

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

MINDAUGAS DUBRA

TURBOMOLEKULINIO SIURBLIO VALDYMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Lekt. dr. Tomas Jukna

PANEVĖŽYS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
Doc. dr.

TURBOMOLEKULINIO SIURBLIO VALDYMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Valdymo technologijos 621H66001

Vadovas
Lekt. dr. Tomas Jukna

Recenzentas

Projektą atliko
Mindaugas Dubra

PANEVĖŽYS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO

(Fakultetas)

Mindaugas Dubra

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos, 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Turbomolekulinio siurblio valdymo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Birželio 1 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano **Mindaugo Dubros** baigiamasis projektas tema „**Turbomolekulinio siurblio valdymo tyrimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TVIRTINU:
KTU Panevėžio technologijų ir
verslo fakulteto
Technologijų katedros vedėjas

201..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Mindaugui Dubrai Grupė PME-3

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Turbomolekulinio siurblio valdymo tyrimas

Research of turbo molecular pump control

Anglų kalba:

Patvirtinta 2015 m. vasario mėn. 13 d. dekanu potvarkiu Nr. *ST17-F-13-11*

2. Darbo tikslas:

Parinkti tinkamiausią valdymo schemą, pritaikyti valdymo įtaisus, tinkamai pradėti turbomolekulinio siurblio darbą, palaikyti pastovų sukimosi greitį, tinkamai sustabdyti sistemą, aprašyti siurblio veikimo principą.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Siurblio valdymo pritaikymas, parinkti valdymo įtaisus, iširti veikimo principą.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

4.1. Literatūros apžvalga ir analizė.

Atlikti literatūros apžvalgą apie valdymo sistemas, turbomolekulinius siurblius.

4.2. Terminai ir tyrimai

Sukurti turbomolekulinio valdymo schemą, išanalizuoti ir aprašyti veikimą.

4.3. Eksperimentiniai tyrimai

Išanalizuoti veikimo principą, pritaikyti valdymo prietaisą, išbandyti turbomolekulinio siurblio pajungimo schemą.

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

_____ (data)

Užduotį gavau: _____

_____ (studento vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Vadovas: _____

_____ (pareigos, vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Mindaugas Dubra. Turbomolekulinio siurblio valdymo tyrimas. *Magistratūros studijų* baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Tomas Jukna; Kauno technologijos universitetas, Technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra.

Panevėžys, 2015. 53 psl.

SANTRAUKA

Magistriniame darbe apžvelgtas valdymo metodai, veikimo principas . Išbandytas ir panaudotas turbomolekulinis siurblys magistrinio darbo tema. Palyginti keli valdymo galimybių variantai. Ištirtas siurblio valdymas, veikimo priklausomybė nuo kintančių parametru, dažnio keitiklio pritaikymas ir jo programavimas, aprašytas eksperimento algoritmas, schema.

Raktiniai žodžiai: valdymas, siurblys, vakuumas, molekulės, sukimosi greitis, pagreitis.

Mindaugas Dubra. Research of turbo molecular pump control. Masters final project / supervisor lekt. dr. Tomas Jukna; Kaunas University of Technology, Panevėžys Faculty of Technology and Business, Department of Technologies.

Panevėžys, 2015. 53 psl.

SUMMARY

In work is reviewed the management methods, principles of operation. Tested and used Turbomolecular pump master's thesis. Relatively few opportunities for management options. Tested pump management, performance dependence on changing parameters, the inverter application and its programming algorithm described in the experimental scheme.

Keywords: management, cleaner, vacuum, molecules, rotational speed, acceleration.

TURINYS

IVADAS.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ	9
1.1 VALDYMO SISTEMOS	9
1.1.1 <i>Automatinis valdymas.....</i>	9
1.1.2 <i>Valdymo objektas.....</i>	10
1.1.3 <i>Sistemų valdymas, shemos, trikdžiai.....</i>	11
1.1.4 <i>Valdymas kai yra trikdžių.....</i>	12
1.1.5 <i>Uždaroji automatinio valdymo sistema</i>	12
1.1.6 <i>Kombinuotas valdymas.....</i>	13
1.2 SIURBLIŲ SAVOKOS, GARINIAI IR MOLĖKULINIAI SIURBLIAI.....	14
1.2.1 <i>Siurblių palyginimas, gariniai siurbLIAI.....</i>	14
1.2.2 <i>Molėkuliniai siurbLIAI</i>	15
1.3 TURBOMOLEKULINIS SIURBLYS, VALDYMO GALIMYBĖS	15
1.3.1 <i>Turbomolekulinis siurblys</i>	15
1.3.2 <i>Veikimo principas.....</i>	17
1.4 VEIKIMAS ESANT VAKUUMUI.....	18
1.4.1 <i>Siurblio veikimas esant vakuumui</i>	18
1.4.2 <i>Siurblio panaudojimo galimybės.....</i>	22
1.5 SKYRIAUS IŠVADOS	22
2. EKSPERIMENTINĖ DALIS.....	24
2.1 TURBOMOLEKULINIO SIURBLIO VALDYMO GALIMYBĖS	24
2.2 TURBOMOLEKULINIO SIURBLIO IR DAŽNIO KEITIKLIOS PARINKIMAS	27
2.3 SISTEMOS VEIKIMO ALGORITMAS	39
2.4 SIURBLIO VALDYMAS PRITAIKANT SLĖGIO JUTIKLĮ.....	40
2.5 MODELIAVIMO PROJEKTAVIMAS NAUDOJANT PROGRAMAS „MATLAB“ IR „SCILAB“	43
2.5.1 <i>Modelio projektavimas</i>	43
2.6 SKYRIAUS IŠVADOS	51
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	53

IVADAS

Šiuolaikiniame pasaulyje, valdymas ypač svarbus, betkokio prietaiso kuo tikslesnis ir platesnis panaudojimas padeda žmonėms. Net ir brangus prietaisas gali pilnai ar tinkamai nefunkcionuoti be valdymo galimybiu išnaudojimo. Automatika ir jos panaudojimas valdymui, leidžia sumažinti prietaiso pagaminimo išlaidas, pailginti jo tarnavimo laiką, pakeisti žmogaus darbą valdymo klausimais, vietoj jo tai gali padaryti programa ir valdymo prietaisai.

Tema „turbomolekulinio siurblio valdymo tyrimas“ apima veiksmus, būtinus, siekiant užtikrinti saugų, tinkamą, efektyvų ir ekonomišką prietaiso ar sistemos naudojimą ar pritaikymą.

Tiriamajame darbe pateiktas turbomolekulinio siurblio valdymas ir jo pritaikymo galimybės, aprašytas prietaiso veikimo principas, darbo diapazonas. Šiuo atveju siurblys sudėtingas, apibendrintos šio turbomolekulio siurblio valdymo galimybės, kaip valdymas gali įtakoti siurblio veikimui, kokios valdymo galimybės nuo išorinių veiksnių. Valdymas gali labai įtakoti siurblio darbui ir pakeisti jo veikimo ar tarnavimo laiką. Taikant šį metodą, reikėtų įvertinti visus aplinkos veiksnius ir galimus trikdžius.

Darbo tikslas: parinkti tinkamiausią valdymo schemą, pritaikyti valdymo įtaisus, tinkamai pradėti turbomolekulinio siurblio darbą, palaikyti pastovų sukimosi greitį, tinkamai sustabdyti sistemą, aprašyti siurblio veikimo principą.

Darbo uždaviniai:

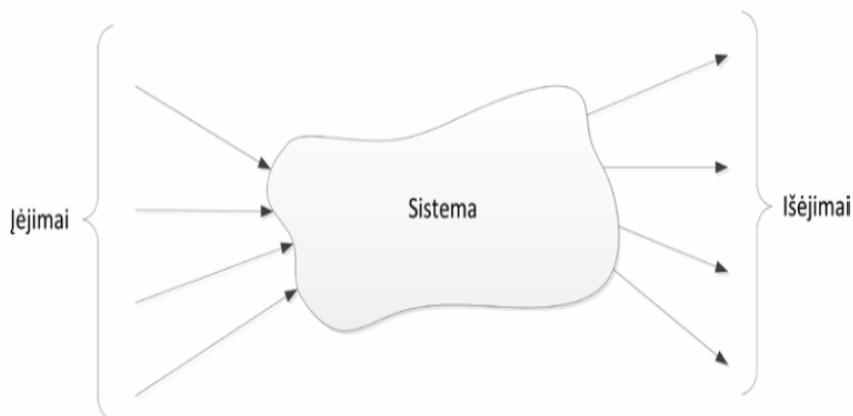
- Valdymo sistemų sudarymo metodai;
- Siurblio valdymo galimybių apžvalga;
- Sistemos valdymo schema, realios sistemos bandymas;
- turbomolekulinio siurblio valdymo kontrolė, paleidimas ir stabdymas.

1. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

1.1 Valdymo sistemos

1.1.1 Automatinis valdymas

Visos sistemos turi įėjimo ir išėjimo kintamuosius. Sistemos reakcija yra aprašoma išėjimo kintamojo priklausomybe nuo įėjimo kintamojo. Tokios priklausomybės tarp vieno ar kelių kintamųjų paprastai aprašomos matematinėmis lygtimis, kurios yra pagrįstos fizikiniais dėsniais arba gaunamos eksperimentiškai. Sistema apima įvairius komponentus, valdymo algoritmus, įrenginius ir prietaisus, kurie sąveikauja tarpusavyje. Ji gali turėti bet kokį skaičių įėjimų ir išėjimų. Tokia sistemos koncepcija parodyta (1.1 pav.) paveiksle.



1.1 pav. Sistemos koncepcija

Valdymo sistemos esmė yra stebėti kintamuosius, rasti sprendimus, kaip efektyviai reguliuoti įėjimus, kad būtų galima gauti pageidaujamą išėjimą. Valdymo sistemos užduotis sąlygiškai galime suskirstyti į tris dalis:

1. Išėjimo kintamųjų stebėjimas juos matuojant.
2. Racionalių valdymo sprendimų priėmimas ar algoritmų taikymas, atsižvelgiant į situaciją ir remiantis informacija apie esamą ir pageidaujamą sistemos būseną.
3. Efektyvus tokių sprendimų įgyvendinimas.

Paprasčiausią valdymo sistemą sudaro du komponentai – valdiklis (regulatorius) ir valdomas objektas. Įrenginys, kuriame vyksta reguliavimas ar valdymas, vadinamas reguliuojamu arba valdomu objektu. Automatinio reguliavimo vadinamas kokio nors fizikinio dydžio reikšmės palaikymas specialiais automatiniais reguliatoriais be žmogaus pagalbos.

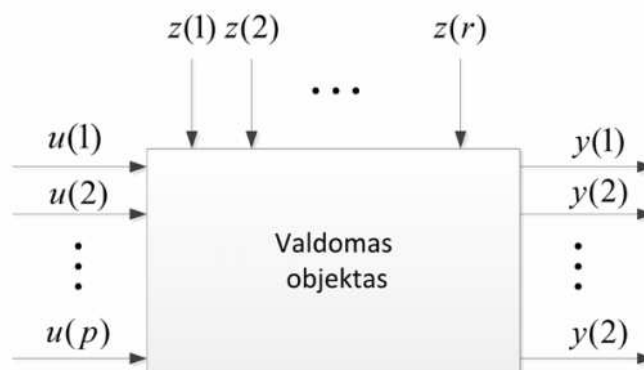
1.1.2 Valdymo objektas

Valdomo objekto darbas priklauso nuo visumos trikdžių, valdymo poveikių ir valdomų kintamųjų, kurie bendru atveju yra vektoriai (1.2 pav.):

$$\vec{u} = \begin{bmatrix} u^{(1)} \\ u^{(2)} \\ \vdots \\ u^{(p)} \end{bmatrix}, \quad \vec{y} = \begin{bmatrix} y^{(1)} \\ y^{(2)} \\ \vdots \\ y^{(l)} \end{bmatrix}, \quad \vec{z} = \begin{bmatrix} z^{(1)} \\ z^{(2)} \\ \vdots \\ z^{(r)} \end{bmatrix},$$

1.2 pav. Vektorinis modelis

čia $(i) u$ – valdymo poveikis, $i p=1,2,\dots$; $(j) y$ – valdomas kintamasis, $j l=1,2,\dots$; $(m) z$ – trikdžiai, $m r=1,2,\dots$. Valdymo objekto blokinė schema parodyta (1.3 pav.) paveiksle.



1.3 pav. Valdymo objekto blokinė schema

Valdymo poveikiai – tai kintamieji, kuriuos galime keisti ir jie turi įtakos valdomiems kintamiesiems. Pvz., keisdami įtampą, keičiame variklio greitį ar elektrinio šildytuvo temperatūrą. Trikdžiai – tai kintamieji, kurie taip pat turi įtakos valdomam objektui. Pvz., apkrova elektros pavarai, generatoriui, išorės temperatūros pokytis temperatūros reguliavimo sistemoje. Juos galima suskirstyti į dvi rūšis: kontroliuojamus (matuojamus darbo metu) ir nekontroliuojamus išorinius poveikius.

Valdymo objektas gali būti stabilus, nestabilus ir neutralus. Objektas yra stabilus, jei, pasibaigus išoriniam poveikiui, jis grįžta į nusistovėjusią padėtį, kurią nulemia jo statinė charakteristika. Nestabiliame objekte, pasibaigus poveikiui, kad ir koks mažas jis bebūtų, išėjimo dydis tebekinta ir objektas negrįžta į nusistovėjusią padėtį. Neutralūs tai yra tokie objektai, kuriuose, pasibaigus poveikiui, nusistovi nauja neapibrėžta pusiausvyros padėtis, priklausanti nuo įvykdyto poveikio.

1.1.3 Sistemų valdymas, shemos, trikdžiai

Pagal automatinių sistemų nusistovėjusios paklaidos didumą sistemos skirstomos į statines ir astatines. Jeigu esant pastoviam nuostatui ($u = \text{const}$) arba trikdančiam ($z = \text{const}$) poveikiui sistemoje, dirbančioje nusistovėjusiu režimu, statinė paklaida nelygi nuliui $0 \neq \Delta$, tai tokia automatinio valdymo sistema (AVS) nagrinėjamojo poveikio atžvilgiu yra statinė. Jeigu esant pastoviam poveikiui paklaida yra lygi nuliui, tuomet tokia sistema yra astatinė. Pagal išėjimo dydžio kitimo dėsnį sistemos klasifikuojamos taip:

1. Stabilizavimo sistema – tai automatinė sistema, kuri duotu tikslumu palaiko pastovų reguliuojamąjį parametą, su paklaida, ne didesne už leistiną.

2. Programinio valdymo sistema – tai tokia sistema, kuri keičia reguliuojamąjį parametą pagal iš anksto nustatytą programą, priklausančią nuo duotojo poreikio.

3. Sekos sistema vadinama automatinio reguliavimo sistema, kuri keičia reguliuojamąjį parametą pagal iš anksto nežinomą laiko funkciją, apibūdinamą nuostatu. Šiose sistemose reguliuojamas dydis turi sekti nuostato poveikį, kuris paprastai yra lėtai kintanti iš anksto nežinoma laiko funkcija.

Dar sistemos gali būti klasifikuojamos pagal:

- 1) fizikinio dydžio pobūdį (įtampa, lygis, greitis);
- 2) naudojamos energijos pobūdį (elektromechaninės, elektroninės, pneumatinės, hidraulinės);
- 3) signalų, veikiančių sistemoje, pobūdį (tolydžios, diskretinės);
- 4) diferencialinių lygčių pobūdį (tiesinės, netiesinės);
- 5) sistemos parametrų stabilumą laike (su pastoviais ir kintamais parametrais).
- 6) valdomų kintamųjų skaičių;

Atvirosi automatinė valdymo sistema neturi grįžtamojo ryšio. Paprasčiausia automobilio greičio reguliavimo sistema parodyta (1.4 pav.) paveiksle.

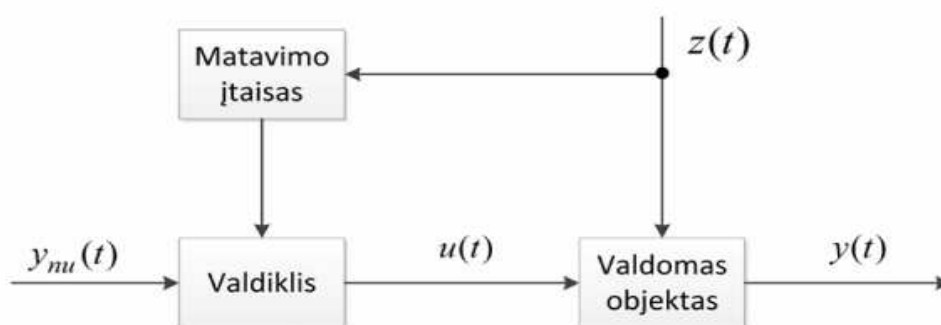


1.4 pav. Automatinė valdymo sistema

Tokioje sistemoje nėra galimybės palyginti esamą ir norimą greitį. Dėl įvairių priežasčių aktualus greitis gali nutolti nuo užduotos reikšmės, pvz., dėl vėjo, kalno ar nuokalnės ir pan.

