



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

**Aurimas Strižanas**

**PASKIRSTYTŲ GENERATORIŲ STABILUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Darbo vadovas:**

Lekt. dr. Dainius Slušnys

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**PASKIRSTYTŲ GENERATORIŲ STABILUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Elektros energetikos sistemos (621H63005)**

**Vadovas**

Lekt. dr. Dainius Slušnys

2017-06-05

**Recenzentas**

Doc. dr. Audrius Jonaitis

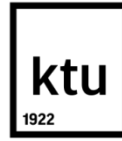
2017-06-05

**Projektą atliko**

Aurimas Strižanas

2017-06-05

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS

(Fakultetas)

AURIMAS STRIŽANAS

(Studento vardas, pavardė)

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMOS 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Paskirstytų generatorių stabilumo tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. birželio 05 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Aurimo Strižano** baigiamasis projektas tema „Paskirstytų generatorių stabilumo 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)

Strižanas, Aurimas. Paskirstytų generatorių stabilumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Dainius Slušnys; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: biokuras, stabilumas, paskirstyti generatoriai, sinchroninis.

Kaunas, 2017. 65 p.

## **SANTRAUKA**

Stiprėjant mažos galios elektrinių poreikiui yra statomi nedidelės galios elektros energijos generatoriai, dar kitaip vadinami paskirstytais generatoriais. Šie generatoriai statomi vartotojo teritorijoje arba šalia jos. Paskirstyti generatoriai, elektros energiją atiduoda tiesiai į skirstomąjį tinklą arba vartotojui.

Šiame darbe bus nagrinėjami du paskirstyti generatoriai. Abu šie generatoriai - biodyzeliniai. Biodyzelinis generatorius ypatingas tuo, kad gali būti tiek stacionariu, tiek laikinu energijos šaltiniu. Šis generatorius gali būti įjungtas tiesiogiai į skirstomąjį tinklą ir tuo pačiu gali dirbti autonominiu režimu. Taip pat generatoriaus dyzelinis variklis gali naudoti biokurą arba kitaip vadinamą biodyzeliną.

Darbo tikslas – atlikti paskirstytųjų generatorių sistemos stabilumo tyrimus.

Strižanas, Aurimas. Research Of Distributed Generators Stability: Master's thesis in electrical power systems / supervisor assoc. doctor Dainius Slušnys. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical power systems.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: biofuels, stability, distributed generators, synchronous.

Kaunas, 2017. 65 p.

## **SUMMARY**

The rising demand for small power plants led to building low power electricity generators, also known as distributed generators. These generators are built on users territory or close to it. Distributed generators give electric energy straight to distribution network or the user.

In this work, two distributed generators will be examined. Both of these generators are biodiesel. Biodiesel generator is special in the way, that it can be used both as stationary and temporary energy source. This generator can be connected directly to distribution network and also can work on autonomous mode. Also the diesel engine of the generator can run on biofuel or as we can call it - biodiesel.

Work objective - perform stability tests on distributed generators system.

## Turinys

Paveikslų sąrašas.....	7
Lentelių sąrašas.....	8
Įvadas.....	9
1 Teorinė dalis.....	10
1.1 Paskirstytojo generavimo vystymo galimybės.....	10
1.2 Paskirstytojo generavimo privalumai ir trūkumai.....	11
1.3 Dyzeliniai generatoriai.....	14
1.3.1 Elektros generatoriaus struktūra.....	14
1.3.2 Dyzelinio variklio veikimo principas.....	15
1.3.3 Akumuliatoriai.....	16
1.3.4 Dyzeliniai varikliai ir jų valdymo sistemos.....	16
1.3.5 Dyzelinio variklio perdavimo funkcija.....	16
1.4 Biokuras.....	20
1.4.1 Bendrosios žinios apie biokurą.....	20
1.4.2 Biodyzelino gamyba.....	20
1.4.3 Biodegalų gamybos plėtra Lietuvoje.....	21
1.4.4 Biodegalų gamyba, taikant cheminius ir biotechnologinius metodus.....	22
1.5 Sinchroninis generatorius.....	24
1.5.1 Bendrosios žinios apie sinchroninius generatorius.....	24
1.5.2 Sinchroninio generatoriaus modelis.....	25
1.5.3 Sinchroninio generatoriaus perdavimo funkcija.....	27
1.5.4 Biodyzelinio agregato modelis.....	28
2 Agregatų duomenys.....	28
2.1 Biodyzelinių generatorių duomenys.....	28
2.2 Paskirstytų generatorių modelis MatLab aplinkoje.....	31
2.3 Sistemos ir kitų elementų duomenys.....	32
3 Praktinė dalis.....	33
3.1 Elektros energijos skirstomojo tinklo schema.....	33
3.2 Pilnas sistemos su paskirstytais generatoriais modelis.....	34
4 Tiriamoji dalis.....	36
4.1 Stabilumo sąlygų tyrimas bei jų atvejai.....	36
4.2 Paskirstytų generatorių sistemos darbo grafikai.....	37
4.3 Ištirtų stabilumo sąlygų rezultatai.....	59
5 Išvados.....	64
6 Literatūra.....	65

## Paveikslų sąrašas

1.3.1 pav. Dyzelinis generatorius .....	14
1.3.2 pav. Dyzelinio variklio cilindro ciklas [7].....	15
1.3.3 pav. Alkūninį veleną veikiančios jėgos. ....	18
1.4.1 pav. Principinė biodyzelino gamybos schema.....	21
1.4.2 pav. Biodyzelino gamybos augimo dinamika ES šalyse .....	22
1.4.3 pav. Principinė riebalų rūgščių esterių ir glicerolio susidarymo schema .....	23
1.5.1 pav. Sinchroninio generatoriaus statorius.....	24
1.5.2 pav. Sinchroninio generatoriaus rotoriaus eskizai: a) neryškiapolis b) ryškiapolis.....	25
1.5.3 pav. Sinchroninis generatorius MATLAB aplinkoje.....	26
1.5.4 pav. Sinchroninio generatoriaus žadinimo sistema .....	27
1.5.5 pav. Funkcinė biodyzelinio agregato schema.....	28
2.2.1 pav. Biodyzelinio generatoriaus modelis.....	31
2.2.2 pav. Žadinimo sistemos modelis .....	31
3.1.1 pav. Tinklo schema.....	34
3.2.1 pav. Sistemos modelis su paskirstytais generatoriais. ....	35
3.2.2 pav. Biodyzelinio agregato modelis .....	35
4.2.1 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ grafikai, kuriuose pateikta $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ , kai $K^{(3)}$ 35kV pusėje.....	37
4.2.2 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ 35 kV pusėje. ....	38
4.2.3 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ 35 kV pusėje. ....	38
4.2.4 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ 35 kV pusėje.....	39
4.2.5 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ 35 kV pusėje. ....	39
4.2.6 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ 35 kV pusėje. ....	40
4.2.7 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. ....	40
4.2.8 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose.	41
4.2.9 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. ....	41
4.2.10 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ pavaizduoti $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose. ....	42
4.2.11 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose. ....	42
4.2.12 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose. ....	43
4.2.13 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ pavaizduoti $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. .....	43
4.2.14 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose.....	44
4.2.15 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. ....	44
4.2.16 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ atvaizduoti $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose. ....	45
4.2.17 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose. ....	45
4.2.18 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose. ....	46
4.2.19 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ atvaizduoti $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose. ....	46
4.2.20 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose. ....	47

<b>4.2.21 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose. ....	47
<b>4.2.22 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ atvaizduoti $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. ....	48
<b>4.2.23 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. ....	48
<b>4.2.24 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ pavaizduoti $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose. ....	49
<b>4.2.25 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose. ....	49
<b>4.2.26 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai $K^{(3)}$ biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose. ....	50
<b>4.2.27 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. ....	50
<b>4.2.28 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai, kai $K^{(3)}$ jo paties šynose. ....	51
<b>4.2.29 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai, kai visiškai prarandama apkrova. ....	51
<b>4.2.30 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai visiškai praradus apkrovą. ....	52
<b>4.2.31 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ visiškai praradus apkrovą. ....	52
<b>4.2.32 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ visiškai praradus apkrovą. ....	53
<b>4.2.33 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai suteikus apkrovą. ....	53
<b>4.2.34 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai suteikus apkrovą. ....	54
<b>4.2.35 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ suteikus apkrovą. ....	54
<b>4.2.36 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ suteikus apkrovą. ....	55
<b>4.2.37 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai biodyzeliniam generatoriui „2“ visiškai praradus apkrovą. ....	55
<b>4.2.38 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai biodyzeliniam generatoriui „2“ visiškai praradus apkrovą. ....	56
<b>4.2.39 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai visiškai praradus apkrovą. ....	56
<b>4.2.40 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai visiškai praradus apkrovą. ....	57
<b>4.2.41 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai atsijungus sistemai. ....	57
<b>4.2.42 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „1“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai atsijungus sistemai. ....	58
<b>4.2.43 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $P_{mech}$ , $u_f$ , $u_t$ grafikai atsijungus sistemai. ....	58
<b>4.2.44 pav.</b> Biodyzelinio generatoriaus „2“ $\omega$ ir rotoriaus kampo grafikai kai atsijungia sistema. ....	59

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė</b> Dyzelinio generatoriaus dalys.....	15
<b>2 lentelė</b> Biodegalų gamintojų Lietuvoje gamybiniai pajėgumai .....	22



## Ivadas

Šiomis dienomis vis akivaizdesnis mažos galios elektrinių statybos poreikis. Todėl nedidelės galios elektros energijos generatoriai, dar kitaip vadinami paskirstytais generatoriais, yra statomi vartotojo teritorijoje arba šalia jo. Paskirstyti generatoriai, elektros energiją atiduoda tiesiai į skirstomąjį tinklą. Tačiau atsiranda procesų, kuriuos gali paveikti tokie veiksniai kaip generatorių kiekis, jų tipai, generatorių valdymo sistemos, skirstomojo tinklo aktyviosios varžos. Paminėti veiksniai įtakoja visus procesus, kurie atsiranda paskirstytų generatorių sistemoje, tačiau jų poveikis elektros energijos kokybei skirstomajame tinkle, paskirstytų generatorių stabilumui nėra iki galo ištirtas.

Turint vieną ar grupę paskirstytų generatorių, kurie yra pakankamai galingi, kad aprūpintų elektros energija visus vartotojus, kurie yra prisijungę prie skirstomojo tinklo, tai tokiam skirstomajam tinklui atsiranda galimybė dirbti autonominiu režimu, o tai reiškia atsijungimą nuo perdavimo tinklo. Atsiradus tokiai galimybei, paskirstyti generatoriai turi būti valdomi taip, kad atitiktų visus energijos kokybės reikalavimus, vadinasi turi būti užtikrintas dažnio stabilumas ir įtampa, nesvarbu kokia apkrovų dinamika ar dydžiai būtų. Taip pat turi būti užtikrintas mažas poveikis aplinkai. Įjungimas į skirstomąjį tinklą, priklausomai nuo paskirstytų generatorių tipų, gali būti dvejopas: tiesioginis įjungimas ir įjungimas naudojant inverterį. Sinchroniniai generatoriai į skirstomąjį tinklą gali būti jungiami tiesiogiai arba per inverterį. Asinchroniniai generatoriai į tinklą taip pat gali būti jungiami tiesiogiai ir per inverterį. O nuolatinės srovės generatoriai į tinklą jungiami tik per inverterius.

Šiame darbe nagrinėsiu du paskirstytus generatorius. Visi nagrinėjami generatoriai - biodyzeliniai. Biodyzelinis generatorius yra ypatingas tuo, kad gali būti tiek stacionariu, tiek laikinu energijos šaltiniu. Šis generatorius gali būti įjungtas tiesiogiai į skirstomąjį tinklą ir tuo pačiu gali dirbti autonominiu režimu. Kita šio generatoriaus ypatybė yra ta, kad dyzelinis variklis gali naudoti biokurą arba kitaip - biodyzeliną. O kaip žinoma, biodyzelinas yra gaminamas iš aliejinių augalų, dėl to yra ekologiškas ir švarus kuras, o jį naudoti skatina Europos Sąjunga.

Šio darbo tikslas – atlikti paskirstytųjų generatorių sistemos stabilumo tyrimus.

Uždaviniai:

1. Ištirti generatorių įtampų stabilumą įvykus trumpajam jungimui;
2. Nustatyti generatorių mechaninių galių nuokrypius;
3. Nustatyti generatorių rotorių kampus, kai įvyksta trumpasis jungimas;
4. Ištirti generatorių ribinius trumpojo jungimo laikus;

5. Nustatyti minimalią apkrovą, kad išlaikyti generatoriaus sinchroninį sukimosi greitį;
6. Nustatyti kokią įtaką generatoriams daro trumpasis jungimas pas vartotojus.

## 1 Teorinė dalis

### 1.1 Paskirstytojo generavimo vystymo galimybės

Paskirstytosios elektros energijos gamybos naudą vartotojams galima apibūdinti keletu jos privalumų: padidėja elektros tiekimo patikimumas ir galimybės naudoti elektros energiją be pertrūkių, sumažėja energijos kaina ir pan. Elektros energetikos sistema taip pat gali gauti naudos dėl paskirstytosios elektros gamybos plėtros – galima atidėti vėlesniam laikui ar visai išvengti didelės galios jėgainių statybos ir perdavimo tinklo bei skirstomųjų tinklų plėtros [1]. Paskirstytoji elektros gamyba taip pat gali teikti naudą elektros sistemai ir vartotojui kartu – padėti sumažinti elektros energijos vartojimo netolygumą ir elektros perdavimo technologinius nuostolius tinkluose bei pagerinti elektros energijos kokybę nutolusiems vartotojams.

**Paskirstytoji energijos gamyba** – tai integruoti (prijungti prie skirstomųjų tinklų) arba prie šalies elektros tinklo neprijungti (įrengti vartotojo aikštelėje) maži elektros energijos gamybos šaltiniai, skirti patenkinti specifines galios ar elektros tiekimo patikimumo reikmes ir teikiantys naudą elektros energetikos sistemai, atskiram vartotojui arba kartu sistemai ir vartotojui.

**Paskirstytieji pajėgumai** – tai paskirstytosios gamybos šaltiniai ir energijos kaupimo įrenginiai.

**Paskirstytieji energijos ištekliai** – tai paskirstytieji pajėgumai ir poreikių valdymo priemonės.

Kadangi vienu pagrindinių paskirstytosios elektros gamybos motyvų yra siekis turėti generatorių arčiau vartotojo, tai šie šaltiniai dažniausiai prijungiami ir eksploatuojami elektros skirstomuosiuose tinkluose arba jungiami tiesiogiai prie vartotojo tinklo. Paprastai paskirstytajai elektros gamybai priskiriami generatoriai, kurių galia neviršija 50 MW [2].

