

**ŠIAULI UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Giedrius Raštutis

**PJEZOELEKTRINIAI VIBROVARIKLIAI
IR JŲ DINAMIKOS TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2011

**ŠIAULI UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**PJEZOELEKTRINIAI VIBROVARIKLIAI
IR JŲ DINAMIKOS TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Giedrius Raštutis (MM-9 gr.)

Vadovas – prof. dr. R.V. Ulozas

Recenzentas – doc. dr. R. Šniuolis

Katedros ved j as - doc. dr. A. Sabaliauskas

Šiauliai, 2011

TURINYS

SANTRAUKA	4
SUMMARY	5
PAVEIKSLŲ RAŠAS	6
VADAS	8
1. PJEZOELEKTRINI VIBROVARIKLI VEIKIMO PRINCIPO IR KONSTRUKCIJ ANALIZ	9
2. ROLAMAITINI PJEZOELEKTRINI VIBROVARIKLI VEIKIMO PRINCIPO IR KONSTRUKCIJ ANALIZ	26
3. SISTEMOS „RITIN LIS-JUOSTA“ DINAMINIS MODELIS	31
4. SISTEMOS „RITIN LIS-JUOSTA“ TEORINIAI TYRIMAI	36
5. ROLAMAITINI PJEZOELEKTRINI VIBROVARIKLI EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI	40
5.1. Dinamini procesai, vykstanti rolamaitinio PVBV sistemoje „ritin lis-juosta“, eksperimentiniai tyrimai	40
5.2. Dinamini procesai, vykstanti rolamaitiniuose PVBV, eksperimentiniai tyrimai	45
6. SUKURTOJI ROLAMAITINIO PVBV KONSTRUKCIJA	48
IŠVADOS	49
LITERATŪRA	50
PRIEDAI	52

ŠIAULI UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Giedrius Raštutis. PJEZOELEKTRINIAI VIBROVARIKLIAI IR JŲ DINAMIKOS TYRIMAS.
Magistranto baigiamasis darbas /vadovas prof.dr. R. V. Ulozas

SANTRAUKA

Darbe apžvelgtos pjezoelektrinių vibrovariklių (PVBV) konstrukcijos ir jų veikimo principas. Išnagrinėti PVBV, kuriuose buvo panaudotas strižas virpesių keitiklis (VK) su gisjudam elementu – plokštelėmis, juosta ar ritiniais, o taip pat PVBV su pjezoelektriniu VK su sudalintais elektrodais. Taip pat apžvelgtos PVBV konstrukcijos, kurių rotoriai yra su rezonatoriniais plokštelėmis ar plonais strypeliais.

Eksperimentiškai nustatyta, kad rotorinio nesinchroniškumas labiausiai išauga paprastame 2-jų rotorinio PVBV, mažiausiai – rolamaitiniame PVBV, kuriame pjezoelektrinis VK suka abu rotorius. Vadinasi, rolamaitinio PVBV variantas, kai pjezoelektrinis VK suka abu rotorius, yra optimaliausias.

Sudarytas rolamaitinio PVBV sistemos „ritiniais-juosta“ dinaminis modelis, kai kontaktas tarp sistemos elementų deformuojamas. Nustatyta, kad PVBV sistemos „ritiniais – juosta“ kintant, jų nepraslydimos zonos, toliau juda vienodu greičiu. Taip pat nustatyta, kad virpesiais galima valdyti nepraslydimos zonos parametrus.

Taip pat išnagrinėti dinaminiai procesai vykstantys rolamaitiniuose PVBV.

Sukurta originali rolamaitinio PVBV konstrukcija su rotoriais, kurie yra pjezoelektriniai sukamieji ritiniai liai, užmauti ant nejudamų ašių.

Rolamaito tipo mechanizmo ir pjezoelektrinio vibrovariklio sintezė leido sukurti kokybiškai naujus mechanizmus.

Raktiniai žodžiai: Pjezoelektriniai vibrovarikliai, Rolamaito tipo mechanizmai.

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Giedrius Raštutis. PIEZOELECTRIC VIBROMOTORS AND INVESTIGATION OF THEIR DYNAMICS. Master final work / research advisor Assoc. prof.dr. R. V. Ulozas

SUMMARY

The review of a piezoelectric vibromotors (PVBM) and a principle of their action is presented in this final work. It was reviewed PVBM, in which has been applied piezoelectric vibration's converter (VC) slanting impact of to a moved element - to a plate, tape or rotor, and also PVBM with piezoelectric VC with divided electrodes. Also was reviewed designs PVBM with rotors containing resonator (as a plate, or thin beam).

Dynamical model of the system "roller-band" of rolamite PVBM in the case of deformed contact between bodies was presented and described by differential equations and investigated.

Theoretical research proved: from entered in the system "roller-band" of rolamite PVBM parameters of vibrations depends as quickly bodies of system achieve non-slipping zone and that means, that non-slipping zone can be operated by excitation of vibrations; Increasing amplitude of vibrations the force of friction between bodies of system is decreasing; the zone of slipping between bodies of system is increasing; magnitude of efficiency is decreasing.

The experimental research of dynamical processes of the system "roller-band" of fixed and spinning vibrating rollers wrapped by a flexible band was conducted by the method of laser interferometry. It is established that the increase of supply voltage amplitude, decrease of the force load value of the flexible band, and decrease of the wrapping angle of the roller by flexible band may cause the increasing of amplitude of roller oscillations.

It is experimental definite that the value of non-synchronicity of rotation of rotors mostly grows in elementary PVBM with two rotors, least – in rolamite PVBM, in which the converter of longitudinal fluctuations rotates both rotors. The variant of rolamite vibromotor, in which the piezoelectric VC rotates both rotors, is optimum.

The synthesis of the rolamite type mechanism and vibromotor allows to design qualitatively new original mechanisms.

Keywords: Piezoelectric vibromotors, Rolamite type mechanisms, vibration's converter

PAVEIKSLŲ RAŠAS

1 pav. Vibrovariklio, kuriuose panaudojamas strižas virpesi keitiklio smėgės rotorius).....	9
2 pav. Miniatiuriniai PVBV	9
3 pav. Tiesiaėigio judesio PVBV su vienu (a) ir dviem (b) slankikliais	10
4 pav. Sukamojo judesio PVBV su vienu (a) ir dviem (b) rotoriais.....	10
5 pav. VK kontaktinio elemento galo trajektorija	11
6 pav. Juostos traukimo mechanizmo su PVBV maketas	11
7 pav. Rolamaitinio rotorinio vibrovariklio maketas.....	12
8 pav. Dvieji rotoriniai PVBV [6]: 1 – pjezoelektrinis VK.....	12
9 pav. Pjezoelektrinio VK, maitinamo rezonansiniais 30,19 kHz ir 63,2 kHz dažniais, virpesi išlenkimas	13
10 pav. Pjezoelektrinis VK su sudalintais elektrodais suka vieną rotorių	13
11 pav. Pjezoelektrinis VK su sudalintais elektrodais suka du rotorius	14
12 pav. Dvieji rotoriniai PVBV	14
13 pav. PVBV su trimis perpjauto žiedo formos VK.....	15
14 pav. PVBV su žiediniu VK su sudalintais elektrodais	15
15 pav. PVBV su dviem pjezoelektriniais VK.....	16
16 pav. PVBV su pusžiediniais VK su sudalintais elektrodais	16
17 pav. PVBV su sudalintais segmentais VK	17
18 pav. „Bėganioji“ virpesi banga VK	17
19 pav. PVBV su bangolaidžiais, pritvirtintais prie VK elektrodų	18
20 pav. PVBV su sferiniu VK su sudalintais elektrodais	19
21 pav. PVBV su pussferiniu VK, perpjautais segmentais, sujungtus pussferės viršūnėje.....	19
22 pav. PVBV su dviem vienas kitam puse pastatytais pjezoelektriniais VK.....	20
23 pav. PVBV su vienas kitam puse pastatytais VK	21
24 pav. PVBV su lankstaus žiedo viduje išstatytais pjezoelektriniais VK.....	22
25 pav. PVBV su lankstaus spyruokline žvaigždės formos plokšte.....	23
26 pav. Pjezoelektrinis vibrovariklis	24
27 pav. Pjezoelektrinis vibrovariklis	24
28 pav. Pjezoelektrinis vibrovariklis	25
29 pav. RTM išradėjas Donaldas Fitzdžeraldas Uilksas sukurtas mechanizmo schema	26
30 pav. Rolamaitinis PVBV	27
31 pav. Rolamaitinis PVBV	28
32 pav. Rolamaitinis PVBV	29
33 pav. Rolamaitinio mechanizmo virpanio element – pjezoelektrinio VK klasifikacija.....	30
34 pav. RTM sistemos „ritinis – juosta“ dinaminis modelis, kai kontaktas tarp sistemos kūno deformuojamas	31
35 pav. Sistemos „ritinis – juosta“ kūno judėjimo greičio priklausomybės nuo virpesi parametrų fazinės diagramos	37
36 pav. Sistemos kūno judėjimo vairiatipi režimų egzistavimo priklausomai nuo sužadavimo virpesiais sritys	38
37 pav. Sistemos „ritinis – juosta“ kūno judėjimo vidutini greičio ir n.v.k. priklausomybės nuo sužadavimo virpesiais parametrų grafikas	38
38 pav. Sistemos kūno judėjimo vairiatipi režimų egzistavimo sritys priklausomai nuo sužadavimo virpesiais parametrų	39
39 pav. Lazerinio interferometrinio renginio, skirto rolamaitinio PVBV virpanio ritiniam, gaubiam lankstios juostos, dinaminėms charakteristikoms tirti, struktūrinė schema	41
40 pav. RTM virpantys ritiniai liai: a – nejudamas (1); b – sukamas (2)	42
41 pav. RTM virpanio ritinio 1, gaubiamo temptos (apkrautos) juostos, eksperimentinio tyrimo kreivės	43

42 pav. RTM virpanio ritinio 2, gaubiamo temptos (apkrautos) juostos eksperimentinio tyrimo kreivės	44
43 pav. Rotorių sukimosi nesinchroniškumo matavimo schema	46
44 pav. Vibrovariklio rotorių sukimosi nesinchroniškumo priklausomybių kreivės neapkrautame darbo režime	46
45 pav. PVBV rotorių sukimosi nesinchroniškumo priklausomybės nuo išorinių apkrovos vienam rotoriumi	47
46 pav. Rolamaitinis 2-jis rotorius PVBV su pjezoelektriniais sukamais ritiniais	48

VADAS

Egzistuojantys elektros varikliai ne visada atitinka reikalaujamas s lygas, pavyzdžiui, mažus gabaritus, didel greitaveik , aukšt naudingo veiksmo koeficient , galimyb dirbti ekstremaliomis s lygomis (vakuume, pla iame temperat riniame diapazone, esant aukštam radiaciniam fonui). Tod l buvo sukurti naujo tipo varikliai, kuri veikimo principas pagr stas aukštadažni virpesi transformavimu krypting judes . Tokie varikliai TSRS MA filialo mašin ir mechanizm teorijos seminare, vykusiame Kaune 1970 m., buvo vardinti ir patvirtinti kaip „Vibrovarikliai“ [1]. Jie ir dav pagrind ši dien mechanizm ir rengim k rimui.

Vibrovarikliais vadinami mechanizmai, transformuojantys aukšto dažnio mechaninius virpesius (pradedant nuo 20.000 Hz) nepertraukiam arba žingsnin judes . Tokiu b du, esminis vibrovarikli skirtumas nuo žinom mechanizm , kei ian i svyravimo judes sukimo ar tiesialinijin , – transformuojam virpesi dažnis. Vibrovarikli virpesi keitikliams buvo panaudoti pjezoelektriniai (pjezokeraminiai) elementai, tod l ir vibrovarikliai vadinami pjezoelektriniais vibrovarikliais (PVBV).

Pirmieji PVBV buvo kuriami žemo dažnio vibracinio transportavimo pagrindu, buvo taikomi strižiniai sm giai. Tolesni tyrimai ir gaminio etapai suk r žymiai geresnes jud jimo s veikos grandis. Atsirado banginiai vibrovarikliai ir vibrovarikliai valdomi elektromagnetiniais skys iais, tai pat prad ta taikyti orines gniuždan ias pagalv les.

Sukurt pjezoelektrini vibrovarikli tyrimai parod j ger kokyb : aukštas judesio galimybės, ger pritaikomum pla iame temperat riniame intervale, nesikei iant j darb esant magnetiniams ir elektriniams laukams. Atsirado galimyb pagaminti vibrovarikl be metalini detali , išskyrus laidus, tai leido j pritaikyti tiksluose prietaisuose. Bet pagrindinis vibrovariklio privalumas yra tas, kad jis gali dirbti žingsninio judesio režime.

Didel reikšm tur jo nauj pjezoelektrini medžiag atsiradimas, kuris leido labai supaprastinti vibrovarikli konstrukcijas. Pjezoelektrini vibrovarikli suk rimas ir panaudo- jimas leido žymiai sumažinti kuriam mechanizm gabaritus ir prapl sti j panaudojimo sritis.

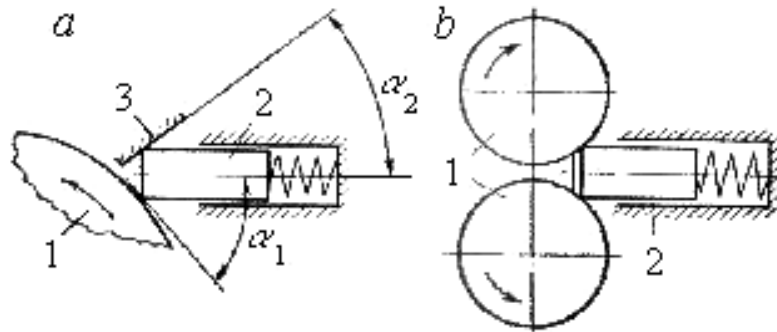
Darbo tikslas - supažindinti su pjezoelektriniais vibrovarikliais ir j dinamikos tyrimu.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti pjezoelektrini vibrovarikli (PVBV) konstrukcijas ir j veikimo princip .
2. Sudaryti ir pateikti rolamaitini mechanizm virpan i element – pjezoelektrini VK klasifikacij .
3. Sudaryti rolamaitinio PVBV sistemos „ritin lis-juosta“ dinamin model .
4. Atlikti dinamini proces , vykstan i sistemoje „ritin lis- juosta“, tyrimus su dviej tip virpan iais ritin liais: nejudamu ir sukamu lazerin s interferometrijos b du.
5. Sukurti rolamaitinio PVBV konstrukcij .

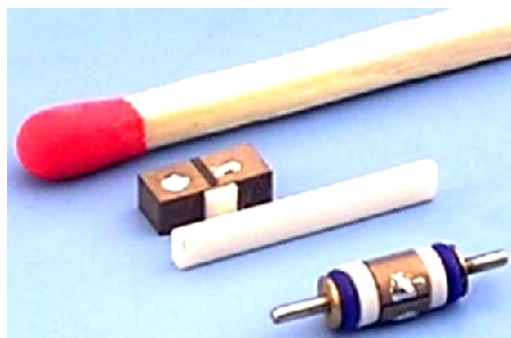
1. PJEZOELEKTRINI VIBROVARIKLI VEIKIMO PRINCIPO IR KONSTRUKCIJ ANALIZ

Daugumos PVBV keitikli virpesi amplitud s gan mažos, išsid st $0,1 \cdot 10^{-3} \div 10 \cdot 10^{-3}$ mm diapazone. Ribin s j reikšm s sudaro $0,1 \div 0,2$ mm [1]. Pirmiesiems PVBV buvo panaudotas strižas virpesi keitiklio (VK) sm gis judam element – plokštel , juost ar ritin l (1 pav.).



1 pav. Vibrovarikli , kuriuose panaudojamas strižas virpesi keitiklio sm gis rotori (us) schemas [1]: *a* – vien rotori ; *b* – du rotorius; 1 – rotorius, 2 –virpesi keitiklis, 3 – antd klas; α_1 ir α_2 priklauso nuo rotoriaus 1 ir antd klo 3 reologini savybi

PVBV turi plat pritaikomum . Jie naudojami medicinos diagnostikoje, chirurgijos technikoje, radiotechnikoje, kompiuteri gamyboje, nes tobulinant mažinami gabaritai, o tai sunku atlikti su iki šiol esan iomis technologijomis. Pritaikant PVBV, tai daroma žymiai lengviau, nes PVBV turi mažus gabaritus ir yra labai tiksl s (2 pav.).

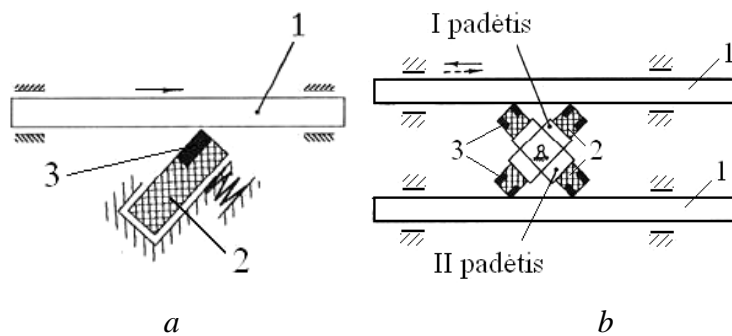


2 pav. Miniati riniai PVBV [2] (degtukas pateiktas PVBV dydžio palyginimui)

Pirmieji PVBV sukurti jau prieš 40 met ir toliau intensyviai kuriami dėl savo plataus pritaikomumo. Buvo skirti tiesiaieigiam ar sukamajam darbinio organo (elemento) judesiui gauti.