1.1.4 Valdymas kai yra trikdžių

Šiose sistemose valdymo poveikis formuojamas išmatavus objekto trikdantį poveikį. Sistemos, sudarytos šiuo principu, neturi grįžtamojo ryšio, t. y. jos yra atviros. Tokios sistemos skirstomos į dvi grupes: trikdžio kompensavimo ir programinio valdymo sistemas. Automatinės trikdžio kompensavimo sistemos struktūrinė schema parodyta (1.5 pav.) paveiksle.

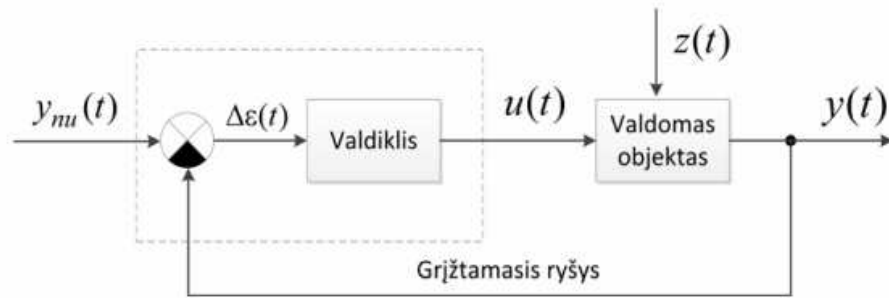


1.5 pav. Valdymo schema esant trikdžiui

Valdymo poveikio didumas ir ženklas turi būti tokie, kad visiškai ar gerokai kompensuotų trikdžio poveikį reguliuojamam objektui. Pagrindinis šio principo privalumas – didelis kompensavimo grandžių greitaiegiškumas, nes sistema šiuo atveju reaguoja ne į pasekmę, t. y. reguliavimo parametro nuokrypą, bet į jo priežastį. Jei sistemą veikia keletas trikdžių, naudojamos kelios kompensavimo grandys. Tačiau ne visus trikdžius galima išmatuoti ir kompensuoti. Tai pagrindinis šio principo trūkumas.

1.1.5 Uždaroji automatinio valdymo sistema

Jei automatinėje sistemoje valdymo poveikis formuojamas pagal reguliuojamojo parametro nuokrypą nuo nuostato reikšmės, tai laikoma, jog tokia sistema sudaryta reguliavimo pagal nuokrypą arba grįžtamojo ryšio principu. Tokių sistemų reguliavimo įtaise palyginamos reguliuojamojo parametro esamosios ir nuostato reikšmės ir pagal gautą skirtumą formuojamas valdymo signalas. Šis reguliavimo principas taikomas sistemose su grįžtamojo ryšiu. Jų struktūrinė schema atskleidžiama (1.6 pav.) paveiksle.

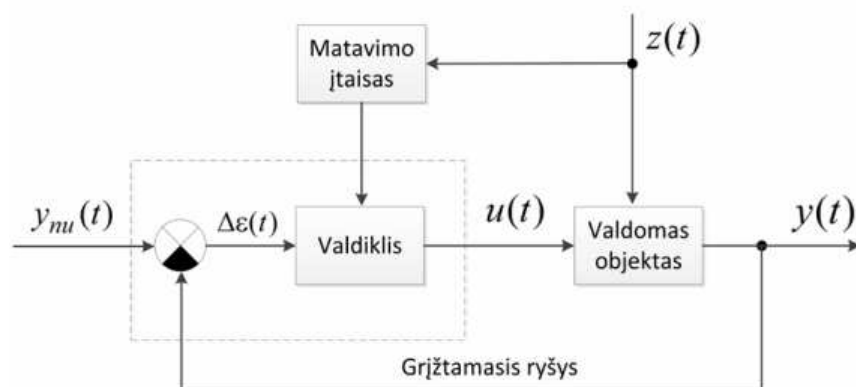


1.6 pav. Sistema su grįžtamoju ryšiu

Valdymo poveikis šioje sistemoje formuojamas atsižvelgiant į skirtumą $\Delta\epsilon(t)$ tarp nuostato $y_{mu}(t)$ ir esamosios reguliuojamojo parametro $y(t)$ reikšmių: $u = F(\Delta\epsilon)$. Grįžtamasis ryšys yra automatinių sistemų, veikiančių reguliavimo pagal nuokrypą principu, būdingas bruožas. Grįžtamoju ryšiu vadinamas ryšys, kuriuo informacija apie valdomo objekto būvį perduodama iš sistemos išėjimo į reguliavimo įtaiso įėjimą.

1.1.6 Kombinuotas valdymas

Didelio tikslumo automatinės sistemos sudaromos kombinuoto reguliavimo principu, panaudojant reguliavimo pagal nuokrypą ir pagal trikdį savybes. Tokios sistemos struktūrinė schema parodyta (1.7 pav.) paveiksle.



1.7 pav. Kombinuotas valdymas

Kombinuoto valdymo sistemose, be pagrindinio grįžtamojo ryšio, yra pagrindinio trikdančiojo poveikio kompensavimo grandis. Neįvertintų trikdžių poveikį kombinuotose automatinėse reguliavimo sistemose kompensuoja arba gerokai susilpnina reguliavimo pagal nuokrypą kontūras.

1.2 Siurblių savokos, gariniai ir molekuliniai siurbLIAI

1.2.1 Siurblių palyginimas, gariniai siurbLIAI

Siurblys taikomas įvairiose situacijose, būna įvairiausių rūšių, modelių, skirtų įvairiems tikslams. Pagrindinė sąvoka - prietaisas skysčiams arba orui perkelti iš vienos vietos į kitą. Šiuo atveju molekulių ar dalelių perkėlimas iš vienos vietos į kitą. Yra keletas panašaus veikimo principo siurblių. Aptarsime garinius ir molekulinis siurblius prieš analizuojant turbomolekulinio siurblio veikimą. Taip bus paprasčiau pastebėti privalumus ir trūkumus.

Garinių siurblių darbas paremtas nepertraukiamos darbinio skysčio garo srovės išsiurbimu arba klamos reiškiniu. Dujos, patenkančios į siurbli iš vakuuminės sistemos, patenka į darbinio skysčio garų srovės sferą, teka iki aušinamos siurblio sienelės ir išstumiamos į išleidžiamą vamzdžio pusę. Prie jo paprastai būna prijungtas rotorinis alyvos siurblys, sukuriantis pakankamą slėgį, užtikrinantį normalų garinio siurblio darbą. Po išsiurbiamų dujų darbinio skysčio garai kondensuojasi ant vėsinos tekantiu vandeniu siurblio sienelės ir skysčio pavidalu suteka į garintuvą.

Siurblio efektyvumas priklauso nuo žiedinio tarpelio dydžio tarp ir siurblio sienelės, nuo darbinio skysčio garo srovės ištekėjimo greičio, jos nukreipimo į vėsina vandeniu siurblio sienelę, o taip pat nuo kondensavimosi ant siurblio sienelių pilnumos. Daugelis didelio vakuumo siurblių dirba prie slėgio 10^{-3} mm Hg stulpelio. Esant tokiam slėgiui, dujų kiekis, esantis išsiurbiamajame tūryje, tampa mažas palyginti su dujų kiekiu, adsorbuotu ant sienelių ir esančia jose aparatūra.

Garinius siurblius galima suskirstyti į 2 grupes. Pirmai grupei priklauso aukšto vakuumo gariniai siurbLIAI, turintys didžiausią darbo greitį slėgio diapazone 10^{-7} – 10^{-4} mm Hg stulpelio ir palyginti nedidelį išleidžiamą slėgį (0,1mm Hg st.). Šios grupės siurbLIAI turi sekančias galimybes: didelį įleidžiamąją pjūvį, užtikrinantį didelį išsiurbiamų dujų greitį, mažas išsiurbiamų dujų slėgio tarp perskirtų dujų srove siurblio dalių.

Antrai garinių siurblių grupei priklauso pagalbiniai (busteriniai) siurbLIAI, turintys didžiausią greitį, esant slėgiui 10^{-3} – 10^{-2} mm Hg stulpelio ir daugiau ir išleidžiamą slėgį iki kelių mm Hg stulpelio. Šios grupės siurbliams charakteringos sekančios savybės: nedidelis įleidžiamąją vamzdžio pjūvis apskaičiuoti dideliame slėgio kritimui; aukštas garų slėgis, gaunamas naudojant galingus elektrinius šildytuvus. Viršutinė siurblio korpuso dalis pagaminta iš nerūdijančio plieno turi statinės formą, kurios dėka siurblio siurbimo greitis 30% didesnis negu siurbliuose su cilindrine korpuso forma. Dantytas šildytuvo vidinės plytos forma užtikrina

intensyvius šilumos mainus ir palaiko pastovią darbinio skysčio temperatūrą. Įgreitinamieji grioveliai kaitinamame šildytuvo dugne kartu su tinkamai parinkta garolaidžio forma efektyviai paskirsto darbinio skysčio garus į frakcijas. Todėl į viršutinį patenka tikrai daugiau mažiau sunkios frakcijos su labai žemu slėgiu, o lengvos frakcijos, turinčios didesnę garų slėgį, nukreipiamos į žemesnįjį, o prie išėjimo iš jo į siurblio šildytuvą. Vidinis vamzdelis neleidžia darbinio skysčio lašeliams pakilti į viršų, kuo užtikrinamas efektyvus garo srovės džiovinimas.

Tiksliai padaryti plyšiai ant garolaidžio leidžia gauti reikalaujamą greitį ir garo srovės tankį iš kiekvienos išėmos. Cilindrinio atmušėjo padėtis tiksliai užfiksuota virš viršutinės siurblio dalies. Dėka to, kad atmušėjas standžiai pritvirtintas ant vandeniui šaldomos siurblio sienelės. Ežektorinė pakopa užtikrina papildomą alyvos frakcionavimą ir, be to, padidina pasipriešinimą slėgiui. Alyvos atmušėjas leidžia minimaliai prarasti darbinio skysčio netgi tuo atveju, jei siurblys nedirba. Aprašyta siurblio konstrukcija prie išleidžiamojo vožtuvo diametro 150mm ir korpuso ilgio 600mm išvysto oro išsiurbimo greitį 2400l/sek.

1.2.2 Molėkuliniai siurbLIAI

Molekuliniam siurblyje dujos susimaišo forvakuumo kryptimi vidinės trinties pagalba greitai besisukančiame kūne, o suglaudėjimas tarp atskirų pakopų pasiekiamas dėl ypatingai siaurų plyšių. Šio tipo siurblių privalumas yra alyvos nebuvimas, ir dar – čia pilnai patalpinti visi tie nepageidaujami reiškiniai, kurie gaunami, kai alyvos garai patenka į vakuuminę sistemą. SiurbLIAI greitai parenka ribinį vakuumą ir nejautrūs atmosferos įsiveržimui į vakuuminę sistemą. Šio tipo siurbLIAI gali būti naudojami tik laikantis ypatingos švaros siurbiamosiose sistemose, kad oro tarpai tarp judančių ir nejudančių siurblio dalių sudarytų 0,02 – 0,05 mm. Dėl išsiplėtimo veikiant šilumai, svetimų dalelių dešimtųjų milimetro dalių patekimo arba staigaus oro smūgio galimas oro tarpelių suardymas iki pat jų išnykimo. Todėl greitai besisukantis rotorius užsikerta ir siurblys sugenda.

1.3 Turbomolekulinis siurblys, valdymo galimybės

1.3.1 Turbomolekulinis siurblys

Turbomolekuliniai siurbLIAI (1.8 pav.) tai kinetiniai siurbLIAI, kuriuose ant greitai besisukančio veleno įtvirtinti diskai su angomis ar mentelėmis, kurie sukasi tarp statoriuje sumontuotų nejudančių diskų ar mentelių. Rotoriaus išorinių taškų slenkamojo judėjimo greitis

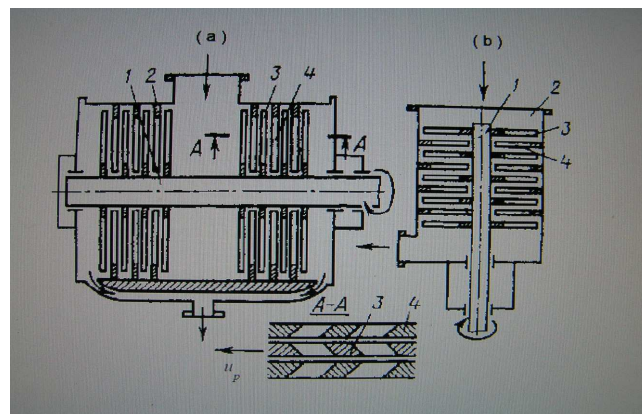
tos pat eilės kaip ir vidutinis molekulių šiluminio judėjimo greitis. Šios rūšies siurbliai veikia, kai juose realizuojamas molekulinis dujų tekėjimas. Dujų srautas šiuose siurbliuose pernešamas sukimosi ašies kryptimi.



1.8 pav. Turbomolekulinis siurblys

Turbomolekuliniai siurbliai gali būti pagaminti greičiui iki kelių tūkstančių litrų per sekundę našumui. Dėl to siurbliams, skirtiems dideliam našumui ir turintiems didelius diskų matmenis reikia žymiai mažesnio apsisukimų skaičiaus, veikimo greitis nustatomas atitinkamu apsisukimų skaičiumi. Nuadojant turbomolekulinius siurblius į išsiurbiamą tūrį patenka žymiai mažiau alyvos garų negu naudojant garinius ir mechaninius siurblius.

Dažniausiai sutinkamų turbomolekulinių siurblių konstrukcijų scheminis vaizdas (1.9 pav.):



1.9 pav. turbomolekulinių siurblių konstrukcijų scheminis vaizdas

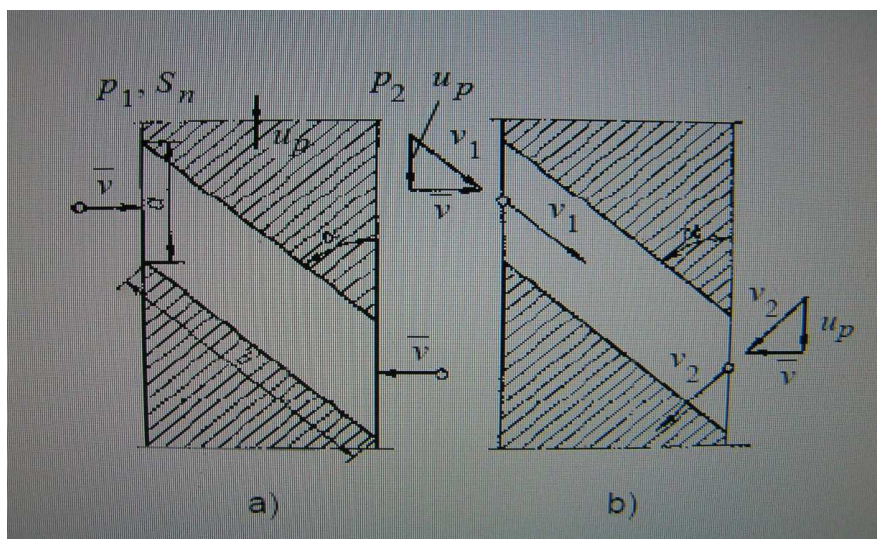
- 1– rotoriaus velenas
- 2 – statorius
- 3 – rotoriaus diskai (mentelės)
- 4 – statoriaus diskai (mentelės).

Angos nejudančiuose diskuose yra angų judančiuose diskuose veidrodinis atvaizdas. Kiekvienas diskų poros dujų suspaudimo koeficientas nedidelis, todėl atstumai tarp jų gali būti apie 1 mm.