Pagal CIGRE (angl. *The International Council on Large Electric Systems*) paskirstytaisiais vadinami tokie generatoriai:

- galia mažesnė už 100 MW;
- prijungti prie skirstomojo tinklo;
- centralizuotas valdymas netaikomas;
- elektros energijos kiekis neplanuojamas

## 1.2 Paskirstytojo generavimo privalumai ir trūkumai

Pagrindiniai decentralizuotos energijos generavimo privalumai:

1. Laiku atliktos investicijos. Paskirstytosios energijos tiekimo atveju statomos nedidesnės galios jėgainės, todėl investicijos yra savalaikės, išvengiama galių pertekliaus arba deficito ir tuo pačiu energijos kainų staigių pokyčių bei pasiekiamas aukštas projekto ekonominis efektyvumas. Nauji energijos generavimo pajėgumai atsiranda būtent tuo metu, kai atsiranda jų poreikis [2].
2. mažesnės energijos transportavimo ir skirstymo sistemų vystymo investicijos. Esant labiau diversifikuotam energijos generavimui, reikalingos mažesnės investicijos į centralizuoto energijos tiekimo tinklo įrengimą ir atkūrimą. Šios investicijos paprastai sudaro didelę visų energijos tiekimo ir skirstymo kaštų dalį, ypač žinant, kad energijos tiekimo pajėgumai vidutiniškai metų bėgyje yra išnaudojami mažiau nei 50%. Lietuvos sąlygomis šiuo požiūriu ypač palanki vieta naujų paskirstytojo elektros energijos tiekimo jėgainių įrengimui būtų Vakarų Lietuva, nutolusi nuo pagrindinių elektrinių Vilniuje, Kaune, Elektrėnuose ir Visagine.
3. efektyvus energijos tiekimas. Vystantis decentralizuotam energijos tiekimui, mažėja energijos technologinės sąnaudos tinkle (tuo pačiu ir reikalinga jėgainių galia ir investicijos).
4. pagerėja tiekiamos energijos kokybė. Esant paskirstytajai generacijai mažėja elektros energijos įtampos svyravimai, geriau subalansuojama reaktyvioji galia, ilgėja įrangos (ypač transformatorių) susidėvėjimo laikotarpis.
5. išauga energijos tiekimo patikimumas. Decentralizuoto energijos tiekimo pajėgumui dirbant lygiagrečiai su bendru energijos tiekimo tinklu, ryškiai išauga energijos tiekimo patikimumas. Energijos tiekimo patikimumo ekonominę vertę yra pakankamai sudėtinga įvertinti ir labai priklauso nuo energijos vartotojo. Aišku, kad energijos tiekimo nutraukimo ekonominė žala kur kas didesnė yra komercinių ir pramoninių vartotojų atveju, nei gyventojų atveju.
6. greitas jėgainių paleidimas. Esant decentralizuotam energijos tiekimui, šalies ūkis tampa mažiau pažeidžiamas nuo įvairių ekologinių nelaimių ir teroristinių išpuolių.
7. išauga energijos generavimo efektyvumas ir sumažėja tarša. Šio privalumo vertė priklauso nuo to, su kokia elektrine yra lyginama. Jei vėjo paskirstytosios jėgainės pakeičia kondensaciniu režimu mazutą deginant generuojamą elektros energiją, bendras energijos tiekimo efektyvumas išauga ženkliai. Kitais atvejais efektyvumas gali būti ir ne toks ženklaus. Esant dideliame kiekiui smulkių šaltinių ir vartotojų, mažesnė galia yra laikoma „karštame rezerve“. Tai irgi leidžia padidinti bendrą energijos generavimo efektyvumą.

8. informacinių technologijų įtaka elektros energijos rinkoje. Be pačių decentralizuoto energijos tiekimo jėgainių technologijų tobulėjimo, pastebima yra ir kita tendencija – 18 informacinių technologijų (IT) auganti įtaka šioje rinkoje. Paskirstytojo energijos tiekimo efektyvumas gali būti ypač didelis, derinant šią koncepciją su energijos akumuliacijos pajėgumų, vartojamos galios valdymu ir energijos poreikių nuolatinio prognozavimo sistema. Atsirado netgi naujas terminas – „virtuali elektros energijos generavimo jėgainė“. Tai yra nedidelių jėgainių, jų aptarnaujamų vartotojų, elektros energijos akumuliacijos įrengimų sisteminis valdymas, pasinaudojus naujausiomis duomenų perdavimo ISDN arba LAN tinklo pagalba technologijomis. Tokiu būdu vienu metu yra valdomos jėgainės ir vartotojai, geografiniu požiūriu esantys nutolę vienas nuo kito. Maždaug kas 15 minučių „virtualios jėgainės“ operatorius gauna prognozę apie energijos poreikių numatomą kitimą, klimato numatomą kitimą (su tuo susijusių saulės, vėjo jėgainių galimą išnaudojimą), elektros energijos momentinę (spot) kainą rinkoje. Pasitelkus šiuos duomenis ir kompiuterines programas kiekvienu atskiru momentu yra randamas optimalus visų pajėgumų išnaudojimo režimas, atspindintis mažiausius energijos tiekimo kaštus būtent tuo momentu [3].
9. bendra decentralizuoto energijos tiekimo ekonominė vertė. Aišku, kad skirtingais atvejais, visi aukščiau išvardinti paskirstytojo energijos tiekimo privalumai pasireiškia nevienodai. Šios naudos santykis su galimomis papildomomis investicijomis labai priklauso nuo projekto finansavimo prielaidų. Komerciniams projektams vidutiniška investicijų grąža turi siekti virš 20% per metus, kai tuo tarpu – visuomeninių ilgalaikių projektų, siekiant mažiausių kaštų per ilgą (iki 30 metų) laikotarpį, investicijų grąža turi siekti apie 10 %. Taigi, ekonomiškai jau dabar visuomenės atžvilgiu daugeliu atveju pasiteisina projektai, įrengiant sąlyginai brangesnes nedidelės galios decentralizuotas jėgaines. Be tiesioginės ekonominės naudos, paskirstytojo energijos tiekimo sektoriaus plėtra leidžia užtikrinti realią konkurenciją tarp skirtingų energijos tiekėjų rinkoje. Esant rinkos sąlygoms, visas energetikos ūkis vystosi greičiau ir efektyviau, nei esant centralizuoto planavimo sąlygoms, kadangi šiuo atveju prioritetą gauna patys efektyviausi rinkoje galimi sprendimai.

Ši energijos tiekimo koncepcija yra dar pakankamai nauja. Ji atsirado tik pradėjus ženkliai vystyti technologijoms, sumažinusioms smulkių jėgainių santykinę investicijas, padidinusioms jų efektyvumą.

Nežiūrint technologijų pažangos decentralizuotas energijos tiekimas turi ir savo trūkumus:

1. investicijos į paskirstytos generacijos šaltinius dar yra ženkliai didesnės už stambių elektrinių.

2. smulkių elektrinių generavimo efektyvumas dažnai nusileidžia šiuolaikinių kombinuotu ciklu dirbančių stambių kogeneracinių elektrinių efektyvumui.
3. kuro kaina nedideliems vartotojams paprastai yra didesnė, nei kuro kaina stambioms elektrinėms.
4. smulkūs energijos tiekėjai susiduria su problemomis, norėdami patiekti elektros energiją į bendrą sistemą, mokėdami didelius galios rezervavimo mokesčius.

Atsinaujinančiai energijai sparčiai plisti yra daug trukdančiųjų barjerų. Pirmiausia ji yra gamtoje labai išsklaidyta, todėl jai panaudoti reikia žymiai sudėtingesnių ir tuo pačiu brangesnių technologijų. Tuo pačiu brangių technologijų atsiperkamumas ir ateities eksploatavimo perspektyvos tampa neaiškios, kas lėtina šį procesą. Antra priežastis tai nepakankamas gerų pavyzdžių kiekis bei visuomenės švietimas. Trečia problema yra paskirstytųjų mažųjų generatorių įtakos pačiai elektros sistemai prognozavimas ir įvertinimas.

Atsinaujinantieji šaltiniai turi suvaidinti savarankiškumo didinimo vaidmenį, nes planuojama, kad per sekančius 25 metus Europos importuojamo kuro dalis didės nuo 50 % iki 70 %. Todėl mokslinių tyrimų kryptis į šių šaltinių plėtrą leistų didinti jų dalį nuo planuojamų 2010 metais 12 % iki 24 %. Šis energetinį savarankiškumą didinantis užmojis panaudoti išsisklaidžiusią atsinaujinančiąją energiją yra labai brangus. Planuojami darbai ir tyrimai 6-oje Bendrojoje programoje gali kainuoti kelis šimtus milijonų eurų.

Plačiai panaudoti atsinaujinančiuosius energijos šaltinius trukdo šie barjerai:

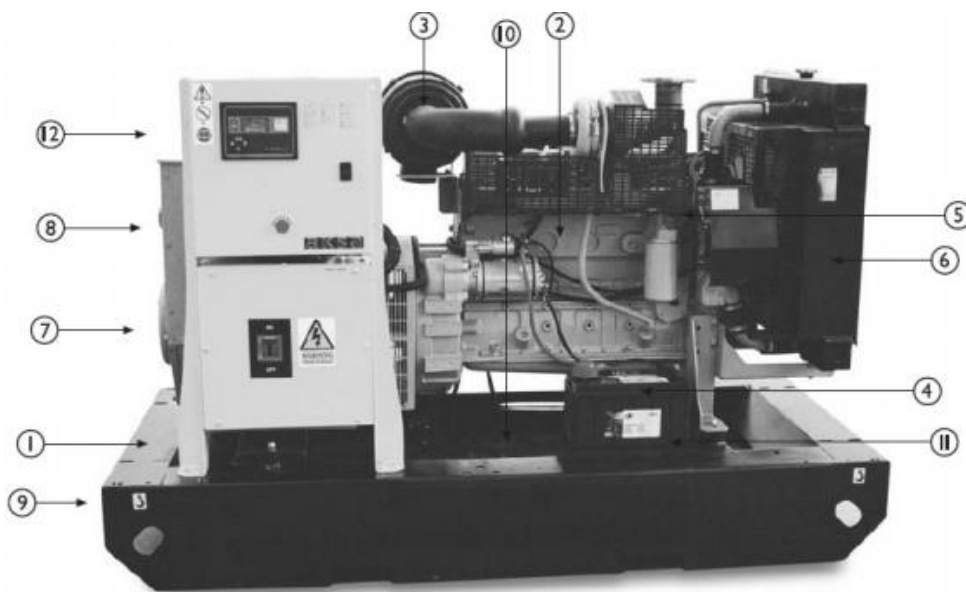
1. integravimasis į energijos rinką.
2. taisyklių pertvarkymas, energetikos sistemų valdymo principų pertvarkymas.
3. prijungimo prie elektros tinklų technologijos. Mažųjų generuojančių šaltinių prijungimas prie elektros tinklų dažniausiai nėra sudėtingas, tačiau mažųjų generuojančių šaltinių darbo neapibrėžtumas sukelia sunkumų užtikrinant aukštą elektros energijos kokybę vartotojams, bei mažina elektros tinklų veikimo efektyvumą.
4. informacijos gavimas ir dispečerizavimas. Šių dienų aktuali problema yra informacijos apie elektros energijos gamybą, tiekimą į tinklą tiek realiaame laike, tiek ir praėjus tam tikram laikotarpiui (parai, mėnesiui). Lietuvoje ir kitose Rytų Europos energetikos sistemose dažnai problema yra ir informacijos nebuvimas apie generuojančių šaltinių statinius bei dinامينius parametrus.

## 1.3 Dyzeliniai generatoriai

### 1.3.1 Elektros generatoriaus struktūra

Dyzelinis generatorius sukonstruotas taip, kad veiktų sklandžiai ir saugiai. Jame yra slėgio indikatoriai arba tepalo lygio davikliai [4]. Termodavikliai, apsaugantys nuo temperatūrų svyravimo, kiti papildomi saugikliai. Generatoriuje gali būti papildomai įmontuoti dvipoliai arba keturpoliai jungikliai, apsaugantys nuo per didelės įtampos, darbo valandų skaitiklis, elektrinis starteris su akumuliatoriniu elementu, įžeminimo komplektu, išmetamųjų dujų vamzdis, suvirinimo laidai, automatinio paleidimo panelė (generatoriams su elektriniu starteriu) ir kt.

Dyzelinis generatorius yra dyzelinio variklio ir kintamos srovės generatoriaus sistema (1.3.1 pav.). Dyzeliniai generatoriai dažniausiai naudojami sistemose, kurios yra neprijungtos prie elektros tinklų, kad būtų galima tiekti nepertraukiamą elektros energijos srovę, taip pat ir hibridinėse sistemose, kuriose dėl nepakankamo generuojamo elektros energijos kiekio reikia padengti jos trūkumus. Dyzelinio generatoriaus galingumas priklauso nuo elektros energijos sąnaudų [5]. Dyzelinio generatoriaus pagrindinės sudedamosios dalys yra pateikiamos 1 lentelėje.



1.3.1 pav. Dyzelinis generatorius <sup>1</sup>

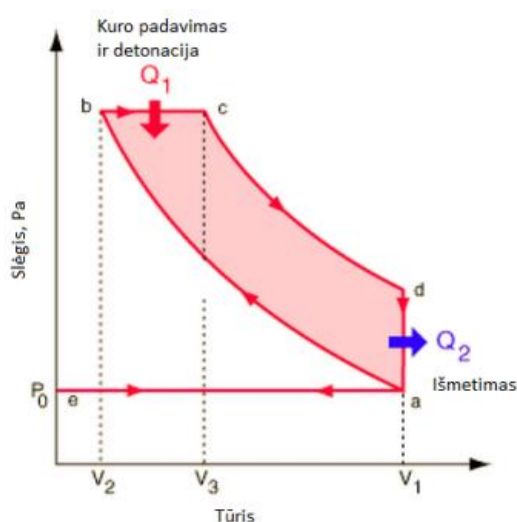
<sup>1</sup> Dyzelinis generatorius: <http://www.aksausa.com/wp-content/uploads/2015/06/AKSA-GENERATOR-INSTALLATION-OPERATION-MANUAL.pdf>

## 1 lentelė Dyzelinio generatoriaus dalys

Nr.	Apibūdinimas	Nr.	Apibūdinimas
1	Dyzelinio variklio ir generatoriaus sistema	7	Generatorius
2	Dyzelinis variklis	8	Terminalo dėžė
3	Oro filtras	9	Stovas
4	Baterija	10	Kuro bakas (stove)
5	Baterijos įkrovimo generatorius	11	Vibracijos izoliatoriai
6	Radiatorius	12	Valdymo pultas

### 1.3.2 Dyzelinio variklio veikimo principas

Dyzelinis variklis yra vidaus degimo variklis, kuris degina įpurkštą į degimo kamerą dyzelinio kuro ir oro mišinį, suslėgdamas jame esančias dujas iki aukštos temperatūros, dėl kurios įvyksta detonacija. Dyzelinio variklio veikimo principas yra panašus į benzininio variklio veikimą, 24 tik vietoje žvakių, kurios yra naudojamos benzininiame variklyje, kad įvyktų detonacija, yra naudojamas didelis slėgis. Dyzeliniai varikliai šiuo metu yra patys efektyviausi vidaus degimo varikliai, nes yra prarandama mažiausiai energijos ciklo metu. 1.3.2 paveiksle yra pavaizduotas dyzelinio variklio cilindro ciklas. Trumpai apžvelkime šį ciklą. Proceso A-b metu į degimo kameroje esantis oras yra suslegiamas iki 4 MPa, tokiu atveju oras išyla iki 550 °C [6]. B-c proceso metu į degimo kamerą yra paduodamas dyzelinis kuras, kuris dėl aukštos oro temperatūros detonuojasi. Dyzelinas yra įpurškiamas, kad pasiskirstytų kameroje tolygiai ir visas sudegtų.



1.3.2 pav. Dyzelinio variklio cilindro ciklas [7]<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Dyzelinio variklio cilindro ciklas: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/diesel.html>

C-d proceso metu dėl išsiskyrusios energijos kameroje esantys stūmoklis yra stumiamas atgal, ši energija yra panaudojama darbui atlikti įvairiose situacijose. D-a veiksmo iš kameros yra išmetamos sudegusios dujos ir nepanaudota šiluma.

