

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2021 506**
(22) Paraiškos padavimo data: **2021-03-02**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2022-09-26**
(45) Patento paskelbimo data: **2022-12-12**

(73) Patento savininkas:
Kauno Technologijos Universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44029 Kaunas, LT
(72) Išradėjas:
Arūnas KLEIVA, LT
Rolanas DAUKŠEVIČIUS, LT
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Otilija KLIMAITIENĖ, 35, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT

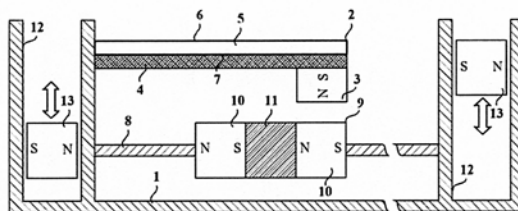
LT 6963 B

(54) Pavadinimas:

Igreitintais magnetais sužadinamas pjezoelektrinis generatorius

(57) Referatas:

Išradimas priskiriamas elektros generavimo įrenginiams, naudojantiems pjezoelektrinį efektą. Tai pjezoelektrinis „virpesių energijos surinkimo“ generatorius, kurio elektros gamybos efektyvumas ir stabilumas, veikiant žemo dažnio (<10 Hz) virpesiams, yra didesnis nei žinomų analogų. Generatoriaus konstrukcija apima korpusą (1), gembės tipo pjezoelektrinį keitiklį (2) su magnetine mase (3), ir specialią įgreitinančiųjų bei varančiųjų magnetų sistemą. Įgreitinantys magnetai (13), veikiami išorinių virpesių ir inercijos jėgų, juda generatoriaus korpusu (1) specialiuose loveliuose (12), bei magnetinės sąveikos dėka nekontaktiniu būdu stumdo varančiųjų magnetų (10) masę (9). Masė (9) apima bent 2 magnetus (10), atskirtus neferomagnetine tarpine (11). Veikiamas įgreitinančių magnetų, masė (9) slankioja sąlyginai aukštu ir pastoviu greičiu, sąveikauja su keitiklio (2) magnetine mase (3), deformuoja gembę ir generuoja aukštadažnius sustiprintus pjezoelektrinio keitiklio (2) virpesius. Šis generatorius yra tinkamas ir efektyvus, žadinant jį žemadažniais, pavyzdžiui, biomechaniniais virpesiais, kuriuos sukelia aktyviai judančio žmogaus galūnių mostai.



1 pav.

IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priskiriamas elektros energijos generavimo įrenginiams, naudojantiems tiesioginį pjezoelektrinį efektą. Konkrečiau, tai įgreitintais magnetais žadinamas pjezoelektrinis generatorius, efektyviai konvertuojantis žemadažnius, pavyzdžiui, biomechaninius, virpesius į elektros energiją.

TECHNIKOS LYGIS

Šioje technikos srityje yra žinoma įvairių įrenginių, kuriuose elektros energija generuojama pjezoelektrinį keitiklį žadinant mechaniniais virpesiais.

JAV patentinėje paraiškoje US2011/0074162A1 ir patente US8350394B2 (prioriteto data 2009-09-30) aprašytas pjezoelektrinis generatorius, susidedantis iš dviejų gembinio tipo pjezoelektrinių keitiklių su galuose pritvirtintomis skirtingo dydžio koncentruotomis masėmis, kurie, juos sužadinus mechaniniais virpesiais, smūgiuoja vienas į kitą ir įgyja didelį deformavimo greitį. Tokiu būdu, didesniu greičiu deformuojami keitiklių pjezoelektriniai sluoksniai gamina didesnę elektros energijos kiekį. Tačiau, šiame įrenginyje naudojami vienas į kitą smūgiuojantys pjezoelektriniai keitikliai, kurių nuolatiniai susidūrimai sąlygoja triukšmingą veikimą bei kontaktuojančių medžiagų dėvėjimąsi, todėl toks generatorius nepilnai tenkina ergonominius, patikimumo ir ilgaamžiškumo reikalavimus.

