



(10) **LT 5970 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patent numeris: **5970** (51) Int. Cl. (2013.01): **F01C 9/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2012 017**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2012 03 09**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2013 09 25**
- (45) Patent paskelbimo data: **2013 11 25**
- (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:
Sigitas KUDARAUSKAS, LT
- (73) Patent savininkas:
UAB „Modernios E-Technologijos“, Taikos pr. 7, LT-31107 Visaginas, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
—

- (54) Pavadinimas:
Valdomas laisvų svyruojančių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginys
- (57) Referatas:

Įrenginys priklauso turinėms šiluminėms mašinoms, integruotoms su švytuojamosiomis elektros mašinomis. Stirlingo ciklo įrenginyje naudojami du ar daugiau laisvų svyruojančių mentinių stūmoklių šiluminių mašinų ir švytuojamųjų sukiųjų elektros mašinų komplektai. Stūmoklių švytavimo amplitudė, fazė ir spektras valdomas elektronikos priemonėmis per švytuojamąsias elektros mašinas. Kiekvienoje šiluminėje mašinoje darbo kameros sudaromos arba tarp dviejų mentinių stūmoklių grupių, švytuojančių priešingomis kryptimis, arba tarp mentinių stūmoklių grupės ir fiksuotų pertvarų cilindruose. Karštosios ir šaltosios darbo kameros tarpusavyje sujungiamos per vidinius ar (ir) išorinius šilumokaičius bei regeneratoriums taip, kad sudarytų daugiacylinдрį Stirlingo ciklo įrenginį. Švytuojamosios elektros mašinos valdomos taip, kad skirtingų mašinų rotorių švytavimų fazių skirtumas būtų lygus ketvirčiui periodo, o judesio kitimo forma būtų artima lygiašoniui trikampiui.

Technikos sritis

Valdomas laisvų svyruojančių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginys priklauso turinėms šiluminėms mašinoms, integruotoms su švytuojamosiomis sukiosiomis elektros mašinomis. Tokie įrenginiai gali būti naudojami kaip išorės degimo (ar naudojančios kitą šiluminės energijos šaltinį) varikliai, varantys elektros generatorių (o taip pat kaip kogeneraciniai įrenginiai), arba kaip šilumos siurbiai, šaldytuvai, kriogeniniai įrenginiai, varomi švytuojamojo elektros variklio.

Technikos lygis

Yra žinomi Stirlingo ciklo tiesiaeigių stūmoklių įrenginiai, kuriuose stūmoklių eiga ir judesio dėsnį lemia kinematinė struktūra (taip vadinami kinematiniai Stirlingo įrenginiai). Tokių įrenginių stūmoklių veika dažniausiai yra nevaldoma, ar valdoma sudėtingomis mechanikos priemonėmis (pavyzdžiui, svyruojančio disko stūmokliniai įrenginiai su valdomu disko posvyrio kampu).

Yra žinomi laisvų tiesiaeigių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginiai, kurių stūmoklių eiga mechaniškai neapribota ir gali kisti, ir kurie integruoti su švytuojamąja tiesiaeige elektros mašina. Tokiuose įrenginiuose galimas stūmoklių švytavimo amplitudės valdymas elektrinėmis priemonėmis - pavyzdžiui, patentas US 4458489, 1984.07.10, "Resonant free-piston Stirling engine having virtual rod displacer and linear electrodynamic machine control of displacer drive/damping" ("Rezonansinis laisvų stūmoklių Stirlingo variklis, turintis virtualios jungties stūmoklį ir stūmoklio varymą/slopinimą tiesiaeige elektrodinamine mašina"). Tačiau tokiuose įrenginiuose stūmoklių švytavimo amplitudę, fazę ir spektrą lemia dinaminės švytuojančių sistemų savybės, ir šie rodikliai yra nevaldomi. Kaip ir kinematinėse Stirlingo mašinose, stūmoklių švytavimas yra artimas sinusiniam, todėl realizuojamas Stirlingo ciklas žymiai skiriasi nuo idealaus. Taip pat tokiuose įrenginiuose naudojamos nesubalansuotos mechaninė sistemos, sukeliančios nepageidautinas vibracijas.

