



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Vytautas Tilinskas**

**PASKIRSTYTŲJŲ GENERATORIŲ PRIJUNGIMO PRIE  
ELEKTROS TINKLO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Lekt. dr. Dainius Slušnys

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**PASKIRSTYTŲJŲ GENERATORIŲ PRIJUNGIMO PRIE  
ELEKTROS TINKLO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Elektros energetikos inžinerija (621H63003)

**Vadovas**

( ) Lekt. dr. Dainius Slušnys  
2017-06-01

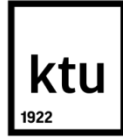
**Recenzentas**

( ) Lekt. dr. Vytautas Sučila  
2017-06-01

**Projektą atliko**

( ) Vytautas Tilinskas  
2017-06-01

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Vytautas Tilinskas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos inžinerija (621H63003)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Paskirstytųjų generatorių prijungimo prie elektros tinklo tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. Gegužės 26 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Vytauto Tilinsko** baigiamasis projektas tema „Paskirstytųjų generatorių prijungimo prie elektros tinklo 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)

Tilinskas, Vytautas, Paskirstytųjų generatorių prijungimo prie elektros tinklo tyrimas. *Elektros energetikos inžinerijos* baigiamasis magistro projektas / vadovas lekt. dr. Dainius Slušnys; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros energetikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *Elektros energija, energijos gamyba, tiekimas, paskirstytos galios generatorius, tinklas.*

Kaunas, 2017. 57 psl.

## SANTRAUKA

*Elektros energijos suvartojamiems kiekiams didėjant, tenka ieškoti naujų energijos gamybos ir tiekimo būdų. Kylant iškastinio kuro kainai, vis labiau į elektros energijos gamybą yra įtraukiama paskirstytosios energijos generacija. Technologinė pažanga leidžia gaminti vis geriau pritaikomus, patikimesnius ir ekonomiškai greičiau atsiperkančius maitinimo šaltinius. Atsižvelgiant į šias tendencijas galima numatyti, kad ateityje turėtų sparčiai vystytis paskirstytos nedidelės galios, tokios kaip saulės, vėjo, biokuro, dujų turbinų elektrinių plėtra.*

*Nors tokių generatorių įtaka tinklo režimui dar nėra iki galo ištirta ir įvertinta, bet prijungiant šio tipo maitinimo šaltinius prie apkrovos šaltinių, reikia gerai įvertinti sistemos darbą prie visų galimų darbo režimų ir įvertinti šių įrenginių ekonominę ir technologinę naudą.*

*Darbe yra sumodeliuota elektros energijos generacija į įmonės elektros tinklą, kuris prijungtas prie skirstomojo tinklo sistemos. Didžioji sugeneruotos energijos dalis yra sunaudojama įmonės reikmėms, kita dalis atiduodama į tinklą ir naudojama kitiems tinklo imtuvams maitinti.*

*Šio Darbo tikslas yra parikti ekonomiškai naudingesnę elektros energijos maitinimo sistemą suprojektuotiems energijos imtuvams maitinti. Ištirti sistemos parametrus esant skirtingiems sistemos maitinimo režimams ir parašyti tyrimo išvadas.*

Tilinskas, Vytautas, Research on Connection of Distributed Power Generators to Electric Power System. Final Master degree project of *Electric power engineering* / supervisor lekt. dr. Dainius Slušnys; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Power systems.

Fields of Science and region: Electrical Energy Engineering, Technological Sciences

Keywords: *Electricity, power generation, distribution, distributed power generator.*

Kaunas, 2017. 56 psl.

## SUMMARY

*Within increasing quantity of electricity consumption, it is necessary to look for new methods of electricity generation and supply. Due to the rising price of fossil fuels, distributed energy is more and more included in electricity generation. With regard to these trends, it can be anticipated that distributed small powers generators, such as solar wind, biogas, gas turbine should rapidly evolve.*

*Although the influence of such generators connection to the network mode has not been fully explored, but connecting this type power supplies to the load source, we need to carefully assess the system operation off all possible operating conditions and assess these devices economic and technological benefits.*

*In this tests is simulated electricity generation to the company electrical network grid, which is connected to the distribution network system. Most of generated energy is used to satisfy the company load rekwairment, the other part is handed to the local energy load.*

*The aim of this work is to find most economically useful electricity power system designed to generate electrical power to the grid. To investigate the system parameters for different power systems work and writte the conclusion.*

# TURINYS

SANTRUMPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS .....	7
ĮVADAS .....	8
1. PASKIRSTYTOSIOS GALIOS GENERACIJA .....	10
1.1. Paskirstytųjų generatorių privalumai .....	10
1.2. Paskirstytųjų generavimo šaltinių tipai .....	11
1.2.1. Paskirstytųjų generatorių tipai: .....	12
1.3. Paskirstytųjų generatorių įtampos kokybės reikalavimai .....	13
1.3.1. Paskirstytosios galios generatorių generuojamos įtampos reikalavimai .....	13
1.3.2. Reikalavimai sistemos dažniui ir įtampos bei galios balansams.....	14
1.4. EES galios balansas ir sistemos dažnis .....	17
1.4.1. Paskirstytos galios generatorių tipo parinkimas.....	19
2. ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMOS MODELIAVIMAS .....	20
2.1. Apkrovų mazgo galios apskaičiavimas.....	21
2.2. Suvartojamo elektros energijos kiekio apskaičiavimas .....	23
2.3. Sistemos maitinimo šaltinių parinkimas .....	25
2.4. Gamtinių dujų kaina.....	26
2.5. Elektros energijos sąnaudų apskaičiavimas naudojant elektros energiją iš tinklo.....	28
2.6. Projektų atsipirkimo vertinimas .....	30
2.7. Pasirinkto modelio principinės schemos sudarymas.....	34
2.8. Modelio analizė MATLAB SIMULINK programa.....	35
2.8.1. Tinklo ir generatoriaus režimas.....	36
2.8.2. Autonominis režimas .....	42
2.8.3. Tinklo režimas.....	46
3. EKONOMINIS PROJEKTO NAUDINGUMO VERTINIMAS.....	51
IŠVADOS .....	55
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	56

## SANTRUMPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

EES – elektros energetikos sistema,

JEES – jungtinė elektros energetikos sistema

MW – megavatas

Hz – hercas

f – dažnis

$f_v$  – vardinis dažnis

SGD – suskystintų gamtinių dujų terminalas

## IVADAS

Energetinė sistema yra glaudžiai susijusi su ekonominiais, politiniais ir aplinkosaugos klausimais. Elektros energijos kainą yra įtakojama gamybos procesų ir perdavimo išlaidų. Perduodant energiją dideliais atstumais vidutiniškai apie 2 % perduotos elektros energijos pavirsta šiluma. Remiantis 2015 m. atliktais „Elektros energetikos infrastruktūros energijos vartojimo efektyvumo potencialo, ypač susijusio su perdavimu, skirstymu, savomis reikmėmis, gamybos efektyvumu, apkrovos valdymu ir visų šių elementų tarpusavio sąveika, taip pat prijungimu prie energijos gamybos įrenginių, be kita ko, prieigos galimybėmis labai mažos galios energijos generatorių atveju, įvertinimas“ [1] duomenimis, Lietuvoje 2013 m. maždaug 243 GWh energijos buvo prarandama dėl perdavimo tinklo nuostolių.

Kaip vienus iš pagrindinių tai įtakojančių veiksnių, galima įvardinti parinktus per mažus galios koeficientus, nuostolius įrenginių sujungimuose, nusidėvėjusius transformatorius, nekokybiška įrenginių instaliaciją, nusidėvėjusias skirstyklas. Vertinant nuolatos didėjančias sistemų apkrovas, galima numatyti kad didės ir sistemų nuostoliai.

Vienas iš galimų šios problemos sprendimų yra paskirstytos galios generatorių naudojimas. Paskirstytos galios generacija teoriškai nėra tiksliai apibrėžta ar įvardinta. Pagrindiniu paskirstytosios generacijos principu yra laikoma tai, kad greta prijungti apkrovos šaltiniai sunaudotų bent pusę generatorių pagamintos elektros energijos. Nesunaudojama pagaminta energija yra perduodama į tinklą.

Ankstesnių atliktų paskirstytos galios generatorių tyrimų pagrindinė idėja – elektros rinkos liberalizacija, konkurencijos didinimas, nuostolių mažinimas. (Duong Quoc Hung, Student Member, IEEE, and Nadarajah Mithulananthan, Senior Member, IEEE, 2013 m.)[2]. Tačiau norint skatinti paskirstytos galios generatorių plėtrą, visų pirma šie maitinimo šaltiniai turi būti patraukli investicija investuotojams. Todėl ypač svarbu atlikti tokio tipo maitinimo šaltinių ekonominio naudingumo vertinimus.

Šis minimas elektros energijos gamybos ir vartojimo modelis yra patrauklus įmonėms, kurios suvartoja didelius kiekius elektros energijos, nes tinkamai pasirinktas maitinimo šaltinis leidžia sumažinti patiriamas išlaidas ar net gauti papildomą pelną. Elektros energijos sistemai tai sumažina patiriamus galios nuostolius ir didina sistemos patikimumą.



## **Darbo aktualumas**

Darbo aktualumas yra – atlikti technologinį ir ekonominį tyrimą, panaudojant paskirstytosios galios generatorius.

## **Darbo tikslas:**

Išnagrinėti paskirstytos galios generatorių keliamus sistemos reikalavimus, ekonomiškai įvertinti pasirinktas sistemas ir ištirti pasirinktos sistemos darbo parametrus.

## **Darbo uždaviniai:**

1. Išanalizuoti paskirstytosios galios generavimo šaltinių tipus ir jų teikiamą naudą.
2. Išsiaiškinti kokie reikalavimai keliami paskirstytosios galios šaltiniams.
3. Pasirinkti tinkamiausią energijos maitinimo šaltinį, kuris atitiktų paskirstytojo generatoriaus sistemos reikalavimus.
4. Sumodeliuoti sistemos apkrovas.
5. Sumodeliuoti EES su pasirinktu paskirstytos galios maitinimo šaltiniu.
6. Ištirti sumodeliuotos EES parametrus, sistemai veikiant prie skirtingų darbo režimų.
7. Įvertinti sistemos ekonominį naudingumą.

# 1. PASKIRSTYTOSIOS GALIOS GENERACIJA

Didėjantis elektros energijos naudojimas daro didelę įtaką paskirstytųjų generatorių plėtrai ir tobulėjimui. Pagrindinis šių šaltinių apibrėžimas yra tas, kad tokio tipo šaltiniai netenkina tradicinio centralizuoto elektros energijos maitinimo šaltinio sąvokos, todėl šie šaltiniai vadinami paskirstytaisiais. Tačiau riba, kada generatorius laikomas paskirstytuoju, o kada centralizuoto maitinimo generatoriumi, yra diskutuotina ir tiksliai neapibrėžta.

Dažniausiai pagrindiniai apibrėžimai yra pateikiami didžiausių elektros energetikos organizacijų pasaulyje: CIGRE (International Conference on High Voltage Electric Systems), IEA (International Energy Agency), DPCA (Distributed Power Coalition of America), „US Department of Energy“, „Swedish Electric Power Utilities“. Pagal šias organizacijas paskirstytuoju generavimo šaltiniu yra laikomas energijos šaltinis, jei jis yra prijungtas prie pat vartotojų ar apkrovos, skirstomojo arba perdavimo tinklo, arba jei jis yra mažos galios.

Skirtingos Europos sąjungos valstybės paskirstytos galios šaltinius įvardina nevienodai. Tarkime Austrija įvardija juos kaip atsinaujinančius šaltinius iki 1 MW galios, Bulgarijoje priimta paskirstytos galios generavimo šaltiniais laikyti šaltinius, mažesnius už 10 MW generuojamą galią, kuriems centralizuotas valdymas netaikomas, o jie prijungti prie skirstomojo tinklo. Vokietijoje pagal nuostatus paskirstytos galios generatoriais laikoma integruotus arba pavienius energijos šaltinius, prijungtus arti apkrovos, o Švedijoje šaltinius prijungtus tiesiogiai prie apkrovos arba prie skirstomojo tinklo. Pagrindiniai sąvokos ne-apibrėžtumą įtakojantys veiksniai yra šaltinio tipas ir vieta, gamybos pajėgumai arba galia, apkrovų vieta ir šaltinio būseną organizaciniu požiūriu. Pagal šiuos kriterijus yra vertinama ar šaltinis yra paskirstytasis ar ne.

## 1.1. Paskirstytųjų generatorių privalumai

Šaltinių, kurie atitinka paskirstytųjų generatorių apibrėžimą, elektros energijos gamybos procesas yra vadinamas paskirstytąja elektros energijos gamyba. Paskirstytieji energijos šaltiniai turi tenkinti tokias sąlygas:

- Generatorius ar generatoriai prijungti prie skirstomojo tinklo toje pačioje įtampos pakopoje arba vienos įtampos pakopos ribose priklausomai nuo apkrovos prijungimo įtampos pakopos skirstomajame tinkle.
- Generatoriaus ar generatorių galia tokia pati kaip apkrovų (reikiamas galios rezervas pridamas papildomai, priklausomai nuo technologinių sąlygų ir poreikio), jei nėra galimybės prisijungti prie sistemos.
- Generatoriaus ar generatorių galia yra ne daugiau nei dvigubai didesnė už apkrovų (reikiamas galios rezervas gali būti pridėtas papildomai, priklausomai nuo technologinių

sąlygų ir poreikio), jei yra galimybė prisijungti prie sistemos.

- Dalinai ar pilnai padengti skirstomojo tinklo apkrovų elektros energijos poreikius.

Pagal išvardintas paskirstytosios galios generatorių sąlygas, jų privalumais laikoma:

- Paskirstytosios galios generatoriai sumažina perdavimo kaštus, nes yra nenutolę nuo apkrovų;
- Tokie generatoriai padidina elektros energijos tiekimo patikimumą;
- Energijai gaminti galima labiau įtraukti atsinaujinančius šaltinius;
- Paskirstytos galios generatoriai leidžia liberalizuoti elektros energijos gamybos rinką, skatina konkurenciją rinkoje.

## 1.2. Paskirstytųjų generavimo šaltinių tipai

Paskirstytieji elektros energijos šaltiniai skirstomi:

- **Pagal kuro rūšį:** iškastinio kuro elektros energijos generatoriai ir atsinaujinančių šaltinių elektros energijos generatoriai.
- **Pagal tipą:** termofikaciniai generatoriai, kondensaciniai generatoriai, kombinuoto ciklo generatoriai, hidrogenatoriai, dujų turbinų generatoriai, vidaus degimo variklių generatoriai, vėjo generatoriai, saulės energijos generatoriai, kuro elementų generatoriai.
- **Pagal elektros mašinos tipą:** synchroniniai generatoriai, asinchroniniai generatoriai, nuolatinės srovės generatoriai.
- **Pagal elektros energijos gamybos pastovumą:** stochastinio pobūdžio generatoriai, stabilios elektros energijos gamybos generatoriai.
- **Pagal pirminės energijos nešėjo panaudojimą elektrai gaminti generatoriai:** kurių sukimo momentui gauti naudojamas garas; kurių sukimo momentui naudojamas pirminės energijos nešėjas tiesiogiai; kuriuose elektros energijos gamyba vykdoma panaudojant keitiklius.
- **Pagal pirminio energijos nešėjo savybes:** paskirstytieji generatoriai, gebantys sukaupti pirminio energijos nešėjo atsargas pakankamai ilgam laikotarpiui (parai, mėnesiui), paskirstytieji generatoriai, gebantys trumpam laikotarpiui sukaupti pirminio energijos nešėjo atsargas (minutei, valandai), paskirstytieji generatoriai, negalintys sukaupti pirminio energijos nešėjo.
- **Pagal elektros generatorių technolinius ypatumus** generatoriai: su synchroniškai besisukančiu rotoriumi; su asinchroniškai besisukančiu rotoriumi; neturintys besisukančių dalių.

### 1.2.1. Paskirstytųjų generatorių tipai:

Paskirstytieji generatoriai yra įvairių tipų su įvairiomis darbo savybėmis ir charakteristikomis, todėl tokius šaltinius galima suskirstyti pagal naudojamą paskirstytųjų generatorių technologijas:

- **Vidaus degimo variklių generatoriai.** Pasižymi pastovumu ir lengvu valdymu. Kuru gali būti įvairios energijos rūšys - gamtinės dujos, benzinas, dyzelinis kuras, biodyzelinas ir biodujos. Pagrindinis vidaus degimo variklių privalumas yra tai, kad jie gali būti tiek pastoviu tiek laikinu energijos šaltiniu. Dėl savo stabilumo, dažniausiai juose naudojami sinchroniniai generatoriai. Šių generatorių galima įrengti praktiškai bet kurioje vietoje, nepriklausomai nuo jos demografinių ar inžinerinių sąlygų. Juose naudojant biokurą ir gamtines dujas, energijos gamybai, pagaminta elektros energija laikoma ekologiška.
- **Saulės jėgainės.** Kuras – saulės energija, kuri yra atsinaujinantis energijos šaltinis. Šios elektrinės statomos ten kur geriausi saulės energijos gavimo parametrai. Jos priskiriamos paskirstytiesiems elektros energijos generatoriams. Saulės jėgainės prie skirstomojo tinklo gali būti prijungtos tik per keitiklį. Elektrinės gali dirbti integruotos į tinklą be kaupiklių, arba su elektros energijos kaupikliais autonominiu režimu.
- **Dujų turbinos.** Kaip kuras yra naudojamos dujos. Šie generatoriai paprastai yra pastovūs elektros energijos šaltiniai, yra galimybė juos naudoti ir laikiniais elektros energijos šaltiniais. Pagrindinis minusas, kad dirbdami skleidžia didelį triukšmą. Ši turbina gali būti naudojama elektros tinklo darbinių parametrų palaikymui. Paprastai jose elektros energijos generavimui yra naudojamas sinchroninis generatorius.
- **Kuro elementai.** Kuras – vandenilis, jis yra labai brangus. Šie elementai dėl savo pastovumo tinka elektros energijos gamybai, bet jos parametrų palaikymui – ne, nes kuro elementų veikimo procesai gana lėti. Kuro elementų generatorius - nuolatinės srovės šaltinis, todėl prisijungimui prie tinklo yra būtina naudoti inverterius.
- **Mažos galios hidroelektrinės.** Pagrindinis kuras – krentantis-tekantis vanduo, kuris dažniausiai nėra kaupiamas baseinuose, šie generatoriai dirba, tik kai yra vandens. Gamybiniams elektros energijos kiekiams būdingas sezoniškumas, potvynių ir atoslūgių įtaką. Tačiau išpildymas yra gana platus, nes šiose elektrinėse gali būti naudojami tiek sinchroniniai, tiek ir asinchroniniai generatoriai.
- **Mažos galios termofikacinės elektrinės.** Šiose elektrinėse gali būti naudojamas tiek mineralinis kuras, tiek ir biokuras.
- **Vėjo jėgainės.** Jos verčia kinetinę vėjo energiją į elektros energiją. Vėjo generatoriuose gali būti naudojami tiek sinchroniniai, tiek ir asinchroniniai generatoriai. Prie tinklo gali būti jungiamos tiesiogiai arba per lyginimo įrenginius. Vėjo jėgainių trūkumas yra jų statymo

vieta. Jos yra didelės, sukelia šešėliavimo efektą, sparnuotė besisukdama skleidžia triukšmą, todėl elektrinės negali būti statomos arti gyvenamųjų namų. Taip pat reikia iširti statybos vietovėje vėjo efektyvumą, kadangi skirtingose vietovėse jis skiriasi. Vėjo jėgainės nėra laikomos pastoviu elektros energijos šaltiniu, nes vėjo kontroliuoti negalima.

### **1.3. Paskirstytųjų generatorių įtampos kokybės reikalavimai**

Šie reikalavimai turi tenkinami elektros kokybės reikalavimus mažosios generatorių elektrinėms, kuriose elektros matavimo metodai ir prietaisai turi atitikti standarto reikalavimus. [3]

Mažųjų generatorių elektrinėms keliami reikalavimai yra matuojami generatoriaus prijungimo vietose (ant generatoriaus gnybtų). Tai daroma dėl pastovios būklės įtampos kitimo, staigiųjų įtampos pokyčių, įprastinės veikos sukeltų įtampos mirgėjimų, perjungimų sukeltų įtampos mirgėjimų ir harmoninių įtampų bei srovių pokyčio nustatymo.[4]

#### **1.3.1. Paskirstytosios galios generatorių generuojamos įtampos reikalavimai**

Įtampa skirtingose sistemos taškuose tuo pačių laiko momentu skiriasi. Todėl ją reikia matuoti kiekviename apkrovos mazge atskirai – įtampa kitaip dar yra vadinama vietiniu parametru, o dažnis šiuo atveju yra laikomas visos sistemos nekintančiu parametru. Kitaip sakant atliekant dažnio matavimus, nepriklausomai nuo matavimo vietos, gautas rezultatas bet kuriame nagrinėjamame taške bus toks pat. Įtampos kryžius sistemoje nulemia galios srautų migracija, generatorių darbo režimai, tinklo pralaidumo galimybės, reguliavimo įtaisai.

Reikia paminėti ir tai, kad dažniausiai elektros prietaisų darbo parametrus nulemia ne pakitęs sistemos dažnis, bet pakitusi įtampa, todėl labai svarbu užtikrinti šio parametro stabilumą sistemoje.

Europos standartas EN 50160 įpareigoja elektros energijos perdavimo kompanijas užtikrinti, kad vartotojus pasiekusi elektros energija ne mažiau 95 % užtikrintų vardinę sistemos įtampą, kuri nebūtų daugiau kaip 10 % mažesnė ar didesnė įtampos ribose. Laikantis šio parametro normų yra padidinama prijungtų imtuvų tarnavimo laikas, kadangi jie prie tokių įtampos kryžių yra pritaikyti jū projektuojant ir gaminant.

Į įtampos nuokrypius labiausiai reaguoja elektronikos prietaisai. Norint jų išvengti, ar bent jau sumažinti, vartotojams yra rekomenduojama patiems pasirūpinti saugumo priemonėmis. Šios priemonės dažnai naudojamos įvairioms serverinėms ir kompiuterių tinklams.

Taip pat įtampos nuokrypių stebėjimas ir reguliavimas yra ypatingai svarbus tinklams, kadangi per mažos įtampos sistemoje gali įtakoti elektrinių darbo režimų sutrikimus. Elektros energijos skirstymo punktuose SP yra įrengiami specialūs įtampos transformatoriai, kurių tikslas kompensuoti įtampos praradimus sistemoje. [5]

Skirstomajame tinkle montuojami galios transformatoriai pasižymi aukštinimo ir žeminimo

galimybe. Ant jų korpuso yra sumontuojama 5 pakopų reguliatorius, kuris aukština arba žemina įtampą pagal tai kokia įtampa yra gauta linijos galuose. Linijos pradžioje santykinai 5 % padidėjusi įtampa daro mažesnę įtaką vartotojo įrenginiams, negu linijos gale esantis 5 % įtampos pažemėjimas. Kai transformatorių reguliavimo galimybė neišsprendžia problemos dėl įtampos nuokrypio linijos gale, numatomos linijos pralaidumo gerinimas arba statomas naujas transformatorius ir trumpinama linija.