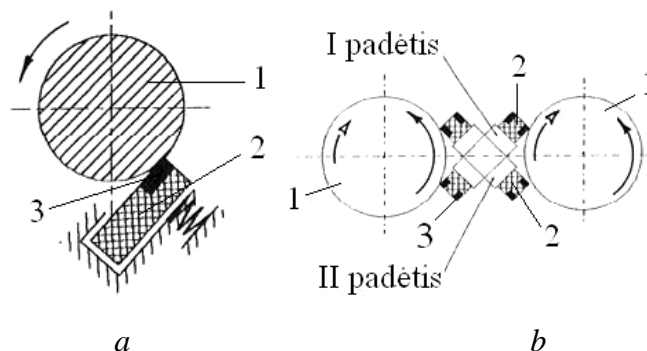
Prof. R. Bansevicius pateiktoje paprasčiausioje PVBV konstrukcijoje panaudotas strižas VK smagus judam element – plokštelė, juosta ar ritinėlis (1 pav.). Toks PVBV nesudėtinga pagaminti ir galima didžiuliu konstrukcinių variantų.

3 a paveiksle pavaizduota PVBV konstrukcija, kai pjezoelektrinis VK 2 strižai veikia (smaguoja) slankiklį 1. Šiame vibrovariklyje slankiklis 1 juda tik viena kryptimi. 3 b paveiksle pjezoelektrinis VK 2 strižai veikia du slankiklius 1. Jie juda priešingomis kryptimis. Pakeitus VK laikiklio padėtį, slankiklių judėjimo kryptį galima pakeisti priešingai.



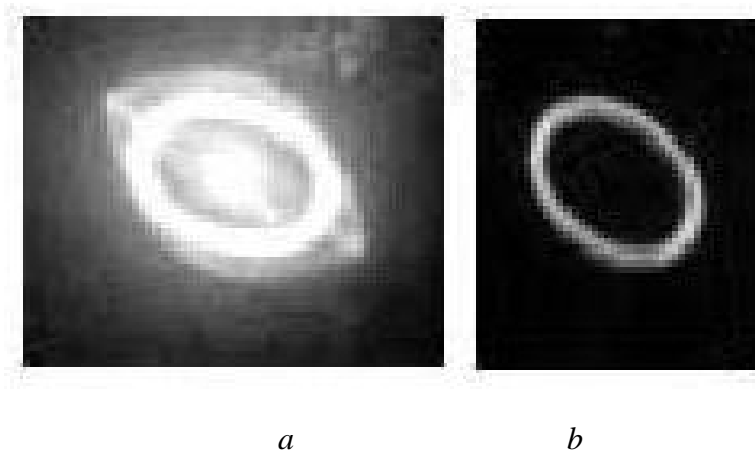
3 pav. Tiesiaieigio judesio PVBV su vienu (a) ir dviem (b) slankikliais 1; 2 – pjezoelektrinis VK; 3 – kontaktinis elementas

4 a paveiksle pavaizduota PVBV konstrukcija, kai pjezoelektrinis VK 2 strižai veikia (smaguoja) rotorius 1. Šiame vibrovariklyje rotorius 1 sukasi viena kryptimi. 4 b paveiksle pjezoelektrinis VK 2 strižai veikia du rotorius 1. Jie sukami ta pačia kryptimi. Pakeitus VK laikiklio padėtį, rotorius sukimosi kryptį galima pakeisti priešingai.



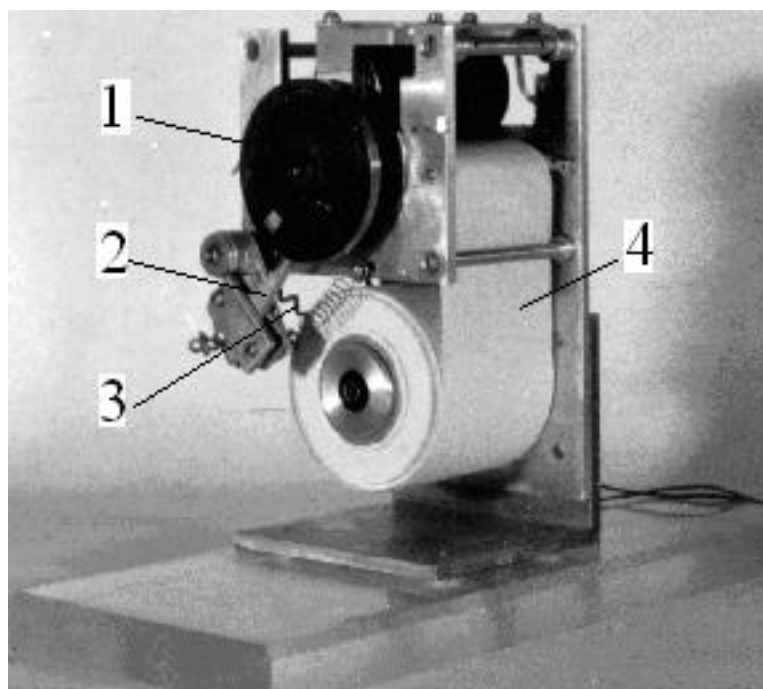
4 pav. Sukamojo judesio PVBV su vienu (a) ir dviem (b) rotoriais 1; 2 – pjezoelektrinis VK; 3 – kontaktinis elementas

„Padavus“ aukštadažn elektrin signal pjezoelektrinio VK, galu tampriai prispausto prie slankiklio ar rotoriaus, elektrodams, VK kontaktinis elementas pradeda jud ti elips s trajektorija ir perstumia slankikl arba suka rotorį (5 pav.) [3].



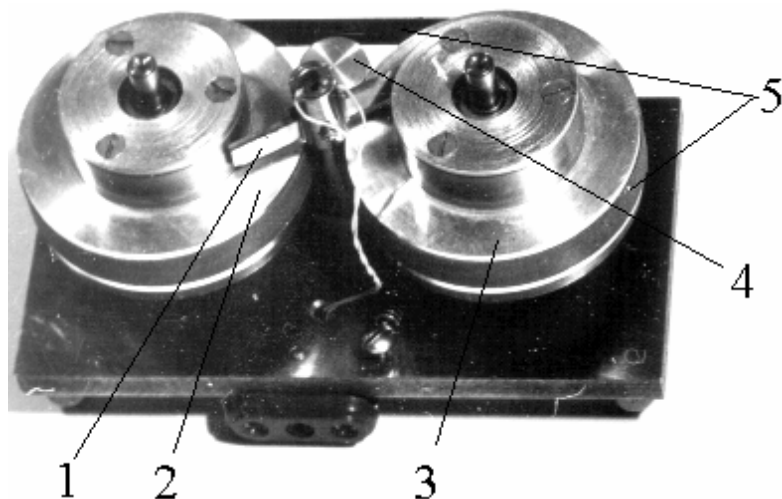
5 pav. VK kontaktinio elemento galo trajektorija: *a* – aukštadažnio elektrinio signalo padavimo VK elektrodams momentu; *b* – esant nusistovėjusiam darbo režimui

PVBV konstrukcijos schema (4 a pav.) panaudota popierinės juostos traukimo mechanizme (6 pav.). Rotorius 1 sukamas tik vieną pusę.



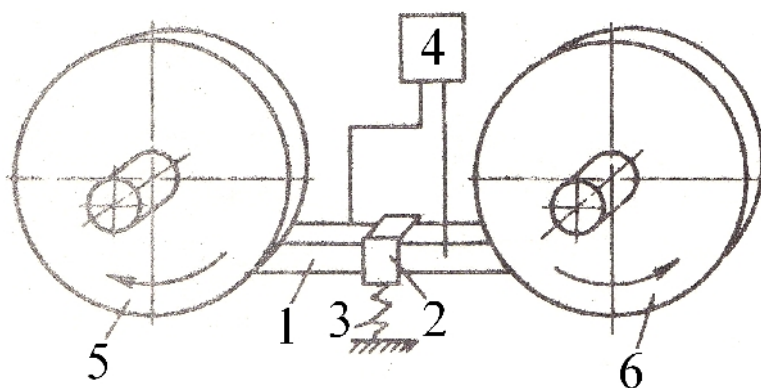
6 pav. Juostos traukimo mechanizmo su PVBV maketas: 1 – rotorius, 2 – pjezoelektrinis VK, 3 – laidas, kuriuo maitinamas pjezoelektrinis VK, 4 – popierinė juosta

Rolamaitiniame dviejų rotorių PVBV rotoriai 2 ir 3 sukami t pa i pus ir j sukimosi krypties pakeisti ne manoma (7 pav.). Tokia PVBV schema buvo pritaikyta juostos traukimo mechanizmuose [4, 5].



7 pav. Rolamaitinio rotorinio vibrovariklio maketas: 1 – pjezoelektrinis VK, 2,3 – rotoriai, 4 – mažesnio skersmens ritinlis, 5 – begalinis dirželis

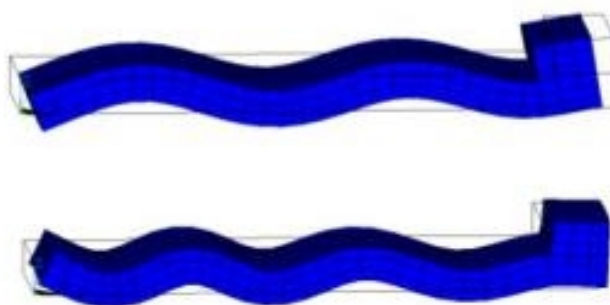
Norint dviejų rotorių PVBV suteikti rotoriams priešingas sukimosi kryptis, reikia panaudoti schemą (8 pav.), pagal kurią buvo sukurtas PVBV.



8 pav. Dviejų rotorių PVBV [6]: 1 – pjezoelektrinis VK, 2 – laikiklis; 3 – spyruoklė; 4 – aukštesnės dažnės maitinimo blokas; 5,6 – rotorius

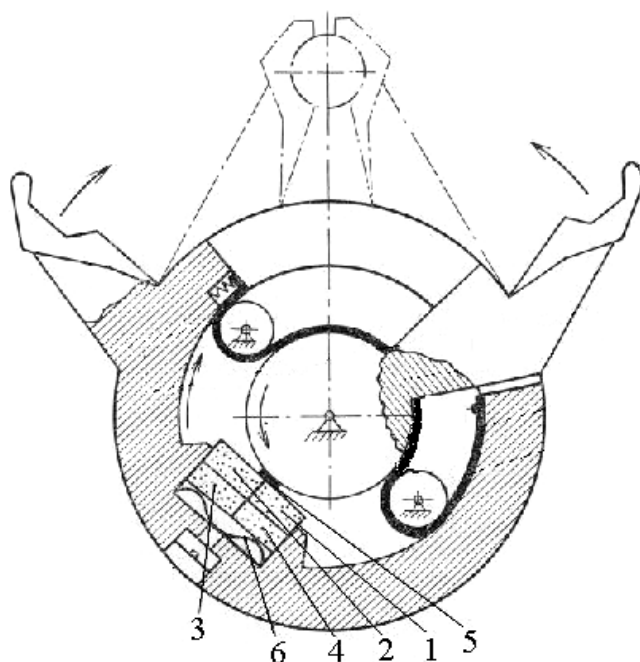
Darbe [7] parodyta, kad keičiant elektrinio signalo rezonansinį dažnį galima gauti skirtingus pjezoelektrinio VK virpesių išsilenkimus (9 pav.). Galima daryti prielaidą, kad priešingai, kitaip tariant, „stovinios“ bangos mazginių virpesių taškais pritvirtintus kontaktinius elementus ir

tampriai sulietus juos su slankikliu ar rotoriumi, gausime slenkamojo ar sukamojo judesio PVBV.



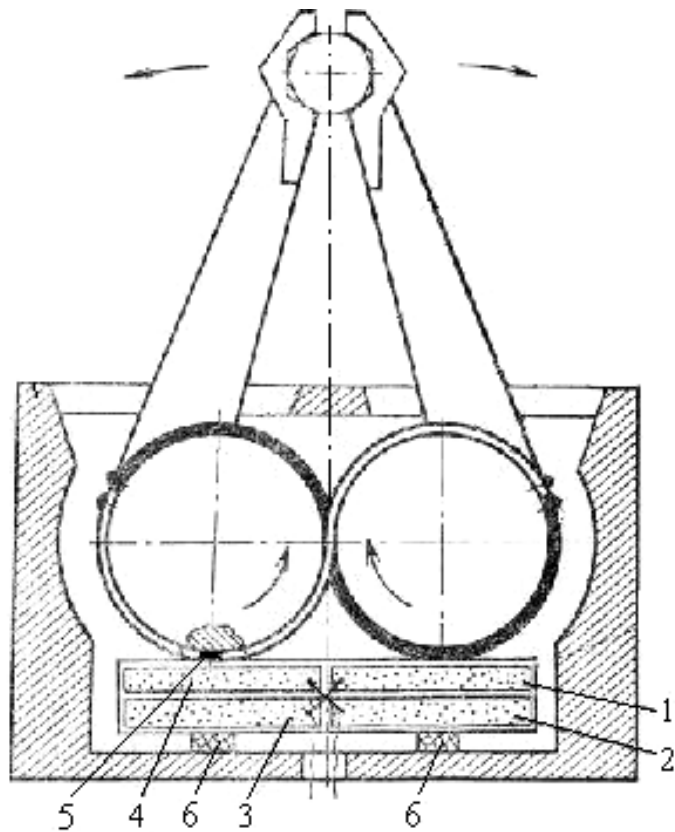
9 pav. Pjezoelektrinio VK, maitinamo rezonansiniais 30,19 kHz ir 63,2 kHz dažniais, virpesi išlenkimas [7]

Nei vienoje iš aukščiau pateiktų schemų (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 pav.) negalima pakeisti slankiklio ar rotoriaus judesio krypties nepaveikus schemos mechanškai, t.y. neperstačius pjezoelektrinio VK padėties vibrovariklyje. Tam, kad keisti slankiklio ar rotorius judesio kryptį, buvo panaudoti pjezoelektriniai VK su sudalintais elektrodais. Tokie VK gali sukurti vieną ar du rotorius, reversuodami jų sukimosi kryptis (10, 11 pav.) [8].



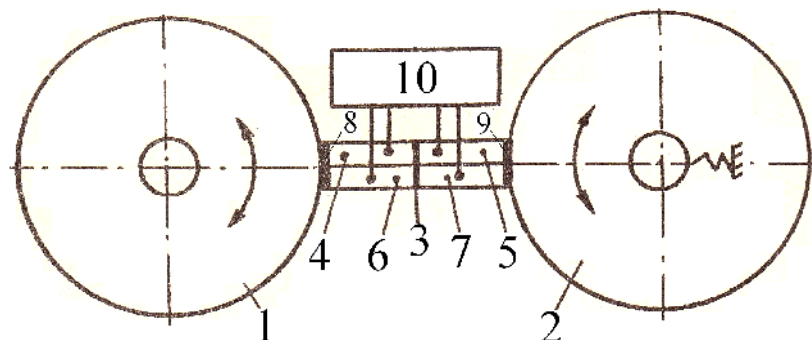
10 pav. Pjezoelektrinis VK su sudalintais elektrodais suka vieną rotorių [9]: 1,2,3,4 – elektrodas; 5 – kontaktinis elementas; 6 – spyruoklė

Pjezoelektrinio VK elektrodai gali būti sujungti tarpusavyje elektriškai kryžmai arba kiekvienas atskirai prie valdymo bloko ir maitinami tam tikra seka su užduotu fazų persikėlimu.



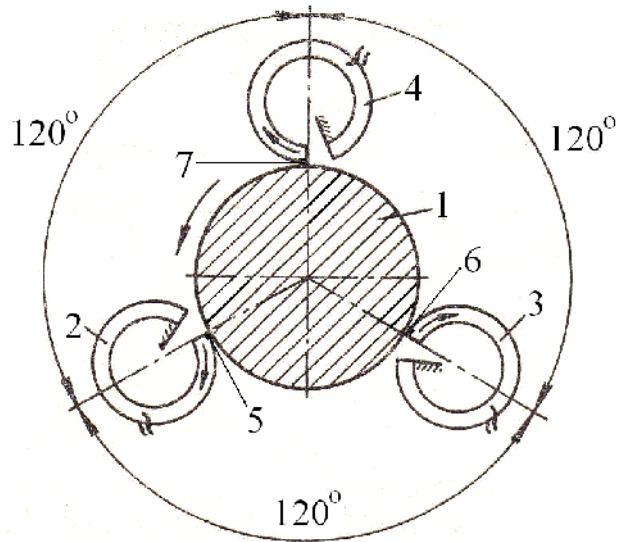
11 pav. Pjezoelektrinis VK su sudalintais elektrodais suka du rotorius [10]: 1,2,3,4 – elektrodas; 5 – kontaktinis elementas; 6 – tamprus elementas

Panaudojus PVBV, pagamint pagal 12 paveiksle parodytą schemą, galima gauti rotorius sinchroniniam vienakryptam ar priešingam sukimui ir jų reversavimui.