Taip pat yra žinomi laisvų tiesiaeigių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginiai, kuriuose mechaninės sistemos subalansavimui naudojamas papildomas švytuojamasis tiesiaeigis variklis, veikiantis sudėtingoje aktyvioje vibracijų slopinimo uždarojoje sistemoje: patentas US 6933629, 2001.08.23, "Active balance system and vibration balanced machine" ("Aktyvi balansavimo sistema ir subalansuotų vibracijų mašina").

Žinomi ir tobulesni laisvų tiesiaiegių daugelio stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginiai, kuriuose stūmoklių eiga valdoma per integruotas švytuojamąsias tiesiaieiges elektros mašinas - pavyzdžiui, patentas US 7134279, 2006.11.14, "Double acting thermodynamically resonant free-piston multicylinder Stirling system and method" ("Dvipusės veikos termodinamiškai rezonansinė laisvų stūmoklių daugiacylinдрė Stirlingo sistema ir metodas"). Tačiau ir šioje sistemoje švytavimų spektras nevaldomas, išlieka vibracijų problema, o taip pat tiesiaiegių įrenginių trūkumai, susiję su tiesinio judesio kreipiklių problemomis.

Tiesiaiegių stūmoklių šiluminių mašinų trūkumus, kai stūmokliai veikiami alkūninio veleno ir švaistiklio mechanizmo (ar kitokio analogiško mechanizmo) sukiamų skersinių jėgų, bandoma spręsti, naudojant svyruojančius stūmoklius su sukimosi kreipikliais - pavyzdžiui, Vokietijos patentas 292633, 1914.04.08 "Explosionskraftmaschine mit vier in einem ringformigen Zylinder schwingenden Kolben" ("Šiluminis variklis turintis keturis svyruojančius stūmoklius viename žiediniame cilindre"). Nors tokiose konstrukcijose išvengiama skersinių stūmoklių jėgų, tačiau toroidinės formos darbo kameros ir atitinkami stūmokliai yra sudėtingos, netechnologiškos formos.

Taip pat yra žinomos ir svyruojančių mentinių stūmoklių šiluminės mašinos su sukimosi kreipikliais. Pavyzdžiui, patente US 5086732, 1992.02.11 "Four stroke concentric oscillating rotary vane internal combustion engine" ("Keturtaktis koncentrinis švytuojamųjų sukiųjų menčių vidaus degimo variklis") turi cilindrinėje ertmėje dvi fiksuotas mentes ir dvimentį svyruojantį stūmoklį, sukurianti cilindrinėje ertmėje keturias kintamo tūrio darbo kameras. Šio įrenginio trūkumas - panaudotas sudėtingas mechaninio judesio keitiklis, sukiuosius švytavimus keičiantis į nuolatinį sukimąsi, tuo pačiu nulemiantis fiksuotą stūmoklių eigą.

Yra žinomos ir laisvų svyruojančių mentinių stūmoklių šiluminės mašinos. Pavyzdžiui, patente US 6270322, 2001.08.07, "Internal combustion engine driven hydraulic pump" ("Vidaus degimo variklis varantis hidraulinį siurbį") patentuojamas laisvų svyruojančių mentinių stūmoklių vidaus degimo variklis integruotas su analogiškos konstrukcijos hidraulinio siurbliu. Įrenginys pasižymi sukimosi kreipiklių naudojimo privalumais, subalansuota mechanine sistema, o taip pat realizuoja progresyvų tiesioginės pavaros principą - variklis ir varomasis įtaisas tarpusavyje sujungti be mechaninio judesio keitiklio, tačiau negalimas tiesioginis veikos valdymas

elektronikos priemonėmis.