Kitoje JAV patentinėje paraiškoje US2012/0267982A1 (prioriteto data 2006-12-22) aprašytas pjezoelektrinis generatorius, susidedantis iš kelių gembės tipo pjezoelektrinių keitiklių, su jų galuose pritvirtintomis magnetinėmis masėmis bei po jais slankiojančio varančiųjų magnetų masyvo, kur nepertraukiamos magnetinės sąveikos tarp varančiųjų ir keitiklio magnetinių masių dėka periodiškai deformuojamas keitiklis, ir tokiu būdu pjezoelektriniuose sluoksniuose gaminama elektros energija. Šiame įrenginyje naudojamas spyruoklėmis kraštuose įtvirtintas varančiųjų magnetų masyvas deformuoja vieną iš pjezoelektrinių keitiklių nenutrūkstamomis magnetinės sąveikos jėgomis. Todėl keitiklio deformavimas yra dinamiškai suvaržomas magnetinių jėgų, o keitiklių virpesių dažnį tiesiogiai sąlygoja varančiųjų magnetų masyvo judėjimo greitis. Todėl tokio generatoriaus gaminamos elektros energijos kiekis nėra pakankamai stabilus esant kintančioms išorinio vibracinio sužadinimo sąlygoms. Taip pat, esant žemo dažnio sužadinimui - nesukeliami intensyvūs aukšto dažnio lenkimo virpesiai. Tokiu atveju dėl

pjezoelektrinių sluoksnių pernelyg žemo deformavimo greičio bei mažos amplitudės, šio pjezoelektrinio generatoriaus gaminamos elektros energijos kiekis ženkliai krenta.

Šiuo išradimu sprendžiami minėtuose analoguose pastebėti trūkumai, ir realizuojamas bekontaktis, stabilizuotas bei aukštesnio efektyvumo mechaninės energijos pjezoelektrinis konvertavimas žemų dažnių diapazone.

IŠRADIMO ESME

Pjezoelektrinis generatorius yra „virpesių energijos surinkimo“ (*angl. vibration energy harvesting*) įtaisas, kuris dažniausiai efektyviai generuoja elektros energiją, veikiant apie 100 Hz ir didesnio dažnio virpesiams. Šio išradimo tikslas yra padidinti ir stabilizuoti laike pjezoelektrinio generatoriaus gaminamą elektros energijos kiekį, kai generatorių veikia sąlyginai žemo dažnio (<10 Hz) didelės amplitudės virpesiai (pavyzdžiui, biomechaniniai virpesiai žmogaus kūno judesių pavidalu). Tam yra panaudotos specialios bekontaktės magnetinės sąveikos priemonės, stiprinančios ir suvienodinančios pjezoelektrinio keitiklio aukštadažnius lenkimo virpesius. Generatorių veikiant žemadažniais (<10 Hz) didelės amplitudės virpesiais, dėka jame sumontuotų magnetų judėjimo ir sąveikos, pjezoelektriniame keitiklyje yra sužadunami sustiprinti aukštadažniai (>100 Hz) lenkimo virpesiai, deformuojantys pjezoelektrinius sluoksnius ir taip generuojantys elektros energiją.

Generatoriaus konstrukcija apima korpusą, jame sumontuotą pjezoelektrinį keitiklį, sudarytą iš gembės su magnetine mase, ir specialią įgreitinančiųjų ir varančiųjų magnetų sistemą. Įgreitinantys magnetai, veikiami išorinių žemo dažnio virpesių, juda generatoriaus korpuse bei savo magnetinės sąveikos dėka stumdo varančiųjų magnetų masyvą. Varančiųjų magnetų masyvas yra sudarytas iš bent 2 magnetų, atskirtų vienas nuo kito nemagnetinėmis tarpinėmis, ir šis masyvas, veikiamas įgreitinančių magnetų, juda sąlyginai aukštu ir pastoviu greičiu. Šis masyvas, judėdamas slenkamai žemiau pjezoelektrinio keitiklio gembės, tam tikrais laiko momentais savo magnetinėmis jėgomis veikia gembės magnetinę masę, deformuoja gembę ir, atitinkamai, generuoja aukštadažnius sustiprintus pjezoelektrinio keitiklio virpesius. Minėti aukštadažniai virpesiai generuojami efektyviai tada, kai keitiklio deformavimo procesas tenkina dvi sąlygas:

$$t_i = 0.5T_t \text{ ir } t_p = T_t,$$

kur t_i – vieno varančiojo magneto sąveikos su keitiklio magnetine mase

trukmė, T_t – keitiklio su magnetine mase laisvųjų virpesių periodas, t_p – laiko intervalas tarp dviejų gretimų, varančiaisiais magnetais sukeliamų, keitiklio deformavimo momentų.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Išradimas paaiškintas brėžiniuose. Priedamos schemos ir brėžiniai yra išradimo aprašymo sudedamoji dalis ir pateikiami, kaip nuoroda į galimą išradimo įgyvendinimą, bet neturi riboti išradimo apimtį.