1.3.2 Veikimo principas

Turbomolekulinis siurblys turi standžiai sutvirtintus korpuse statoriaus diskus ir besisukančius diskus, pritvirtintus ant rotoriaus. Visi diskai sudaro “kasą”, todėl išėmos statoriaus diskuose yra veidrodinio atspindžio rotoriaus diskų išėmoms. Diskams naudojamos kelių milimetrų storio poveržlės, ir todėl išėmos yra nedidelio ilgio. Todėl kiekvienos diskų poros kompresijos koeficientas palyginti nedidelis. Bet kadangi siurblyje dirba daug diskų porų, tai suminis kompresijos koeficientas pasiekia nemažą dydį. Esant mažam kompresijos koeficientui kiekvienai diskų porai, atstumo tarp diskų įtaka našumui ir siurblio kompresijos koeficientui palyginti nedidelė, kas leidžia padidinti atstumą tarp diskų iki 7 mm be siurblio parametų pakeitimo. Didelę reikšmę siurblio parametrų turi kampai, kuriais išpjautos išėmos diskuose. Jeigu išėmos diskuose išpjautos dideliu kampu šalia viena kitos, tai siurblys turi mažą kompresijos koeficientą ir didelį našumą. Ir atvirkščiai, jei išėmos diskuose išpjautos mažu kampu viena prie kitos, tai siurblio kompresijos koeficientas didelis ir mažas našumas. Paprastai vidurinėje (aukštavakuuminėje) siurblio dalyje yra diskai su išėmomis, išpjautomis dideliu kampu viena prie kitos, o išoriniai diskai turi išėmas išpjautas mažu kampu viena nuo kitos. Kuo didesnis siurbiamų dujų molekulinis slėgis, tuo didesnis kompresijos koeficientas, kuris vandeniliui siekia 250, orui – 5×10^7 . Vis dėlto siurblio greitis vandeniliui žymiai didesnis negu orui. Tai aiškinama tuo, kad vandenilis sutinka mažesnę pasipriešinimą, tekėdamas pro siurblio pjūvius, skyles.

Siurblio veikimą aiškina ši schema (1.10 pav.). Joje pavaizduotas siurblio disko fragmentas:



1.10 pav. siurblio disko fragmentas

- a) judantis diskas sąveikauja su chaotiškai judančiomis molekulėmis;
- b) atstojamieji dujų molekulių greičiai sąlygiškai nejudančio disko atžvilgiu

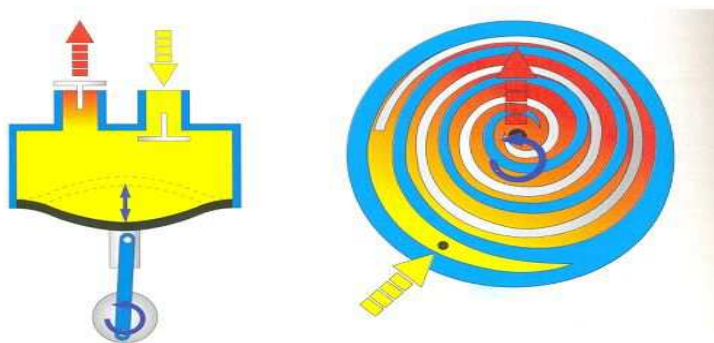
Siurblio diskai, esantys arčiausiai angos, projektuojami taip, kad užtikrintų maksimalų veikimo greitį. Arčiausiai išėjimo esantys laipsniai turi užtikrinti maksimalų dujų suspaudimo koeficientą. Todėl siurblyje paprastai naudojami 2-4 rūšių diskai. Rotoriui dažniausiai naudojami aukštos kokybės aliuminio lydiniai. Siurbliai su horizontaliu rotoriumi lengviau balansuojami, mažiau vibruoja. Siurbliai su vertikaliu rotoriumi ir vienos krypties dujų srautu pasižymi didesniu įėjimo angos laidumu dujoms. Siurblių veleno pakaboje gali būti naudojami tepami riedėjimo guoliai arba magnetinės ašies atramos. Guolius rekomenduojama naudoti su keraminiais rutuliukais, kurie yra kietesni ir atsparesni temperatūros pokyčiams. Kai kuriuose siurbliuose guoliai aušinami (dažnai vandeniui), gali būti panaudotos alyvos cirkuliaciją užtikrinančios sistemos.

1.4 Veikimas esant vakuumui

1.4.1 Siurblio veikimas esant vakuumui

Mažo vakuumo slėgių intervale plačiausiai naudojami tūrinio veikimo siurbliai. Tokiame siurblyje yra viena ar kelios kintančio tūrio darbinės kameros. Kameros tūriui didėjant, ji sujungiama su vakuumuojamuoju indu, iš kurio dalis dujų patenka į siurbli. Po to siurblio

darbinė kamera atjungiamą nuo vakuuojamojo indo, joje esančios dujos suslegiamos ir pašalinamos į atmosferą. Taip veikiantys siurbliai yra efektyvūs mažo ir vidutinio vakuumo slėgių intervaluose. Keletas galimų konstrukcijų pateiktos paveikslėlyje (1.11 pav.). Kairėje jo pusėje matome diafragminį siurblį. Jame darbinės kameros tūris keičiamas deformuojant lanksčią dujoms neskaidrią diafragmą. Dešinėje pavaizduotame spiraliniame siurblyje kintančio tūrio kameros formuojamos tarp stacionarios ir jai identiškos judančios spiralių. Abiem atvejais geltonomis rodyklėmis pavaizduotos dujų patekimo, o raudonomis – dujų šalinimo angos ir kryptys.

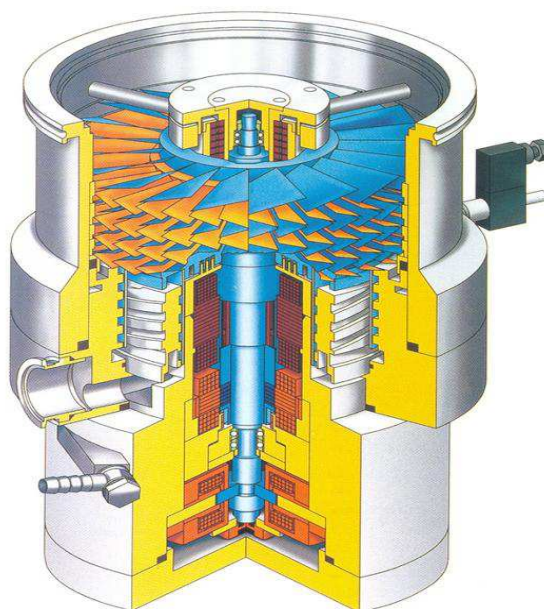


1.11 pav. Vakuuminio siurblio konstrukcija

Toliau retinant dujas tenka atsižvelgti į tai, kad dideliame vakuume pakinta dujų tekėjimas: didėja vamzdyno pasipriešinimas kryptingam dujų judėjimui. Be to, tenka įvertinti papildomas dujas, atsirandančias pasikeitus adsorbuoto jų sluoksnio pusiausvyrai, t.y. „atplystančias“ (fizikai sako: desorbuojamas) nuo visų išretintų dujų aplinkoje esančių kietųjų kūnų paviršių. Ir dar viena bėda – tos dujos desorbuojamos palaipsniui, tad jų šalinimas gali daug kartų padidinti vakuumavimo proceso trukmę. Ir vis dėlto didelį vakuumą gauti reikia. Jis būtinas daugybėje šiuolaikinių technologijų. Šiai problemai spręsti buvo pasiūlyti kitokiūs fizikinius principus panaudojantys vakuuminiai siurbliai. Plačiausiai šiuo metu naudojama tokių siurbių rūšis yra kinetiniai vakuuminiai siurbliai. Jų sukuriama dujų pernešimo efektas gaunamas šalinamoms dujoms kontaktuojant su kryptingai judančiais kietais kūnais (tai gali būti kietojo kūno paviršius, garų čiuurkšlė).

Paveikslėlyje (1.12 pav.) matome vieną galimų kinetinių siurbių rūšių – šiuolaikinį turbomolekulinį siurblį. Jame kryptingą judėjimo komponentę dujų molekulės įgyja sąveikaudamos su greitai besisukančio rotorius sparnuote (turbina). Viršutinėje pavaizduotoje konstrukcijos dalyje matome mentinio turbomolekulinio siurblio pakopas. Apačioje sumontuotas

molekulinis siurblys su sraigtniu darbinio kanalu, padidinantis dujų kompresijos koeficientą ir maksimalų išėjimo slėgį. Rotorių supa magnetinės pakabos apvijos. Dingus magnetinę pakabą maitinančiai išorinei įtampai, apie septynias minutes magnetiniai guoliai dar veikia rotoriaus sukimosi energijos sąskaita. Jei energijos tiekimas nutrūksta ilgesniam laikui, likus 20% darbinio sukimosi greičio pradeda veikti apsauginis guolis.



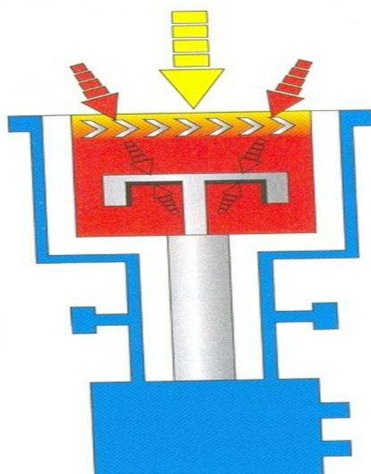
1.12 pav. Turbomolekulinio siurblio pjūvis

Šie siurbliai gali būti sukonstruoti taip, kad efektyviai veiktų didelio vakuumo slėgių intervale ir, atrodytų, jais turėtų būti pasiekiami kiek norima maži slėgiai. Deja, taip nėra. Stengiantis gauti mažesnę kaip 10^{-6} Pa slėgį tenka įvertinti tai, kad vis didesnę šalinamų dujų dalį sudaro desorbuojamos (nuo vidinių vakuumuojamos sistemos, taip pat ir siurblių paviršių) dujos. Tampa ženklus dujų kiekis, prasiskverbiantis per įvairius sandariklius (pvz., tarpines). Pagaliau net ir kokybiškiausiame metale, iš kurio gaminamos vakuuminės sistemos, yra ištirpusių dujų, kurios, kintant sąlygoms, gali skirtis į aplinką.

Dėl paminėtų priežasčių siekiant superdidelio vakuumo teko iš esmės pakeisti pačią vakuumuojamą sistemą – sukonstruoti ją iš vakuume lydytų metalų ir specialių stiklo bei keramikos rūšių taip, kad būtų sandaresnė, pvz., vietoje guminių naudoti iš minkšto metalo (vario ar aliuminio) pagamintas tarpines. Teko ieškoti priemonių, kaip valdyti sorbcijos –

desorbcijos procesus. Pagaliau superdideliam vakuumui gauti buvo sukurti ir panaudoti kitais fizikiniais principais veikiančios siurbliai, kurie apibendrintai vadinami sulaikančiais dujas siurbliais. Pats šis pavadinimas sako, kad jie ne pašalina nepageidautinas dujas, bet jas sulaiko. Kaip? Dujas galima šaldyti iki tokios žemos temperatūros, kad jos taps skysčiu ar kietu kūnu (tiesa, ir šiuo atveju virš to skysčio ar šerkšno liks šiek tiek dujų – taip vadinami sotieji tos medžiagos garai), tačiau labai žemas – vadinamąsias kriogenines – temperatūras atitinka labai žemi soties garų slėgiai.

Išimtį sudaro helis ir vandenilis. Tačiau ir šios dujos ant šaltų paviršių geriau sulaikomos jas absorbuojant. Taip – užšaldant – sulaikantys dujas siurbliai vadinami kriogeniniais siurbliais. Tokio siurblio galima konstrukcija pateikta paveikslėlyje (1.13 pav.). Jame pirmoji pakopa (balta, pavaizduota raudoname fone, jos temperatūra veikiant siurbliui 3 – 5 K) aušinama skystu heliu. Galima dujas sulaikyti ir kitaip – su vakuumuojamuoju indu susijusiame tūryje (ar pačiame inde) garinant, sublimuojant ar kitaip pervedant į atominę dujinę būvį chemiškai aktyvų metalą (pvz., titaną). Šis metalas chemiškai reaguoja su daugeliu dujų sudarydamas nelakius junginius, kurie nusėda plėve ant gretimų kietųjų kūnų paviršių. Taip veikia sublimaciniai, panašiai – gėrikliniai (geteriniai) vakuuminiai siurbliai.



1.13 pav. Kriogeninis siurblys

Pastebėta, kad ženkliai pakeitus kietojo kūno, kurio paviršius kontaktuoja su dujomis, absoliutinę temperatūrą, keičiasi tame paviršiuje adsorbuotų dujų kiekis. Lenktyniaujantieji dėl kuo mažesnio slėgio gavimo šį reiškinį panaudoja dvejopai. Kad pagreitetų adsorbuotų ant vidinių vakuuminio indo paviršių dujų desorbcija, visas šis indas vakuumavimo metu pakaitinamas (dažniausiai iki 100 – 250 °C) stimuliuojant dujų atsiskyrimą, o po to, prieš atliekant matavimo ar technologinį procesą, vėl ataušinamas. Temperatūra valdant

adsorbcijos procesą dideliu paviršiaus plotu pasižyminčiame kietajame kūne pavyksta realizuoti ir dujų sulaikymą.

1.4.2 Siurblio panaudojimo galimybės

Turbomolekulinis siurblys yra plačiai naudojamas didelės energijos greitintuvuose, termobranduoliniuose reaktoriuose, veikia kaip sunkiųjų dalelių greitintuvai ir pažangių gamybos ir kitų elektroninių prietaisų procesams.

Išjungus turbomolekulinį siurblį, jis turi būti prileidžiamas sausų azoto dujų per įėjimo angą. Taip išvengiama siurblio paviršių užteršimo guolius tepančia alyva. Prileisti dujų iki atmosferinio slėgio į besisukančią siurblį gali būti pavojinga! Draudžiama prileisti į siurblį oro iš alyva užterštos forvakuuminės sistemos. Mažinant ribinius slėgius, naudojami nudujinami atkaitinant turbomolekuliniai siurbliai. Jei jų besisukančios detalės pagamintos iš aliuminio lydinių, atkaitinimo temperatūra negali viršyti 100–140°C. Atkaitinimo sistemas paprastai konstruoja siurblio gamintojas.

Rekomenduojama vengti smūgių ir stumdyti įrenginius su veikiančiais molekuliniais siurbliais: dėl didelių kampinių greičių tai gali sukelti girokopinių efektų sąlygojamas didesnes veleno apkrovas. Siurbiant chemiškai agresyvias dujas naudojamos siurblio vidinių paviršių antikorozinės dangos (pvz., Ni). Tačiau tuomet pablogėja siurblio ribinis slėgis. Didesnė mažos molekulinės masės dujų kompresija gaunama naudojant molekulinis-turbomolekulinius siurblius.

1.5 Skyriaus išvados

Daugiausiai trūkumų išvengia turbomolekuliniai siurbliai. Matome, kad lyginant su garinio ir molekulinio tipo siurbliais, turbomolekulinis siurblys yra pranašesnis. Šie siurbliai yra sudėtingos konstrukcijos, turi būti sandarūs ir tinkamai eksplotuojami. Pagal norimą sistemą ir rezultata, galimas panaudojimas kelių siurblių darbas, vienas pradiniam slėgiui sukelti, pradiniam vakuumui sukurti, kitas našesnis, reikiamom charakteristikom gauti. Šie siurbliai naudojami sistemose, kur reikia gauti vakuumą, dalelių greitintuvuose, reaktoriuose ir pan..

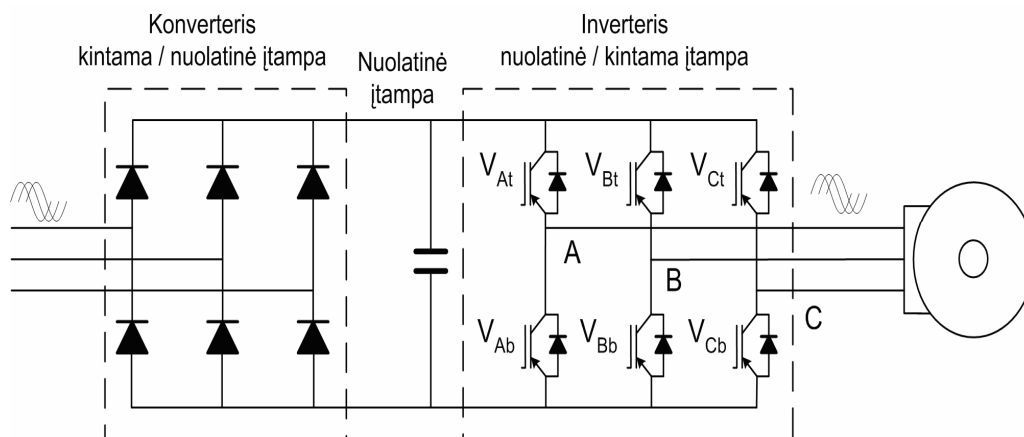
2. EKSPERIMENTINĖ DALIS

2.1 Turbomolekulinio siurblio valdymo galimybės

Valdymo galimybės gali būti įvairios. Pagrindinės būtų su dažnio keitikliu, tinkamai parinkus ir suprogramavus būtų tinkamiausias panaudojimas. Jei nesutaptu įtampos diapazonai, papildomai galima panaudoti transformatorių, kuris tinka, norint reikiamus parametrus gauti.

