



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Marius Medelis

**MAISTO PRAMONĖS ĮMONĖS RIBINIŲ ELEKTROS TINKLO
REŽIMŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas:
doc. dr. Audrius Jonaitis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**MAISTO PRAMONĖS ĮMONĖS RIBINIŲ ELEKTROS TINKLO
REŽIMŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos inžinerija (621H63003)

Vadovas:

doc. dr. Audrius Jonaitis

Recenzentas:

doc.dr. Mindaugas Ažubalis

Projektą atliko:

Marius Medelis

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir Elektronikos Fakultetas
(Fakultetas)

Marius Medelis
(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos inžinerija (621H63003)
(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Maisto pramonės įmonės ribinių elektros tinklo režimų tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Mariaus Medelio** baigiamasis projektas tema „Maisto pramonės įmonės ribinių elektros tinklo režimų 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)

Medelis Marius. Maisto pramonės įmonės ribinių elektros tinklo režimų tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Audrius Jonaitis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 53 psl.

SANTRAUKA

Šiame magistro baigiamajame darbe yra aprašomas maisto pramonės įmonės 10 kV tinklas su 3,125 MVA sinchroniniu generatoriumi ir pateikiami visi reikiami duomenys matematinio modelio sudarymui. Teorinėje dalyje aprašomi nuolatinės srovės ir statinių žadinimo sistemų principai bei jų matematiniai modeliai, apžvelgiamos naujausios rinkoje esančios statinės žadinimo sistemos. Taip pat baigiamajame darbe yra išnagrinėtas garo turbinos veikimo principas. Trečiame skyriuje, tiriamojoje dalyje, pateikiamas sukurtas elektros tinklo matematinis modelis. Darbe modeliuojamas maisto pramonės įmonės elektros tinklas su skirtingomis žadinimo sistemomis (nuolatinės srovės ir statine žadinimo sistemomis). Modeliavimo eigoje tiriami galimi avariniai režimai (linijų atsijungimai, didelių apkrovų praradimai ir kt.), jų įtaka sinchroninio generatoriaus darbui, vertinama, ar sinchroninis generatorius gali išlikti stabilus dirbant sava eiga. Baigiamajame darbe pateikiami grafikai ir modeliavimo rezultatai bei išvados ir pasiūlymai.

Reikšminiai žodžiai: Nuolatinės srovės žadinimo sistema, sinchroninis generatorius, automatinis įtampos reguliatorius, garo turbinos greičio reguliatorius, transformatorius, garo turbina

Medelis Marius. The marginal electrical grid mode investigation of food industry enterprise. Final project of master's degree / supervisor doc. dr. Audrius Jonaitis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Power Systems.

Kaunas, 2016. 53 pages.

SUMMARY

This master's thesis describes the food industry in the 10 kV network with 3.125 MVA synchronous generator and provides all relevant data to construct the mathematical model. The theoretical part describes the DC and static excitation systems principles and their mathematical models, overview the newest excitation system on the market static. The steam turbines operating principle is examined in the thesis. In the third section the mathematical model of electricity network is generated. The work is designed to simulate the food industry electrical network with different excitation systems (DC and static excitation systems). Possible emergency modes are also investigated (lines disconnected, high load losses, etc.). Their influence is analyzed if synchronous generator can remain stable operating its own course. All results are presented in graphs, conclusions and recommendations are also presented in the end of the thesis.

Keywords: DC excitation system, synchronous generator, automatic voltage regulator, steam turbine speed control, transformer, Steam turbine

TURINYS

<i>ĮVADAS</i>	8
<i>1. TIRIAMOJO TINKLO APŽVALGA</i>	10
<i>1.1 Tiriamosios elektrinės apžvalga</i>	11
<i>2. NEDIDELĖS GALIOS GENERATORIŲ ŽADINIMO SISTEMOS</i>	13
<i>2.1 Nuolatinės srovės žadinimo sistemų apžvalga</i>	15
<i>2.1.1 Nuolatinės srovės žadinimo sistemų modeliavimas</i>	16
<i>2.2 Statinės žadinimo sistemos</i>	19
<i>2.2.1 Statinių žadinimo sistemų modeliavimas</i>	20
<i>2.3 Nuolatinės srovės ir statinės žadinimo sistemų palyginimas</i>	22
<i>2.4 Šiuo metu esančios rinkoje statinės žadinimo sistemos</i>	23
<i>2.5 Garo turbinos ir matematinio modelio sudarymas</i>	25
<i>3. TIRIAMOJO ELEKTROS TINKLO MODELIO SUDARYMAS</i>	28
<i>3.1 Tyrimo metodika</i>	29
<i>3.2 Gauti modeliavimo rezultatai</i>	35
<i>3.2.1 Trumpalaikis įtampos dingimas</i>	36
<i>3.2.2 Vykdomi perjungimus</i>	40
<i>3.2.3 Didžiausio vartotojo atsijungimas</i>	44
<i>IŠVADOS IR PASIŪLYMAI</i>	48
<i>INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS</i>	49
<i>PRIEDAI</i>	50
<i>Priedas 1. Principinė maitinimo schema</i>	51
<i>Priedas 2. Tinklo matematinis modelis su DC žadinimo sistema</i>	52
<i>Priedas 3. Tinklo matematinis modelis su statine žadinimo sistema</i>	53

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

<i>1.1 pav. Senoji 1,1 MW garo turbina, įrengta 1935m.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2 pav. Pagrindinė CPP – 61, 10 kV skirstykla.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3 pav. Naujasis 3 MW generatorius su žadinimo sistema.....</i>	<i>12</i>
<i>2.1 pav. Generatoriaus žadinimo sistemos funkcinių blokų diagrama.....</i>	<i>14</i>
<i>2.1.1 pav. DC žadinimo sistema su elektromechaniniu įtampos reguliatoriaus stiprintuvu.....</i>	<i>16</i>
<i>2.1.1.1 pav. Nuolatinės srovės žadinimo sistemos modelis DCIA.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.1.2 pav. Blokinė žadinimo sistemos schema.....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1.3 pav. Žadinimo sistemos blokinė schema su laiko atidėjimu.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.1 pav. Statinio žadinimo sistemos principinė schema.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.1.1 pav. Statinės žadinimo sistemos matematinis modelis.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.1.2 pav. Statinės žadinimo sistemos matematinis modelis STIA.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.1.3 pav. Naudojamas statinės žadinimo sistemos modelis.....</i>	<i>22</i>
<i>2.4.1 pav. ABB Unitrol statinės žadinimo sistema su valdymo įrenginiais.....</i>	<i>23</i>
<i>2.4.2 pav. Basler statinės žadinimo sistemos valdiklis.....</i>	<i>24</i>
<i>2.4.3 pav. Basler statinės žadinimo sistemos blokinė schema.....</i>	<i>25</i>
<i>2.5.1 pav. Garo turbinos blokinė schema.....</i>	<i>26</i>
<i>2.5.2 pav. Klasikinės vieno veleno garo turbinos dinaminio modelio struktūrinė schema.....</i>	<i>26</i>
<i>2.5.3 pav. Išskleistas garo turbinos modelis.....</i>	<i>27</i>
<i>2.5.4 pav. Turbinos greičio reguliatoriaus matematinis modelis.....</i>	<i>27</i>
<i>2.5.5 pav. Garo turbinos su keturių masių veleno matematinis modelis.....</i>	<i>28</i>
<i>3. 1.1 pav. RLC linijos matematinis modelis su reikalingais parametrais.....</i>	<i>30</i>
<i>3.1.2 pav. Transformatoriaus matematinio modelio blokas.....</i>	<i>31</i>
<i>3.1.3 pav. Sistemos matematinio modelio blokas.....</i>	<i>31</i>
<i>3.1.4 pav. Apkrovos matematinio modelio blokas.....</i>	<i>32</i>
<i>3.1.5 pav. Sinchroninio generatoriaus matematinio modelio blokas.....</i>	<i>33</i>
<i>3.1.6 pav. Nuolatinės srovės žadinimo sistemos matematinis blokas.....</i>	<i>34</i>
<i>3.1.7 pav. Garo turbinos matematinio modelio blokas.....</i>	<i>34</i>
<i>3.2.1.1 pav. Generatoriaus statoriaus srovė, imituojant trumpalaikį įtampos dingimą.....</i>	<i>36</i>
<i>3.2.1.2 pav. Generatoriaus rotoriaus kampas žadinimo įtampos, imituojant įtampos dingimą.....</i>	<i>37</i>
<i>3.2.1.3 pav. 10 kV skirsysklų šynų įtampos, kai imituojamas trumpalaikis įtampos dingimas.....</i>	<i>39</i>
<i>3.2.1.4 pav. Tinklo ir generatoriaus apkrovos, kai imituojamas trumpalaikis įtampos dingimas.....</i>	<i>39</i>

3.2.2.1 pav. Generatoriaus statoriaus srovė, imituojant perjungimus.....	40
3.2.2.2 pav. Generatoriaus rotoriaus kampas žadinimo įtampos, imituojant perjungimus.....	41
3.2.2.3 pav. 10 kV skirtų šynų įtampos, imituojant perjungimus	42
3.2.2.4 pav. Tinklo ir generatoriaus apkrovos, imituojant perjungimus	43
3.2.3.1 pav. Generatoriaus statoriaus srovė, imituojant didžiausios apkrovos netekimą.....	44
3.2.3.2 pav. Generatoriaus rotoriaus kampas žadinimo įtampos, imituojant apkrovos netekimą.....	45
3.2.3.3 pav. 10 kV skirtų šynų įtampos, imituojant didžiausios apkrovos netekimą	46
3.2.3.4 pav. Tinklo ir generatoriaus apkrovos, imituojant didžiausios apkrovos netekimą.....	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

<i>2.3.1 Lentelė Nuolatinės srovės ir statinių žadinimo sistemų palyginimas.....</i>	<i>22</i>
<i>3.1.1 Lentelė Kabelinių linijų techniniai duomenys.....</i>	<i>29</i>
<i>3.1.2 Lentelė Galios transformatorių techniniai duomenys.....</i>	<i>30</i>
<i>3.1.3 Lentelė Sinchroninio generatoriaus techniniai duomenys.....</i>	<i>32</i>
<i>3.1.4 Lentelė Žadinimo sistemos techniniai duomenys.....</i>	<i>33</i>

IVADAS

Didžioji elektros energetikos sistemos dalis Lietuvoje yra sparčiai naujinama arba jau yra atnaujinta. Energetikos sistemoje yra diegiamos naujausios šiuo metu esančios technologijos, kurios leidžia nuotoliniu būdu valdyti elektros įrenginius bei stebėti elektros tinkle vykstančius procesus.

Elektros energetikos sistema yra labai didelis objektas todėl galima drąsiai teigti, kad dar yra nemažai įrangos, kuri yra techniškai pasenusi ar susidėvėjusi. Tokią įrangą sunku eksploatuoti, dalį jos nėra glimybės atnaujinti, nes yra sudėtinga rasti atsarginių dalių arba jos tiesiog nebegaminamos, senoji įranga gali kelti pavojų žmogaus gyvybei.

Tačiau tokia padėtis yra ne tik perdavimo ar skirstomuosiuose tinkluose, bet ir didelėse gamybinėse įmonėse, kurios vartoja nemažus elektros energijos kiekius ir dalį suvartojamos elektros energijos pasigamina pačios. Viena iš tokių įmonių – Marijampolės mieste esanti uždaroji akcinė bendrovė „Arvi cukrus“, kuri yra viena seniausiai dirbančių įmonių Lietuvoje.

1995 metais UAB „Arvi cukrus“ įmonėje vietoj senosios „AEG“ kompanijos pagamintos 1935 m. elektrinės buvo parvežta ir pastatyta garo turbinos sukama 3 MW „VEM“ kompanijos elektrinė. Garo turbina ir generatorius yra labai brangūs todėl norėdamos sutaupyti įmonės perka dėvėtus, bet patikimus įrengimus, kurios atnaujinama ir vėl naudoja elektros energijos gamybai. Tokia situacija yra ir UAB „Arvi cukrus“ įmonėje. Tačiau po elektrinės įdiegimo ir prijungimo prie tinklo buvo pastebėta, kad atsiradus stipresniems trikdžiams iš tinklo (įtampos svyravimai, trumpalaikiai dingimai), generatorius dirba ne sinchroniškai ir dėl to nutraukiamas elektros energijos tiekimas įmonei.

Vienas iš svarbiausių elementų be kurių negali vykti elektros energijos gamyba – žadinimo sistemos. Senosios žadinimo sistemos buvo valdomos rankiniu būdu. Tai leido palaikyti pastovią generatoriaus gnybtų įtampą bei reaktyviosios galios generavimą. Kai pirmą kartą buvo automatizuota įtampos kontrolė, ji buvo labai lėta, nuolat įsijungdavo apsaugos signalizacijos indikatoriai. Nuolatiniai perspėjamieji signalai trikdydavo operatorius. 1920 metų pradžioje buvo pripažinti greitai veikiantys reguliatoriai, kurie naudodami nuolatinės srovės signalus didino trumpalaikį stabilumą. 1960-ųjų metų pradžioje žadinimo sistema buvo patobulinta naudojant pagalbinius stabilizavimo signalus bei gnybtų įtampos klaidos signalus. Tai buvo atlikta tam, kad sistemoje atsiradus virpesiams būtų galima kontroliuoti generatoriaus gnybtų įtampą. Ši žadinimo sistemos kontrolės dalis yra vadinama elektros energijos tiekimo sistemos stabilizatoriumi.

Šiuolaikinę generatoriaus žadinimo sistemą sudaro daug sudėtinių elementų, kurie yra skirti tiekti nuolatinę srovę į generatoriaus apvijas bei reguliuoti jos dydį. Nuo sudėtinių elementų priklauso sinchroninis generatoriaus darbas. Žadinimo sistemos taip pat yra atsakingos už elektros sistemos

valdymo ir apsaugos funkcijas. Žadinimo sistemos turi užtikrinti nenutrūkstamą nuolatinį srovės tiekimą į generatoriaus apvijas esant trumpalaikėms perkrovoms, kontroliuoti gnybtų įtampą, užtikrinti stabilų darbą dirbant tinkle ar esant lygiagrečiam darbui su kitais agregatais, atstatyti stabilų darbą po gedimo, bendrauti su kitais jėgainės valdymo sistemos įrenginiais.

Šis darbas rašomas atsižvelgiant į anksčiau išsakytas pastabas ir norint išsiaiškinti, kokias priemones reikėtų taikyti, kad UAB „Arvi cukrus“ įmonės generatorius dirbtų stabiliai, nereaguotų į trikdžius, atsiradus poreikiui galėtų dirbti saloje.

Darbo tikslas:

Ištirti automatinio žadinimo reguliatoriaus parametrų įtaką gamybinės įmonės sinchroninio generatoriaus dinamikai.

Uždaviniai:

- Apžvelgti UAB „Arvi cukrus“ įmonės elektros tinklą ir įmonės sinchroninį generatorių;
- Apžvelgti literatūroje pateiktą informaciją apie žadinimo sistemas ir sinchroninius generatorius;
- Sumodeliuoti UAB „Arvi cukrus“ generatorių su dviem žadinimo sistemomis (nuolatinės srovės ir statine žadinimo sistema);
- Gauti generatoriaus ribinius darbo režimus įvykus trumpalaikiam įtampos dingimui įvadiniame kabelyje iš Kvietišio TP;
- Gauti generatoriaus ribinius darbo režimus vykdant perjungimą, kurio metu atjungiamas įvadas Nr.1 ir perjungiamas į įvadą Nr. 2;
- Gauti generatoriaus ribinius darbo režimus, kai yra prarandamas didžiausias elektros energijos vartotojas;
- Gautus rezultatus aptarti ir padaryti išvadas, pateikti pasiūlymus ką įmonei reikėtų padaryti siekiant išlaikyti stabilų sinchroninio generatoriaus darbą tinkle.

1. TIRIAMOJO TINKLO APŽVALGA

UAB „Arvi cukrus“ – tai seniausias ir didžiausias cukraus fabrikas Lietuvoje. Šis fabrikas priskiriamas prie ūkinės veiklos rūšies įmonių, perdirbančių augalinę žaliavą. Įmonė priskiriama prie II kategorijos elektros energijos vartotojų.

Kadangi fabrikas savo veiklą pradėjo 1931 m., dalis turimos įrangos yra sena, bet vis dar veikianti, nes yra prižiūrima kvalifikuotų darbuotojų. Tačiau didėjant fabriko našumui augo ir suvartojamos energijos poreikis. Atsižvelgiant į tai, kad baltojo cukraus gamyboje yra naudojamas garas, 1935 m. buvo sumontuota ir paleista 1,1 MW „AEG“ kompanijos pagaminta garo turbina (žr. 1.1 pav.). Šios turbinos generatoriaus techniniai duomenys yra nežinomi, žinoma tik tiek, kad generatoriaus gnybtų įtampa yra 6 kV. Ši turbina dirbo nepriklausomame tinkle.



1.1 pav. Senoji 1,1 MW garo turbina, kuri buvo įrengta 1935m.

Atsižvelgiant į šio fabriko galingumus ir siekiant užtikrinti nenutrūkstamą gamybą, buvo atvestos dvi 10 kV linijos iš netoliese esančios 110/10 kV Kvietišio pastotės. Įmonės elektros tinklą sudaro 4 – 10 kV bei 2 – 0,4 kV transformatorių pastotės ir skirstyklos.

CPP – 61 – tai pagrindinė 10 kV skirstykla, kurią sudaro 2 šynų sekcijos. Pradėjus domėtis šia skirstykla išaiškėjo, kad augant fabriko našumui buvo didinamas skirstyklos narvelių skaičius. Pačiuose pirmuosiuose dokumentuose nurodyta, kad skirstyklos pirmąją šynų sekciją sudarė 6 narveliai, o antrąją 5 narveliai. Vėliau prie kiekvienos šynų sekcijos buvo prijungta po 3 narvelius. Šioje skirstykloje vienas iš įvadų yra pagrindinis, o kitas – rezervinis, todėl yra sumontuota ARĮ

automatika, kuri avarijos metu perjungia įvadą ir dėl to nenutrūksta elektros energijos tiekimas. Tačiau įrengus turbiną dėl tiesioginio žadinimo, kuris dingus įtampai nustoja žadinti generatorių, buvo atjungta ARĮ funkcija sekcijiniame CPP – 61 pastotės narvelyje. Kadangi dingus žadinimui sutrinka generatoriaus sinchroninis darbas (atsiranda švytavimai), buvo nuspėta, kad ARĮ funkcija bus nebenaudojama. Pastaruoju metu skirstyklai skiriamas ypač didelis dėmesys, nes ji yra pirmoji vieta iš kurios vyksta elektros energijos skirstymas fabrikui. Atsižvelgiant į tai, kad fabriko našumas yra 2200 (t) cukrinių runkelių per parą ir pagaminama 280 (t) baltojo cukraus, įmonės našumą tikimasi padidinti iki 4000 (t) cukrinių runkelių per parą. Norint pasiekti tokį našumą, reikia didinti įrenginių gabaritus bei galingumus. Kadangi didinant našumą didėja suvartojamos elektros energijos poreikis, turi būti užtikrintas stabilus sinchroninio generatoriaus veikimas. O šiuo metu įvykus trumpam elektros energijos dingimui ar kitam tinklo gedimui generatorius veikia nesinchroniškai ir galiausiai sustoja.