1 pav. Įgreitintais magnetais sužadinamo pjezoelektrinio generatoriaus žemadažnių biomechaninių virpesių konvertavimui į elektros energiją principinė schema.

2 pav. Įgreitintais magnetais sužadinamo pjezoelektrinio generatoriaus generuojamo tipinio pereinamojo įtampos signalo schematinis vaizdas.

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Įrenginio konstrukcija. Generatoriaus konstrukcija pavaizduota 1 paveiksle. Pjezoelektrinis generatorius susideda iš korpuse 1 įtvirtinto gembės tipo aukštadažnio pjezoelektrinio keitiklio 2, kuris laisvajame gale standžiai sujungtas su magnetine mase 3. Pjezoelektrinis keitiklis 2 susideda iš stačiakampės formos pagrindo 4, kuris padengtas pjezoelektriniu sluoksniu 5 su elektrodais 6, 7. Žemiau magnetinės masės 3, ant ašies 8 pritvirtintas varančiųjų magnetų masyvas 9 su mažiausiai dviem varančiaisiais magnetais 10, kurie yra vienas nuo kito atskirti neferomagnetine tarpine 11. Varančiųjų magnetų 10 masyvo 9 kraštuose, korpuso 1 šoniniuose loveliuose 12 patalpinti įgreitinantieji magnetai 13.

Įrenginio veikimas. Vertikalių (ar dalinai vertikalių) žemadažnių (<10 Hz) didelės amplitudės virpesių sukeltos inercijos jėgos veikia įgreitinančiuosius magnetus 13, kurie pradeda pakaitomis vertikaliai slankioti korpuso 1 loveliuose 12. Dėl magnetinės sąveikos, judantys įgreitinantieji magnetai 13 horizontaliai stumdo varančiųjų magnetų masyvą 9 (kuriame varančiųjų magnetų skaičius yra >1). Pirmajam varančiajam magnetui 10 praslenkant pro pjezoelektrinio keitiklio 2 magnetinę masę 3, magnetinės sąveikos sukeltos lenkimo jėgos deformuoja pjezoelektrinį keitiklį 2 iki pirmosios kraštinės padėties I. Pirmasis varantysis magnetas 10 slenka toliau ir tolsta nuo magnetinės masės 3. Kai keitiklio 2 nebeveikia pirmojo varančiojo magneto 10 magnetinės jėgos, jo deformavimosi

tolimesnis procesas vyksta laisvųjų virpesių režime iki kol pasiekama antroji kraštinė padėtis II. Šioje padėtyje II keitiklį 2 pradeda deformuoti antrasis varantysis magnetas 10, ir deformuoja iki tol, kol keitiklis 2 pasiekia kitą kraštinę padėtį III. Antrajam varančiajam magnetui nutolus nuo magnetinės masės 3, pjezoelektrinis keitiklis 2 toliau periodiškai deformuojasi pats, aukštadažnių didelės amplitudės laisvųjų virpesių režime ($1/T_t > 100$ Hz). Tokiu būdu, deformuojamo keitiklio 2 pjezoelektriniame sluoksnyje 5 sukuriama elektros krūviai, kurie kaupiasi ant elektrodų 6, 7, iš kurių perduodami į prie generatoriaus jungiamą išorinę elektros grandinę.

Pjezoelektrinio generatoriaus vieno ciklo (kuriame įvyksta varančiųjų magnetų 10 masyvo 9 vienkartinis prastūmimas pro pjezoelektrinio keitiklio 2 magnetinę masę 3) eigoje sugeneruojamas periodinis įtampos signalas, proporcingas pjezoelektrinių sluoksnių 5 deformavimo greičiui. Šis signalas yra sudarytas iš dviejų vibracinių etapų, pavaizduotų 2 paveiksle:

1) priverstinių virpesių etapo, kai pjezoelektrinį keitiklį 2 veikia magnetinės sąveikos sukeltos lenkimo jėgos (pavaizduotas storesne kreivės linija), ir

2) laisvųjų virpesių etapo, kai keitiklis 2 paleidžiamas laisvai virpėti dažniu $1/T_t > 100$ Hz (pavaizduotas plonesne kreivės linija).

Laiko momentai O ir II nurodo pirmojo ir paskesnio varančiųjų magnetų 10 sukulto priverstinių virpesių etapo pradžios momentus, atitinkamai. Laiko momentai I ir III nurodo priverstinių virpesių etapų pabaigą ir atitinkamas maksimalias įtampos amplitudes.