### **1.3.3 Akumulatoriai**

Akumulatoriai yra sudaryti iš elektrocheminių plokštelių sujungtų taip, kad būtų išgaunama norima srovė ir įtampa. Populiariausi akumulatoriai (švino-rūgštiniai) sudaryti iš dviejų elektrodų. Teigiamas elektrodas sudarytas iš švino dioksido ( $PbO_2$ ), o neigiamas - iš gryno švino (Pb). Erdvė tarp elektrodų yra užpildyta sieros rūgštimi ( $H_2SO_4$ ). Baterijos įtampa priklauso nuo celių temperatūros ir rūgšties tankio, taip pat tankis ir temperatūra keičiasi skirtingose įkrovimo/iškrovimo stadijose. Akumuliatorių darbas ties įtampos kritinėmis ribomis gali sukelti nepageidautiną akumuliatorių tarnavimo laiko sumažėjimą. Akumulatoriai dėl vykstančių savaiminių vidinių cheminių reakcijų per laiką praranda sukauptą elektros energiją, tai vadinama savaiminiu išsikrovimu. Išsikrovimo laikas įvairių gamintojų akumuliatorių skiriasi labai nežymiai. Laikant akumulatorius  $20^\circ C$  temperatūroje jie praranda 25 % sukauptos elektros energijos per šešis mėnesius, t.y. apie 0,14 % per dieną [8].

### **1.3.4 Dyzeliniai varikliai ir jų valdymo sistemos**

Dyzeliniai varikliai, tai tokie varikliai, kurie turi didelį suslėgimo laipsnį. Tuo metu, kai suslėgimo taktas artėja prie pabaigos, tai variklio cilindruose susidaro labai didelis slėgis ir stipriai pakyla temperatūra. O degusis mišinys susidaro cilindro kameroje.

Šie varikliai iš aplinkos ima orą ir perduoda jį į cilindrą. Jame oras suslegiamas iki 3,0 – 3,5 Mpa, o temperatūra pakyla iki  $500 - 700^\circ C$ . Kai stūmoklis nepasiekia aukščiausio taško, į jį, aukšto slėgio degalų siurblys, įpurškia į cilindrą kurą. Kuras yra įpurškiamas smulkiais lašeliais. Kai pasiekama reikiama kuro koncentracija – oro mišinys užsiliepsnoja. Dalis sudega dar stūmokliui nepasiekus aukščiausio taško, o likusi ir pagrindinė dalis stūmokliui slenkant žemyn.

### **1.3.5 Dyzelinio variklio perdavimo funkcija**

Pagrindinę dyzelinio variklio perdavimo funkciją sudaro – kuro sudegimo procesas ir alkūninio veleno sukimo momentas.

Kuro sudeginimo procesas susideda iš 4 fazių:



1. Uždegimo vėlavimo fazė. Kai kuras pradamas purkšti į cilindrą ir baigiasi ties mišinio užsidegimu.
2. Pradinė kuro – oro mišinio degimo fazė. Šios fazės metu dega kuro – oro mišinys, kurį įtakojo uždegimo vėlavimo fazė. Šis mišinys sudega per keletą alkūninio veleno pasisukimo laipsnių išskirdamas didžiausią šilumos kiekį.
3. Antrinė degimo fazė. Vykstant šiai fazei, yra įpurškiamas likęs kuras, kuris besimaišydamas su oru toliau dega.
4. Baigiamoji kuro – oro mišinio degimo fazė. Ši fazė prasideda, kai pasibaigia kuro įpurškimas, tada likęs kuro – oro mišinys būna visiškai sudegęs.

Pritaikius 1 termodinamikos dėsnį atvirai sistemai, galima apskaičiuoti dujų slėgio kitimo cilindre procesą:

$$\frac{dQ_n}{dt} - p \frac{dV}{dt} + m_f h_{inj} = \frac{dU}{dt}; \quad (1)$$

čia:

$\frac{dQ_n}{dt}$  - šilumos kiekis;

$p \frac{dV}{dt}$  - energija, kuri yra suteikiama iš kitų sistemai priklausančių elementų;

$m_f$  - kuro masė;

$h_{inj}$  - kuro entalpija;

$\frac{dU}{dt}$  - dujų vidinė energija.

Jeigu kuro - oro mišinys yra idealios dujos, tai gausime tokią lygtį:

$$\frac{dU}{dt} = m c_v \frac{dT}{dt}; \quad (2)$$

čia:

$m$  - dujų masė;

$c_v$  - specifinė dujų šiluma esant pastoviam tūriui;

$T$  - dujų temperatūra cilindro viduje.

Taip pat galioja kita idealiųjų dujų lygtis:

$$\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T}; \quad (3)$$

Ištačius 1 ir 2 lygtis vieną į kitą ir nevertinant kuro entalpijos  $m_f h_{inj}$  gaunama tokia lygtis:

$$\frac{dQ_n}{dt} = \left(1 + \frac{c_v}{R}\right) p \frac{dV}{dt} + \frac{c_v}{R} V \frac{dp}{dt}; \quad (4)$$

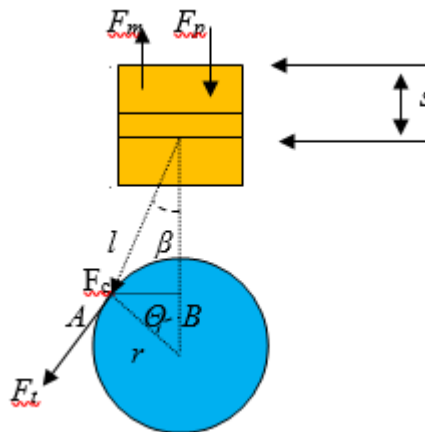
čia  $R$  yra dujų konstanta.

Randama dujų tūrio išraiška kaip alkūninio veleno posūkio kampo funkcija bei šilumos kiekio išraiška kaip kuro kiekio, kuro – oro santykio, įpurškimo kampo ir slėgio funkcija.

Stūmoklio padėtį nusako tokia lygtis:

$$s = r(1 - \cos\theta) + l(1 - \cos\beta); \quad (5)$$

Grafiškai (1.3.3 pav.) pavaizduotos stūmoklio padėtį bei ją veikiančios jėgos:



1.3.3 pav. Alkūninį veleną veikiančios jėgos.

Dujų tūrio lygtį galima užrašyti taip:

$$V = sA_p + V_c; \quad (6)$$

čia:

$A_p$  - stūmoklio paviršiaus plotas;

$V_c$  - stūmoklio ir cilindro tarpelio tūris.

Šilumos kiekis - skirtumas, tarp šilumos kiekio, išsiskyrusio kuro degimo metu  $Q_{ch}$  ir per cilindro sienelės atiduoto šilumos kiekio  $Q_{ht}$ :

$$Q_n = Q_{ch} - Q_{ht}; \quad (7)$$

Šilumos kiekio, išsiskyrusio kuro degimo metu, lygtį galima užrašyti taip:

$$Q_{ch} = Q_{LHV}m_{f,b}; \quad (8)$$

čia:

$Q_{LHV}$  - kuro degimo konstanta ir yra lygi 42,5;

$m_{f,b}$  - pirmos ir antros degimo fazių degimo produktų masės;

$m_{f,b}$  lygtį galima gauti naudojant dvi Viebe (*Wiebe*) funkcijas  $\psi_p$  ir  $\psi_m$  t.y. pirmai ir antrai degimo fazėms:

$$\frac{dm_{f,b}}{d\theta} = m_f \left( \alpha \frac{d\psi_p}{d\theta} + (1 - \alpha) \frac{d\psi_m}{d\theta} \right); \quad (9)$$

kur  $\alpha$  yra kuro dalis sudeganti pirmoje degimo fazėje. Jos lygtį galima užrašyti taip:

$$\alpha = 1 - a \frac{O^b}{T_{id,ms}^c}; \quad (10)$$

kur  $O$  yra kuro – oro santykis, o  $T_{id,ms}^c$  yra uždegimo vėlavimo laikas milisekundėmis.

Kuro – oro mišinio užsidegimo metu slėgis kameroje labai smarkiai padidėja ir dėl to stūmoklis yra priverčiamas judėti žemyn. Stūmoklis švaistikliu yra sujungtas su alkūniniu velenu. Judėdamas žemyn, stūmoklis priverčia alkūninį veleną sukis ratu. Kitaip sakant, linijinis stūmoklio judėjimas yra keičiamas į sukamąjį judėjimą. Todėl sistemą galima išskirti į dvi dalis: slankiojančių masių dalį ir besisukančių masių dalį.

## 1.4 Biokuras

### 1.4.1 Bendrosios žinios apie biokurą

Biodegalai yra iš biomasės gaminamas kuras, paprastai naudojamas kaip kuras transportui. Dyzelino ir benzino analogai biodyzelinas ir bioetanolis – labiausiai paplitusios jo rūšys. Biodyzelinas paprastai gaminamas iš augalinių aliejų ar gyvulinės kilmės riebalų (Lietuvoje – iš rapsų aliejaus), o bioetanolis – iš krakmolo ar cukraus turinčių žaliavų (Lietuvoje – daugiausia iš kvietrugių ar kviečių). Šiuo metu pasaulyje didžioji biodegalų dalis pagaminama iš maistinių kultūrų – javų, runkelių, sojų, cukranendrių, rapsų, palmių ir pan. „Antrosios kartos“ biokurą galima gaminti iš bet kokios biomasės, įskaitant šiukšles ir dumblis. [12]

Biodegalai – biokuras, tinkamas naudoti vidaus degimo varikliuose kaip degalai. Dažniausiai vartojamos biodegalų rūšys yra bioetanolis, biodyzelinas, biodujos, bioetiltretbutileteris (ETBE).

Biodyzelinas – metilo (etilo) esteris, pagamintas iš augalinės kilmės aliejų ar gyvūninės kilmės riebalų, prilygstantis dyzelino kokybei, skirtas naudoti kaip biokuras. Lietuvoje biodyzelinas (rapsų metilo esteris – RME) gaminamas iš rapsų sėklų.

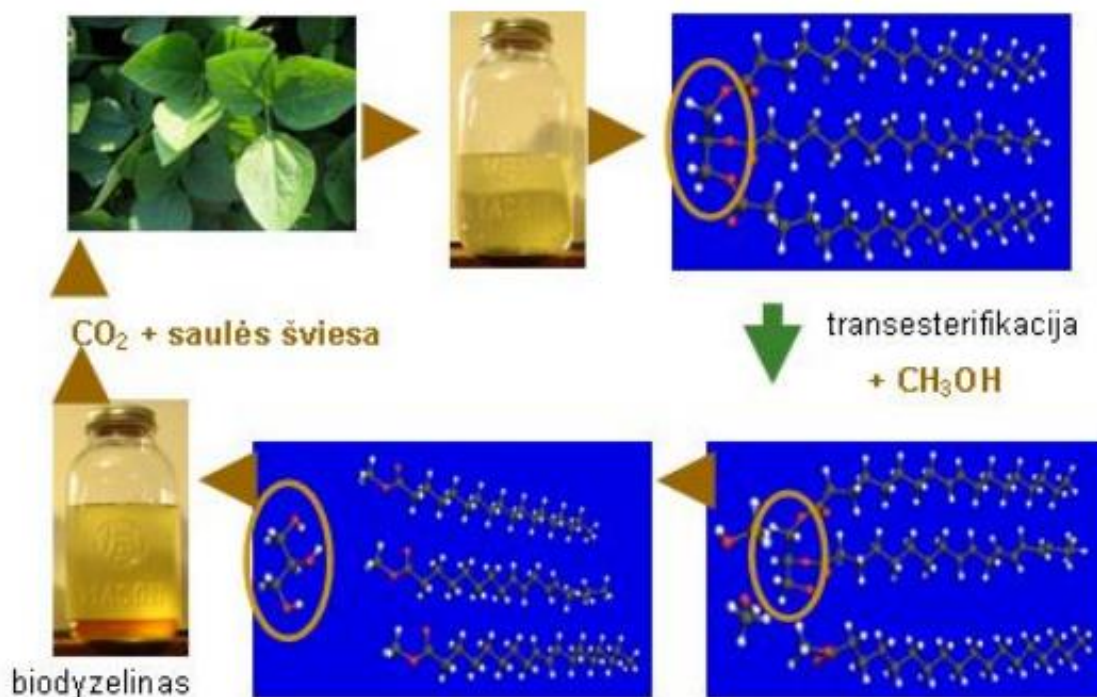
Biodyzelinas – augalinės ar gyvulinės kilmės riebalų esteris. Priklausomai nuo gamyboje naudojamo alkoholio rūšies – metanolio arba etanolio, jis vadinamas metilo arba etilo esteriu atitinkamai. Biodyzelinas naudojamas mišiniuose su tradiciniu dyzelinu arba grynas. Dažniausiai naudojamus 20% biodyzelino mišinius galima vartoti įprastiniuose varikliuose be techninių pakeitimų. Kadangi biodyzelinas yra geras tirpiklis, tai pradėjus vartoti jo mišinius, pradžioje tenka dažniau keisti kuro filtrus. Grynas biodyzelinas gali būti naudojamas tik tam tikslui pritaikytuose varikliuose.

### 1.4.2 Biodyzelino gamyba

Dėl mažo teršalų kiekio, rapsų metilo esteris – tinkamiausi degalai transportui, žemės ūkio technikai, dyzeliniams generatoriams, pramonėje. Tai biologinės kilmės produktas, todėl, įvykus nelaimingam atsitikimui, ir kurui patekus į dirvą, daugiau kaip 90% jo suyra per 21 parą. Metilo esterio gamyba iš augalinio aliejaus apima du pagrindinius procesus:

- iš aliejingųjų augalų sėklų išgaunamas aliejus;
- naudojant katalizatorius aliejus yra peresterinamas alkoholiais.

Teoriškai biodyzelino gamybai gali būti naudojamas bet koks augalinis aliejus. Deja, iš pietų šalyse augančių augalų aliejaus rūšių pagaminto biodyzelino užšalimo laipsnis neatitinka ES taikomų standartų. Geriausiomis savybėmis pasižymi biodyzelinas, pagamintas iš rapsų aliejaus, nes jis tinkamiausias naudoti atšiauraus klimato šalyse. Lietuvoje pagrindinė žaliava gamybai yra aliejus, išspaustas iš šalyje auginamų rapsų.