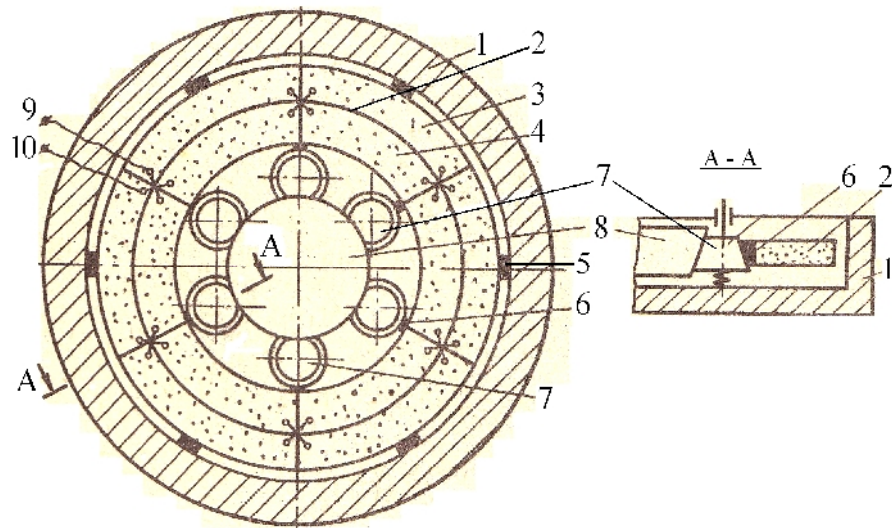
12 pav. Dviejų rotorius PVBV [11]: 1,2 – rotorius; 3 – pjezoelektrinis VK; 4,5,6,7 – elektrodas; 8,9 – kontaktinis elementas; 10 – valdymo blokas

VK pjezoelektriniai elementai gali būti plokšteliški, strypo, disko, voršiniai, žiedo ar pusžiedži, sferos ar pussferos pavidalo. Gali būti ištisiniai, padalinti segmentais arba su sudalintais elektrodais, bimorfiniai pjezoelektriniai VK.



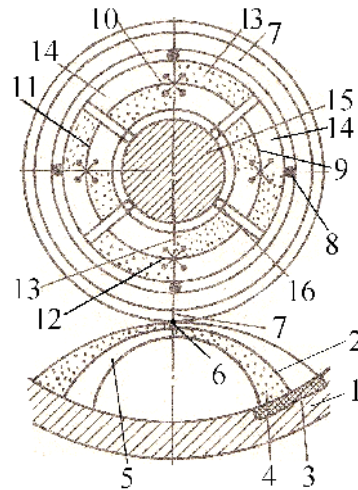
13 pav. PVBV su trimis perpjauto žiedo formos VK, sukamaisiais vienu rotoru [12]: 1 – rotorius; 2,3,4 – perpjauti žiediniai VK; 5,6,7 – kontaktinis elementas

Perpjauto žiedo formos VK 2,3,4 kontaktiniai elementai 5,6,7, tampriai prispausti prie rotoriaus 1, savo galais atlieka judesius, parodytą 5-ame paveiksle ir rotorius 1 sukia.



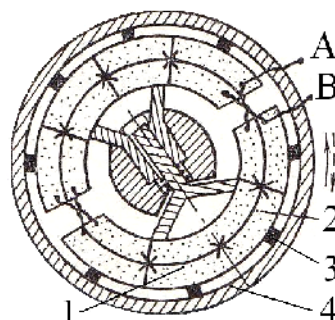
14 pav. PVBV su žiediniu VK su sudalintais elektrodais [13]: 1 – korpusas; 2 – žiedinis pjezoelektrinis VK; 3,4 – elektrodas; 5 – tamprusis elementas; 6 – kontaktinis elementas; 7 – ritinlis; 8 – rotorius; 9,10 – elektrinio signalo perdavimo laidai

PVBV, parodytame 14-ame paveiksle, pjezoelektrinio VK elektrodams suteikus rezonansinio dažnio tampos elektrinį signalą susidaro „stovinioji“ virpesi banga, o kontaktiniai elementai, pritvirtinti prie VK mazginiuose virpesi taškuose, sukuria ritinį lius 7, o jie – rotorius 8.



15 pav. PVBV su dviem pjezoelektriniais VK – lanko formos su sudalintais elektrodais ir žiedo formos VK sudalinto atskirus segmentus su sudalintais elektrodais [14]: 1 – korpusas; 2 – lanko formos VK su sudalintais tarpusavyje kryžmai elektriškai sujungtais elektrodais 4,5; 3,16 – tamprusis elementas; 6,8 – kontaktinis elementas; 7 – rotorius; 9,10,11,12 – žiedo formos VK segmentas; 13,14 – elektrodas; 15 – nejudama ašis

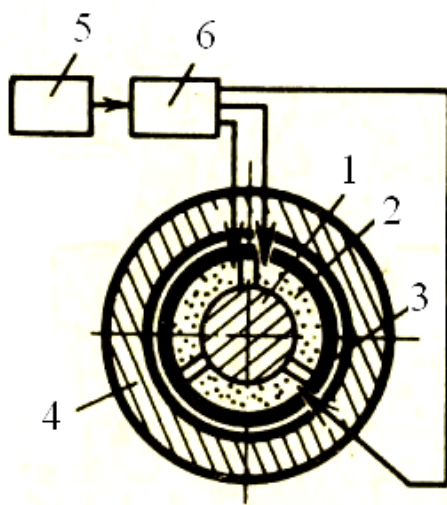
Norint gauti didesnį PVBV sukimo momentą, galima panaudoti kelis pjezoelektrinius VK, sukant rotorius (15 pav.). Vienas tokių VK yra lanko formos su sudalintais ir tarpusavyje kryžmai elektriškai sujungtais elektrodais 4,5, kitas – žiedo formos, sudalintas atskirus segmentus su sudalintais elektrodais.



16 pav. PVBV su pusžiediniais VK su sudalintais elektrodais [15,16,17]: 1,2 – elektrodas; 3 – kontaktinis elementas; 4 – rotorius; A,B – elektrinio signalo perdavimo laidai

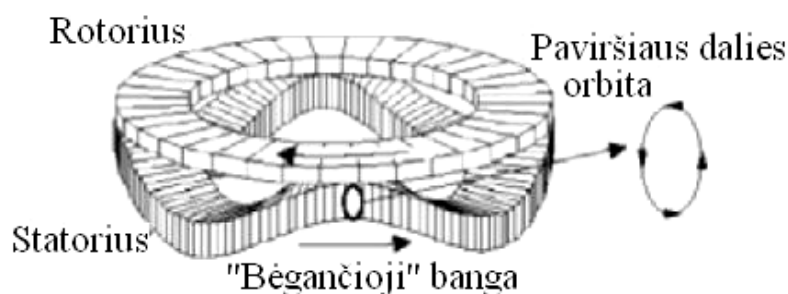
Gan efektyvus ir darbe patikimas yra PVBV su pusžiediniais pjezoelektriniais VK su sudalintais ir tarpusavyje kryžmai elektriškai sujungtais elektrodais 1,2 (16 pav.). Pusžiedžiai spyruoklės pagalba per kontaktinius elementus 3 tampriai prispausti prie rotoriaus 4.

Pjezoelektrinio VK (plokštelės, žiedo, vorės, sferos) sudalinti elektrodai gali būti maitinami per fazinės perstimo schemą ir taip gaunama ne „stovinioji“ virpesių banga, o „bėgančioji“. Pagal šį principą sukurtas PVBV, pavaizduotas 17 paveiksle.



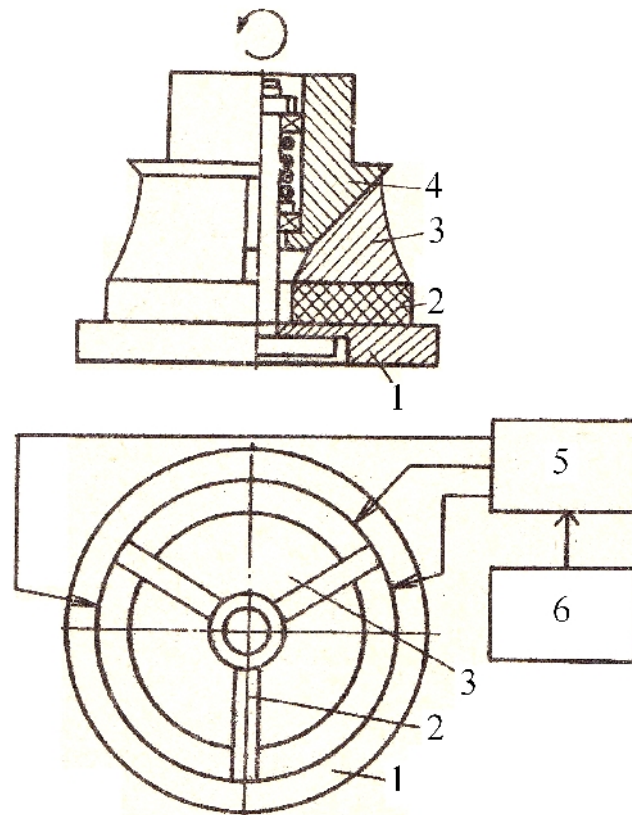
17 pav. PVBV su sudalintais segmentais VK: 1 – nejudama ašis; 2 – pjezoelektrinis VK; 3 – elastinis frikcinis žiedas; 4 – rotorius; 5 – aukštadažnis tampos generatorius; 6 – fazinės perstimo schema

Tokiame PVBV vorės formos pjezoelektrinio VK elektrodai gali būti sudalinti segmentais [18-20], ant jų užmaunamas elastinis frikcinis žiedas (kad išvengtų mechaninio elektrodų išsidėvėjimo). PVBV gali būti panaudotas, pavyzdžiui, traukti juostai. Pjezoelektrinis VK gali būti bimorfinis, ant jo gali būti uždėtas rotorius [21,22]. „Bėgančioji“ virpesių banga gali būti pritaikyta tiek linijinio, tiek ir sukamojo judesio PVBV (18 pav.).



18 pav. „Bėgančioji“ virpesių banga VK [23]

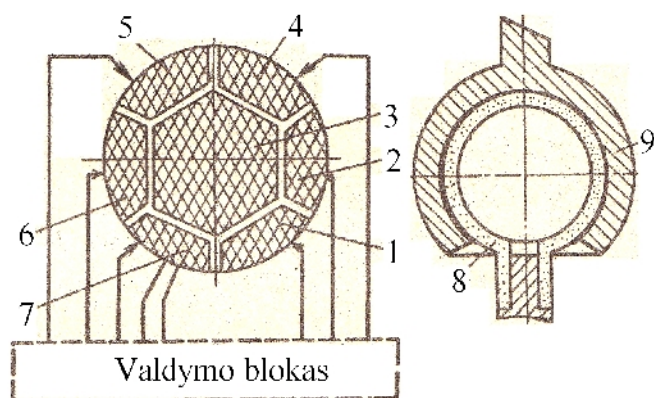
PVBV galima sukurti ant žiedinio pjezoelektrinio VK su sudalintais elektrodais segment pritvirtinant virpesi bangolaidžius su k gine nuožula iš vidin s bangolaidži pus s, prie kuri tampriai prispaustas rotorius (19 pav.). Tokiame PVBV pjezoelektrinio VK 2 sudalinti elektrodai maitinami per faz s perst mimo schem 5 ir susidariusi „b gan ioji“ banga, perduodama bangolaidžio segmentams 3, suka rotorį 4.



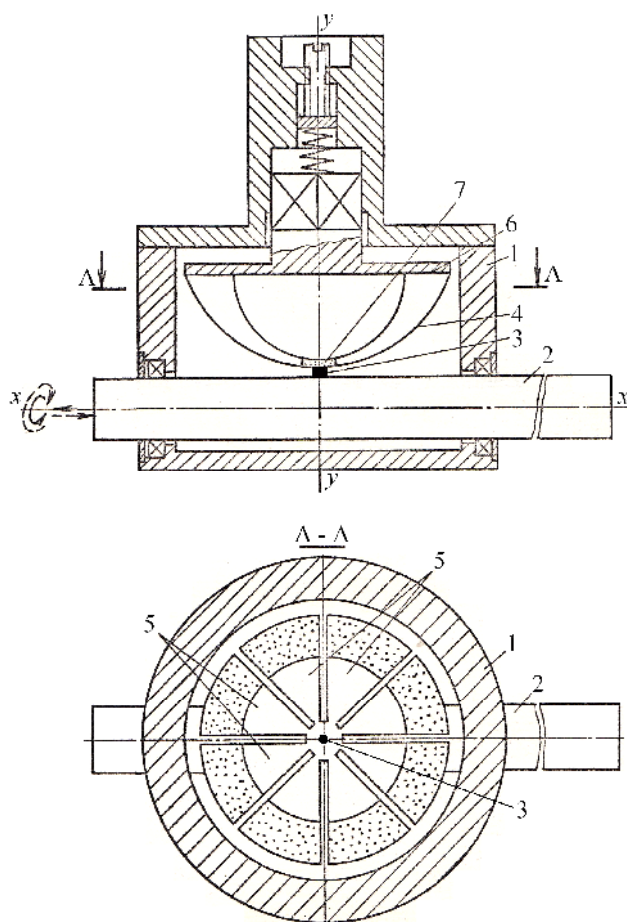
19 pav. PVBV su bangolaidžiais, pritvirtintais prie VK elektrod [24]: 1 – PVBV pagrindas; 2 – žiedinis pjezoelektrinis VK su sudalintais elektrodais; 3 – bangolaidžio segmentas; 4 – rotorius; 5 – faz s perst mimo schema; 6 – aukštadažn s tampos generatorius

PVBV su sferiniu VK 8 su sudalintais elektrodais 1-7 rezonansinio dažnio tampos elektrin signal iš valdymo bloko perduoda tam tikriems elektrodams su faz s perst mimu, sudaroma „b gan ioji“ banga, kurios pagalba rotorius (pasukamasis elementas) 9 yra pasukamas reikiama kryptimi (20 pav.). Tokie PVBV gali b ti s kmingai pritaikomi vairiuose preciziniuose vykdymo organuose, medicinoje.

Taip pat gali b ti medicinoje, preciziniuose pos kio mechanizmuose, mikromanipuliatoriuose taikomas PVBV su pussferiniu VK, perpjautu segmentus ties pussfer s pagrindu beveik iki virš n s, kuri paliekama ištisin (neperpjauta) ir prie kurios tvirtinamas kontaktinis elementas, sukantis ar perslenkantis judam element (21 pav.)[26-28].



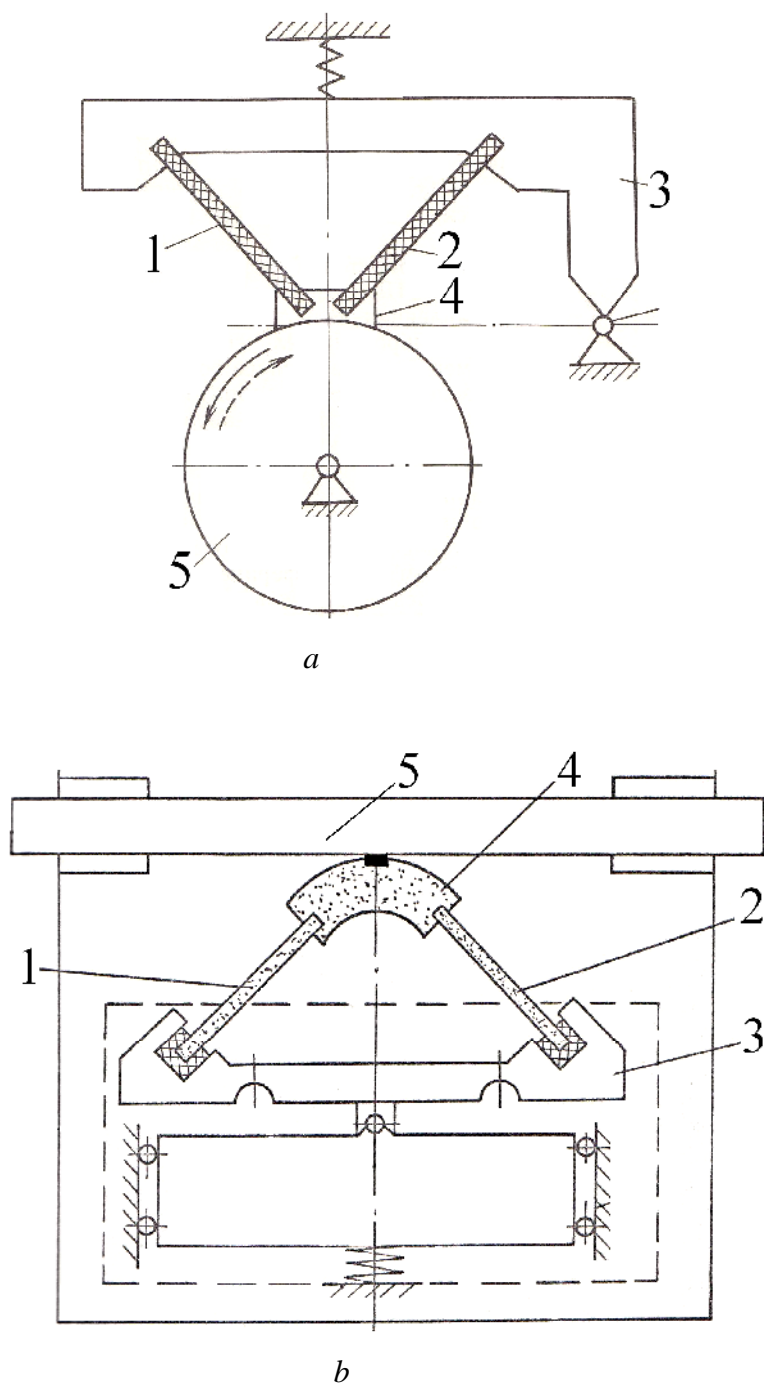
20 pav. PVBV su sferiniu VK su sudalintais elektrodais [25]: 1-7 – elektrodas; 8 – sferinis VK; 9 – rotorius (pasukamasis elementas)



21 pav. PVBV su pussferiniu VK, perpjautu segmentus, sujungtus pussfer s virš n je [26]: 1 – korpusas; 2 – judamas elementas; 3 – kontaktinis elementas; 4 – perpjauta segmentus 5 pjezoelektrinis pussferinis VK; 6 – pjezoelektrinio VK laikiklis; 7 – pussferinio VK virš n

Judamo elemento – rotoriaus sukam j ar slankiklio tiesialinij n judes galima gauti panaudojus suporintus, vienas kit kampu pastatytus pjezoelektrinius VK, kuri vieni galai

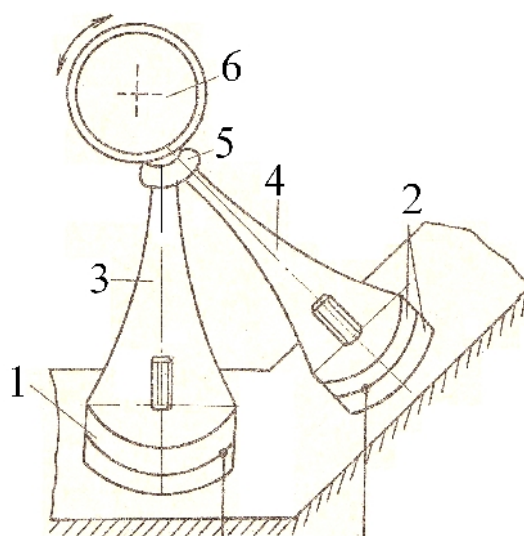
tvirtinti laikiklyje, o kiti – tarpusavyje sujungti kontaktiniu elementu, besikontaktuojan su judamu elementu (rotorium ar strypeliu) (22 pav.).