Laisvų svyruojančių stūmoklių šiluminės mašinos, integruotos su švytuojamąja sukiąja elektros mašina, įrenginys, o taip pat jo valdymo elektrinėmis priemonėmis galimybės, aprašytos Lietuvos Respublikos patente LT 5404, 2007.03.26, "Laisvų svyruojančių stūmoklių šiluminė mašina" ir analogiško pavadinimo JAV patente US 7827901, 2010.10.09, "Free swinging piston heat machine". Šiuose patentuose nurodyta principinė galimybė konstrukcinį sprendimą taikyti ir Stirlingo ciklo įrenginiuose. Todėl šio išradimo tikslas - konkretizuoti šio artimiausiojo analogo konstrukcijos principus, jį naudojant Stirlingo ciklo įrenginyje.

Išradimo esmė

Išradimo esmę sudaro tai, kad Stirlingo ciklo įrenginyje naudojami du ar daugiau laisvų svyruojančių stūmoklių šiluminių mašinų ir švytuojamųjų sukiųjų elektros mašinų komplektai, šiluminių mašinų kintamo tūrio darbo kameras atitinkamai sujungiant tarpusavyje per šilumokaičius, regeneratoriums, o stūmoklių švytavimo amplitudę, fazę ir spektrą valdant elektronikos priemonėmis per švytuojamąsias elektros mašinas. Šios priemonės įgalina sukurti kompaktiškesnį, aukštesnio naudingumo koeficiento, efektyviai valdomą įvairios paskirties Stirlingo ciklo įrenginį.

Trumpas brėžinių aprašymas

Figūroje 1 pavaizduota valdomo laisvo svyruojančio dvimenčio stūmoklio Stirlingo ciklo įrenginio struktūros schema, kiekvienoje šiluminėje mašinoje įrengtos skirtingų temperatūrų darbo kameros ir kai šilumokaičiais panaudotos šiluminės mašinos korpuso dalys, kurių kanaluose cirkuliuoja išorinių šilumnešių skysčiai, o dviejų šiluminių mašinų stūmokliai tiesiogiai sujungti su dviejų švytuojamųjų sukiųjų elektros mašinų rotoriais.

Figūroje 2 pavaizduota Stirlingo įrenginio schema, kai šiluminės mašinos turi po du dvimenčius stūmoklius, svyruojančius priešingomis kryptimis, o švytuojamosios sukiosios elektros mašinos turi po du rotorius, kurie tiesiogiai sujungti su atitinkamų šiluminių mašinų stūmokliais.

Figūroje 3 pavaizduota analogiško įrenginio schema, kai tarp darbo kamerų ir regeneratorių įrengti išoriniai šilumokaičiai (kaitintuvas ir aušintuvas).

Figūroje 4 pavaizduota analogiško Stirlingo įrenginio schema, kai kiekvienoje šiluminėje mašinoje įrengtos vienodos temperatūros darbo kameros.

Figūroje 5 pavaizduotas darbo tūrių kitimo grafikas, kai siekiama idealaus Stirlingo ciklo su izochoriais procesais, sukuriama vieno elementaraus Stirlingo ciklo mazgo stūmokliams keičiant šio mazgo darbo tūrį priešingomis kryptimis.