Pagrindiniai įtampos kitimo reikalavimai apibūdina tai, kad prijungiant elektrinę prie skirstomojo tinklo turi būti atlikti tinklo įtampos kitimo skaičiavimai [5], jei reikia pakeičiamas transformatorius iš žeminančiojo į aukštinantįjį. Skirstomojo tinklo įtampos kitimas turi atitikti standarto „Elektros energijos gamintojų ir vartotojų elektros įrenginių prijungimo prie elektros tinklų tvarkos aprašas“ [3] reikalavimus. Jame yra nurodyta, kad elektros energijos tiekėjas vartotojui įsipareigoja tiekti elektros energiją, kuri įvertinant 10 min. trukmės intervalų vidurkius, atitiktų  $U_N \pm 10\%$  per savaitę matuotų 10 min. intervalų 95 % vidurkį.

Lietuvoje yra apribojamas 230 V vardinės įtampos kitimo diapazonas kiekvieno vartotojo prijungimo taške nuo  $U_N + 6\%$  iki  $U_N - 10\%$ . Elektros energijos vartotojo prijungimo taško įtampos kitimas negali viršyti skirstomojo tinklo operatoriaus, tiekiančio elektros energiją, nurodytų ribų.

### 1.3.2. Reikalavimai sistemos dažniui ir įtampos bei galios balansams

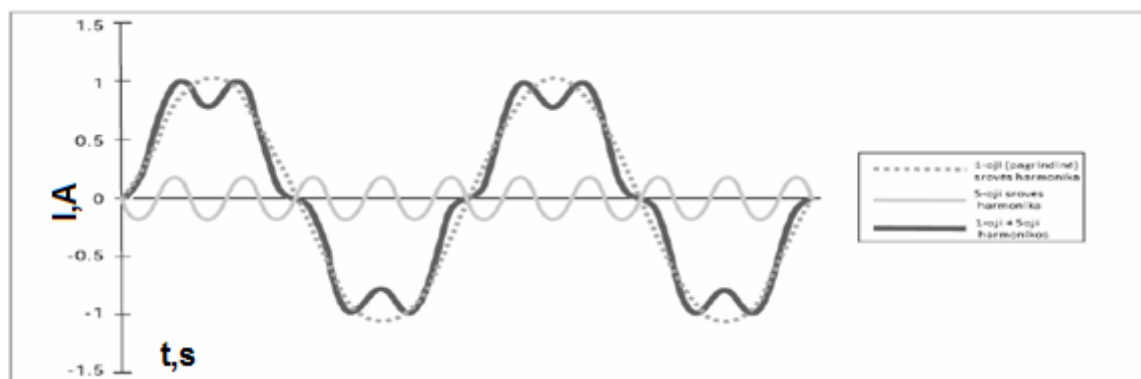
Būtina patikrinti ar mažieji generatoriai atitinka tinklo kokybės ir suderinamumo standartus. Tam kad užtikrinti gerą valdymą ir elektros kokybę, kurie gali būti išbalansuojami dėl nepastovios gamybos (dėl atsinaujinančių išteklių, kurie priklauso nuo klimato sąlygų). Norint užtikrinti patikimą elektros energijos tiekimą, sistema turi turėti reikalingus galios rezervus, tam kad galėtų kompensuoti kitų generatorių nepagamintą elektros energiją atsiradus jos poreikiui.[6]

Sistemos galios balansui labai didelę įtaką turi saulės ir vėjo elektrinės. Vėjo elektrinių skaičius sistemoje privalo būti ribojamas, nes jos generuojama energija yra neprognozuojama. Vėjas atsiranda ir dingsta, kas neleidžia pastoviai generuoti elektros energijos.[7] Todėl kai vėjas dingsta, o elektros energijos suvartojimas lieka toks pat, sistema turi turėti rezervuotos galios, kuri kompensuotų vėjo jėgainių nedarbą. Taip pat tie rezervai turi pasižymėti dideliu jautrumu sistemos paleidimui. Saulės elektrinių pagaminta energiją galima geriau nuspėti, tačiau ji pasižymi dieniniu cikliškumu. Todėl irgi laikoma sunkiai kontroliuojama energijos rūšimi.

Sistemos dažnis pasižymi tuo kad visoje EES yra vienodas. Jo nuokrypis nuo standartizuoto 50 Hz dažnio yra skaičiuojamas sumuojant nuokrypį laike ir lyginant su astronominiu laiku. Žemos įtampos tinkle dažnai pasitaiko papildomos dažnio 1-osios harmonikos kartotinės. Jos atsiranda dėl įvairių dažnio keitiklių, inverterių, elektronikos, kurių naudoja patys vartotojai. Papildomos eilės harmonikos pasižymi tuo, kad sumuojasi su pagrindine harmonika ir ją iškraipo. Todėl tai laikoma nepageidaujamu reiškiniu

EES. Jos gali kartotis tik kas 50 Hz.

Vartotojai yra įpareigoti neleisti šioms harmonikoms patekti atgal į skirstomuosius tinklus, todėl turi statyti harmonikų filtrus tiklo prijunginiuose.



1.6.1 pav. Pagrindinės ir 5-osios eilės harmonikos forma[5]

Norint į EES sistemą integruoti kuo daugiau atsinaujinančios energijos nepastovaus tipo maitinimo šaltinių, rekomenduojama lygiagrečiai pasirūpinti ir atitinkamos galios rezervais.[8] Jiems dėl greito paleidimo būdo tinka pritaikyti hidroelektrinės, hidroakumuliacinės elektrinės, dujų turbinos. Šių įrenginių diegimas sistemoje yra privalomas norint plėsti atsinaujinančios energijos generatorius

Šiuo metu Lietuvoje galima riba gali būti – neviršijant 10 % nuo suvartojamos galios dydžio ar kad vėjo elektrinių bendra elektros energijos gamyba neturi viršyti 10 % energijos balanse.[4]

Visa kita paskirstytųjų generatorių generuojama energija yra laikoma stabilesne ir labiau valdoma. Tačiau pagal šiandieninius energetikos sistemų valdymo principus bei pagal reikalavimus keliamus mažiesiems generuojantiems šaltiniams (kas iš esmės atitinka paskirstytą generaciją), bei atsižvelgiant į mažųjų generatorių elgseną, reikėtų išskirti, kad visa paskirstytoji generacija turi nestabilios ar neprognozuojamos elektros energijos gamybos problemą, nes mažieji generatoriai praktiškai nesiderina su tinklų operatoriais gamybos, remontų laikotarpių (išskyrus elektros tinklo elementus). Planinės gamybos, remontų laikotarpių informacijos surinkimas, apdorojimas pas operatorių pareikalautų papildomų sąnaudų, darbo išteklių lyginant su tradicinių, didesnės galios gamybos šaltinių elektros energijos gamybos derinimu. Tai nulemia, visų mažų generuojančių šaltinių gamyba realiaime laike labai įtakoja į elektros suvartojimo ne balansą ir perdavimo sistemos operatorius realiaime laike, bent jau šiandien, negali išsiaiškinti kokia ne balanso dalis sąlygota mažųjų generatorių, o kokia elektros suvartojimo nukrypimu nuo planuotų dydžių.

Ieškant mažųjų generuojančių šaltinių prijungimo prie elektros tinklų būdo dažniausia stengiamasi prijungti jį prie „artimiausio stulpo“, siekiant mažiausių investicijų. Tačiau, prijungiant generuojantį šaltinį prie elektros tinklo dalies, pavyzdžiui elektros perdavimo linijos, prie kurios prijungti vartotojai, labai apsunkinamas įtampos valdymas tinkle ir pas vartotojus. Visi generuojantys šaltiniai turi būti jungiami ne prie artimiausių elektros perdavimo linijų, o prie atitinkamų pastočių šynų. Kadangi mažieji

generuojantys šaltiniai dažniausiai jungiami prie skirstomojo tinklo, kuris yra radialinis, tai mažųjų generatorių prijungimas prie šynų, o ne prie linijų, prie kurių prijungi yra vartotojai yra vienas iš pagrindinių principų. Prijungiant generuojančius šaltinius prie šynų galima paprasčiau užtikrinti elektros energijos kokybę.

Didesnę nei 10 MW galią turintys elektros energijos generatoriai paprastai yra prijungiami tik prie 110 kV įtampos skirstyklų ir yra valdomi kartu su kitais tinklo generatoriais. Tai yra aiškiai reglamentuota ir nurodyta įstatymų.

Bet didėjantis mažos galios generatorių prijungimas prie sistemos dažnai sukelia papildomus EES valdymo iššūkius. Generatorių savininkai nederina planinių atjungimo grafikų, gali praktiškai bet kuriu metu nutraukti generatorių veikimą, EES tampa daug sunkiau valdyti galios balansus sistemoje.

Kita problema yra susijusi su energetikos sistemos galių ir energijų balanso valdymu. Mažiesiems generuojantiems šaltiniams taip pat nebuvo (ir kol kas nėra) keliami reikalavimai dėl elektros energijos gamybos planavimo bei nėra reikalaujama atsakomybės dėl šių planų vykdymo. Tokiu būdu mažasis generuojantis šaltinis gali kada panorėjęs įsijungi į energetikos sistemą, o kada panori – atsijungti nuo jos. Toks darbo pobūdis įtakoja į energetikos sistemos elektros galių ir energijų balansą, o dispečeriai, valdantys energetikos sistemos balansą mato tik ne balanso dydį, tačiau negali žinoti šio ne balanso priežasčių. Tiksliai nežinodami energetikos sistemos galių ne balanso priežasčių dispečeriai gali priimti neefektyvius sprendimus dėl ne balanso reguliavimo. Atsiradus energetikos sistemos galių ir energijos ne balansui dispečeriai privalo imtis priemonių šiam ne balansui kompensuoti, t. y. turi aktyvuoti rezervus.

Jei energetikos sistemoje būtų tik mažieji generuojantys šaltiniai, nesant reikalavimų dėl informacijos realiaame laike teikimo, dalyvavimo savo gamybos planavime ir planų vykdyme, papildomų paslaugų teikime, energetikos sistemos praktiškai būtų neįmanoma valdyti. Todėl arba mažieji generuojantys šaltiniai turi vykdyti tuos pačius reikalavimus kaip ir didieji generuojantys šaltiniai, arba mažųjų generuojančių šaltinių kiekis turi būti ribojamas energetikos sistemoje.

Būtina visiems generuojantiems šaltiniams privalomai nustatyti reikalavimą dėl informacijos apie elektros energijos gamybą realiaame laike į dispečerinius centrus. Tai leidžia dispečeriniuose centruose tiksliau žinoti elektros energijos gamybą ir suvartojimą realiaame laike, tiksliau galima vertinti elektros energijos suvartojimo kitimą, nukrypimus nuo planuojamų verčių, išsiaiškinti šių nukrypimų priežastis, bei atitinkamai įvertinti priežastis, sukeliančias suvartojimo kitimą. Dėl to, galima kokybiškiau atlikti elektros suvartojimo planavimą tiek dispečeriniuose centruose, tiek ir rinkos dalyviams, privalumas, kad nereikia laikyti didelių galios rezervų, nes valdant energetikos sistemą privaloma turėti reikiamą kiekį rezervų, skirtų didžiausių šaltinių sutrikimo ar atsijungimo rezervavimui, energetikos sistemos balanso valdymui. Pagal šių dienų reikalavimus mažiesiems generuojantiems šaltiniams, pastariesiems nėra privaloma dalyvauti teikiant papildomas paslaugas. Jei mažųjų generuojančių šaltinių kiekis energetikos



sistemoje toliau sparčiai didės, gali neužtekti dirbančių didelių generuojančių šaltinių sisteminių paslaugų teikimui, o mažieji šaltiniai kol kas papildomų paslaugų neteikia. Todėl, jei mažųjų generuojančių šaltinių kiekis energetikos sistemoje viršys tam leistinas ribas, mažieji šaltiniai taip pat privalės vykdyti papildomas funkcijas, kas įtakos papildomas išlaidas.

Taigi, mažieji generuojantys šaltiniai jau dabar privalo įsidięgti generuojamos ir suvartojamos galios matavimo realiame laike įrangą ir gautus duomenis perduoti į atitinkamus dispečerinius centrus. Dėl kitų papildomų reikalavimų – dalyvavimo pirminiame dažnio reguliavime, darbo planavime, atsakant už realaus darbo nuokrypius nuo suplanuotų verčių, dalyvavimo teikiant papildomas paslaugas sistemos operatoriui ir pan., būtina žinoti tolimesnius planus dėl mažųjų generuojančių šaltinių plėtros strategijos.

#### 1.4. EES galios balansas ir sistemos dažnis

EES pasižymi tuo, kad aktyvioji galia turi būti generuojama ir suvartojama vienu ir tuo pačiu metu.[9] Galios generavimo ir suvartojimo neatitikimai sukelia sistemos disbalansą, dėl ko ir sutrinka sistemos dažnis. EES dažnis sumažėja kai sistemoje yra galios trūkumas ir padidėja kai sistemoje atsiranda galios perteklius. Dažnio nukrypimai sistemoje yra mažinami naudojant greito galios rezervo generatorius. EES pasižymi tuo, kad gali lanksčiai keisti generuojamos energijos srautus, taip einamuoju laiku reguliuodama sukeltus dažnio nukrypimus nuo vardinio sistemos dažnio. Dažnis yra vienas pagrindinių elektros energijos kokybės rodiklių sistemoje[10].

Elektros energijos kokybė nusakoma pagamintos ir suvartojamos elektros energijos skirtumui, kuris turi būti lygus 0, esant vardiniam dažniui, t. y.

$$\Sigma P_g - \Sigma P_a = 0; \quad (1)$$

čia  $\Sigma P_g$  – generuojama galia prie nusistovėjusio dažniui;  $\Sigma P_a$  – suvartojama galia prie nusistovėjusio dažnio.

Galios balanso sąlyga (1) yra būtina EES sąlyga nusistovėjusiam sistemos darbo režimui. Bet lygiai taip pat galių balansas gali būti ne tik esant vardiniam dažniui  $f_v$ , bet ir esant bet kuriam pastoviam dažniui  $f$ , t. y.

$$\Sigma P_{gf} - \Sigma P_{af} = 0; \quad (2)$$

čia  $\Sigma P_{gf}$  ir  $\Sigma P_{af}$  – atitinkamai generuojamos ir suvartojamos galios esant dažniui  $f$ .

Generatorių generuojama galia  $\Sigma P_{gf}$  ir imtuvų vartojama galia  $\Sigma P_{af}$  sąlyginai priklauso nuo dažnio  $f$ . Šią priklausomybę galima įvardinti taip, kad atsiradęs galios disbalansas esant dažniui  $f$ , automatiškai

pakeičia sistemos dažnį ir sistemos galios balansai nusistovi esant kitam dažniui  $f_1$ . EES savaiminio reguliavimo savybė garantuoja EES darbo stabilumą. Bet esant dideliame galios disbalansui, savaiminis reguliavimas sutrinka ir yra sukeliama avarinės sistemos reakcija.

Iš to galima daryti išvada, kad elektros energetikos sistemoje dažnį galima laikyti galių balansą atvaizduojančiu parametru. EES režimo reguliavimas pagal dažnį yra nuolatinis rankinis arba automatinis suminės generuojamos galios  $\Sigma P_{gf}$  keitimas tam, kad, kintant suminei apkrovai  $\Sigma P_{af}$ , dažnis  $f$  visą laiką būtų kaip įmanoma artimesnis nominaliam dažniui. Elektros energijos kokybės standartai reikalauja palaikyti elektros srovės dažnį tam tikrose ribose. Šios ribos daugelyje EES gali būti traktuojamos skirtingos.

EES režimo pagal dažnį reguliavimas susideda iš planinių ir neplaninių generatorių generuojamų galių reguliavimo. Planinių generacijų reguliavimas įgyvendinamas tiksliai vykdant visoms elektrinėms numatytus generavimo grafikus. Visoms elektrinėms aktyviosios galios generavimo grafikai sudaromi remiantis vartotojų suminių poreikių grafiko prognoze kiekvienai paros valandai. Tačiau palaikyti absoliučiai tiksliai galių balansą, kartu ir pastovų vardinį dažnį  $f_v$  yra neįmanoma, nes apkrovų EES sistemoje skaičius nėra ribojimas, o už jų valdymą atsakingi skirtingi asmenys. Todėl apkrovos kinta nuolatos, staigiai pasikeitus suminei apkrovai  $\Sigma P_a$ , elektrinės nespėja laiku reikiamai pakeisti generuojamos galios, o tai nulemia disbalanso atsiradimą EES.

Taip pat galios išbalansavimą įtakoja ir nepastovus generatorių generuojamos elektros energijos kiekiai. Generatorių generuojamos energijos kiekius įtakoja nepastovios oro sąlygos, planiniai ir neplaniniai generatorių remonto darbai, nuplanuoti linijų atsijungimai

Įprastu režimu dirbant EES galios srautų prognozės būna tikslios, nukrypimai dažnu atveju nesiekia 2 % nuo suplanuotų dydžių, todėl sistemos dažnio svyravimai yra santykinai labai maži. Siekiant išlaikyti pastovius dažnio parametrus, keičiamas generuojamos energijos kiekis, prisitaikant prie energijos suvartojimo.

Tačiau EES galimybes dažnai riboja linijų pralaidumas. Negalime visada jomis perduoti visos pareikalautos imtuvų galios. Linijų perkrovimas įtakoja jų gedimus ir didesnius perdavimo nuostolius. Paprastai imtuvai energetikos sistemose yra išsidėstę labai netolygiai, todėl neužtenka EES sistemoje apsiriboti vien tik pastovaus dažnio palaikymu. Jos valdymas atsižvelgiant į linijų pralaidumo ribojimus yra laikomas sudėtingu uždaviniu, kas pareikalauja kruopštaus DVS planavimo įgūdžių. Suminis i-ojo rajono galių srautas, tekantis per visas nagrinėjamo rajono išorinių ryšių linijas, vadinamas suminiu tarpsteminio galios srautu t. y.

$$P_{tsi} = \sum_j P_i - j; \quad (3)$$

čia  $P_{tsi}$  – suminis i-ojo rajono galių srautas;  $P_i$  – i-ojo rajono galios srautas;

Tokiu atveju i-ojo energetinio rajono balansas yra užrašomas taip:

$$\Sigma P_{gi} - \Sigma P_{ai} - P_{tsi} = 0; \quad (4)$$

čia  $P_{gi}$  – generuojamas i-ojo rajono galių srautas;  $P_{ai}$  – sunaudojamas i-ojo rajono galių srautas;  $P_{tsi}$  – perduodamas i-ojo rajono galių srautas;

Esant naujam dažniui nusistovi balansas:

$$\Sigma P_{gfi} - \Sigma P_{afi} - P_{tsfi} = 0; \quad (5)$$

čia  $P_{gfi}$  – generuojamas i-ojo rajono galių srautas esant dažniui  $f$ ;  $P_{afi}$  – sunaudojamas i-ojo rajono galių srautas esant dažniui  $f$ ;  $P_{tsfi}$  – perduodamas i-ojo rajono galių srautas esant dažniui  $f$ ;

Apibendrintai galima pasakyti kad visos jungtinės elektros energijos sistemos balansas yra visų energetinių apkrovų rajonų balansų suma, kuri nusistovėjusiomis sąlygomis turėtų būti lygi 0. Dėl sistemos generuojamos ir naudojamos galios skirtumų, atsiranda dažnio nuokrypis, todėl jis laikomas sistemos galios parametru, pagal kurį stengiamasi valdyti ir segti sistemą. Sistemoje atsiradus generuojamos ir sunaudojamos elektros energijos skirtumui, kai  $\Delta P \neq 0$ , dažnis pasikeičia taip, kad esant tam tikram dažniui  $f$ , nusistovi naujas balansas[18]. Šis sistemos bruožas, leidžia lengviau kontroliuoti sistemos parametrus. Visi generatoriai, kurie yra prijungti prie energetinės sistemos, turi prisidėti prie galios ir dažnio reguliavimo sistemoje. Tai yra pagrindinė sąlyga visiems elektros energijos gamintojams.

#### **1.4.1. Paskirstytos galios generatorių tipo parinkimas**

Šiame darbe bus svarstoma du skirtingi galimi, paskirstytosios galios generatoriaus sąvoką atitinkantys, dujų turbinos maitinimo šaltiniai. Darbe pasirinkta analizuoti šio tipo generatorius dėl to, kad jie laikomi stabiliais maitinimo šaltiniais, galinčiais užtikrinti patikimą ir kokybišką energijos generavimo režimą, o dėl to yra lengviau prognozuoti pagaminamos elektros energijos kiekius ir planuoti darbo režimus. Taip pat jos iš kitų nedidelės galios generatorių išsiskiria tuo, kad gali generuoti ir reaktyviają galią.

Šių generatorių naudojama gamtinių dujų žaliavos kaina, išanalizavus pastarųjų metų kainos kitimą, tampa vis patrauklesnė elektros energijos generavimui.[11] Tam didelę įtaką turėjo SGD valstybinės reikšmės objekto įgyvendinimas, kadangi tai leido labiau liberalizuoti dujų rinką ir padidinti

dujų tiekėjų konkurenciją Lietuvoje.

Turbina yra svarbiausias mechanizmas dujų elektrinėje gaminant elektros energiją. Jų veikimo principas yra pagrįstas besiplečiančio karšto oro sukuriamu sukimo momentu, kitaip galima įvardinti kaip traukos arba stūmos jėga. Dujų turbinos konstrukcija paprastai yra sudaryta iš kompresoriaus, dujų degimo kameros, turbinos, reduktoriaus ir generatoriaus. Kompresoriuje yra dirbtinai suspaudžiamas oras, kuris tiekiamas į degimo kameros norint joje gauti degimo produktą. Degimo kamera naudojama kuro deginimui, kurioje degimo produktai virsta šiluma kuri plečiasi ir suka dujų turbiną. Reduktorius perduoda mechaninę energiją į generatoriaus rotorių, kuris generuoja elektros energiją. Toks elektrinės darbo veikimo principas yra įvardinamas „Džaulio-Braitono“ ciklu.

Mažos galios dujų turbinos sparčiai tobulėja, nes jų paklausa didėja. Jos gali generuoti į EES nuo 1 iki 100 MW elektros energijos galingumus. Šių technologijų populiarėjimas turi įtakos jų technologiniam tobulėjimui, kadangi keičiasi dujų turbinų galimybės, parametrai, galingumai. Jos gali būti ir labai mažos galios. Tokios galios turbinos vadinamos mikroturbinos, kurių galia gali būti nuo 50 kW. Tai leidžia jas vis plačiau jas naudoti paskirstytosios energijos gamybai.

Pagal dujų turbinų galingumus, jose šilumos gamybos ir elektros energijos generavimo santykis gali svyruoti nuo 1,5:1 iki 3:1, priklausomai nuo dujų turbinos tipo ir įrenginių. Šių elektrinių efektyvumas dažniausiai didėja, didėjant elektrinių generuojamai galiai. Paprastai šių elektrinių elektros energijos gamybos efektyvumas būna nuo 20 % iki 35 %, tačiau naudojant jas kartu ir elektros energijos gamybai galima išgauti iki 80 % naudingumą. Dažniausiai yra naudojamos gamtinės dujas deginančios dujų turbinos, tačiau jos taip pat gali naudoti išvalytas biodujas, natūraliai žemėje susidarančias dujas, biodujas. Tobulėjant technologijoms, turbinos vis dažniau yra pritaikomos kelioms skirtingoms kuro rūšims. Tai leidžia turbinai būti universaliai, ir nuo naudojamo gamtinio kuro pasikeitus situacijai rinkoje, pereiti prie biomasės dujų degalų ar kito tipo žaliavos.