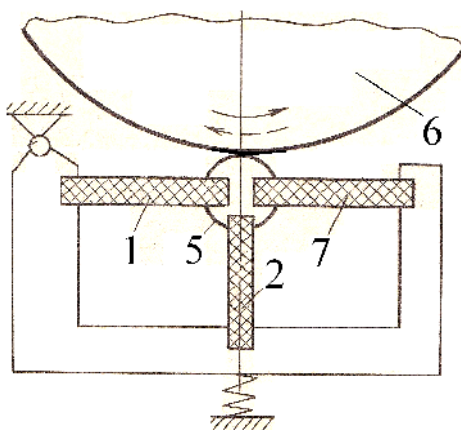
22 pav. PVBV su dviem vienas kit kampu pastatytais pjezoelektriniais VK; *a* – sukamajam judamo elemento (rotoriaus) judesiui gauti [29,30]; *b* – slankiklio tiesialinijiniam judesiui gauti [31]: 1,2 – pjezoelektrinis plokštelinis VK; 3 – pjezoelektrinio VK laikiklis; 4 – kontaktinis elementas; 5 – judamas elementas

Pjezoelektrini VK elektrodai gauna iš valdymo bloko rezonansinio dažnio tampos elektrinius signalus su fazės perstumpimu, todėl vienas pjezoelementas pailgėja, o kitas – sutrumpėja; to padarinys kontaktinis elementas atlieka elipsinį judesį (kaip kad parodyta 5-ame paveiksle) ir perstumia judamą elementą. Reversuojant judesį, elektrodai maitinami atvirkštine tvarka.

Norint pagerinti PVBV dinamines savybes, galima panaudoti ne plokštelines pjezoelektrinius VK, bet žiedinius ir kartu konstrukcijoje naudoti bangolaidžius [32], taip pat naudoti ne du, o tris pjezoelektrinius VK [33] (23 pav.).



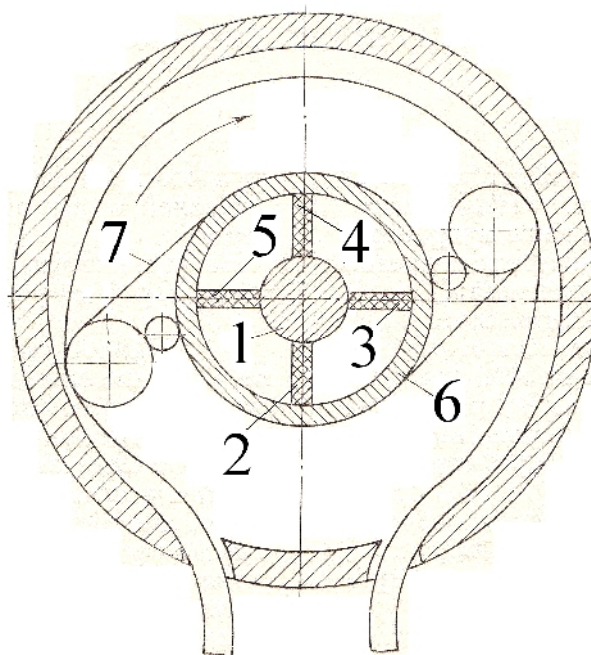
a



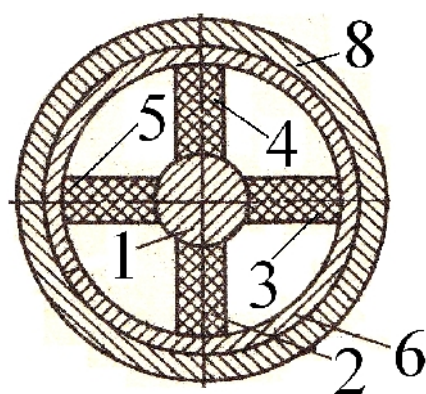
b

23 pav. PVBV su vienu kitu kampu pastatytais VK: a – su žiediniais pjezoelektriniais elementais ir bangolaidžiais [32]; b – su trimis VK [33]: 1,2,7 – pjezoelektriniai VK; 3,4 – bangolaidis; 5 – kontaktinis elementas; 6 – rotorius

24-ame paveiksle pateiktame PVBV ant nejudamos ašies 1 vienais galais tvirtinti pjezoelektriniai VK 2-5, kuri antrieji galai tvirtinami prie lankstaus žiedo 6. Pjezoelektrini VK elektrodai gauna iš valdymo bloko rezonansinio dažnio tampos elektrinius signalus su fazės perstumu, todėl lankstus žiedas 6 susiformuoja „bėganioji“ banga. Kai lankstus žiedas 6 gaubia begalin juosta (24 a pav.), „bėganioji“ banga perstumia begalin juostą 7 [34], o ant lankstaus žiedo 6 uždedamas kietas žiedas – rotorius 8 (24 b pav.), jis pradeda sukintis [35].



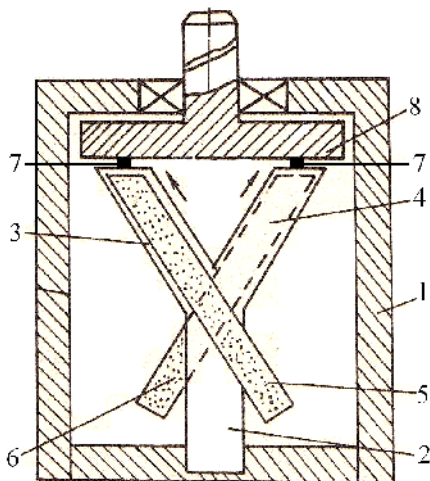
a



b

24 pav. PVBV su lankstaus žiedo viduje išstatytais pjezoelektriniais VK [34,35]: 1 – nejudama ašis; 2-5 – pjezoelektrinis VK; 6 – lankstus žiedas; 7 – begalin juosta; 8 – rotorius

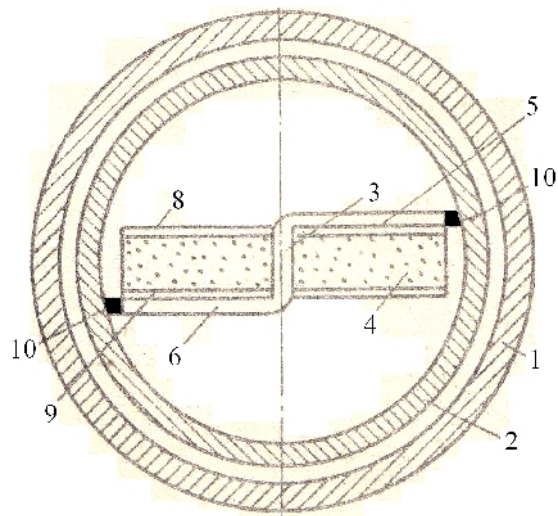
Taip pat galima PVBV konstrukcija, kurios korpuse 1 tvirtinta lanksti spyruoklin žvaigždės formos plokštelė, sudaryta iš trijų spindulių 2,3 ir 4 (25 pav.). Vienas plokštelės spindulys 2 tvirtintas korpuse 1, o prie kitų dviejų plokštelės spindulių tvirtinami pjezoelektriniai VK 5 ir 6. Lanksti spyruoklinė žvaigždės formos plokštelė per kontaktinius elementus 7 susieta su rotoriumi 8.



25 pav. PVBV su lankstia spyruokline žvaigždės formos plokštele [36]: 1 – korpusas; 2,3,4 – lankstios spyruoklinės žvaigždės formos plokštelės spindulys; 5,6 – pjezoelektrinis VK; 7 – kontaktinis elementas; 8 – rotorius

Suteikus pjezoelektriniams VK 5,6 elektrodams aukštadažnį tampos elektrinius signalus, VK pradeda virpėti aukštu dažniu ir lankstios spyruoklinės žvaigždės formos plokštelės spinduliai 3 ir 4 atlieka sudėtingus lenkimo virpesius, o prie spindulių pritvirtinti kontaktiniai elementai 7 pradeda sukėti rotorį 8.

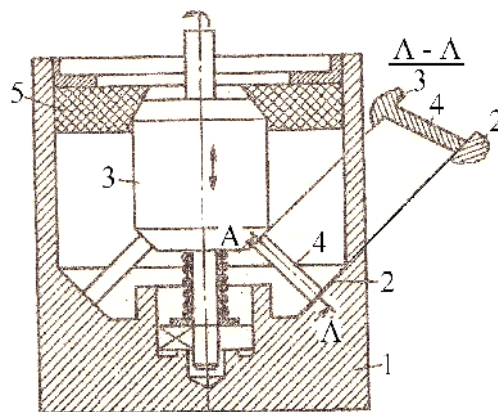
Galima PVBV konstrukcija (26 pav.), kai korpuse 1 patalpintas tušias cilindrinis rotorius 2, kurio ertmėje patalpintas sulenktos tamprios Z formos plokštelė 3, kurios jungė yra prapjovta, kuri statytas pjezoelektrinis plokštelinis VK 4, plokštelės vibratorius, ant kurio priešingose plokštumų pusėse iki jungės priklijuotas minėtasis VK 4. Vibratorius laikiklio pagalba pritvirtintas korpuse 1 (paveiksle neparodyta) ir savo galais per kontaktinius elementus 10 liečiasi su rotorium 2. Pjezoelektrinio VK elektrodams 8 ir 9 suteikus aukštadažnį tampos elektrinius signalus, VK pradeda vibruoti. Kadangi pjezoelektrinis VK 4 pritvirtintas prie Z formos plokštelės 3, tai susidaro lyg dvi bimorfines plokštelės, kuri išilginiai ir lenkimo virpesiai vyksta priešingomis kryptimis, o tai leidžia abiem vibratoriaus galams per kontaktinius elementus 10 veikauti su tušias cilindrinio rotorium 2 vienu metu ir jį sukėti.



26 pav. Pjezoelektrinis vibrovariklis [37]

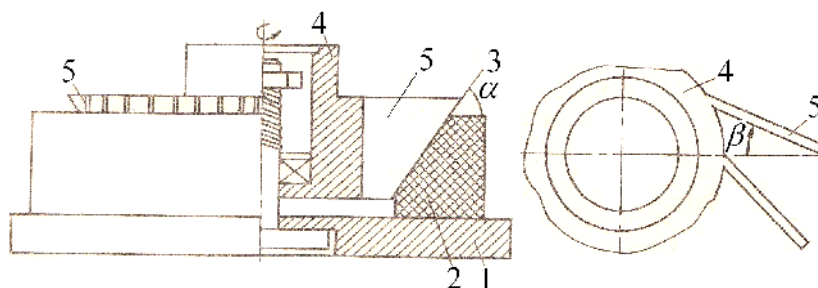
PVBV galima sukurti ir nesinaudojant pjezoelektrini VK elektrod dalinimu ar fazi perst mimo schemomis. Buvo sukurta PVBV konstrukcijos, kuriose buvo panaudoti pjezoelektriniai žiediniai VK – „pasyv s“ elementai, o „aktyviaisiais“ PVBV elementais tapo rotoriai su rezonatorin mis plokštel mis. Daugumoje aukš iau aprašyt PVBV konstrukcij pjezoelektriniai VK su sudalintais elektrodais sukurdavo virpesi „b gan i j “ bang , kuri ir perslinkdavo judam element (slankikl ar rotorį), tod l tokius pjezoelektrinius VK b t ga-
 limo vadinti „aktyviaisiais“ PVBV elementais, o judam element (slankikl ar rotorį) – „pasyvuoju“.

Galimi keli toki PVBV variantai. Vienuose PVBV rotoriaus žambios rezonatorin s plokštel s veikia tik variklio pagrind (27 pav.), kituose – žiedin pjezoelektrin VK (28 pav.) [39-42].



27 pav. Pjezoelektrinis vibrovariklis [38]: 1 – korpusas; 2 – k gin pagrindo dalis; 3 – rotorius; 4 – rezonatorin plokštel ; 5 – žiedinis pjezoelektrinis VK

Tiek vienu, tiek kitu atveju žiedinis pjezoelektrinis VK 5 (27 pav.) ir 2 (28 pav.) yra „pasyvusis“ elementas, o rotorius, sutinkamai su 27 ir 28 pav., 3 ir 4 per rezonatorines plokšteles 4 ir 5 kampu β išstatytas rotoris, tampriai spyruokliu pagalba prispaustas prie žiedinio pjezoelektrinio VK yra „aktyvusis“ elementas. Dėl žiedinio pjezoelektrinio VK virpesių ir rezonatorinių plokštelių veikos su PVBV k gine pagrindo dalimi (27 pav.) ar su k gine žiedinio pjezoelektrinio VK 2 dalimi (28 pav.) atsiranda rotorio sukimo momentas.

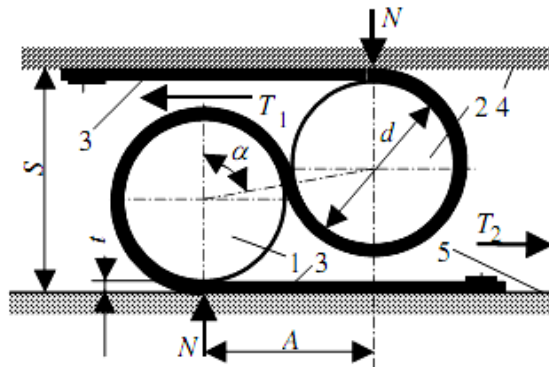


28 pav. Pjezoelektrinis vibrovariklis [39]: 1 – korpusas; 2 – žiedinis pjezoelektrinis VK; 3 – k gine su polinkio kampu α žiedinio pjezoelektrinio VK 2 dalis; 4 – rotorius; 5 – rezonatorinė plokštelė

2. ROLAMAITINI PJEZOELEKTRINI VIBROVARIKLI VEIKIMO PRINCIPO IR KONSTRUKCIJ ANALIZ

atskir pjezoelektrini vibrovarikli grup der t išskirti rolamaitinius vibrovariklius. Trumpai apie rolamaito tipo mechanizmus.

Rolamaito tipo juostinius ritininius mechanizmus (RTM) suk r 1967 m. Donaldas Fitzdžeraldas Uilksas (Donald Fitzgerald Wilkes) [43,44] (29 pav.).



29 pav. RTM išrad jas Donaldas Fitzdžeraldas Uilkso sukurto mechanizmo schema:

1,2 – ritin lis; 3 – lanksti juosta; 4,5 – kreipiantysis paviršius

Klasikin RTM konstrukcija sudaryta iš dviej cilindrin ritin li , S b du glaudžiai (esant tempimui) dideliu kampu (paprastai $>180^\circ$) gaubiam lanks ios juostos, kurios galai pritvirtinti prie dviej kreipian i j pavirši .

RTM ritin liai atlieka slankiojam j su vienalaikiu sukimusi judes . Mechanizmo statin pusiausvyra aprašoma lygtimi:

$$TS = NA ,$$

ia T – juostos tempimo j ga;

S – atstumas tarp kreipian i j pavirši ;

N – normalin j ga;

A – horizontalus atstumas tarp ritin li centr .

Šio mechanizmo labai paprasta konstrukcija, mažas trinties koeficientas (mažiausia gauta trinties koeficiento reikšm $0,00004$), didelis kinematinis tikslumas.

Remiantis [43-45], RTM – tikslus mechanizmas, kurio elementai juda vienas kito atžvilgiu neslysdami. Tai iš straipsnio [46] autoriai nurodo, kad ritin liai slysta esant tam tikriems mechanizmo parametrams, nors šio reiškinio teoriškai nepagrindžia.