Generatoriaus veikimą charakterizuojančios generuojamo įtampos signalo trukmės yra šios:

t_i – varančiojo magneto 10 sąveikos su pjezoelektrinio keitiklio 2 magnetine mase 3, kai varantysis magnetas 10 deformuoja keitiklį ir generuojamas įtampos signalas, trukmė,

t_p – laiko intervalas tarp dviejų gretimų, varančiųjų magnetų 10 masyvo sukeliama, keitiklio 2 deformavimo ir įtampos generavimo momentų - šį laiko intervalą apsprendžia neferomagnetinės tarpinės 11 plotis.

Pramoninis taikymas. Ši konstrukcinių elementų visuma, su tinkamai parinktais magnetiniais, neferomagnetiniais ir pjezoelektriniais elementais - leidžia

žemo dažnio (<10 Hz) didelės amplitudės virpesių (pavyzdžiui, biomechaninių svyravimų, tokių kaip žmogaus kūno judesiai) energiją efektyviai paversti į elektros energiją. Išorinių žemo dažnio virpesių poveikis, per įgreitinančiuosius magnetus 13, suteikia varančiųjų magnetų 10 masyvui 9 sąlyginai aukštą ir pastovų judėjimo greitį. Šis greitis mažai priklauso (kinta gana neženkiai), kai išorinio (biomechaninio) sužadavimo sąlygos yra kintančios. Šiuo būdu suintensyvinami ir stabilizuojami pjezoelektrinio keitiklio 2 aukštadažniai lenkimo virpesiai, bei išgaunamas didesnis ir vienodesnis generatoriaus gaminamos elektros energijos kiekis realiomis eksploatacinėmis sąlygomis.

Pavyzdžiui, toks generatorius gali būti efektyviai naudojamas, pritvirtinus jį ant žmogaus galūnių, kurių mostų amplitudė ir dažnis nuolat kinta laike, priklausomai nuo žmogaus judėjimo intensyvumo lygio.

Taip pat, generatorius be apribojimų gali būti efektyviai naudojamas ir įvairiais kitais taikymo atvejais, kai veikia sąlyginai žemo dažnio (<10 Hz) didelės amplitudės virpesiai, kurie ženkliai mažesni už pjezoelektrinio keitiklio 2 laisvųjų virpesių dažnį.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Pjezoelektrinis generatorius, skirtas konvertuoti žemadažnius mechaninius virpesius į elektros energiją, apimantis mažiausiai

- korpusą (1),

- korpuse (1) įtvirtintą gembės tipo aukštadažnį pjezoelektrinį keitiklį (2), su jo gale pritvirtinta magnetine mase (3),

b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad papildomai apima:

- įgreitinančiuosius magnetus (13), galinčius judėti generatoriaus korpuse (1) loveliuose (12) iš inercijos, kai generatorių veikia išorinės aplinkos mechaniniai virpesiai,

- korpuse (1) įrengtą varančiųjų magnetų (10) masyvą (9), apimantį daugiau nei vieną varantįjį magnetą (10), kur masyvas (9) įrengtas taip, kad:

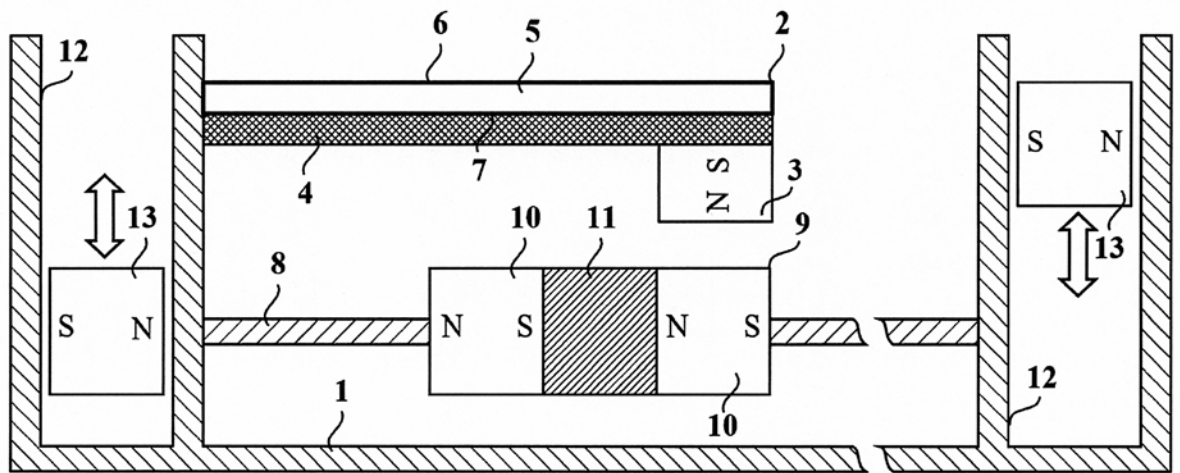
- įgreitinantieji magnetai (13), judėdami loveliuose (12), bekontakčiu būdu suteikia varančiųjų magnetų (10) masyvui (9) sąlyginai aukštą ir pastovų judėjimo greitį,