Dujų turbinos elektrinės išsiskiria tuo, kad yra labai lengvai sumontuojama, ypač lyginant su garo turbinos tipo elektrinėmis. Taip pat atsiradusi jų pasiūla rinkoje pastaraisiais metais atpigino šių sistemų kainą. Jos tapo labiau patikimesnės, ilgesnio veikimo laiko, dėl to sparčiai populiarėja visame pasaulyje.

## **2. ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMOS MODELIAVIMAS**

Elektros įrenginių apkrovas sudaro skirtingi imtuvai, kurie dirba bendrame tinkle. Kadangi sistema yra sudaryta iš daug skirtingų įrenginių, kurie vartoja elektros energiją, elektros energijos apkrovų grafikai nuolat kinta - yra dinamiški. Elektros energijos generacija pasižymi tuo, kad tuo pačiu metu pagaminta energija turi būti ir suvartojama, arba kaupiama įvairiuose talpyklose. Nuolatiniai besikeičiantys imtuvų režimo pasikeitimai sukelia tinklo parametrų nestabilumą.[12] Tinkamai suprojektuota sistema atsiradusius trikdžius sugeba slopinti, tam kad tinklo parametrai atitiktų jo

keliams reikalavimus. Norint šiuos sistemos kitimus tinkamai įvertinti, reikia atlikti sistemos bandymus ir stebėti sistemos darbo režimų parametrus.

Tinkamas apkrovų prognozavimas ir sistemos parinkimas yra svarbiausi elementai, siekiant instaliuoti patikimą ir ilgaamžį elektros energijos generavimo įrenginį sistemoje.

## 2.1. Apkrovų mazgo galios apskaičiavimas

Modeliuojant ir parenkant naujus generavimo šaltinius, skirtus elektros energijos gamybai, yra labai svarbu tinkamai įvertinti veikiančius sistemos įrenginius. Tinkamas apkrovų įvertinimas yra privalomas norint nusistatyti sistemos galios reikalavimus. Šiame darbe, atliekant tolimesnius skaičiavimus yra daroma prielaida, kad sistemos apkrovos ir jų parametrai atitinka pateikiamus „Elektros imtuvų suminės skaičiuojamosios apkrovos“ lentelėje duomenis. Pagal šiuos duomenis yra apskaičiuojami (6-12) formulių duomenys, kurie tolimesnėje darbo eigoje yra naudojami modeliuojant sistemą ir ją tiriant.

2.1.1 lentelė. Elektros imtuvų suminės skaičiuojamosios apkrovos

Nr.	Patalpa	P <sub>n</sub> , kW	K <sub>pa</sub>	cosφ	tgφ	Skaičiuojamos apkrovos	
						P <sub>nsk</sub> , kW	Q <sub>nsk</sub> , kVar
1	Ofisas 1	10	0,2	0,8	0,2	2	0,4
2	Ofisas 1	10	0,2	0,8	0,2	2	0,4
3	Sandėlis	20	0,15	0,7	0,2	3	0,6
4	Cechas 1	95	0,6	0,85	0,4	57	22,8
5	Cechas 2	90	0,6	0,85	0,4	54	21,6
6	Cechas 3	90	0,6	0,85	0,4	54	21,6
7	Cechas 4	90	0,6	0,85	0,4	54	21,6
8	Serverinė	3	0,8	0,76	0,2	2,4	0,48
9	Kontrolės patikros	12	0,8	0,9	0,3	9,6	2,88
10	Laboratorija	20	0,35	0,9	0,3	7	2,1
11	Džiovykla	20	0,2	0,83	0,3	4	1,2
12	Skalbykla	20	0,4	0,83	0,3	8	2,4
13	Mokymų salė	6	0,1	0,9	0,2	0,6	0,12
<b>Bendra instaliuota aktyvioji galia PΣ, kW</b>							<b>486</b>
<b>Vartotojų grupės maksimumo koeficientas K<sub>max</sub></b>							<b>1,36</b>
<b>Skaičiuojamoji aktyvioji galia PΣ<sub>sk</sub>, kW</b>							<b>350,65</b>
<b>Skaičiuojamoji reaktyvioji galia QΣ<sub>sk</sub>, kVar</b>							<b>133,53</b>
<b>Skaičiuojamoji pilnutinė galia SΣ<sub>sk</sub>, kVA</b>							<b>375,21</b>
<b>Skaičiuojamoji srovė I<sub>sk</sub>, A</b>							<b>542,2</b>

Bendra instaliuojama aktyvioji galia nustatoma pagal formulę:

$$P_{\Sigma} = \sum P_n = 486 \text{ kW} \quad (6)$$

$P_n$  – suminė patalpos imtuvų galia;

Imtuvų aktyvioji skaičiuojamoji galia nustatoma pagal formulę:

$$P_{nsk} = K_{pa} \cdot P_n \quad (7)$$

$K_{pa}$  – paklausos koeficientas, randamas iš žinynų kaip pastovus dydis [2].

Bendra įmonės skaičiuojamoji galia nustatoma pagal formulę:

$$P_{\Sigma sk} = \sum P_{nsk} \cdot K_{max} = 350,65 \text{ kW} \quad (8)$$

$K_{max}$  – maksimumo koeficientas. Laikoma, kad  $K_{max} = 1,36$

Reaktyvioji skaičiuojamoji galia:

$$Q_{nsk} = P_{nsk} \cdot tg\varphi \quad (9)$$

$tg\varphi$  – reaktyviosios galios koeficientas;

Bendra skaičiuojamoji reaktyvioji galia nustatoma pagal formulę:

$$Q_{\Sigma sk} = \sum Q_{nsk} \cdot K_{max} = 133,53 \text{ kVar} \quad (10)$$

Bendra pilnutinė skaičiuojamoji galia nustatoma pagal formulę:

$$S_{\Sigma sk} = \sqrt{((P_{\Sigma sk})^2 + (Q_{\Sigma sk})^2)} = 375,21 \text{ kVA} \quad (11)$$

Skaičiuojamoji srovė:

$$I_{sk} = S_{\Sigma sk} / (\sqrt{3} \cdot U_N) = 542,2 \text{ A} \quad (12)$$

$U_N$  – nominali sistemos įtampa pagal galiojančius elektros energijos reikalavimus trifazėje sistemoje yra 400 V, dvifazėje sistemoje 230 V (400V/230V)

## 2.2. Suvartojamo elektros energijos kiekio apskaičiavimas

Norint tinkamai pagrįsti ekonominį projekto naudingumą, reikia įvertinti sunaudojamos energijos kiekius. Žinant kiek energijos sunaudos skaičiuojamosios apkrovos, galima įvertinti kiek perteklinės elektros liks ir kaip ją tinkamai panaudoti. 2.2.1 lentelėje yra pateikiami numatomi sunaudojamos elektros energijos kiekiai pagal įmonėje esančių patalpų tipus. Duomenys parinkti atsižvelgiant į instaliuotą patalpos galingumą, panaudos koeficientus ir patalpos tipą.

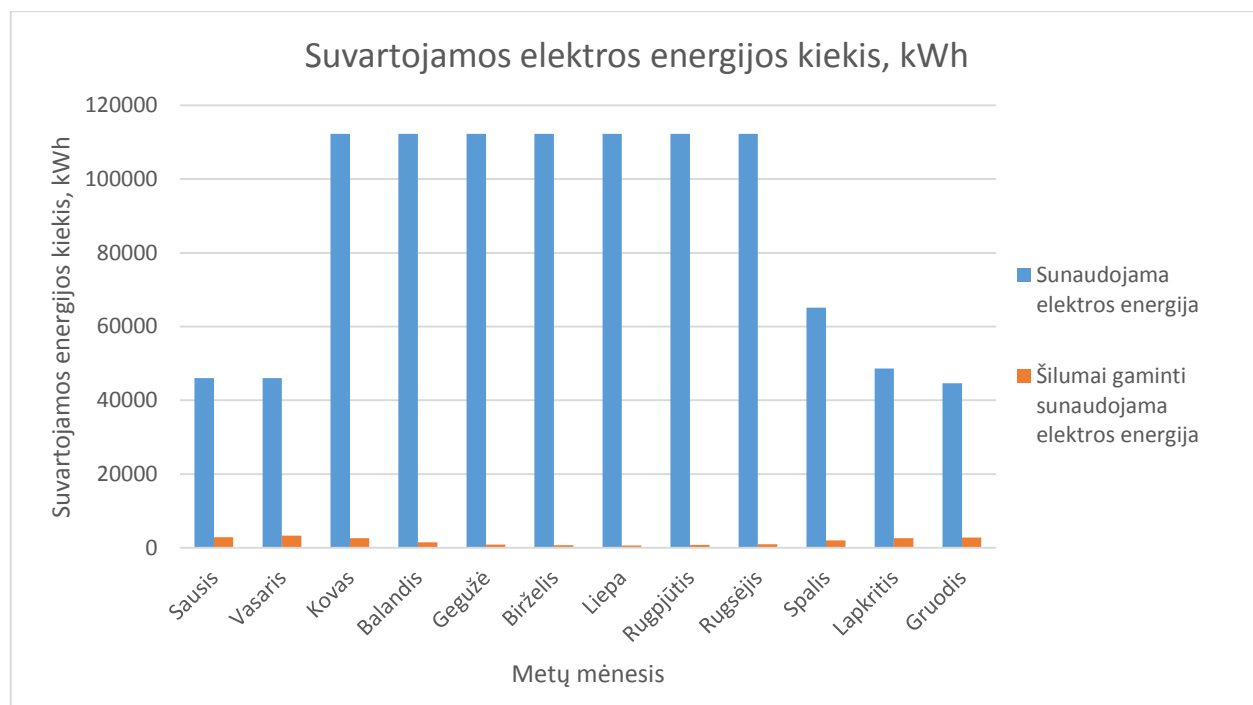
2.2.1 lentelė. Įmonėje numatomų patalpų ir jose sunaudojamos elektros energijos kiekis.

<b>Patalpos tipas</b>	<b>Patalpos plotas, m<sup>2</sup></b>	<b>Vidutinis sunaudojamos energijos kiekis per metus, kWh</b>	<b>Vidutinis sunaudojamos energijos vandens šildymui, kWh</b>
Ofisas 1	315	4500	2835
Ofisas 1	275	3750	2200
Sandėlis	1000	18500	2550
Cechas 1	400	250000	3000
Cechas 2	400	250000	3000
Cechas 3	400	250000	3000
Cechas 4	400	250000	3000
Serverinė	10	50	60
Kontrolės patikros	20	400	330
Laboratorija	45	1550	360
Džiovykla	20	3500	330
Skalbykla	20	3500	330
Mokymų salė	50	150	600
<b>Suma</b>	<b>3355</b>	<b>1035900</b>	<b>21595</b>

Dėl skirtingos patalpų paskirties, skiriasi suvartojamos elektros energijos kiekis. 2.2.2 lentelėje yra pateikiamas suvartojamos energijos kiekis skirtingais metų mėnesiais. Iš skirtingose patalpose sunaudojamos elektros energijos kiekių lentelės galima spręsti, kad didžiausi kiekiai yra sunaudojami gamybos cechuose. Bendras per metus sunaudojamos elektros energijos kiekis technologiniams procesams yra 1035900 kWh, o šiluminiams procesams tenkantis bendras elektros energijos kiekis per metus yra 21595 kWh. Įvertinus šiluminius ir elektrinius energijos poreikius, per metus nagrinėjamame apkrovos taške bendrai yra sunaudojama 1057,495 MWh elektros energijos.

2.2.2 lentelē. Numatāmas elektros enerģijas sunaudojums skirtingais mēnesiais.

Metų mėnesis	Sunaudojamos enerģijas kiekis per mėnesį, kWh	Sunaudojamos enerģijas kiekis vandens šildymui, kWh
Sausis	46006	2900
Vasaris	46006	3300
Kovas	112223	2600
Balandis	112223	1500
Gegužė	112223	850
Birželis	112223	700
Liepa	112223	650
Rugpjūtis	112223	750
Rugsėjis	112223	945
Spalis	65088	2000
Lapkritis	48646	2600
Gruodis	44593	2800
<b>Suma</b>	<b>1035900</b>	<b>21595</b>



2.2.1 pav. Suvartojamos įmonės elektros enerģijos kiekis skirtingais mėnesiais.

3 lentelėje pateikiama suvartojamos enerģijos kiekis skirtingais metų mėnesiais atspindi, kad įmonei yra būdingas sezoniškas nepastovumas. Sunaudojamos enerģijos kiekiai, kurie atspindi gamybos



apimtis, labai padidėja imtinai nuo Kovo mėnesio ir pradeda mažėti Spalio mėnesį. Skirtingų mėnesių sunaudojama elektros energijos norma yra reikalinga norint palyginti elektros energijos poreikių ir prognozuojamos gamybos rodiklius. Vertinti ir priimti sprendimus kur realizuoti perteklinę elektros energiją. Atsižvelgiant į sunaudojamos elektros energijos kiekius, yra parenkamas paskirstytos galios generatorius, kuris gamins elektros energiją tiriamam apkrovos mazgui.

Iš sudaryto grafiko matyti, kad analizuojamajai apkrovai yra būdingas nepastovus mėnesinis apkrautumas. Daugiausiai elektros energijos yra sunaudojama Kovo - Rugsėjo mėnesiais. Dėl nepastovios mėnesinės apkrovos yra atmetame perteklinės elektros energijos pardavimo, elektros energijos rinkoje galimybė, kadangi sistemai bus labai sunku tiekti įsipareigotus stabilius elektros energijos kiekius vartotojams.

### 2.3. Sistemos maitinimo šaltinių parinkimas

Šalyje taikomi energijos standartai ir apskaičiuotos sistemos apkrovos yra pagrindiniai kriterijai renkantis vietinį maitinimo šaltinį apkrovos mazgams. Šiuo atveju apskaičiuota maksimali pilnutinė galia sistemoje  $S_{\Sigma sk}=375,21$  kVA, todėl norint užtikrinti visų numatomos sistemos agregatų veikimą reikia kad pasirinktas sistemos maitinimo šaltinis tenkintų galios sąlygą  $P \geq 375,21 * 15\% = 431,49$  kVA. Perteklinę pagamintą energiją numatoma perduoti į tinklą už „garantinį“ elektros energijos supirkimo tarifą.[15] Parenkami įrenginiai turi atitikti Lietuvoje taikomus elektros energijos įrenginiu ir energijos generavimo reikalavimus.[16]

Pagal įmonės sunaudojamos galios parametrus iš katalogo parenkamas dujų turbinos modelis HONNY „POWER HGGM500“. (Toliau darbe vadinamas „1 pasirinkimas“)

Pagrindiniai šio modelio parametrai:

- Nominali galia  $P_n=500/400$  kVA/kW;
- Nominalus kuro sunaudojimas 0,45 MWh/h ;
- Turbinos sukimosi greitis 1500 rpm;
- Išėjimo įtampa  $U_n=400/230$  V;
- Darbinis dažnis 50 Hz;
- Kuro rūšis-gamtinės dujos;

Šios dujų turbinos kaina 120000 €. Montavimo išlaidos laikoma sudaro iki 15 % įrenginio vertės. Šiuo konkrečiu atveju apskaičiuavus jos bus 18000 €. Įvertinus visas išlaidas, įrenginio įsigijimo ir įrengimo darbai kainuos 138000 €.

2 vnt. dujų turbinos „Lvhuan LHNG300”. (Toliau darbe vadinamas “2 pasirinkimas”)

Pagrindiniai šio modelio parametrai:

- Nominali galia  $P_n=300/240$  kVA/kW;
- Nominalus kuro sunaudojimas 0,24 MWh/h;
- Turbinos sukimosi greitis 1500 rpm;
- Išėjimo įtampa  $U_n=400/230$  V;
- Išėjimo dažnis 50Hz;
- Kuro rūšis gamtinės dujos.

Šios dujų turbinos kaina 52000 €. Kadangi projektuojama sistema numatoma su galimybe dirbti autonominiu režimu, reikia parinkti du šiuos įrenginius. Apskaičiuotos montavimo išlaidos 7800 €. Bendra šios sistemos įrengimo kaina, į kurią yra įskaičiuota dviejų turbinų įsigijimas ir įrengimas, kainuoja 119600 €.

Įvertinus abiejų potencialių sprendimų duomenis, jie suvedami 5 lentelėje.

2.3.1 lentelė. 1 ir 2 galimų pasirinkimų palyginimas

Pasirinkimas	Išėjimo įtampa $U, V$	Sistemos galia $S_N,$ kVA/k W	Suvartojama s gamtinių dujų kiekis, MWh/h	Sistemos kaina p, €	Per metus sunaudojama s gamtinių dujų kiekis, MWh	Sistemos dažnis f, Hz	Darbo laikas per metus T, h
1	400/ 230	500/ 400	0,45	138000	2925	50	6500
2	400/ 230	600/ 480	0,48	119600	3120	50	6500

\*\*Darbo laikas per metus T, h parenkamas įvertinus darbo dienų skaičių, planuojamus įrenginių aptarnavimo ir remonto ciklus.

## 2.4. Gamtinių dujų kaina

Gamtinių dujų kainos dedamosios elektros energijos gamintojams yra nustatytos valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos. Jos yra apibrėžtos valstybės nutarime dėl paskirtojo tiekėjo prognozuojamos gamtinių dujų įsigijimo kainos energijos gamintojams nustatyti.[13] Verslo klientai yra

skirstomi pagal suvartojamą dujų kiekį. Nuo sunaudojamo dujų kiekio priklauso dujų kainos dedamosios. 2.4.1 lentelėje yra pateikiama dujų skirstymo kainos.

2.4.1 lentelė. Dujų skirstymo kainų lentelė pagal suvartojamą gamtinių dujų kiekį

Skirstymo kainos grupė	Per metus į gamtinių dujų pristatymo vietą konkrečiam vartotojui skirstomas gamtinių dujų kiekis (Q)	Kaina už skirstomą dujų kiekį €/MWh
1	iki 5200 kWh ( $Q \leq 5200$ kWh)	28,59
2	nuo 5200 kWh iki 207980 kWh ( $5200$ kWh $< Q \leq 207980$ kWh)	8,21
3	nuo 207980 kWh iki 1040 MWh ( $207980$ kWh $< Q \leq 1040$ MWh)	7,17
4	nuo 1040 MWh iki 10399 MWh ( $1040$ MWh $< Q \leq 10399$ MWh)	6,47
5	nuo 10399 MWh iki 51995 MWh ( $10399$ MWh $< Q \leq 51995$ MWh)	5,47
6	nuo 51995 MWh iki 155985 MWh ( $51995$ MWh $< Q \leq 155985$ MWh)	3,89
7	daugiau kaip 155985 MWh ( $Q > 155985$ MWh)	2,46

Dujų biržos duomenimis, 2017 m. Sausio mėn. vidutinė parduodamų dujų kaina buvo 18,04 €/MWh. [14] Šiuos apibendrintus dujų kainų duomenis galima matyti 7 lentelėje.

2.4.2 lentelė. Dujų biržoje parduotų dujų sandorių 2017 m. Sausio mėn. ataskaita

Sutarties data	Parduotas kiekis, MWh	Vidutinė kaina, €/MWh
2017-01-11	345	18,43
2017-01-12	438	18,48
2017-01-13	466	18,52
2017-01-14	150	16,95
2017-01-15	220	16,9
2017-01-16	500	18,3
2017-01-17	750	18,7

Žinant dujų kainą, galima įvertinti kiek kainuos projektuojamos sistemos išlaidos žaliavoms, laikant kad žaliavų kainos nesikeis, nes ilguoju laikotarpiu kaina gali kilti arba kristi. Pagal abu galimus sprendimus (1 ir 2 pasirinkimai) sistemos maitinimui, sunaudojamas dujų kiekis atitinka 4 skirstymo kainos grupę. T.y. už 1 MWh dujų perdavimą reikės mokėti 6,47 €. Pagal antrą dedamąją įvertinama pačių dujų kaina rinkoje. Šiuo metu laikoma kad ji nusistovėjusi ir yra 18,04 €/MWh. Sudėjus abi kainos dedamąsias, gauname kad 1 MWh skaičiuojamoji dujų kaina yra 24,51 €. 1 MWh dujų užima 1000 kWh arba 94,79 m<sup>3</sup> tūrį.

2.4.3 lentelė. Gaminamos elektros energijos išlaidos žaliavai, naudojant paskirstytos galios dujų turbinų generatorius.

<b>Pasirinkimas</b>	<b>Dujų kaina už 1 MWh, €</b>	<b>Reikalingas dujų kiekis, MWh</b>	<b>Išlaidos žaliavai, €</b>
1	24,51	2925	71691,75
2	24,51	3120	76471,20

Vertinant abu nagrinėjamus galimus pasirinkimus, pirmuoju atveju žaliavos vieniems metams kainuos mažiau. Todėl šiuo atžvilgiu šis variantas yra priimtinesnis.

## **2.5. Elektros energijos sąnaudų apskaičiavimas naudojant elektros energiją iš tinklo**

Elektros energijos perdavimas EES susideda iš to, kad pagaminta elektros energija nuo gamintojo generatoriaus gnybtų yra perduodama į perdavimo ir skirstymo tinklus, iš kurių vartotojo imtuvus pasiekia elektros energija. Todėl norint įvertinti elektros energijos kainą, reikia įvertinti visas šias jos kainą įtakančias sąlygas.

Šiuo metu valstybė kontroliuoja tik skirstymo ir perdavimo tinklų apmokestinimą. Atsiradus elektros rinkai, pagamintą elektros energiją galima pirkti iš skirtingų jos gamintojų už skirtingas įsigijimo kainas, skirtingais mokėjimo būdais. Tai leidžia keisti verslo atstovų požiūrį ir poreikius elektros energijos sistemoje. Sukuria papildomas verslo plėtros galimybes.

Galutinės elektros energijos kainos vartotojams nustatymas apibendrintu atveju susideda iš kelių komponentų:

- Elektros kainos,
- Sistemos operatoriaus paslaugos kainos,
- Valstybinės kainos ir energetikos komisijos nustatytas mokestis.

Už naudojamą sistemą ir valstybinės kainų komisijos nustatytus mokesčius sumokame per akcinę bendrovę „AB ESO“.

Juridiniai asmenys pagal galią skiriami į dvi grupes[17] :

2.5.1 lentelė. Juridinių klientų skirstymas

<b>Antros grupės klientai</b>	<b>Trečios grupės klientai</b>
Galia iki 30 kW	Galia virš 30 kW

Elektros energijos kaina juridiniams asmenims susideda iš patikimumo kategorijos dedamosios mokesčio, persiuntimo tarifo, galios dedamosios ir elektros kainos gamintojams rinkoje:

2.5.2 lentelė. Patikimumo kategorijos dedamoji

<b>Patikimumo kategorija</b>	<b>Patikimumo kategorijos dedamosios</b>	
	<b>Žemoji įtampa</b>	<b>Vidutinė įtampa</b>
	<b>Kaina €/kW/mėn.</b>	
1	0,86	0,42
2	0,43	0,21

2.5.3 lentelė. Galios ir laiko zonos dedamosios

<b>Tarifai ir jų dedamosios</b>	<b>Mato vnt.</b>	<b>Tarifų planai</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Vienos laiko zonos tarifai</b>				
<b>Galios dedamoji</b>	€/kW/mėn.	0,6	1,6	2,85
<b>Vienos laiko zonos energijos dedamoji</b>	€/kWh	0,032	0,019	0,011

- Numatoma naudotis 2 plano paketu.
- “Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos 2015-12-23 nutarimu Nr. O3-687” nustatyta viešuosius interesus atitinkančių paslaugų kaina 2017 metams yra 1,577 ct/kWh be PVM. Tai vadinamasis tinklo mokesčio tarifas.
- AB Litgrid duomenimis, 2016m. Gruodžio mėn. vidutinės elektros energijos kaina buvo 31,8 €/MWh

Žinant visas elektros energijos dedamąsias ir kiek sunaudojama elektros energijos, galima apskaičiuoti vidutinę elektros energijos kainą, ir suskaičiuoti kiek per metus yra išleidžiama pinigų elektros energijai. Tai daroma 2.5.4 lentelėje. Vertinama leistinoji naudoti galia iš tinklo yra 350,6 kW.