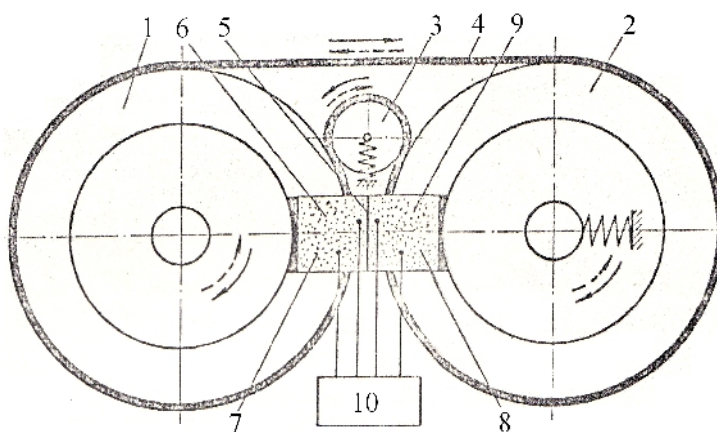
Praslydimui tarp RTM element turi takos juostos parametrai ir jos tempimo T dydis ir ritin li apgaubimo juosta kampo α dydis. Didinant ritin li apgaubimo juosta kamp , tempimai RTM element susilietimo paviršiuose paskirstomi lygiau, ir apkrova, veikianti juost , pasiskirsto vienodžiau.

Rolamaitiniai mechanizmai turi plat funkcin pritaikym kaip vykdomieji taisai ypa tiksluose prietaisuose, robotikoje, medicinoje, chemijoje, aviacijoje, kosmonautikoje.

RTM konstrukcijas vesti pjezoelektriniai elementai suteik galimyb valdyti trint tarp RTM element , tuo pa iu pasipriešinimo judesiui j g juose, užtikrinti darbo startstopiniu režimu greitaveik , pozicionavimo tikslum . Rolamaito tipo mechanizmo ir pjezoelektrinio vibrovariklio sintez leido sukurti kokybiškai naujus mechanizmus.

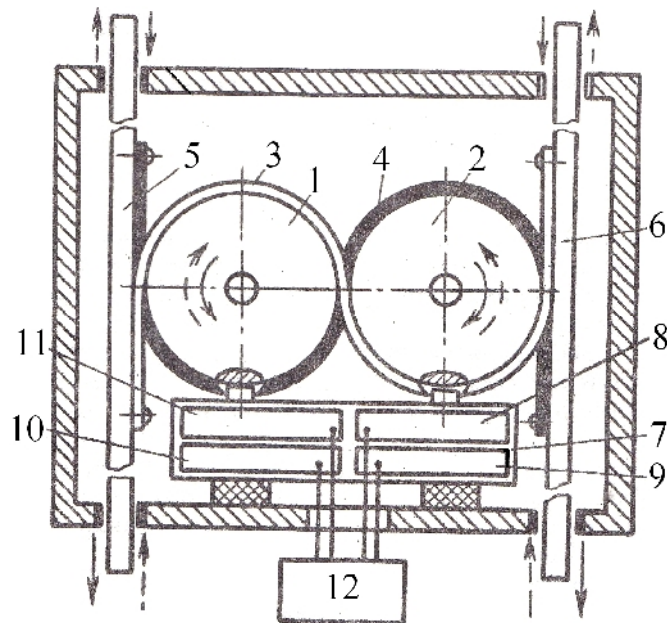
Pagal papras iausi rolamaitinio rotorinio pjezoelektrinio vibrovariklio schem pagaminto maketo foto pateikta 7-ame paveiksle. Tokiame PVBV begalin juosta glaudžiai gaubia du rotorius ir užtikrina rotorii vienpus aukšt sukimo sinchroniškum , o pjezoelektrinio VK žambi s veika su rotoriais užtikrina PVBV greitaveik . PVBV gali b ti pritaikytas juostos traukimo mechanizmuose [4,5].

Suteikus PVBV [11] (12 pav.) begalin juost , glaudžiai gaubian i abu rotorius, gausime rolamaitin PVBV, kuris užtikrina rotorii dvikrypt aukšt sukimo sinchroniškum ir greitaveik (30 pav.).



30 pav. Rolamaitinis PVBV [47]: 1,2 – rotorius; 3 – begalin s juostos 4 tempimo ritin lis; 5 – pjezoelektrinis VK su sudalintais elektrodais 6-9; 10 – valdymo blokas

Mikromanipulatoriaus griebte (11 pav.) [10] rolamaitinis PVBV, susidedantis iš pjezoelektrinio VK su sudalintais tarpusavyje elektriškai kryžmai sujungtais elektrodais, prijungtais prie valdymo bloko, sukamieji rotoriai, kurie rolamaitiniu būdu suformuoti glaudžiai iš priešingų pusių gaubiami dvejomis juostomis.

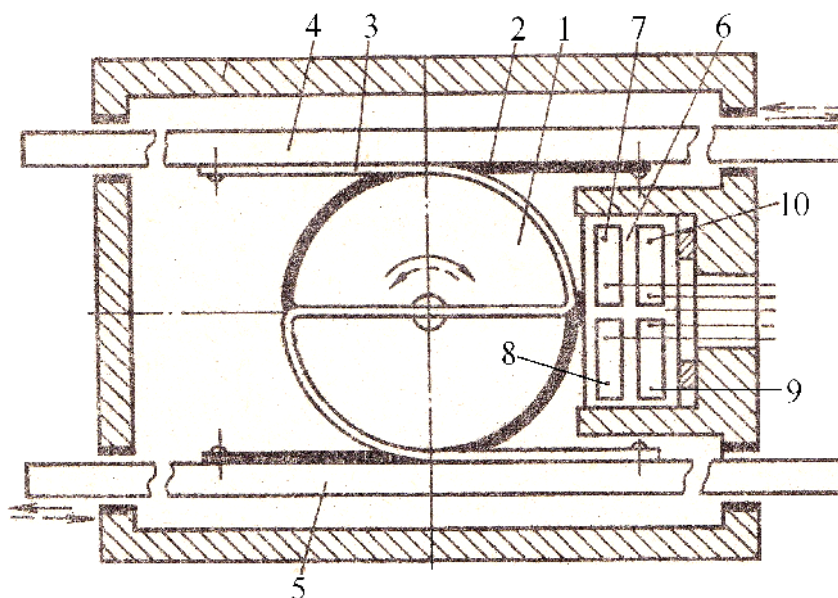


31 pav. Rolamaitinis PVBV [48]: 1,2 – rotoriai; 3,4 – lanksti juosta; 5,6 – slankiklis; 7 – pjezoelektrinis VK; 8-11 – elektrodas; 12 – valdymo blokas

Rolamaitinis juostų jungimas su rotoriais-mikromanipulatoriaus vykdomaisiais organais užtikrina rotorių aukšto sukimo sinchroniškumą, o pjezoelektrinio VK suveikimas su rotoriais užtikrina mikromanipulatoriaus griebto greitaveiką.

Jei tokiam PVBV (11 pav.) juostas prijungtume ne prie juostomis glaudžiai gaubiamų rotorių, o prie vestų PVBV dviejų slankiklių, tai naujame pjezoelektriniame vibrovariklyje gausime dviejų rotorių priešingos sukimosi krypties ir dviejų slankiklių vienos krypties judesius (31 pav.).

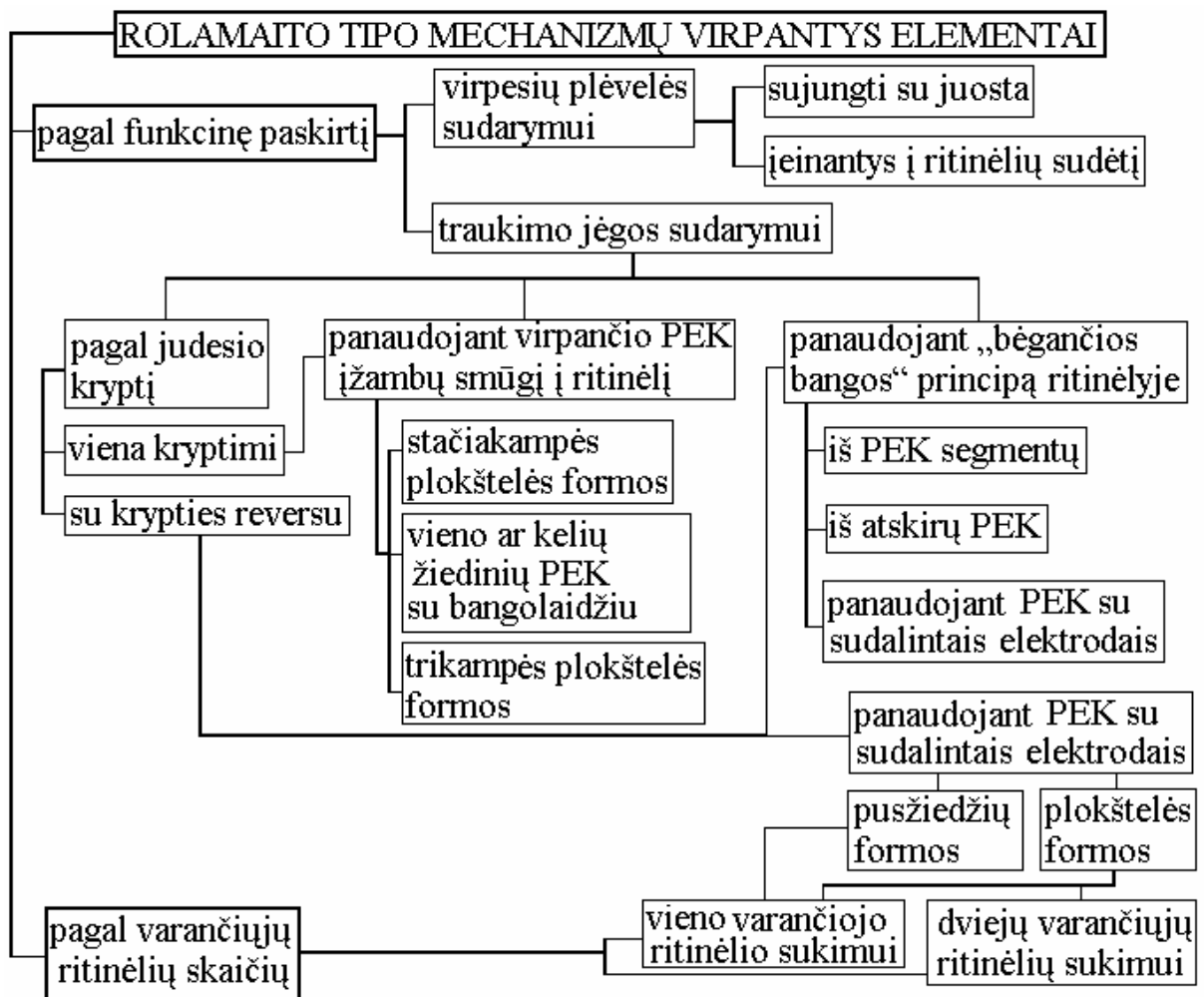
Norint gauti rolamaitinio PVBV slankiklių ne vienakryptį, o priešingų krypties judesį ir supaprastinti PVBV konstrukciją, galima vietoje dviejų rotorių panaudoti vieną, kaip kad parodyta 32-ame paveiksle.



32 pav. Rolamaitinis PVBV [49]: 1 – rotorius; 2,3 – lanksti juosta; 4,5 – slankiklis; 6 – pjezoelektrinis VK; 7-10 – elektrodas

Toki schem galima s kmingai panaudoti konstruojant mikromanipulatoriaus griebt [50,51].

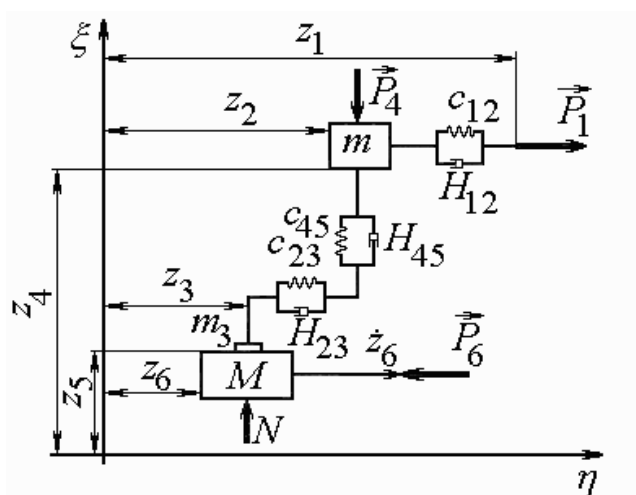
Kaip matome iš pateiktos medžiagos, pjezoelektriniai VK, o tiksliau, pjezoelektriniai keraminiai (PEK) elementai, rolamaitiniuose mechanizmuose pagal funkcin paskirt gali b ti skiriami virpesi pl vel s tarp RTM element ir traukimo j gos sudarymui (33 pav.). Keisdami PEK elektrodus maitinan io elektrinio signalo aukštadažn s tampos ir dažnio dydžius, galime keisti virpesi pl vel s (VP) parametrus, bei rolamaitinio PVBV traukian ios j gos dyd .



33 pav. Rolamaitini mechanizm virpan i element – pjezoelektrini VK klasifikacija

3. SISTEMOS „RITIN LIS-JUOSTA“ DINAMINIS MODELIS

Rolamaitini PVBV konstrukcijos susideda iš lankstios juostos ar juostų, glaudžiai apgaubiančių rotorius, kuriuose sukaupta pjezoelektrinis VK. Kad išsiaiškinti juostos ir ritinio veikimą, buvo sudarytas RTM sistemos „ritinis-lis-juosta“ dinaminis modelis, kai kontaktas tarp sistemos elementų deformuojamas (34 pav.). Sudarytame modelyje lanksti juosta aprašoma sukauptaisiais parametrais. Kontakto tarp lankstios juostos ir ritinio zonos viduryje sukauptos juostos masė m , kita jos dalis išilgine kryptimi pakeista tampriuojumu c_{12} ir slopinančiu (disipatyviu) H_{12} elementais, sujungtais lygiagrečiai. Lankstios juostos sėveika su ritiniu vykdoma mase m , o atitinkamai sujungti tarp savęs tampriais c_{23} , c_{45} ir slopinantys (disipatyvūs) H_{23} , H_{45} elementai vertina juostos deformacijas ritinio atžvilgiu tangentine ir normaline kryptimis. Dalis juostos sukauptosios masės priklauso masei m , dalis – masei m_3 , išsidėsusiai betarpiškai prie ritinio, priimto kaip kėlis su mase M . Deformuojamas kontaktas tarp juostos ir ritinio vertinamas tampriais ir slopinančiais elementais c_{23} , c_{45} , H_{23} , H_{45} , o taip pat mase m_3 (34 pav.).



34 pav. RTM sistemos „ritinis-lis-juosta“ dinaminis modelis, kai kontaktas tarp sistemos kėlio deformuojamas

ia

z_i ($i = 1, \dots, 6$) – elementų persislinkimas (tangentine ir normaline kryptimis),

P_1 – traukiančioji jėga,

P_6 – pasipriešinimo jėgų sudėtis,

P_4 – masės m prispaudimo (iššaukiančio normalinio jėgų N) prie masės M jėga

Diferencialin s judesio lygtys, sutinkamai su dinaminiu modeliu, pavaizduotu 34-ame paveiksle, atrodo taip:

$$\left. \begin{aligned}
 H_{12}(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_{12}(z_1 - z_2) &= P_1 \\
 m\ddot{z}_2 - H_{12}(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) - c_{12}(z_1 - z_2) + H_{23}(\dot{z}_2 - \dot{z}_3) + \\
 + c_{23}(z_2 - z_3) &= 0 \\
 m_3\ddot{z}_3 - H_{23}(\dot{z}_2 - \dot{z}_3) - c_{23}(z_2 - z_3) + \\
 + [H_{45}(\dot{z}_4 - \dot{z}_5) + c_{45}(z_4 - z_5)] \times \\
 \times f_0 \text{sign}(\dot{z}_3 - \dot{z}_6) + f(\dot{z}_3 - \dot{z}_6) &= 0 \\
 M\ddot{z}_6 - [H_{45}(\dot{z}_4 - \dot{z}_5) + c_{45}(z_4 - z_5)]f_0 \cdot \\
 \cdot \text{sign}(\dot{z}_3 - \dot{z}_6) - f(\dot{z}_3 - \dot{z}_6) &= -P_6 \\
 m\ddot{z}_4 + H_{45}(\dot{z}_4 - \dot{z}_5) + c_{45}(z_4 - z_5) &= -P_4
 \end{aligned} \right\} \quad (1).$$

Lygtyje (1):

H_{12}, H_{23}, H_{45} – klampios trinties koeficientai,

c_{12}, c_{23}, c_{45} – standumo koeficientai,

f_0 – sausos slydimo trinties koeficientas,

f – klampios trinties koeficientas

Kai kuriais atvejais klampios trinties koeficiento f dydis proporcingas normalin s reakcijos dydžiui, t.y.

$$f = f_1 N_{45}, \quad (2),$$

ia

f_1 – klampios trinties koeficientas

$$N_{45} = H_{45}(\dot{z}_4 - \dot{z}_5) + c_{45}(z_4 - z_5) \quad (3).$$

Išorinis sužadanimas

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= A_1 + B_1 \dot{z}_1 + D_1 \sin(\omega t + \alpha_1), \\ P_4 &= A_4 + B_4 \dot{z}_4 + D_4 \sin(\omega t + \alpha_4), \\ P_6 &= A_6 + B_6 \dot{z}_6 + D_6 \sin(\omega t + \alpha_6), \\ z_5 &= D_5 \sin(\omega t + \alpha_5). \\ &= \frac{d}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (4),$$

ia

A_1, A_4, A_6 – j gos pastoviosios dedamosios,

B_1, B_4, B_6 – pastoviosios, nustatan ios linijines priklausomybes tarp j g ir atitinkam grei i ,

D_1, D_4, D_6 – j gos harmonini komponeni amplitud s,

ω – kampinis dažnis,

$\alpha_1, \alpha_4, \alpha_6, \alpha_5$ faz s.