1.1 pav. Pagrindinė CPP – 61, 10 kV skirstykla

1.2 Tiriamosios elektrinės apžvalga

Kadangi „AEG“ turbina techniškai susidėvėjo ir buvo nebenaši, 1995 m. buvo įrengta naujoji 3,3 MW „VEM“ kompanijos garo turbina. Ši turbina sėkmingai dirba ir dabar. Elektrinės pagaminama elektros energija parduodama į AB „Lesto“ valdomą tinklą. Lyginant su senąja,

nausios turbinos valdymas yra žymiai sudėtingesnis. Šios nedidelės galios elektrinės, kaip ir senosios, generatoriaus gnybtų įtampa yra 6 kV, kuri per aukštinantįjį transformatorių sukeliama iki 10 kV ir perduodama į pagrindinę CPP – 61 skirstyklą. Atsižvelgiant į tai, kad generatorius bus prijungiamas prie bendros sistemos, buvo įrengta sinchronizavimo kontrolė.



1.3 pav. Naujasis 3 MW generatorius su žadinimo sistema

UAB „Arvi cukrus“ generatorius yra savaiminio žadinimo (pavaizduota 1.3 pav.), kitaip sakant, turbina sukdamą generatoriaus rotorį kartu suka ir žadintuvą. Tiriamojo generatoriaus žadinimas gali būti rankinis arba automatinis. Esant rankiniam žadinimui generatoriaus žadinimas reguliuojamas reostatu, kuris turi variklinę pavarą su mygtukais. Šiuo atveju generatoriaus žadinimo srovė bus pastovi ir generatoriaus įtampa keisis nuo generatoriaus apkrovimo ir tinklo įtampos. Esant automatiniam žadinimui generatoriaus žadinimas reguliuojamas AŽR. Generatoriaus įtampa keičiama AŽR nustatymo reostatu ir bus pastovi prie įvairių generatoriaus ir tinklo režimų. AŽR yra kintama varža, kuri keičiasi nuo generatoriaus įtampos dydžio. Sumažėjus įtampai sumažėja AŽR varža, padidėja žadintuvo žadinimo srovė ir padidėja, atsistato generatoriaus įtampa.

2. NEDIDELĖS GALIOS GENERATORIŲ ŽADINIMO SISTEMOS

Sinchroninio generatoriaus veikimas be žadinimo sistemos nėra įmanomas, nes žadinimo sistema atlieka sinchroninio generatoriaus kontrolės bei apsaugos funkcijas. Elektrinėse yra įvairių rūšių tokių sistemų, kurios buvo įrengtos naudojant skirtingas kontrolės struktūras bei technologijas.

P. Kundur, Neal J. Balu ir Mark G. Lauby (1994) teigia, kad šios sistemos buvo sukurtos naudojant analoginę elektroniką, vėliau atsirado hibridinės sistemos (įskaitant analogines ir skaitmenines grandines), tačiau pastarąjį dešimtmetį žadinimo sistemų veikimo principas yra pagrįstas skaitmeniniais signalais. Tai leido geriau išnaudoti greičio privalumus, sistemos tapo lankstesnės bei atsirado nuotolinės prieigos galimybės [13].

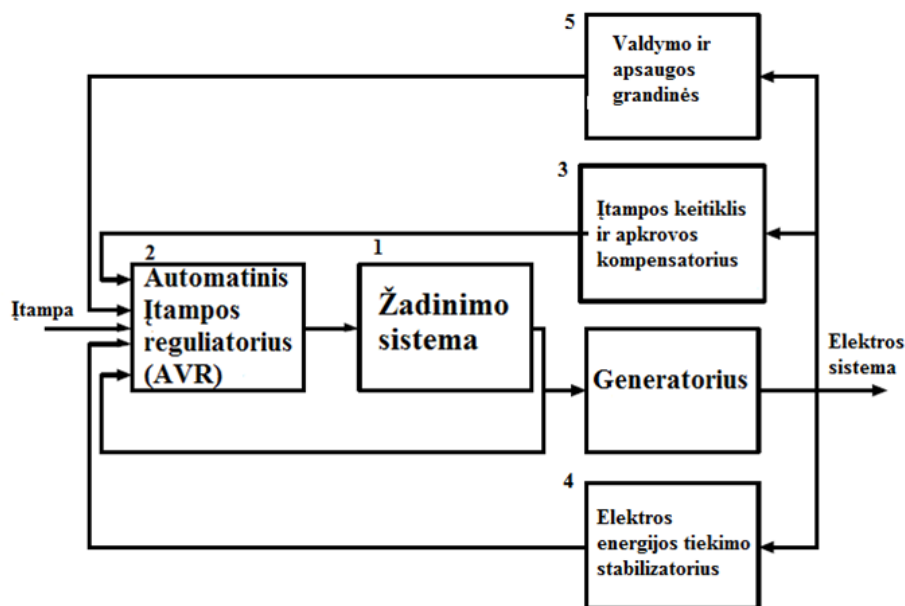
Šiuo metu yra įvairių tipų žadinimo sistemų modelių, kurie yra naudojami visame pasaulyje. Visos šiuo metu esančios žadinimo sistemos gali būti suskirstytos į dvi grupes:

- Nepriklausomo žadinimo. Žadinimo sistema nėra prijungta prie tinklo, todėl žadinimo parametrai neturi tiesioginio ryšio su tinklo parametrais, dalis turbinos mechaninės energijos naudojama žadinimo sistemai.
- Priklausomo žadinimo. Žadinimo sistema naudoja dalį generatoriaus galios arba žadinimo sistema prijungiama prie elektros tinklo.

Žadinimo įrengimai skirstomi į tris grupes pagal naudojamus maitinimo šaltinius:

- Nuolatinės srovės žadinimo sistemas;
- Kintamos srovės žadinimo sistemas;
- Statines žadinimo sistemas.

Atsižvelgiant į temos aktualumą šiame darbe bus nagrinėjamos dvi iš visų galimų žadinimo sistemų. Plėtojant šį darbą dėmesys bus skiriamas nuolatinės srovės žadinimo sistemai, kurią turi tiriamasis generatorius. Taip pat bus analizuojamas generatoriaus darbas, jei būtų naudojama statinė žadinimo sistema esant toms pačioms darbo sąlygoms.



2.1 pav. Generatoriaus žadinimo sistemos funkcinių blokų diagrama [13,12,10]

2.1 pav. matyti visi komponentai, kurie sudaro generatoriaus bloką. Šiame bloke yra daug įrenginių, kurie savo ruožtu tiesiogiai ar per kitus funkcinius blokus veikia generatoriaus darbą. 2.1 paveikslėlyje matyti, kad žadinimo sistema yra viena iš pagrindinių dalių, kuri prisideda prie generatoriaus darbo. Iš aukščiau pateikto paveikslo galima išskirti penkis blokus, kurie padeda generatoriui veikti tinkamai:

1. **Žadinimo sistema** – tai įrenginys, kuris užtikrina nuolatinės srovės perdavimą į sinchroninio generatoriaus žadinimo apviją. Dėl to besisukant induktoriui (rotoriui) sukuriama žadinimo srautas ir inkare (statoriuje) atsiranda vidinė įtampa.

2. **Automatinis įtampos reguliatorius (AVR)** – remiantis P. Kundur (1994), tai įrenginys, dėka kurio sustiprinami įeinantys valdymo signalai ir suformuojamas tinkamas žadinimo sistemos valdymas. Šio įrenginio pagalba galima reguliuoti bei stabilizuoti žadinimo sistemos funkcijas [13,12].

3. **Gnybtų įtampos keitiklis ir apkrovos kompensatorius** – remiantis M. L. Orozco ir H. Vasquez (2005), gnybtų įtampos keitiklis matuoja generatoriaus išėjimo gnybtų įtampą. Atsiradus nukrypimams ši įtampa tikrinama su užduotąja, kuri nurodo kokia turi būti įtampa ant generatoriaus išėjimo gnybtų. Palyginus šias įtampas paaiškėja ar esama įtampa yra didesnė ar mažesnė nei užduotoji [2,10].

4. **Elektros energijos tiekimo stabilizavimas** – suteikia papildomą įvesties signalą tam, kad reguliatorius galėtų stebėti maitinamos sistemos virpesius. Kai kurie įvesties signalai paprastai naudojami stebėti rotoriaus greičio nuokrypius, dažnio nuokrypius bei didinti galingumą.

5. *Apsaugos grandinės ir ribotuvai* – šių įrenginių kontrolė yra didelė, įrenginiai turi daug apsauginių funkcijų tam, kad pajėgumo ribos žadintuvams ir sinchroniniams generatoriams nebūtų viršijamos. Remiantis R. Attikas ir H. Tammoja (2007), šio bloko pagrindinės funkcijos – apriboti maksimalų žadinimą, gnybtų įtampą, magnetinio lauko sukuriamą srovę. Šias funkcijas galima atlikti stebint įtampos ir dažnio santykį [15].

2.1 Nuolatinės srovės žadinimo sistemų apžvalga

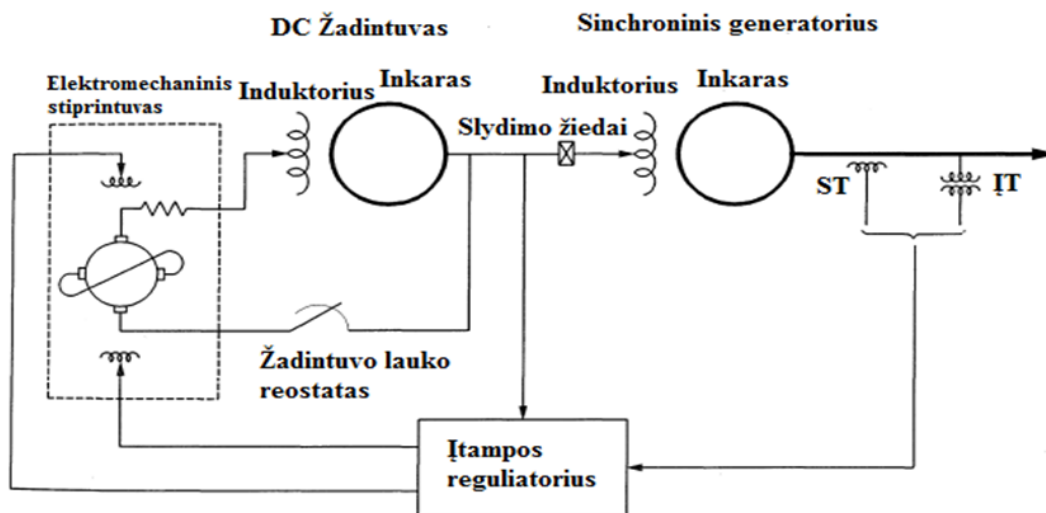
Nuolatinės srovės žadinimo sistemos kaip šaltinį naudoja nuolatinės srovės generatorius, kurie perduoda nuolatinę srovę į sinchroninio generatoriaus rotoriaus žadinimo apvijas per kontaktinius žiedus. Tokių sistemų žadintuvai yra dviejų tipų:

- a) atskiro žadinimo sistema (kai žadintuvą suka elektros variklis);
- b) savaiminio žadinimo sistema (kai žadintuvą suka tas pats velenas, kuris suka generatorių) – tai dažniausiai naudojamas žadintuvo sukimo būdas [16].

Pasak P. Kundur, nuolatinės srovės žadinimo sistemos buvo naudojamos ankstesnėse sistemose nuo 1920 iki 1960 metų vidurio. 1960-ųjų metų viduryje tokios sistemos buvo pakeistos kintamos srovės žadintuvais [13].

Nuolatinės srovės žadinimo sistemos šiuo metu nyksta, nes daugelis iš jų yra keičiamos lengviau valdomomis ir modernesnėmis kintamos srovės ar statinio žadinimo sistemomis. Kartais pakeičiami tik įtampos reguliatoriai į modernius bekontaktinius elektroninius įtampos reguliatorius. Tačiau nuolatinės srovės žadinimo sistemos vis dar naudojamos, nes su šiomis sistemomis gali būti atliekami modeliavimo ir stabilumo tyrimai.

Paveiksle Nr. 2.1.1 schematiškai pateikiama tipinė nuolatinės srovės žadinimo sistema su elektromechaniniu įtampos reguliatoriaus stiprintuvu. Ji sudaryta iš nuolatinės srovės kolektorinio žadintuvo, kuris generuodamas perduodamą nuolatinę žadinimo srovę per slydimo žiedus į pagrindines generatoriaus rotoriaus žadinimo apvijas, kuriose sukuria magnetinį lauką. Paveiksle Nr. 2.1.1 matyti, kad žadinimo srovės dydį induktoriuje valdo elektromechaninis stiprintuvas [15].



2.1.1 pav. DC žadinimo sistema su elektromechaniniu įtampos reguliatoriaus stiprintuvu [13]

Pateiktame paveiksle pavaizduotas jau praktiškai nenaudojamas elektromechaninis stiprintuvas, kuris priklauso specialaus tipo besisukantiems stiprintuvams dar žinomiems kaip nuolatinės srovės mašina su dvejomis poromis šepečių. Tokiose mašinose šepečiai yra išdėstyti kas 90 laipsnių. Viena pora yra (d) ašyje, kita pora – (q) ašyje.

Kompensavimo apvija yra nuosekli d ašies sukuriama apkrovos srautui ir priešinga d ašies inkaro srovei. Tokiu būdu panaikinamas inkaro reakcijos neigiamas grįžtamasis ryšys [13,10,12].

Jei elektromechaninis stiprintuvas sugenda arba jis nenaudojamas, žadintuvo magnetinis laukas kontroliuojamas rankiniu būdu keičiant žadintuvo lauko reostato varžą (didinat arba mažinant).

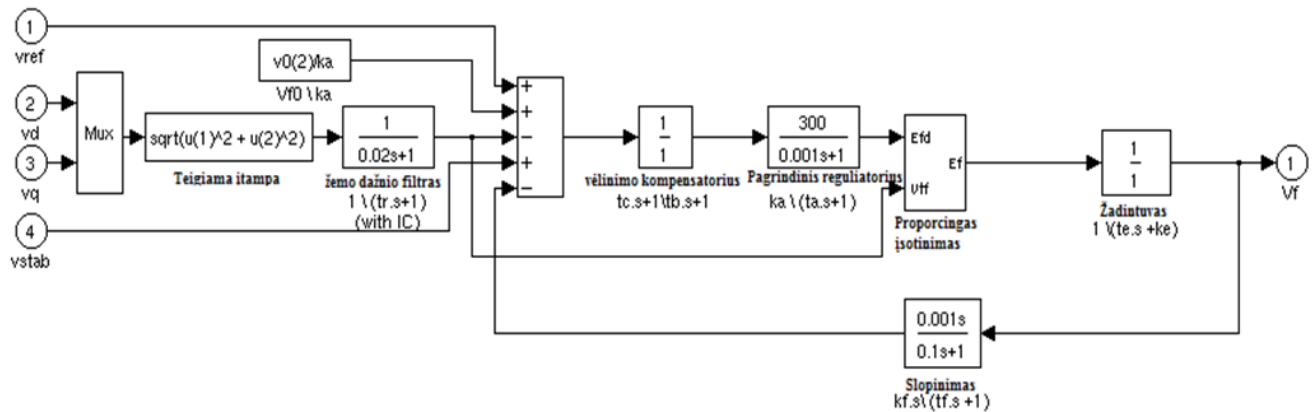
2.1.1 Nuolatinės srovės žadinimo sistemų modeliavimas

Modeliuojant elektrines itin didelis dėmesys yra skiriamas žadinimo sistemų matematiniam modeliui, todėl norint modeliuoti šias sistemas reikia atsižvelgti į labai aukštus techninius reikalavimus keliamus šioms sistemoms. Tokios sistemos modeliuojamos naudojant papildomas kontrolės ir apsaugos grandines, siekiant apsaugoti generatorių ir visas jo sistemas.

Matematiniam modeliui sudaryti šiame darbe naudojama „Matlab“ programinė įranga, todėl toliau bus kalbama apie šiai programai galimus naudoti matematinius modelius bei pačios programinės įrangos jau sukurtus matematinius modelius.

Kadangi matematinis modelis bus sudaromas „Matlab“ aplinkoje, galima apžvelgti pačioje programoje, „Simulink“ pateikiamus pavyzdžius. Paveiksle Nr. 2.1.1.1 pateikiamas elementarus

nuolatinės žadinimo sistemos modelis. Iš paveikslo matyti, kad pagrindiniai naudojami elementai, kurie sudaro žadinimo sistemos bloką, yra įtampos reguliatorius ir pats žadinimo įrenginys.



2.1.1.1 pav. Nuolatinės srovės žadinimo sistemos modelis DC1A [4]

Čia: V_{ref} – Generatoriaus gnybtų įtampos vertė; V_d – d ašies atžvilgiu gnybtų įtampa; V_q – q ašies atžvilgiu gnybtų įtampa; V_{stab} – elektros sistemos stabilizatoriaus įėjimas, teikiantis papildomus elektros sistemos stabilizavimo virpesius; V_f – magnetinio lauko įtampa, tiekiamą į sinchroninės mašinos bloką.

Nuolatinės srovės žadinimo sistemą pagal šį modelį galima aprašyti žadintuvo ėjimo įtampos V_{fd} ir reguliatoriaus išėjimo įtampos e_f santykio funkcija.

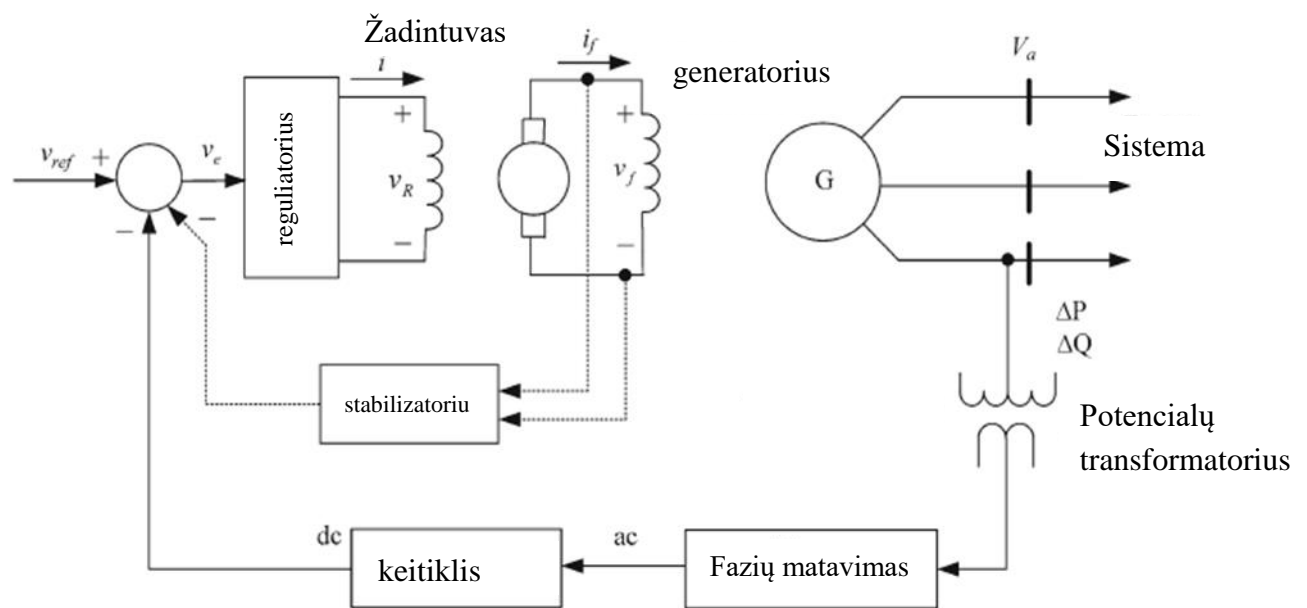
$$\frac{V_{fd}}{e_f} = \frac{1}{K_e + sT_e}$$

Paveiksle Nr. 2.1.1.1 sinchroninio generatoriaus žadinimą aprašo šešios funkcijos:

1. **Laidų-vėlinimo filtras, laikas konstanta** – čia laikas T_r konstanta, sekundėmis. Taip aprašomas statoriaus gnybtų įtampos keitiklis;
2. **Regulatoriaus stiprinimas, laikas konstanta** – čia reguliatorius stiprinimas K_a ir laikas T_a konstanta (s);
3. **Žadintuvas** – stiprinimas K_e ir laiko konstanta T_e (s);
4. **Trumpalaikis stiprinimo mažinimas** – T_b ir T_c laiko konstantos (s);
5. **Slopinimo filtro stiprinimas, laikas konstanta** – stiprinimas K_f ir laikas T_f konstanta (s). Šiais koeficientais apibrėžiamas išvestinis grįžtamasis ryšys;
6. **Regulatoriaus išėjimai ir stiprinimas** – ribos E_{fmin} ir E_{fmax} yra nustatomos remiantis įtampos reguliatoriaus išėjimais. Viršutinė riba gali būti pastovi (konstanta) [4].