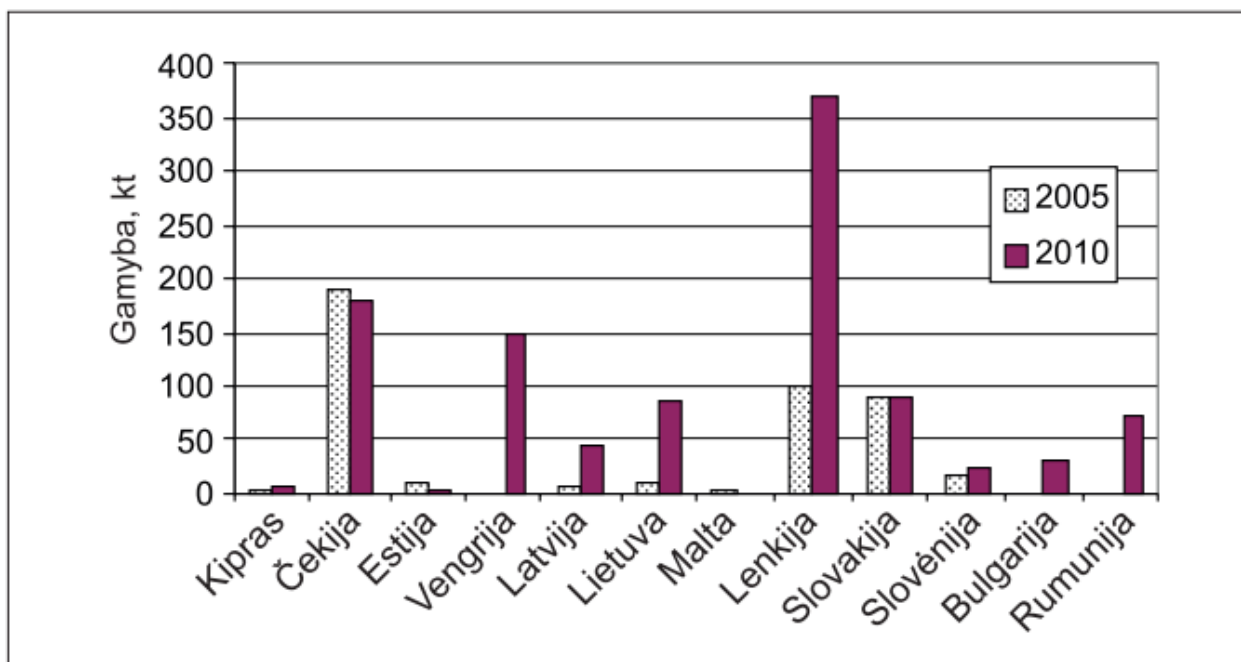
1.4.1 pav. Principinė biodyzelino gamybos schema<sup>3</sup>

### 1.4.3 Biodegalų gamybos plėtra Lietuvoje

Turimais duomenimis, mūsų šalyje, esant palankioms sąlygoms, 2020 m. galėtų būti pagaminta iki 100 tūkst. tonų biodyzelino transportui. Tai sudarytų apie 15 % suvartojamo degalų kiekio. Lietuvoje privalomos biodyzelino riebiųjų rūgščių metilesterių (RRME) naudojimo apimtys 2010 m. turėtų siekti 40 tūkst. t. [11]

Bioetanolis gaminamas Šilutėje įkurtoje nuvandeninto etilo alkoholio gamybos įmonėje. Nors šios įmonės gamybiniai pajėgumai sudarė 10 tūkst. t bioetanolio per metus, bet patenkinti praktiškus poreikius pakako 7 tūkst. t. Plečiantis bioetanolio vartojimo rinkai, gamybos apimtys padidintos iki 15 tūkst. t per metus. Tačiau įvertinant, kad bioetanolis biodegalų mišinyje tam tikromis sąlygomis linkęs išsisluoksniuoti, į benzinaž pridedama ne gryno bioetanolio, o iš jo pagaminto bio-ETBE, kurio biodegaluose turi būti iki 8 %.

<sup>3</sup> Principinė biodyzelino gamybos schema:  
[http://www.lei.lt/\\_img/\\_up/File/atvir/bioenerlt/index\\_files/Biodegalai\\_galut.pdf](http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodegalai_galut.pdf)



1.4.2 pav. Biodyzelino gamybos augimo dinamika ES šalyse<sup>4</sup>

Toliau pateikta 2 lentelė, kurioje yra Lietuvoje esančios įmonės gaminančios biodyzeliną.

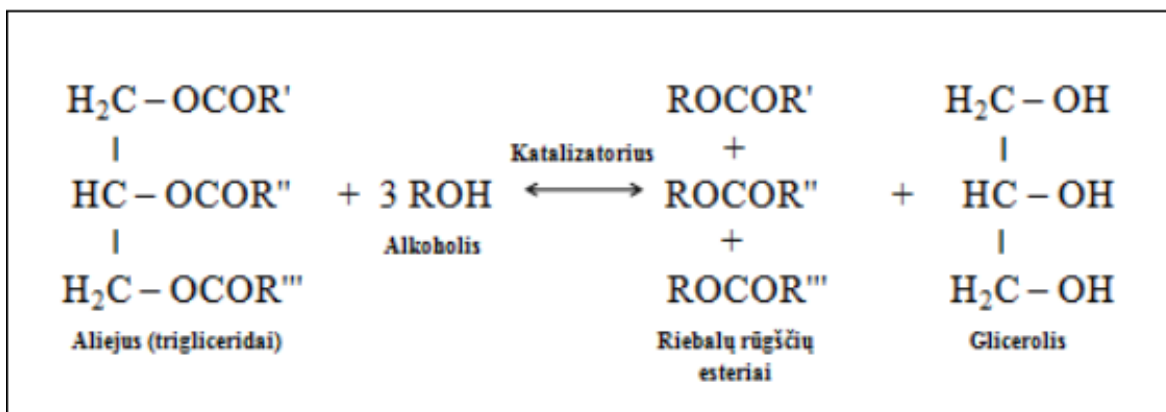
2 lentelė Biodegalų gamintojų Lietuvoje gamybiniai pajėgumai

Biodyzelino gamintojai		
1	UAB „Mestilla“	100
2	UAB „Rapsoila“	30
3	UAB „Baltijos biodyzelino centras“	30
4	UAB „Arvi cukrus“	24
5	KB „SV Obeliai“	20
6	UAB „Šiaurės vilkas“	20

#### 1.4.4 Biodegalų gamyba, taikant cheminius ir biotechnologinius metodus

Tradicinė biodyzelino gamyba – cheminiu metodu, naudojant šarminius katalizatorius (KOH, NaOH). Peresterinimo reakcijos metu, reaguojant alkoholiui ir katalizatoriui, didelės molekulinės masės šakotos aliejaus (trigliceridų) molekulių grandinės suardomos, sutrumpėja, susidaro naujos linijinės formos molekulės – esteriai ir glicerolis (1.4.3 pav.). Dėl peresterinimo proceso sumažėja produkto klampa ir tankis, todėl gauti augalinės kilmės esteriai savo savybėmis panašūs į mineralinį dyzeliną.

<sup>4</sup> Biodyzelino gamybos augimo dinamika ES šalyse: <http://lmaledykla.lt/ojs/index.php/energetika/article/view/2340/1226>



1.4.3 pav. Principinė riebalų rūgščių esterių ir glicerolio susidarymo schema<sup>5</sup>

Matant 1.4.3 paveikslą, atitinkamai su pasirinktomis peresterinimui žaliavomis, gali būti gaunami: rapsų aliejaus riebalų rūgščių metilesteriai (RME), rapsų aliejaus riebalų rūgščių etilesteriai (REE), kiaulinių riebalų rūgščių metilesteriai (KME), riebalų rūgščių metilesteriai (RRME), rapsų aliejaus riebalų rūgščių butilesteriai (RBE) ir t. t. Šarmai plačiai naudojami ir yra pakankamai efektyvūs pramoninės paskirties katalizatoriai, tačiau peresterinimo metu, reaguojant su aliejumi ir alkoholiu, susidaro papildomai glicerolis ir muilai, dėl to mažėja biodyzelino išeiga. Sudėtingas produkto atskyrimo ir gryninimo procesas, reikalauja papildomų energijos sąnaudų, todėl ieškoma naujų katalizatorių tinkančių biodyzelino gamybai. Vieni iš tokių galėtų būti fermentai. Biotechnologinis (fermentinis) biodyzelino gamybos metodas, kurio metu naudojami fermentai, kaip biokatalizatoriai, gali išspręsti cheminio metodo trūkumus. Biotechnologinio biodyzelino gamybos metodo privalumai: nesusidaro muilų, vienu metu vyksta peresterinimas ir esterinimas (Uosukainen, 1999; Shieh et al., 2003). Lipazės – hidrolitiniai fermentai, kurių fiziologinė funkcija susijusi su lipidų apykaita. Lipazės sutinkamos bakterijose – eukariotuose. Mikrobinės lipazės gaunamos rauginant mieles ir bakterijas dideliuose fermentatoriuose. Apie 1996 m. atlikti kelių rūšių aliejų fermentinės alkoholizės bandymai. Prieš 20 pradedant biodyzelino sintezę, reikia nustatyti optimalias reakcijos sąlygas (temperatūrą, alkoholio, aliejaus ir vandens kiekį bei reakcijos trukmę), nuo jų labai priklauso reakcijos greitis bei produkto išeiga.

<sup>5</sup> Principinė riebalų rūgščių esterių ir glicerolio susidarymo schema: [gs.elaba.lt/object/elaba:1772419/1772419.pdf](http://gs.elaba.lt/object/elaba:1772419/1772419.pdf)

## 1.5 Sinchroninis generatorius

### 1.5.1 Bendrosios žinios apie sinchroninius generatorius

Žinome, kad sinchroninės mašinos gali dirbti tiek generatoriaus tiek variklio bei kompensatoriaus režimu. Sinchroninis generatorius yra pagrindinis kintamosios srovės generatoriaus tipas, naudojamas elektros energijos gamybos procese [10].

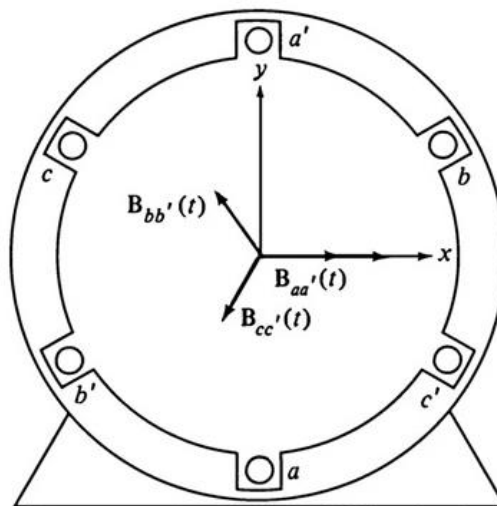
Kadangi sinchroninių variklių, sukimosi greitis, esant pastoviam dažniui, yra pastovus, todėl jis nepriklauso nuo apkrovos.

Kita skiriamoji sinchroninių generatorių ypatybė, kad galima reguliuoti jų galios faktorių. Ši ypatybė ypač svarbi didelės galios elektros generatoriams, nes galima padidinti arba sumažinti esant poreikiui naudingumo faktorių.

Sinchroninį generatorių sudaro: statorius ir rotorius.

Statoriaus grioveliuose sukloti daugiafazė (trifazė) apvija. O sinchroninių generatorių rotoriai yra dviejų rūšių: ryškiapoliai ir neryškiapoliai. Žadinimo lauką kuria rotoriaus žadinimo apvija tekanti nuolatinė srovė. Vadinasi, sinchroninių generatorių darbui būtinas nuolatinės įtampos šaltinis – žadintuvas.

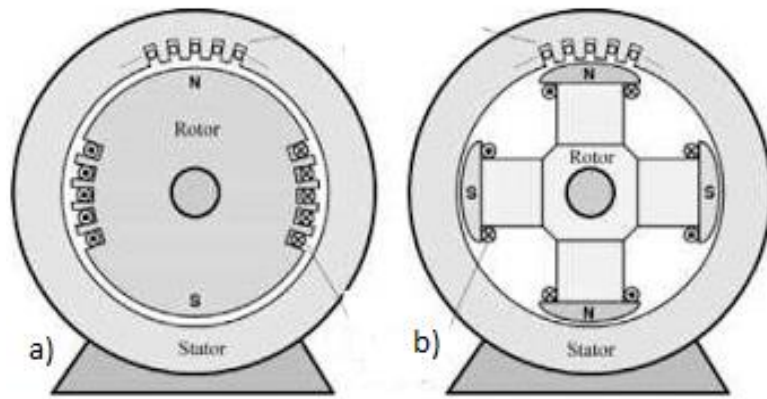
Sinchroninio generatoriaus mazgas, kuriantis žadinimo srautą, vadinamas induktoriumi, o mazgas, kuriame indukuojama elektrovara, vadinamas inkaru.



1.5.1 pav. Sinchroninio generatoriaus statorius<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Sinchroninio generatoriaus statorius: <http://www.globalspec.com/reference/59727/203279/chapter-5-ac-machine-fundamentals>





1.5.2 pav. Sinchroninio generatoriaus rotoriaus eskizai: a) neryškiapolis b) ryškiapolis<sup>7</sup>

- 1 – rotoriaus magnetolaidis;
- 2 – žadinimo apvija;
- d – d išilginė ašis;
- q – q skersinė ašis.

### 1.5.2 Sinchroninio generatoriaus modelis

Sinchroninis generatorius yra aprašomas Parko lygtimis.

Sakykime, kad generatorius savo skersinėje ir išilginėje ašyje turi po vieną slopinimo apviją: 1d ir 1q.

Toliau aprašomos statoriaus lygtys:

$$U_d = \frac{d\psi_d}{dt} + \psi_q \frac{d\gamma}{dt} - i_d r; \quad (11)$$

$$U_q = \frac{d\psi_q}{dt} - \psi_d \frac{d\gamma}{dt} - i_q r; \quad (12)$$

$$U_0 = \frac{d\psi_0}{dt} - i_0 r; \quad (13)$$

Žadinimo apvijų lygtis:

$$U_f = \frac{d\psi_f}{dt} - i_f r_f; \quad (14)$$

<sup>7</sup> Generatoriaus rotorius: <http://electricalbaba.com/difference-cylindrical-salient-pole-rotor-synchronous-generator/>

Slopinimo apvijios lygtys:

$$\frac{d\Psi_{1d}}{dt} + i_{1d}r_{1d} = 0; \quad (15)$$

$$\frac{d\Psi_{1q}}{dt} + i_{1q}r_{1q} = 0; \quad (16)$$

Judesio lygtis:

$$\frac{T_J}{\omega_0} * \frac{d^2\delta}{dt^2} = \Delta M = M_T - M_{el} = M_T - (i_d\Psi_q - i_q\Psi_d); \quad (17)$$

Srautų lygtys:

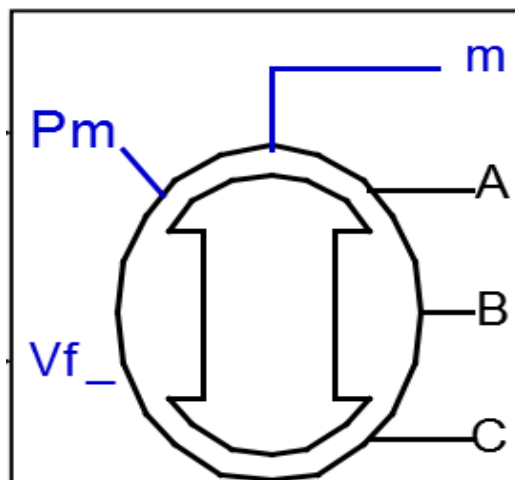
$$\Psi_d = I_f L_{ad} + I_{1d} L_{ad} - I_d L_d \quad [9]; \quad (18)$$

$$\Psi_q = U L_{aq} + I_{1q} L_{aq} - I_q L_q; \quad (19)$$

$$\Psi_f = I_f L_f + I_{1d} L_{ad} - I_d L_{ad}; \quad (20)$$

$$\Psi_{1d} = I_{1f} L_{ad} + I_{1d} L_{1d} - I_d L_{ad}; \quad (21)$$

$$\Psi_{1q} = U L_{aq} + I_{1q} L_{1q} - I_q L_{aq}; \quad (22)$$



1.5.3 pav. Sinchroninis generatorius MATLAB aplinkoje<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Sinchroninis generatorius MATLAB aplinkoje: <https://se.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/synchronous-machine.html>

### 1.5.3 Sinchroninio generatoriaus perdavimo funkcija

Iš judesio lygties galima nustatyti sinchroninio generatoriaus perdavimo funkciją.

$$T_J \frac{a}{dt}(\omega_r) = P_T - P_e - K_D \omega_r ; \quad (23)$$

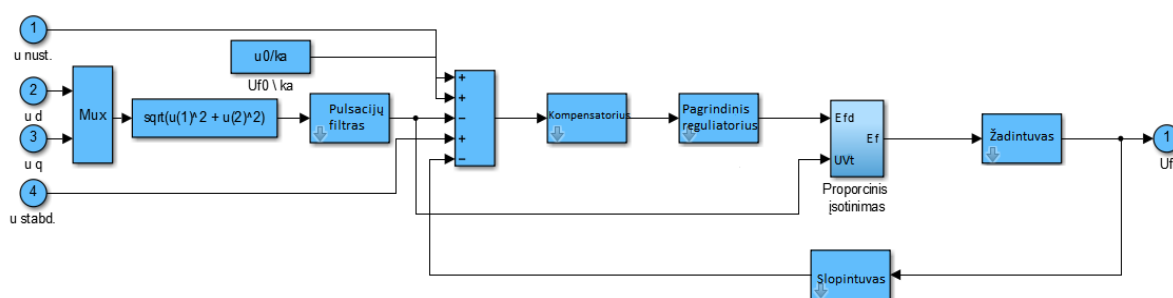
$$T_J = \frac{2J}{\omega_b} ; \quad (24)$$

$$T_J p \omega_r = P_T(p) - P_e(p) - K_D \omega_r ; \quad (25)$$

$$\frac{\omega_r}{P_T(p) - P_e(p)} = \frac{1}{K_D + T_J p} ; \quad (26)$$

Čia  $P_t$  – mechaninė pirminio variklio galia perduodama sinchroniniam generatoriui,  $P_e$  – atiduodama elektrinė galia,  $\omega_r$  – sinchroninio generatoriaus rotoriaus greitis ir  $D$  – yra slopinimo koeficientas.

