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad siekiant padidinti variklio veleno apsisukimo greitį ir sumažinti maitinimo įtampą, prie minėtų aktuatorių priklijuoti papildomi du pjezoelementai taip, kad jų poliarizacijos kryptys būtų priešingomis kryptimis pjezoelemento, esančio tarp aktuatorių.

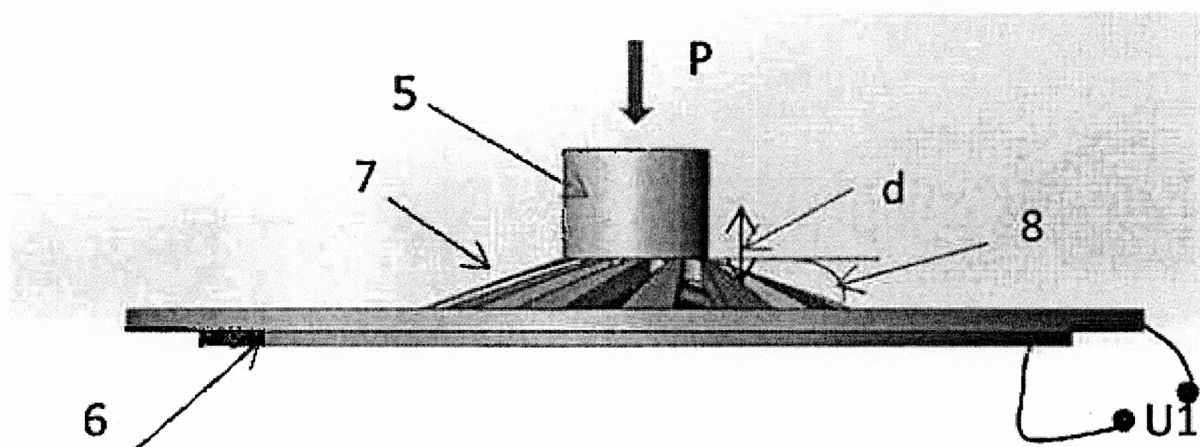


Fig. 1

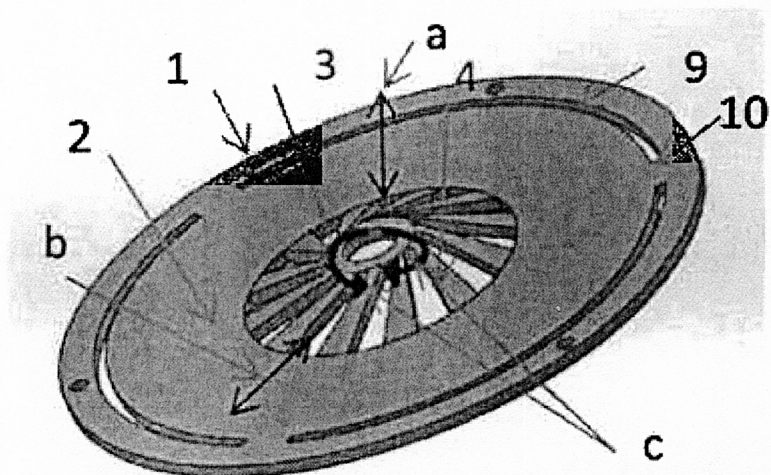


Fig.2

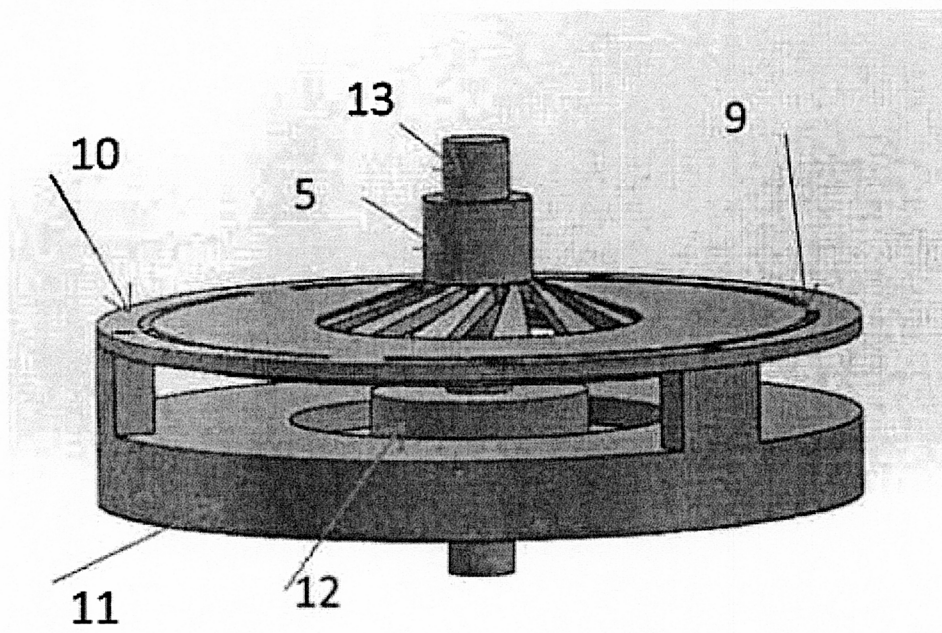


Fig.3

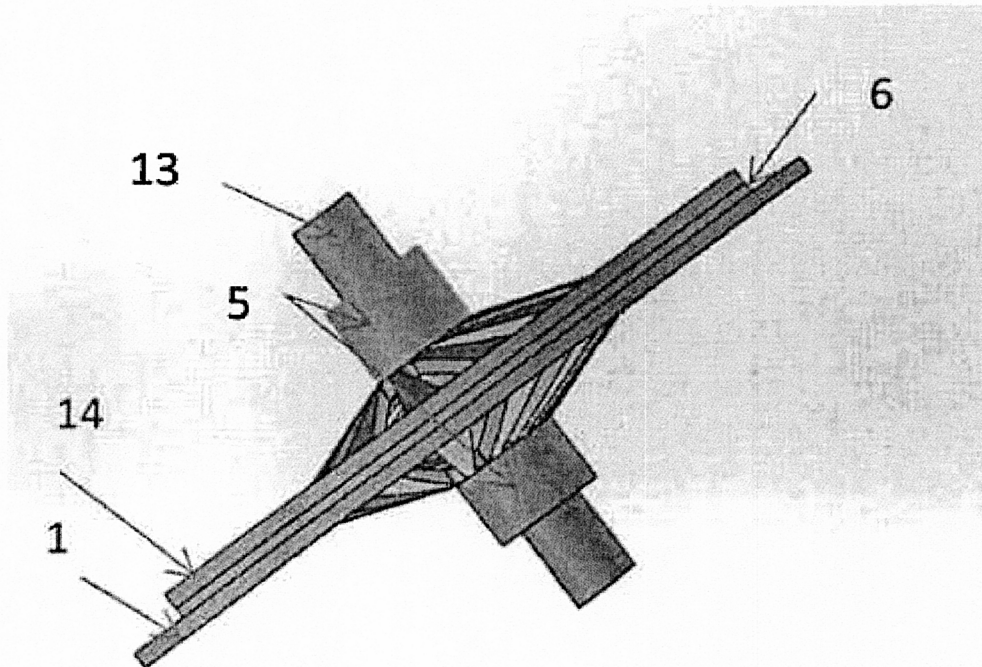