Išradimą apibūdinantys duomenys

Valdomas laisvų svyruojančių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginys susideda iš dviejų identiškų tūrinių šiluminių mašinų 1' ir 1'', kurių cilindrinė korpuso ertmė padalinta į keturias kintamo tūrio darbo kameras. Šios darbo kameros sudaromos arba tarp dviejų fiksuotų cilindrinės ertmės pertvarų ir dvimenčio svyruojančio stūmoklio (Fig. 1, Fig. A) arba tarp dviejų mentinių stūmoklių, svyruojančių apie korpuso ašį priešingomis kryptimis (Fig. 2, Fig. 3). Įrenginyje yra dvi švytuojamosios sukiosios elektros mašinos 2' ir 2'', turinčios po vieną rotorių (Fig. 1) arba po du rotorius, švytuojančius priešingomis kryptimis (Fig. 2, Fig. 3). Kiekvienos šiluminės mašinos stūmoklių grupės tiesiogiai sujungtos su atitinkamais elektros mašinų rotoriais (paveiksluose šios jungtys schemiškai pavaizduotos riebiomis punktyrinėmis linijomis, o konkretūs jungčių konstrukcijos variantai gali būti įvairūs (kaip tai aprašyta artimiausio analogo patentuose). Šiluminių mašinų viršutinėje dalyje esančios karštosios darbo V_{k1} , V_{k2} , V_{k3} , V_{k4} sujungtos per regeneratoriumus 4 (Fig. 1) arba per išorinius kaitintuvus 3, regeneratoriumus 4, išorinius aušintuvus 5 (Fig. 2, Fig. 3) su šaltosiomis darbo kameromis $V_{š1}$, $V_{š2}$, $V_{š3}$, $V_{š4}$ šiluminių mašinų apatinėje dalyje. Tokiu būdu visos darbo kameros ir kiti elementai nuosekliai sujungiami į vieną bendrą daugiacylinдрio Stirlingo įrenginio sistemą, darbo kamerų poroms V_{k1} ir $V_{š2}$, V_{k2} ir $V_{š3}$, V_{k3} ir $V_{š4}$, V_{k4} ir $V_{š1}$ sudarant elementarius Stirlingo ciklo įrenginio mazgus.

Kiekviena šiluminė mašina gali būti sudaryta ir iš vienodų temperatūrų darbo kamerų, jas tinkamai tarpusavyje sujungiant (Fig. 4), ir atitinkamoms darbo kameroms veikiant lygiagrečiai.

Visos darbo kameros, jas jungiantys kanalai ir regeneratoriai yra užpildyti dujiniu darbo agentu (pavyzdžiui, oru, heliu, vandeniliu, azotu).

Švytuojamosios elektros mašinos jungiamos su išorine elektros grandine (išoriniu elektros tinklu) per maitinimo ir valdymo bloką 7.

Kai Stirlingo ciklo įrenginio išoriniais šilumnešiais naudojami skysčiai, tai

šilumokaičiais gali būti naudojamos atitinkamos šiluminių mašinų korpuso dalys su jose įrengtais kanalais šilumnešiui cirkuliuoti, o tarp skirtingų temperatūrų korpuso dalių įrengiami termoizoliaciniai tarpai 6 (Fig. 1, Fig. 2).

Įrenginio veikimas (pavyzdžiui, Stirlingo variklio - mechaninės energijos šaltinio) pagrįstas periodiniu slėgio kitimu tarpusavyje sujungtose darbo kamerose, kurį sukelia per šilumokaičius perduodama šiluminė energija darbo agentui. Periodinis slėgio kitimas priverčia svyruoti mentinius stūmoklius, kurie mechaninę energiją perduoda švytuojamiesiems elektros generatoriams, gaminantiems elektros energiją. Inversinio Stirlingo ciklo įrenginiai (šaldytuvai, šilumos siurbliai) naudoja švytuojamųjų elektros variklių mechaninę energiją, sukeldami šiluminės energijos perdavimą iš žemesnės temperatūros šaltinio į aukštesnės temperatūros šaltinį.

Valdomo laisvų svyruojančių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginio darbo metu švytuojamosios sukiosios elektros mašinos valdomos taip, kad švytavimo fazės skirtumas būtų lygus ketvirčiui periodo. Tokiu būdu šis įrenginys, turintis keturias darbo kamerų poras, veikia taip pat, kaip ir daugiacylinдрė Stirlingo mašina (žr. aukščiau nurodytą analogą - patentas US 7134279). Kad įtaiso darbo ciklas būtų artimas idealiam Stirlingo ciklui, švytuojamosios elektros mašinos valdomos taip, kad darbo tūrių kitimo grafikas būtų artimas lygiašoniui trikampiui, kaip kad pavaizduota Fig. 5. Taip gaunami izochoriai ciklo procesai - kiekvienos atitinkamų karštų ir šaltų darbo kamerų poros pastovaus suminio tūrio intervalai.