2.5.4 lentelė. Elektros energijos kaina įmonei

<b>Kainos dedamoji</b>	<b>Kaina, €/kW/mėn.</b>	<b>Kaina, €/kWh</b>
<b>Patikimumo kategorijos dedamoji</b>	0,43	-
<b>Galios dedamoji</b>	1,6	-
<b>Vienos laiko zonos energijos dedamoji</b>	-	0,019
<b>Tinklo mokesčio tarifas</b>	-	0,01577
<b>Elektros kaina iš nepriklausomo tiekėjo</b>	-	0,0318
<b>Pastoviai mokamas mokestis už galią ir patikimumą, €/mėn.</b>	822,15	-
<b>Kintantis mokestis už 1kWh/€</b>	-	0,0665

Įvertinus įmonės patiriamas išlaidas elektros energijai, sudaroma 2.5.5 lentelė:

2.5.5 lentelė. Metinė įmonės elektros energijos įsigijimo išlaidų norma.

<b>Suvartojamas elektros energijos kiekis per metus, kWh</b>	<b>Kintantis mokestis už 1kWh/€</b>	<b>Pastoviai mokamas mokestis už galią ir patikimumą, €/mėn.</b>	<b>Metinė išlaidų norma, €</b>	<b>Vidutinė 1 kWh kaina</b>
1057495	0,0665	822,15	80189,22	0,076

Taigi norint įsigyti 1057495 kWh reikalingos elektros energijos, metams ji kainuos 80189,22 €

## 2.6. Projektų atsipirkimo vertinimas

- **1 pasirinkimu įdiegta dujų turbina per metus pagamintų:**

Skaičiuojama tik aktyvioji galia, vertinant tai, kad reaktyvioji galia yra generuojama ir sunaudojama to paties vartotojo.

400kW\*6500=2600000 kWh elektros energijos,

Sistemoje susidarančių perdavimo nuostolių detaliam nevertinama, laikoma kad jie bus 1,5 % nuo pagamintos elektros energijos kiekio, kas sudaro 39000 kWh

Pagamintas elektros energijos kiekis yra sunaudojamas įmonės reikmėms, o perteklius parduodamas į tinklą. Perteklius yra pagamintos ir sunaudotos elektros energijos skirtumas: 2600000-1057495-39000=1503505 kWh. Valstybinė kainų ir energetikos komisija yra nustačiusi perteklinės pagamintos elektros energijos iš nedidesnės nei 1300kW galios elektros energijos gamintojų garantuoto supirkimo tarimą 0,026 €/kWh.[15]

Žinant “garantinio” supirkimo kainą ir perteklinės energijos kiekius, galima suskaičiuoti numatomas pajamas už perteklinę pagamintą elektros energiją perduotą į tinklą:

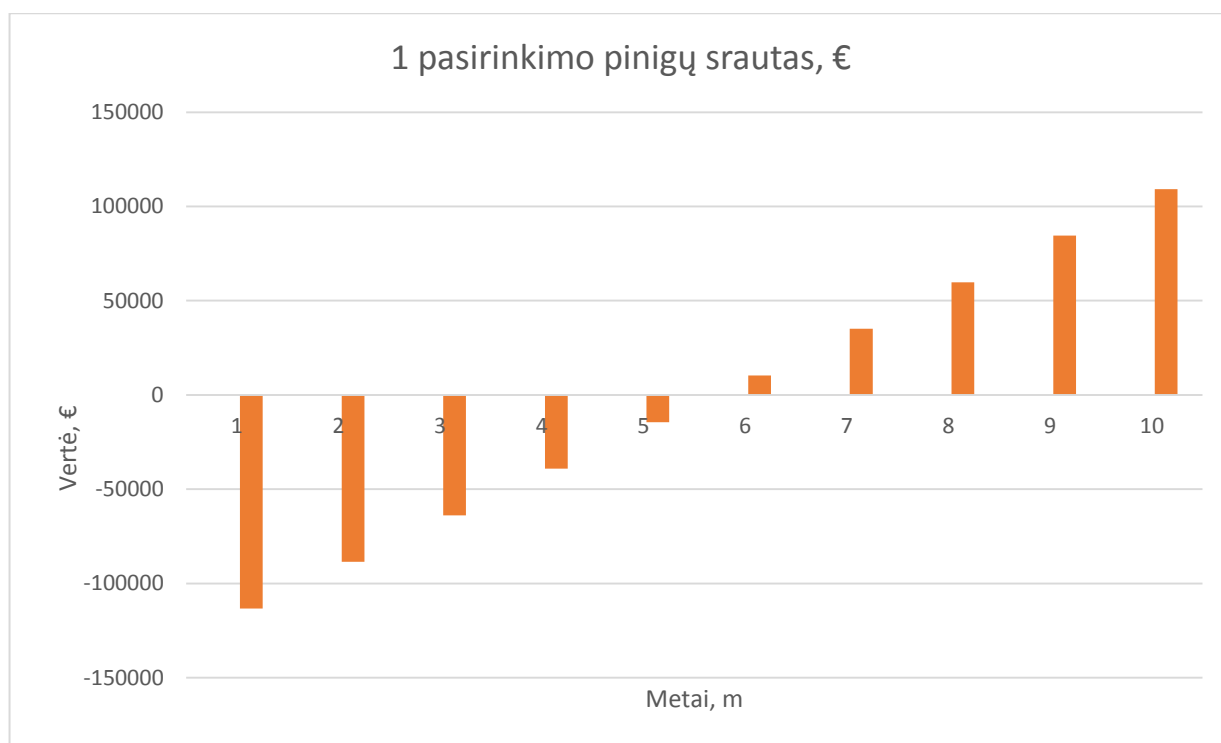
$$1503505 * 0,026 = 39091,13 \text{ €}.$$

Dujų turbinų eksploatavimo sąnaudos sudaro 0,005 €/kWh. Įvertinus eksplotavimo išlaidas, per metus išlaidos susidarančios už dujų turbinos eksploatavimą bus 13000 €.

Norint išanalizuoti “1 pasirinkimą”, sudaroma atsiperkamumo lentelė 2.6.1. Investicijų sumą sudaro įrenginių įrengimo ir įsigijimo lėšos, taip pat sistemai reikalingos žaliavų ir eksploatavimo išlaidos einamaisiais metais. Pajamos įvertinamos apskaičiavus perteklinę elektros energiją parduodamą į tinklą. Sutaupymas atsiranda dėl to kad, nebereikia pirkti elektros energijos iš tinklo. Lieka mokestis už rezervuotą tinklo galią, kas papildomai užtikrins patikimesnę elektros energijos tiekimą, nes bus galima naudoti kelis skirtingus galios maitinimo šaltinius esant poreikiui.

2.6.1 lentelė. 1 pasirinkimo investicijų veiklos pinigų srautai

Metai	Įrengimo ir eksploatacinės išlaidos, €	Pajamos, €	Sutaupymas dėl energijos gamybos savo reikmėms, €	Pinigų srautai, €
1	222692	39091,13	70323,4	-113277,47
2	84691,8	39091,13	70323,4	-88554,74
3	84691,8	39091,13	70323,4	-63832,01
4	84691,8	39091,13	70323,4	-39109,28
5	84691,8	39091,13	70323,4	-14386,55
6	84691,8	39091,13	70323,4	10336,18
7	84691,8	39091,13	70323,4	35058,91
8	84691,8	39091,13	70323,4	59781,64
9	84691,8	39091,13	70323,4	84504,37
10	84691,8	39091,13	70323,4	109227,1



2.6.1 pav. 1 pasirinkimo projekto pinigų srautas

Iš pinigų srauto lentelės ir grafiko, įvertinant 10 metų darbo ciklą pagal pirmą pasirinkimą matyti, kad įmonei pačiai gaminant elektros energiją savo reikmėms, o perteklinę elektros energiją parduodant į tinklą, įsidiegus šia sistemą gauna 109227,1 € projekto likutinę vertę, neatskaičius mokesčių ir nevertinant diskonto normų. Diskonto normos bus vertinamos vėliau, pasirinkus konkretų maitinimo šaltinio tipą.

**2 pasirinkimu instaliuota dujų turbina per metus galėtų pagaminti:**

$480\text{kW} \cdot 6500 = 3120000 \text{ kWh}$ ;

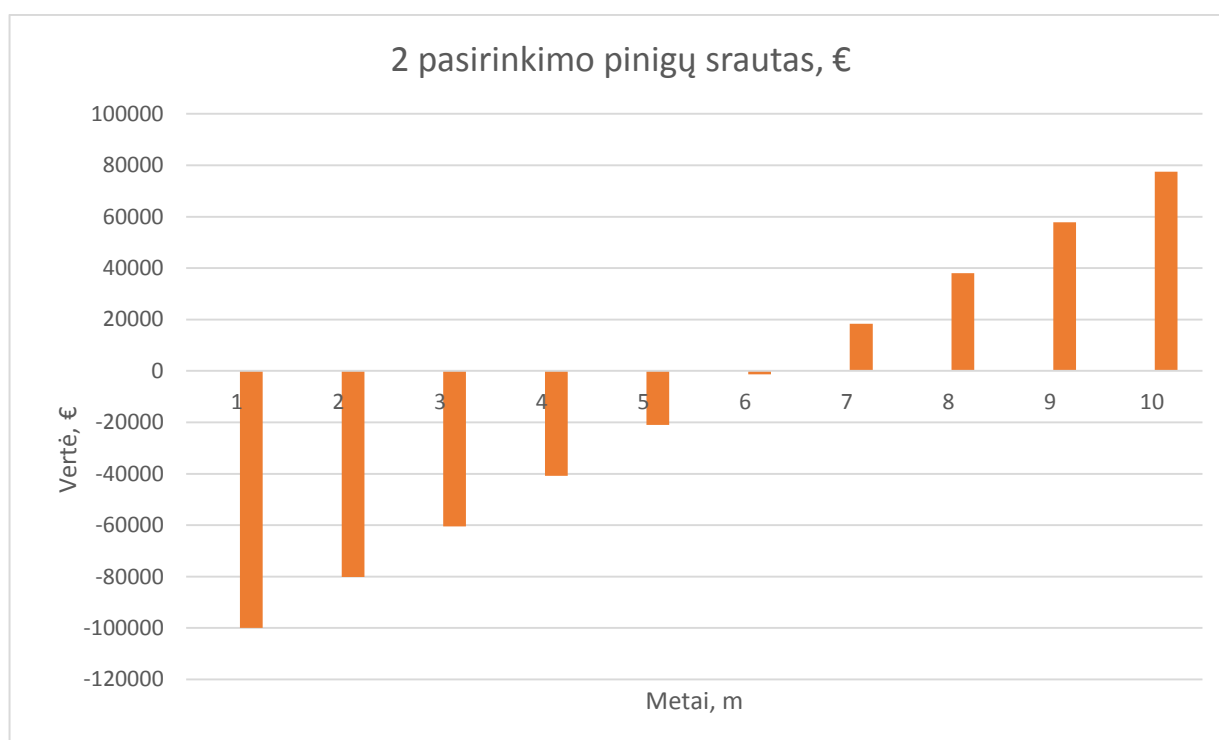
Sistemoje susidarančių nuostolių detalai nevertinama, laikoma kad jie bus 1,5 % nuo pagamintos elektros energijos 46800 kWh. Perteklius šiuo atveju 1594505 kWh. Pajamos už pagamintą ir patiektą elektros energiją į tinklą 41457,13 €.

Įvertinus eksploataavimo išlaidas, per metus išlaidos už dujų turbinos eksploatavimą bus 15600€ Sudaroma atsiperkamumo lentelė pagal 2 pasirinkimą.



2.6.2 lentelė. 2 pasirinkimo investicijų veiklos pinigų srautai

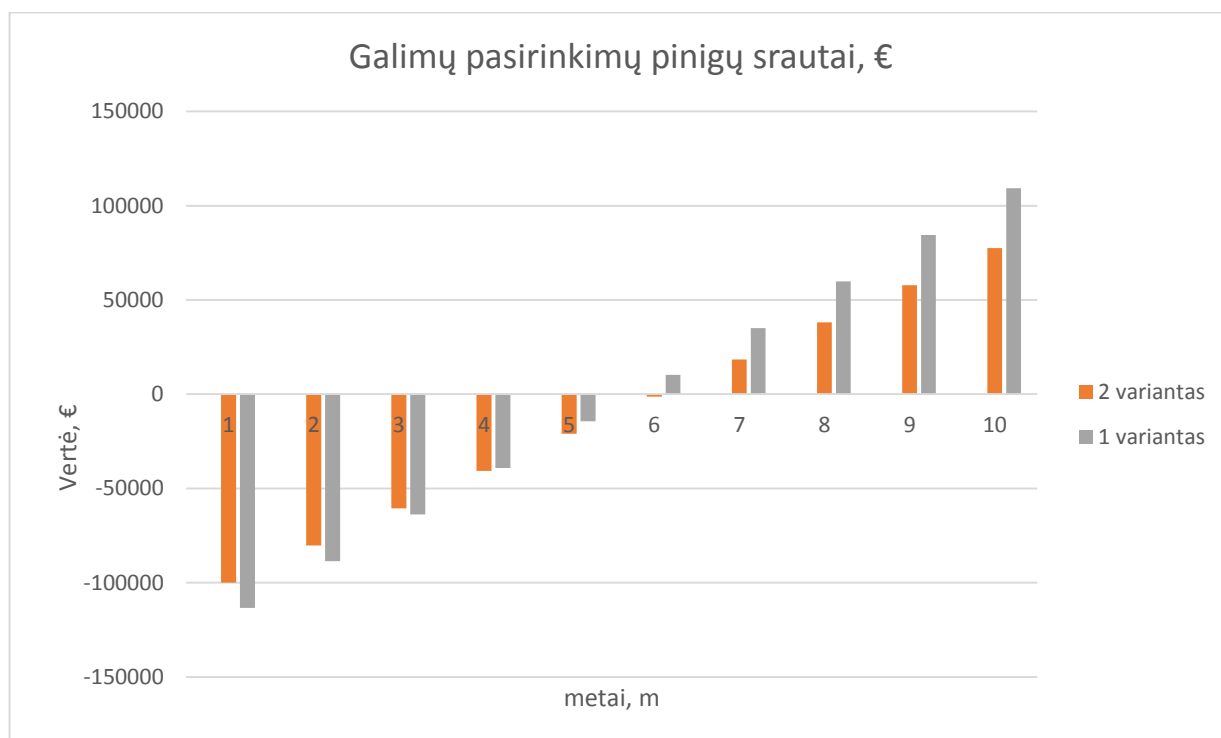
Metai	Įrengimo ir eksploatacinės išlaidos, €	Pajamos, €	Sutaupymas dėl energijos gamybos savo reikmėms, €	Pinigų srautai, €
1	211671	41457,13	70323,4	-99890,47
2	92071,2	41457,13	70323,4	-80181,14
3	92071,2	41457,13	70323,4	-60471,81
4	92071,2	41457,13	70323,4	-40762,48
5	92071,2	41457,13	70323,4	-21053,15
6	92071,2	41457,13	70323,4	-1343,82
7	92071,2	41457,13	70323,4	18365,51
8	92071,2	41457,13	70323,4	38074,84
9	92071,2	41457,13	70323,4	57784,17
10	92071,2	41457,13	70323,4	77493,5



2.6.2 pav. 2 pasirinkimo investicijų atsiperkamumas

Įvertinus abiejų vertinamų pasirinkimų duomenis 2.6.3 pav. galima aiškiai matyti skirtumą tarp skirtingų pasirinkimų ekonominio naudingumo. Įvertinant 10 metų darbo ciklą pagal pirmą variantą, įmonei pačiai gaminant elektros energiją savo reikmėms, o perteklinę elektros energiją perduodant į tinką, įmonė gaus 109227,1 €. Investicijos pradeda atsipirkti jau 6 metais. Tuo tarpu pagal antrąjį variantą investicijos pradeda atsipirkti tik 7 metais ir įmonė gali planuoti 77493,5 € papildomą pelną neatskaičius mokesčių ir nevertinant investicinio rentabilumo. Įvertinus abiejų projektų alternatyvų galimybes, pirmasis variantas laikomas ekonomiškai naudingesniu ir patrauklesniu. Tolimesnei analizei

bus naudojamas pirmasis variantas.



2.6.3 pav. Galimų pasirinkimų pinigų srauto palyginimas

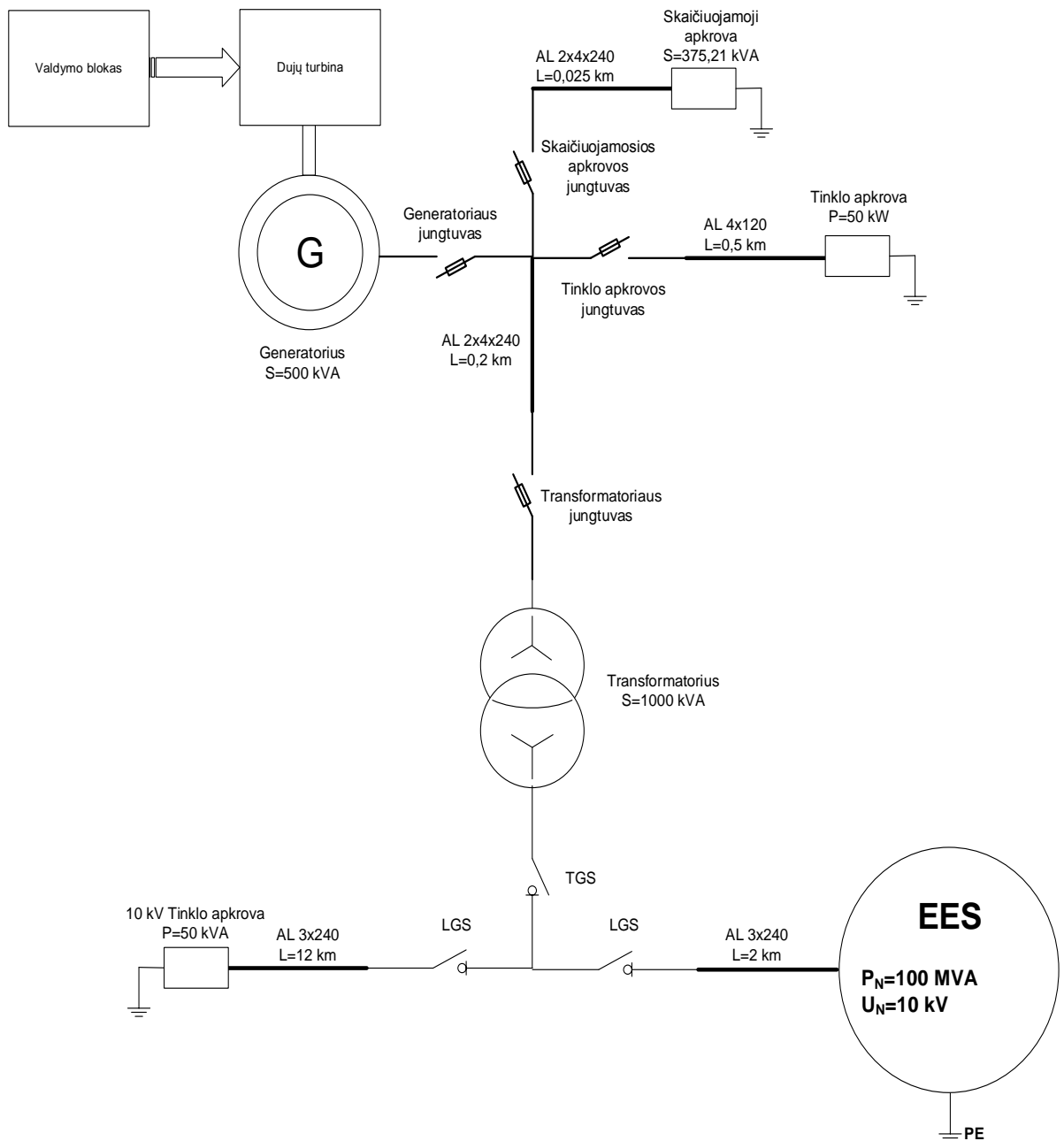
## 2.7. Pasirinkto modelio principinės schemos sudarymas

Analizuojama skaičiuojamoji 0,4 kV  $S=375,21$  kVA galios apkrova yra prijungta prie  $S=1000$  kVA galios transformatoriaus, kuris kartu maitina ir kitą prie tinklo prijungtą apkrovą  $P=50$  kW. Šių apkrovų prijungimas/atjungimas įgalinamas jungtuvais. Apkrovos prie transformatoriaus prijungtos kabelių linijomis AL 2x240 L=0,025 km ir AL 4x120 L=0,5 km.

Pagal paskirstytosios galios generatorių reikalavimus, generatoriai turi būti prijungiami kaip įmanoma arčiau apkrovos ir transformatoriaus gnybtų. Tiesioginis generatoriaus prijungimas prie apkrovos mažina tinkle nuostolius, o prijungimas prie transformatoriaus gnybtų leidžia sistemai dirbti geresniais darbo režimų parametrais.

Linijų skerspjūviai parinkti taip, kad būtų pralaidūs jais tekančiomis srovėmis. Transformatorius prijungtas prie  $P_n=100$  MVA galios EES, kuri dar maitina ir prie 10 kV tinklo prijungtą  $P=50$  kVA apkrovą. 10 kV linijų valdymas realizuojamas galios skyrikliais.