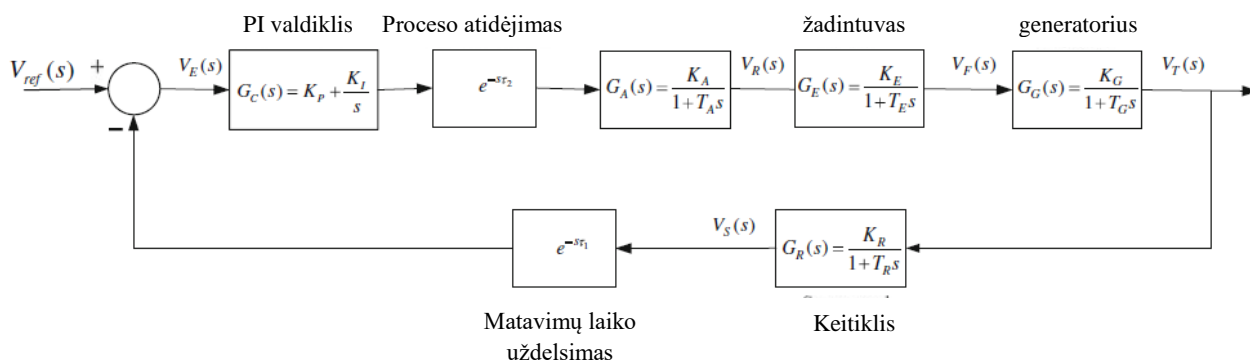
Pasak Jerkovic, Vedrana, Miklosevic, Kresimir ir Zeljko, „Sinchroninių mašinų modeliai“ (*“Linear Models of the Synchronous Machine.” Power System Control and Stability (2009)*), 2.1.1.1 pav. pavaizduotą modelį (DC1A) galima taikyti, kai generatorius pats save žadina, t.y, žadinimo sistema standžiai sujungta su generatoriaus inkaru. Šios sistemos pagrindas yra tas, kad įtampos reguliatorius nuolat veikia bei išėjimo įtampa yra lygi įėjimo įtampai [10].

Indijos mokslininkas B. Kalyan Kumar savo knygoje „Galios sistemų stabilumas ir valdymas“ (*„Power system stability and control“ (2009)*) pateikia patobulintą nuolatinės srovės žadinimo sistemos modelį, kuriame yra laiko atidėjimas. Pasak šio autoriaus, tokios žadinimo sistemos veikimo principas pagrįstas apkrovos padidėjimu elektros tinkle, ypač kai yra reikalaujama reaktyviosios galios, todėl nuolatos yra stebimas įtampos kritimo reiškinys ant generatoriaus gnybtų. Įtampos kritimas išmatuojamas pasinaudojus potencialų transformatoriumi. Išmatuota įtampa sulyginama su nuolatine įtampa. Sulyginęs šias įtampas valdikis išduoda analoginį signalą, kurio pagalba yra valdomas žadintuvas (žr. 2.1.1.2 paveiksle). Gavęs tam tikrą analoginį signalą žadinimo įrenginys valdo žadintuvo lauką ir katu padidina įtampą.



2.1.1.2 pav. Blokinė žadinimo sistemos schema [9]

Dažnio ir žadinimo sistemų kontrolės linijiniai modeliai yra naudojami tam, kad būtų galima analizuoti sistemos dinaminis procesus bei norint parinkti tinkamą arba naujai suprojektuoti valdiklį. 2.1.1.3 paveiksle pateikiamas generatoriaus žadintuvo kontrolės sistemos matematinis modelis su delsa [9].

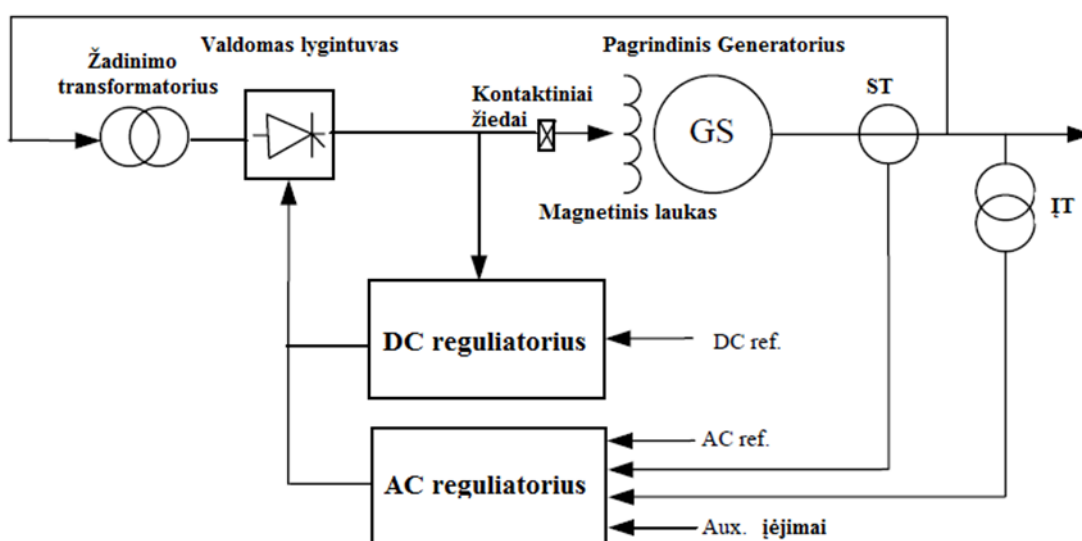


2.1.1.3 pav. Žadinimo sistemos blokinė schema su laiko atidėjimu [9]

2.2 Statinės žadinimo sistemos

Statinės žadinimo sistemos – tai vienos moderniausių ir efektyviausių iš šiuo metu esančių žadinimo sistemų. Dažniausiai šiomis sistemomis atnaujinamos morališkai pasenusios arba susidėvėjusios sinchroninių generatorių žadinimo sistemos. Visi šiose sistemose esantys komponentai yra statiniai ar stacionarūs.

Šiose sistemose gali būti dviejų tipų statiniai lygintuvai: valdomi ir nevaldomi. Šie lygintuvai tiesiogiai tiekia sužadavimo srovę į pagrindinį sinchroninį generatorių per slydimo žiedus. Paveiksle Nr. 2.2.1 matyti, jog žadinimo srovę į generatorių paduodama per pagalbinių žadinimo transformatorių, iš šio transformatoriaus gauta AC srovė valdomojo lygintuvo pagalba išlyginama ir perduodama į pagrindinio generatoriaus žadinimo apviją [13,17].



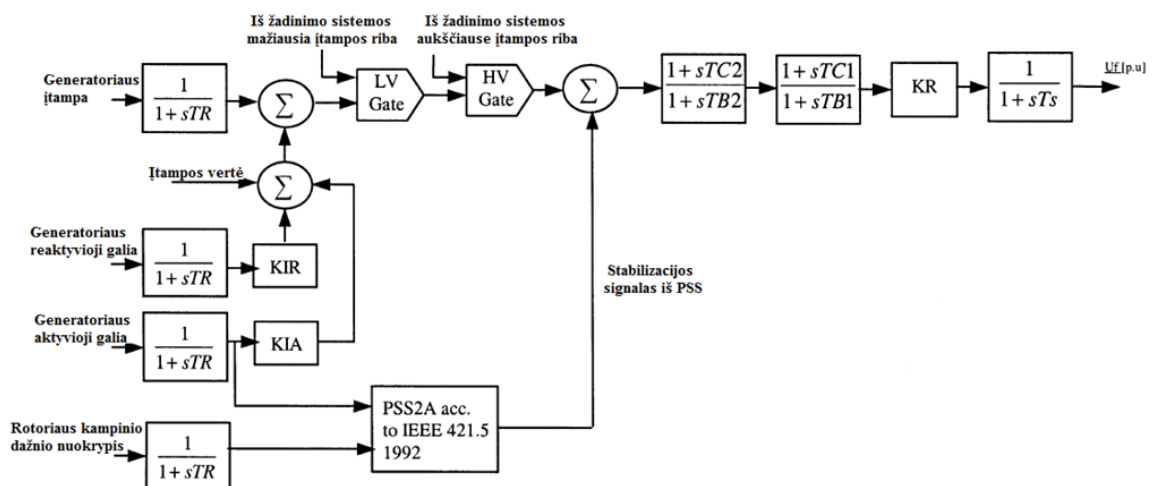
2.2.1 pav. Statinio žadinimo sistemos principinė schema [13,17]

Statinėse žadinimo sistemose laiko konstanta palyginus su kitomis sistemomis labai maža. Tokių sistemų maksimali žadinimo sistemos išėjimo įtampa priklauso nuo AC įtampos. Tai reiškia, kad esant sistemos gedimui ir padidėjus įtampai ant generatoriaus išėjimo gnybtų padidėjusių įtampą galima sumažinti mažinant žadinimo sistemos įtampą [13,17].

Apžvelgus literatūroje pateiktą informaciją susisijusią su šio tipo žadinimo sistemomis galima daryti išvadą, jog dideli generatoriai, kurie turi tokio tipo žadinimo sistemas, veikia ganai gerai, kai jie yra prijungti prie didelių elektros sistemų. Tačiau tokios žadinimo sistemos nėra efektyvios, jei generatorius yra prijungiamas prie nedidelio pramonės tinklo, kurio gedimų pašalinimo laikotarpis yra ilgas.

2.2.1 Statinių žadinimo sistemų modeliavimas

Statinės žadinimo sistemos matematinis modelis pateikiamas 2.2.1.1 paveiksle.



2.2.1.1 pav. Statinės žadinimo sistemos matematinis modelis [17]

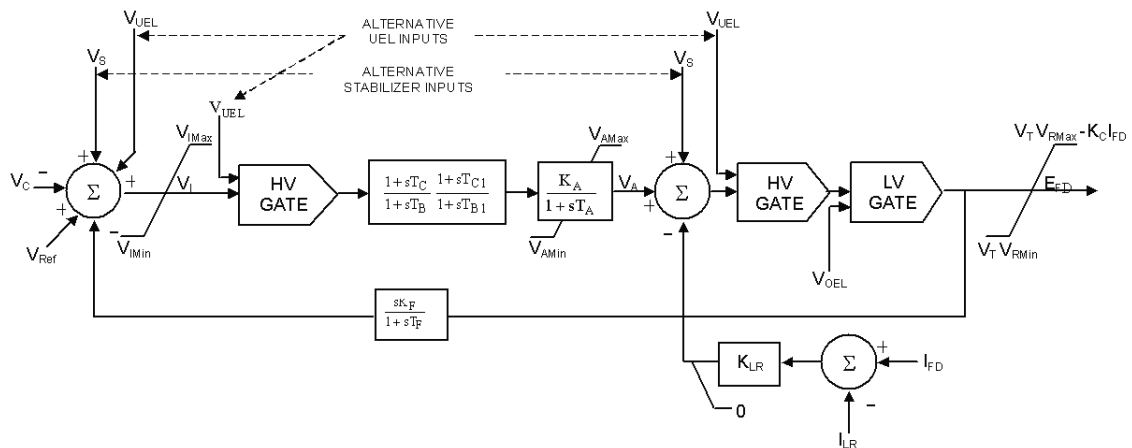
2.2.1.1 paveiksle yra įvesta keletas blokų su žymėjimais: KIR – reaktyviosios galios kompensacijos faktorius, KIA – aktyviosios galios kompensacijos faktorius, KR – nusistovėjęs stiprinimas, TB1 – valdymo sistemos pirmoji vėlavimo trukmės konstanta, TB2 – valdymo sistemos antroji vėlavimo trukmės konstanta, TC1 – valdymo sistemos pirmojo ciklo įvykdymo laiko konstanta, TC2 – valdymo sistemos antrojo ciklo įvykdymo laiko konstanta, U_{p+} ir U_{p-} – atitinkamai automatinio įtampos reguliatoriaus (AVR) teigiamos ir neigiamos išėjimo įtampos vertės.

Žadinimo sistema taip pat apima ir generatoriaus galios stabilizavimo funkciją (PSS). PSS modelis dar vadinamas dvigubo įėjimo stabilizavimo modeliu. Naudojant PSS bloką į generatoriaus rotorį įvedami virpesių slopinimo signalai. Dažniausiai naudojami PSS įėjimo signalai, kurie yra

rotoriaus greičio nuokrypis, didėjanti galia bei dažnio nuokrypis. Tai efektyvus būdas palaikyti sistemos stabilumą naudojant nedaug įėjimo signalų [3].

Straipsnyje „Sinchroninių generatorių žadinimo sistemų modeliai“ („*Excitation system models of synchronous generators*“) autoriai išskiria septynis statinių žadinimo sistemų modelių tipus. Šiame darbe bus naudojamas ST1A matematinis modelis. Tai žadinimo sistema, kai žadinimo srovė sukuriama naudojant valdomus arba nevaldomus lygintuvų tiltelius. Tokios žadinimo sistemos įtampą gauna tiesiogiai nuo sinchroninio generatoriaus gnybtų per žeminantįjį transformatorių. Dauguma šių sistemų toleruoja neigiamą žadinimo įtampą, tačiau tik kelios gali generuoti neigiamą žadinimo srovę. Neigiamos žadinimo srovės generavimas šioms sistemoms yra didelis privalumas, nes atsiradus neigiamai žadinimo srovei ir suveikus apsaugoms labai greitai nutraukiamas sinchroninio generatoriaus žadinimas. Šios srovės atsiradimas yra ženklas, kad įvyko gedimas ir kol jis nebus pašalintas žadinimas nevyks.

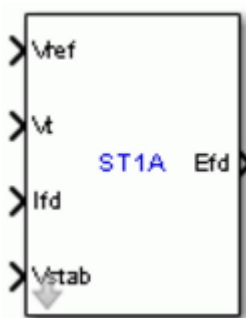
ST1A modelio žadinimo sistemose naudojamas valdomų lygintuvų tiltelis. Šio tipo žadinimo sistemų laiko konstanta yra labai maža, todėl stabilizavimo funkcija nenaudojama. Ši funkcija gali sumažinti trumpalaikius trikdžius atsirandančius dažnio stiprintuve bei įtampos šuolius ant generatoriaus gnybtų. 2.1.2.1.2 paveiksle pateikiamas pavyzdys yra universalus norint sumažinti trumpalaikius trikdžius. Tam naudojamos laiko konstantos TB ir TC. Čia taip pat naudojamas įtampos reguliatorius, kuris reaguoja į įtampos padidėjimą ant generatoriaus gnybtų. Norint užtikrinti nominalią įtampą naudojamos K_A ir T_A konstantos [3,10,18].



2.2.1.2 pav. Statinės žadinimo sistemos matematinis modelis ST1A [18]

2.2.1.3 paveiksle pateikiamas šios sistemos modelio blokas, kuris bus naudojamas šiame darbe. Paveiksle vaizduojami trys įėjimo signalai ir vienas išėjimo signalas: V_{ref} – kontrolinis dydis, statoriaus gnybtų įtampa, V_t – matuojamas dydis, generatoriaus išduodama gnybtų įtampa, I_{fd} –

išmatuota generatoriaus statoriaus sukuriama srovė, E_{fd} – žadintuvo sukuriamo lauko įtampa įvertinus įvesties dydį V_f .



2.2.1.3 pav. Naudojamas statinės žadinimo sistemos modelis [3]

2.3 Nuolatinės srovės ir statinės žadinimo sistemų palyginimas

Šiame darbe tiriamos nuolatinės srovės ir statinė žadinimo sistemos, todėl žemiau pateiktoje lentelėje nurodomi šių žadinimo sistemų parametrai. DC ir statinės žadinimo sistemos turi savo pranašumus ir trūkumus, pagrindiniai iš jų yra pateikti pirmoje 2.3.1 lentelėje.

2.3.1 lentelė. Nuolatinės srovės ir statinių žadinimo sistemų palyginimas

Parametras	Nuolatinės srovės žadinimo sistemos	Statinės žadinimo sistemos
Žadinimo srovės tiekimas	mažas transformatorius	transformatorius
Sistemos gabaritai	Vidutinių gabaritų	Palyginus mažų gabaritų
Reakcijos laikas	lėtas	labai greitas
Reikalaujantys priežiūros komponentai	kontaktiniai žiedai ir komutatorius	kontaktiniai žiedai
Žadinimas	vidutinis	greitas

Taip pat labai svarbu paminėti, kad nuolatinės žadinimo sistemos yra mažiau priklausomos nuo įtampos svyravimų, tačiau jų kontrolės signalai turi mažesnius stiprinimo ir reakcijos laikus.

Statinių žadinimo sistemų privalumai yra greitas reakcijos laikas bei pačios sistemos dydis. Šios sistemos turi didesnę žadinimo srovės bei įtampos stiprinimo galimybę nei DC sistemos. Kartais statinių sistemų stiprinimas būna per didelis todėl prie tokių sistemų montuojami srovės ribotuvai, nes statinės žadinimo sistemos turi didelį įtampos verčių diapazoną. Tačiau šios sistemos turi vieną ženklų trūkumą lyginant su nuolatinės srovės sistemomis. Statinių sistemų energijos šaltinis yra pats

generatorius todėl galima teigti, kad sinchroninė mašina pati save žadina. Dėl to norint paleisti tokią sistemą iš pat pradžių reikia papildomo maitinimo šaltinio, kuris sužadintų sinchroninį generatorių. Naudojant nuolatinės srovės žadinimo sistemas šių problemų nėra [4,5].

2.4 Šiuo metu rinkoje esančios statinės žadinimo sistemos

Internetu yra gamintojų, kurie siūlo pažangias statines žadinimo sistemas. Galima išskirti dvi žymiausias kompanijas, kurios orientuojasi į energetikos objektus ir nuolat tobulina savo įrangą. Tai „Siemens“ ir „ABB“. Šiame darbe bus apžvelgiamos šių dviejų kompanijų sukurtos statinės žadinimo sistemos ir jų valdymo įtaisai „Siemens – Basler“ ir „ABB – Unitrol“.