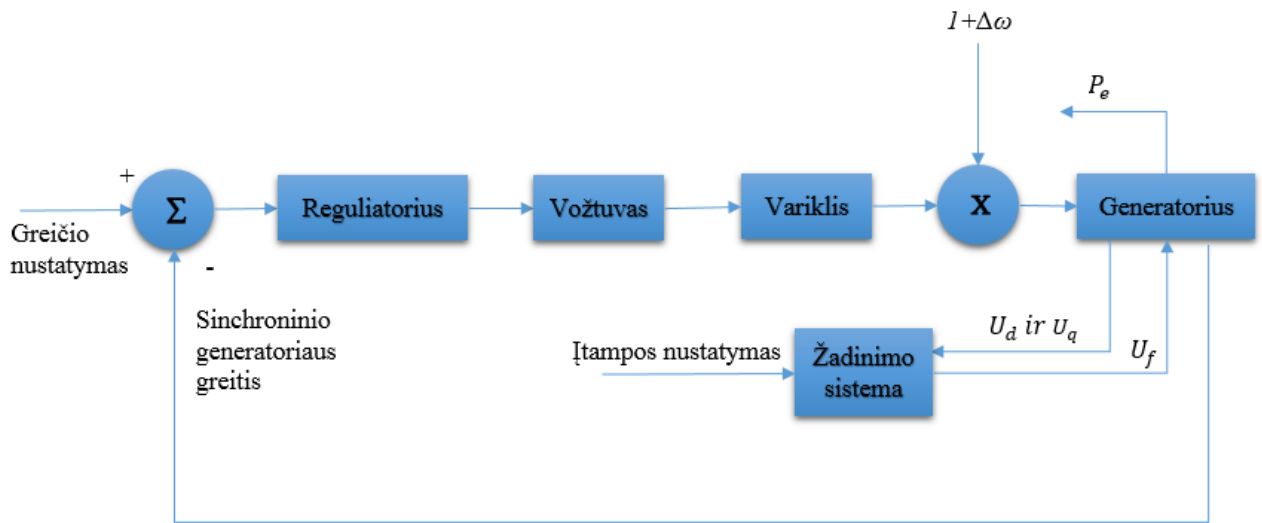
Žemiau pateikta sinchroninio generatoriaus žadinimo sistema „MATLAB“ modelyje ( 1.5.4 pav.).



1.5.4 pav. Sinchroninio generatoriaus žadinimo sistema

## 1.5.4 Biodyzelinio agregato modelis

Dyzelinį agregatą sudaro: dyzelinis variklis, sinchroninis generatorius, žadinimo sistema ir jų reguliatoriai. Funkcinė dyzelinio agregato schema:



1.5.5 pav. Funkcinė biodyzelinio agregato schema

## 2 Agregatų duomenys

### 2.1 Biodyzelinių generatorių duomenys

Čia yra pateikiami duomenys, kurie yra naudojami sudarant dyzelinio generatoriaus modelį MatLab aplinkoje. Biodyzelinio generatoriaus „1“ duomenys (gamintojas: „MTU Onsite Energy“):

1) Dyzelinio variklio duomenys:

Variklio galia:  $P_{dyz}=1,2$  MW;

Vėlinimo laiko pastovioji:  $\tau_6=0,024$  s;

Sukimo momento ribos:  $T_{min}=0,1$  s.v. ir  $T_{max}=1,0$  s.v.

2) Variklio regulatoriaus duomenys:

Laiko pastovioji:  $\tau=0,2$ s;

Laiko pastovioji:  $\tau_I=0,0002$ s;

Laiko pastovioji:  $\tau_2=0,01$ s;

Stiprinimo grandis:  $K=40$ .

3) Vožtuvo ir servovariklio duomenys:

Laiko pastovioji:  $\tau_3=0,25$ s;

Laiko pastovioji:  $\tau_4=0,009$ s;

Laiko pastovioji:  $\tau_5=0,0384$ s.

4) Sinchroninio generatoriaus duomenys:

Nominali galia:  $S_N=0,8$  MVA;

Nominali įtampa:  $U_N=5,5$  kV;

Dažnis:  $f=50$  Hz;

$\cos\varphi=0,8$ ;

$n=1500$  aps/min;

Polių porų skaičius:  $p_p=2$ ;

Reaktyvioji varža:  $X_d=1,56$  s.v.;

Reaktyvioji varža:  $X_d'=0,296$  s.v.;

Reaktyvioji varža:  $X_d''=0,177$  s.v.;

Reaktyvioji varža:  $X_q=1,06$  s.v.;

Reaktyvioji varža:  $X_q''=0,177$  s.v.;

Laiko konstanta:  $T_d'=3,7$  s;

Laiko konstanta:  $T_d''=0,05$  s;

Laiko konstanta:  $T_{q0}=0,05$  s;

Statoriaus aktyvioji varža:  $R_S=0,0036$  s.v.;

Inercijos pastovioji:  $H_S=1,07$  s.

5) Žadinimo sistemos duomenys:

Filtro laiko pastovioji:  $\tau_f=0,02$  s;

Regulatoriaus stiprinimo koeficientas:  $K_a=200$ ;

Regulatoriaus laiko pastovioji:  $\tau_a=0,02$  s;

Regulatoriaus reguliavimo ribos:  $E_{fmin}=0$  s.v. ir  $E_{fmax}=2$  s.v.;

Žadintuvo grandies daugiklis:  $K_e=1$ ;

Žadintuvo laiko pastovioji:  $\tau_e=0,05$  s;

Slopinimo grandies daugiklis:  $K_d=0,001$ ;

Slopinimo grandies laiko pastovioji:  $\tau_d=0,1$  s;

Biodyzelinio generatoriaus „2“ duomenys (gamintojas: „PowerTec“):

1) Dyzelinio variklio duomenys:

Variklio galia:  $P_{dyz}=1,2$  MW;

Vėlinimo laiko pastovioji:  $\tau_6=1,4$  s;

Sukimo momento ribos:  $T_{min}=0,2$  s.v. ir  $T_{max}=1,0$  s.v.

2) Variklio regulatoriaus duomenys:

Laiko pastovioji:  $\tau=0,22\text{s}$ ;

Laiko pastovioji:  $\tau_1=0,0003\text{s}$ ;

Laiko pastovioji:  $\tau_2=0,02\text{s}$ ;

Stiprinimo grandis:  $K=41$ .

3) Vožtuvo ir servovariklio duomenys:

Laiko pastovioji:  $\tau_3=0,29\text{s}$ ;

Laiko pastovioji:  $\tau_4=0,01\text{s}$ ;

Laiko pastovioji:  $\tau_5=0,039\text{s}$ .

4) Sinchroninio generatoriaus duomenys:

Nominali galia:  $S_N=0,8\text{ MVA}$ ;

Nominali įtampa:  $U_N=5,5\text{ kV}$ ;

Dažnis:  $f=50\text{ Hz}$ ;

$\cos\varphi=0,8$ ;

$n=1500\text{ aps/min}$ ;

Polių porų skaičius:  $p_p=2$ ;

Reaktyvioji varža:  $X_d=1,61\text{ s.v.}$ ;

Reaktyvioji varža:  $X_d'=0,32\text{ s.v.}$ ;

Reaktyvioji varža:  $X_d''=0,18\text{ s.v.}$ ;

Reaktyvioji varža:  $X_q=1,04\text{ s.v.}$ ;

Reaktyvioji varža:  $X_q''=0,18\text{ s.v.}$ ;

Laiko konstanta:  $T_d'=3,73\text{ s}$ ;

Laiko konstanta:  $T_d''=0,055\text{ s}$ ;

Laiko konstanta:  $T_{q0}=0,055\text{ s}$ ;

Statoriaus aktyvioji varža:  $R_S=0,0031\text{ s.v.}$ ;

Inercijos pastovioji:  $H_S=1,65\text{ s}$ .

5) Žadinimo sistemos duomenys:

Filtro laiko pastovioji:  $\tau_f=0,025\text{ s}$ ;

Regulatoriaus stiprinimo koeficientas:  $K_a=200$ ;

Regulatoriaus laiko pastovioji:  $\tau_a=0,025\text{ s}$ ;

Regulatoriaus reguliavimo ribos:  $E_{fmin}=0\text{ s.v.}$  ir  $E_{fmax}=2\text{ s.v.}$ ;

Žadintuvo grandies daugiklis:  $K_e=1$ ;

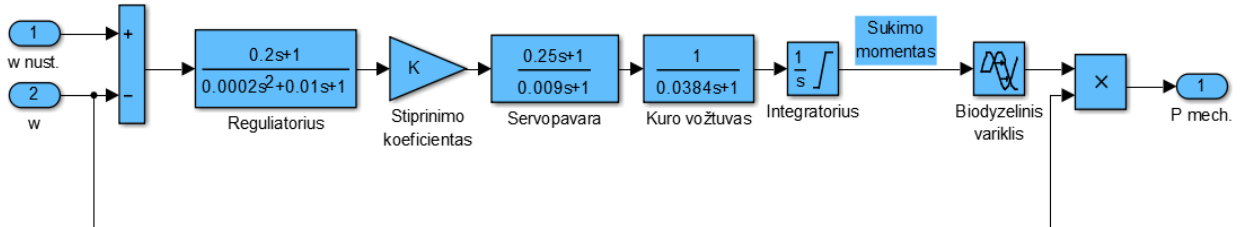
Žadintuvo laiko pastovioji:  $\tau_e=0,045\text{ s}$ ;

Slopinimo grandies daugiklis:  $K_d=0,0015$ ;

Slopinimo grandies laiko pastovioji:  $\tau_d=0,12\text{ s}$ ;

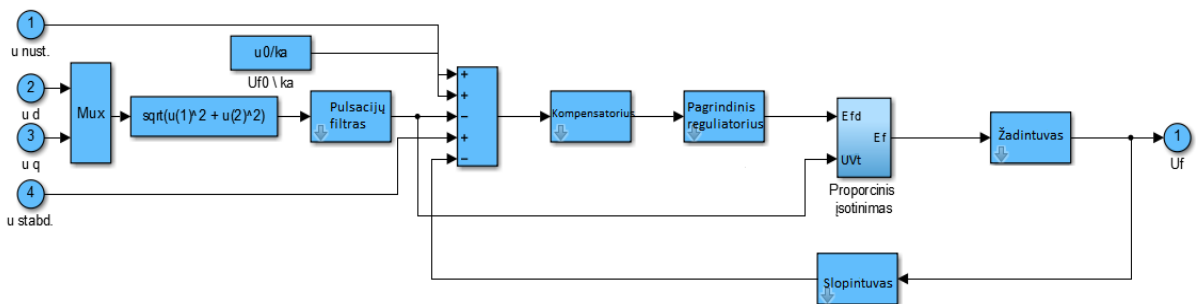
## 2.2 Paskirstytų generatorių modelis MatLab aplinkoje

Biodyzelinio variklio ir jo reguliatoriaus modelis pateiktas 2.2.1 pav. Modelis sudarytas MatLab aplinkoje.



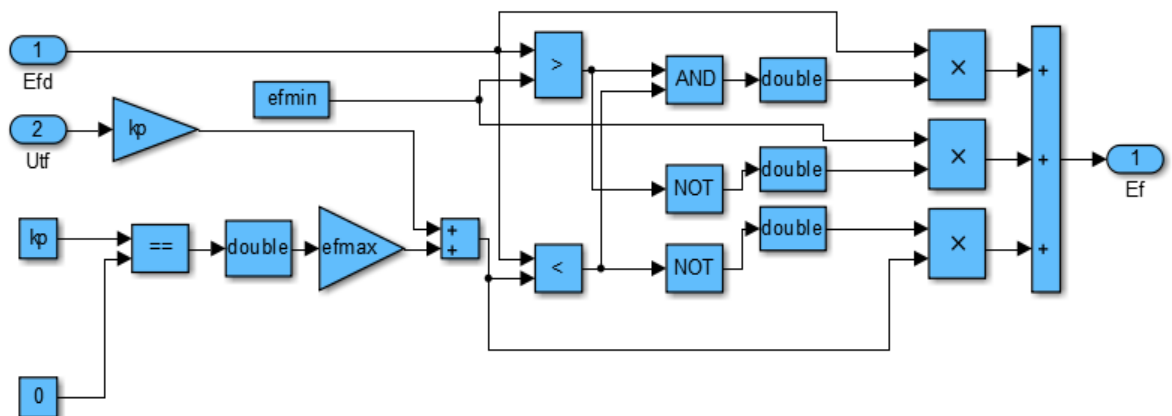
2.2.1 pav. Biodyzelinio generatoriaus modelis

Toliau pateiktas žadinimo sistemos modelis MatLab aplinkoje. Jis pateiktas 2.2.2 pav.



2.2.2 pav. Žadinimo sistemos modelis

Taip pat reikalingas proporcinio įsotinimo bloko modelis. Jis pateiktas 2.2.3 pav.



2.2.3 pav. Proporcinio įsotinimo bloko modelis

## 2.3 Sistemos ir kitų elementų duomenys

Čia yra pateikiami duomenys, kurie yra naudojami sudarant elektros perdavimo tinklo modelį MatLab aplinkoje. Sistemos, transformatorių bei elektros perdavimo linijų duomenys:

### 1) Sistema:

Sistemos galia:  $S_N=1000$  MVA;

Sistemos įtampa:  $U_N=35$  kV;

Dažnis:  $f_N=50$  Hz;

Sistemos aktyvioji varža:  $R_S=0,0625$   $\Omega$ ;

Sistemos reaktyvioji varža:  $X_S=1,02$   $\Omega$ ;

### 2) Transformatorius T1:

Galia:  $S_N=7$  MVA;

Dažnis:  $f_N=50$  Hz;

Piminė įtampa:  $U_1=35$  kV;

Antrinė įtampa:  $U_2=10$  kV;

Jungimo grupė: Y/ $\Delta$ ;

Aktyvioji varža:  $R=0,25$   $\Omega$ ;

Reaktyvioji varža:  $X=5,1$   $\Omega$ ;

Kiti duomenys:  $u_k=9,5$  %;  $\Delta P_k=115$  kW;  $\Delta P_0=25$  kW;  $I_0=0,5$  %.