Fig. 4

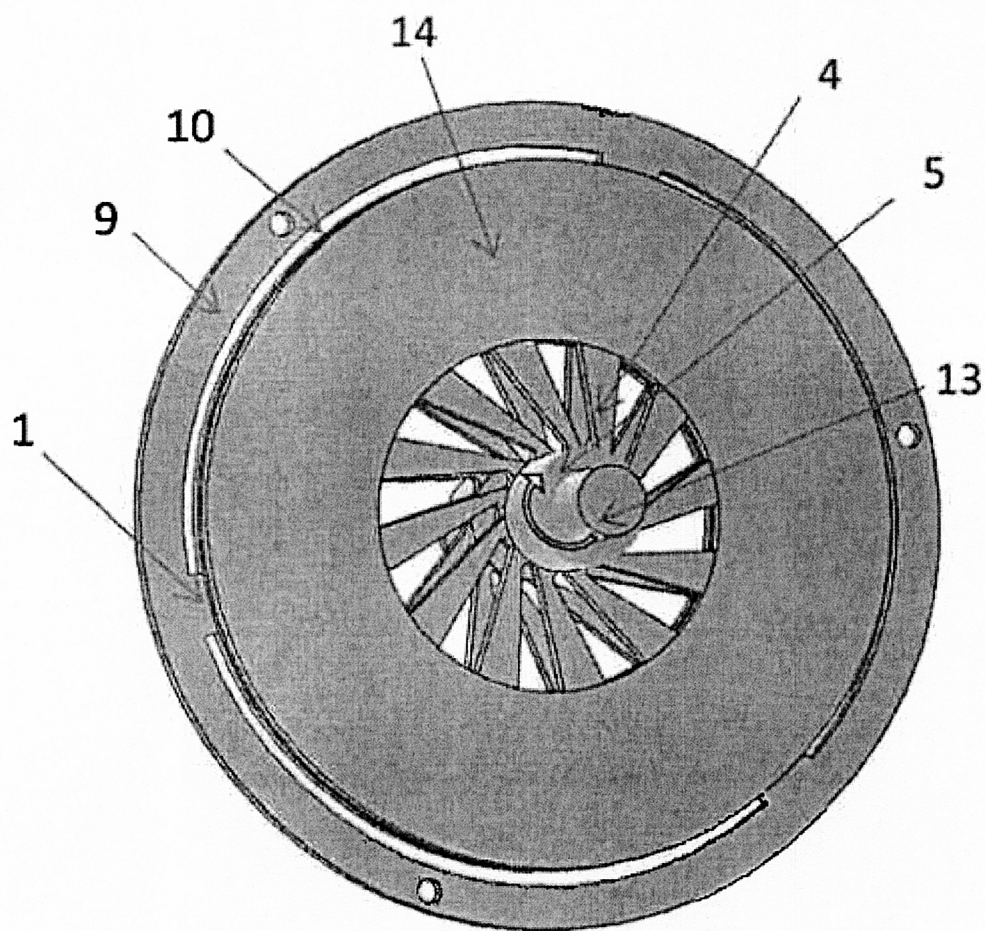


Fig. 5

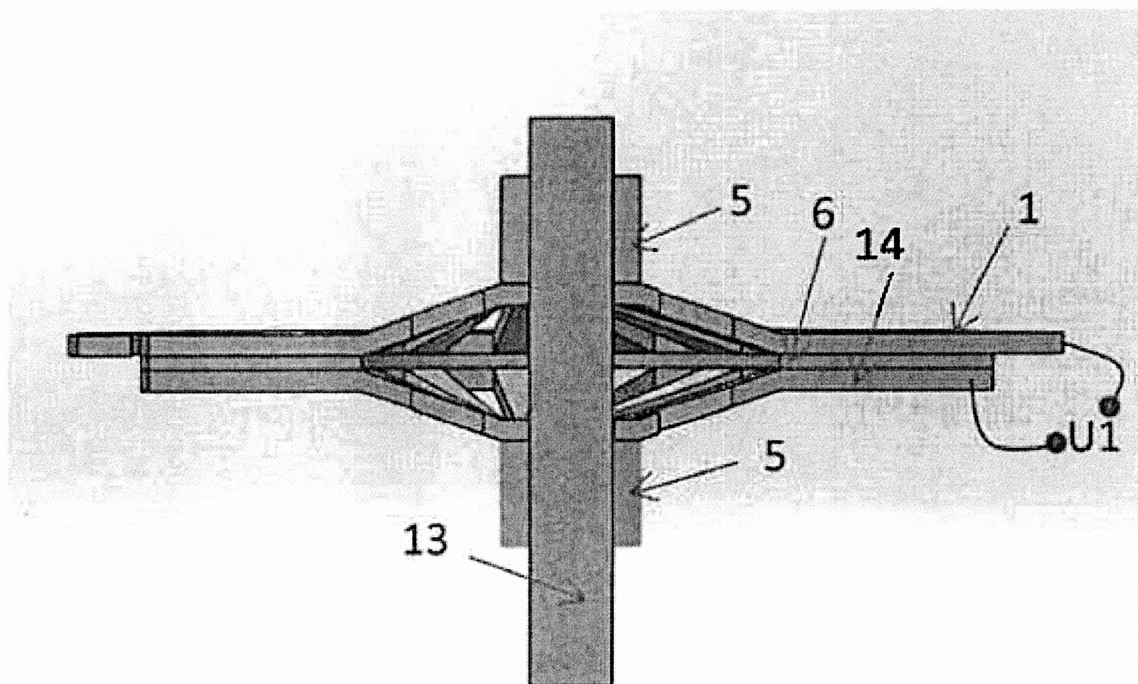


Fig. 6

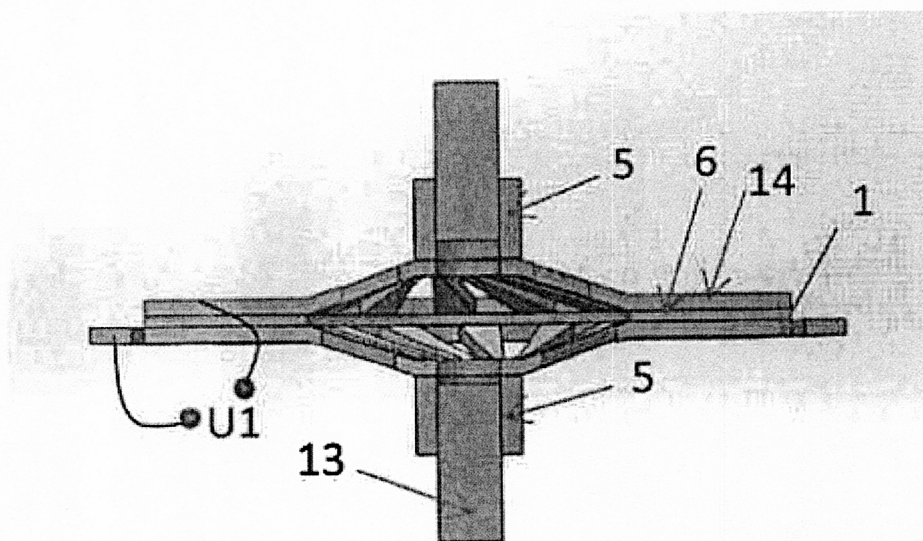