ABB siūlo daug sprendimų susijusių su nedidelės galios sinchroninių generatorių žadinimu. Viena iš tokių sistemų, kuri yra naudojama automatizuojant ar atnaujinant pasenusias įrangas yra „UNITROL F“ žadinimo sistema. Šio tipo sistemos yra vieno kanalo žadinimo įrengimai su skaitmeniniu įtampos reguliatoriumi, kuris pilnai kontroliuoja tiristorių tiltelio darbą ir žadinimo nutraukimo funkciją suveikus rotoriaus viršįtampių apsaugoms. Naudojant unikalią programinę įrangą įtampos reguliatorius kontroliuoja $\cos \phi$ arba reaktyviosios galios reguliavimą atsižvelgiant į valdymo būdą bei sinchroninio generatoriaus apkrovą. [18]



2.4.1 pav. ABB Unitrol statinės žadinimo sistema su valdymo įrenginiais [18]

Didelės galios sinchroniniai elektros varikliai ir generatoriai naudojami daugelyje pramonės šakų, pvz.: popieriaus, metalo, cemento, cukraus, naftos ir kitose pramoninėse įmonėse. Diegiant sinchroninius generatorius, kurie leidžia sumažinti elektros energijos kaštus susidariusius dėl sudėtingo gamybos proceso ir norint užtikrinti šių įrengimų stabilų darbą elektros tinkle, reikalinga įdiegti automatinius įtampos reguliavimo įtaisus (AVR). ABB, atsižvelgdama į tokių sistemų poreikį,

siūlo automatinius įtampos reguliatorius, kurie ne tik kontroliuoja generatorių gnybtų įtampą, bet ir be generatoriaus žadinimo gali atlikti ir kitas užduotis:

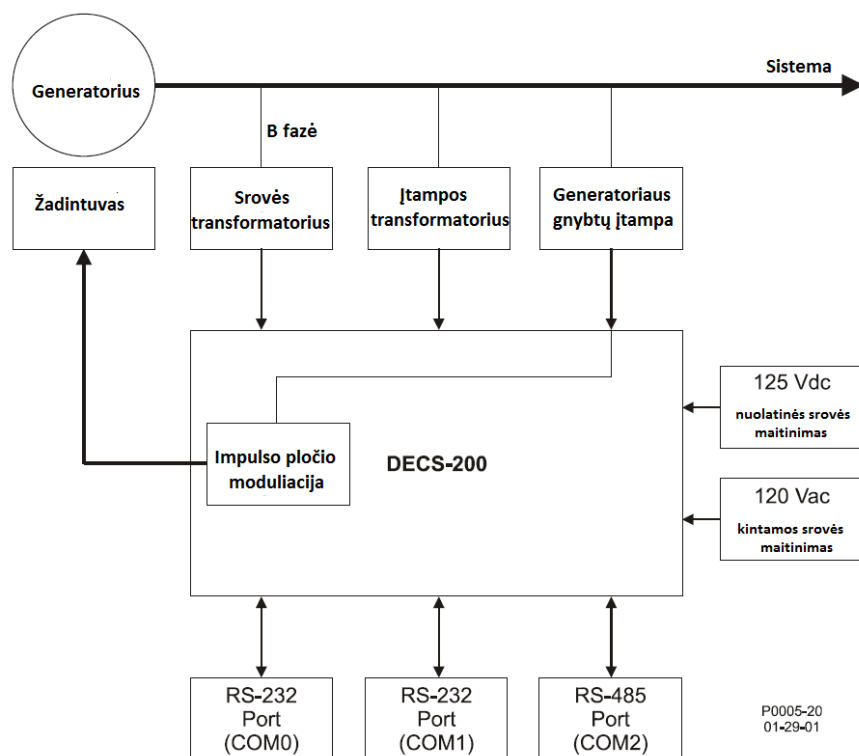
- Atriboti rotoriaus ir statoriaus darbinės srovės (neleidžia viršyti maksimalių ar minimalių verčių);
- Atriboti generatoriaus darbą įvykus gedimui;
- Vykdo $\cos \phi$ ar reaktyviosios galios generacijos valdymą;
- Stebėti sistemos darbą nuotoliniu būdu, naudojant programinę įrangą;
- Naudojant rankinį valdymą atlikti techninės priežiūros ir eksploatacijos darbus [18].

Kita kompanija siūlanti statinę žadinimo sistemą su valdikliu yra Siemens. Pasak Siemens kompanijos, jų gamina žadinimo sistema yra lankstus ir lengvai programuojamas mikroprocesorinis produktas DECS – 200. Šio tipo sistemose yra numatyta daug funkcijų, kurios leidžia atriboti, kontroliuoti bei apsaugoti sinchroninį generatorių nuo pažeidimų ar netinkamo veikimo. Pasak gamintojo, tai suteikia galimybę šiuos įrenginius pritaikyti įvairiems generatoriams [1].



2.4.2 pav. Basler statinės žadinimo sistemos valdiklis [1]

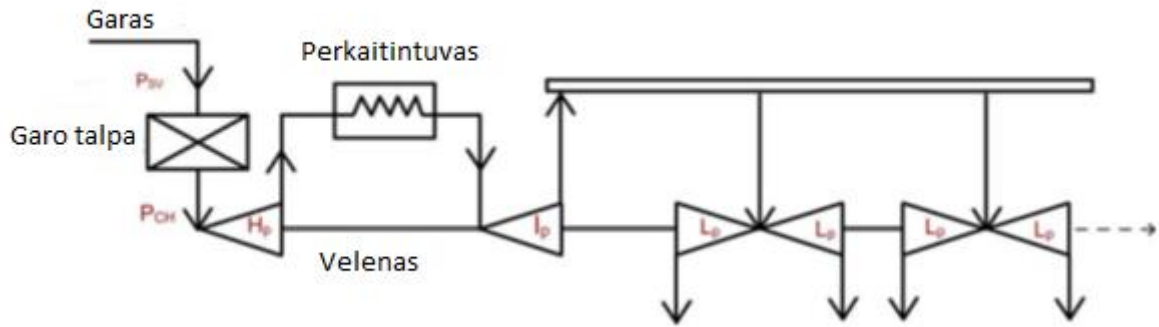
„Basler“ skaitmeninė žadinimo kontrolės sistema yra mikroprocesorinis prietaisas skirtas žadinimo srovės reguliavimui. Automatinio valdymo sistemos parametrai leidžia plačiai panaudoti DECS – 200 ir suteikia daugiau lankstumo sužadinimo sistemos optimizavimui. Ši sistema pavaizduota 2.4.2 paveiksle. Valdymo prietaisas turi informacijos surinkimo kontaktus, kurie gali būti panaudoti generatoriaus darbui stebėti. Tai leidžia efektyviau išnaudoti tam tikrą kompiuterinę programinę įrangą, dėka kurios galima visiškai valdyti ir stebėti generatoriaus darbą nuotoliniu būdu bei pačioje sistemoje. Tai leidžia sistemą padaryti efektyvesnę. 2.4.3 paveiksle pavaizduota šios sistemos blokinė schema [8].



2.4.3 pav. Basler statinės žadinimo sistemos blokinė schema

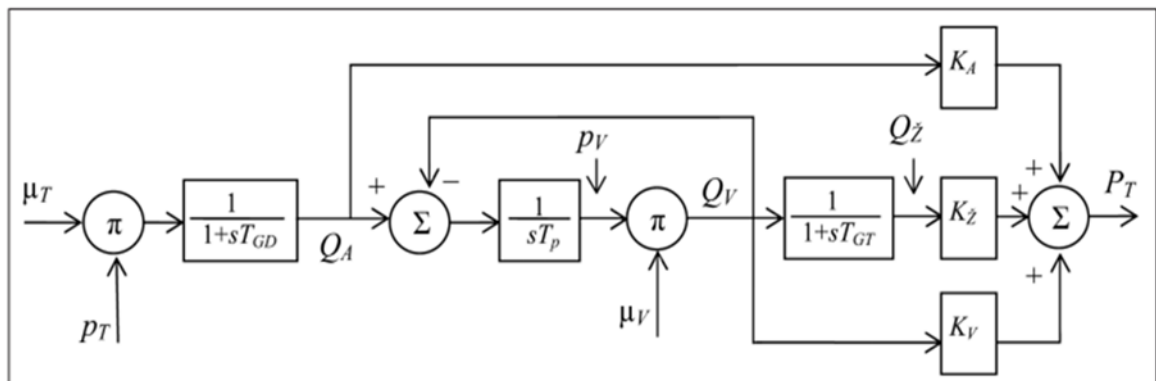
2.5 Garo turbinos ir matematinio modelio sudarymas

Garų turbina – tai vienas iš pagrindinių ir pirminių įrenginių skirtų sukurti generatorių. Kitaip sakant, įrenginys vandens garo energiją paverčia mechanine energija, o mechaninę energiją elektros energija. Garo gamybos sistemą sudaro kaitintuvas (boileris), kuris generuoja tam tikros temperatūros garą, garo surinkimo talpa iš kurios garas per vožtuvus perduodamas į turbiną. Ši sistema pavaizduota 2.5.1 paveiksle. Garas iš garo surinkimo talpos iš pradžių per aukštos temperatūros ir aukšto slėgio vožtuvą yra perduodamas į turbinos mentes, kurių pagalba sukuriama kinetinė energija sukanti pačią turbiną sujungtą per veleną su generatoriumi. Garo vožtuvo padėtis yra proporcinga turbinos mechaninei galiai. Tik dalis garo, perduodama į aukšto slėgio turbiną paverčiama mechanine energija. Norint sumažinti nuostolius likusi garo dalis perduodama į perkaitintuvą, kuriame garas perkaitinamas ir sukeliama slėgis. Perkaitintas ir suslėgtas garas perduodamas į žemo slėgio turbiną, kuri savo ruožtu suka veleną sujungtą su generatoriumi. Visos turbinos turi išvystyti bendrą sinchroninį greitį, t.y. 3000 apsisukimų per minutę, norint, kad generatoriaus dažnis būtų 50 Hz [10,19].



2.5.1 pav. Garo turbinos blokinė schema [10]

G. Chown, J. Feltes, F. Modau, P. Pourbeik ir S. Sterpu techniniame pranešime „Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies“ pateikia klasikinės vieno veleno garo turbinos sudarytos iš aukšto, vidutinio ir žemo garo slėgio cilindrų, tarpinio garo perkaitintuvo, garotakio tarp vidutinio ir žemo slėgio cilindrų bei turbinos pagrindinio reguliavimo ir vidutinio garo slėgio reguliavimo vožtuvų dinaminį modelį. Šio matematinio modelio struktūrinė schema pateikta 2.5.2 paveiksle.

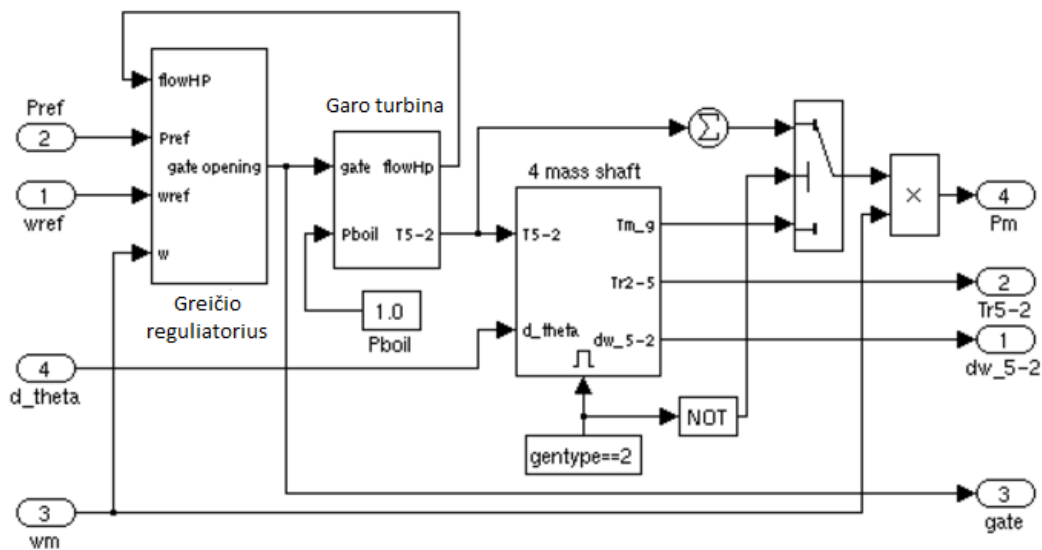


2.5.2 pav. Klasikinė vieno veleno garo turbinos dinaminio modelio struktūrinė schema [19]

2.5.2 paveiksle schemoje esančios reikšmės p_T , p_V , μ_T , μ_V – garo slėgiai turbinos įėjime ir tarpiniame garo perkaitintuve bei pagrindinio reguliavimo vožtuvo ir vidutinio slėgio reguliavimo vožtuvų plotai; T_{GD} , T_p , T_{GT} – garo dėžės, tarpinio garo perkaitintuvo ir garotakio tarp vidutinio ir žemo slėgio cilindrų laiko pastoviosios; Q_A , Q_V , Q_Z – aukšto, vidutinio ir žemo slėgio turbinos cilindrų garo srautai. Didžiausios šilumą akumuliuojančios talpos yra tarpiniame garo perkaitintuve todėl pasikeitus reguliuojančių vožtuvų padėčiai tik dalis galios su nedidele inercija perduodama turbinos velenui. [19]

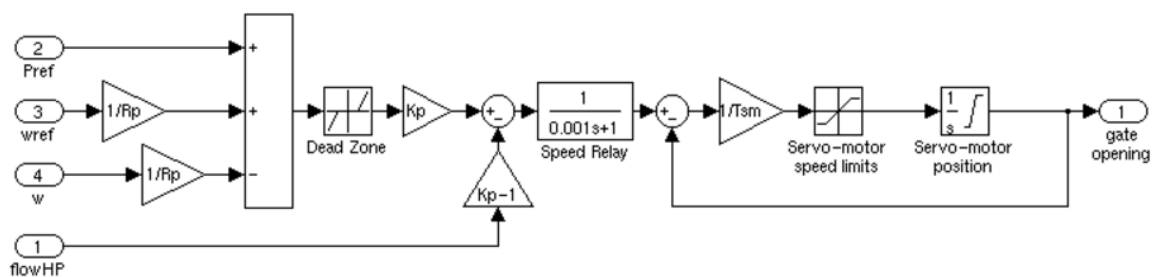
Programinės įrangos „Matlab“ techninėje dokumentacijoje galima rasti garo turbinos matematinį modelį. Išskleidus šį modelį matyti, kad tipinė garo turbina yra aprašoma trimis

pagrindiniais blokais: greičio regulatoriumi, keturių pakopų garo turbina ir keturių masių velenu (žiūrėti 2.5.3 paveikslą) [2].



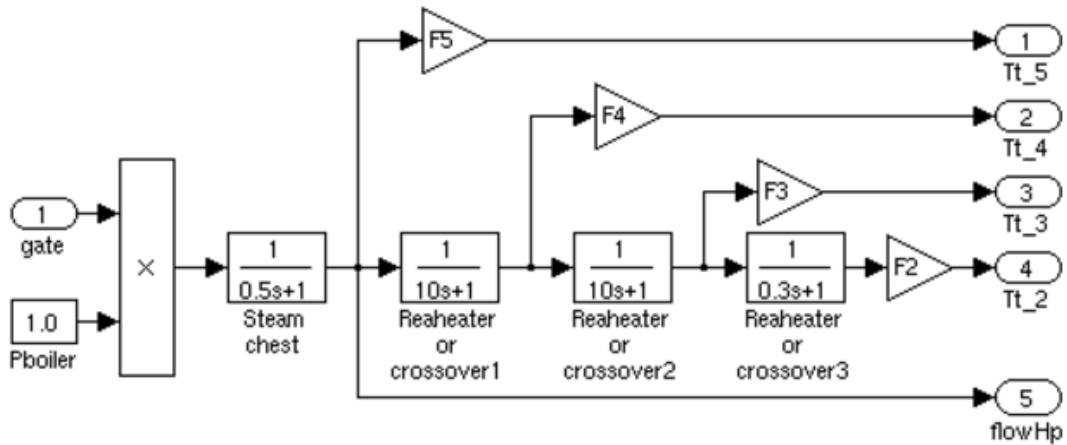
2.5.3 pav. Išskleistas garo turbinos modelis [2]

Garo turbinos veleno sukimosi greitį reglamentuoja proporcingas reguliavimas (tinkamas greičio regulatoriaus veikimas). Taip pat reikia paminėti, kad šioje sistemoje yra naudojamos greičio relės, kurios valdo servo pavaras. Servo pavaros atidarinėja aukšto slėgio vožtuvus, per kuriuos paduodamas reikiamas garo kiekis į turbiną. 2.5.4 paveiksle pateikiamas turbinos greičio regulatoriaus matematinis modelis.



2.5.4 pav. Turbinos greičio regulatoriaus matematinis modelis

Garo turbinos veikimo principu galima išskirti keturis etapus. Kiekvienas etapas modeliuojamas pirmojo laipsnio perdavimo funkcijomis. Pirmąjį etapą sudaro garų talpykla, kitus tris etapus sudaro vandens garų perkaitintuvai ir vamzdynai. Šiame modelyje katilas nėra vertinamas todėl priimama, kad katilo slėgis yra pastovus ir lygus 1. Funkcijos F2 – F5 yra naudojamos, kai reikia aprašyti keturių velenų garo turbiną su skirtinga jiems krentančia galia (žiūrėti 2.5.5 paveikslą).



2.5.5 pav. Garo turbinos su keturių masių veleno matematinis modelis [2]

Šiame modelyje Matlab suteikia galimybę vietoj keturių masių veleno naudoti ir vieno veleno garo turbinos sistemą. Tokiu atveju visa keturių masių veleno posistemė nenaudojama garo turbinos ir greičio regulatoriaus modelyje. Šiame modelyje velenas yra apibūdinamas masės inercijos H , slopinimo veiksnių D ir standumo K koeficientais. Šiame darbe bus naudojamas vieno veleno garo turbinos matematinis modelis.

3. TIRIAMOJO ELEKTROS TINKLO MODELIO SUDARYMAS

3.1 Tyrimo metodika

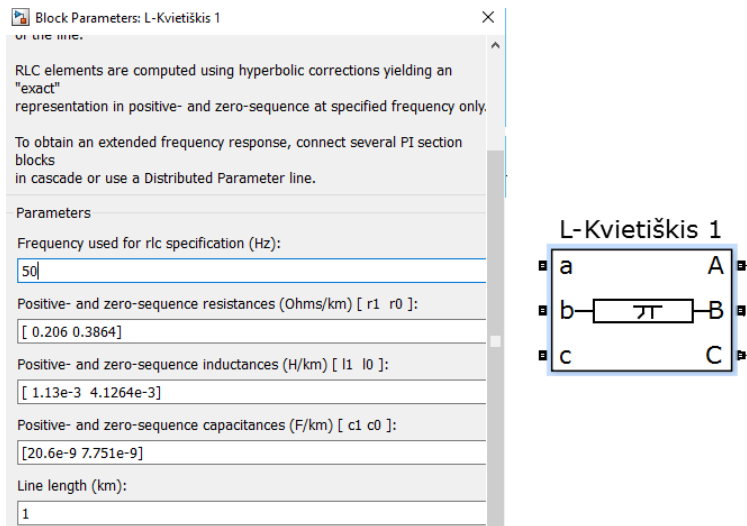
Šiame darbe sudaromas uždarnosios akcinės bendrovės „Arvi cukrus“ elektros tinklo su 3,125 MVA generatoriumi matematinis modelis „Matlab – simulink“ aplinkoje. Modelis sudaromas remiantis įmonės principine maitinimo schema, kuri pateikiama priede Nr.1. Tyrime modeliuojamos trys skirstyklos: CPP – 61 pagrindinė 10 kV skirstykla, generatoriaus salėje esanti 6 – 10 kV skirstykla ir kalkinėje esanti 10 – 6 kV skirstykla KTP. Taip pat vertinami du didžiausios galios 6 kV 500 kW asinchroniniai varikliai (dujopūtės), kurių atsijungimas ar įsijungimas turi didžiausią įtaką tinklui.