Sistemos darbo vertinimui išnagrin jame pagrindines charakteristikas, kaip pavyzdžiui, darb ar galingum , traukian i sias ar pasipriešinimo judesiui j gas ir pan.

Sutinkamai su 34-u paveikslu, traukian i j j g darbas

$$A_r = \int_0^{H_z} P_1 dz_1 = \int_0^T P_1 \dot{z}_1 dt \quad (5).$$

Naudingas darbas

$$A_n = \int_0^{H_z} P_6 dz_6 = \int_0^T P_6 \dot{z}_6 dt \quad (6).$$

Naudingo veiksmo koeficientas

$$\eta = \frac{A_n}{A_r} = \frac{\int_0^T P_6 \dot{z}_6 dt}{\int_0^T P_1 \dot{z}_1 dt} \quad (7).$$

Jud jimo grei io netolygumas

$$g_{\dot{z}} = \frac{\dot{z}_{\max} - \dot{z}_{\min}}{\dot{z}} \quad (8),$$

$$\bar{\dot{z}} = \frac{\dot{z}_{\max} + \dot{z}_{\min}}{2} \quad (9).$$

vedame naujus kintamuosius

$$x_i = \frac{z_i}{l} \quad (i = 1, \dots, 6); \quad p = \sqrt{\frac{c_{12}}{m}}; \quad \tau = pt; \quad ' = \frac{d}{d\tau}; \quad v = \frac{\omega}{p}; \quad 2h_{rs} = \frac{H_{rs}}{pm} \quad (rs = 12, 23, 45);$$

$$N' = \frac{N}{p^2 ml}; \quad \mu = \frac{M}{m}; \quad \mu_3 = \frac{m_3}{m}; \quad F_j = \frac{P_j}{p^2 ml} = \frac{P_j}{c_{12} l} \quad (j = 1, 4, 6);$$

$$a_j = \frac{A_j}{c_{12} l}; \quad b_j = \frac{B_j}{pm}; \quad d_j = \frac{D_j}{c_{12} l}; \quad d_5 = \frac{D_5}{l};$$

$$\delta_{23} = \frac{c_{23}}{c_{12}}; \quad \delta_{45} = \frac{c_{45}}{c_{12}}. \quad (10),$$

ia

l – juostos ilgis,

p ir τ – nauji kintamieji

vedus naujus kintamuosius (10) lygtis (1) bedimens je formoje atrodys taip:

$$\left. \begin{aligned} 2h_{12}(x'_1 - x'_2) + (x_1 - x_2) &= F_1 \\ x''_2 - 2h_{12}(x'_1 - x'_2) - (x_1 - x_2) + 2h_{23}(x'_2 - x'_3) + \\ + \delta_{23}(x_2 - x_3) &= 0 \\ \mu_3 x''_3 - 2h_{23}(x'_2 - x'_3) - \delta_{23}(x_2 - x_3) + \\ + [2h_{45}(x'_4 - x'_5) + \delta_{45}(x_4 - x_5)] \times \\ \times [f_0 \text{sign}(x'_3 - x'_6)] + f(x'_3 - x'_6) &= 0 \\ \mu x''_6 - [2h_{45}(x'_4 - x'_5) + \delta_{45}(x_4 - x_5)] f_0 \cdot \\ \cdot \text{sign}(x'_3 - x'_6) - f(x'_3 - x'_6) &= -F_6 \\ x''_4 + 2h_{45}(x'_4 - x'_5) + \delta_{45}(x_4 - x_5) &= -F_4 \end{aligned} \right\} \quad (11),$$

ia

h_{12}, h_{23}, h_{45} – dempferiavimo koeficientai

Lygt (2) konvertuojame (12)

$$f = f_1[2h_{45}(x'_4 - x'_5) + \delta_{45}(x_4 - x_5)] \quad (12).$$

Išorinis sužadėjimas (4) bedimens je formoje

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= a_1 + b_1 x'_1 + d_1 \sin(\nu\tau + \alpha_1), \\ F_4 &= a_4 + b_4 x'_4 + d_4 \sin(\nu\tau + \alpha_4), \\ F_6 &= a_6 + b_6 x'_6 + d_6 \sin(\nu\tau + \alpha_6), \\ x_5 &= d_5 \sin(\nu\tau + \alpha_5) \end{aligned} \right\} \quad (13),$$

ia

$$\nu = \omega / p.$$

Naudingo veiksmo koeficientas išreiškiamas lygtimi:

$$\eta = \frac{A_u}{A_m} = \frac{\int_0^T F_6 x'_6 d\tau}{\int_0^T F_1 x'_1 d\tau} \quad (14).$$

Nustatome judesio grei io netolygum :

$$\delta x'_s = \frac{x'_{s\max} - x'_{s\min}}{\bar{x}'_s} \quad (s = 1, 2, 6) \quad (15),$$

$$\bar{x}'_s = \frac{x'_{s\max} + x'_{s\min}}{2} \quad (16).$$

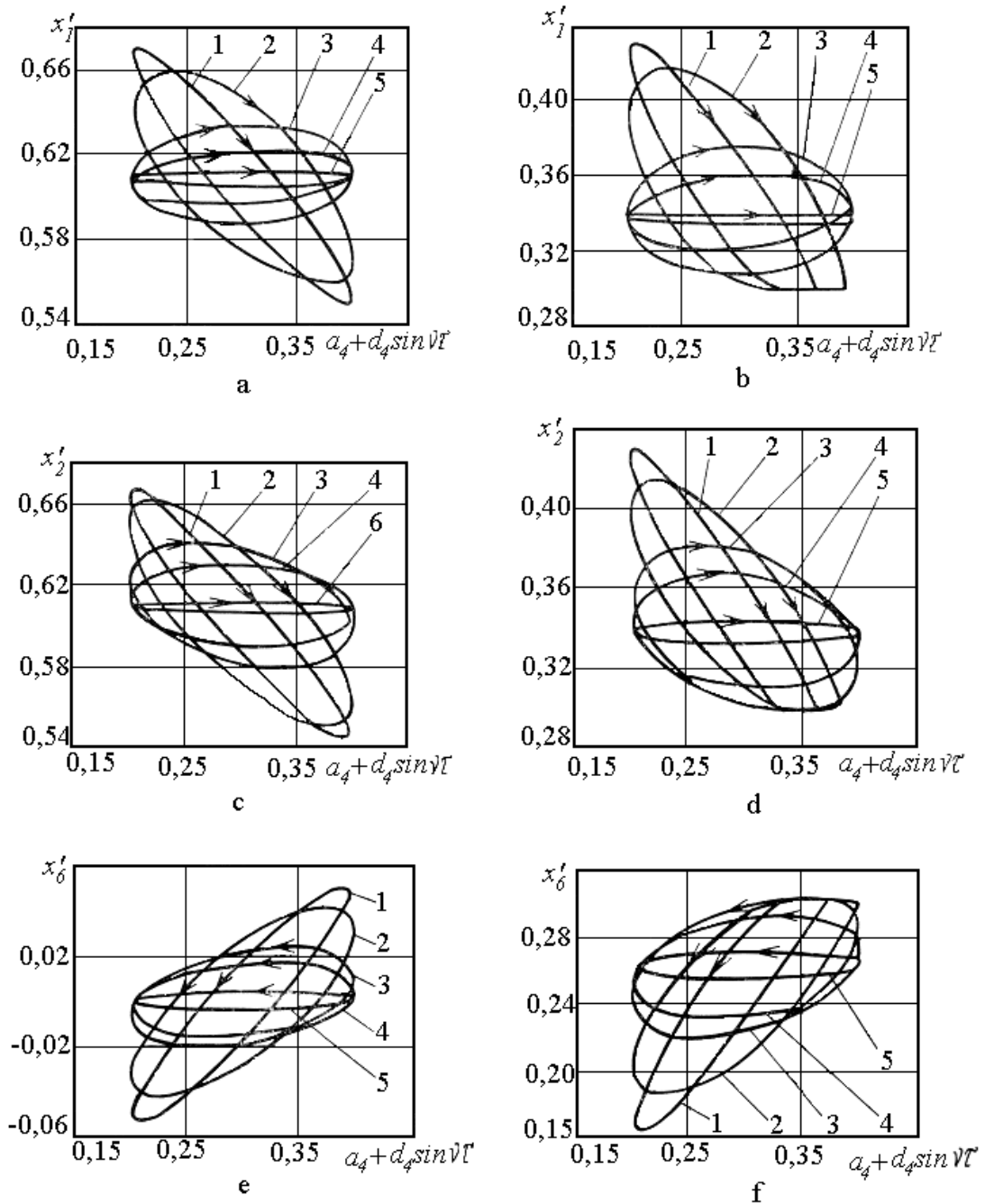
4. SISTEMOS „RITIN LIS-JUOSTA“ TEORINIAI TYRIMAI

Ši tyrim tikslas – nustatyti sistemos „ritin lis-juosta“ darbo s lygas, kurioms esant galima reguliuoti praslydimio tarp juostos ir ritin lio zonos parametrus, kitaip tariant, nepraslydimio zonos (NZ) parametrus.

Išnagrin kime atvej , kai sistema „ritin lis-juosta“ veikiama virpesiais, o kontaktas tarp sistemos „ritin lis-juosta“ k n deformuojamas, t.y. kai $d_1, d_4, d_5, d_6 \neq 0$. Tuo atveju, kai nagrin jamos sistemos „ritin lis-juosta“ k nai juda vienas kito atžvilgiu sinchroniškai, t.y. be praslydimio, sakoma, kad jie yra nepraslydimio zonoje (NZ), t.y. kai $x'_1 = x'_2 = x'_6$.

Analizuojame sistemos „ritin lis-juosta“ k n jud jimo grei i priklausomai nuo virpesi parametr fazines diagramas (35 pav.), kurios leidžia spr sti apie tiriamos sistemos dinamines savybes. Iš fazini diagram matyti, kad, didinant amplitudes a_4 , k nai, priklausomai nuo sausos trinties koeficiento f_0 reikšm s, tarpusavyje praslysta arba ne. Esant $f_0 = 0,6$, k n grei iai x'_1, x'_2, x'_6 yra skirtingi (35 a,c,e pav.), o kai $f_0 = 1,0$, esant tom pa iom darbo s lygom, sistemos „ritin lis-juosta“ k nai eina NZ ir j grei iai susilygina esant tam tikroms dažni ν santyki reikšm ms.

B tina pasteb ti, kad sistemos „ritin lis-juosta“ k nai eina NZ prie pakankamai maž ν reikšmi (35 b,d,f pav.). Esant didel ms ν reikšm ms, NZ nepatenkama. Priklausomai nuo virpesi parametr k n jud jimo grei iai svyruoja pla iame diapazone, esant mažesn ms ν reikšm ms, o didinant ν – siauresniame. Esant pakankamai dideliai ν reikšmei, pasiekiamas palyginus pastovus k n greitis.

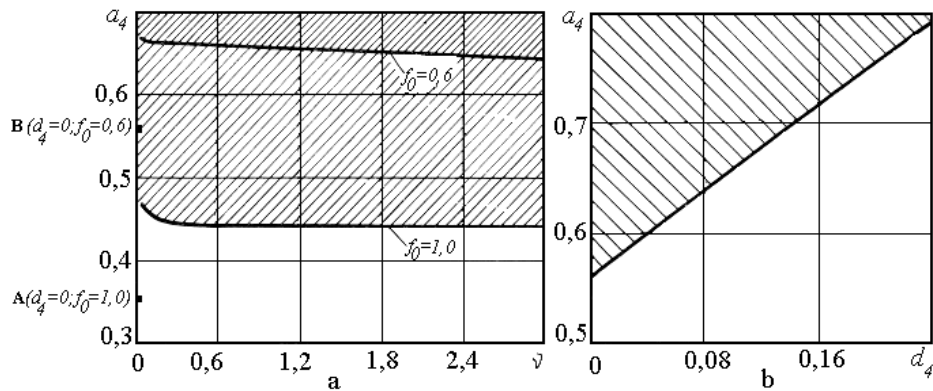


35 pav. Sistemos „ritin lis-juosta“ k n jud jimo grei i priklausomybi nuo virpesi parametr fazin s diagramos, kai $a_4 = 0,3$; $d_4 = 0,1$; $\alpha_4 = 0^0$; $\frac{v}{2\pi}$ lyg s: 1 – 0,03; 2 – 0,08; 3 – 0,2; 4 – 0,3; 5 – 1,5; 6 – 5,0

Kad sistemos „ritin lis-juosta“ k nait NZ, b tinas f_0 reikšm s didinimas, esant $v = const$, iššaukia a_4 sumaž jim , o v didinimas, kai $f_0 = const$ – nežym a_4 maž jim .

Jei sistemai neteikti sužadavimo virpesiais, t.y. $d_4 = 0$, tai NZ, esant duotoms $f_0 = const$ reikšm ms, susidarys prie mažesni a_4 reikšmi (36 a pav. – A,B). Tai galima paaiškinti tuo,

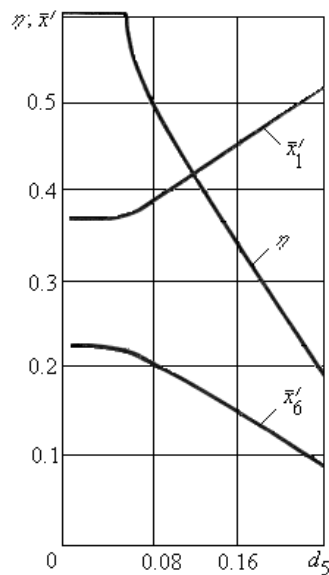
kad, paveikus sistem virpesiais, sumaž ja trinties j ga ir NZ susidarymui b tina didesn a_4 reikšm (36 b pav.).



36 pav. Sistemos k n jud jimo vairiatipi režim egzistavimo priklausomai nuo sužadavimo virpesiais sritys, kai $a_1 = 0,5$; $a_6 = -0,2$; $b_1 = b_6 = -0,5$; $f_1 = 0,1$; $x'_1 = x'_2 = x'_6 = 0,3$;

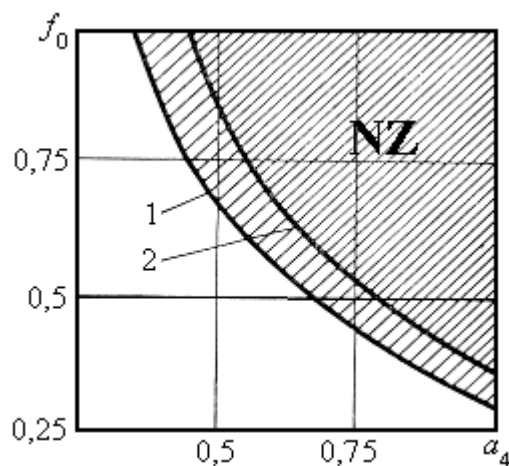
a) $d_4 = 0,1$; b) $f_0 = 0,6$; $\frac{\nu}{2\pi} = 0,5$. Sistemos k n nepraslydimo zona užbr kšniuota.

Vidutinis greitis \bar{x}'_1 išauga, o greitis \bar{x}'_6 sumaž ja did jant sužadavimo virpesiais amplitudei d_5 ; naudingo veiksmo koeficientas (n.v.k.) tuo pat metu staigiai maž ja (37 pav.). Tai paaiškinama tuo, kad trinties j ga tarp sistemos „ritin lis-juosta“ k n sumaž ja, ko padarinyje išsiple ia NZ, ir tod l maž ja η .



37 pav. Sistemos „ritin lis-juosta“ k n jud jimo vidutini grei i ir n.v.k. priklausomyb s nuo sužadavimo virpesiais parametr grafikas, kai $f_0 = 1.0$

Sužadinus sistemą „ritin lis-juosta“ virpesiais, NZ susidarymui būtina didesnė a_4 reikšmė, nei neveikiant sistemos virpesiais (38 pav.). Tai sudaro sąlygas valdyti pasipriešinimo judesiui realioje sistemoje.



38 pav. Sistemos k n judėjimo vairiatipi režimų egzistavimo sritys priklausomai nuo sužadavimo virpesiais parametru, kai $a_1 = 0,5$; $a_6 = -0,2$; $b_1 = b_6 = -0,5$; $f_1 = 0,1$; $x'_1 = x'_2 = x'_6 = 0,3$; $2h_{12} = 0,2$; $2h_{23} = 2h_{45} = 2,0$; $\delta_{23} = \delta_{45} = 10$; $\mu = 1,0$, $\mu_3 = 0,01$; Sistema: 1 – neveikiama virpesiais ($d_4 = 0$); 2 – veikiama virpesiais ($d_4 = 0,1$; $\frac{V}{2\pi} = 0,1$)

5. ROLAMAITINI PJEZOELEKTRINI VIBROVARIKLI EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

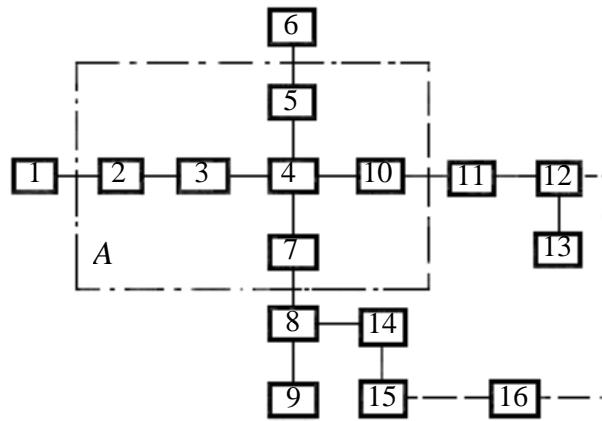
Didelį vibrovarkių specifškumą, o tiksliau – didelį mažos galios ir mažą siki, daugeliu atvejų ne manoma išmatuoti variklio parametrų. Todėl, be bendro RTM tyrimo metodo, būtina sukurti priemonės rolamaitiniams PVBV, užtikrinantiems reikalingą matavimo tikslumą, tirti. Todėl pirmasis eksperimentinis tikslas – ištirti dinaminius procesus, vykstančius rolamaitinio PVBV sistemoje „ritinlis-juosta“. Tyrimo objektai – sukurti originalūs rolamaitiniai PVBV, kurių ritinliai veikiami aukštadažniais virpesiais.