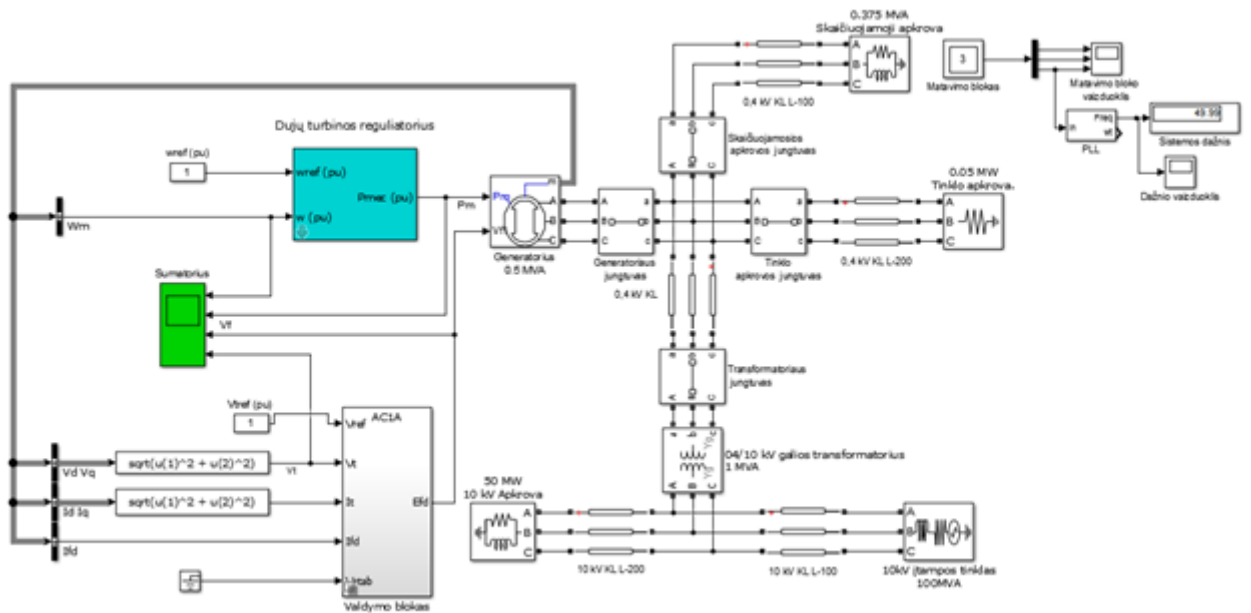
Arčiau skaičiuojamosios apkrovos prijungiamas  $S=500$  kVA galios dujų turbinos generatorius su dujų turbiną ir valdymo bloku. Principinė junginio schema atvaizduojama 2.7.2 pav. Pasirinkta dujų turbina prie pagrindinės apkrovos yra jungiama toje pačioje įtampos pakopoje, didžioji pagamintos energijos dalis bus suvartojama prijungtoje tiriamoje apkrovoje, todėl šis dujų turbinos prijungimas prie apkrovos tenkina paskirstytojo maitinimo šaltinio sąlygas.



2.7.1 pav. Principinė modelio sujungimų schema.

## 2.8. Modelio analizė MATLAB SIMULINK programa

Sudaroma šio modelio elementų schema, suvedami apskaičiuoti ir pateikti parametrai iš ankstesnių skyrių. Modeliuojami 10 kV tinklas be jungtuvų, nes atliekant tyrimus nenumatoma atjungti šias tinklo dalis. Įterpus į Matlab Simulink kompiuterinio darbalaukio ekraną visus sistemos elementus, gaunamas 2.8.1 pav.



2.8.1 pav. Matlab Simulink programos sudaryta schema.

Dujų turbinos reguliatoriaus blokas yra paimtas iš viešai prieinamo Matlab Simulink programos „Emergency Diesel-Generator and Asynchronous Motor“ kurios autoriai yra G. Sybille (Hydro-Quebec), Tarik Zabaoui (ETS) pavyzdžio. Reguliatorius parametrai buvo keičiami taip, kad didėtų sistemos reakcijos laikas  $S_k$ , kas yra laikoma pagrindiniu skirtumu tarp dyzelinio ir dujų generatoriaus valdymo principų.

Sistemoje įdėti visi elementai aprašyti principinės schemos sudarymo skyriuje. Generatoriaus galia atitinka pasirinkto 1 varianto galią (500 kVA). Skaičiuojamosios apkrovos suminė galia yra 375,21 kVA; prie tinklo prijungtos „tinklo apkrovos“ galia 50 kW. Transformatoriaus galia 1000 kVA. Prie transformatoriaus 10 kV dalyje yra prijungtas 100 MVA galios tinklas su 50 MVA apkrova. Linijų varžos parinktos pagal kabelių technines charakteristikas.(pateikiama 4 priede). Pagrindiniais sistemos parametrai  $f=50$  Hz, sistemos įtampa žemos įtampos pusėje trifazėje sistemoje yra 400 V, dvifazėje sistemoje 230 V. Vidutinės įtampos pusėje trifazėje sistemoje yra 10000 V

Sudarytai schemai atliekami trys sistemos režimų analizės:

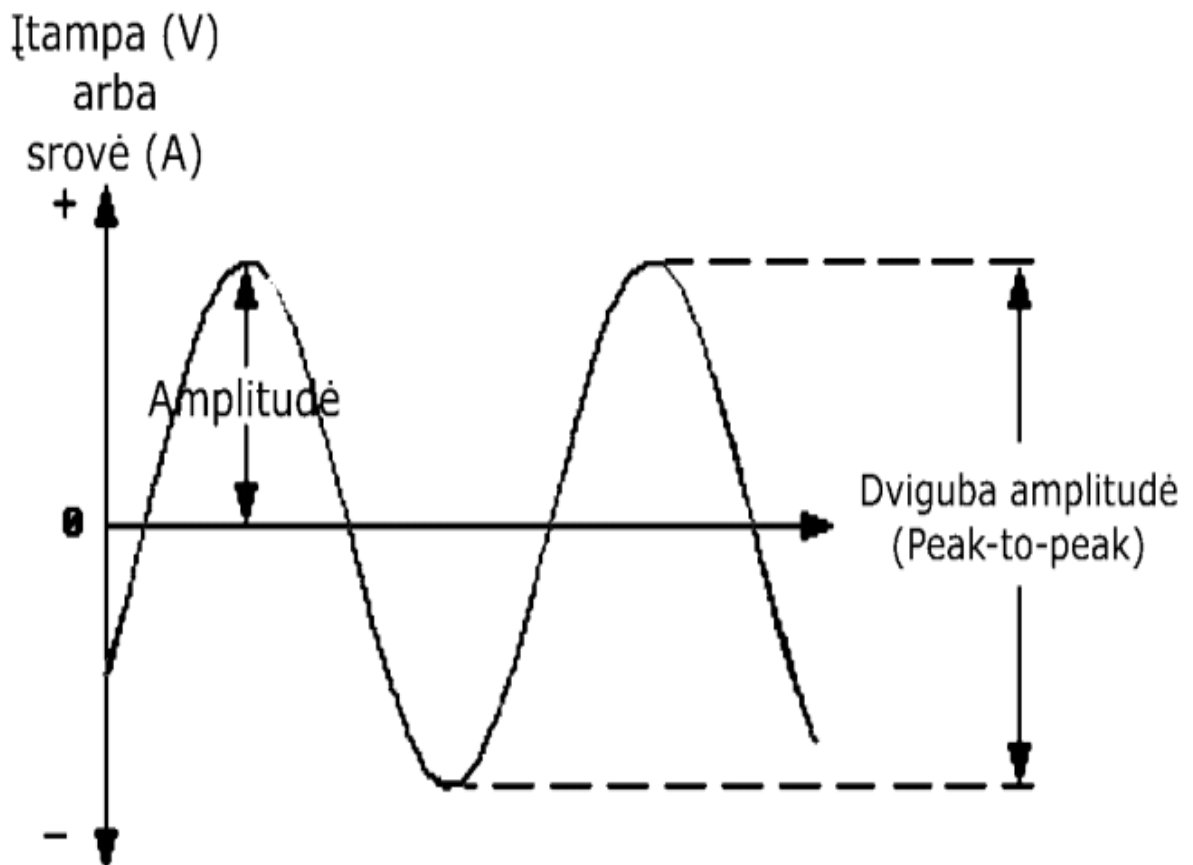
- Tinklo ir generatoriaus režimas;
- Autonominis režimas ;
- Tinklo režimas;

### 2.8.1. Tinklo ir generatoriaus režimas

Šio darbo režimo Matlab programos schema parodyta 2.8.1 pav. Sistemos parametrų matavimai atliekami po pereinamųjų procesų, įtakojančių parametrus, nusistovėjimo (2-2,3 s.) Kintamoji srovė arba

Įtampa keičia savo kryptį laike. Šiame darbe atliekami matavimai yra gaunami matuojant sinusinių dydžių amplitudes. Efektinė sinusinio dydžio vertė yra lygi nuolatinei srovei, kuri per tą patį laiką išskiria tokį pat šilumos kiekį, vertei. Kintamos įtampos tinkle, efektinė vertė yra gaunama amplitudinę vertę dalinant iš  $\sqrt{2}$ .

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad (14)$$



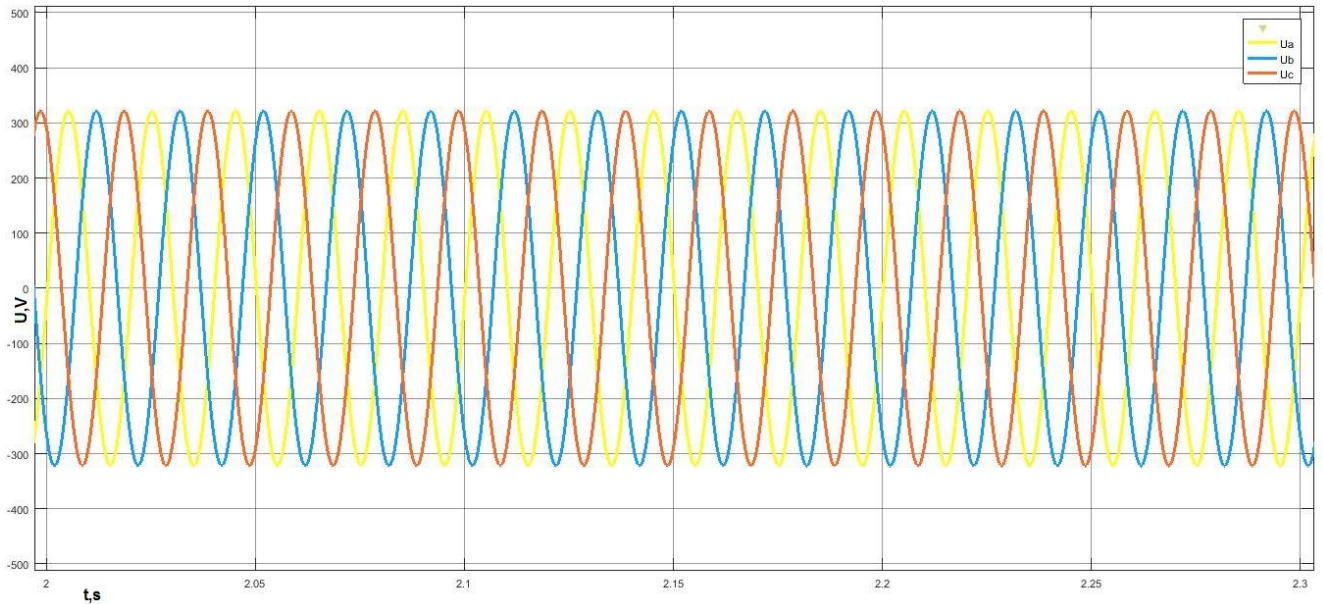
2.8.1 pav. Bendroji sinusinės srovės kreivė, atvaizduojanti amplitudines vertes

Atliekant tyrimą nustatoma amplitudinė vertė, kurių rezultatai lyginami su tinklo parametru vertėmis, perskaičiuotomis amplitudine verte. Matavimai atliekami tarp fazinio ir nulinio laido. Norint gauti trifazės sistemos įtampas, gautos efektinės vertės yra dauginamos iš  $\sqrt{3}$ :

$$U_{3ef} = U_e * \sqrt{3}; \quad (15)$$

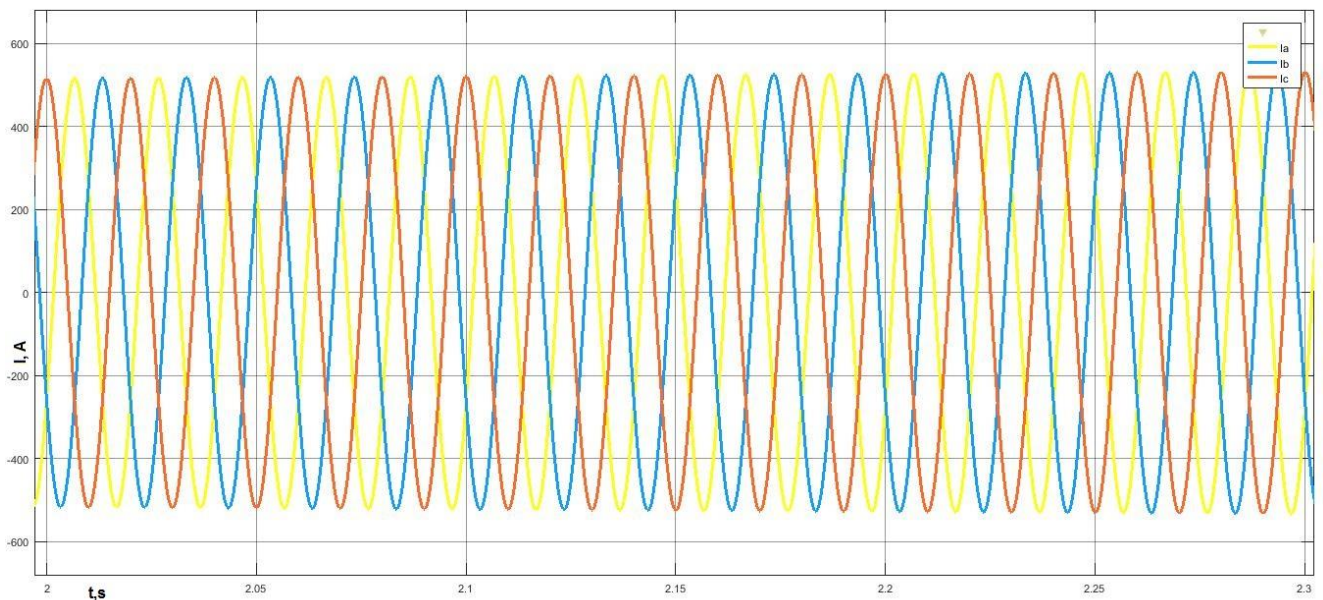
Darbo rezultatai:

- Generatoriaus gnybtų amplitudinė įtampa  $U_m=320$  V. Grafike atsispindi visų trijų fazių įtamos, matuojamos tarp fazinio laido ir nulinio laido grandinės. Įtamos yra simetriškos.



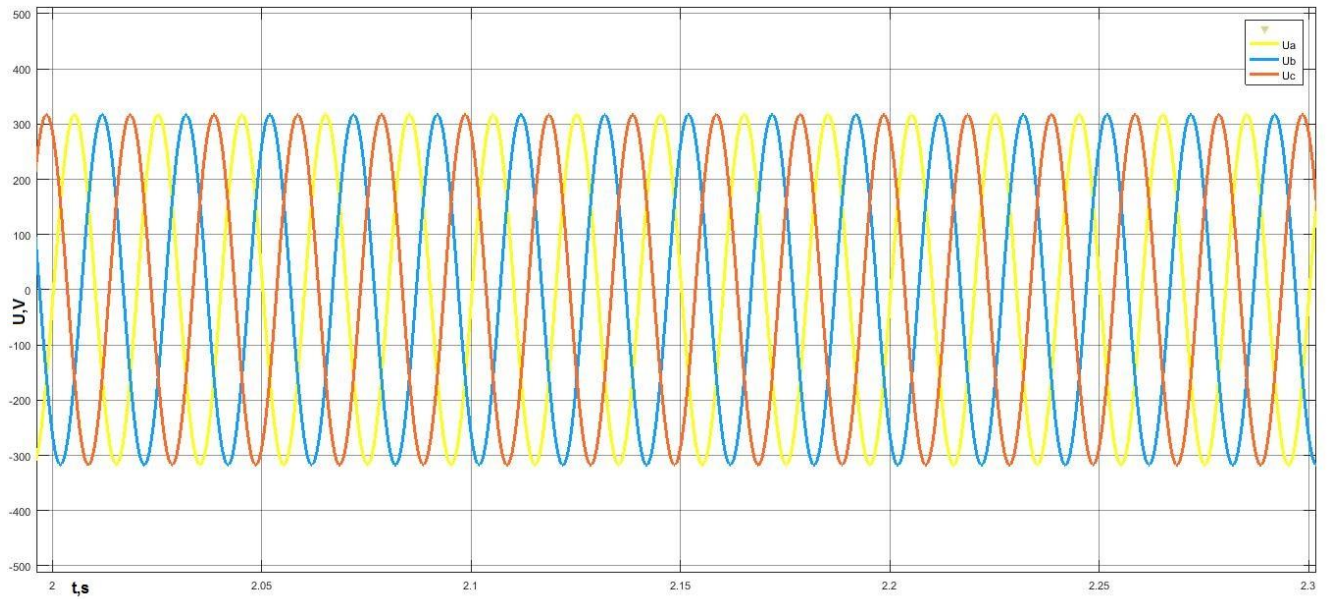
2.8.1.1 pav. Generatoriaus gnybtų įtampa

- Generatoriaus generuojama amplitudinė srovė  $I_m=475$  A. Matomos visų fazių srovės yra simetriškos viena kitos atžvilgiu.



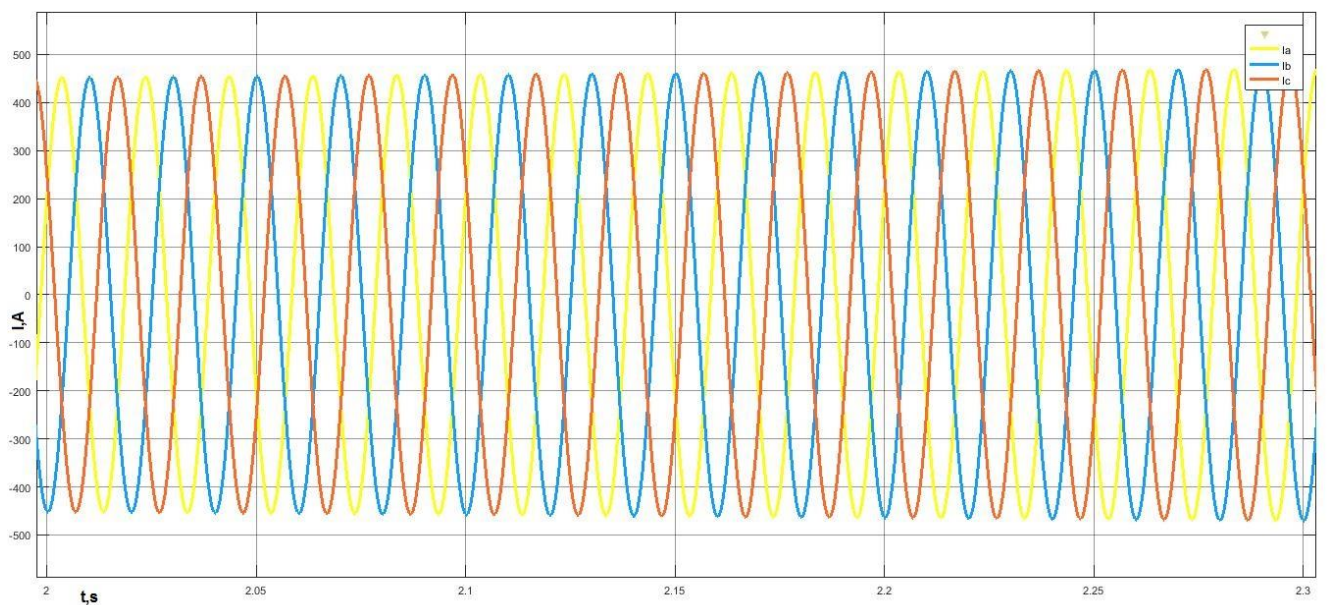
2.8.1.2 pav. Generatoriaus generuojama srovė