Linijos modeliu pasirenkamas pi modelis. Šiame linijos modelyje naudojami parametrai pateikiami 3.1.1 lentelėje, kurioje pateikiama linijų operatyviniai žymenys, kabelių tipai, skersmuo, ilgis ir aktyvioji varža. Taip pat sudarant kabelinės linijos matematinį modelį įvertinami ir du nauji parametrai: induktyvumai bei talpumai. Linijos pi modelis pateikiamas 3.1.1 paveiksle.

Pilnai sudaryti modeliai su nuolatinės srovės ir statine žadinimo sistemomis pateikiami 2 ir 3 prieduose.

3.1.1 lentelė. Kabelinių linijų techniniai duomenys

Operatyvinis žymėjimas	Kabelis paklotas nuo	Kabelis paklotas iki	Kabelio tipas	Skersmuo (mm)	Ilgis (m)	Varža R/Ω
LJ-T2	Narv. Nr.1	Tansf. Nr.2	AXLj - F TT – 10	3x50/16	50	0,641
LJ-T3	Narv. Nr.2	Tansf. Nr.3	AHXCMK - W - TT - 10	3x1x50	716	0,641
L-Kvietiškis-1	Kvietiškio TP	CPP-61 S1-10 Narv. Nr.3	TVLM - 10 (įvadas 1)	4x150	1000	0,206
LJ-T1	Narv. Nr.4	Tansf. Nr.1	ABB – 10	3x95	50	0,641
LJ-T8	Narv. Nr.5	Tansf. Nr.8	AXLj - F TT – 10	3x50/16	330	0,32
LJ-T6	Narv. Nr.9	Tansf. Nr.6	AHXCMK - W - TT - 10	3x1x120/16	370	0,25
LJ-T4	Narv. Nr.12	Tansf. Nr.4	AAB – 10	3x95	50	0,32
L-Kvietiškis-2	Kvietiškio TP	CPP-61 S1-10 Narv. Nr.13	TVLM - 10 (įvadas 2)	4x150	1000	0,161
SJ-2-4	Narv. Nr.14	S4-10 sekcija Narv. Nr.27	ABB – 10	3x95	200	0,206
LJ-T12	Narv. Nr.16	Tansf. Nr.12	AXLj -F TT – 10	3x50/16	716	0,641
LJ-T9	Narv. Nr.17	Tansf. Nr.9	AXLj -F TT – 10	3x50/16	330	0,641



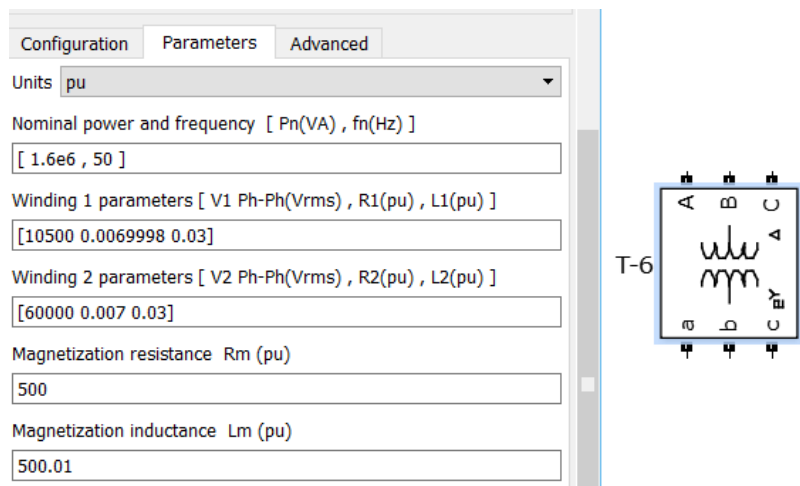
3.1.1 pav. Pi linijos matematinis modelis su reikalingais parametrais

Kadangi didžiausią elektros tinklo dalį įmonėje sudaro žemos įtampos (0,4 kV) imtuvai, naudojami įvairių galingumų žeminantieji transformatoriai. Iš viso įmonėje yra 10 žeminančiųjų transformatorių. Kadangi generatoriaus gnybtų įtampa yra 6 kV, o pagrindinė pastotė yra 10 kV, naudojamas aukštinantysis 4 MVA transformatorius. Visų šių transformatorių charakteristikos pateikiamos 3.1.2 lentelėje.

1.1.2 lentelė. Galios transformatorių techniniai duomenys

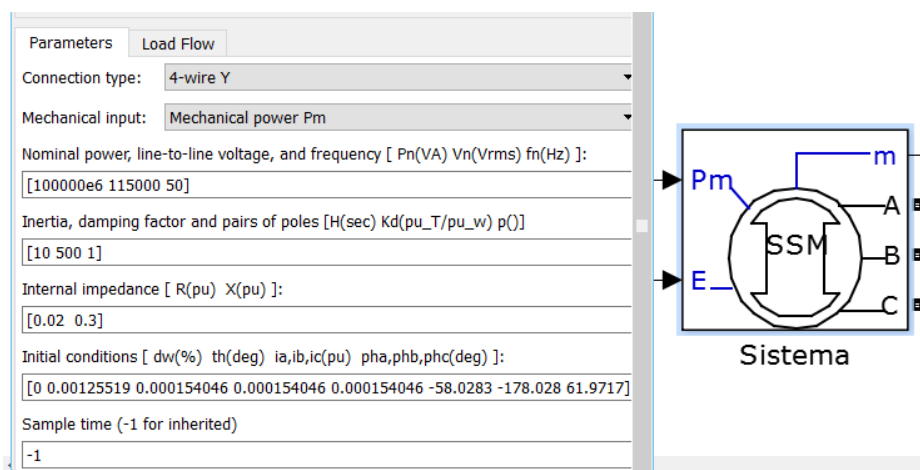
El. Nr.	Operatyvinis žymėjimas	Markė	Galingumas (MVA)	u _k %	ΔP _{tj} (kW)	Pastatymo vieta
1	T-1	TM - 1000	1	5,93	2	Pagrindinis korpusas
2	T-2	TM - 630	0,63	5,86	1,26	Pagrindinis korpusas
3	T-3	TM - 630	0,63	5,86	1,26	Valymo įrenginiai
4	T-4	TM - 1000	1	5,93	2	Pagrindinis korpusas
5	T-5	TM - 1000	1	5,93	2	Pagrindinis korpusas
6	T-6	TM - 1600	1	5,93	2	Kalkinė
7	T-7	KTP - 400	0,4	5,73	0,8	Kalkinė
8	T-8	TMZ - 630	0,63	5,86	1,26	Kompresorinės KTP
9	T-9	TMZ - 630	0,63	5,86	1,26	Kompresorinės KTP
10	T-10	TD - 4000	4	7,3	4,16	3 MW turbina
11	T-11	TMZ - 630	0,63	5,86	1,26	Išspaudų džiovykla
12	T-12	TMZ - 630	0,63	5,86	1,26	Valymo įrengimai

Transformatoriai yra neatsiejami nuo tinklo, nes reikia pažeminti arba paaukštinti tinklo įtampą. Sudarant tiriamojo tinklo matematinį modelį naudojamas programinės įrangos modelis, į kurį suvedami visi duomenys pateikti 3.1.2 lentelėje. Taip pat yra įvedami ir keli nauji parametrai: pirminės apvijios varža ir induktyvumas, antrinės apvijios varža ir induktyvumas. Šis blokas pateikiamas 3.1.2 paveiksle



3.1.2 pav. Transformatoriaus matematinio modelio blokas

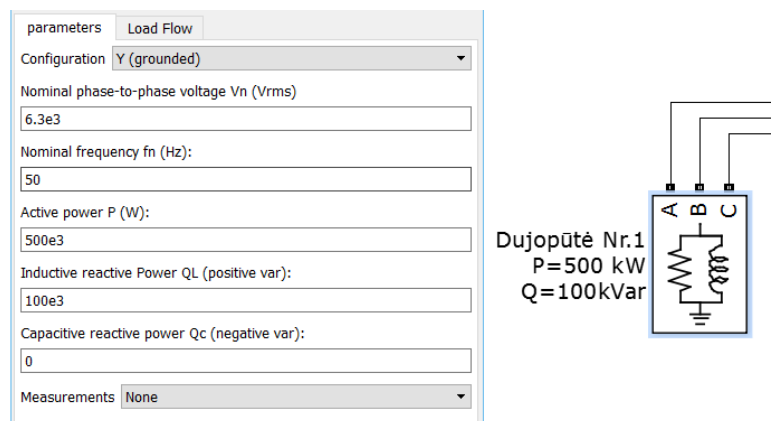
Kaip sistema priimama kilometro atstumu nutolusi Kvietiškie transformatorių pastotė. Tiriant tinklą modelyje, kaip ir principinėje schemoje, sumodeliuojami du sisteminiai ryšiai su pagrindine CPP-61 skirstykla. Šiuo atveju tiriama ar įmonei efektyviau naudoti abu įvadus, ar galima ir toliau dirbti su vienu įvadu antrą įvadą paliekant rezerviniu. Sistemos matematinio modelio blokas su visais parametrais pateikiamas 3.1.3 paveiksle.



3.1.3 pav. Sistemos matematinio modelio blokas

Siekiant kuo efektyviau ištirti sinchroninio generatoriaus darbą dirbant su sistema bus įvertinamos apkrovos. Norint supaprastinti cukraus fabriko elektros tinklo schemą, nemodeliuojamas žemos įtampos tinklas, tačiau bus įvertinamos žemos įtampos tinklo apkrovos. Modelyje naudojamas apkrovos matematinio modelio blokas [žiūrėti paveikslą 3.1.4] aprašomas dviem dedamosios -

aktyviaja ir reaktyvia. Tai leidžia tiksliau aprašyti visą tinklą ir tiksliau nustatyti tinklo ribinius darbo režimus įvykus smulkiems ir stambiems gedimams sistemoje.



3.1.4 pav. Apkrovos matematinio modelio blokas

Vienas iš svarbiausių įrenginių dėl kurių ir yra vykdomas šis tyrimas yra VEM kompanijos pagamintas ir 1995 m. nupirktas dėvėtas bei įmonėje sumontuotas sinchroninis generatorius. Atsižvelgiant į aplinkybes, jog tinkle gali atsirasti trikdžiai (įvykus trumpalaikiams įtampos dingimams, vykdant perjungimus ir k.t.), generatorius dažnai išeina iš sinchroninio veikimo su tinklu ir po ilgo laiko sugrįžta arba visiškai sustoja. Šio sinchroninio generatoriaus techniniai duomenys, kurie bus naudojami matematinio modelio bloke, pateikiami 3.1.3 lentelėje.

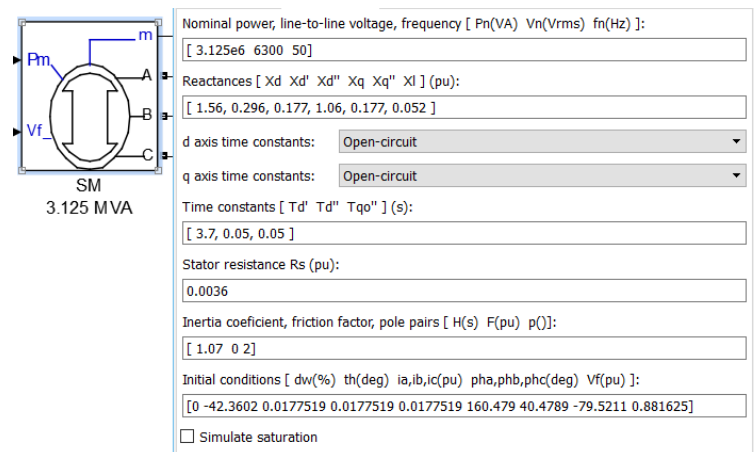
3.1.3 lentelė. Sinchroninio generatoriaus techniniai duomenys

DGK 1524 – 4, Vokietija, VEM Elektromaschinenbau			
Gamyklinis Nr.	2299549 / 1977	Apsisukimai	1500 aps./min.
Galingumas	3,125 MVA	n.v.k.	93,0-96,7 %
reaktyvinis galingumas	3750 kVA	– Xd''	0,177
cosφ	0,8	žadinimo įtampa	15-50 V
įtampa	6300 kV	žadinimo srovė	400 A
įtampos reguliavimo diapazonas	±5%	oro aušintuvai	2 vnt
srovė	344 A	šalto vandens į aušintuvus temperatūra	150 C
dažnis	50 Hz	maksimalus aušinančio vandens slėgis	4,5 kg/cm ²
aušinančio vandens kiekis	10,5 m ³ /val.	apsaugos laipsnis	IP44 (šepečių aparato IP22)

Visi lentelėje pateikiami duomenys yra suvedami į 3.1.5 pav. pavaizduotą sinchroninio generatoriaus bloką. Taip pat be lentelėje pateikiamų duomenų naudojami ir kiti duomenys: laiko konstantos, inercijos koeficientas, generatoriaus polių porų skaičius ir kiti. Tokiu būdu aprašius sinchroninį generatorių atsiranda galimybė nustatyti dėl kokių priežasčių jis išsisvyruoja. Gavus

modeliavimo rezultatus bus galima pateikti išvadas, ką galima padaryti ir kokių priemonių imtis norint pagerinti generatoriaus darbą tinkle.

Žemiau pateiktame paveiksle pavaizduotas generatorius turi du įėjimo parametrus (P_m – turbinos mechaninė energija, kuri perduodama per veleną; V_f – iš žadintuvo tiekiamą žadinimo srovę) ir keturis išėjimo parametrus, (m – matavimams skirtas parametras; A,B,C – generatoriaus gnybtų įtampa).



3.1.5 pav. Sinchroninio generatoriaus matematinio modelio blokas

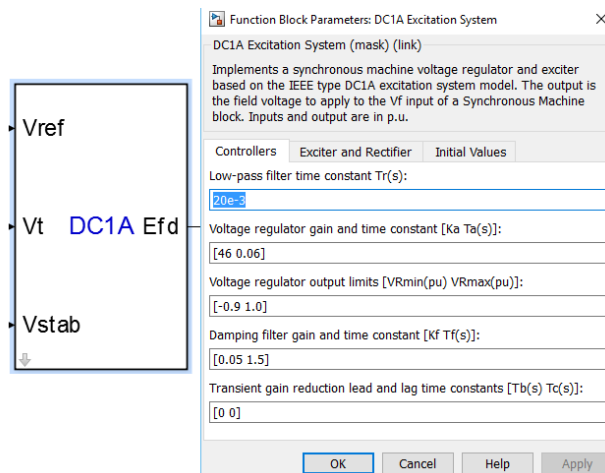
Dar vienas blokas be kurio negali būti pilnai išpildomas tinklo matematinis modelis yra žadinimo sistema. Netinkamas šių sistemų veikimas gali nulemti pačio sinchroninio generatoriaus darbą tinkle. Todėl labai svarbu tinkamai matematiškai aprašyti žadinimo sistemą. Matematiškai aprašant žadinimo sistemą naudojami žinomi esamos sistemos parametrai, kurie pateikiami 3.1.4 lentelėje.

3.1.4 lentelė. Žadinimo sistemos techniniai duomenys

Žadinimo sistemos parametrai	
Tipas	GGB 250,2 L
Galingumas	26 kW
Žadinimo įtampa	15-60 V
Žadinimo srovė	433 A
Apsisukimai	1500 aps./min.
Apsaugos laipsnis	1P 23

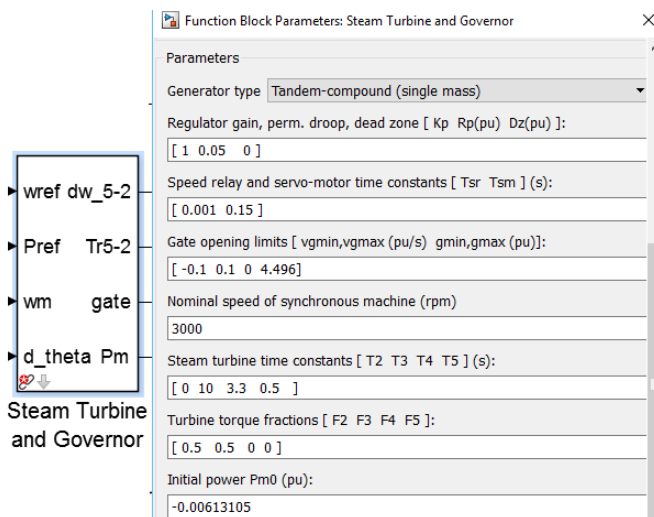
Naudojantis lentelėje pateiktais duomenis, žadinimo sistemos matematinio modelio bloke (paveikslas 3.1.6) surašomi ir kiti parametrai, kurie aprašo pačią žadinimo sistemą. Atsižvelgiant į

darbo aktualumą, šiame darbe naudojamos dvi žadinimo sistemos siekiant palyginti, kuri yra efektyvesnė ir ar vertėtų šiuo metu esančią nuolatinės srovės žadinimo sistemą keisti statine žadinimo sistema, ar užtenka tik pakeisti kai kuriuos nuolatinės srovės sistemos elementus naujais ir taip sumažinti investicijų bei pačios eksploatacijos kainas.



3.1.6 pav. Nuolatinės srovės žadinimo sistemos matematinis blokas

Taip pat šiame darbe vertinama garo turbina, kurios matematinio modelio blokas pateikiamas paveiksle Nr. 3.1.7. Šiame darbe naudojamas vienos masės veleno garo turbinos matematinio modelio blokas. Kadangi turbinos suvartojamo garo kiekis ir kiti parametrai nėra aiškūs, modeliuojant tinklą naudojamas garo turbinos matematinis modelis bus su principiniais parametrais, kuriuos pateikia pati modeliavimo programa „Matlab“.



3.1.7 pav. Garo turbinos matematinio modelio blokas

3.2 Gauti modeliavimo rezultatai

Šiame skyriuje pateikiami gauti rezultatai modeliuojant maisto pramonės įmonės tinklą su 3 MW galios generatoriumi, kai naudojami du skirtingi žadinimo sistemų tipai: nuolatinės srovės ir statinė žadinimo sistemos.

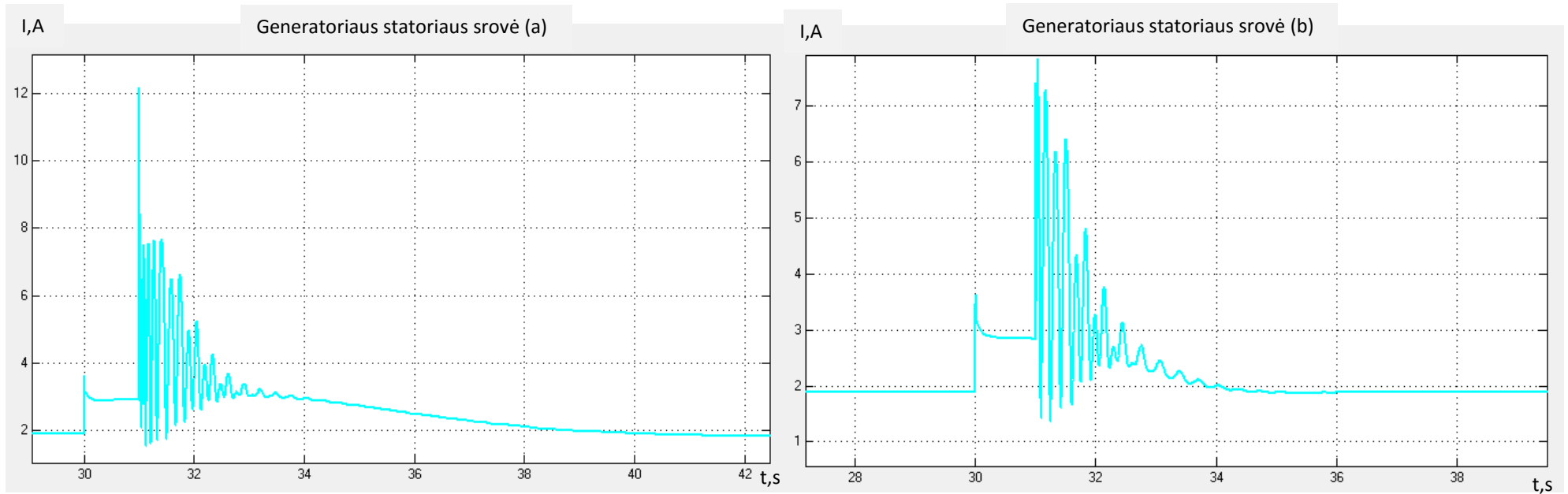
UAB „Arvi cukrus“ įmonės elektros tinklas modeliavimui buvo pasirinktas ne atsitiktinai. Dirbant su įmonės generatoriumi buvo pastebėta, kad jis labai jautriai reaguoja į tam tikrus trikdžius atsirandančius tinkle. Todėl šiam tyrimui buvo pasirinktas šis sinchroninis generatorius. Atliekant modeliavimą pasirinkti šie avariniai režimai:

1. Trumpalaikis įtampos dingimas įvadiniame kabelyje iš Kvietiščio TP;
2. Vykdomas perjungimas atjungiant įvadą Nr.1 ir perjungiant į įvadą Nr. 2;
3. Didžiausio elektros energijos vartotojo praradimas (t.y 500 kW asinchroninio variklio gedimas).