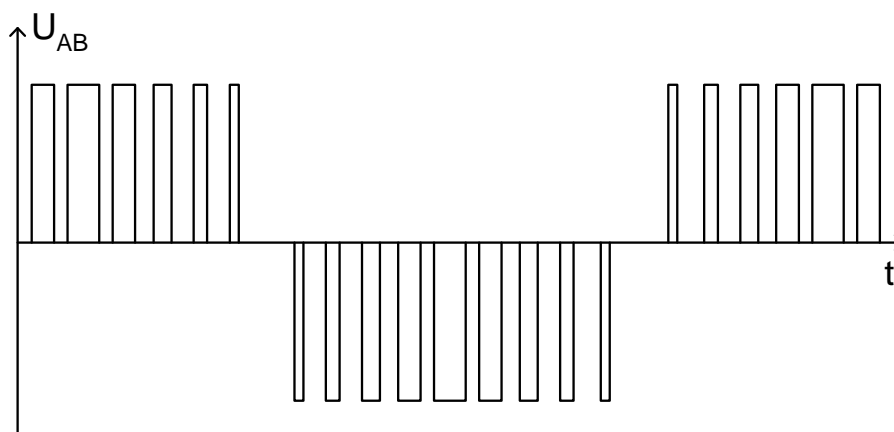
Turbomolekulinį siurblių galima valdyti naudojant dažninę pavarą- keitiklį. Dažnio keitiklis yra galios elektronikos prietaisas, kuris keičia standartinį vienfazį arba trifazį elektros tinklą į keičiamo dažnio ir įtampos tinklą. Dažnio keitiklis yra sudėtingas ir brangus prietaisas, paverčiantis įrenginį protingai valdoma mašina. Jisai leidžia valdyti variklį rankiniu būdu arba automatiškai uždaroje valdymo sistemoje pagal atitinkamo jutiklio signalus, taip pat kompiuteriu, įskaitant valdymą per internetą. Dažnio keitiklis turi įvairias apsaugas, saugojančias jį patį ir valdomą įtaisą nuo sugadinimo.

Europos rinkos tyrimai rodo, kad dažnio keitiklių rinka nuolat didės. Tai lems konkurencingesnės kainos, nuolatinis šių prietaisų tobulinimas, kuris išplės jų pritaikymą bei vis didėjantis poreikis geriau valdyti technologijas ir taupyti energiją. Dažnio keitiklio paskirtis suformuoti keičiamo dažnio ir įtampos trifazį tinklą, prie kurio prijungus siurblių, tekėtų sinuso formos srovės ir jos būtų tokio dažnio, fazės ir dydžio, kad siurblys sukštųsi norimu greičiu, norima kryptimi ir turėtų reikiamą sukimo momentą. Egzistuoja didelė dažnio keitiklių įvairovė, tačiau dauguma jų turi (2.1 pav.) pateiktą konverterio-inverterio struktūrą.



2.1 pav. Struktūrinė dažnio keitiklio schema

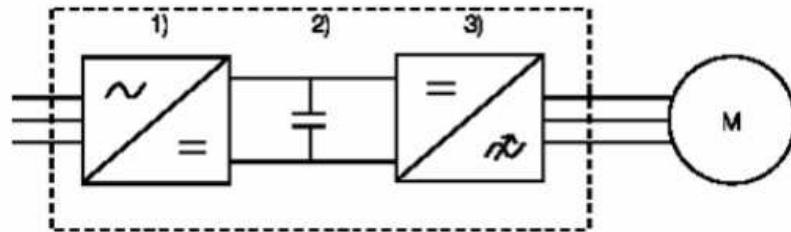
Konverteris kintamą elektros tinklo įtampą paverčia nuolatine, o inverteris iš nuolatinės įtampos suformuoja keičiamo dažnio, fazės ir įtampos tinklą. Konverteris paprastai yra nevaldomas vienfazis arba trifazis lygintuvas. Sudėtingiausias dažnio keitiklio funkcinis mazgas yra inverteris, kurį sudaro tranzistoriniai raktai. Inverterį valdo specialus įrenginys su mikrovaldikliu arba signaliniu procesoriumi. Norint garantuoti patikimą inverterio darbą, turi būti stebimos tranzistorinių raktų būsenos, sekamos jų srovė, įtampa, temperatūra. Inverteris suformuoja impulsines įtampas (2.2 pav.), kuriomis maitinant siurblių, teka sinuso formos srovė.



2.2 pav. Įtampa tarp dviejų fazių inverterio išėjime

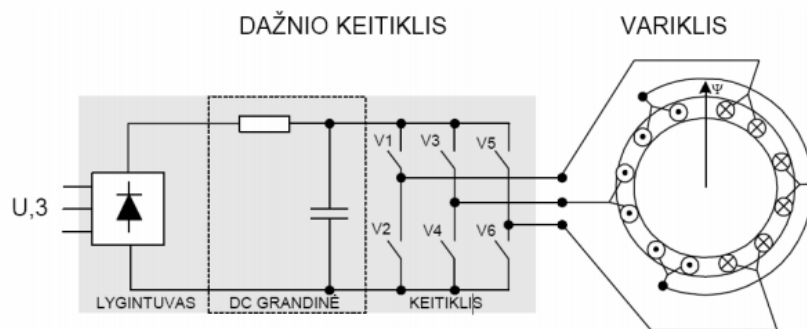
Impulsinė įtampa yra priemonė, kuria dažnio keitiklis valdo siurblių. Yra dvi valdymo metodų grupės: skaliariniai ir vektoriniai. Dauguma dažnio keitiklių taikymo atvejų mechaninės apkrovos priklausomybė nuo sukimosi greičio yra iš anksto žinoma, o reikalavimai dinaminėms pavarų savybėms nėra svarbūs. Tokiais atvejais valdymui pakanka skaliarinio valdymo dažnio keitiklio. Populiariausios jų panaudojimo sritys yra siurbliai, ventiliatoriai ir dalis konvejerių. Vektorinio valdymo dažnio keitikliai gali greitai ir tiksliai valdyti sukimosi momentą esant įvairiems sukimosi greičiams, gali dirbti esant dideliame pagreičiui. Jis taip pat gali įsijungti, kai siurblys sukasi į bet kurią pusę. Pavaros, valdomos vektorinio valdymo dažnio keitiklių naudojamos didelio greičio liftuose, kranuose bei laidų vyniojimo, popieriaus gamybos, plieno liejimo, plastmasės šampavimo ir kituose įrenginiuose. Kintamosios srovės variklių savybė elektrinę energiją keisti mechanine pagrįsta elektromagnetine indukcija. Įtampa statoriaus apvijose lemia srovės ir magnetinio srauto atsiradimą. Šio srauto kryptis gali būti nustatyta dešinės rankos taisykle. Keičiant įtampos kryptį statoriaus apvijose tuo gali būti keičiama srauto kryptis. Keičiant įtampos kryptį visose variklio statoriaus fazinėse apvijose tam tikra tvarka variklio magnetinis srautas pradeda sukintis. Variklio rotorius seka šį srautą (sukasi) su nedideliu slydimu. Tai – pagrindinis principas, naudojamas kintamosios srovės varikliams valdyti. Šis

valdymas gali būti realizuotas naudojant dažnio keitiklį. Dažnio keitiklis – keičia kintamosios srovės ir įtampos dažnį. Dažniausiai dažnio keitiklis susideda iš trijų dalių. Šiuolaikinio dažnio keitiklio struktūra susideda: 1 – lygintuvas, 2 – nuolatinės srovės (NS) grandinės filtras ir 3 – inverteris (2.3 pav.).



2.3 pav. Dažnio keitiklio sandara

Reguliari trifazė srovė tiekama į lygintuvo dalį, kuri paverčia srovę į nuolatinę. Nuolatinė įtampa paduodama į nuolatinės srovės grandinę, kuri filtruoja pulsuojančią įtampą. Keitiklis tam tikra tvarka sujungia kiekvieną variklio apvijos fazę su neigiamu arba su teigiamu NS grandinės dydžiu. Srautas, pavaizduotas 2.2 paveiksle, gaunamas uždarant raktus V1, V4 ir V5. Tam, kad srautas pasisuktų 60° prieš laikrodžio rodyklę, reikia komutatorių V6 uždaryti, o V5 būtinai atidaryti, nes priešingu atveju gautųsi trumpas jungimas (2.4 pav.).



2.4 pav. Magnetinis srautas dažnio keitikliui

Jei dažnio keitiklio ir turbomolekulinio siurblio parametrai yra netinkami dėl įtampos yra keli pajungimo būdai:

Prie dažninės pavaros, pritaikyti ir prijungti transformatorių (2.5 pav.), kuris leistų išspręsti maitinimo įtampą, tačiau reikia rasti tokį kuris atitiktų dažnio reikalavimus.



2.5 pav. Transformatorius

Kitas būdas, dažninę pavarą perdarius. Atjungus pavaros galinę dalį (galinį tiltą), o vietoje jos prijungti atskirą maitinimo šaltinį, tinkantį siurblio parametrus. Tačiau norint panaudoti šį būdą, reikia išsiaiškinti grįžtamuosius ryšius ir yra sudėtingesnis.

Paprasčiausias variantas būtų jei siurblio charakteristikos atitiktų dažnio keitiklio galimybes.

2.2 Turbomolekulinio siurblio ir dažnio keitiklios parinkimas

Ekperimentui gautas turbomolekulinis siurblys 1991 metų TIP HBT-340-0285. Rusiškas, pakankamai senas, tačiau veikiantis (2.6 pav.). Kadangi jo aprašymo ir pajungimo schemų nėra, reikės viską išsiaiškinti ir eksperimentuoti. Pajungimo jungtys seno tipo (2.7 pav.), tad pirmiausia reikės pasirinkti maitinimo laidus, vėliau kitų laidų funkcionalumą.



2.6 pav. Turbomolekulinis siurblys



2.7 pav. Siurblio pajungimas

Yra keli aiškūs duomenys (1 lentelė), siurblys yra trifazis, 36V įtampos ir dažnis 360Hz. Pajungimo galimybės su esamomis jungtėmis nėra. Nuėmus dangtį, išsiaiškinta, kad viena jungtis yra maitinimas ir termojutiklis, kita yra kaitintuvo pajungimas. Be šių, yra oro paėmimas, vakuumo jungtis ir tepalo anga. Kad siurblys veiktų, reikia tinkamo dažnio keitiklio.

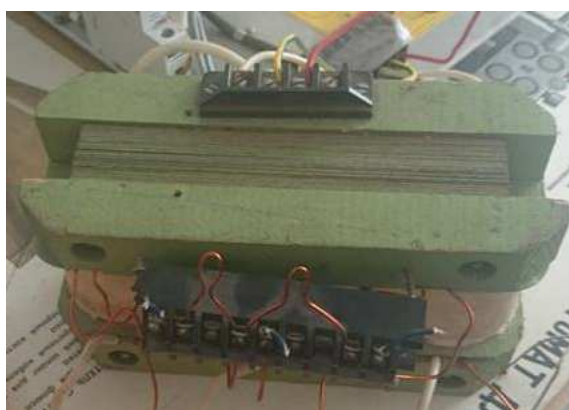
1 lentelė

Siurblio parametras	Parametro reikšmė
Fazių skaičius	3 fazės
Įtampa V	36V
Varža Ω (išmatuota)	1,1 Ω
Galia kW (apskaičiuota)	1,18kW
Apsisukimų skaičius	2200 aps/min

Gauti keli dažnio keitikliai – pavaros. Pirmoji gauta pavara Mitsubishi FR-A044-0,75K (2.8 pav.). Jos įėjimo ir išėjimo įtampa yra 460V, dažnis 0,2-400Hz. Ši pavara tinka dėl dažnio, tačiau netenkina įtampa. Naudojant šią pavarą, papildomai reikalingas transformatorius, gautas šiam darbui SNC P18480 (2.9 pav.).



2.8 pav. Mitsubishi pavara



2.9 pav. transformatorius

Antrasis gautas dažnio keitiklis, tai SIEMENS Micromaster 420 (2.10 pav.). Ši pavara yra tinkama turimam siurbliui, dažnio ribos yra 0-650 Hz diapazone, o įtampa išėjime 36V. Reikia tik pasiskaičiuoti siurblio galią, ar tinkama turimai pavarai.



2.10 pav. Dažnio keitiklis Siemens

Norint pajungti ir suprogramuoti dažnio keitiklį, reikalingas galios parametras. Norint apskaičiuoti galią pagal pateiktą formulę, reikalingas srovės stipris ir įtampa. Skaičiavimai atliekami naudojant „Matlab“ programą:

$$\gg P(t) = I(t) * U(t)$$

P- galia

I- srovės stipris

U- įtampa

Kadangi I (t) srovės nežinome, išsiskaičiuojame iš sekančios formulės :

$$\gg I=U/R$$

R - varža

I- srovės stipris

U- įtampa

Supaprastinus gavome:

$$\gg P=U^2/R \quad \text{arba}$$

$$\gg P=I^2/R$$

P- galia

R - varža

I- srovės stipris

U- įtampa

Kadangi reikalinga varža, pamatuojame prijungus prie siurblio multimetraž. Gauname 1,1 omų varžą (2.11 pav.).



2.11 pav. Gauta siurblio varža

Istatome skaičius į formulę ir gauname siurblio galią P:

$$\gg P = U^2/R = 36^2/1,1 = \mathbf{1178W}$$

P – galia W

R – varža – 1,1 Ω

U – įtampa – 36V

Apskaičiuota variklio galia, turimas siurblys gamykliškai apytiksliai yra 1,2 kW. Tad siurblys pakankamai didelės galios. Ši reikšmė bus reikalinga programuojant dažnio keitiklį.

Apskaičiavus galią ir turint reikiamus parametrus, programuojamas dažnio keitiklis. Šis valdiklis programuojamas kodų platforma, tam tikras kodas turi tam tikrą funkciją. Įėjus į kodo nustatymus, galimi variantai nustatyti arba reikalingą parametą, arba reikia pasirinkti tinkamą skaičių. Kiekvienas skaičius turi tam tikrą reikšmę ir funkciją. Programuojamas dažnio keitiklis, pagal parametrų kodus, nustatomos vertės:

P0003 – vartotojo priėjimo prie parametrų lygis, galimi trys variantai:

Standartinis: leidžiama prieiti prie keletos pagrindinių parametrų.

Išplėstas: leidžiama prieiti prie visų nustatymų.

Ekspertinis: servisas, perprogramavimas pačio valdiklio.

Nustatomas 2 lygis, leidžiantis keisti nustatymus, programuoti dažnio keitiklį.

P0010 – Parametrų nustatymų būseną:

4. Paruoštas: nustatomas kai valdiklis jau nustatytas.
5. Greitas nustatymas: leidžiantis keisti nustatymus.
6. Gamyklinis nustatymas.

Nustatomas 1 lygis, leidžiantis keisti ir nustatyti norimus parametrus, vėliau kai jau bus visi nustatymai įvesti, reikės nustatyti 0 lygį.

P0100 – Regiono dažnio nustatymas:

Europa (kW), dažnis 50Hz

Š.Amerika (AJ), dažnis 60Hz

Š.Amerika (kW), dažnis 60 Hz.

Nustatomas 0 lygis, pasirenkamas mūsų tinklo dažnis 50Hz.

P0304 – Siurblio nominali įtampa.

Nustatoma siurblio variklio vardinė įtampa pagal duomenis 36V. Bus padaroma iš tinklo 220V įtampos į 36V reikiamą siurblio veikimui įtampą. Ji bus keičiama keičiantis dažnio reikšmėms.

P307 – Siurblio vardinis galinumas.

Nustatoma prieš tai apskaičiuota siurblio galingumo reikšmė 1,18kW .

P0310 – Vardinis siurblio dažnis Hz.

Nustatoma siurblio dažnio vertė 360 Hz. Ji bus keičiama, dažnio pagalba keičiant dažnį iki maksimalios 360Hz vertės, keisis siurblio sukimosi greitis bet įtampa.

P0311 – Vardinis siurblio greitis (aps/min)

Nustatoma variklio sukimosi greitis iš žinomų duomenų (1 lentelė) 2200 aps/min.

P0335 – Variklio aušinimas.

Savo, papildomas nebus jungiamas

Priverstinis, jungiamas papildomas aušinimas

Šiuo atveju nebus naudojamas papildomas aušinimas, pasirenkamas 0 reikšmė.

P0700 – Komandų dažnio keitikliui įvedimo būdai

Gamykliniai nustatymai

Valdymo pultelis su klaviatūra

Gnybtai

Nuoseklus interfeisas (USS)

Ryšio magistralė CB.

Šiame parametro lange nustatome 1 reikšmę, tai reiškia, kad valdymas bus nuo valdiklio klaviatūros. Keisime parametrus pačiame dažnio keitiklyje, kuris keis išėjimo įtampą.