➤ Transformatoriaus amplitudinė įtampa  $U_m=317\text{ V}$



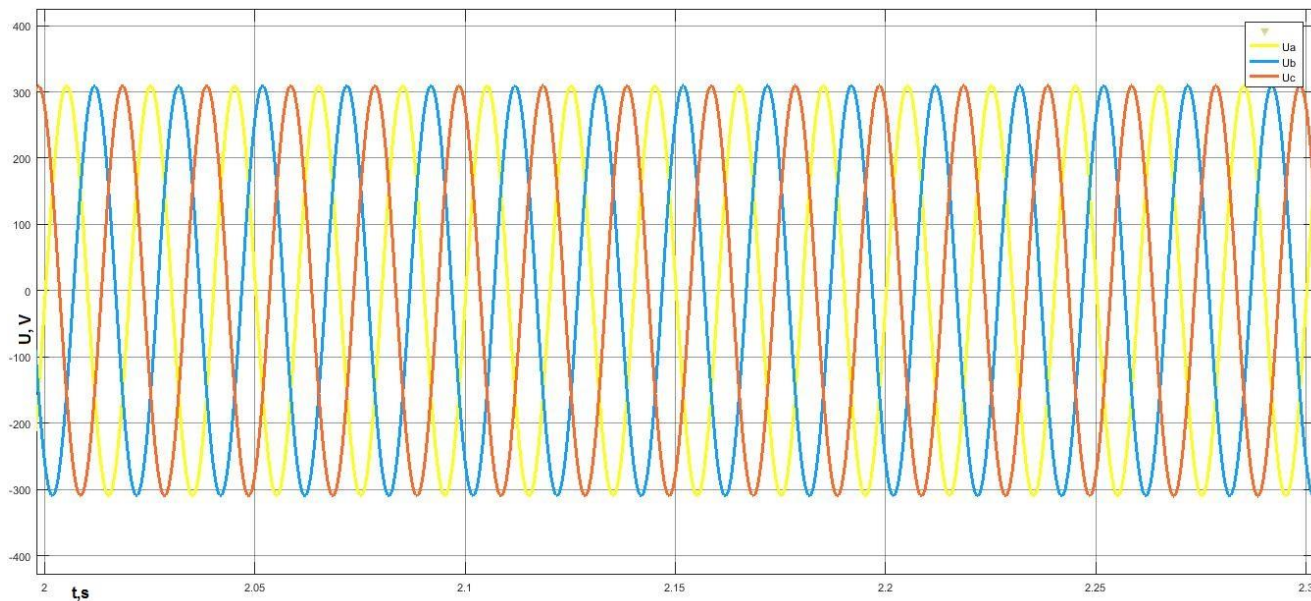
2.8.1.3 pav. Transformatoriaus įtampa

➤ Transformatoriaus amplitudinė srovė  $I_m=426\text{ A}$



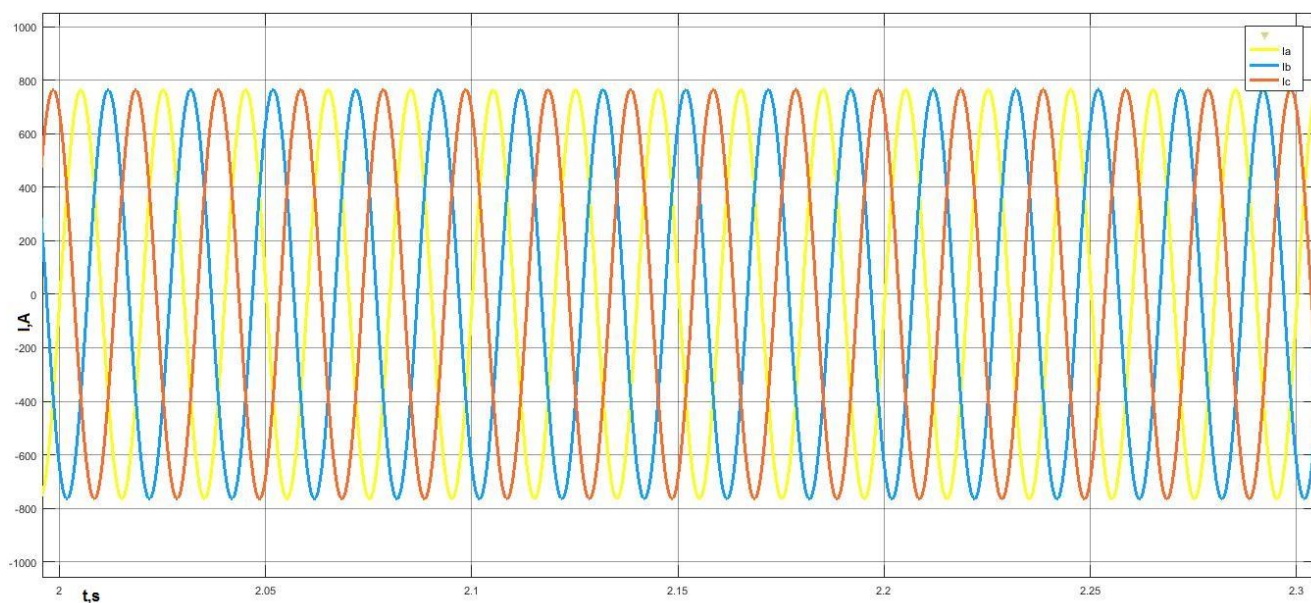
2.8.1.4 pav. Transformatoriaus srovė

- Skaičiuojamosios apkrovos amplitudinė įtampa  $U_m=309\text{ V}$



2.8.1.5 pav. Skaičiuojamosios apkrovos įtampa

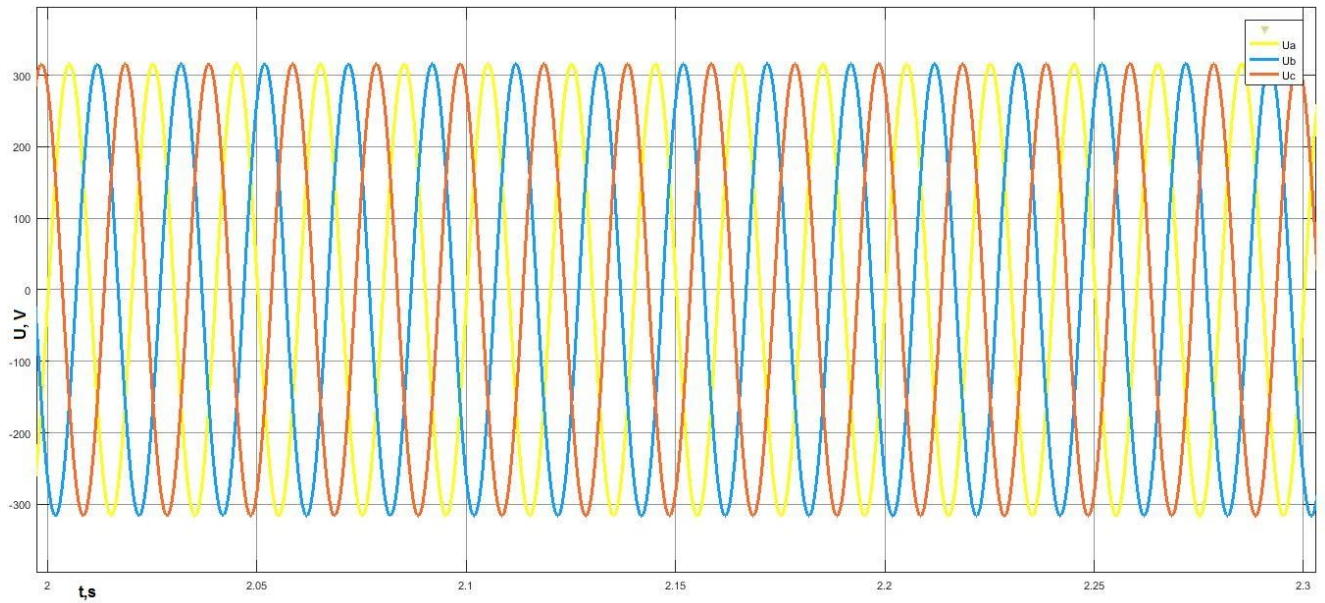
- Skaičiuojamosios apkrovos amplitudinė srovė  $I_m=764\text{ A}$ . Pažymėtina kad srovė, nuo teoriškai apskaičiuotos srovės, perskaičiuotos amplitudine verte (764,5 A) atliekant skaičiavimus skiriasi 0,07 %.



2.8.1.6 pav. Skaičiuojamosios apkrovos srovė

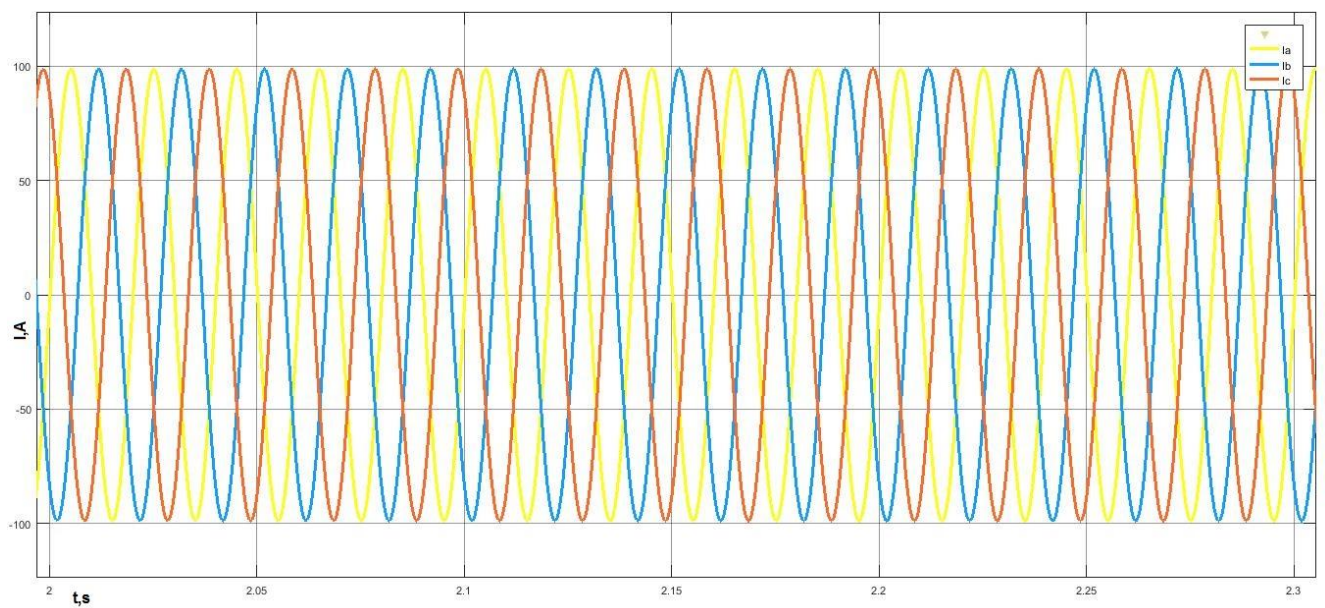


➤ Prie tinklo prijungtos papildomos apkrovos amplitudinė įtampa  $U_m=314\text{ V}$



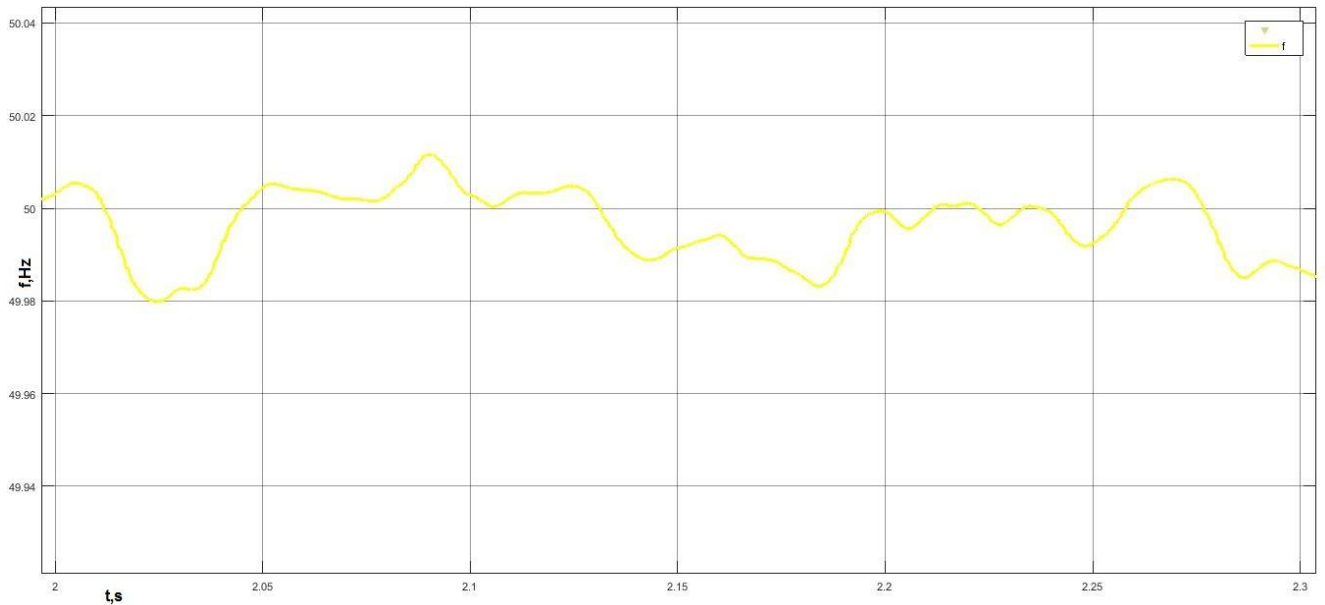
2.8.1.7 pav. Prie tinklo prijungtos papildomos apkrovos įtampa

➤ Prie tinklo prijungtos papildomos apkrovos amplitudinė srovė  $I_m=99\text{ A}$



2.8.1.8 pav. Prie tinklo prijungtos papildomos apkrovos srovė

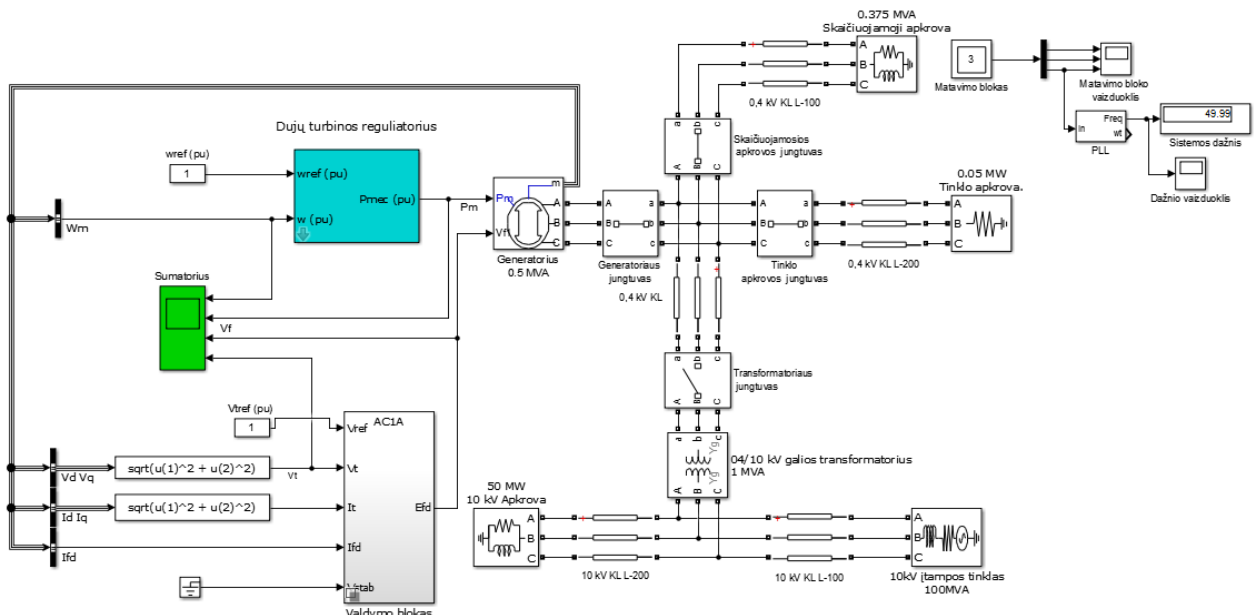
- Sistemos dažnis svyruoja prie  $f=50$  Hz. Dažnio svyravimai nedideli, tokios sistemos dažnio reikalavimai tenkinami.



2.8.1.9 pav. Sistemos dažnis tinklo ir generatoriaus režime

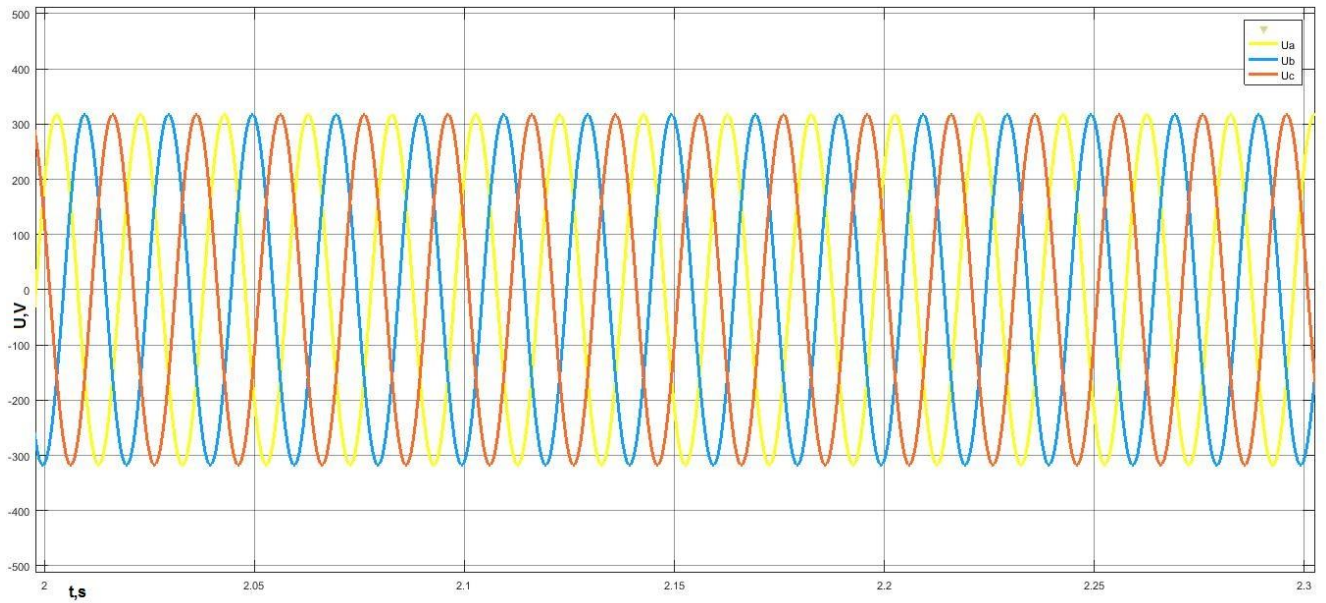
## 2.8.2. Autonominis režimas

Autonominis režimas laikomas tada, kai tinklas nuo sistemos yra atjungiamas, o sistemą maitinama tik nuo projektuojamos maitinimo sistemos.



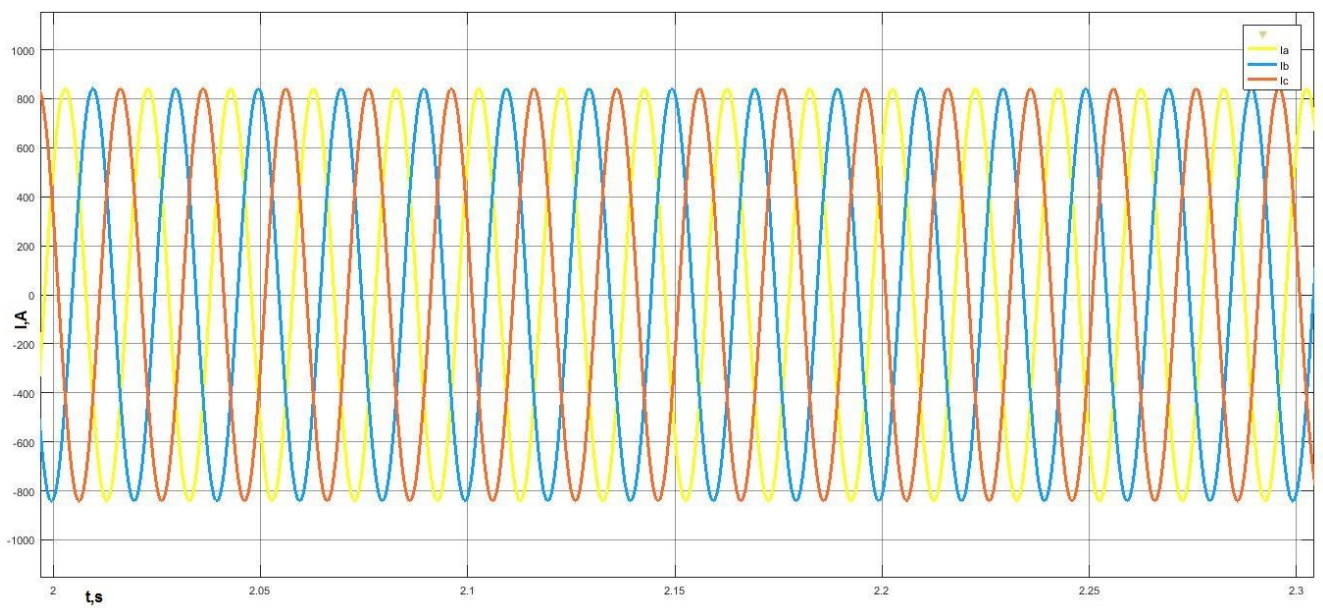
2.8.2.1 pav. Matlab Simulink programos schema autonominiam sistemos veikimui.

➤ Generatoriaus gnybtų amplitudinė įtampa  $U_m=314$  V



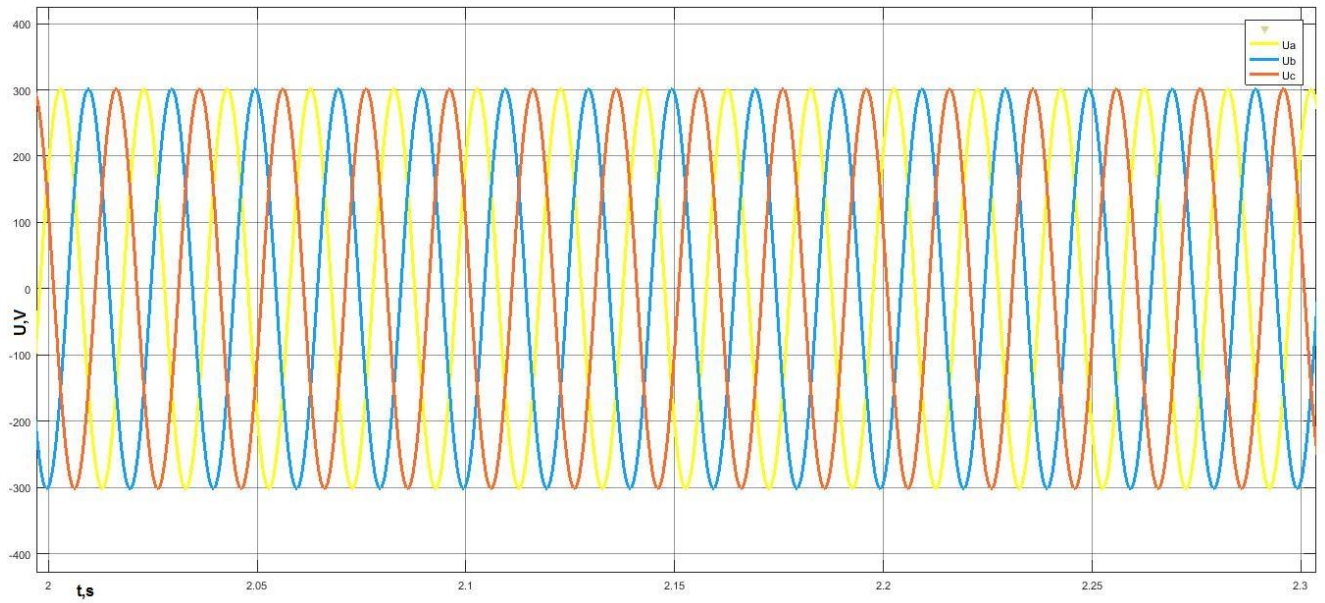
2.8.2.2 pav. Generatoriaus gnybtų įtampa

➤ Generatoriaus amplitudinė srovė  $I_m=844$  A



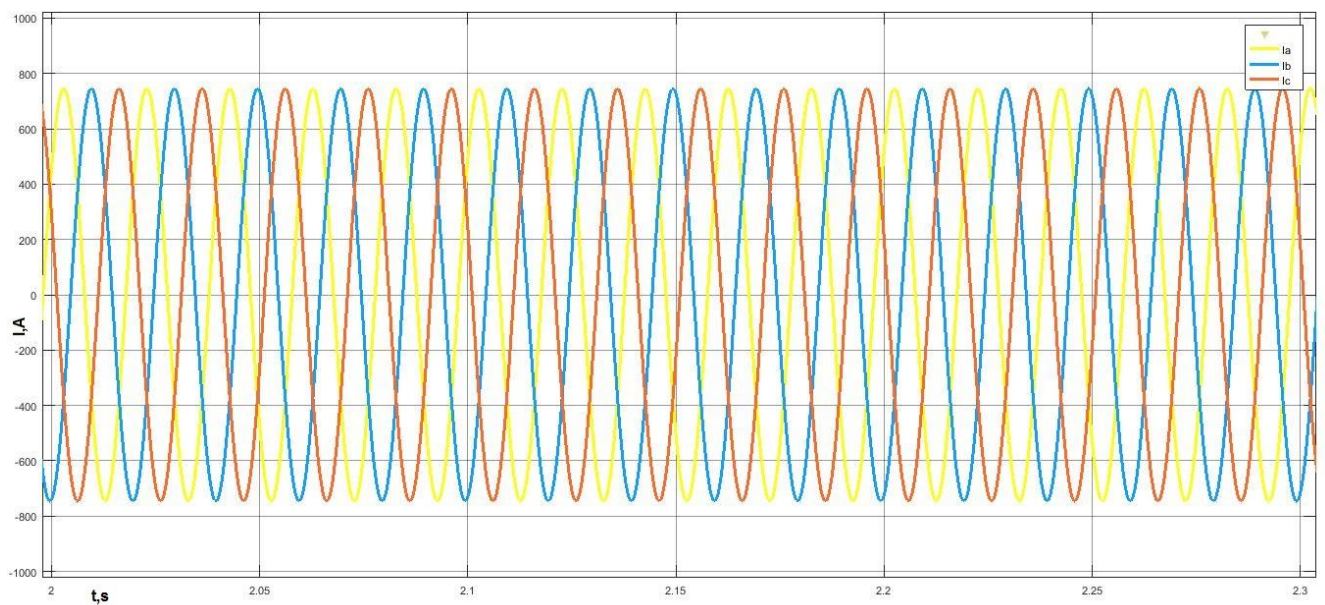
2.8.2.3 pav. Generatoriaus srovė

➤ Skaičiuojamosios apkrovos amplitudinė įtampa  $U_m=303\text{ V}$



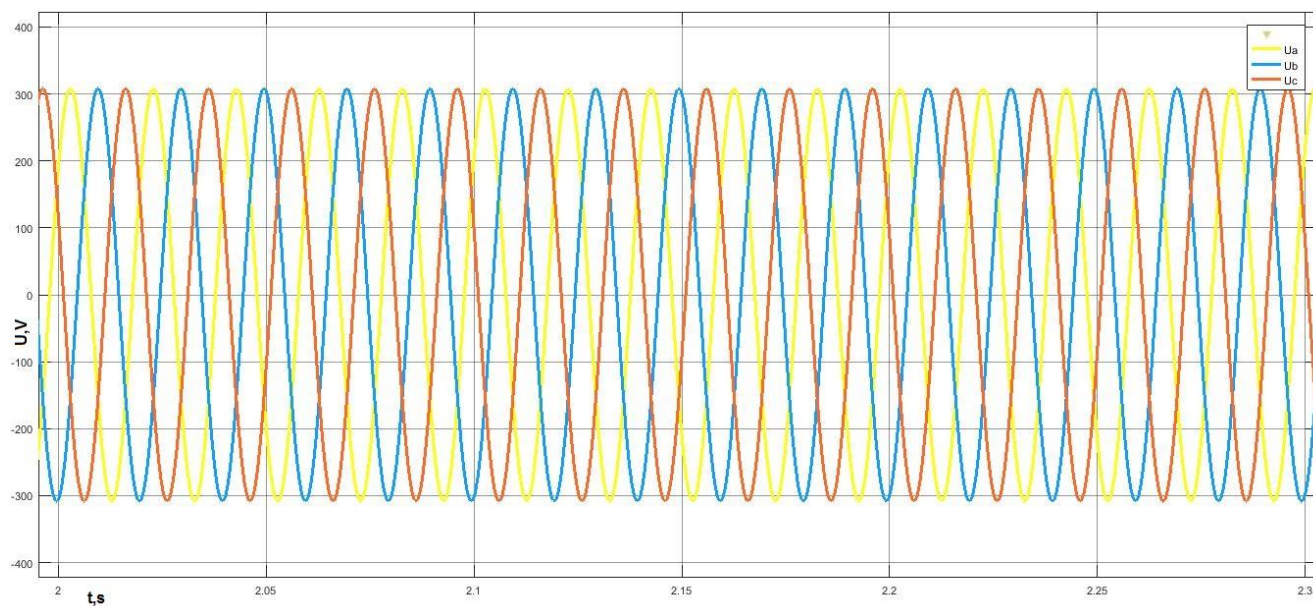
2.8.2.4 pav. Skaičiuojamosios apkrovos įtampa