Tyrimo avariniai režimai modeliuojami 30-ą – 31-ą sekundę, kai sinchroninio generatoriaus darbo režimas nusistovi po sinchronizavimo su tinklu. Gauti modeliavimo rezultatai pateikiami žemiau. Šiame darbe stebimos penkios charakteristikos galimai įvykus minėtiems avariniams režimams:

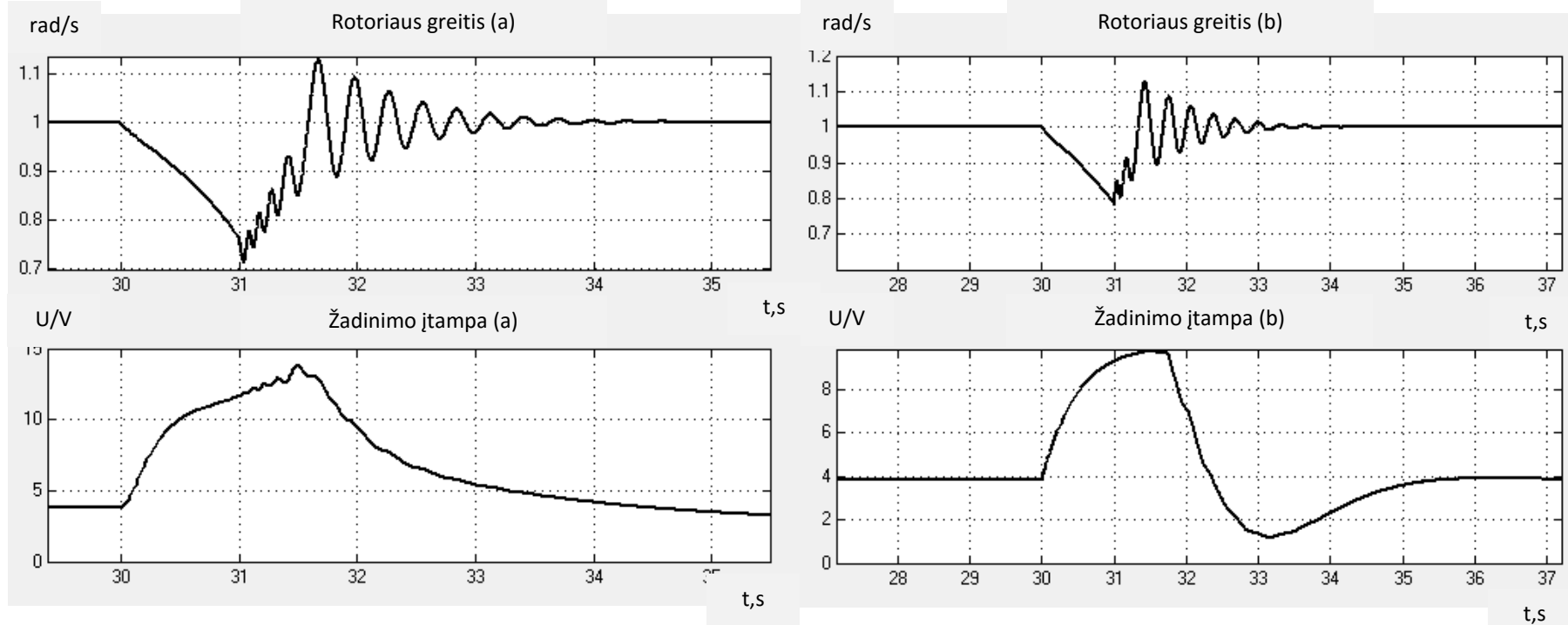
1. Statoriaus srovė;
2. Rotoriaus rotoriaus greitis;
3. Žadinimo įtampa;
4. Generatoriaus apkrovos priklausomybė nuo tinklo apkrovos;
5. 10 kV skirstyklų įtampos (pagrindinės CPP – 61 ir generatoriaus salėje esančių skirstyklų).

3.2.1 Trumpalaikis įtampos dingimas



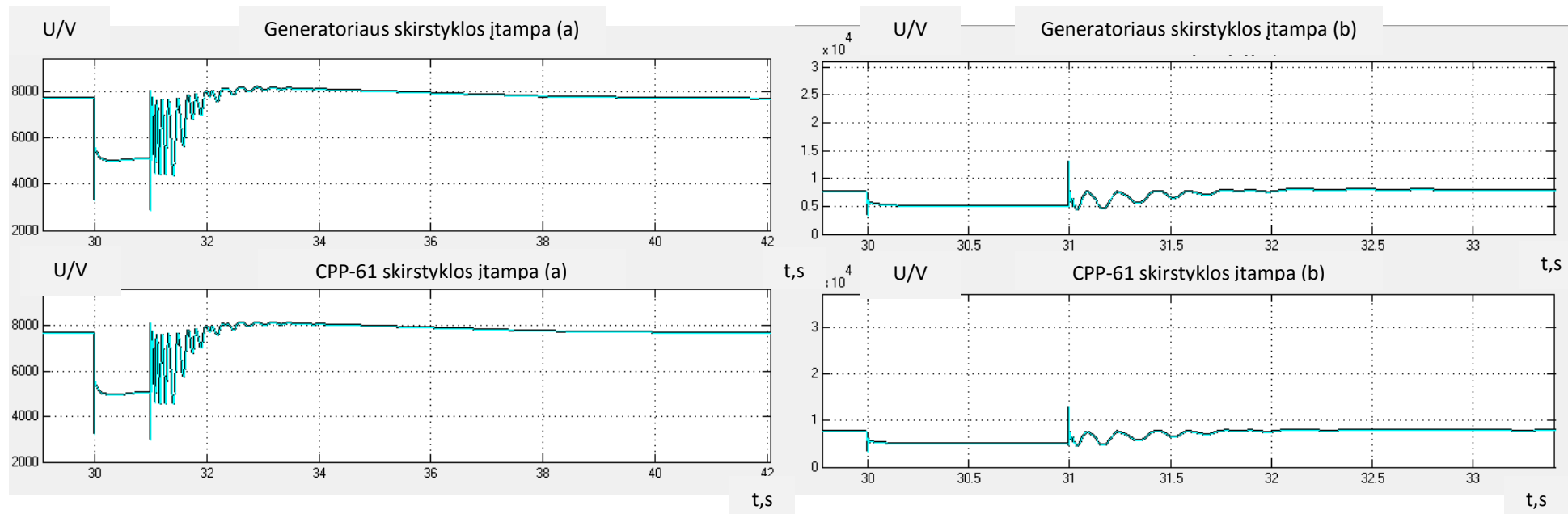
3.2.1.1 pav. Generatoriaus statoriaus srovė, kai yra imituojamas trumpalaikis įtampos dingimas

3.2.1.1 paveiksle pavaizduotos generatoriaus statoriaus srovės įvykus trumpalaikiui įtampos dingimui. Paveikslas (a) vaizduoja statoriaus srovės esant nuolatinės srovės žadinimo sistemai, o (b) – statoriaus srovės esant statinei žadinimo sistemai. Grafikuose matyti, kad į šį gedimą žadinimo sistemos reaguoja skirtingai. Generatoriui dirbant su nuolatinės srovės žadinimo sistema statoriaus srovė pasiekia 16,9 A maksimalią žadinimo srovės vertę ir švytavimas trunka iki 42 s. Su statine žadinimo sistema statorius pasiekia 11,3 A maksimalią žadinimo srovės vertę ir švytavimas trunka 6 s trumpiau nei DC žadinimo sistemos. Iš šių grafikų matyti, kad kritus apkrovimui bei įtampai tinkle generatorius didina savo galią ir dėl to matomas ženklus žadinimo srovės šuolis tam tikru laiko momentu. Tai vyksta dėl to, kad įmonės tinklo galingumas 4 MW, o generatoriaus – 3,125 MW.



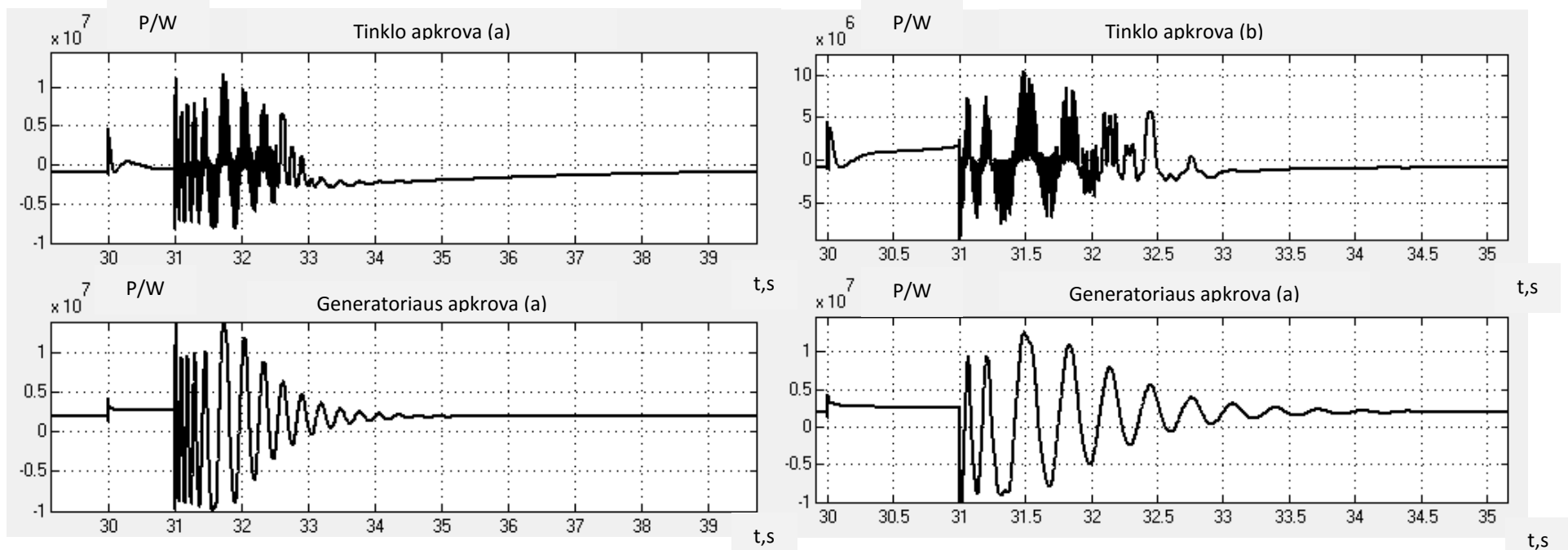
3.2.1.2 pav. Generatoriaus rotoriaus kampas ir žadinimo įtampa, kai imituojamas trumpalaikis įtampos dingimas

Paveiksluose (a) ir (b) matyti, kad kritus įtampai tinkle abiejų žadinimo sistemų generatoriaus rotoriaus greitis atstatomas tolygiai ir švytavimas taip pat trunka vienodą laiko tarpą – nuo 30 s iki 34 s. Šiuose grafikuose galima įžvelgti ne didelį skirtumą, t.y rotoriaus greičio minimali riba (a) atveju 0,7 rad/s, o (b) atveju 0,8 rad/s. Tačiau didesnis skirtumas matomas žadinimo įtampos kreivėse. Esant nuolatinės srovės žadinimo sistemai maksimalus šuolis yra 31,5 s ir įtampa pasiekia 45 V, kai normaliu režimu žadinimo įtampa yra 7,5 V. Taip pat matomas tolygus įtampos kritimas kol galutiniai nusistovi 36 s. B paveiksle, su statine žadinimo sistema maksimali žadinimo įtampa pasiekta 15,5 V, tačiau matyti, kad yra ir staigus kritimas ir tik po to įvyksta nusistovėjimas 36 s po trumpalaikio įtampos dingimo tinkle.



3.2.1.3 pav. 10 kV skirstyklų šynų įtamos, kai imituojamas trumpalaikis įtamos dingimas

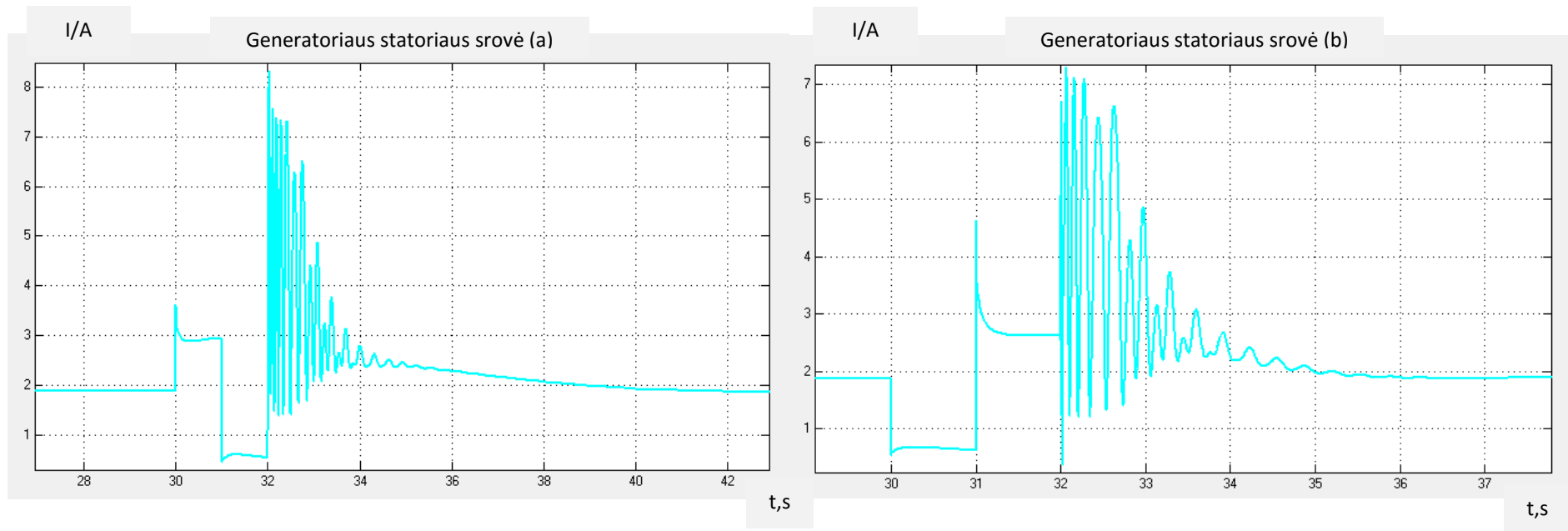
Kritus įtampai tinkle modeliuojant trumpalaikį įtamos dingimą tiek vienu, tiek kitu atveju įtampa abejose skirstyklose krinta vienodai nuo 9,49 kV iki 5 kV. Toks didelis įtamos kritimas tinkle pasireškia dėl to, kad įmonės galinumas yra 1 MW didesnis nei sinchroninio generatoriaus galia. Tokiu atveju stoja dauguma įrengimų įmonėje. Kaip matyti 31 s pasibaigus avariniam režimui matomas aiškus įtamos šuolis tinkle, grafikuose atsispindi 10 kV CPP-61 (a) ir generatoriaus skirstyklos (b) šynų įtamos.



3.2.1.4 pav. Tinklo ir generatoriaus apkrovos, kai imituojamas trumpalaikis įtampos dingimas

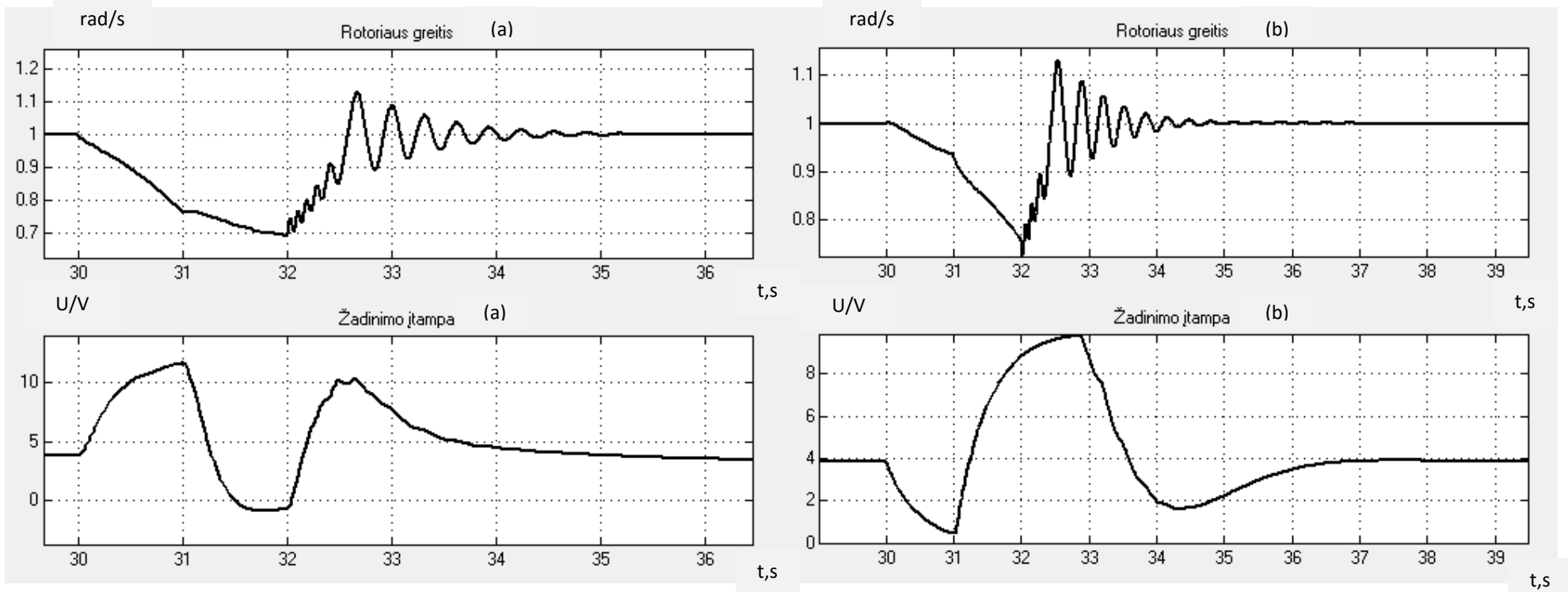
3.2.1.4 paveiksle aiškiai matoma, kad dingus įtampai dar dalį sekundės įmonės galia nekrinta, o atvirkščiai kyla į viršų ir tik tada krinta. Tai pasireiškia dėl to, kad dingus maitinimui iš Kvietišchio pastotės visa įmonės galia tenka generatoriui, o kritimas atsiranda dėl to, kad generatoriaus galia yra mažesnė nei visos įmonės. Todėl atsiradus įtampai iš pagrindinio įvado galia kyla į viršų, nes pradeda leisti atsijungę imtuvai, kurie iškelia galią iki 10 MW ir 35 s šis pereinamasis procesas, galios švytavimas nusistovi.