Fig. 7

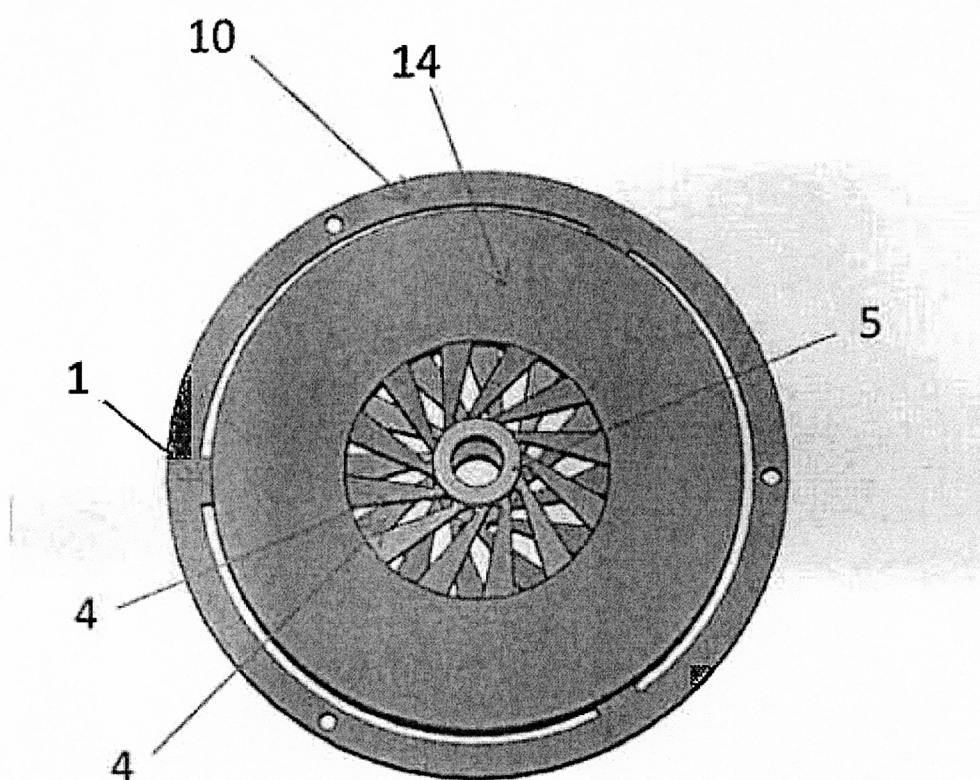


Fig. 8

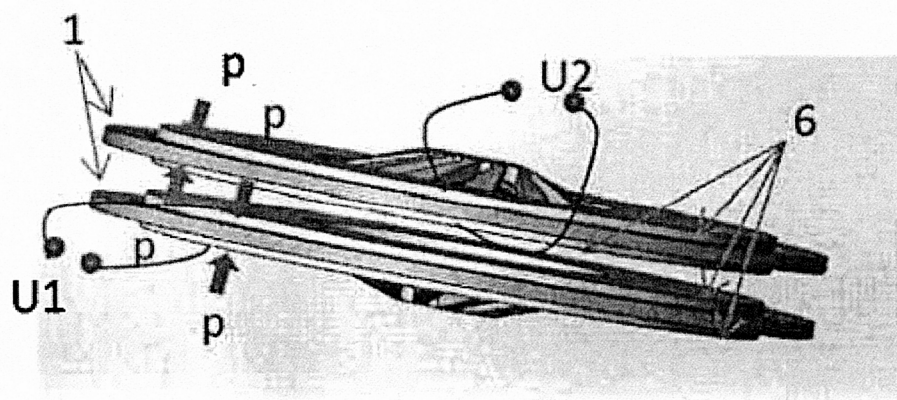


Fig. 9

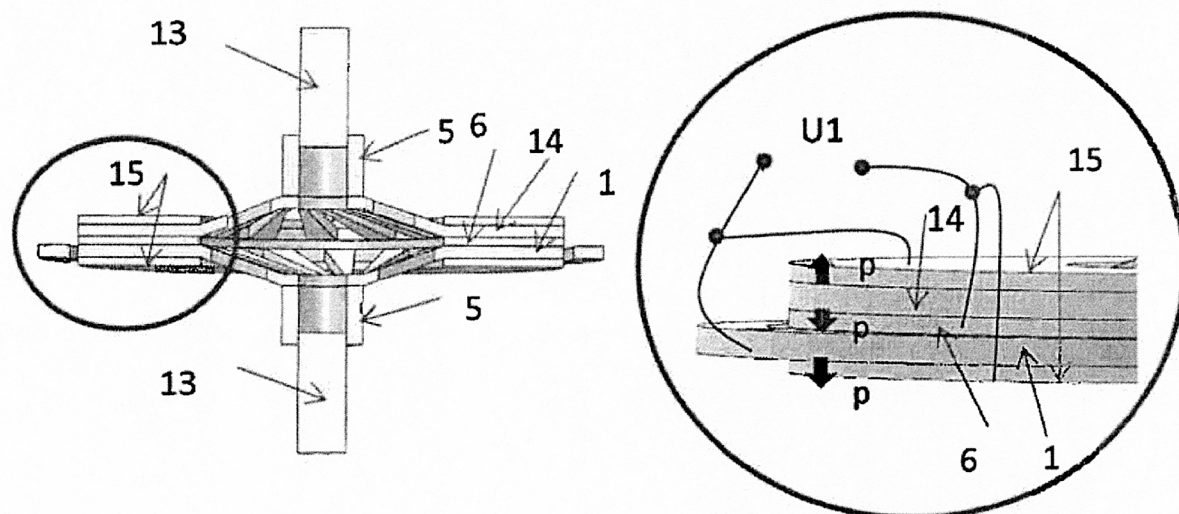


Fig. 10