### 3) Transformatorius T2:

Galia:  $S_N=3,0$  MVA;

Dažnis:  $f_N=50$  Hz;

Piminė įtampa:  $U_1=5,2$  kV;

Antrinė įtampa:  $U_2=10$  kV;

Jungimo grupė:  $\Delta/\Delta$ ;

Aktyvioji varža:  $R=0,24$   $\Omega$ ;

Reaktyvioji varža:  $X=1,8$   $\Omega$ ;

Kiti duomenys:  $u_k=6,5$  %;  $\Delta P_k=33,5$  kW;  $\Delta P_0=5,98$  kW;  $I_0=0,9$  %.

### 4) Transformatorius T3:

Galia:  $S_N=3,2$  MVA;

Dažnis:  $f_N=50$  Hz;

Piminė įtampa:  $U_1=5,5$  kV;

Antrinė įtampa:  $U_2=10$  kV;

Jungimo grupė:  $\Delta/\Delta$ ;



Aktyvioji varža:  $R=1,22 \Omega$ ;

Reaktyvioji varža:  $X=5,35 \Omega$ ;

Kiti duomenys:  $uk=5,5 \%$ ;  $\Delta P_k=12,2 \text{ kW}$ ;  $\Delta P_0=2,1 \text{ kW}$ ;  $I_0=2,0 \%$ .

5) 10 kV oro linija:

Laido skerspjūvis: aliuminis  $S=3 \times 70 \text{ mm}^2$ ;

Maksimali leistina srovė:  $I_{\max}=265 \text{ A}$ ;

Dažnis:  $f_N=50 \text{ Hz}$ ;

Tiesioginės sekos aktyvioji varža:  $R_1=0,429 \Omega/\text{km}$ ;

Nulinės sekos aktyvioji varža:  $R_0=0,579 \Omega/\text{km}$ ;

Tiesioginės sekos induktyvumas:  $L_1=0,00127 \text{ H}/\text{km}$ ;

Nulinės sekos induktyvumas:  $L_0=0,00382 \text{ H}/\text{km}$ ;

Tiesioginės sekos talpumas:  $C_1=2,584 \cdot 10^{-9} \text{ F}/\text{km}$ ;

Nulinės sekos talpumas:  $C_0=7,751 \cdot 10^{-9} \text{ F}/\text{km}$ .

6) 10 kV kabelis:

Laido skerspjūvis: aliuminis  $S=3 \times 70 \text{ mm}^2$ ;

Maksimali leistina srovė:  $I_{\max}=165 \text{ A}$ ;

Dažnis:  $f_N=50 \text{ Hz}$ ;

Tiesioginės sekos aktyvioji varža:  $R_1=0,443 \Omega/\text{km}$ ;

Nulinės sekos aktyvioji varža:  $R_0=0,593 \Omega/\text{km}$ ;

Tiesioginės sekos induktyvumas:  $L_1=0,000274 \text{ H}/\text{km}$ ;

Nulinės sekos induktyvumas:  $L_0=0,0011 \text{ H}/\text{km}$ ;

Tiesioginės sekos talpumas:  $C_1=0,531 \cdot 10^{-6} \text{ F}/\text{km}$ ;

Nulinės sekos talpumas:  $C_0=2,123 \cdot 10^{-6} \text{ F}/\text{km}$ .

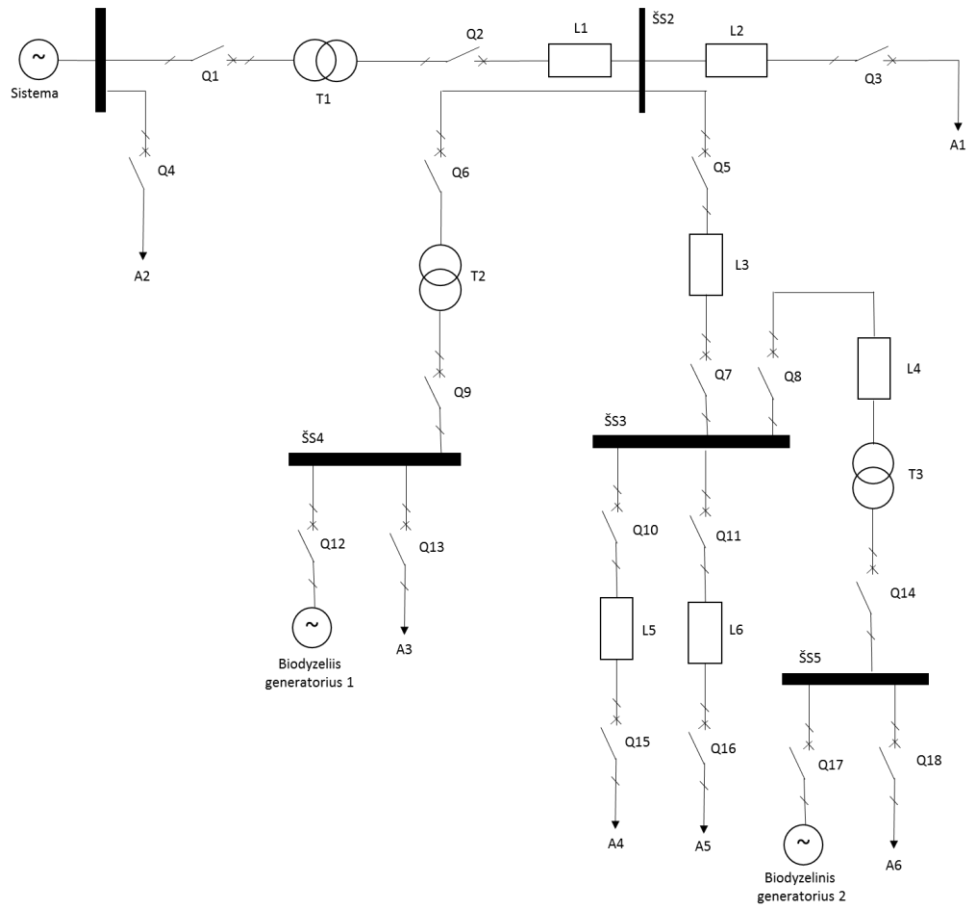
### 3 Praktinė dalis

#### 3.1 Elektros energijos skirstomojo tinklo schema

Nagrinėjama elektros tinklą sudaro tokios sudėtinės dalys:

1. Sistema (35 kV ir 100 MVA);
2. Trys transformatoriai (1-as 35 kV/10 kV, 2-as 5,5 kV/ 10 kV, 3-as 5,5 kV/10 kV);
3. Biodyzelinis generatorius „1“ (5,5 kV);
4. Biodyzelinis generatorius „2“ (5,5 kV);
5. Trys oro linijos (10 kV, 1-a 4,2 km, 2-a 1,6 km, 3-ia 5,0 km);
6. Trys kabelinės linijos (10 kV, 1-a 2,2 km, 2-a 4,3 km, 3-ia 3,1 km);

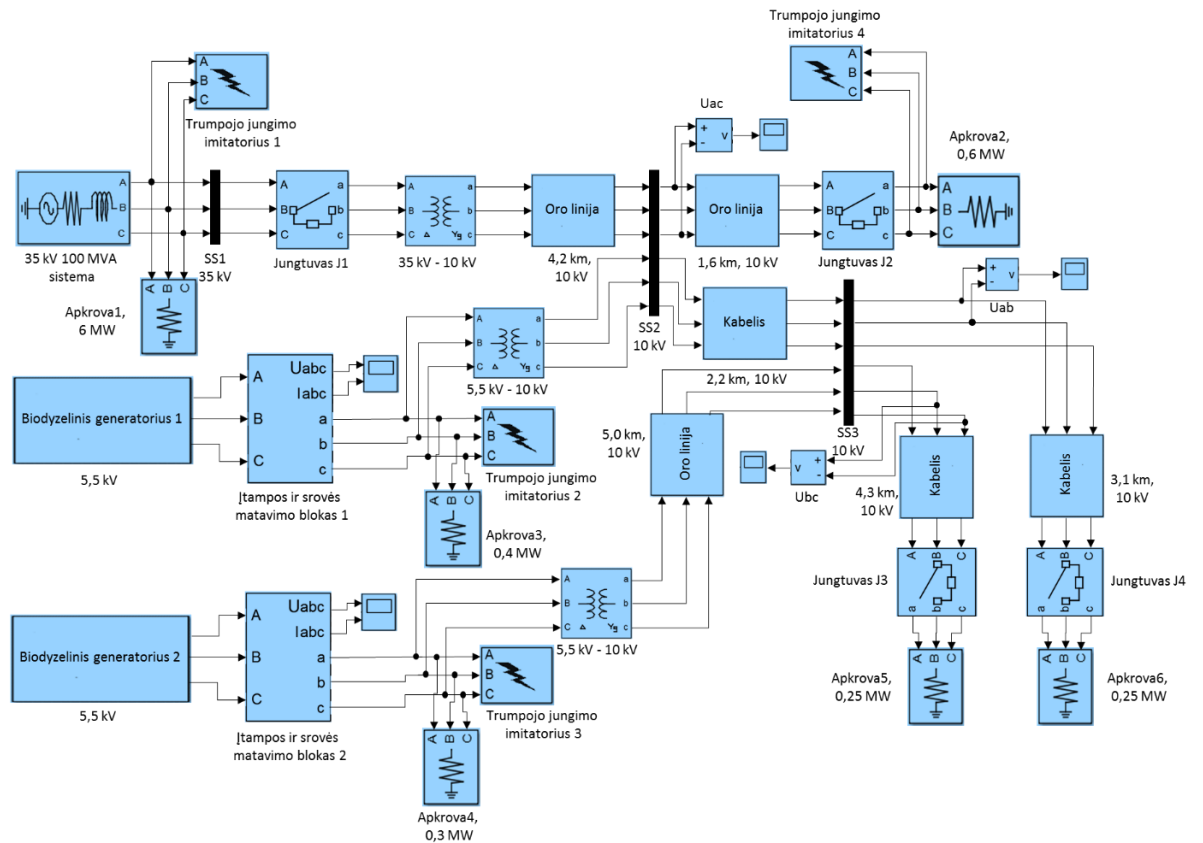
7. Šeši vartotojai (35 kV – 6 MW, 5,5 kV – 0,55 MW, 5,5 kV – 0,65 MW, 10 kV – 1,5 MW, 1,5 MW, 0,7 MW).



3.1.1 pav. Tinklo schema

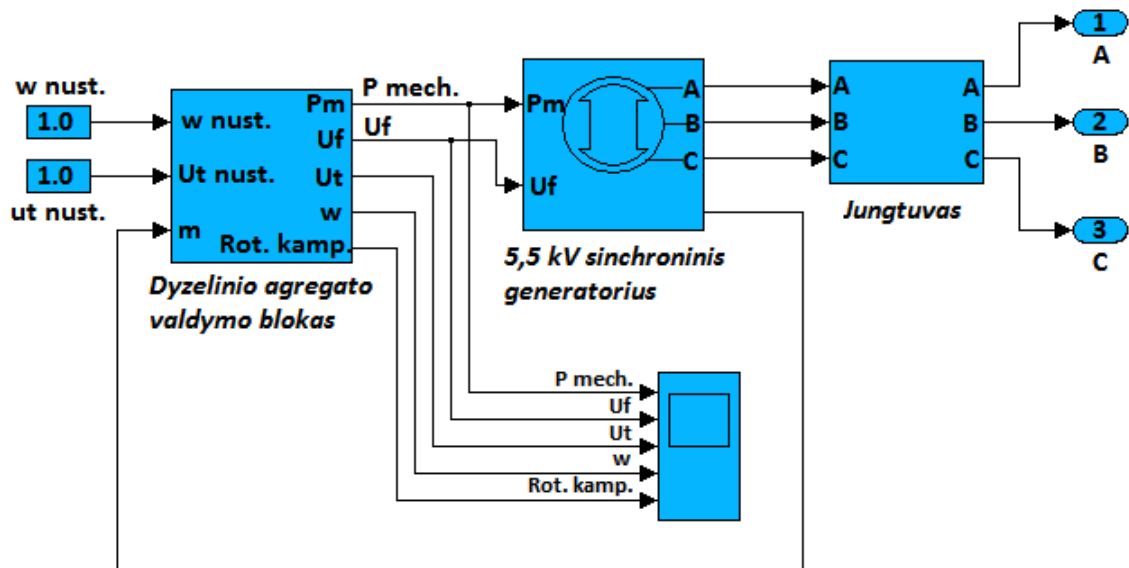
### 3.2 Pilnas sistemos su paskirstytais generatoriais modelis

Žemiau pateiktas pilnas sistemos modelis. Modelis yra sukurtas MatLab aplinkoje. (3.2.1 pav.). Modelį sudaro: 35kV sistema, prie kurios prijungti du, to pačios galios, biodyzeliniai generatoriai (1,2MW; 0,8MVA; 5,5kV), tačiau turintys skirtingas inercijos pastoviąsias: 1 generatorius –  $H_s = 1,07s$ , o 2 generatorius –  $H_s = 1,65s$ . Trys transformatoriai, trys oro linijos, trys kabelinės linijos ir šeši vartotojai. Šis modelis sudarytas imituoti trumpuosius trifazius jungimus, kai generatoriai dirba kartu su sistema ir kai dirba atskirai nuo sistemos.



3.2.1 pav. Sistemos modelis su paskirstytais generatoriais.

3.2.2 pav. pateiktas dyzelinio agregato modelis MatLab aplinkoje.



3.2.2 pav. Biodyzelinio agregato modelis

## 4 Tiriamoji dalis

### 4.1 Stabilumo sąlygų tyrimas bei jų atvejai

Dinaminio stabilumo tyrimas su paskirstytais generatoriais bus atliekamas dviem atvejais [13]:

1. Paskirstyti generatoriai dirba kartu su sistema.
2. Paskirstyti generatoriai dirba atsiskybę nuo sistemos (autonominis režimas/uždaras tinklas).

Paskirstytų generatorių stabilumo ribos tiriamos tokiais būdais:

1. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  35 kV pusėje (tiriama sistemos trikdžio įtaka paskirstytiems generatoriams, kai biodyzelinis generatorius „1“ ir biodyzelinis generatorius „2“ dirba kartu su sistema).
2. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba kartu su sistema (tiriama biodyzelinio generatoriaus „1“ stabilumo riba ir įtaka biodyzeliniam generatoriui „2“).
3. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba atskirai nuo sistemos (tiriama biodyzelinio generatoriaus „1“ stabilumo riba ir įtaka biodyzeliniam generatoriui „2“).
4. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba kartu su sistema (tiriama biodyzelinio generatoriaus „2“ stabilumo riba ir įtaka biodyzeliniam generatoriui „1“).
5. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba atskirai nuo sistemos (tiriama biodyzelinio generatoriaus „2“ stabilumo riba ir įtaka dyzeliniam generatoriui „1“).
6. staigus vardinės apkrovos praradimas biodyzeliniam generatoriui „1“ (tiriama staigi biodyzelinio generatoriaus „1“ atsijungimo įtaka stabilumui).
7. staigus apkrovos suteikimas biodyzeliniam generatoriui „1“, kai generatorius dirba tuščia eiga (tiriama staigi biodyzelinio generatoriaus „1“ prisijungimo įtaka stabilumui).
8. staigus vardinės apkrovos praradimas biodyzeliniam generatoriui „2“ (tiriama staigi biodyzelinio generatoriaus „2“ atsijungimo įtaka stabilumui).
9. sistemos atsijungimas (tiriama sistemos įtaka paskirstytų generatorių stabilumui).
10. trumpieji jungimai  $K^{(3)}$  pas vartotojus (tiriama linijų aktyviosios varžos įtaka perinamiesiems procesams).

Trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  pasirenkamas dėl to, kad, stabilumo požiūriu yra pats kritiškiausias ir greičiausiai galintis išvesti generatorių iš stabilumo ribų avarinis atvejis, nors jo tikimybė yra labai maža.

Apkrovos praradimo atvejis įdomus, nes gali padidėti šynų įtampa. Generatorius gali pradėti sukintis didesniu kaip sinchroninis greičiu. Šiuo atveju yra būtina nustatyti minimalią generatoriaus apkrovą.

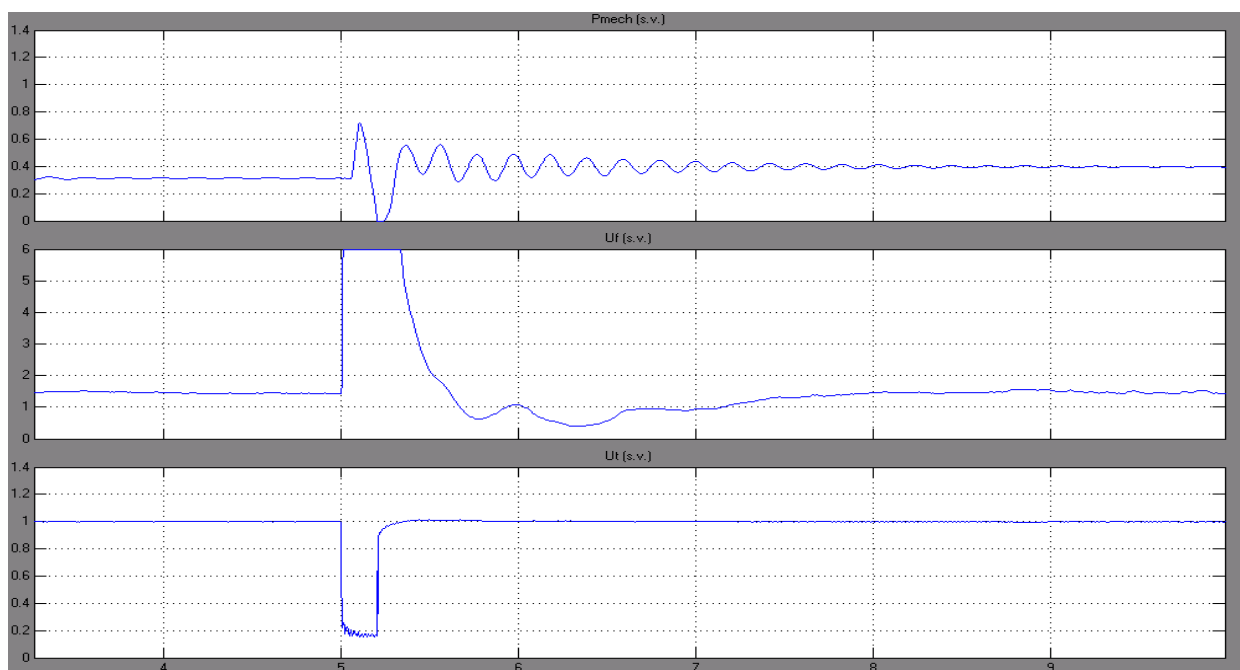
Staigaus apkrovos suteikimo atvejis: jis svarbus tuo, kad staiga generatoriui suteikus didelę apkrovą, jo darbo režimas gali būti ilgą laiką nestabilus.

Taip pat yra svarbūs tokie atvejai kaip sistemos prisijungimas ir atsijungimas. Tokiais momentais įvyksta generatorių generuojamų galių persiskirstymas ir galimi nestabiliaus darbo režimo momentai.

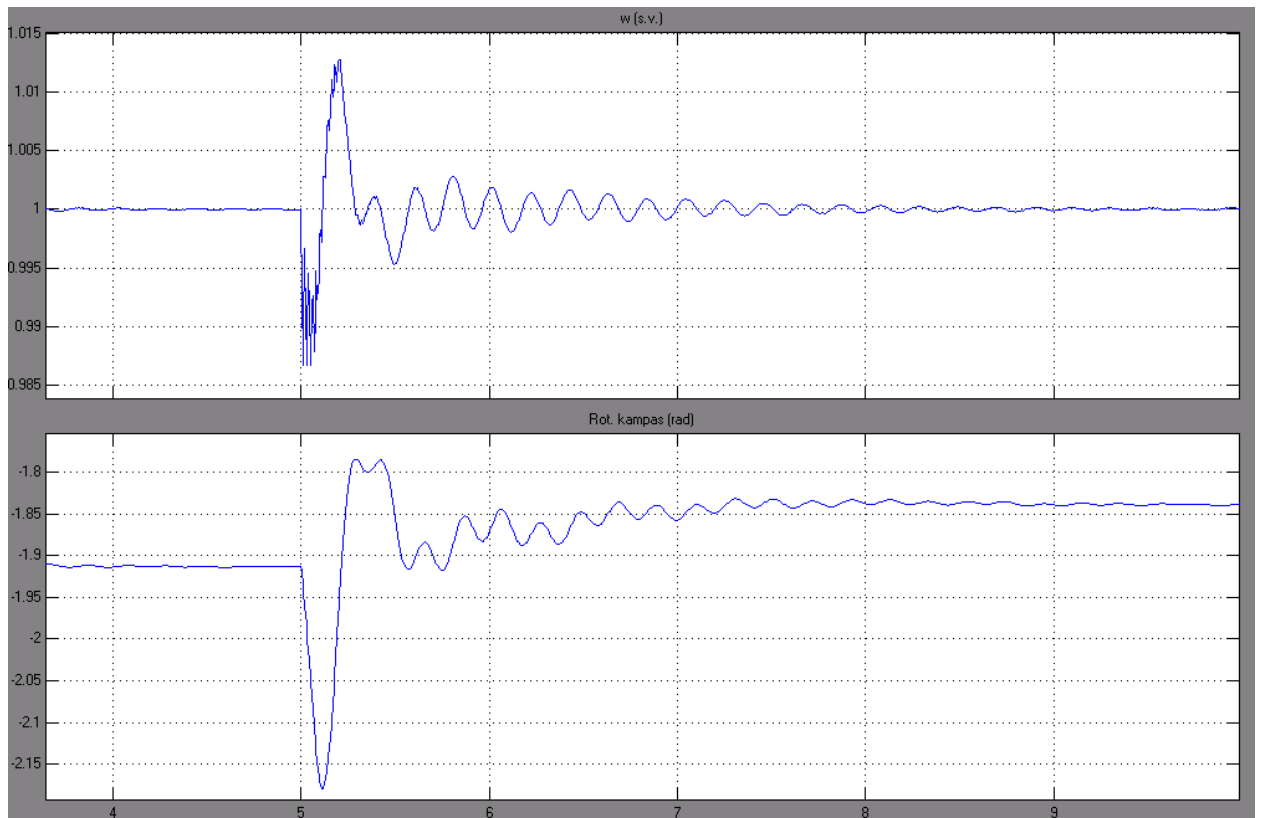
## 4.2 Paskirstytų generatorių sistemos darbo grafikai

1. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  35 kV pusėje (tiriama sistemos trikdžio įtaka paskirstytiems generatoriams, kai biodyzelinis generatorius „1“ ir biodyzelinis generatorius „2“ dirba kartu su sistema).

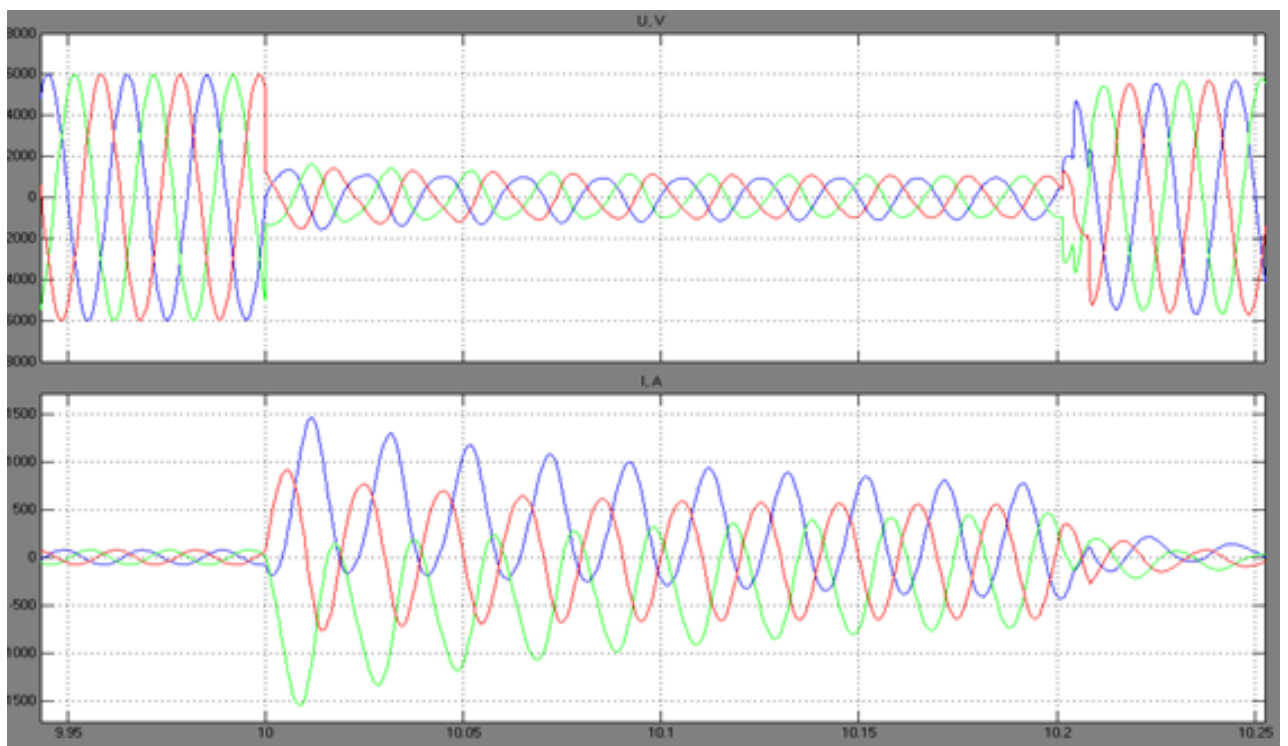
Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{\text{rot}}$ ,  $U$  ir  $I$  kreivės (4.2.1 pav., 4.2.2 pav. ir 4.2.3 pav.):



4.2.1 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ grafikai, kuriuose pateikta  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ , kai  $K^{(3)}$  35kV pusėje.

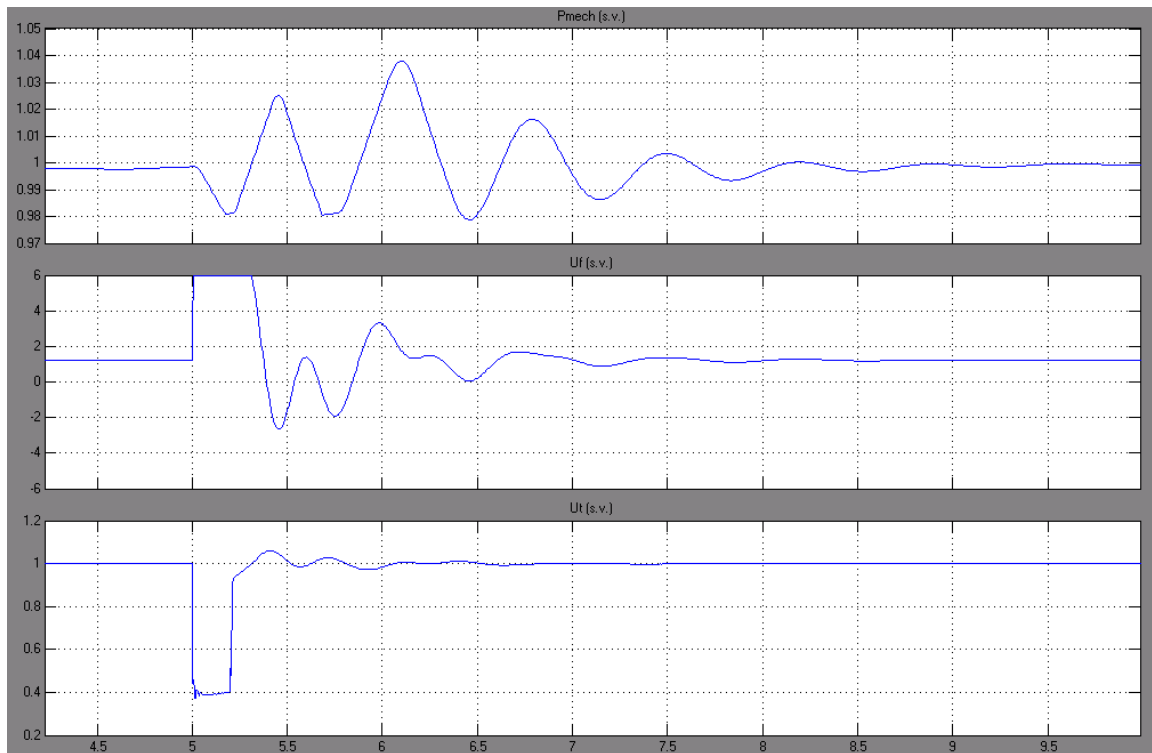


4.2.2 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  35 kV puseje.

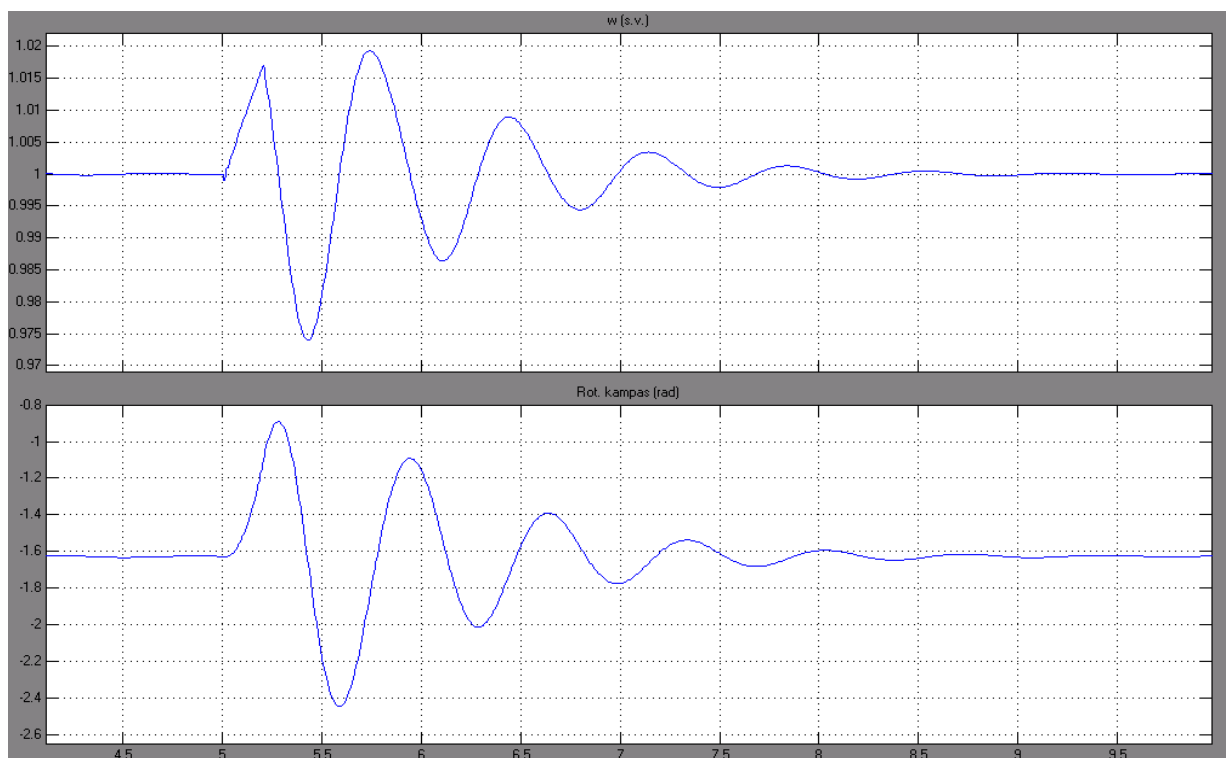


4.2.3 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  35 kV puseje.