3.2.2 Vykdomi perjungimus



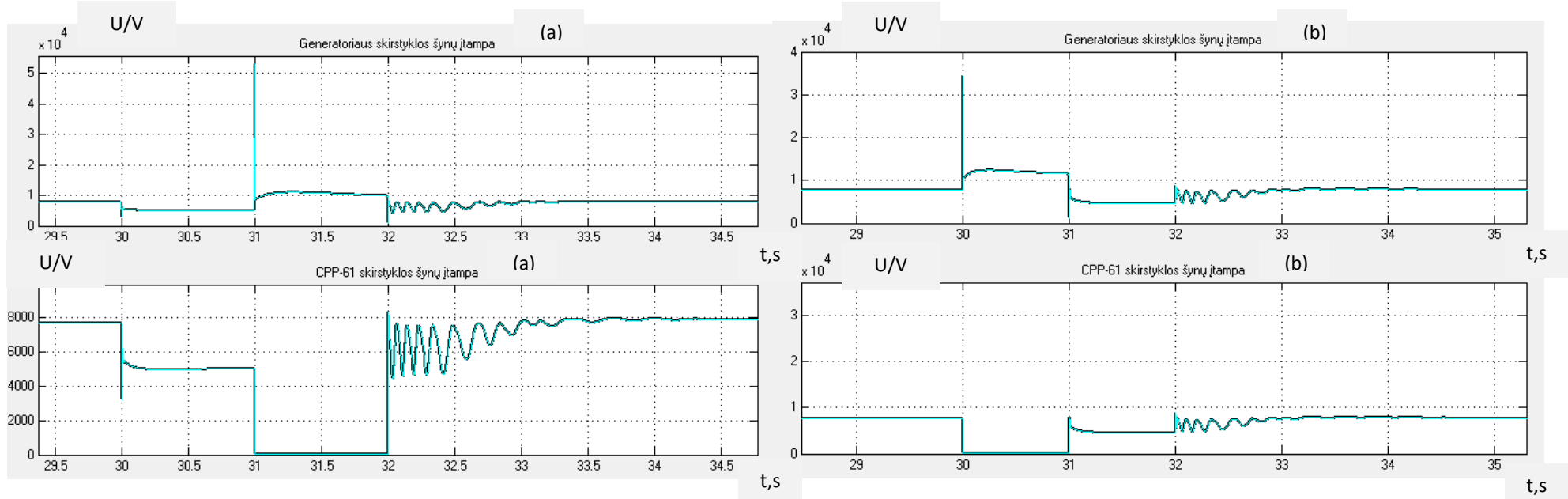
3.2.2.1 pav. Generatoriaus statoriaus srovė, kai imituojamas įvadinių kabelių perjungimas

3.2.2.1 paveiksle pavaizduotos generatoriaus statoriaus srovės įvykus perjungimui, kai dėl gedimo atsijungia pagrindinis įvadas ir perjungiamas rezervinis įvadas. Tačiau, kaip matyti iš generatoriaus statoriaus srovės, atsijungus sekcijinei jungčiai ir daliai apkrovų, matomas ženklus šuolis žemyn. Paveikslas (a) vaizduoja statoriaus srovės esant nuolatinės srovės žadinimo sistemai, o (b) – statoriaus srovės esant statiniai žadinimo sistemai. Matyti, kad į šį gedimą žadinimo sistemos reaguoja skirtingai. Generatoriui dirbant su nuolatinės srovės žadinimo sistema statoriaus srovė pasiekia 12 A maksimalią žadinimo srovės vertę ir švytavimas trunka iki 42 s. Su statine žadinimo sistema statorius pasiekia 10,6 A maksimalią žadinimo srovės vertę ir švytavimas trunka 6 s trumpiau nei DC žadinimo sistemos. Iš šių grafikų matyti, kad kritus apkrovimui bei įtampai tinkle generatorius didina savo galią ir atsiranda ženklus žadinimo srovės šuolis tam tikru laiko momentu.



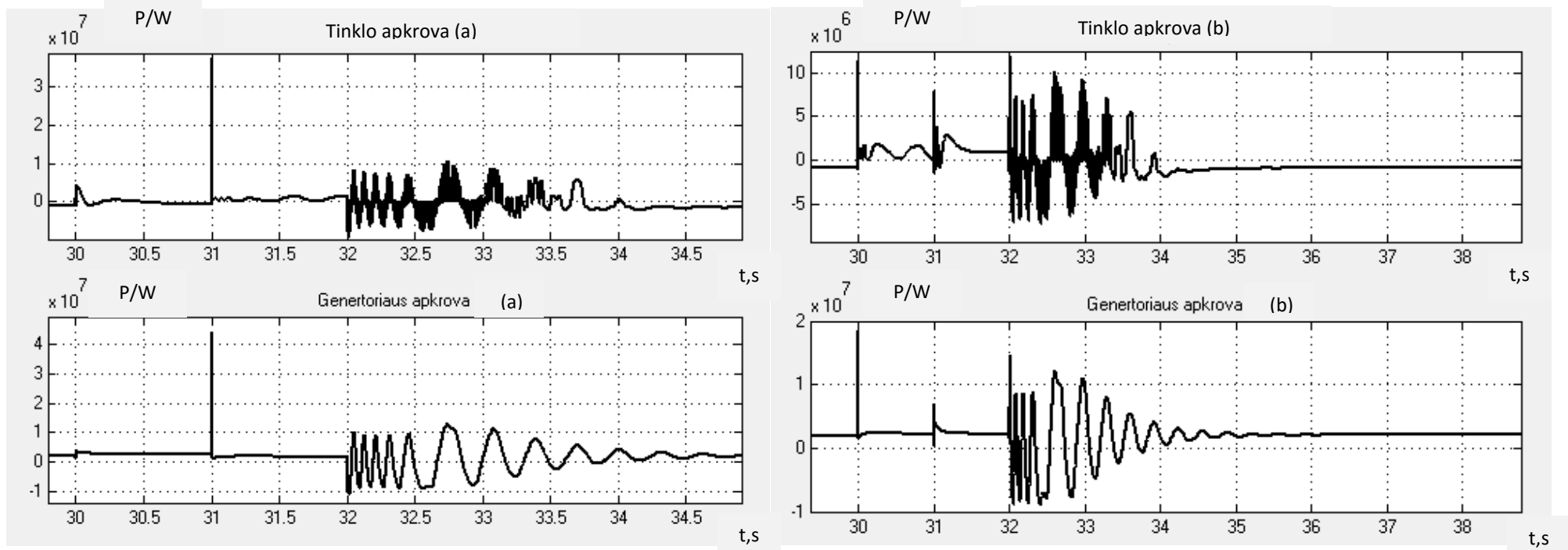
3.2.2.2 pav. Generatoriaus rotoriaus kampas, kai imituojamas įvadinių kabelių perjungimas

Paveiksluose (a) ir (b) matyti, kad kritus įtampai tinkle abiejų žadinimo sistemų generatoriaus rotoriaus greitis atstatomas tolygiai ir švytavimas taip pat trunka vienodą laiko tarpą – nuo 30 s iki 36 s. Rotoriaus greičio grafikuose tarp šių dviejų žadinimo sistemų darbo skirtumų nėra ir galima teigti, kad sistemos į šį gedimą reaguoja vienodai. Tačiau to negalima pasakyti apie žadinimo įtampos charakteristikas. Esant nuolatinės srovės žadinimo sistemai matomi du žadinimo įtampos šuoliai. Pirmas maksimalus šuolis yra 31 s ir įtampa pasiekia 6 V, kai normaliu režimu žadinimo įtampa yra 7,5 V. Taip pat matomas staigus įtampos kritimas ir po jo atsirandantis šuolis į viršų. Tokio rezultato negausime generatoriui dirbant su statine žadinimo sistema.



3.2.2.3 pav. Skirstyklų šynų įtampos, kai imituojamas įvadinių kabelių perjungimas

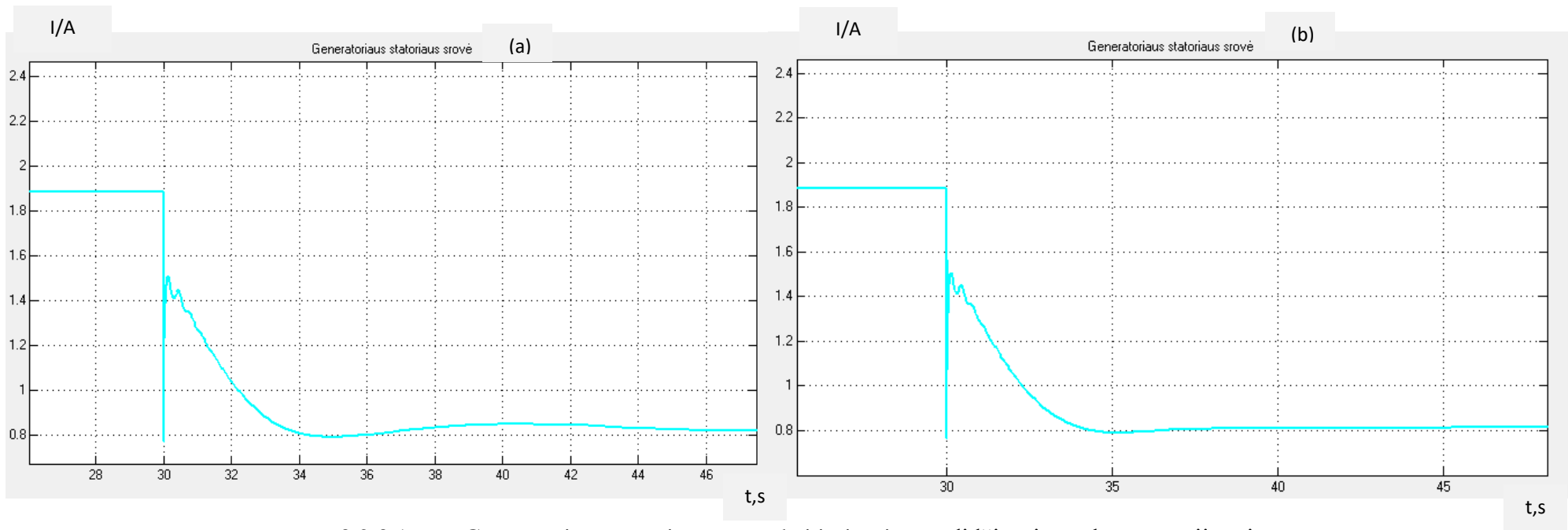
Šiuo atveju galima išskirti du įtampos kritimus: pirmąjį nuo 30 iki 31 s ir dar didesnį nuo 31 iki 32 s. Toks didelis įtampos kritimas tinkle pasireškia dėl to, kad įmonės galingumas yra 1 MW didesnis nei sinchroninio generatoriaus galia. Tokiu atveju stoja dauguma įrengimų įmonėje. Kaip matyti 32 s, pasibaigus avariniam režimui matomas aiškus įtampos šuolis tinkle, grafikuose atsispindi 10 kV CPP-61 (a) ir generatoriaus skirstyklos (b) šynų įtampos.



3.2.2.4 pav. Tinklo ir generatoriaus apkrovos, imituojant perjungimą

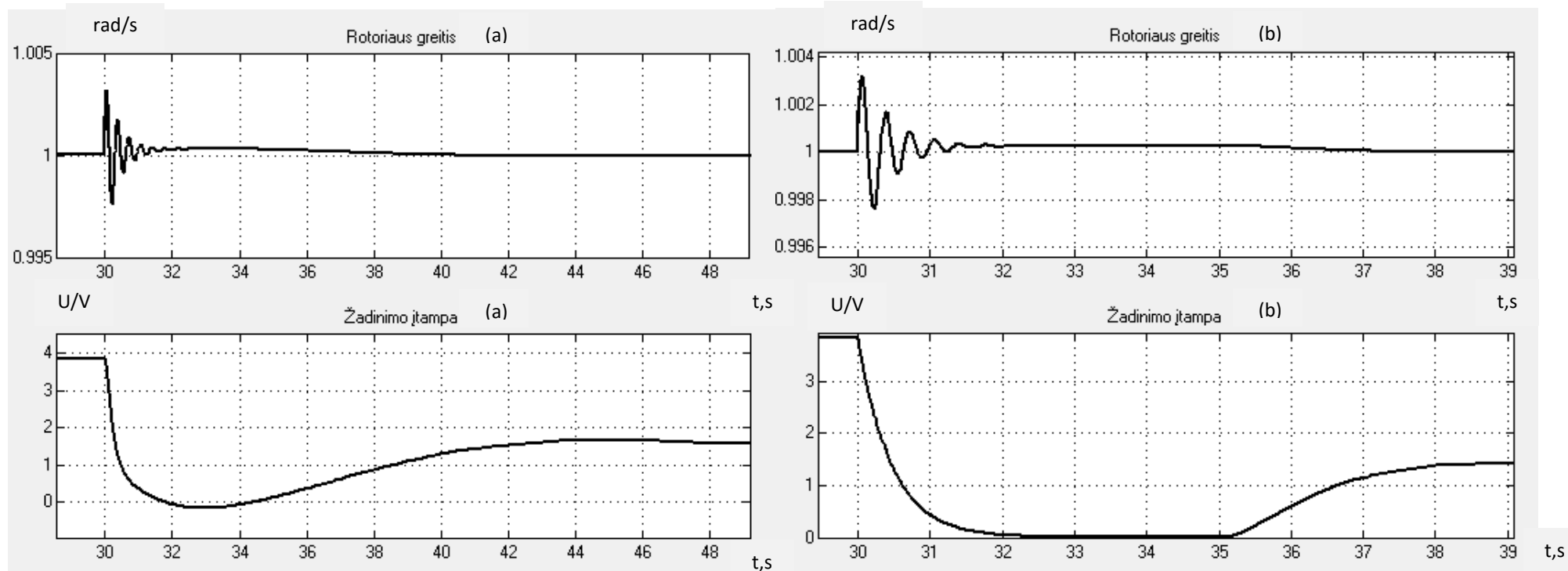
3.2.2.4 paveiksle aiškiai matoma, kad dingus įtampai dar dalį sekundės įmonės galia nekrinta, o kyla į viršų ir tik tada krinta. Tai pasireiškia dėl to, kad dingus maitinimui iš Kvietišchio pastotės visa įmonės galia tenka generatoriui, o kritimas atsiranda dėl to, kad generatoriaus galia yra mažesnė nei visos įmonės. Tuomet kai atsijungia ir sekcijinis jungtuvas matomas staigus galios kritimas ir kai tinklas grįžta į normalų darbo režimą procesas stabilizuojasi 36 s.

3.2.3 Didžiausio vartotojo atsijungimas



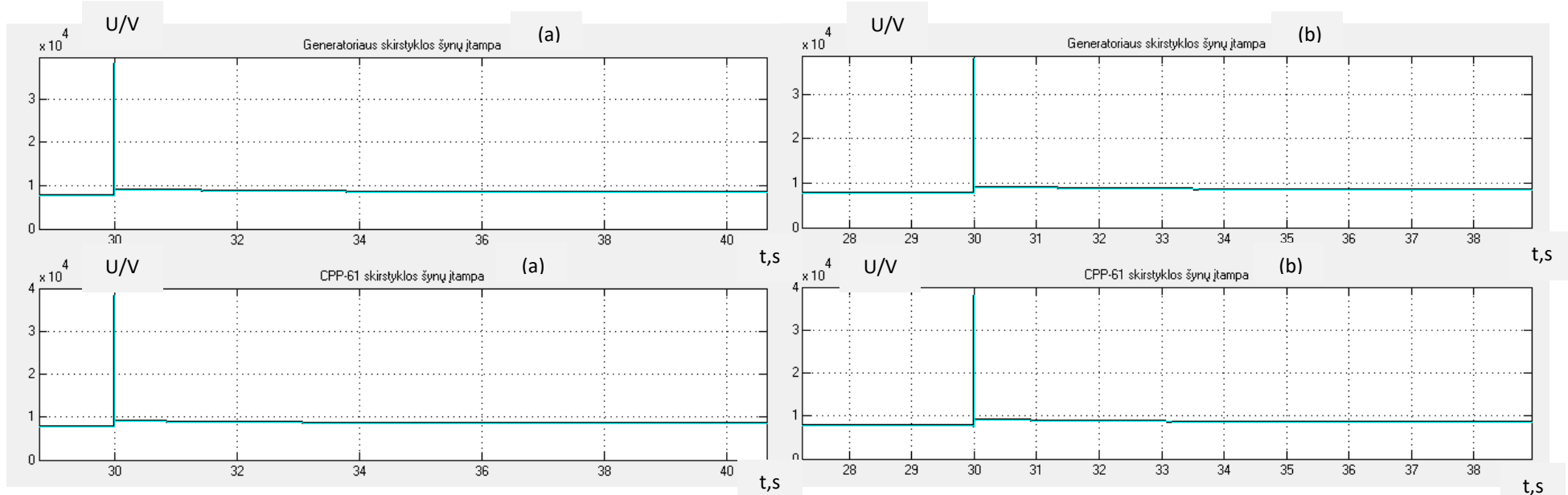
3.2.3.1 pav. Generatoriaus statoriaus srovė, kai imituojamas didžiausios apkrovos atsijungimas

3.2.3.1 paveiksle pavaizduota generatoriaus statoriaus srovės reakcija atsijungus vienam iš didžiausių imtuvų (dujopūtės). Paveikslas (a) vaizduoja statoriaus srovės esant nuolatinės srovės žadinimo sistemai, o (b) – statoriaus srovės esant statiniai žadinimo sistemai. Matyti, kad į šį gedimą žadinimo sistemos reaguoja praktiškai vienodai. Generatoriui dirbant su nuolatinės srovės žadinimo sistema statoriaus srovė pasiekia 1,1 A minimalią žadinimo srovės vertę ir švytavimas trunka iki 45 s. Su statine žadinimo sistema statorius taip pat pasiekia 1,1 A minimalią žadinimo srovės vertę ir švytavimas trunka 4 s – tiek pat kaip ir DC žadinimo sistemos. Iš šių grafikų matyti, kad kritus apkrovimui generatoriui reikalinga pakankamai maža žadinimo srovė.