5.1. Dinaminis procesas, vykstantis rolamaitinio PVBV sistemoje „ritinlis-juosta“, eksperimentiniai tyrimai

Matuoti rolamaitinio PVBV virpesius gana sudėtinga, ir ne tik dėl to, kad ritinliai virpa maža amplitude, bet daugiausia dėl to, kad kartu su virpesiais matuojami ir dideli triukšmai. Jie kyla dėl pagrindo virpėjimo, dėl pagamintų detalių geometrinio netikslumo ir dažniausiai yra atsitiktiniai.

Virpesių matavimo ir triukšmo išskyrimo metodikimui skiriama daug dėmesio. Kontaktinio tyrimo metodai yra riboti, nes sukeliamas triukšmas dažnai iškraipo matavimo rezultatus ir iš esmės paveikia eksperimento lygumą. Perspektyvūs yra nekontaktiniai optiniai tyrimo metodai, visiškai tenkinantys eksperimento reikalavimus, t.y. nekontaktavimo, didelio matavimo tikslumo, didelių erdvių skyros. Šie metodai ir buvo panaudoti rolamaitinio PVBV ritinliu virpesių parametrų tirti.

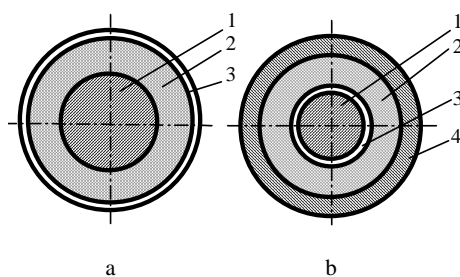
Panagriniame lazerinio interferometrinio renginio, skirto rolamaitinio PVBV virpani ritinliu, gaubiam lankios juostos, dinaminėms charakteristikoms tirti, struktūrinė schem (39 pav.).



39 pav. Lazerinio interferometrinio renginio, skirto rolamaitinio PVBV virpani ritinli, gaubiam lankios juostos, dinaminms charakteristikoms tirti, strukturin schema

Interferometro optinje galvutje *A* formuojasi du spinduliai: atraminis ir zonduojantysis. Lazerio spindulys iš He-Ne lazerio 1 pereina optin ventili 2, sudaryt iš $\lambda/4$ bangin s plokštels (lazerio šviesos bangos ilgis $\lambda = 6328 \text{ \AA}$) ir poliaroido, fokusuojant j 1 š 3 ir dalijimo element 4 ir dalijasi du vienodo intensyvumo spindulius. Atraminis spindulys atsispindi nuo veidrodžio 5, tvirtinto ant pjezokeraminio pagrindo (turint tiksl moduliuoti ir keisti interferometro matuojamo peties optin ilg), kuris maitinamas iš šaltinio 6, antr kart pereina dalijimo element 4, 1 š 7, reikaling interferencinio vaizdo parametrams pagerinti fotoelektrinio daugintuvo 8 katodo plokštumoje, interferuoja su zonduojamu spinduliu ir patenka fotoelektrinio prietaiso 8, maitinamo iš labai stabilizuoto šaltinio 9, jim . Antrasis – zondavimo spindulys iš dalijimo elemento 4 pereina 1 š 10, skirt erdvinei skyros j gai padidinti, ir patenka ant tiriamojo objekto 11, maitinamo iš aukštadažn s tampos šaltinio 12, kurio dažnis kontroliuojamas dažnima iu 13, antr kart pereina 1 š 10 ir dalijimo element 4 ir, interferuodamas su atraminiu spinduliu, patenka fotoelektrinio prietaiso 8 jim . Gautas elektrinis signalas sustiprinamas stiprintuvu 14 ir registruojamas oscilografu 15. Dinaminio proceso, vykstan io kinematin je ritin lio ir juostos poroje, ir iš jimo signalo pradini moment registracij synchronizuoja prietaisas 16. Poslinkio dydžio jautrumo slenkstis nustatomas pagal $\frac{1}{4}$ lazerio šviesos bangos ilgio ir šiuo atveju sudaro $0.15 \mu\text{m}$.

Tiriame du RTM virpani ritin li tipus (40 pav.).

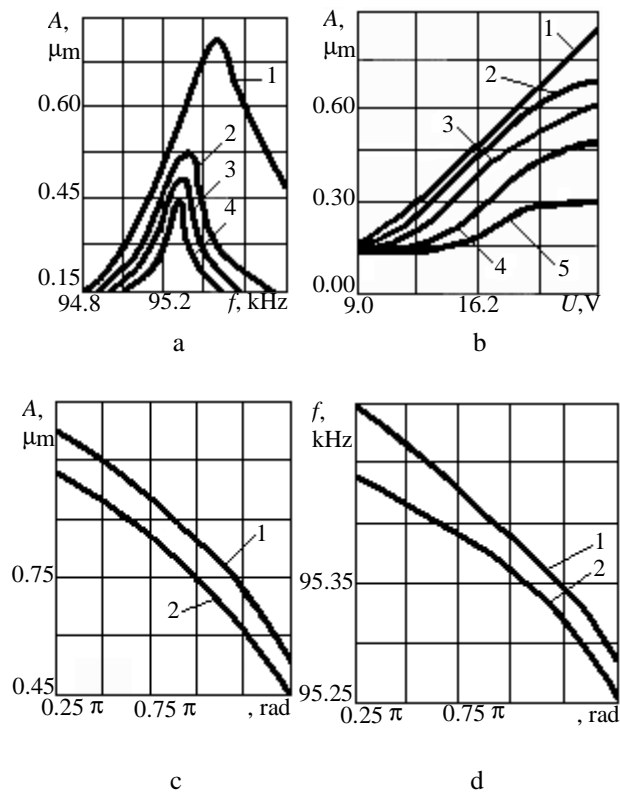


40 pav. RTM virpantys ritin liai: a – nejudamas (1); b – sukamas (2); 1 – ašis, nejudamai tvirtinama prie pagrindo; 2 – pjezoelektrinis žiedinis VK; 3 – elastinis frikcinis žiedas; 4 – standus žiedinis apdangalas, gaubiamas lanks ia juosta

Kai lanks ios juostos gaubiamo nejudamo RTM ritin lio 1 (40 pav., a) pjezoelektrinio žiedinio VK elektrodams duodamas aukštadažnis elektrinis signalas, ritin lis pradeda virp ti. Tarp ritin 1 l gaubian ios lanks ios juostos ir pjezoelektrin žiedin VK 2 apgaubusio elastinio frikcinio žiedo 3 sumaž ja tikrasis kontakto zonos plotas ir susidaro virpesi pl vel (VP). Ritin lis l skirtas trin iai sumažinti taisuose, kuriuos eina RTM. Ritin lio l ašis tvirtinama prie pagrindo nejudamai, o tokio tipo RTM ritin liai ne rieda lanks ia juosta, o slysta.

Tiriamasis ritin lis 2 (40 pav., b) taip pat skirtas trin iai sumažinti taisuose, kuriuos eina RTM. Ta iau toki RTM ritin liai rieda lanks ia juosta. Ritin lis 2 susideda iš ašies 1, nejudamai tvirtinamos prie pagrindo, ir ant jos užmaunamo surinkto žiedinio pjezokeraminio elemento. Šis susideda iš pjezoelektrinio žiedinio VK 2, kurio vidin je pus je pritvirtintas elastinis frikcinis žiedas 3, kuris kontaktuoja su ašimi 1, o išor je žied 2 gaubia nejudamai prie jo pritvirtintas standus žiedinis apdangalas 4, kuris kontaktuoja su j gaubian ia lanks ia juosta. Tokiame ritin lyje 2 tarp užmaunamo surinkto žiedinio pjezokeraminio elemento elastinio frikcinio žiedo 3 ir nejudamos ašies 1 susidaro virpesi suspausta dujin pl vel (VSDP).

Tiriame ritin li virpesius radialine kryptimi neapkrautu ir apkrautu darbo režimais (41 pav.). Esant apkrautam darbo režimui, ritin lis gaubiamas lanks ia juosta kampu nuo $\pi/4$ iki $3/2 \pi$. Vienas juostos galas tvirtinamas prie nejudamo pagrindo, o prie kito jos galo pakabinamas svarmuo.



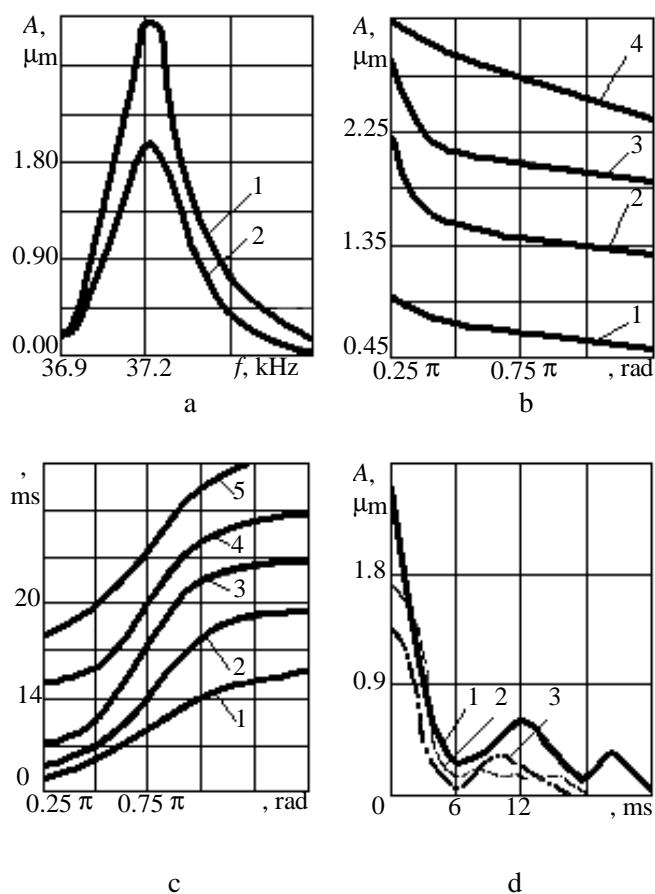
41 pav. RTM virpan io ritin lio 1, gaubiamo temptos (apkrautos) juostos, eksperimentinio tyrimo kreivės: *a* - $A = f(f)$, kai $U = 40$ V; $\varphi = 3/2\pi$; P lygi: 1 – 0 N; 2 – 0.5 N; 3 – 1.0 N; 4 – 2.0 N; *b* - $A = f(U)$, kai $\varphi = \pi$; P lygi: 1 – 0.5 N; 2 – 1.0 N; 3 – 1.5 N; 4 – 2.0 N; 5 – 2.5 N; *c* - $A = f(\varphi)$, kai $U = 40$ V; P lygi: 1 – 1.0 N; 2 – 2.0 N; *d* - $f = f(\varphi)$, kai $U = 40$ V; P lygi: 1 – 1.0 N; 2 – 2.0 N

Kaip matyti iš atlikto eksperimento duomenų, ritin lio, vienodu kampu gaubiamo skirtingu dydžiu apkrautos juostos, virpesių amplitudės ir rezonansinis dažnis mažėja didinant juostos apkrovos laipsnį (41 pav., a).

Analizuojant ritin lio virpesių amplitudės priklausomybę nuo maitinimo tamos dydžio, esant pastoviam rezonansiniam dažniui ir skirtingam juostos apkrovimo laipsniui, galima padaryti išvadą, kad didinant juostos apkrovą mažėja ritin lio virpesių amplitudė (41 pav., b). Kai juostos apkrovos yra mažos, ritin lio virpesių amplitudės priklausomybė beveik tiesinė. Didinant maitinimo tamos amplitudę didėja ritin lio virpesių amplitudė.

Iš pateiktų grafikų (41 pav., c, d), apibūdinančių ritin lio virpesių amplitudės ir dažnio pokyčių priklausomybę nuo ritin lio gaubiamos juostos gaubimo kampo kitimo, esant skirtingam jos apkrovimo laipsniui, galima daryti išvadą, kad, didinant ritin lio gaubimo juosta kampą, mažėja jo virpesių amplitudė ir dažnis.

42-ame paveiksle pateikta RTM tiriamojo ritin lio 2 eksperimentinio tyrimo kreivės.



42 pav. RTM virpanio ritinio 2, gaubiamo temptos (apkrautos) juostos eksperimentinio tyrimo kreivės: *a* - $A = f(f)$ surinktam pjezoelektriniam žiediniam VK (40 pav., b), kai $U = 60 \text{ V}$; 1 – pjezoelektrinio žiedinio VK darbiniam paviršiui; 2 – standaus žiedinio apdangalo 4 išoriniam paviršiui; *b* - $A = f(\varphi)$, kai $P = 1.0 \text{ N}$; U lygi: 1 – 10 V; 2 – 20 V; 3 – 30 V; 4 – 40 V; *c* - $\tau = f(\varphi)$, kai $U = 30 \text{ V}$; P lygi: 1 – 0.5 N; 2 – 1.0 N; 3 – 1.5 N; 4 – 2.0 N; 5 – 3.0 N; *d* - $A = f(\tau)$, kai $U = 40 \text{ V}$; $\varphi = \pi$; P lygi: 1 – 0 N; 2 – 1.0 N; 3 – 2.0 N

Ritinio 2, sudaryto iš pjezoelektrinio žiedinio VK pjezokeraminio žiedo 2 darbinio (vidinio) paviršiaus ir standaus žiedinio apdangalo 4 išorinio paviršiaus (40 pav., b) virpesi dažnis ir amplitudės charakteristikos pateiktos 42 a pav. Iš kreivių matyti, kad surinkto pjezoelektrinio žiedinio VK standaus žiedinio apdangalo 4 išorinio (parazitinio) virpesi amplitudė yra gana aukšta palyginti su pjezoelektrinio žiedinio VK 2 darbinio paviršiaus virpesi amplitudėmis, t.y. veikia trinties tarp ritinio 2 ir jį gaubianios juostos įgosedys.

42 b pav. pateiktos surinkto žiedinio pjezoelektrinio žiedinio VK virpesi amplitudės priklausomybės nuo ritinio 2 gaubimo lankio juosta kampo esant skirtingiems maitinimo

tamos dydžiams. Iš kreivi matyti, kad gaubimo kampams kintant nuo $\pi/4$ iki $\pi/2$ virpesi amplitud ženkliai mažėja. Toliau didinant gaubimo kampą iki $3/2 \pi$ virpesi amplitud tik šiek tiek mažėja pagal tiesinį dėsningumą. Didinant maitinimo tampą, virpesi amplitudės didėja visuose ritinio gaubimo juosta kampo diapazonuose.

Didinant ritinio gaubimo apkrauta lanką, didėja VSDP susidarymo trukmė. Analogišką išvadą darome, kai, esant vienodam gaubimo kampui, didiname juostos apkrovos laipsnį (42 pav., c).

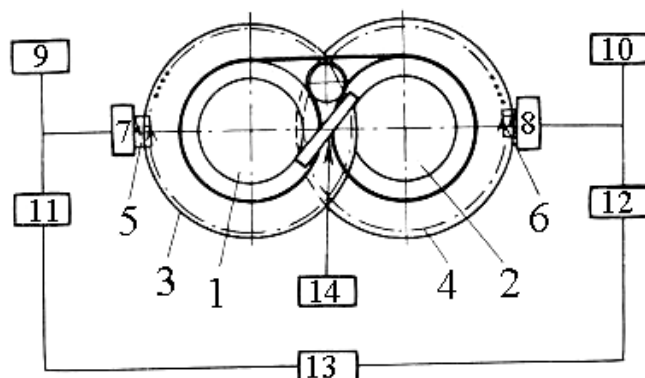
Išjungus tampą, prijungiam prie pjezoelektrinio žiedinio VK 2 elektrodus, VSDP slopimo trukmė priklauso nuo ritinio gaubimo juostos apkrovos dydžio (42 pav., d). Kuo labiau juosta apkrauta, tuo sparčiau slopsta VSDP.

5.2. Dinaminis procesas, vykstanti rolamaitiniuose PVBV, eksperimentiniai tyrimai

Kuriant rolamaitinius PVBV, reikėjo išsiaiškinti, kokią rolę turi sukimosi sinchroniškumui daro rolamaitinio principo taikymas. Buvo sukurtas rolamaitinio PVBV maketas (7 pav.), o jo pagrindu – eksperimentinis standas (43 pav.).