P1000 – Dažnio nuostatos parinkimas

1. MOP nuostata, keičiant dažnį valdymo skydelyje.
2. Analoginis valdymas
3. Fiksuotas dažnis
4. USS

Kadangi mums reikalingas valdymas, nustatomas 1 lygis, keisime dažnį naudojant dažnio keitiklios klaviatūrą.

P1080 – Minimalus dažnis

Nustatomas minimalus dažnis, prie kurio variklis bus paleistas nepriklausomai nuo dažnio nuostatos. Nustatome pradinį 1 Hz dažnį.

P1082 – Maksimalus dažnis

Nustatomas maksimalus siurblio dažnis, prie kurio bus ribojamas variklio veikimas. Įvedame 360 Hz maksimalią reikšmę. Tai veiks kaip apsauga.

P1120 Paleidimo laikas (s)

Nustatomas siurblio greitėjimo laikas, nuo stovėjimo iki maksimalaus dažnio. Ši reikšmė bus reikalinga norint, kad siurblys veiktų sistemoje, kadangi dabar atliksime tyrimus, šios funkcijos nenaudosime.

P1121 Stabdymo laikas (s)

Nustatomas siurblio lėtėjimo laikas, nuo maksimalaus dažnio iki sustojimo. Šios funkcijos kol kas taip pat nenaudosime, kol atliksime tyrimus.

P1135 Avarinio stabdymo laikas

Siurblio stabdymo laikas atsitikus nesklandumams, pagal OFF3 komandą. Ši funkcija kol kas taip pat nereikalinga. Bus naudojama sistemoje.

P3900 Parametrų nustatymo pabaiga.

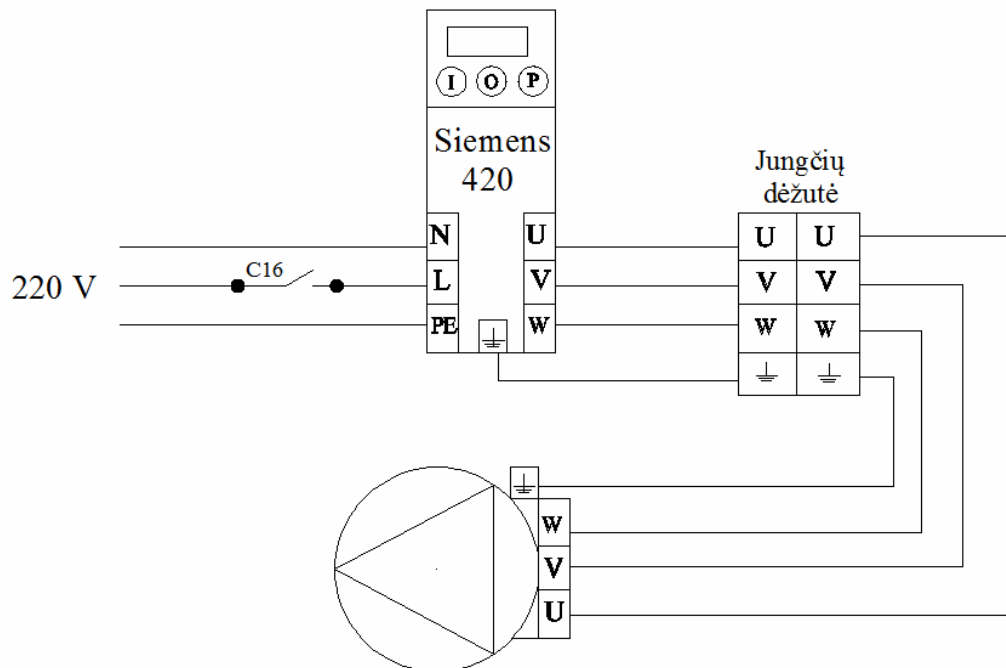
0. Užbaigimas neatlikus pakeitimų.

Užbaigimas pakeitus parametrus.

Pasirenkame 1 parametrą ir palaukus kol valdiklis apskaičiuos reikšmes, einame į valdymo meniu. Parametrai nustatyti, sujungiame dažnio keitiklį ir siurblių.

Principinė pajungimo schema pavaizduota schemoje (2.10 pav.). Dažnio keitiklis jungiamas nuo 220V įtampos el. tinklo. Kadangi Dažnio keitiklis neturi išjungimo funkcijos, prijungiamas jungiklis EPD6-C16 16A dėl apsaugos ir patogumo. Pagal schemą prijungiama prie dažnio keitiklio N, L ir PE jungčių, L laidą prijungus per jungiklį (2.11 pav.). Siurbliui pajungti naudojama dažnio keitiklio išėjimo jontys U, V, W ir išžeminimas. Dėl patogumo, nes pajungimas sunkiai pasiekiamoje vietoje, reikia nuimti keletą detalių, kad prijungti laidus, naudojama jungčių dėžutė (2.11 pav.). Iš dažnio keitiklio jungčių U, V, W ir išžeminimo, prijungiame laidus ir sujungiame su jungčių dėžute kaip parodytą schemoje (2.10 pav. ir 2.11

pav.). Prijungus, lieka siurblio pajungimas. Turbomolekulinio siurblio trijų fazių laidus (trys laidai), prijungiame prie jungčių dėžutės pagal schemą (2.12 pav). Taip pat ant siurblio esantį išeminimo laidą prijungiame prie jungčių dėžutės pagal schemą (2.13 pav.).



2.12 pav. Sistemos principinė schema

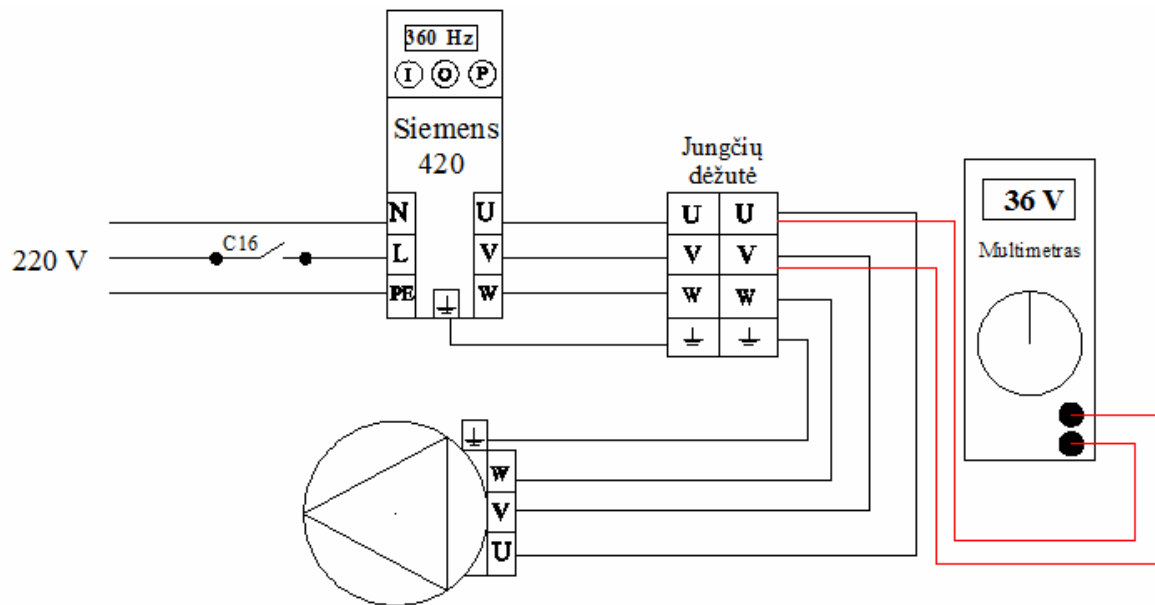


2.13 pav. realus schemos sujungimas

Tinkamai sujungus schemą, atliekame turbomolekulinio siurblio veikimo ir valdymo bandymus. Pirmiausiai reikia įsitikinti, kad siurblys veikia ir sukasi iki nustatytų reikšmių, keliant dažnį iki 360 Hz.

Atliekant bandymą, keliant dažnį palaipsniui vis daugiau, pastebėta, kad ties 126 Hz siurblys stoja ir dažnio keitiklis išmeta klaidą A3601. Surastos klaidos reikšmė buvo per ploni

laidai, neteisingi vardiniai duomenys. Po analizavimo, klaidos reikšmės ieškojimo pastebėta, kad dažnio keitiklio valdiklyje buvo suvesta netinkama reikšmė P0307 potemėje, vietoje 0,78 kW suvedame 1.18 kW kaip buvo apskaičiuota. Pakeitus duomenis, ir atlikus bandymą iš naujo, sistme veikia. Prijungus multimetą pagal schemą (2.14 pav.), atliemas sistemos darbo bandymas (2.15 pav.). Keičiant dažnį, matuojama įtampa išėjime.



2.14 pav. Prijungiamas multimetras

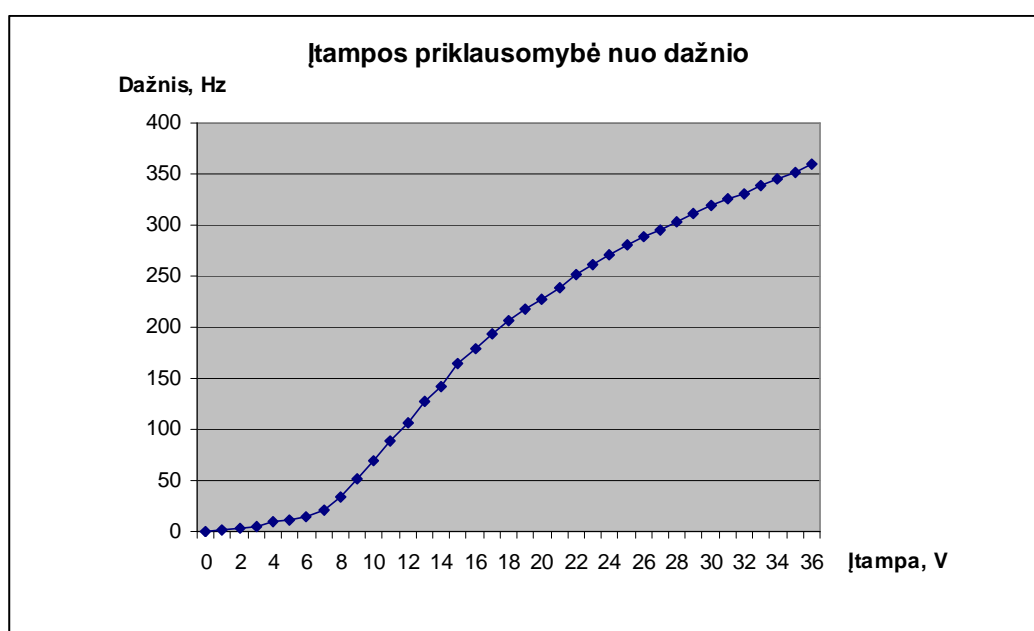


2.15 pav. Sistemos bandymas

Atlikus bandymą, duomenys suvesti į lentelę (2 lentelė), nubrėžiama įtampos kitimas pagal dažnį kreivė. Darbas pavaizduotas kreivėje (2.16 pav.).

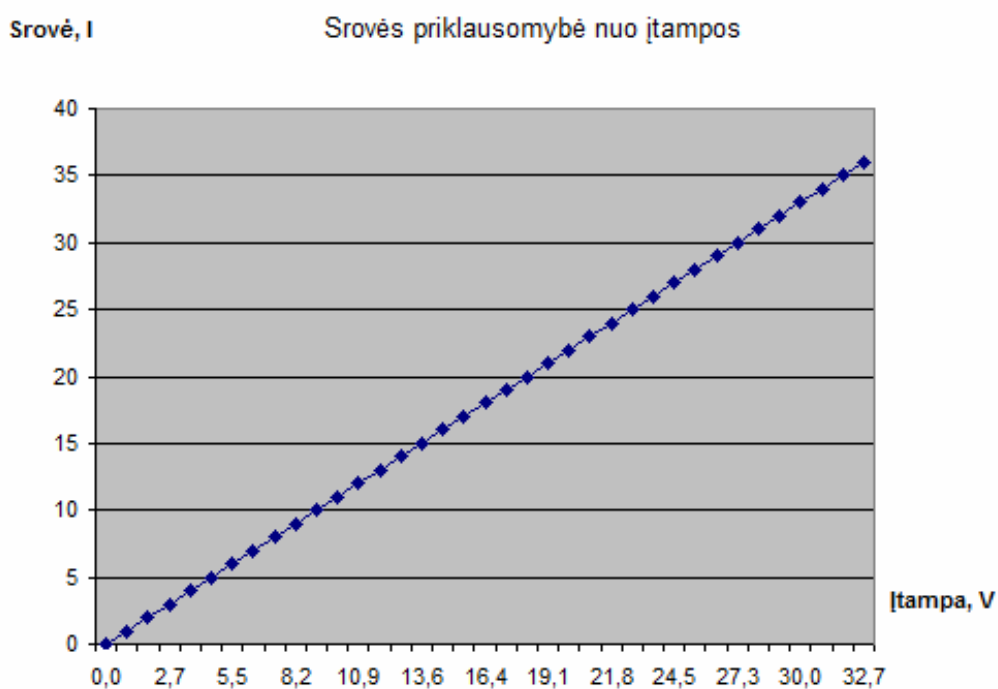
2 lentelė

Dažnis, Hz	Įtampa, V
0	0
1	1
3	2
5	3
9	4
11	5
14	6
21	7
34	8
52	9
70	10
89	11
107	12
128	13
142	14
165	15
179	16
193	17
206	18
217	19
227	20
239	21
251	22
262	23
271	24
280	25
289	26
295	27
303	28
311	29
319	30
326	31
331	32
338	33
345	34
352	35
360	36



2.16 pav. Įtampos priklausomybė nuo dažnio

Taip pat išmatuojama ir apskaičiuojama srovės priklausomybė nuo įtampos, pavaizduota grafike (2.17 pav.).



2.17 pav. srovės priklausomybė nuo įtampos

Iš grafiko galima spręsti, kad keičiant dažnį, įtampa kinta netiesiogiai. Pasiekus 7 V įtampą, siurblys pradeda sukintis (iki tol jis juda žingsniais). Nuo 7 V įtampos, keliant dažnį iki 200Hz siurblys sparčiai reitėja. Nuo 200 Hz dažnio apsisukimai kyla iki pat 360 Hz ir 36 V, tačiau lėšiau nei kilo iki 200 Hz.

Kadangi bandymas pavyko sėkmingai, siurblys sukasi ir veikia priklausomai nuo dažnio keitiklio duomenų kitimo, suprogramuojame valdiklį, kad veiktų automatinio būdu. Dažnio keitiklio parametrų koduose P1120, P1121 ir P1135 nustatomi paleidimo ir stabdymo laikai. Pagal turbomolekulinio siurblio reikalavimus, siurblys vakuume turi įsibėgėti per keturias minutes. Tai bus 240 sekundžių (s). Stabdymo laikas turi būti 2 minutės, tai reiškia 120 sekundžių (s). Avarinis stabdymas 60 sekundžių. Suvedami duomenys:

P1120 – Paleidimo laikas (s), įvedame 240.

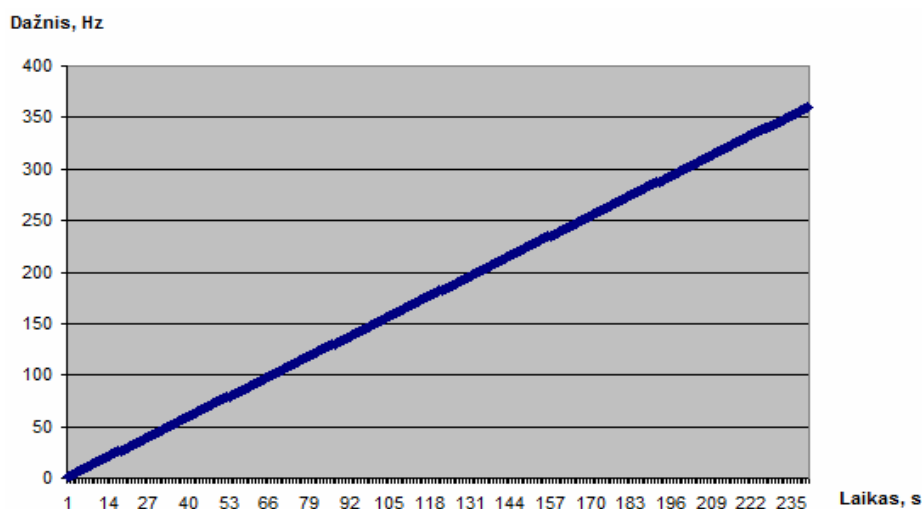
P1121 – Stabdymo laikas (s), įvedame 120.

P1135 – Avarinis stabdymas (s), įvedame 60.