➤ Skaičiuojamosios apkrovos amplitudinė srovė  $I_m=754\text{ A}$



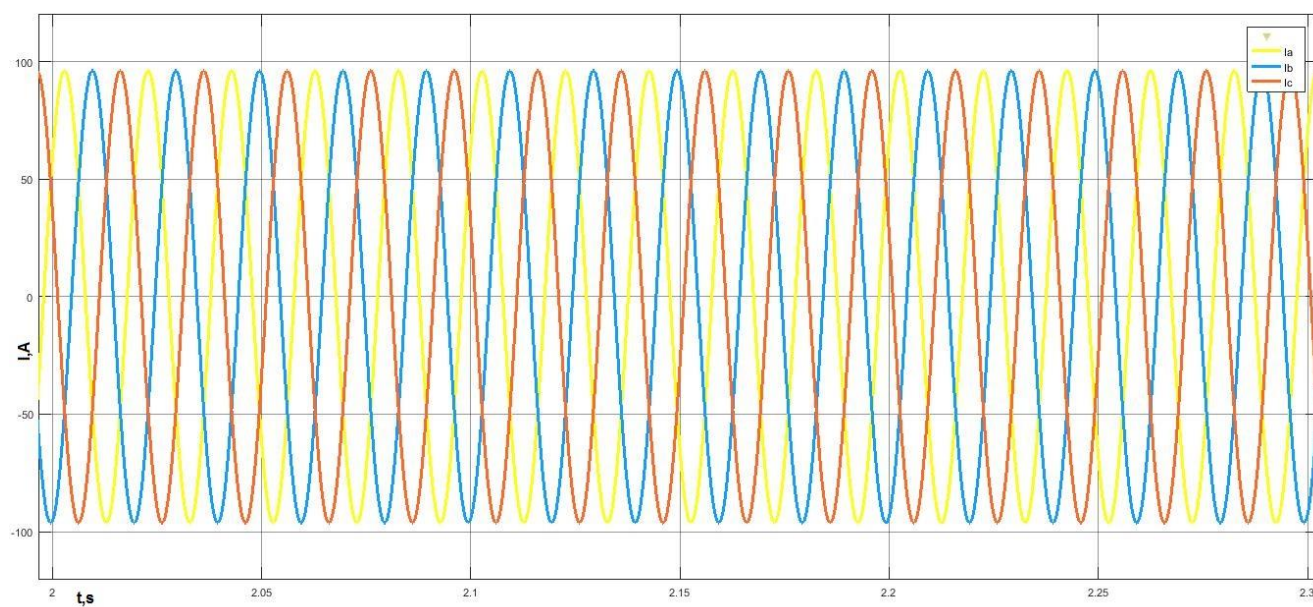
2.8.2.5 pav. Skaičiuojamosios apkrovos srovė

➤ Tinklo apkrovos amplitudinė įtampa  $U_m=309\text{ V}$



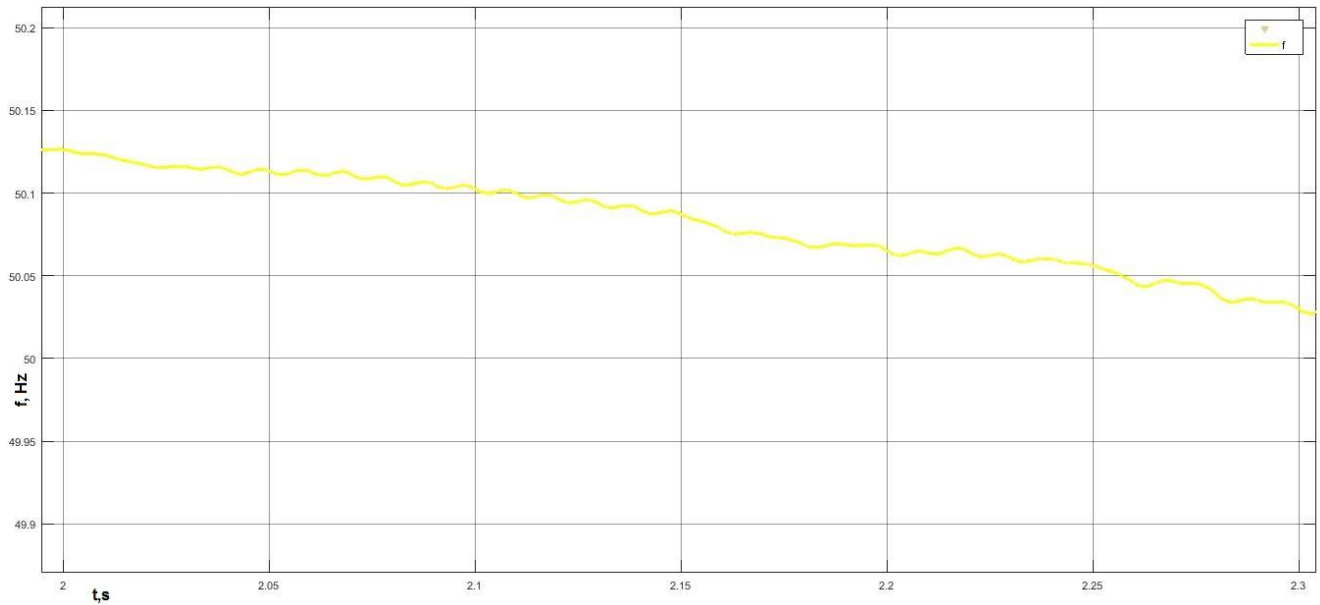
2.8.2.6 pav. Tinklo apkrovos įtampa

➤ Tinklo apkrovos amplitudinė srovė  $I_m=96\text{ A}$



2.8.2.7 pav. Tinklo apkrovos srovė

➤ Tinklo dažnis  $f=50$  Hz

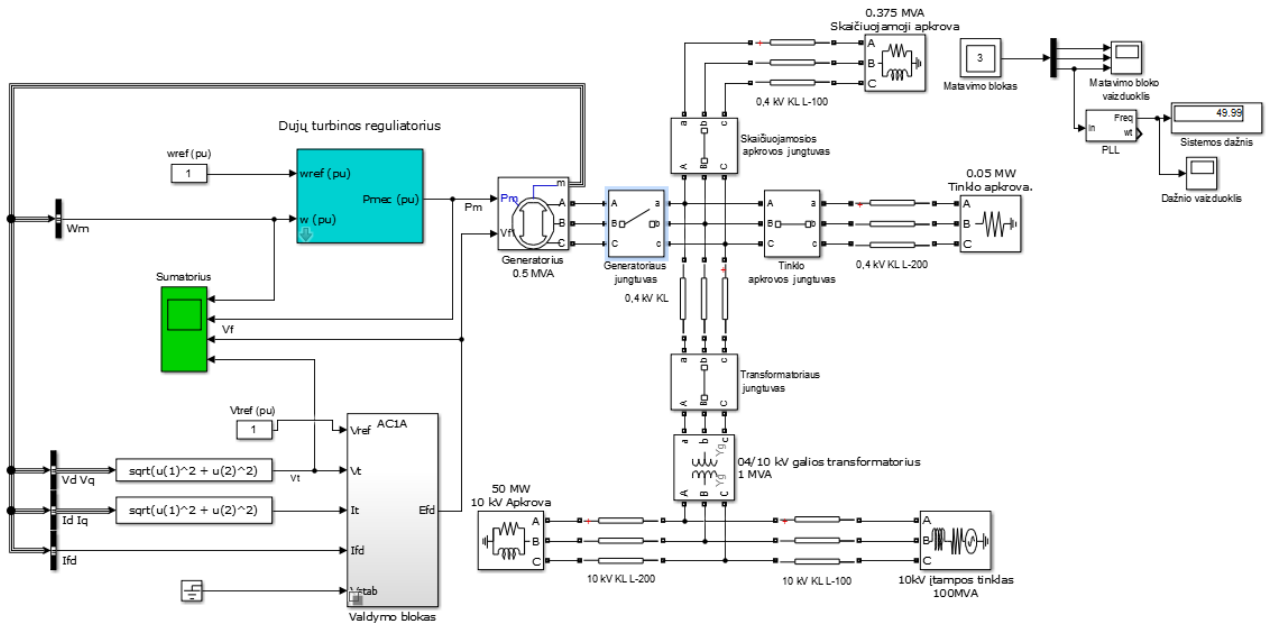


2.8.2.8 pav. Tinklo dažnis autonominiam režime

Tinklo dažnis mažėja, dėl sistemos inercijos. Paleidžiant sistemą, dažnis buvo aukštesnis dėl didelės žadinimo srovės. Pradėjus sistemai dirbti, žadinimo srovė mažėja ir tinklo dažnis stabilizuojasi.

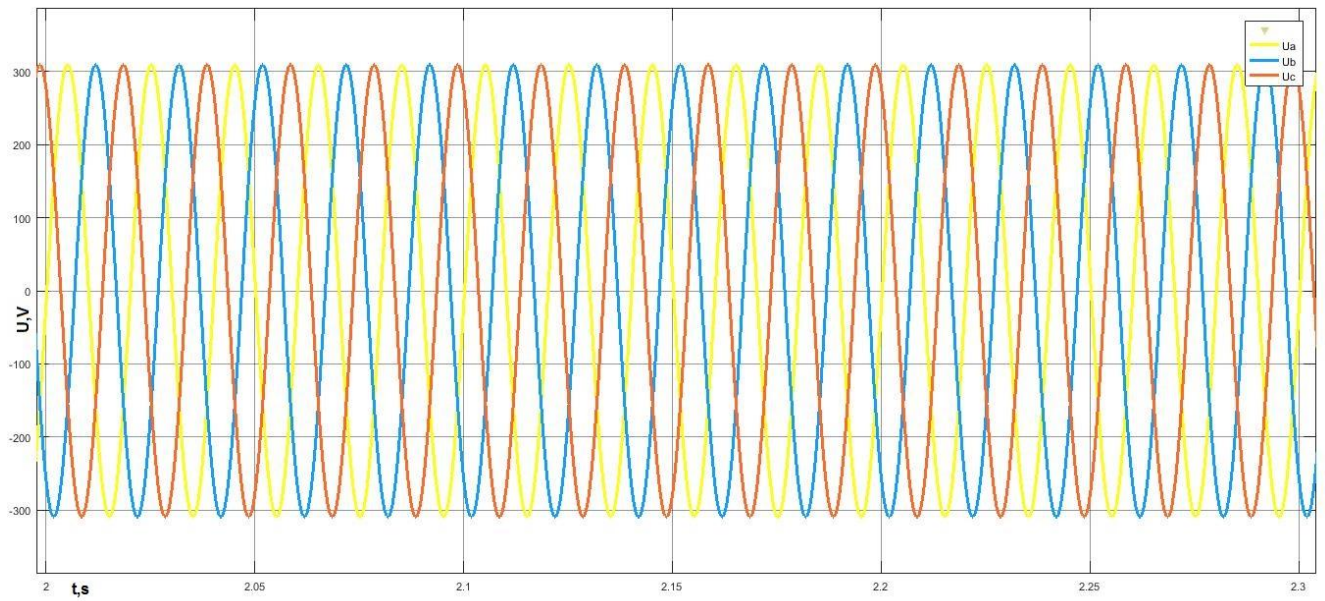
### 2.8.3. Tinklo režimas

Tinklo režimas realizuojamas atjungus generatoriaus jungtuvą. Skaičiuojamosios apkrovos maitinamos tik nuo tinklo transformatoriaus.



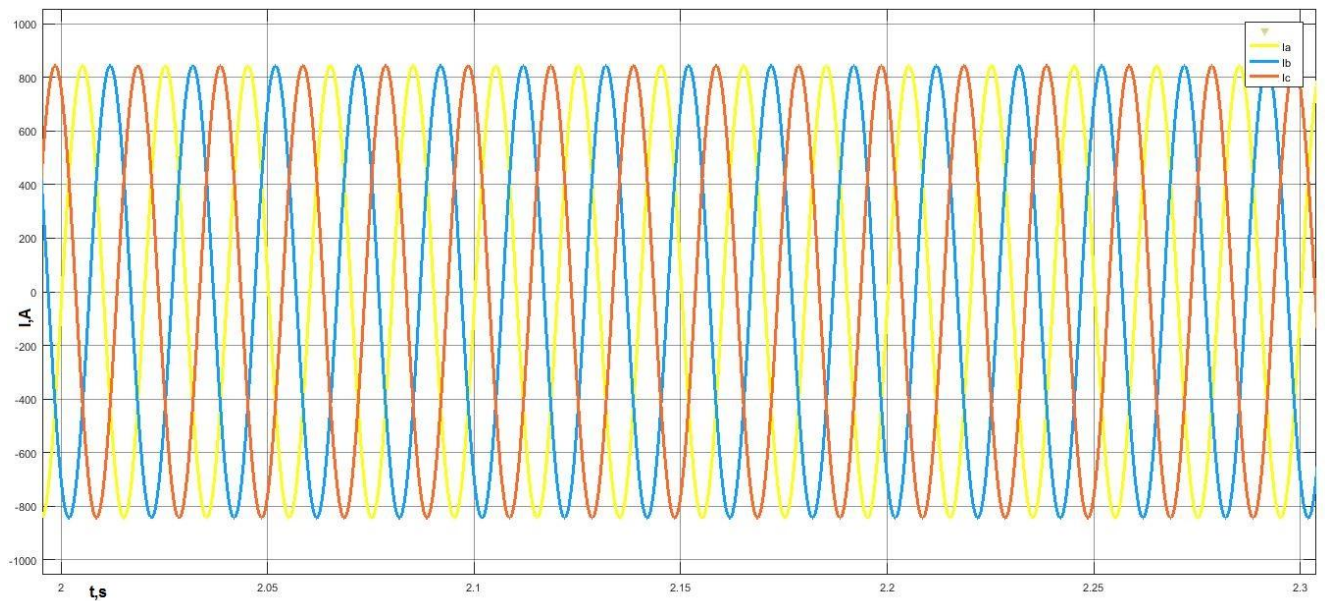
2.8.3.1 pav. Matlab Simulink programos schema kai apkrovos maitinamo tik nuo tinklo transformatoriaus.

➤ Transformatoriaus gnybtų amplitudinė įtampa  $U_m=317\text{ V}$



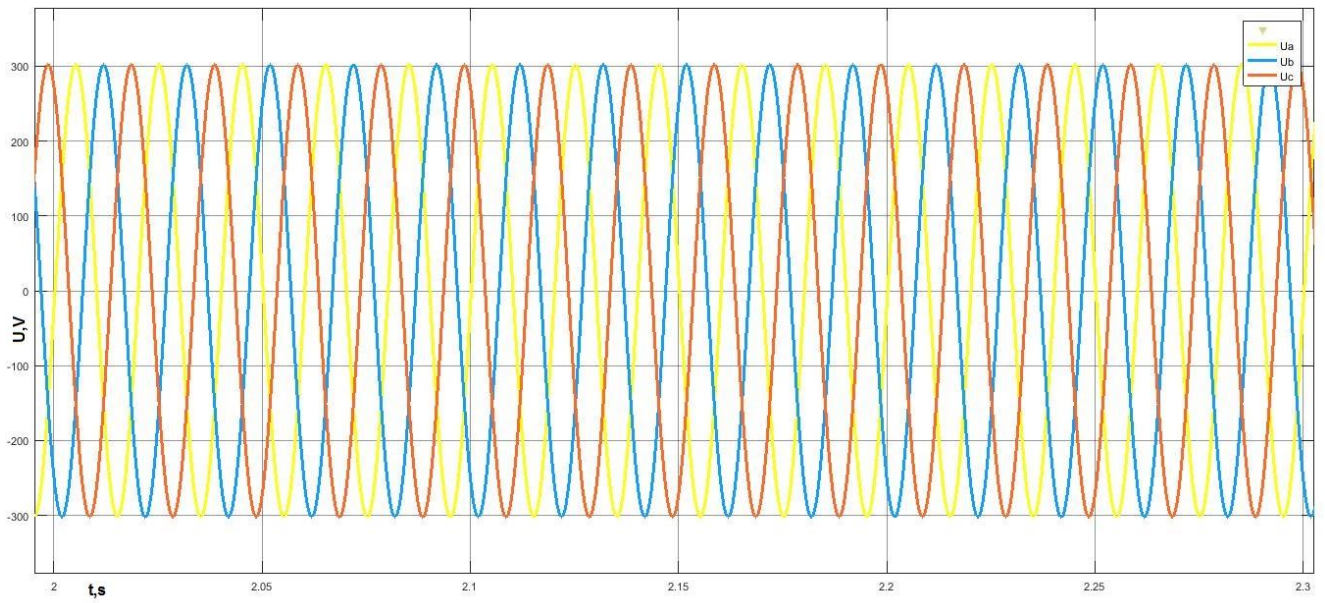
2.8.3.2 pav. Transformatoriaus gnybtų įtampa

➤ Transformatoriaus generuojama amplitudinė srovė  $I_m=843\text{ A}$



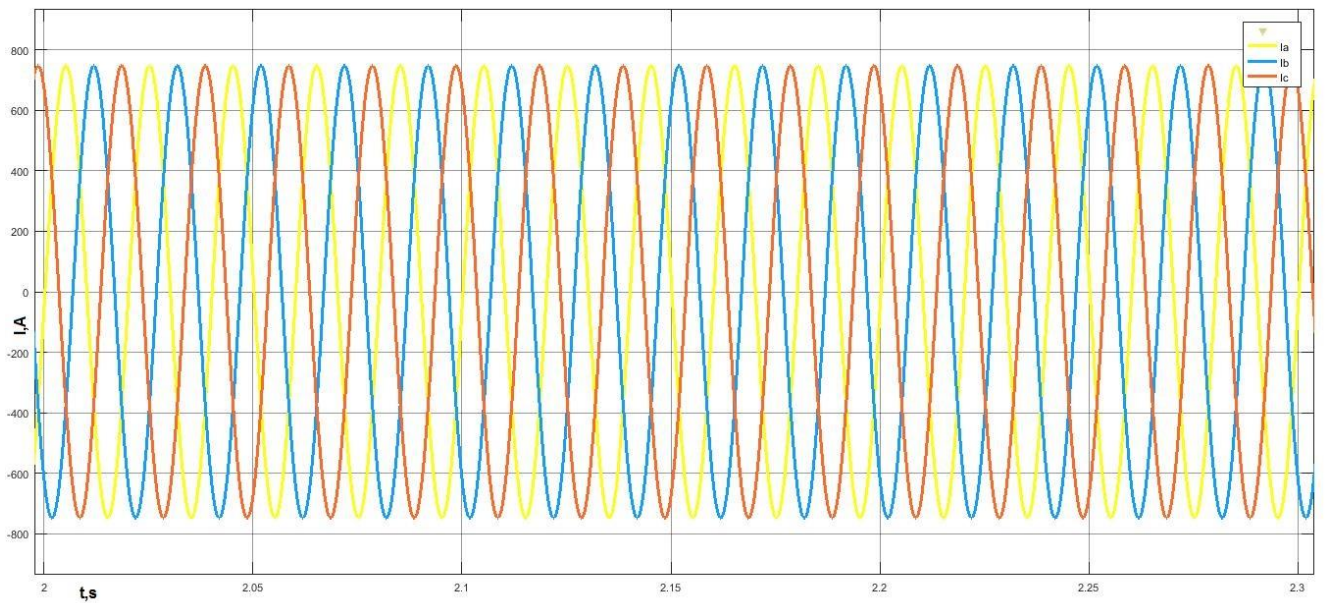
2.8.3.3 pav. Transformatoriaus generuojama srovė

➤ Skaičiuojamosios apkrovos amplitudinė įtampa  $U_m=305\text{ V}$



2.8.3.4 pav. Skaičiuojamosios apkrovos įtampa

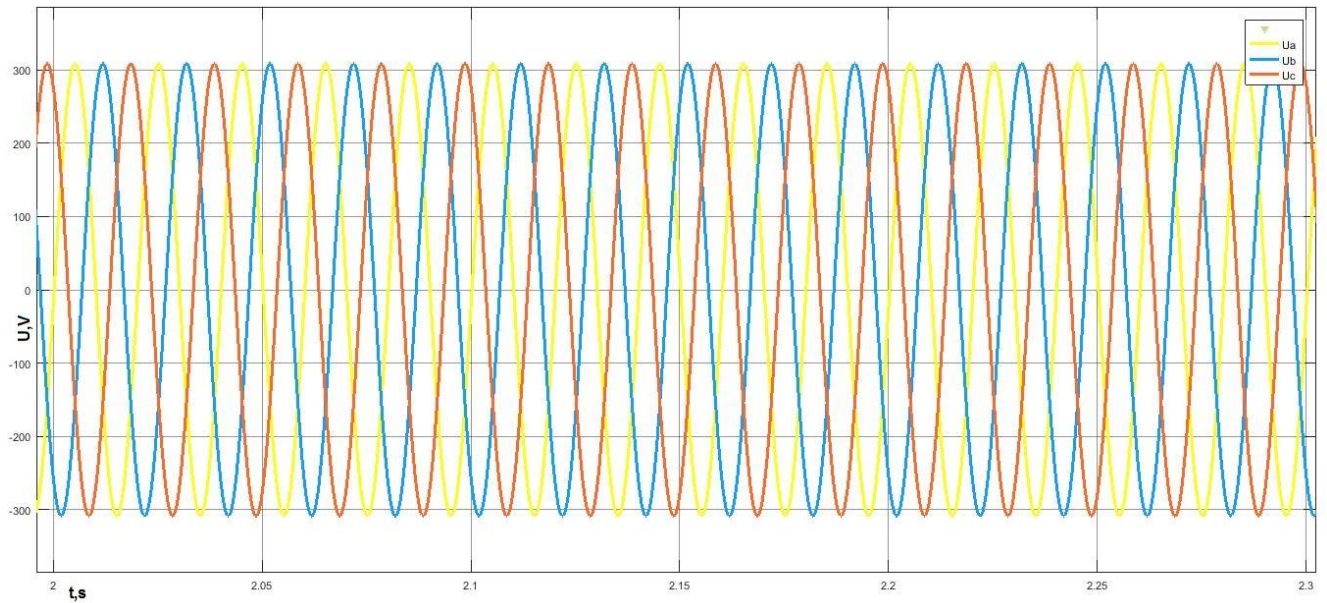
➤ Skaičiuojamosios apkrovos amplitudinė srovė  $I_m=759\text{ A}$