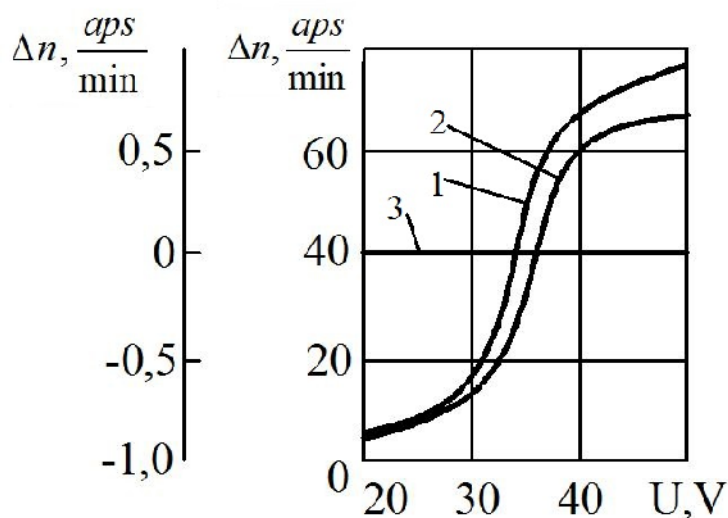
Pjezoelektrinis VK, iš maitinimo bloko 14 padavus aukštadažnį kintamos tamos signalą ant VK elektrodus, pradeda sukėti rotorius 1 ir 2. Ant rotorio veleno tvirtinami rastriniai diskai 3 ir 4, susieti su fotojutikliais 5 ir 6. Signalų stiprintuvai – formuotojai 7 ir 8 sujungti su dažnėmis 9 ir 10, ir per dažninius diskriminatorius 11 ir 12 – su dviejų kanalų registracijos bloku 13.

Pradžioje buvo tiriamas neapkrautas dviejų rotorio vibrovariklis, kurio abu rotorius suka vienas pjezoelektrinis VK (44 pav., a). Vėliau, – apkraunant vieną rotorį, dviejų rotorio PVBV, kurio abu rotorius suka vienas pjezoelektrinis VK, (44 pav., b, 1-oji kreivė) ir rolamaitinis PVBV, kuriame pjezoelektrinis VK suka vieną rotorį (44 pav., b, 2-oji kreivė) ir abu rotorius (44 pav., b, 3-oji kreivė).



43 pav. Rotori sukimosi nesinchroniškumo matavimo schema: 1,2 – rotoriai; 3,4 – rastriniai diskai; 5,6 – fotojutikliai; 7,8 – stiprintuvai – formuotojai; 9,10 – dažnima iai; 11,12 – dažniniai diskriminatoriai; 13 – dviej kanal registracijos blokas; 14 – pjezoelektrinio VK maitinimo blokas

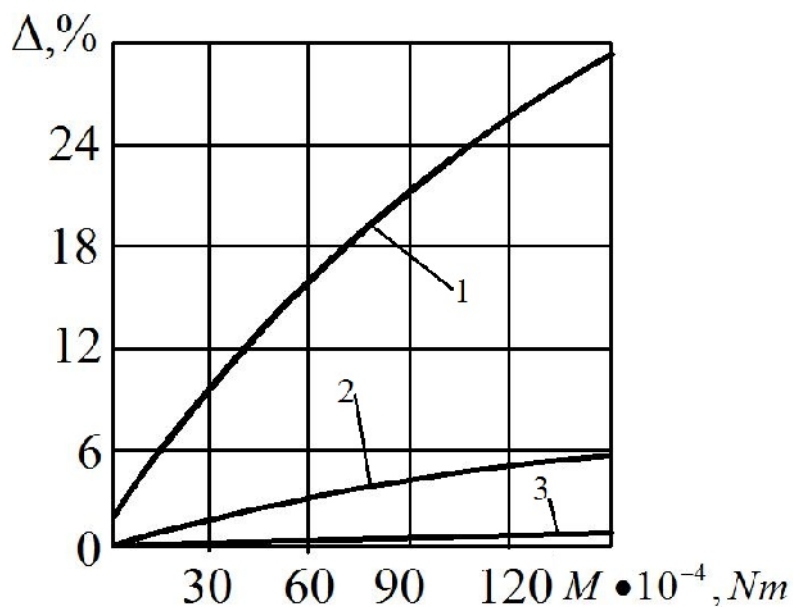
Buvo panaudotas optimalus pjezoelektrinio VK žambaus lietimosi su rotoriumi kampas – 120° – 130° . Pirmoji ir antroji kreivės (44 pav.) rodo rotorio sukimosi nesinchroniškumą, didinant pjezoelektrinio VK maitinimo tampą, o tuo pačiu ir rotorio sukimosi kintamumą, trečioji kreivė (ties) rodo, kad, sujungus rotorius rolamaitiniu būdu, jų sukimosi nesinchroniškumas išnyksta.



44 pav. Vibrovariklio rotorio sukimosi nesinchroniškumo priklausomybių kreivės neapkrautame darbo režime: kreivės 1,2 – $n=f(U)$ rotoriams 1 ir 2; kreivė 3 – $\Delta n=f(U)$ rolamaitinio PVBV rotoriams;

Kaip matome (45 pav.), labiausiai rotorio nesinchroniškumas išauga paprastame 2-j rotorio vibrovariklyje (pirmoji kreivė), mažiausiai – rolamaitiniame PVBV, kuriame

pjezoelektrinis VK suka abu rotorius (treioji kreivė). Vadinasi, rolamaitinio PVBV variantas, kai pjezoelektrinis VK suka abu rotorius, yra optimaliausias.

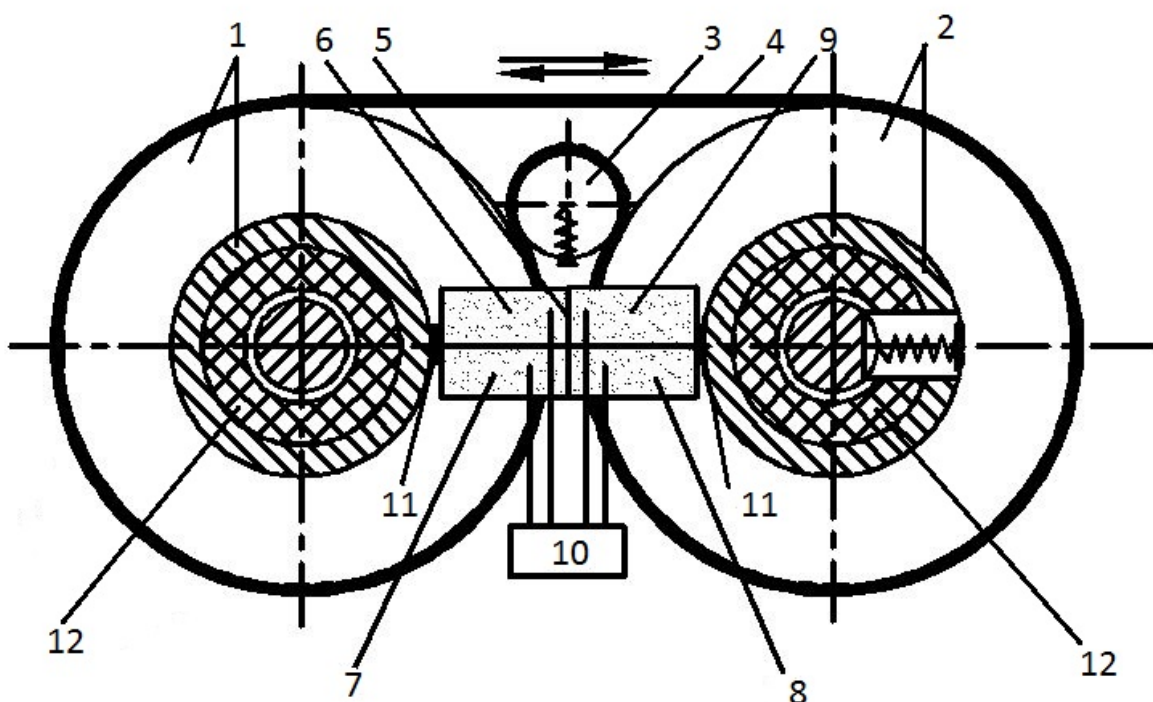


45 pav. PVBV rotorio sukimosi nesinchroniškumo priklausomybė nuo išorinio apkrovos viename rotoriumi: 1 – 2-jis rotorius VBV, kurio rotorius suka vienas pjezoelektrinis VK; 2,3 – rolamaitiniam PVBV, kuriame pjezoelektrinis VK suka: 2 – vieną rotorius, 3 – du rotorius

Tyrimo duomenimis pasinaudota, kuriant originalius rolamaitinius mechanizmus.

6. SUKURTOJI ROLAMAITINIO PVBV KONSTRUKCIJA

Sukurta originali rolamaitinio PVBV konstrukcija (46 pav.), kurioje rotoriai 1 ir 2 yra pjezoelektriniai sukamieji ritin liai, užmauti ant nejudam aši .



46 pav. Rolamaitinis 2-j rotoris PVBV su pjezoelektriniais sukamais ritin liais

Tokiame PVBV begalin juosta 4 glaudžiai gaubia du rotorius 1 ir 2 ir tempimo ritin 1 3. Tokia konstrukcija užtikrina rotorius aukšt sukimo sinchroniškum . PVBV rotorius suka pjezoelektrinis VK 5, kurio elektrodai 6,7,8,9 elektriškai sujungti su valdymo bloku 10. Pjezoelektrinis VK 5 per kontaktinius elementus 11 lie iasi su rotoriais 1 ir 2. Rotorius viduje patalpinti žiediniai pjezoelektriniai VK 12, elektriškai sujungti su valdymo bloku 10 (br žinyje neparodyta), užmauti ant nejudam aši . Suteikus žiediniams pjezoelektriniam VK 12 maitinan ius signalus, tarp nejudam aši ir žiedini pjezoelektrini VK 12 susidaro VSDP ir ried jimo trintis tampa lygi 0. Rotoriai, atjungus maitinant signal , momentaliai sustabdomi. Toks rolamaitinis PVBV tinka darbui nepertraukiamame ir žingsniniame režime. Jis gali b ti pritaikytas juostos traukimo mechanizmuose, mikromanipuliatoriuose ir kt. tiksluose taisuose.

IŠVADOS

1. Apžvelgtos pjezoelektrini vibrovarikli (PVBV) konstrukcijos ir j veikimo principas. Nustatyta, kad galima didžiu PVBV konstrukcij vairov , kaip, pavyzdžiui, PVBV, kuriuose buvo panaudotas strižas pjezoelektrinio virpesi keitiklio (VK) sm gis judam element – plokštel , juost ar ritin l , o taip pat PVBV su pjezoelektriniu VK su sudalintais elektrodais. Traukimo j g pjezoelektriniame VBV galima sukelti panaudojant „b gan i “ virpesi bang .

2. Sudaryta ir pateikta rolamaitini mechanizm virpan i element – pjezoelektrini VK klasifikacija.

3. Sudarytas rolamaitinio PVBV sistemos „ritin lis-juosta“ dinaminis modelis, kai kontaktas tarp sistemos element deformuojamas. Nustatyta, kad PVBV sistemos „ritin lis – juosta“ k nai, j nepraslydimu zon , toliau juda vienodu grei iu. Taip pat nustatyta, kad virpesiais galima valdyti nepraslydimu zonos parametrus. Pateiktos teorini tyrim kreiv s.

4. Atlikti dinamini proces , vykstan i sistemoje „ritin lis- juosta“, tyrimai su dviej tip viraniais ritin liais: nejudamu ir sukamu lazerin s interferometrijos b du. Taip pat išnagrinti dinaminiai procesai vykstantys rolamaitiniuose PVBV. Eksperimentiniais tyrimais nustatyta:

a. Ritin lio virpesi amplitud did ja didinant maitinimo tamos amplitud . Ritin lio, vienodu kampu gaubiamo skirtingu dydžiu apkrautos juostos, virpesi amplitud ir rezonansinis dažnis maž ja didinant juostos apkrovos laipsn .

b. Didinant ritin lio gaubimo juosta kamp , jo virpesi amplitud ir dažnis maž ja. RTM su sukamais virpaniais ritin liais pasižymi didesne laikom ja geba ir yra žymiai jautresni nei RTM su nejudamais ritin liais, tod l juos tikslinga naudoti ypa jautriose sistemose.

c. Eksperimentiškai tiriant rolamaitin VBV nustatyta, kad rotorini nesinchroniškumas labiausiai išauga paprastame 2-j rotorini PVBV, mažiausiai – rolamaitiniame PVBV, kuriame pjezoelektrinis VK suka abu rotorius. Vadinasi, rolamaitinio PVBV variantas, kai pjezoelektrinis VK suka abu rotorius, yra optimaliausias.

5. Sukurta originali rolamaitinio PVBV konstrukcija su rotoriais, kurie yra pjezoelektriniai sukamieji ritin liai, užmauti ant nejudam aši .

LITERAT RA

1. **R. Bansevius, K. Ragulskis**, 1981, Vibromotors (in Russian). -Vilnius, Mokslas, 193 p.
2. **K. Spanner, O. Vyshnevskiy, W. Wischewskiy**, 2006, Design of Linear Ultrasonic Micro Piezo Motor for Precision Mechatronic Systems. -Physik instrumente, <http://www.physikinstrumente.com>
3. **R.V. Ulozas**, 2007, Teoretinė ir eksperimentinė analizė dinaminių rolamitinių mechanizmų - A Theoretical and Experimental Investigation of the Dynamics of Rolamite-Type Mechanisms. - Strojiniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 53(2007)1, 26-47, ISSN 0039-2480.
4. Juostos traukimo mechanizmas. - TSRS išradimas Nr. 570102
5. Juostos traukimo mechanizmas. - TSRS išradimas Nr. 681451
6. Pjezoelektrinis variklis. - TSRS išradimas Nr. 577591
7. **R. Bansevius**, 2009, State-Of-The-Art And New Developments Of Multi-Degree-Of-Freedom Piezoelectric Motors For Experimental Mechanics And Measuring Devices. XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, September 6-11, 2009, Lisbon, Portugal
8. **K. Ragulskis, R. V. Ulozas, N. Bakai, A. Palevius**, 1990, Mechanisms of rolamite type (in Russian). -Vilnius, Mokslas, 200 p.
9. Mikromanipuliatoriaus griebtas. - TSRS išradimas Nr. 1602735
10. Mikromanipuliatoriaus griebtas. - TSRS išradimas Nr. 1516348
11. Pjezoelektrinis variklis. - TSRS išradimas Nr. 698078
12. Elektrovariklis - TSRS išradimas Nr. 497633
13. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 987714
14. Peristaltinis siurblys - TSRS išradimas Nr. 954608
15. Juostos traukimo mechanizmas. - TSRS išradimas Nr. 932557
16. Peristaltinis siurblys - TSRS išradimas Nr. 1010316
17. Peristaltinis siurblys - TSRS išradimas Nr. 1543121
18. Tiesiaieigio judesio atrama. - TSRS išradimas Nr. 581336
19. Juostos traukimo mechanizmas. - TSRS išradimas Nr. 570103
20. Tiesiaieigio judesio atrama. - TSRS išradimas Nr. 634029
21. Juostos traukimo mechanizmas. - TSRS išradimas Nr. 617786
22. Juostos traukimo mechanizmas. - TSRS išradimas Nr. 720533
23. **K. Spanner**, 2006, Survey of the Various Operating Principles of Ultrasonic Piezomotors, - Physik Instrumente, Actuator 2006

24. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 913483
25. Mikromanipulatoriaus ranka. - TSRS išradimas Nr. 971642
26. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 1032961
27. Precizinis pos kio mechanizmas - TSRS išradimas Nr. 1558637
28. Mikromanipulatoriaus ranka. - TSRS išradimas Nr. 1548044
29. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 819867
30. Peristaltinis siurblys - TSRS išradimas Nr. 846788
31. Ultragaršinis žingsninis variklis - TSRS išradimas Nr. 843660
32. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 771773
33. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 830600
34. Peristaltinis siurblys - TSRS išradimas Nr. 649882
35. Peristaltinis siurblys - TSRS išradimas Nr. 775383
36. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 949709
37. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 968868
38. Vibrovariklis - TSRS išradimas Nr. 642804
39. Pjezoelektrinis variklis. - TSRS išradimas Nr. 658684
40. Pjezoelektrinis variklis. - TSRS išradimas Nr. 656135
41. Magnetin s juostos traukimo mechanizmas - TSRS išradimas Nr. 637852
42. Magnetin s juostos traukimo mechanizmas - TSRS išradimas Nr. 647734
43. **D.F. Wilkes**, 1967, Rolamite: A New Mechanical Design Concept.-Research Report SC-RR-67-656 A, Sandia Laboratories, December.-223p.
44. **D.F. Wilkes**, 1968, Rolamite: A New Mechanism.-Mechanical Engineering. April, v.90, No 4, p.11-29.
45. **R.V. Cadman**, 1969, Rolamite – Geometry and Force Analysis. Journal of Engineering for Industry. Trans. ASME, Ser.B, Feb., v.91, No 1, p. 185-191.
46. **C.M. Percival, F.R. Norwood**, 1969, A Theoretical and Experimental Investigation of the Dynamic Response of Rolamite. -Trans. ASME, Ser.B., v.91, No 1, p. 235-239.
47. Pjezoelektrinis variklis. - TSRS išradimas Nr. 936764
48. Linijinis variklis. - TSRS išradimas Nr. 1566851
49. Linijinis variklis. - TSRS išradimas Nr. 1559820
50. Mikromanipulatoriaus griebtas. - TSRS išradimas Nr. 1703450
51. Mikromanipulatoriaus griebtas. - LR patentas LT 3941 B

PRIEDAI