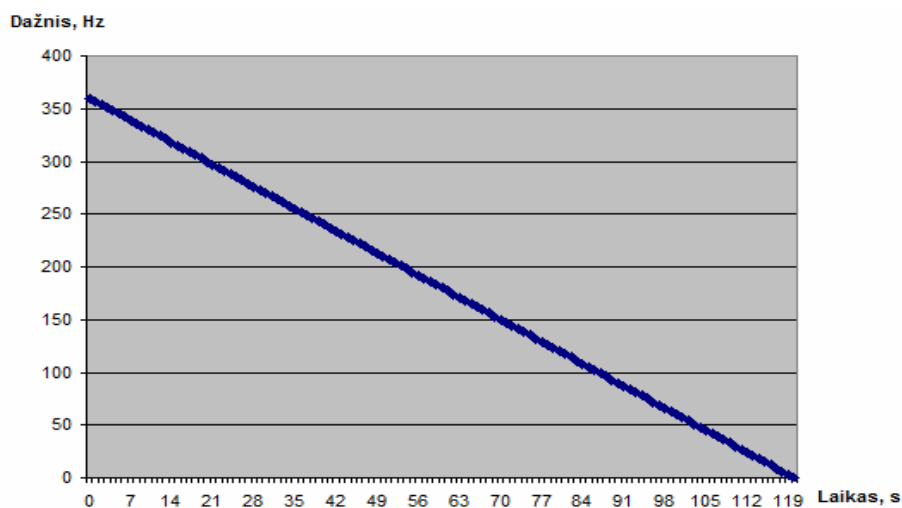
Taip pat pakeičiame dažnio nuostatą P1000 parametru. Kadangi nebekelsime dažnio, norime, kad maksimalų greitį pasiektų per tam tikrą pasirinktą laiką:

P1000 – Dažnio nuostata, nustatome 3 parametru (fiksotas dažnis).

Viską suvedus, kad būtų patvirtinti duomenys, parametru P3900 pasirenkame 1 parametru, pakeisti nustatytus duomenis. Tokiu būdu, siurblys pradės sukis pagal nustatytus parametrus paspaudus starto mygtuką (2.18 pav.) ir stabdysis paspaudus stop mygtuką (2.19 pav.). Pavaizduota dažnio priklausomybė laike.



2.18 pav. Dažnis siurbli paleidžiant



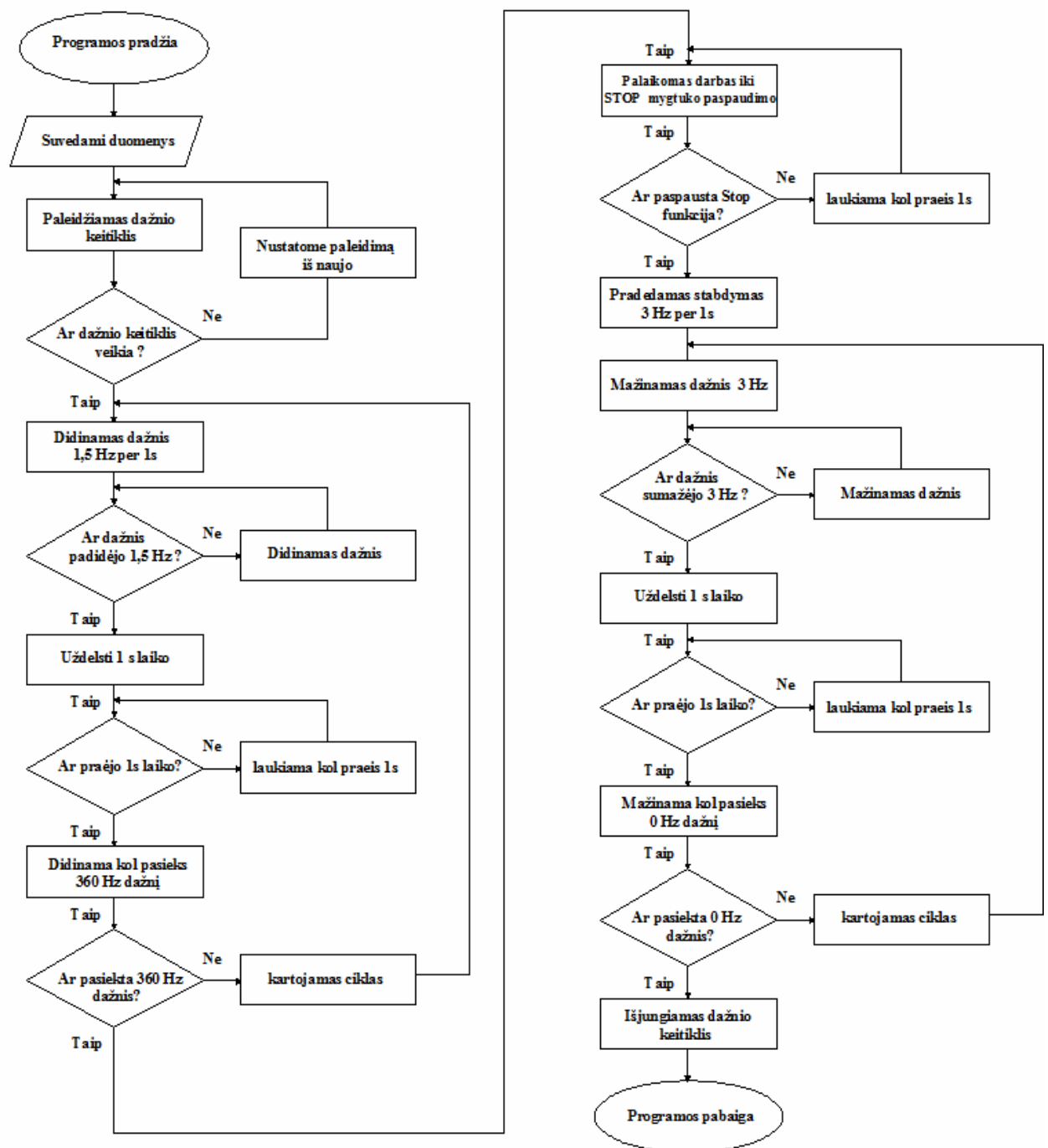
2.19 pav. Dažnis siurbli stabdant

2.3 Sistemos veikimo algoritmas

Eksperimento modeliui sudarytas algoritmas naudojant „AutoCad“ programą (2.20 pav.), aprašomas veikimo principas.

Programos pradžia, įjungiamas dažnio keitiklis, sujungtai schemai nustatomi duomenys, suvedamos vardinės reikšmės, paleidžiamas dažnio keitiklis. Jei nėra klaidų ir tinkamai suprogramuotas dažnio keitiklis sistema pradeda veikti, jei yra klaidų, jas reikia pašalinti. Kadangi turbomolekuliniui siurbliui paleidimas yra uždelstas, pagal reikalavimus paleidžiama per keturias minutes. Algoritme tai atsispindi palaipsniui keliant dažnį pastoviu greičiu iki nustatytos reikšės. Keliami 1,5 Hz žingsniu kas sekundę. Tikrinama ar pakilo 1,5 Hz dažnis, jei taip sistema pereina prie laiko tikrinimo, jei ne, laukiama kol bus pakelta. Sekantis žingsnis, laukiama kol praeis viena sekundė laiko, jei taip tikrinama ar pasiekė nustatytą 360 Hz dažnį, jei ne laukiama kol prabėks. Prabėgus laikui, tikrinama ar pasiektas nustatytas dažnis, jei taip pereinama prie jo palaikymo, jei ne kartojamas ciklas, keliamas dažnis kol bus pasiekta norima reikšmė. Nors tai mažas laiko tarpas, tačiau paprastai dažnis keliamas sparčiau.

Pasiekus nustatytą 360 Hz dažnį, sistema palaikoma, tol kol bus sustabdyta rankiniu būdu. Paspaudus sustabdymo mytuką, pereinama į stabdymo režimą. Tada viskas vyksta atvirkščiai. Stabdymą reikia taip pat kontroliuoti dėl vakuumo ir taršos. Sustabdyti reikia per dvi minutes, tad viskas vyks sparčiau. Mažinamas dažnis 3 Hz per sekundę. Tikrinama ar dažnis sumažėjo, jei taip laukiama vieną sekundę, jei ne laukiama kol dažnis sumažės. Dažniui sumažėjus laukiama kol praeis viena sekundė, jei praėjo tikrinama ar dažnis lygus nuliui, jei ne laukiama kol praeis laikas. Prabėgus laikui jei dažnis lygus nuliui ir sistema sustojo galima išjungti sistemą, jei ne, kartojamas ciklas ir laukiama kol dažnis bus lygus nuliui.

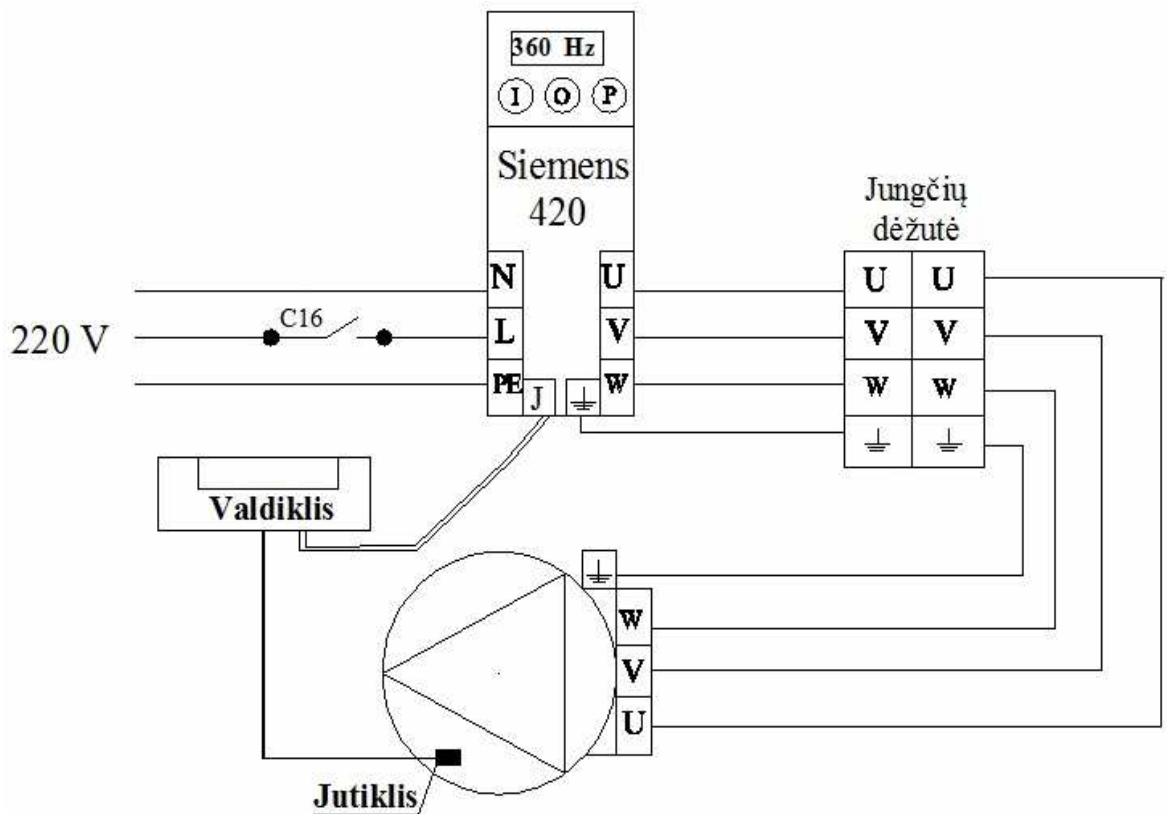


2.20 pav. Sistemos veikimo algoritmas

2.4 Siurblio valdymas pritaikant slėgio jutiklį

Nors dažnio keitiklis turi apsaugas nuo srovės ar įtampos pokyčių, tai gali neapsaugoti jei siurblys veiktų avariniu režimu, netaip kaip norima dėl pašalinių veiksnių. Tokiu atveju, naudojama apsaugos priemonė, papildomai suvaldyti siurblio darbą. Pridedamas slėgio – vakuumo jutiklis siurbliui ir valdiklis. Jutiklis matuoja siurblio sudarytą slėgį, perduoda

duomenis į valdiklį, o iš valdiklio signalas keliauja į dažnio keitiklį, kuris keičia dažnį pagal jutiklio parametrus. Jei slėgis neatitinka norimų parametrų, yra per aukštas, tikimybė siurblio perkaitimui padidėja. Tam, kad išvengti perkaitimo, valdiklis gavęs signalą iš jutiklio, sumažina dažnį dažnio keitiklyje ir sumažina siurblio įtampą. Su šia sistema galime ir padidinti našumą. Jei slėgis per mažas, didinant dažnį pasiekiami reikalaujami parametrai. Principinė schema pavaizduota (2.20 pav.) paveikslėlyje.

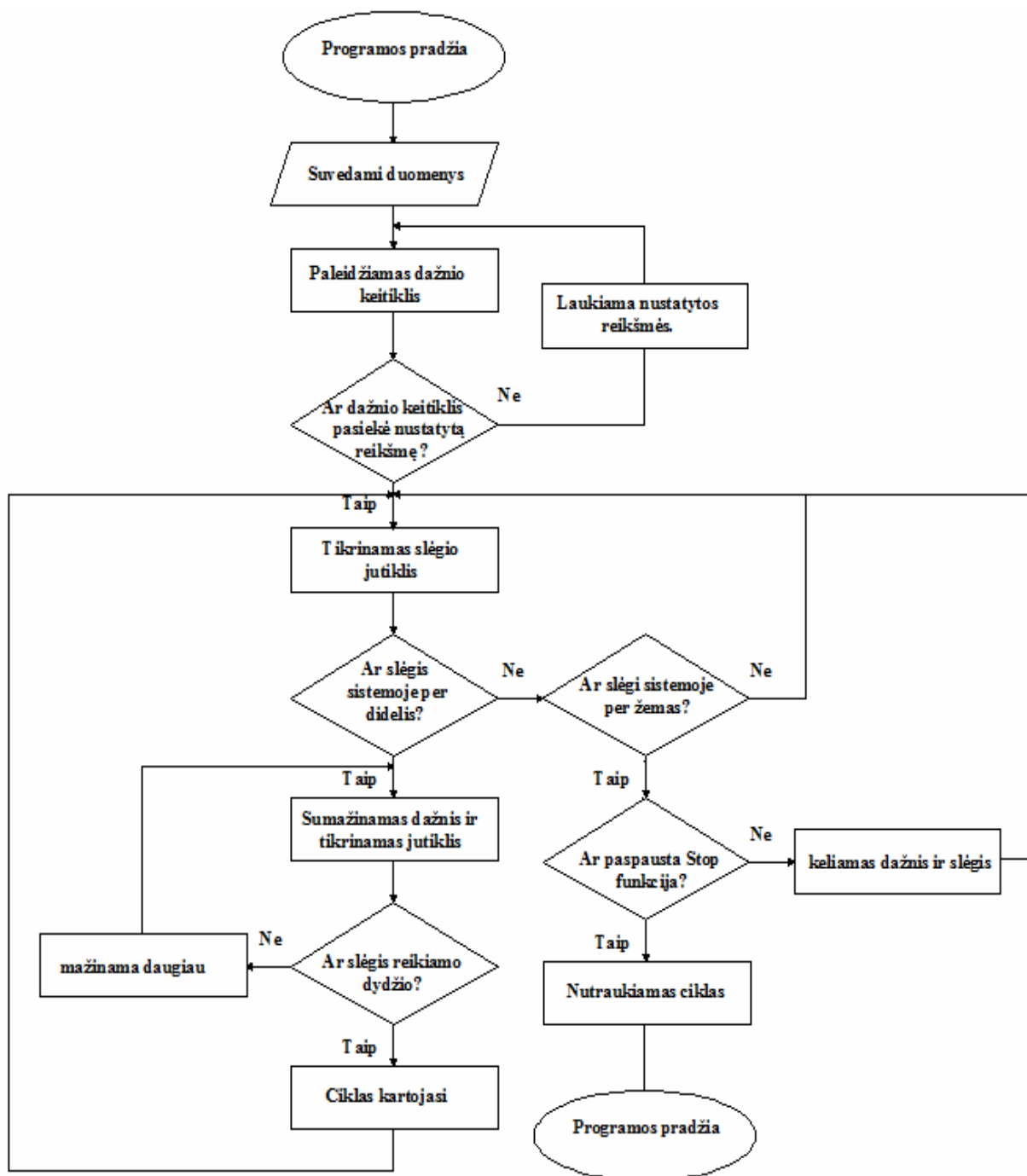


2.20 pav. Principinė schema su slėgio jutikliu

Sudaromas veikimo algoritmas (2.21 pav.). Įjungus siurblių, jam įsisukus iki maksimalaus darbo taško, tikrinama slėgio jutiklio duomenų parodimus.