Valdomas laisvų svyruojančių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginys pasižymi daugeliu pranašumų, lyginant su žinomais tiesiaėigiais įrenginiais: maži trinties nuostoliai sukimosi kreipikliuose; mentiniai stūmokliai gali nesitrinti su korpusu, paliekant nereikalaujančius papildomo sandarinimo minimalius tarpelius tarp judančių vienas kito atžvilgiu paviršių; įrenginys gali sudaryti subalansuotą mechaninę sistemą, nesukeliantią vibracijų (Fig. 2, Fig. 3); paprasta ir technologiška šiluminių mašinų konstrukcija - visų pagrindinių detalių paviršiai yra plokšti arba cilindriniai; švytuojamosios sukiosios elektros mašinos turi optimalią uždara magnetinę grandinę; stūmoklių švytavimo amplitudė, fazė ir spektras valdomi elektroninėmis priemonėmis per švytuojamąsias elektros mašinas, kas leidžia pasiekti darbo ciklą, artimą idealiam Stirlingo ciklui.

Išradimo apibrėžtis

1. Valdomas laisvų svyruojančių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginys, susidedantis iš turinės šiluminės mašinos korpuso, kurio cilindrinėje ertmėje įrengti svyruojantys mentiniai stūmokliai, padalinantys cilindrinę ertmę į keturias kintamo tūrio darbo kameras, o koncentriškai su šia šilumine mašina įrengta švytuojamoji sukioji elektros mašina, kurios rotorius tiesiogiai sujungtas su mentinių stūmoklių grupe, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad Stirlingo ciklo įrenginyje įrengti du ar daugiau laisvų svyruojančių stūmoklių šiluminių mašinų ir švytuojamųjų sukiųjų elektros mašinų komplektai, kurių stūmoklių švytavimo amplitudė, fazė ir spektras valdomi elektronikos priemonėmis, valdant švytuojamųjų elektros mašinų veikimą, o šiluminės mašinų karštosios ir šaltosios darbo kameros sujungtos tarpusavyje taip, kad sudarytų elementarius Stirlingo ciklo mazgus, sudarančius daugiacylinčio Stirlingo įrenginio sistemą.

2. Įrenginys pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad šilumokaičiais naudojamos šiluminių mašinų korpuso dalys su įrengtais jose kanalais išoriniams skystiems šilumnešiams cirkuliuoti, o šiluminių mašinų karštosios darbo kameros per regeneratoriumis sujungtos su šaltosiomis darbo kameromis.

3. Įrenginys pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad šiluminių mašinų karštosios darbo kameros sujungtos per išorinius kaitintuvus, regeneratoriumis, išorinius aušintuvus su šaltosiomis darbo kameromis.

4. Įrenginys pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad šilumokaičiais naudojamos šiluminių mašinų korpuso dalys su įrengtais jose kanalais išoriniams skystiems šilumnešiams cirkuliuoti, o šiluminių mašinų karštosios darbo kameros sujungtos per išorinius kaitintuvus, regeneratoriumis, išorinius aušintuvus su šaltosiomis darbo kameromis.

5. Įrenginys pagal 2 punktą, arba 3 punktą, arba 4 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad šiluminių mašinų cilindrinėse ertmėse įrengtos dvi fiksuotos pertvaros ir svyruojantis dvimentis stūmoklis, tiesiogiai sujungtas su švytuojamosios sukiosios elektros mašinos rotoriumi.

6. Įrenginys pagal 2 punktą, arba 3 punktą, arba 4 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad šiluminių mašinų cilindrinėse ertmėse įrengti dvi analogiškos mentinių stūmoklių grupės, svyruojančios priešingomis kryptimis, o švytuojamosios sukiosios

elektros mašinos turi po du rotorius švytuojančius priešingomis kryptimis ir tiesiogiai sujungtus su atitinkama stūmoklių grupe.