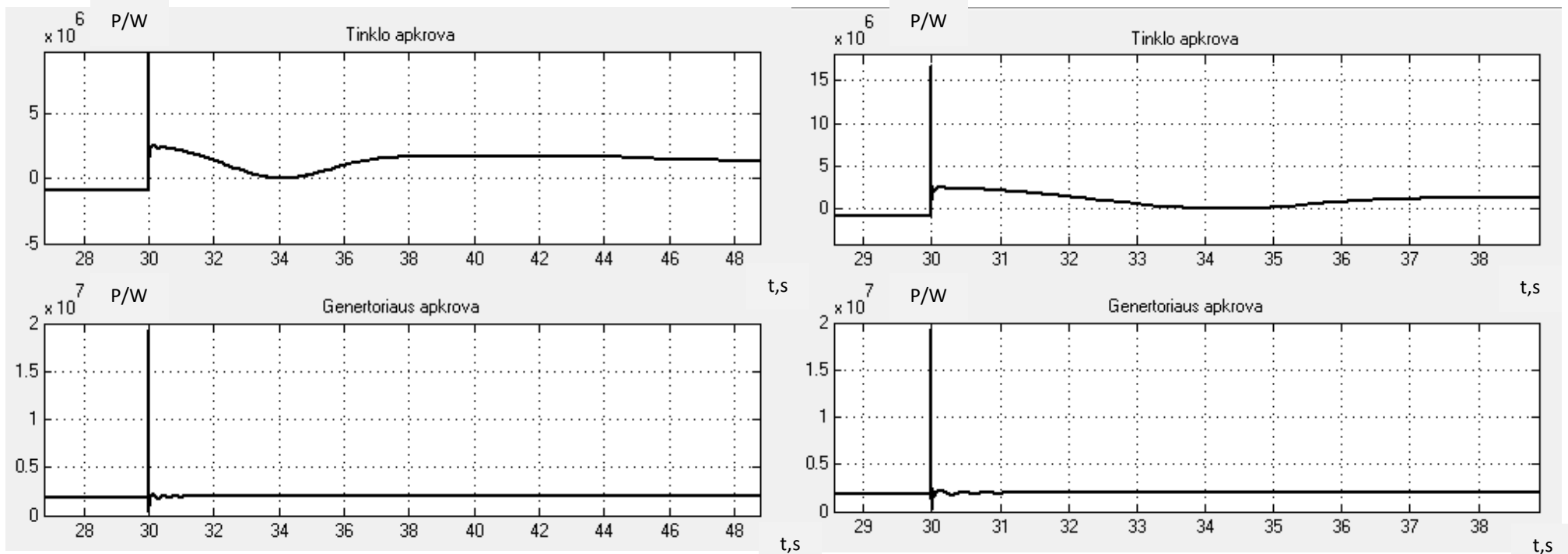
3.2.3.2 pav. Generatoriaus rotoriaus kampas ir žadinimo įtampa, kai imituojamas didžiausio vartotojo atsijungimas

Paveiksluose (a) ir (b) matyti, kad kritus galingumui tinkle abiejų žadinimo sistemų generatoriaus rotoriaus greitis atstatomas tolygiai ir švytavimas trunka ne vienodą laiko tarpą. DC žadinimo sistema susitvarko nuo 30 s iki 40 s. Tačiau didesnis skirtumas matomas žadinimo įtampos kreivėse. Esant nuolatinės srovės žadinimo sistemai minimalus įtampos kritimas yra 33 s. B paveiksle, su statine žadinimo sistema minimali žadinimo įtampa pasiekta labai žema, tačiau matyti, kad yra ir staigus šuolis ir tik po to įvyksta nusistovėjimas nuo 35 s iki 39 sekundės, kai DC sistemos žadinimo įtampa nusistovi nuo 40 s iki 49 s po apkrovos atsijungimo.



3.2.3.3 pav. 10 kV skirstyklų įtampos, kai imituojamas didžiausio vartotojo atsijungimas

3.2.3.3 paveiksle matoma jog praradus vieną iš didžiausių vartotojų (modeliuojamas 500 kW apkrovos atsijungimus), tiek vienu, tiek kitu atveju įtampa abejuose skirstyklose įtampa praktiškai nepakinta – įtampos vertės atitinka $\pm 10\%$. Kaip matyti 30 s šiek tiek padidėja 10 kV CPP-61 (a) ir generatoriaus skirstyklos (b) šynų įtampos.



3.2.3.3 pav. Apkrovos, kai imituojamas didžiausio vartotojo atsijungimas

3.2.3.3 paveiksle aiškiai matoma, kad dingus įtampai dar dalį sekundės, įmonės galia nekrinta, o atvirkščiai kyla į viršų ir tik tada krinta. Tai pasireiškia dėl to, kad dingus maitinimui iš Kvietišchio pastotės visa įmonės galia tenka generatoriui, o kritimas atsiranda dėl to, kad generatoriaus generatoriaus galia yra mažesnė nei visos įmonės. Todėl atsiradus įtampai iš pagrindinio įvado galia kyla į viršų, nes pradeda prisijunginėti atsijungę imtuvai, kurie iškelia galią iki 10 MW ir 35 s šis pereinamasis procesas tęsiasi tol, kol nusistovi galios švytavimas.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Apžvelgti nuolatinės srovės ir statinės žadinimo sistemų veikimo principai. Taip pat apžvelgtas garo turbinos veikimo principas bei galimi matematiniai modeliai. Remiantis apžvelgtais matematiniais modeliais sudaryti du UAB „Arvi cukrus“ elektros tinklo matematiniai modeliai su nuolatinės srovės ir statine žadinimo sistemomis.

2. Sudarius du atskirus matematinius modelius gautos pagrindinių parametrų (rotoriaus žadinimo srovės, žadinimo įtampos, rotoriaus greičio, apkrovų, įtampų kritimai skirstyklų šynose) charakteristikos modeliuojant tris avarinius režimus: kai įvyksta trumpalaikis įtampos dingimas, atliekamas perjungimas, kai sugenda vienas iš įvadų ir įvyksta didžiausios apkrovos netekimas. Aptarti gauti rezultatai.

3. Iš gautų tinklo ribinių darbo režimų matyti, kad tinklas sumodeliuotas teisingai. Analizuojant rezultatus buvo pastebėta, kad tiek nuolatinės srovės žadinimo sistema tiek statinė žadinimo sistema gali išlaikyti stabilų sinchroninio generatoriaus veikimą. Galima daryti išvadą, kad dėl generatoriaus išėjimo iš sinchronizmo realioje situacijoje nereikėtų keisti visos žadinimo sistemos, o reikėtų atnaujinti tik automatinę dalį suprojektuojant ir sumontuojant valdiklį su automatišku įtampos reguliatoriumi bei sinchronizavimo kontrole ir palikti esamą nuolatinės srovės žadinimo sistemą, nes iš gautų rezultatų matyti, kad šiam generatoriui tokia sistema tinkamai veikia.

4. Sudarant matematinį modelį buvo pastebėta, kad atsijungus įvadinei linijai apkrovos charakteristikos ženkliai padidėja, nes įmonės tinklo galingumas yra 4 MW, o generatoriaus vardinė galia yra 3,125 MW. Tačiau buvo nustatyta, kad esant tokioms darbinėms sąlygoms generatoriaus maksimalus galingumas yra 2,5 MW. Atkreipiant dėmesį į šią problemą reikėtų įvertinti, kurie imtuvai yra mažiausiai svarbūs ir kuriuos būtų galima atjungti avarinio režimo metu.

5. Reikia atkreipti dėmesį, kad modeliuojant maisto pramonės įmonės elektros tinklą nebuvo įvertinta generatoriaus sinchronizavimo kontrolė su sistema. Todėl norint gauti tokį generatoriaus veikimą kaip modeliuose reikia atnaujinti automatinę sinchronizavimo kontrolę. Pagrindinėje CPP – 61 skirstykloje sumontuoti bent 4 (įvadinuose narveliuose, sekcijiniame narvelyje ir generatoriaus skirstyklos jungties su CPP – 61 narvelyje) relines apsaugas su sinchronizavimo kontrolės funkcija. Tokiu būdu būtų galima išgauti norimą sinchroninio generatoriaus darbo režimą.

6. Atliekant modeliavimą buvo pastebėta, kad norint gauti tikslesnius duomenis apie ribinius darbo režimus reikėtų naudoti ne standartinį garo turbinos modelį, o naudoti tokį garo turbinos modelio bloką, kuris atitiktų esamą su jai būdingais parametrais garo turbinos matematinio modelio bloką. Taip pat reikėtų modeliuoti ne tik 10 kV tinklą, bet ir įvertinti visas žemos įtampos apkrovas priskiriant joms prioritetus, nes tai nebuvo atlikta dėl per didelių darbo apimčių.

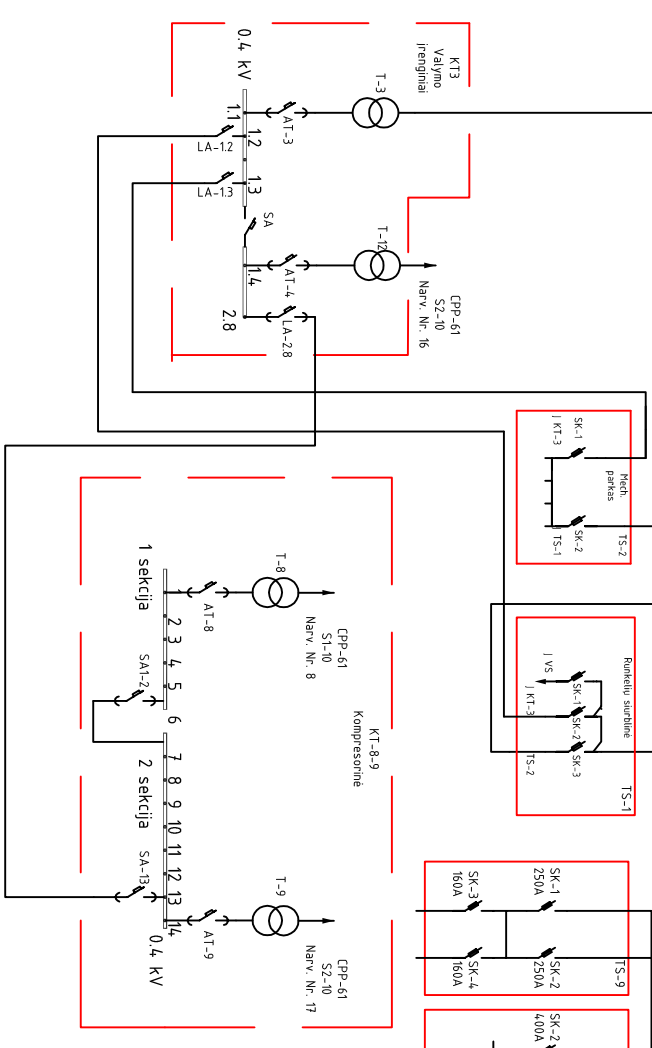
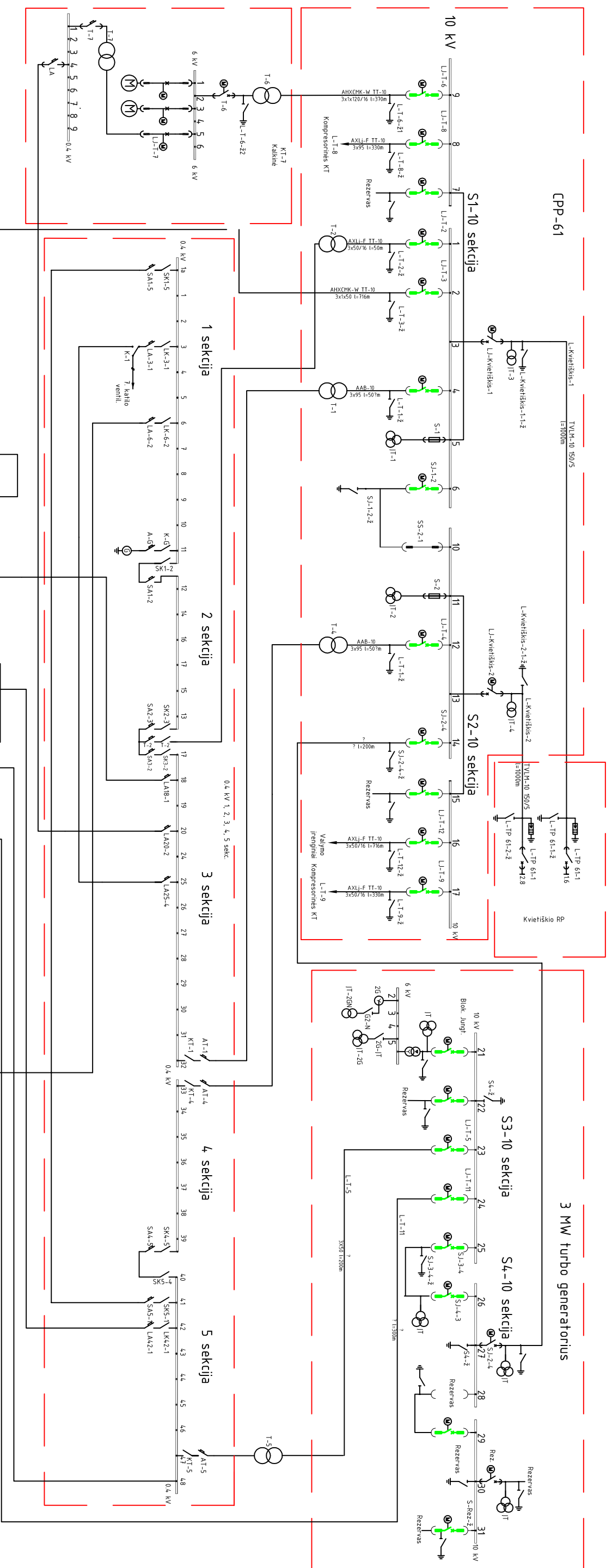
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

2. Basler, M.j. "Excitation Systems: The Current State of the Art." *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting* (2006).
3. Chaibakhsh, Ali, and Ali Ghaffari. "Steam Turbine Model." *Simulation Modelling Practice and Theory* 16.9 (2008).
4. Matlab Simulink Documentation "Implements IEEE Type DC1A Excitation System Model.". [Žiūrėta 2016 04 25]. Priega per internetą:
<http://se.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/dc1aexcitationsystem.html;jsessionid=d42c9dd83dda0776a22fb27fc2a3>.
5. Matlab Simulink Documentation "Implements IEEE Type ST1A Excitation System Model" [Žiūrėta 2016 04 25]. Priega per internetą:
<http://se.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/st1aexcitationsystem.html>.
6. Matlab Simulink Documentation "Model the Dynamics of Speed Governing System, Steam Turbine, and Multimass Shaft" [Žiūrėta 2016 04 25]. Priega per internetą:
<http://se.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/steamturbineandgovernor.html>
7. Hajagos, L.m., and M.j. Basler. "Changes to IEEE 421.5 Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies." *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005*.
8. Harney, R.c. "LLL Image-converted Spectrograph: Instruction Manual." (2007).
9. Saffet Ayasun, Ayetül Gelen "Stability analysis of a generator excitation control system with time delays"(2008).
10. Jerkovic, Vedrana, Miklosevic, Kresimir, and Spoljaric Zeljko. "Linear Models of the Synchronous Machine." *Power System Control and Stability* (2009).
11. Kavalero, B. V. "Automatic Control Systems for Gas-turbine Units in Mini Power Stations: Testing Automation at the Stages of Design and Tuning." *Autom Remote Control Automation and Remote Control* 74.11 (2013).
12. Kumar, B. Kalyan. "Power System Stability." *Power System Control and Stability* (2009).
13. Kundur, P., Neal J. Balu, and Mark G. Lauby. *Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill, 1994.
14. "Linear Models of the Synchronous Machine." *Power System Control and Stability* (2009).
15. R. ATTIKAS*, H.TAMMOJAI "EXCITATION SYSTEM MODELS OF GENERATORS OF BALTI AND EESTI POWER PLANTS" (2007) Estonian Academy Publish.

16. Orozco, M.I., and H. Vasquez. "Dynamic Performance of an Excitation System Built in a Digital Way." *2005 International Conference on Industrial Electronics and Control Applications*. Universidad Del Cauca.

17. Vadim Slenduhhov, and Jako Kilter. "Modeling and Analysis of Synchronous Machines." *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines* (2008): 155-207.

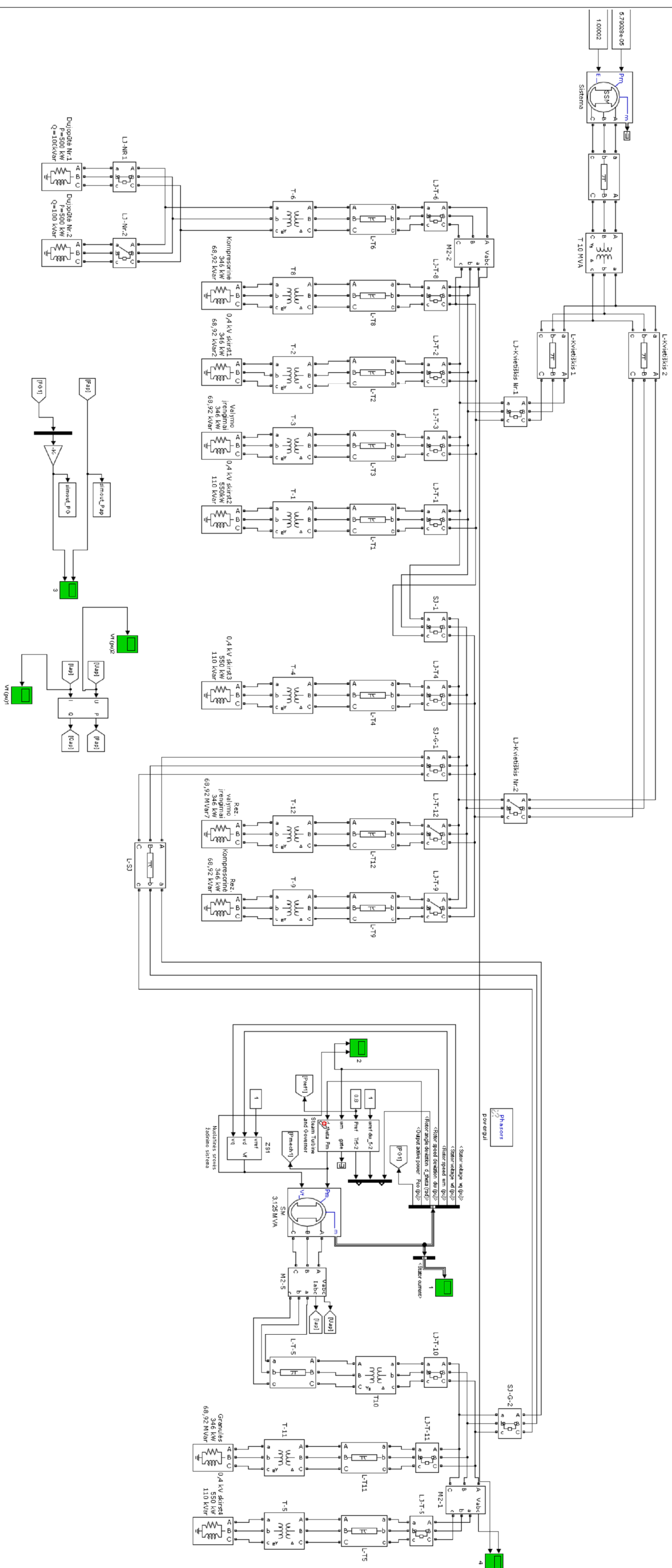
18. Weinhold, Matthias. "UNITROL Excitation for Motors - ABB." *3BHT 490 415 R0003*.



		Papildoma informacija		Medžiaga		Mastelis 1:1	
Atsakinga žinyba KTU GDK		Konsultantas A. Jonaitis		Rengė M. Medelis		Tvirtino A. Jonaitis	
Savininkas KTU EMEE-4 gr.		Dokumento tipas Priedas Nr.1		Dokumento statusas Mokomasis			

Failas Vienlinijine.DWG		Antraštė UAB „Arvi cukrus“ esama elektrinio tinklo schema	
1922		Laida A	
1922		Data 16-04-25	
1922		Kalba lt	
1922		Lapas 51	

Priedas Nr.2



Priedas Nr.3