Pasiekus dažnio keitiklio darbinę nustatytą reikšmę, tikrinamas slėgio jutiklis. Jei slėgis sistemoje per didelis, sumažinamas dažnis ir tikrinamas slėgio jutiklis dar kartą. Jei slėgis reikiamo dydžio, ciklas kartojasi nuo slėgio jutiklio tikrinimo ar slėgis per didelis. Jei slėgis nėra reikiamo dydžio, mažinamas dažnis daugiau ir vėl tikrinamas jutiklis kol atitiks reikalaujamus parametrus. Tikrinant slėgi, jei jis nėra per didelis, tikrinama ar nėra per žemas. Jei slėgis normalus, darbo režime, vėl einama prie jutiklio tikrinimo ir ciklas kartojamas. Jei slėgis per

žemas, tikrinama ar jis nukrito neplanuotai ar buvo sustabdytas siurblio dažnio keitiklis. Jei buvo sustabdyta sistema, nutraukiamas ciklas ir programa baigiama. Tačiau jei slėgis nukrito ir sistema nebuvo sustabdyta keliamas slėgis. Tai reiškia keliamame dažnį keitiklyje ir tikrinamas jutiklis ar sistema keičiasi. Taip kartojami visi ciklai, kol sistema bus išjungta.



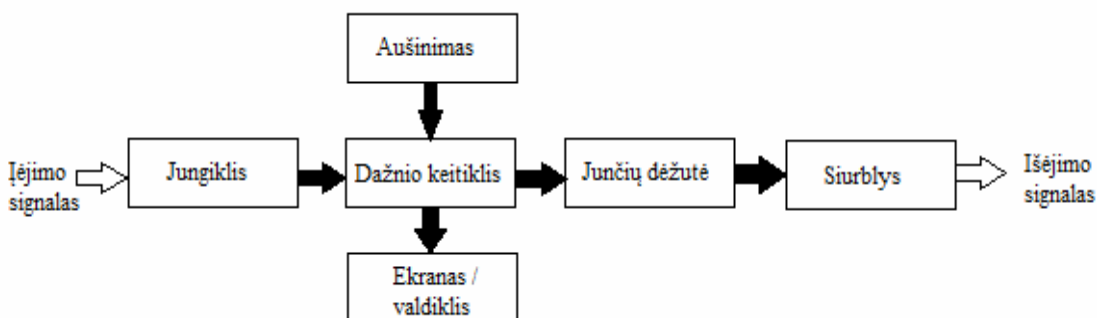
2.21 pav. sistemos su slėgio jutikliu algoritmas

2.5 Modeliavimo projektavimas naudojant programas „Matlab“ ir „Scilab“

2.5.1 Modelio projektavimas

Tirinėjant sudėtingas elektromechanines ir mechatronines sistemas didžiulę reikšmę turi modeliavimas. Naudojant šį pažinimo ir tyrimo metodą galima nagrinėti sistemos veikimą įvairiomis sąlygomis. Kartais tai iširti tradicinėje laboratorijoje būtų net labai sunku ar net neįmanoma. Tada šiam atvejui naudojami sistemų modeliai, kurie gana tiksliai imituoja tiriamą sistemą sutaupant laiką ir pinigus.

Sudarant sistemos matematinį modelį, galima remtis arba elektromagnetinio lauko, arba elektros grandinių teorijomis. Remiantis elektromagnetinio lauko teorija, modelis sudaromas pagal Maksvelo lygtys. Tokius modelius geriausia naudoti tada, kai pagrindinis dėmesys sutektas į magnetinėje grandinėje vykstančius reiškinius. Remiantis elektros grandinių teorija, modelis sudaromas pagal Kirchhofo bei Omo dėsnius, kurie naudojami elektros grandinėms aprašyti. Pats perspektyviausias yra kombinuotas modelis, kuris sudaromas remiantis abiem teorijomis. Pirmiausia sudaroma sistemos blokinė schema (2.18 pav.).

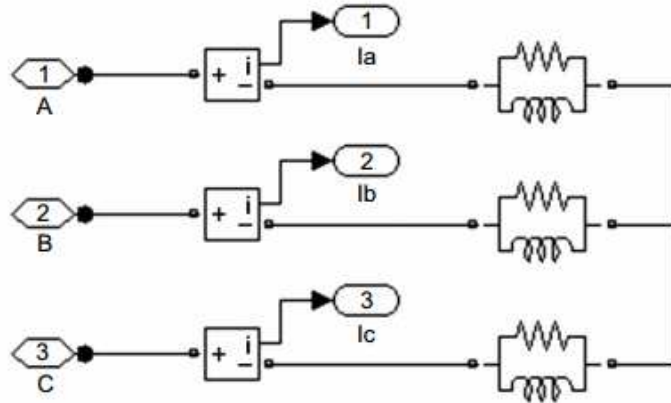


2.18 pav. sistemos blokinė schema

Kad modelį tinkamai realizuoti modeliuojant, tai tikslinga sistemos modeliavimui pasirinkti elektrinėms schemoms modeliuoti tinkamą programą Matlab/Simulink. Šios programos privalumas yra tas, kad adaptuotą sistemos modelį galima tiesiogiai jungti prie modeliuojamos elektrinės valdymo sistemos. Dar labai svarbu tai, kad naudojant tokį modelį, labai paprastai skaičiuojami išvestiniai elektriniai dydžiai.

Įtampos formavimo metodai tiriami modeliuojant Matlab Simulink terpėje. Šiam tikslui buvo sukurtas trifazis inverterio modelis (2.19 pav.), sudaryta iš induktyvumų, rezistorių šakų, sujungtų į žvaigždę. Šis modelis visiškai neatitinka trifazio siurblio modelio, nes neįvertina apvijų tarpusavio induktyvumo bei kitų svarbių variklio parametrų, tačiau pradinėje įtampos

formavimo metodų tyrimo fazėje tinka formavimo algoritams identifikuoti. Įtampos formavimo algoritmai buvo vertinami dviem etapais. Pirmame etape inverteris buvo apkraunamas apkrova, ir vykdomas modeliavimas. Nusistovėjus pereinamiesiems virsmams apkrovoje, buvo matuojamos srovės fazėse. Srovės buvo filtruojamos antrosios eilės žemųjų dažnių filtru.



2.19 pav. Dažnio keitiklio matlab simulink modelis

Kadangi inverterio įtampa nėra sinusinė, geriausiai kurti variklio modelį fazinių koordinačių sistemoje, nes jame naudojamos akimirkinės įtampų vertės. Variklis prie dažnio keitiklio jungiamas žvaigžde. Šiuo atveju gaunama tokia matematinio modelio lygčių sistema:

$$M(t) = \begin{pmatrix} 2L_S & L_S & a_{13} & a_{14} & a_{15} & 0 \\ L_S & 2L_S & a_{23} & a_{24} & a_{25} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 2L_R & L_R & a_{35} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & L_R & 2L_R & a_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_r \end{pmatrix},$$

$$a_{13} = a_{24} = a_{31} = a_{42} = 3M_{SR} \cos \varphi;$$

$$a_{14} = a_{41} = 3M_{SR} \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{3} \right);$$

$$a_{23} = a_{32} = 3M_{SR} \cos \left(\varphi - \frac{\pi}{3} \right);$$

$$a_{15} = -3M_{SR} \left[i_a \sin \varphi + i_b \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{3} \right) \right];$$

$$a_{25} = -3M_{SR} \left[i_a \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{3} \right) + i_b \sin \varphi \right];$$

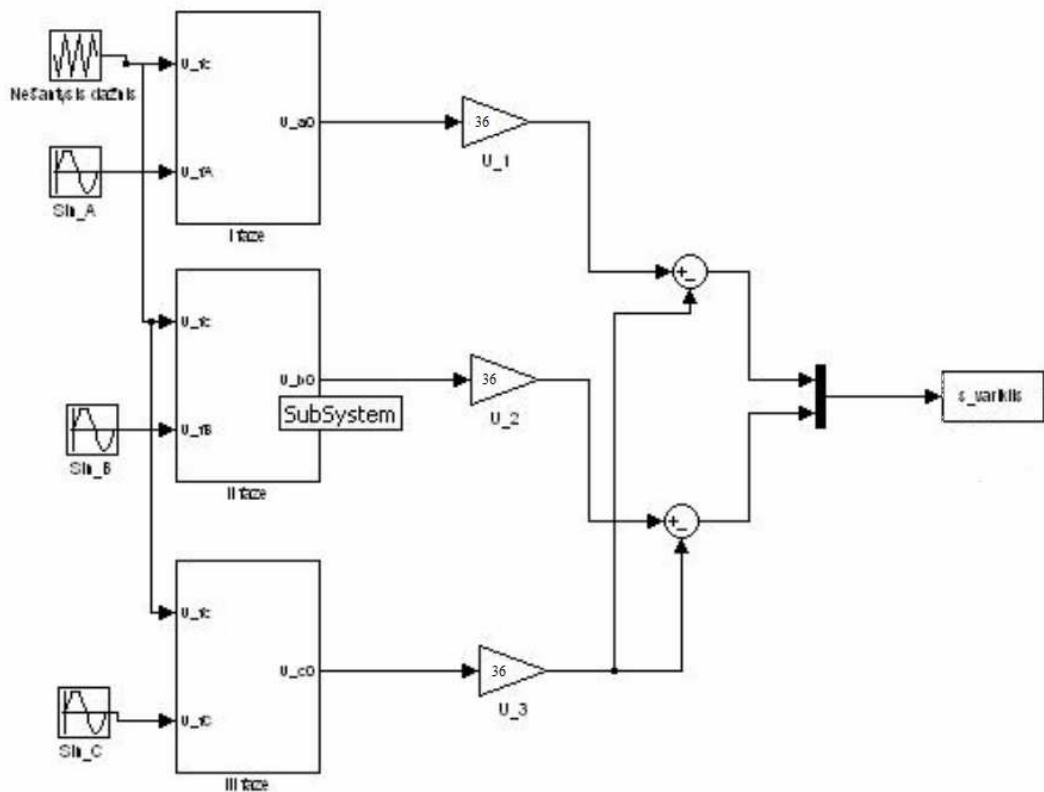
$$a_{35} = -3M_{SR} \left[i_A \sin \varphi + i_B \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{3} \right) \right];$$

$$a_{45} = -3M_{SR} \left[i_A \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{3} \right) + i_B \sin \varphi \right].$$

Galutinai asinchroninio vatiklio, kurio apvijų sujungtos žvaigžde, matematinio modelio lygčių sistema:

$$M(t) \cdot \begin{pmatrix} \frac{di_A}{dt} \\ \frac{di_B}{dt} \\ \frac{di_a}{dt} \\ \frac{di_b}{dt} \\ \frac{d\varphi}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{AC} - R_S(2i_A + i_B) \\ u_{BC} - R_S(i_A + 2i_B) \\ u_{ac} - R_R(2i_a + i_b) \\ u_{bc} - R_R(i_a + 2i_b) \\ \omega \\ M_{em} + \sum M \end{pmatrix}.$$

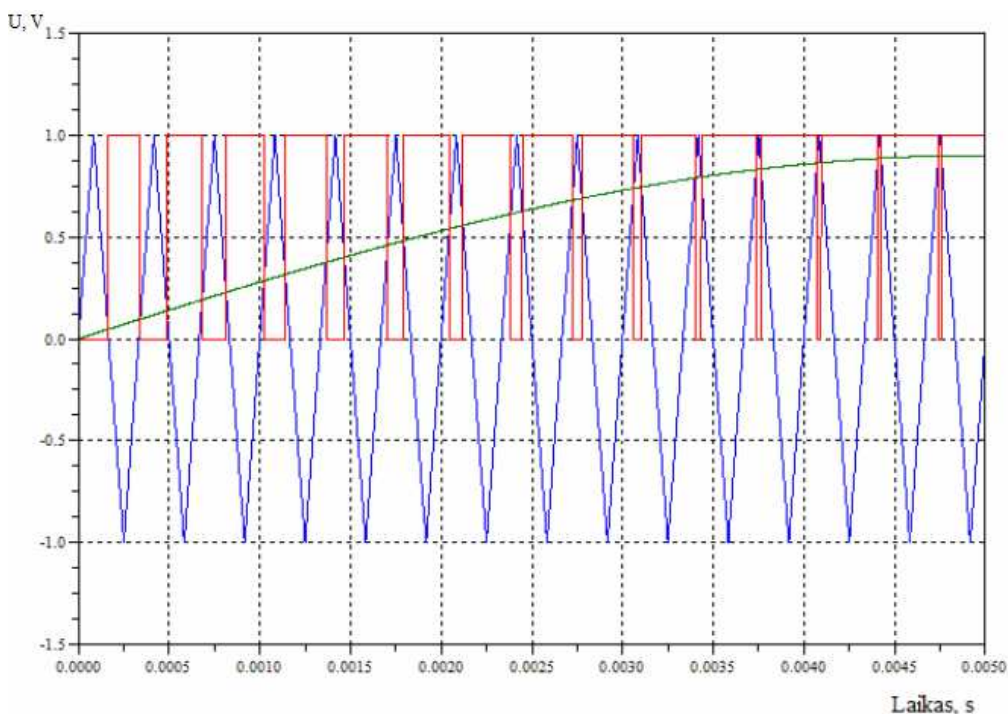
Pagal sudaryto matematinio modelio lygtis MatLAB Simulink pakete sukuriamas sistemos dažnio keitiklio ir variklio modelis (2.20 pav.).



2.20 pav. Dažnio keitiklio ir variklio simulink modelis

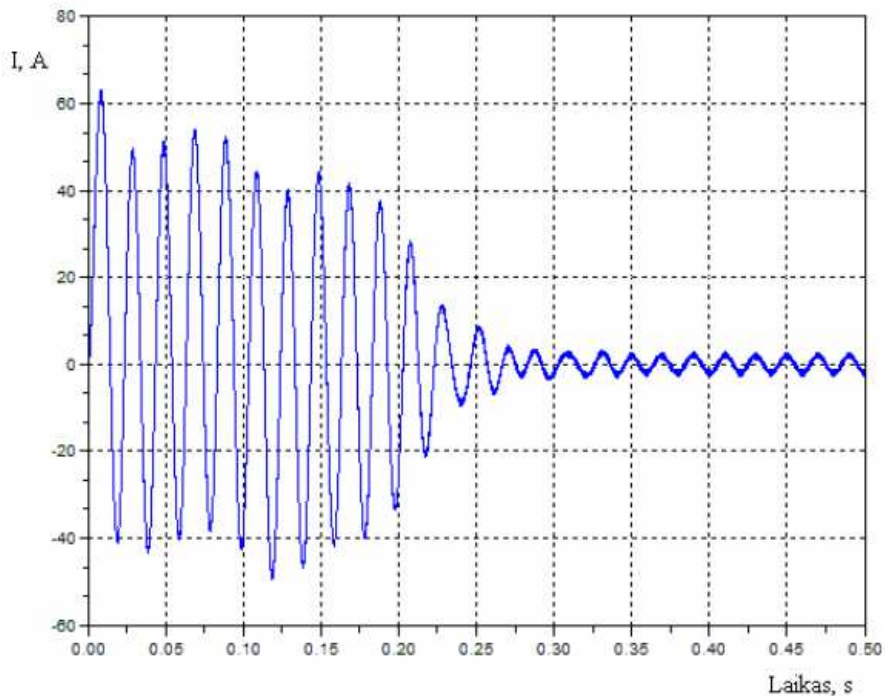
Šiame modelyje bloka „Sin_A“, „Sin_B“ ir „Sin_C“ sukuria besiskiriančius $2\pi/3$ fazės kampais reikiamo dažnio signalus. Posistemės „I fazė“, „II fazė“ ir „III fazė“ atitinka sinusinės impulsų pločio moduliacijos modelį. Įtampa turi būti 36 V. Todėl bloka „U_1“, „U_2“, „U_3“ padaugina posistemų išėjimo signalų įtampas iš 36.

Užduodamas nešantis dažnis 360 Hz, kai $U=36V$, kuris valdys visus šešis inverterio raktus, taip kad vidutiniuose inverterio taškuose U1, U2, U3 būtų gaunamos sinusinės formos įtampos bangos, perstumtos viena nuo kitos 120 elektrinių laipsnių. Inverteris susideda iš trijų pusiau tiltelių (kiekvienai fazei), kur viršutinis ir apatinis raktai valdomi taip, kad vienas įjungiamas – kitas išjungiamas. Dėl to, kad inverterio raktai turi ilgesnę išsijungimo laiką negu įsijungimo, kartais tarp vieno rakto išsijungimo ir įsijungimo įterpiamas vadinamas neįjungimo laikas, kuris realizuojamas papildomais įrenginiais. Maitinant trifazį variklį tokio tipo inverteriu su sinusinės IPM realizavimu inverterio išėjimo įtampa gaunama lyginant nešančiojo dažnio signalą nuostatos signalu. Šių signalų susikirtimo taškai nusako inverterio raktų įjungimą. Tai iliustruojama (2.21 pav.).