- masyvo (9) magnetai (10) suformuoti taip, kad judančio masyvo (9) vienas varantysis magnetas (10), sąveikaudamas su magnetine mase (3), deformuoja keitiklį (2), taip sukeldamas jo laisvuosius virpesius, o paskesnis varantysis magnetas (10) papildomai sustiprina keitiklio (2) laisvuosius virpesius.

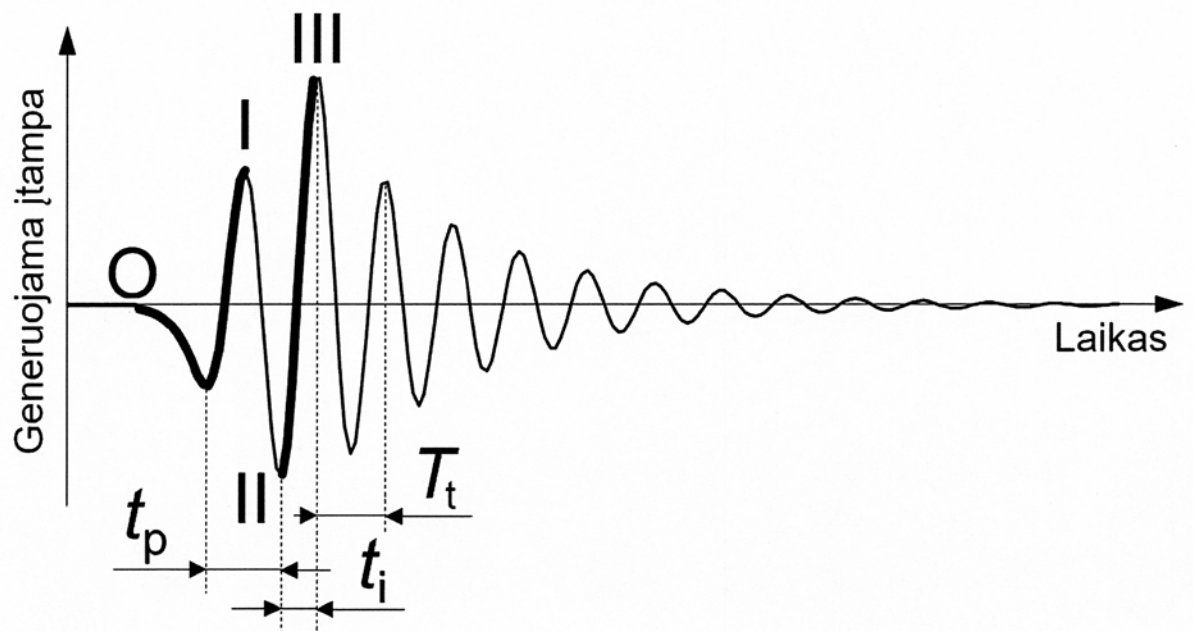
2. Generatorius pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s , tuo kad

- varančiųjų magnetų (10) judėjimo greitis konstruktyviai parinktas toks, kad judančio varančiojo magneto (10) sąveikos su keitiklio (2) magnetine mase (3) trukmė t_i yra lygi arba artima keitiklio (2) laisvųjų virpesių periodo T_t pusei, o

- varančiųjų magnetų (10) masyvo (9) konstrukcijoje sumontuoti ne mažiau nei du varantieji magnetai (10), kurie atskirti neferomagnetinėmis tarpinėmis (11), kurių plotis užtikrina keitiklio (2) virpesių stiprinimą, papildomai sužadinus jį paskesniu varančiuoju magnetu (10), kur laiko intervalas t_p tarp gretimais varančiaisais magnetais (10) sukeliamų keitiklio (2) deformavimo įvykių yra lygus arba artimas keitiklio (2) laisvųjų virpesių periodui T_t .



1 pav.



2 pav.