7. Įrenginys pagal 5 arba 6 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad švytuojamosios elektros mašinos valdomos taip, kad jų rotorių švytavimo fazių skirtumas būtų lygus ketvirčiui periodo.

8. Įrenginys pagal 5 arba 6 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad siekiant realizuoti idealų Stirlingo ciklą su izochoriais procesais, švytuojamosios elektros mašinos valdomos taip, kad švytavimo judesio kitimo forma būtų artima lygiašoniame trikampiui.

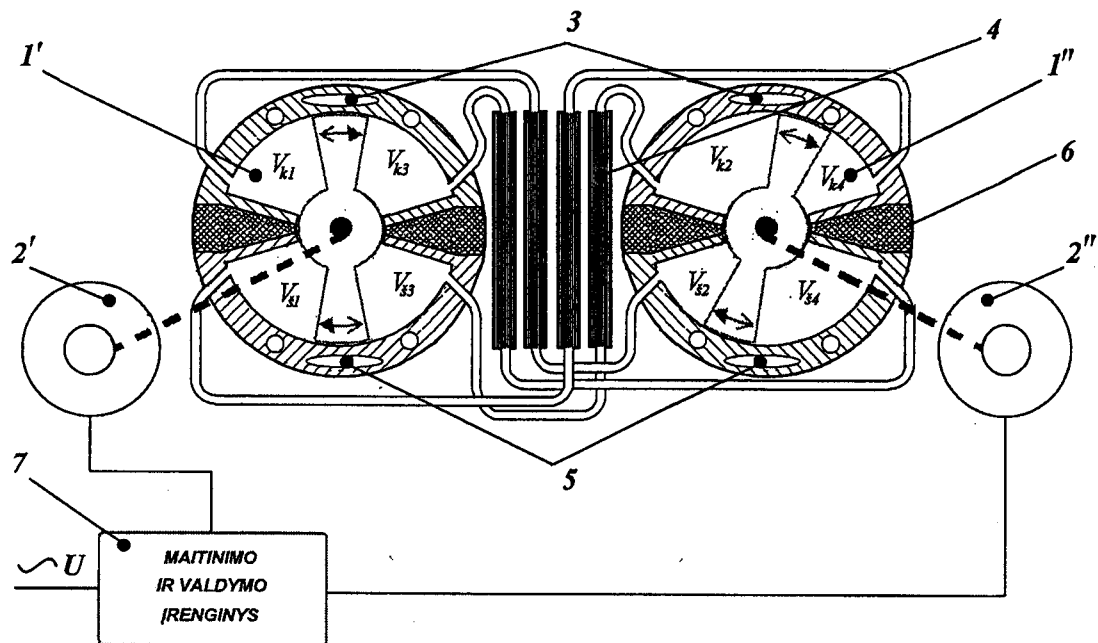


Fig. 1

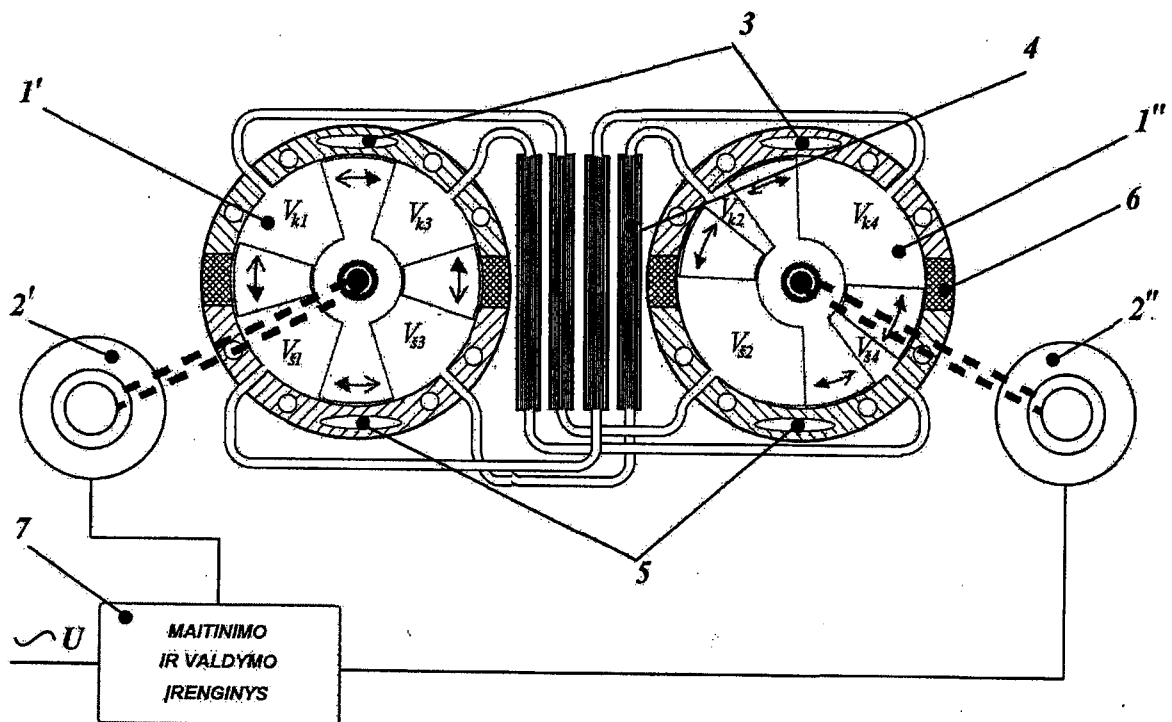


Fig. 2

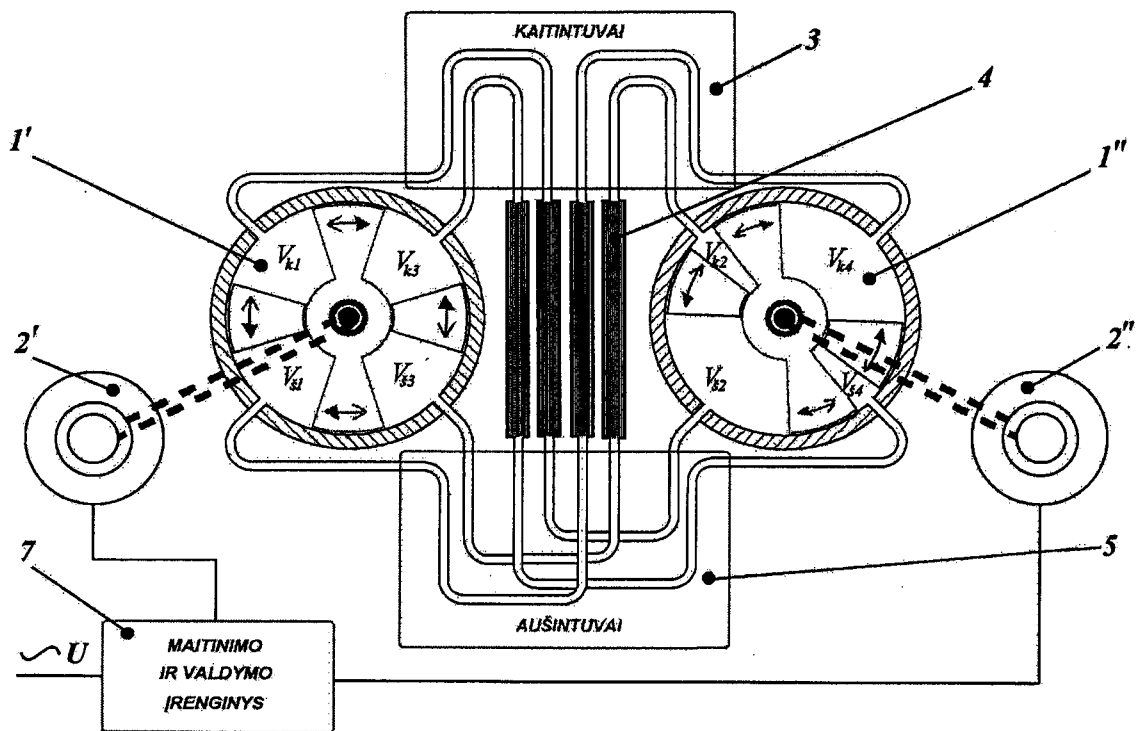


Fig. 3

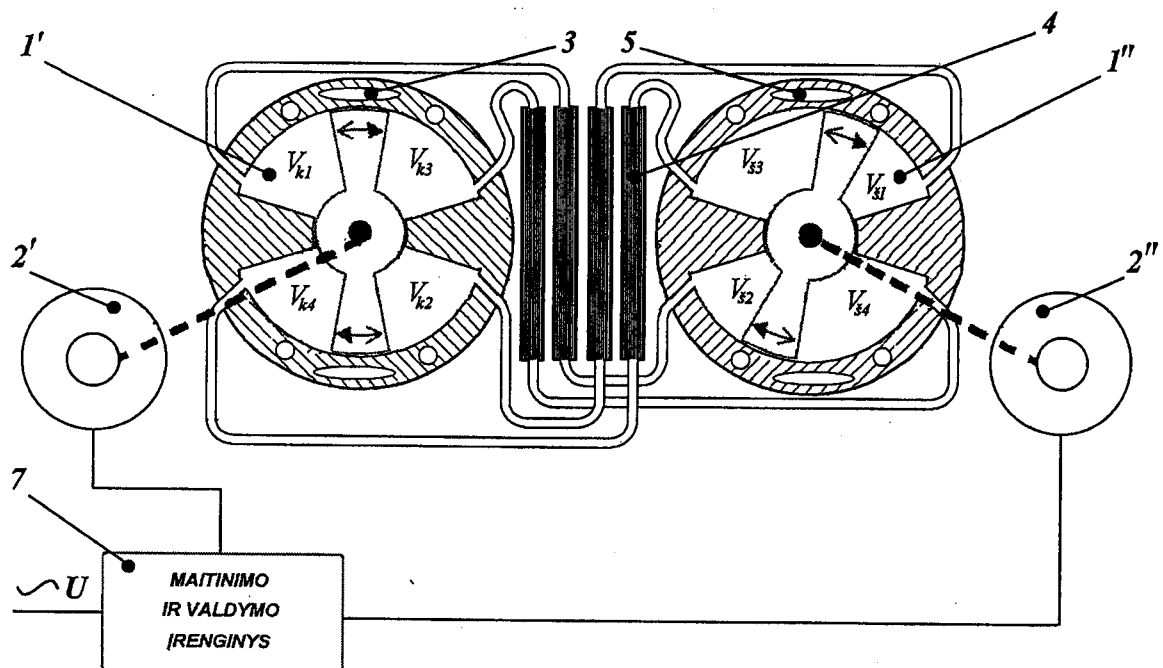


Fig. 4

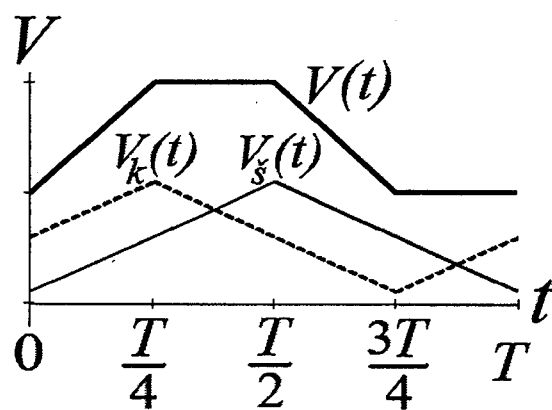


Fig. 5