2.21 pav. sinusinė impulsų pločio moduliacija

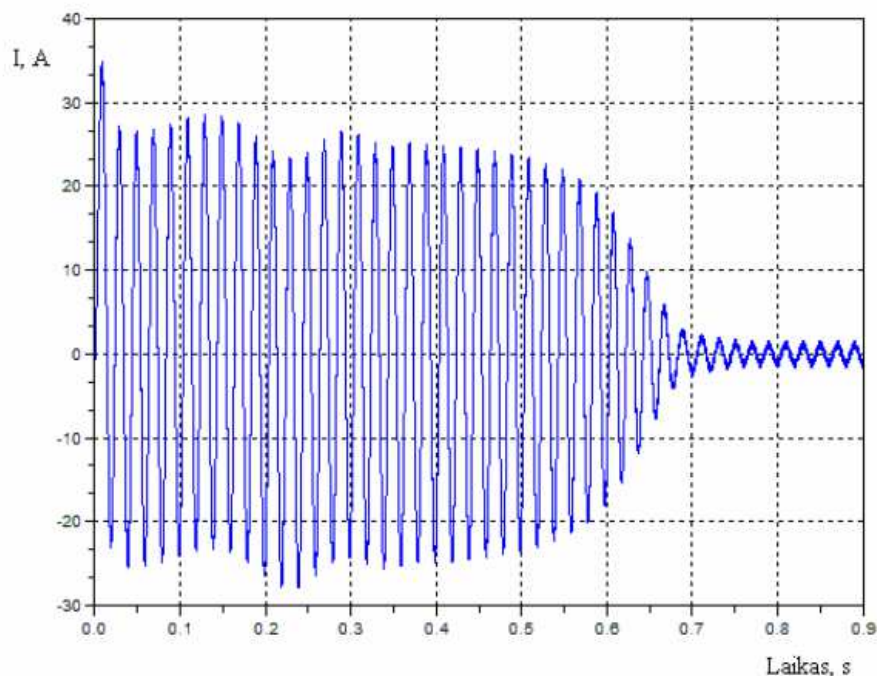
Mėlynos spalvos kreivė vaizduoja nešančiojo dažnio signalą. Šiuo atveju jis atitinka klasikinį pjūklinės įtampos signalą. Abudu signalo frontai simetriški. Žalia kreivė vaizduoja nuostatos signalą, kuris atitinka pirmąjį įtampos periodo ketvirtį A fazėi. Raudona kreivė vaizduoja įtampą prie kurios prijungta atitinkama fazinė apvija. Kadangi imituojamas idealus raktas įtampos frontai gaunami labai statūs. Realiose sistemose raktų užsidarymas trunka kažkiek laiko. Nežiūrint to, kad nešantysis signalai simetriški laiko ašies atžvilgiu įtampos reikšmės yra tik teigiamos. Tai aiškinama tuo, kad imituojamas keitiklis inverteris maitinamas tik iš vienpolio šaltinio. Sudarytas algoritmas puikiai tiktų ir iš dvipolio šaltinio maitinamam inverteriui imituoti. Iš grafikų matyti, kad tik nuostatos signalas atitinka tolydžias funkcijas. Nešantysis ir įtampos signalai yra trūkūs. Maitinimo įtampos vertė keičiasi kai nuostatos signalas tampa lygus nešančiajam. Imituojamas neapkrauto siurblio paleidimas (2.22 pav.).



2.22 pav. neapkrauto siurblio paleidimas

Iš paveikslų matosi, kad paleidimo metu srovė beveik 2 kartus viršija variklio nominaliąją srovę, kuri tokios galios varikliui lygi apie 30 A. Pasibaigus pereinamajam procesui, statoriaus grandinėje teka apie 3 A srovė – tuščios veikos srovė. Iš grafikų matyti, kad pakeitus įtampą ir dažnį paleidimo srovės skiriasi beveik dvigubai (2.23 pav.).

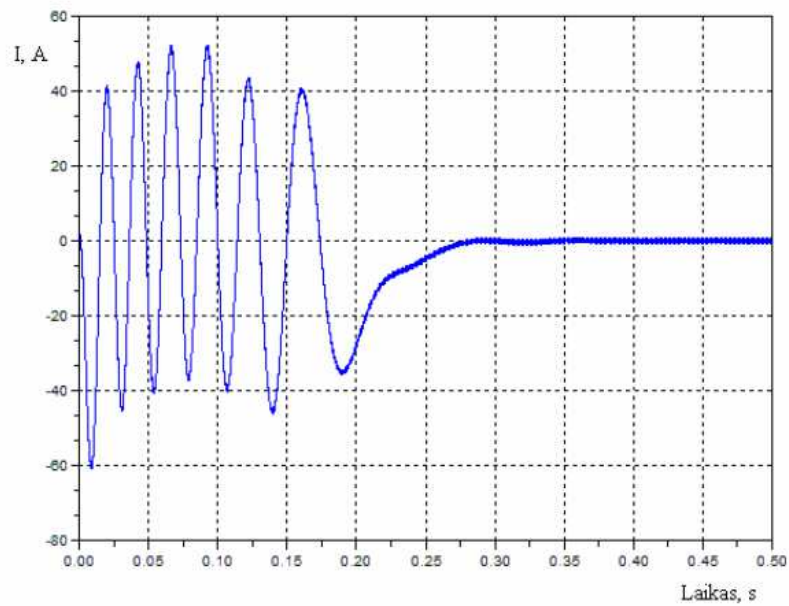
Tuščios veikos srovė, esant $U=36\text{ V}$ ir dažniui 360 Hz nusistovi apie $t\approx 0,3\text{ s}$, o sumažinus įtampai iki 20 V ir dažnį 250 Hz matyti, kad varikliui pasiekti tuščios veikos greitį tam reikia beveik dvigubai laiko.



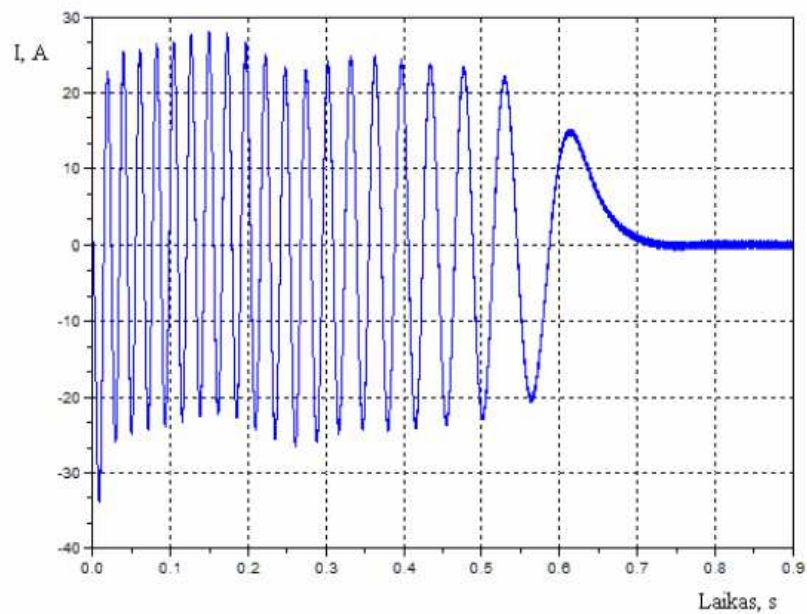
2.23 pav. neapkrauto siurblio paleidimas pakeitus parametrus

Rotoriaus A fazės srovės pereinamieji procesai pateikti (2.24 pav.) ir (2.25 pav.) paveiksluose. Paleidžiant tiek apkrautą, tiek neapkrautą variklį, rotoriaus srovė pereinamojo proceso metu švytuoja. Srovės amplitudė paleidimo pradžioje yra didžiausia, o dažnis artimas tinklo dažniui.

Panašiai, kaip ir statoriaus srovės, pereinamojo proceso pradžioje rotoriaus srovės stipris apribojamas, taigi aiškiai matyti išskiriamas momentas $t\approx 0,28\text{ s}$, esant dažniui 360 Hz ir kai $t>0,7\text{ s}$, esant dažniui 250 Hz . Pereinamojo proceso pabaigoje, nežiūrint to, kad variklis dirba tuščiąja veika, o rotoriaus greitis lygus sinchroniniam, rotoriaus grandinėmis teka srovės, kurių maksimali akimirkinė vertė siekia apie 3 A . Šios srovės atsiranda dėl komutacijos procesų statoriaus grandinėse.



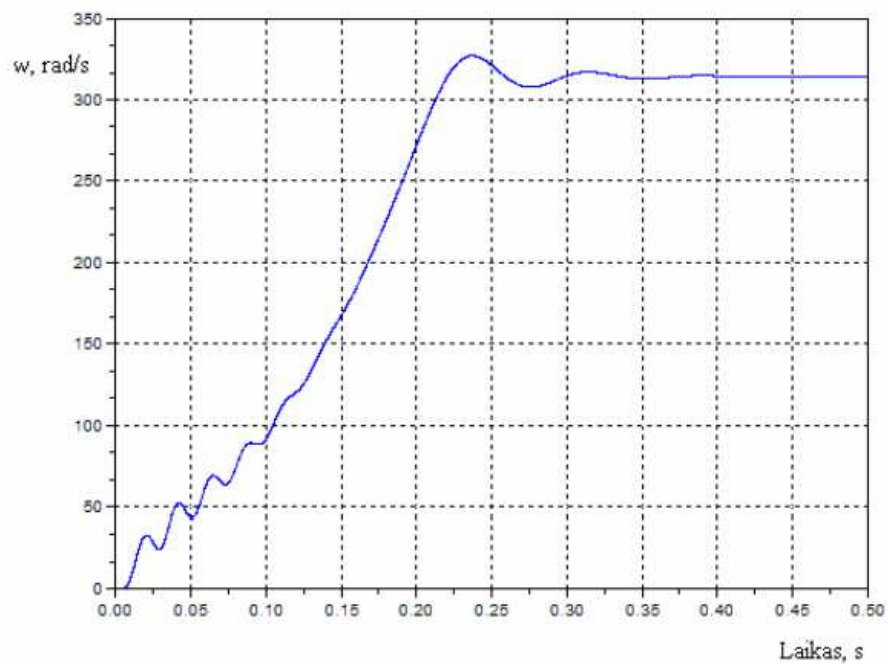
2.24 pav. rotoriaus fazės pereinamasis procesas



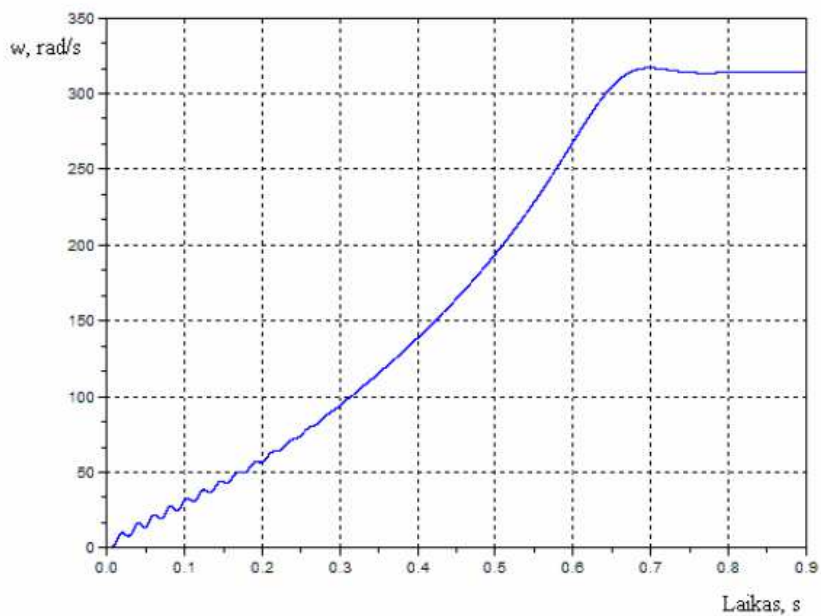
2.25 pav. rotoriaus fazės pereinamasis procesas pakeitus parametrus

Rotoriaus greičio pereinamieji procesai pateikti (2.26 pav.) ir (2.27 pav.) paveiksluose. Abiem atvejais sinchroninis sukamojo magnetinio lauko greitis vienodas asinchroninei mašinai lygus 100π , todėl nusistovėjusi greičio vertė lygi 314 rad/s. Paleidžiant variklį didesnę pereinamojo proceso dalį jis veikia varikliniu režimu, ir tik pačioje pereinamojo proceso pabaigoje, kai dėl perreguliavimų akimirkinė greičio vertė viršija sinchroninį, galimas trumpalaikis veikimas generatoriniu režimu. Didesnis švytavimas pereinamojo proceso pradžioje

bei pabaigoje. Dėl didelės rotoriaus inercijos, pasibaigus greičio pereinamajam procesui, nėra jokių pulsacijų.



2.26 pav. greičio pereinamasis procesas



2.27 pav. greičio pereinamasis procesas pakeitus parametrus

2.6 Skyriaus išvados

Programinio paketo „Matlab“ ir „Scilab“ pagalba buvo sudarytas mechatroninės sistemos dažnio keitiklis ir turbomolekulinio siurblio modelis. Statoriaus ir rotoriaus A fazių srovių pereinamųjų procesų trukmės sumažėja nuo 0,35 – 0,7 s sumažinus įtampą ir nešančiojo signalo dažnį. Greičio pereinamojo trukme, sumažinus įtampą nuo 36V iki 20V, o nešančiojo signalo dažnį nuo 360Hz iki 250 Hz pailgėja du kartus (0,35 iki 0,7 s). Variklį maitinant iš dažnio keitiklio fazinės įtampos keičiasi šuoliškai, todėl imituojant šią sistemą visą imitavimo laiką būtina skaidyti į trumpesnius intervalus, kurių metu visos funkcijos tolydžios. Nagrinėjamu atveju, kai nekinta nei nešančiojo nei nuostatos signalo charakteristikos, galima buvo iš anksto nustatyti raktų persijungimo momentus, kas labai supaprastintų programą, tačiau sudaryta programa tuos momentus nustato automatiškai, todėl yra universalesnė.

IŠVADOS

1. Norint, kad turbomolekulinis siurblys tinkamai veiktų, reikia pritaikyti valdymo įtaisą, kuris keistų įtampą ir dažnį.
2. Sudarytas sistemos modelis, pritaikytas dažnio keitiklis, sukurta veikianti sistema.
3. Jei dažnio keitiklis netinkamas dėl reikiamos įtampos, reikia naudoti transformatorių ir dažnio keitiklį.
4. Sudarytos principinės schemos, algoritmai, aprašytas veikimas.
5. Atlikus bandymus, pasirinkta pavara (dažnio keitiklis) yra tinkama pasirinktam turbomolekuliniam siurbliui valdyti.
6. Realus ir kompiuterinio modelio veikimas skiriasi, dėl realybėje atsirandančių papildomų trugdžių ar veiksių, kurie paveikia sistemą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. TURBOMOLECULAR PUMPS HIGH PERFORMANCE & RELIABILITY 2013

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

<https://www.edwardsvacuum.com/uploadedFiles/Resource/Distributors/Literature/Turbomolecular%20Brochure%20B600-01-895B.pdf>

2. http://lt.swewe.net/word_show.htm/?40688_1&Turbo%7Cmolekulinis%7Csiurblys

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

3. Kurt J. Lesker and Company. Turbomolecular Pumps and Drag Pumps: Technical (2004).

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

<http://www.lesker.com>.

4. T.A. Delchar: Vacuum Physics and Techniques, 1985-95. (Chapman & Hall, 1993).

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

http://www.physics.rutgers.edu/ugrad/387/388s06/UHV_LEED/UHV_Pumps.pdf

5. Pfeiffer Vacuum: Working with Turbopumps: Introduction to high and ultra high vacuum production. (2003).

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

<http://www.pfeiffer-vacuum.com>.

6. Thermionics Vacuum Products: Theory of Operation. (2008)

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

http://www.thermionics.com/ip_too.htm.

7. Kurt J. Lesker and Company. Technical Notes on Ion Pumps. (2004).

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

<http://www.lesker.com>.

8. Gary Attard and Colin Barnes: Oxford Chemistry Primers, Surfaces, 1998.
(Oxford University Press).

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

<http://www.lesker.com>.

9. Emptiness of Intergalactic Space. (2004).

Prieiga per internetą: [žiūrėta 2014m. gegužės 10d.]

<http://www.findarticles.com>