2.8.3.4 pav. Skaičiuojamosios apkrovos srovė

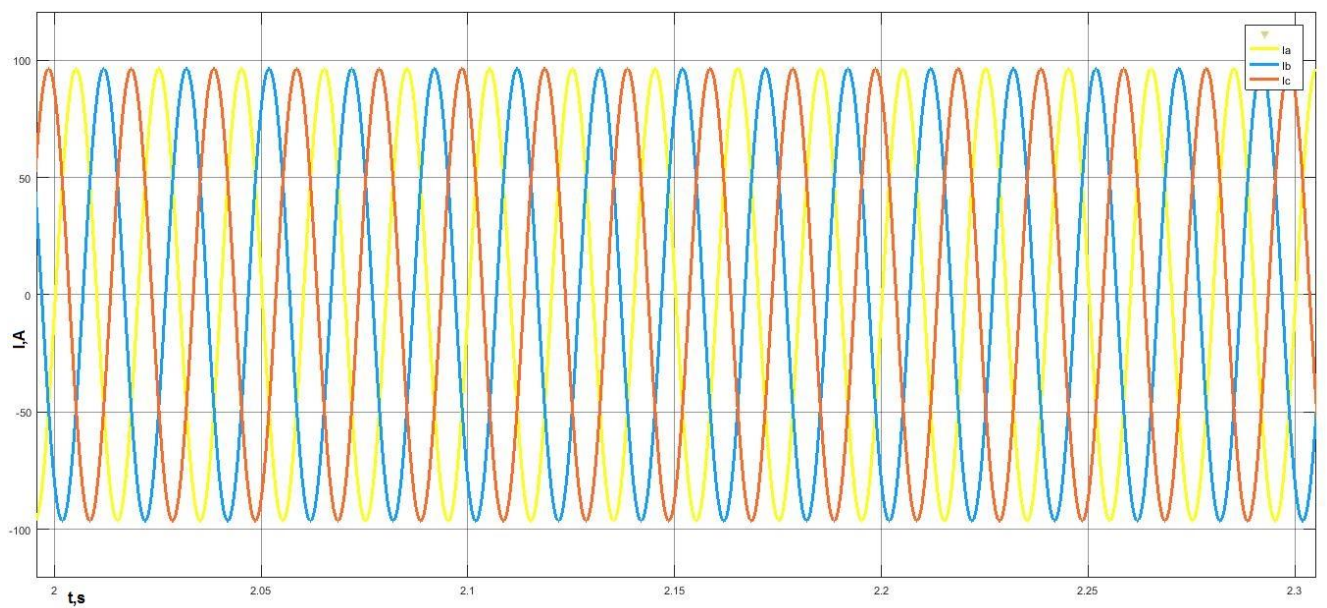


➤ Tinklo apkrovos amplitudinė įtampa  $U_m=307\text{ V}$



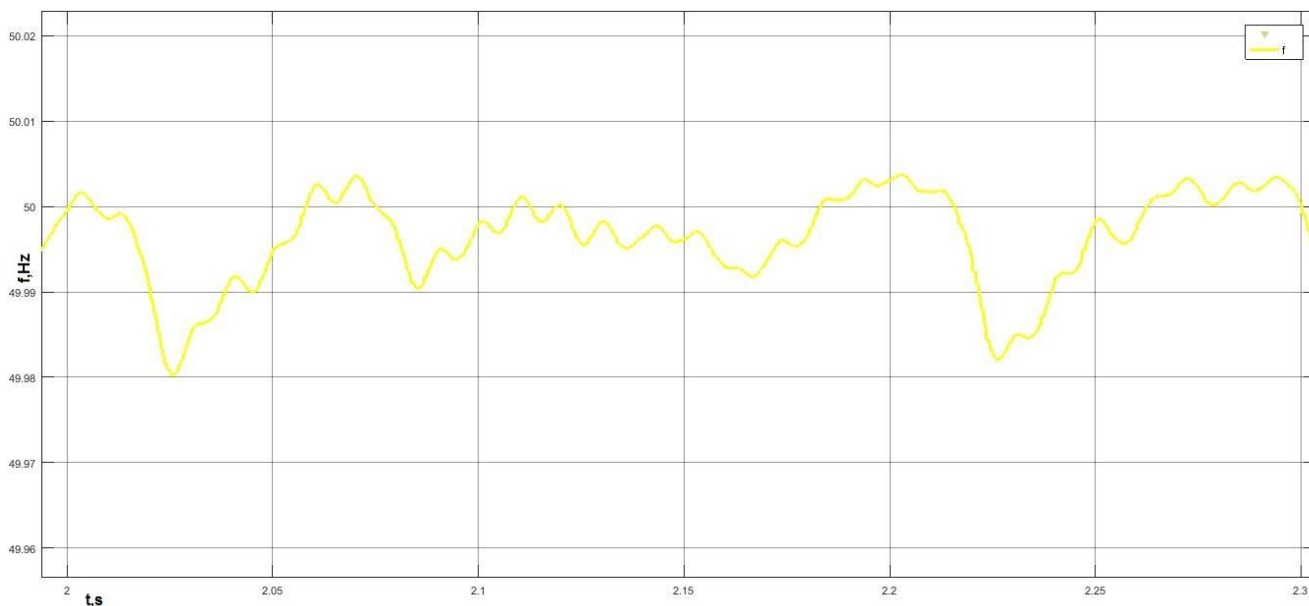
2.8.3.5 pav. Tinklo apkrovos įtampa

➤ Tinklo apkrovos amplitudinė srovė  $I_m=98\text{ A}$



2.8.3.6 pav. Tinklo apkrovos srovė

➤ Tinklo dažnis  $f=50$  Hz



2.8.3.6 pav. Tinklo dažnis sistemai dirbant tinklo režime

Iš tinklo dažnio kitimo grafiko galime matyti kad dažnis mažiausiai kinta kai sistema veikia be generatoriaus. Tai yra todėl, nes sistema pradeda veikti iš vieno maitinimo šaltinio, sumažėja pereinamųjų procesų įtaka paleidžiant sistemą. Taip pat lyginant su kitais sistemos darbo režimais, šiame režime nėra matoma generatoriaus žadinimo srovės poveikis.

➤ Visų tyrinėtų režimų rezultatai pateikiami rezultatų lentelėje.

2.8.3 lentelė. Atliktų tyrimų rezultatai

	Tinklo ir generatoriaus režimas	Autonominis režimas	Tinklo režimas
Generatoriaus įtampa, $U_m/U_e$ , V	320/227	314/223	-
Generatoriaus srovė, $I_m/I_e$ , A	475/337	845/599	-
Transformatoriaus įtampa, $U_m/U_e$ , V	317/225	-	317/225
Transformatoriaus srovė, $I_m/I_e$ , A	426/302	-	843/598
Skaičiuojamosios apkrovos įtampa, $U_m/U_e$ , V	309/219	303/215	305/216
Skaičiuojamosios apkrovos srovė, $I_m/I_e$ , A	764/542	754/535	759/538
Tinklo apkrovos įtampa, $U_m/U_e$ , V	314/223	309/219	307/218

	Tinklo ir generatoriaus režimas	Autonominis režimas	Tinklo režimas
Tinklo apkrovos srovė, $I_m/I_e$ , A	99/70	96/68	98/70
Tinklo dažnis, Hz	50	50	50

Gautų sumodeliuotos EES sistemos rezultatų duomenys atitinka apskaičiuotos apkrovos srovę. Didžiausias skaičiuojamosios apkrovos srovės nuokrypis nuo teoriškai apskaičiuotos srovės, yra sistemai dirbant autonominiu režimu (535 A). Tai sudaro 1,32 % netikslumą. Tinklo dažnis visais darbo režimais yra pastovus (50 Hz), o gauti svyravimai yra mažesni už didžiausius leidžiamus dažnio svyravimus sistemoje.

### 3. EKONOMINIS PROJEKTO NAUDINGUMO VERTINIMAS

Pagal pirmą variantą, kuris yra ekonomiškai naudingesnis, įmonei įsigyti naują dujų turbiną kainuos 138000 €. Turbina leis nepirkti elektros energijos iš tinklo, o ją gamintis patiems, perkant ir naudojant gamtines dujas. Pagaminta ir nesunaudota elektros energija parduodama į tinklą. Taigi ši investicija per metus leistų sutaupyti 70323,4 €. Taip pat pagaminta nesunaudota elektros energija parduodama į tinklą įmonei per metus atneštų 39091,13 € pajamas. Įrenginių eksploatacinės išlaidos per metus įvertinant žaliavas sudaro 84691,8 €, o įrenginių nusidėvėjimo ciklu laikoma 10 metų. Įmonės vidutinė kapitalo kaina 6%, pelno mokesčio tarifas – 15%. Įvertinant šiuos duomenis, yra apskaičiuojama:

- Bendrosios kapitalinės investicijos:

$$K = k_{\text{ireng.}} + k_{\text{prij}}, \text{ €}; \quad (16)$$

$k_{\text{ireng.}}$  - įrenginių kaina;  $k_{\text{prij.}}$  - prijungimo kaina.

- Metinės išlaidos:

$$C = C_p + C_{\text{amort.}} \frac{\text{€}}{m}; \quad (17)$$

$C_p$  - įrenginių eksploatacinės išlaidos €/m;  $C_{\text{amort.}}$  - įrenginių metinis nusidėvėjimas skaičiuojamas tiesiniu metodu, €/m.

- Papildomas pelnas prieš apmokestinimą.

$$P = P_{pap.} + P_{sut.}, \frac{\text{€}}{\text{m}}; \quad (18)$$

$P_{pap.}$  – Pajamos pasigamintą elektros energiją parduotą į tinklą.

$P_{sut.}$  – Sutaupytos išlaidos už elektros energiją.

- Papildomas grynasis pelnas

$$P_{pgr.} = P - P_m, \text{€} \quad (19)$$

$P_m$  – pelno mokestis,

- Pagrindinės veiklos pinigų srautas.

$$P_p = C_{amort.} + P_{pgr.} \text{€} \quad (20)$$

- Vidinė gražos norma.

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - I = 0 \quad (21)$$

$CF_t$ - pinigų srautas laiko momentu  $t$ , €;  $t$ – naudojimo trukmė metais;  $I$  – investicijos;

- Grynoji esamoji vertė.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+i)^t}, - I, \text{€} \quad (22)$$

Grynosios esamosios vertės teigiama rodiklio reikšmė parodo projekto įgyvendinimo tikslingumą. Kuo didesnė reikšmė, tuo didesnis investicinis projekto patrauklumas:

- ✓ jeigu  $NPV > 0$ , projektas priimtinas;
- ✓ jeigu  $NPV < 0$ , projektas nepriimtinas;

- Investicijų pelningumo indeksas:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}}{I} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+k)^t}} \quad (23)$$

Projektas laikomas priimtiniu, kai jo pagrindinės veiklos pinigų srautų dabartinė vertė viršija esamąją investicijų vertę:

- ✓ jeigu  $PI > 1$ , projektas priimtinas;
- ✓ jeigu  $PI < 1$ , projektas nepriimtinas.

- Projekto atsipirkimo laikas įvertinant diskontuotų pinigų srautus.

$$Td = \frac{-\ln(1 - \frac{i \cdot K}{NPV})}{\ln(1+i)} \quad (24)$$

Panaudojant (16-24) formules, sudaroma projekto pinigų srauto lentelė:

3.1 lentelė. Pirmojo pasirinkimo pagrindinės veiklos pinigų srauto lentelė

Metai, m	Papildomos pajamos	Sutaupomos lėšos	Papildomos išlaidos	Nusidėvėjimo sąnaudos	Papildomas pelnas prieš apmokestinimą	Pelno mokestis	Papildomas grynasis pelnas	Pagrindinės veiklos pinigų srautas
1m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
2m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
3m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
4m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
5m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
6m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
7m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
8m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
9m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3
10m.	39091,13	70323,4	84691,8	13800	10922,7	1638,41	9284,32	23084,3

3.2 lentelė. Projekto pinigų srautas

Metai, m	Pagrindinės veiklos pinigų srautas	Investicijos	Projekto pinigų srautas
0m.	-	-138000	-138000
1m.	23084,32	-	23084,32
2m.	23084,32	-	23084,32
3m.	23084,32	-	23084,32
4m.	23084,32	-	23084,32
5m.	23084,32	-	23084,32
6m.	23084,32	-	23084,32
7m.	23084,32	-	23084,32
8m.	23084,32	-	23084,32
9m.	23084,32	-	23084,32
10m.	23084,32	-	23084,32

3.3 lentelė. Investicijų atsipirkimo laikas ir perskaičiuota projekto vertė

Metai, m	Projekto pinigų srautas	Sukaupti projekto pinigų srautas	Perskaičiuoti į esamąją vertę projekto pinigų srautai (disk. n. - 6 %)	Sukaupti perskaičiuoti į esamąją vertę projekto pinigų srautai
0	138000,00	138.000,00	-138.000	-138.000
1	23084,32	114.915,68	21.778	-116.222
2	23084,32	-91.831,36	20.545	-95.677
3	23084,32	-68.747,04	19.382	-76.295
4	23084,32	-45.662,72	18.285	-58.010
5	23084,32	-22.578,40	17.250	-40.760
6	23084,32	505,92	16.274	-24.487
7	23084,32	23.590,24	15.352	-9.135
8	23084,32	46.674,56	14.483	5.349
9	23084,32	69.758,88	13.664	19.012
10	23084,32	92.843,21	12.890	31.903

Investicijų atsipirkimo laikas šiuo atveju apskaičiuojamas  $t=5+(-22578.4)/23084.32=5.98$  m.

3.4 lentelė. Ekonominių rodiklių rezultatai

<b>Atsipirkimo laikas, m</b>	5,98
<b>Modifikuotas atsipirkimo laikas, m</b>	7,63
<b>NPV, €</b>	31902,61
<b>PI</b>	1,23
<b>IRR, %</b>	10,64

## IŠVADOS

1. Išanalizavus galimus paskirstytųjų generatorių maitinimo šaltinių tipus, sistemos darbo reikalavimus, projektuojamai sistemai buvo pasirinkta reikalingos galios dujų turbina. Šie įrenginiai pasižymi stabilaus darbo charakteristikomis, jų technologija labai sparčiai tobulėja, o naudojama kuro žaliava pastaraisiais metais pinga.
2. Pagrindiniai paskirstytųjų generatorių šaltinių reikalavimai yra jų generuojamos ir maitinamos apkrovos galių santykiai, įtampų ir dažnių reikalavimai, prijungimas kaip įmanoma arčiau apkrovos.
3. Atlikus pirminius ekonominius vertinimus, iš dviejų nagrinėjamų dujų turbinų generatorių, tolimesniam nagrinėjimui buvo pasirinkta labiau ekonomiškai atsiperkanti HONNY „POWER HGGM500” dujų turbinos sistema. Po pirminio skaičiavimo įvertinant naudojamą žaliavą, įrenginio įsigijimą ir eksploataciją per 10 metų darbo ciklą, pasirinkta turbina leis uždirbti 109227,1 €. Tuo tarpu antroji turbina prie tų pačių sąlygų uždirbs 77493,5 €.
4. Sumodeliuotos pasirinktos EES sistemos apkrovos. Skaičiuojamoji pilnutinė apkrova yra lygi  $S_{\Sigma sk}=375,21$  kVA, apskaičiuota sistemos srovė  $I_{sk}=542,2$  A
5. Sukurtas imitacinis EES sistemos modelis naudojant MATLAB SIMULINK programą. Imitaciniame modelyje atkartoti apskaičiuoti apkrovų duomenys, įdiegtas pasirinktos galios dujų generatorius.
6. Modeliuojamoje sistemoje visais darbo režimais buvo gautas stabilus sistemos darbas. Įtampos ir dažnio svyravimai neviršijo leistinų standarto normų. Didžiausias įtampos nuokrypis buvo užfiksuotas sistemai dirbant autonominiu režimu. Šiuo režimu, matuojant įtampą prie prijungtos skaičiuojamosios apkrovos, buvo gauta 303 V įtampa. Išreiškus šį gautą rezultatą santykiniais dydžiais, tai sudarė 6,57 % nuokrypį nuo leistinos įtampos normos.
7. Atlikus projekto įgyvendinimo ekonominį vertinimą, buvo nustatyta, kad šio projekto atsipirkimo laikas yra 5,98 m. Įvertinus projekto esamosios vertės  $NPV=31902,61$  €, pelningumo indekso  $PI=1,23$  ir vidinės gražos normos  $IRR=10,64$  % ekonominius rodiklius, visi gauti rezultatai tenkino projekto įgyvendinimo sąlygas.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2015 metų veiklos ataskaita [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 10 d.] Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Veikla/Veiklos%20sritys/energijos-naudojimo-efektyvumas/EVE-priemoniu-diegimas-Civitta-2015.pdf>
2. Duong Quoc Hung, Student Member, IEEE, and Nadarajah Mithulananthan, Senior Member, IEEE, Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 06 d.] Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/profile/Duong\\_Hung3/publication/224217663\\_Multiple\\_Distributed\\_Generator\\_Placement\\_in\\_Primary\\_Distribution\\_Networks\\_for\\_Loss\\_Reduction/links/0f31752e44f61a2600000000/Multiple-Distributed-Generator-Placement-in-Primary-Distribution-Networks-for-Loss-Reduction.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Duong_Hung3/publication/224217663_Multiple_Distributed_Generator_Placement_in_Primary_Distribution_Networks_for_Loss_Reduction/links/0f31752e44f61a2600000000/Multiple-Distributed-Generator-Placement-in-Primary-Distribution-Networks-for-Loss-Reduction.pdf)
3. Elektros energijos gamintojų ir vartotojų elektros įrenginių prijungimo prie elektros tinklų tvarkos aprašas. PATVIRTINTA Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2012 m. liepos 4 d. įsakymu Nr. 1-127. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 10 d.] Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.F60E958E511C>
4. Įsakymas dėl vėjo elektrinių prijungimo prie Lietuvos elektros energetikos sistemos techninių taisyklių patvirtinimo. 2004 m. balandžio 6 d. Nr. 4-102 Vilnius. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 12 d.] Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.02072949F833>
5. G. Svinkūnas: Elektros energetika Paskaitų konspektas. Knyga, Kauno technologijos universitetas 2008 m. p. 37-55.
6. Lietuvos elektros energetikos sistemos automatinio generacijos valdymo nuostatai. PATVIRTINTA Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2012 m. rugsėjo 12 d. įsakymu Nr. 322. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 10 d.] Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.D8D3A988AD43>
7. Elektros energijos persiuntimo patikimumo ir paslaugų kokybės reikalavimai. PATVIRTINTA Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos 2009 m. birželio 11 d. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 01 d.] Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/acc/legalAct.html?documentId=TAR.5B49BD24F347>
8. Alessandro Ferrero Measuring electric power quality: Problems and perspectives. Science direct 41 2008. P. 121 – 129
9. R.P. Deksnys, R. Staniulis, D. Šulga, Paskirstytos generacijos integracija į elektros energetikos sistemą ir įtaka energijos tiekimo patikimumui (Ataskaita) 2007 m. gruodis. Kauno technologijos



- universitetas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 02 d. ] Prieiga per internetą: [http://www.lsta.lt/files/studijos/2007/7\\_Integr.pdf](http://www.lsta.lt/files/studijos/2007/7_Integr.pdf)
10. V. Ažubalis, A. Nargėnas, A. Bandza, A. Jonaitis, M. Ažubalis, Elektros energetikos sistemos statinių ir dinaminių charakteristikų nustatymas. (Ataskaita). 2002 m. Kauno technologijos universitetas. P. 75.
  11. Dominykas Tučkus, Gamtinių dujų rinkos tendencijos ir perspektyvos Lietuvoje. Litgas pokyčių ataskaita. 2015 m. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 02 d. ] Prieiga per internetą: [http://www.lsta.lt/files/events/2015-10-15\\_Valstybes%20konf/21\\_2015%2010%2015%20LITGAS.pdf](http://www.lsta.lt/files/events/2015-10-15_Valstybes%20konf/21_2015%2010%2015%20LITGAS.pdf)
  12. Killian McKenna, Student Member, IEEE, Andrew Keane, Senior Member, IEEE, Residential Load Modeling of Price Based Demand Response for Network Impact Studies. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 06 d. ] Prieiga per internetą: [http://researchrepository.ucd.ie/bitstream/handle/10197/7431/McKenna\\_\(2015\)\\_Residential\\_Load\\_Modelling\\_of\\_Price\\_Based\\_Demand\\_Response\\_for\\_Network\\_Impact\\_Studies.pdf?sequence=1](http://researchrepository.ucd.ie/bitstream/handle/10197/7431/McKenna_(2015)_Residential_Load_Modelling_of_Price_Based_Demand_Response_for_Network_Impact_Studies.pdf?sequence=1)
  13. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija nutarimas dėl gamtinių dujų tiekimo rinkos tyrimo rezultatų. 2016 m. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 06 d. ] Prieiga per internetą: [http://www.regula.lt/Docs/nutarimas\\_2016\\_55.pdf](http://www.regula.lt/Docs/nutarimas_2016_55.pdf)
  14. Gamtinių dujų birža. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 06 d. ] Prieiga per internetą: <https://www.getbaltic.lt/lt/charts/trades>
  15. Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos nutarimas dėl elektros energijos, pagamintos naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, tarifų nustatymo 2016 metų II ketvirčiui. 2016 m. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 08 d. ] Prieiga per internetą: [http://www.regula.lt/SiteAssets/teises-aktai/O3-51\\_RedakcijaNr\\_1.pdf](http://www.regula.lt/SiteAssets/teises-aktai/O3-51_RedakcijaNr_1.pdf)
  16. Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakymas dėl elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių patvirtinimo. 2012 m. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 06 d. ] Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/legalAct.html?documentId=TAR.6AF8895BD875>
  17. AB „ESO“ Tarifai, Kainos, Atsiskaitymai ir skolos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. gegužės 06 d. ] Prieiga per internetą: [http://www.eso.lt/lt/verslui/elektra\\_99/tarifai-kainos-atsiskaitymai-ir-skolos/apie-kainas.html](http://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/tarifai-kainos-atsiskaitymai-ir-skolos/apie-kainas.html)
  18. SHANMUGA V, JAYABARATHI T . Load frequency control using pid tuned ANN controller in power system. (2011), [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. gegužės 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5725341/>