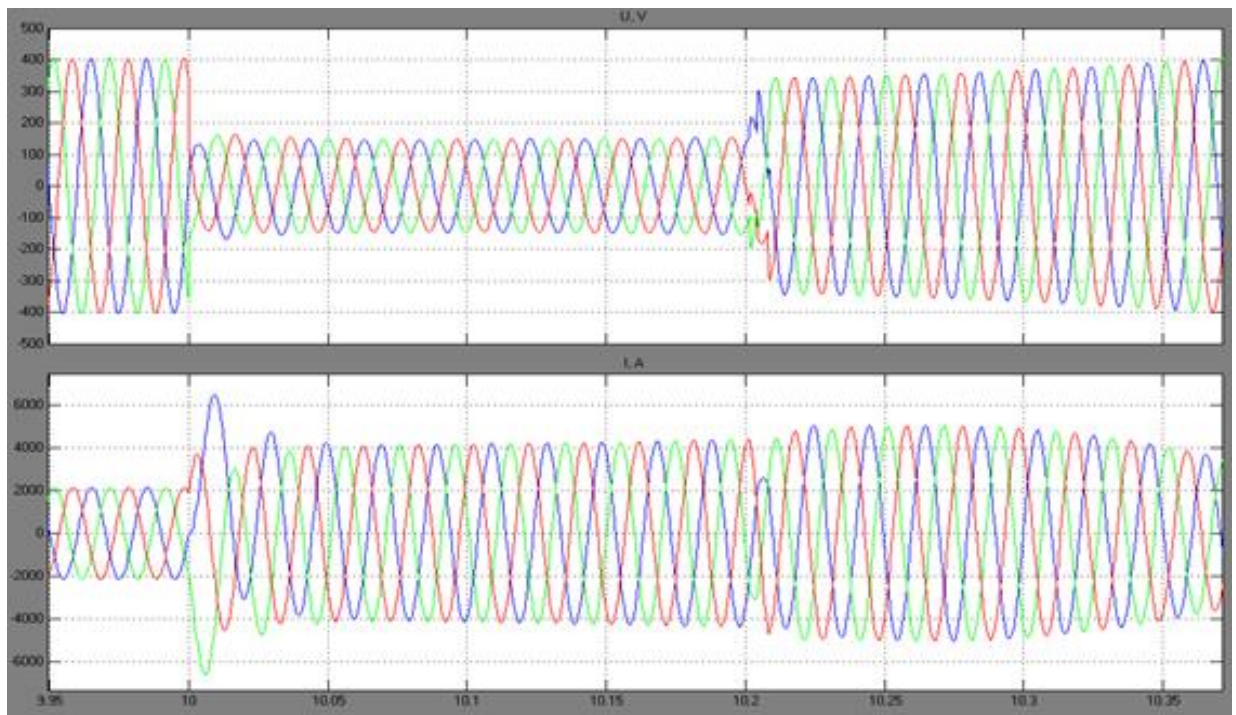
Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{\text{rot}}$ , U ir I kreivės (4.2.4 pav., 4.2.5 pav. ir 4.2.6 pav.):



4.2.4 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  35 kV puseje.



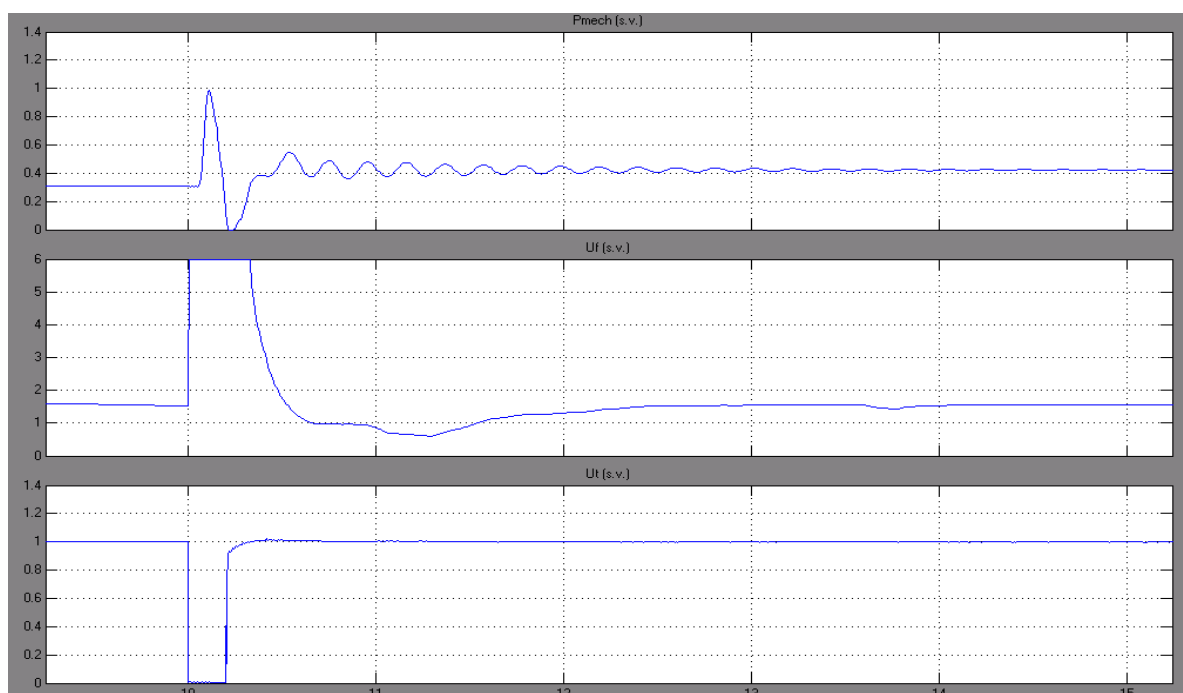
4.2.5 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  35 kV puseje.



4.2.6 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  35 kV puseje.

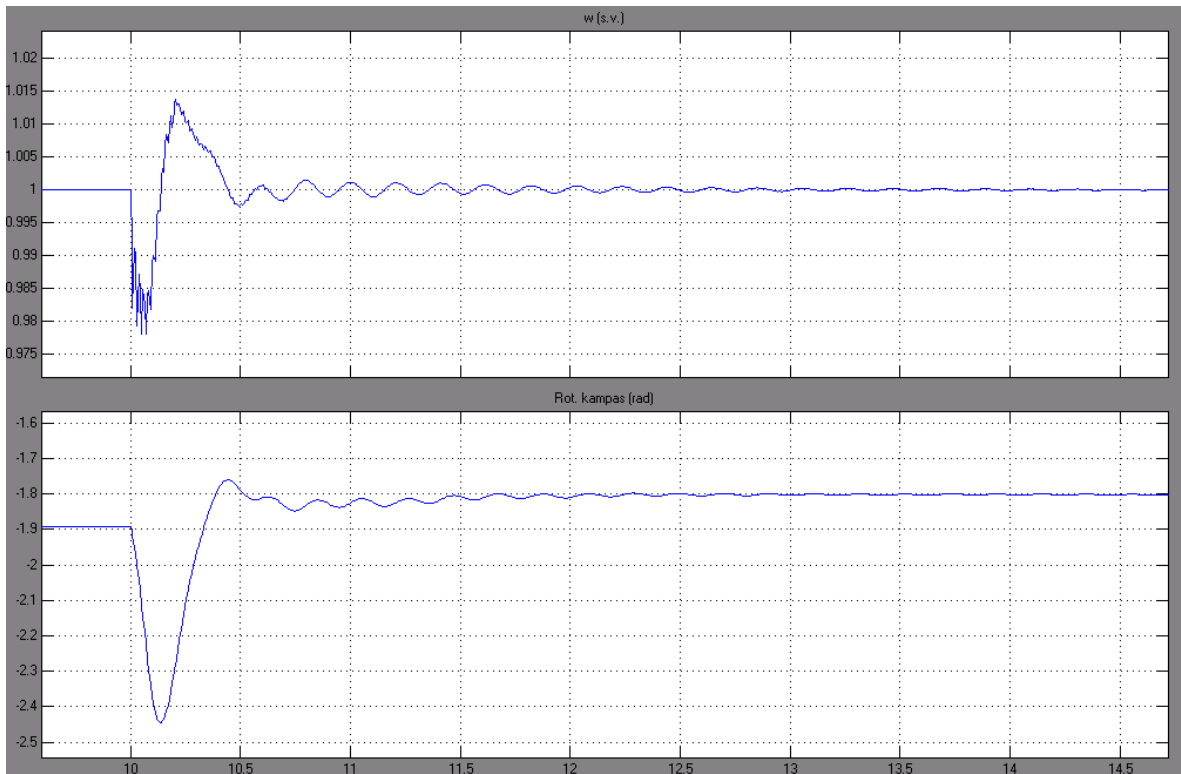
2. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba kartu su sistema (tiriama biodyzelinio generatoriaus „1“ stabilumo riba ir įtaka biodyzeliniam generatoriui „2“).

Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{rot}$ ,  $U$  ir  $I$  kreivės (4.2.7 pav., 4.2.8 pav. ir 4.2.9 pav.):

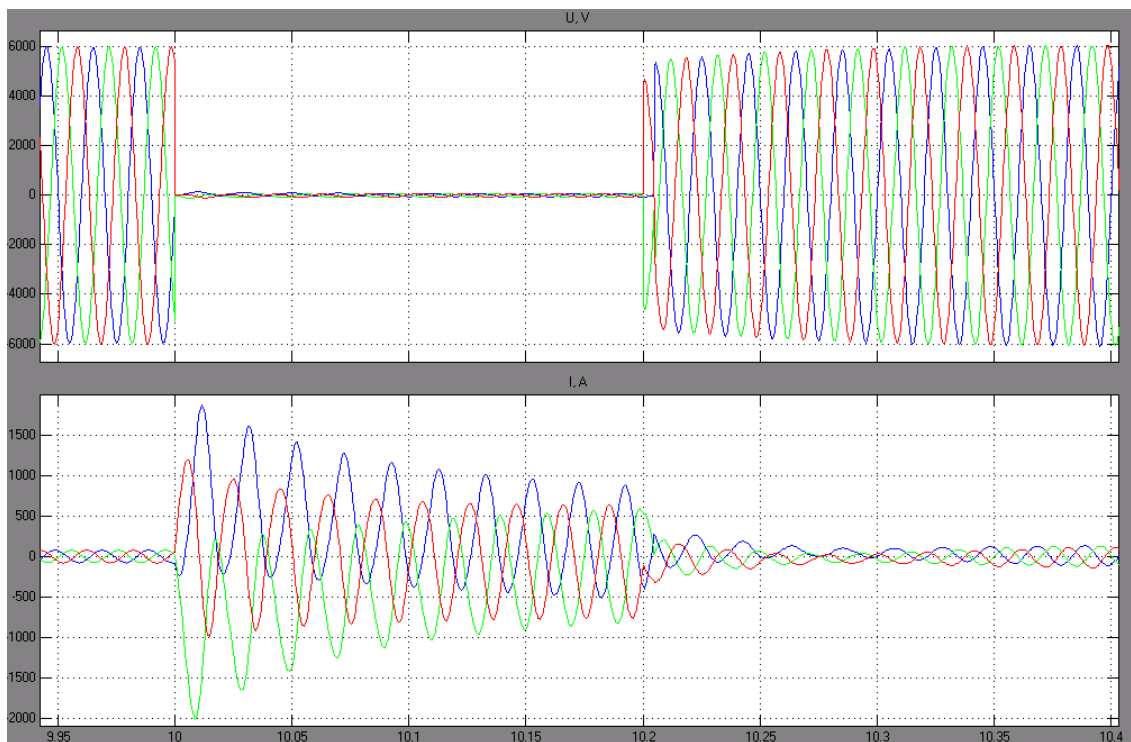


4.2.7 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.



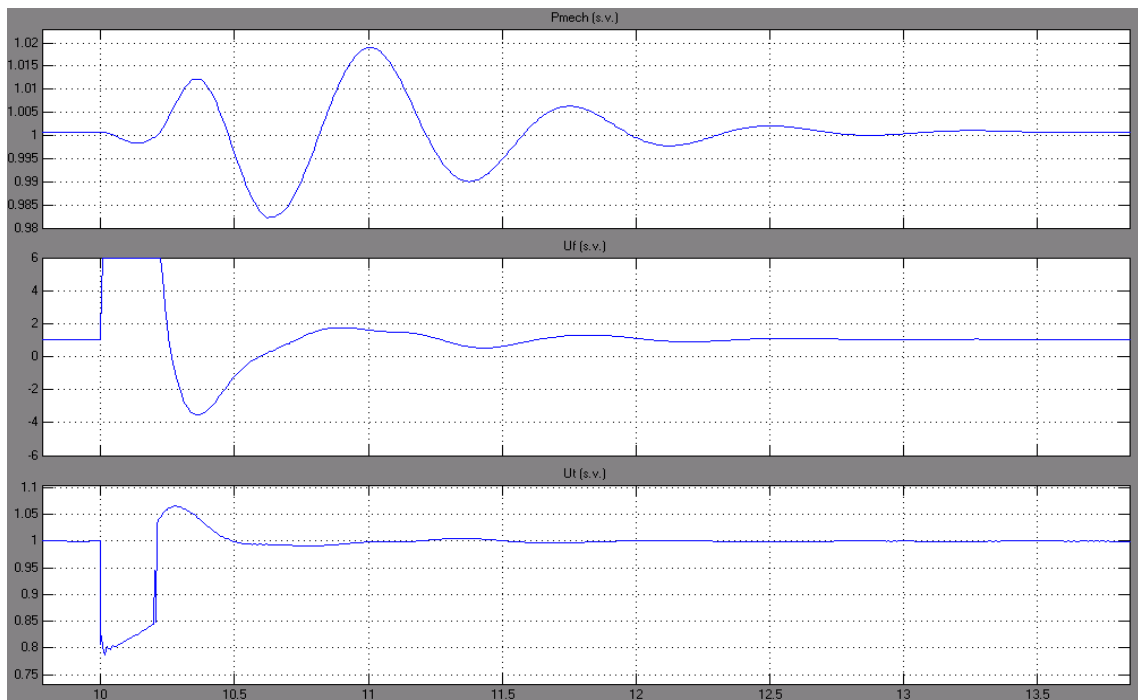


4.2.8 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

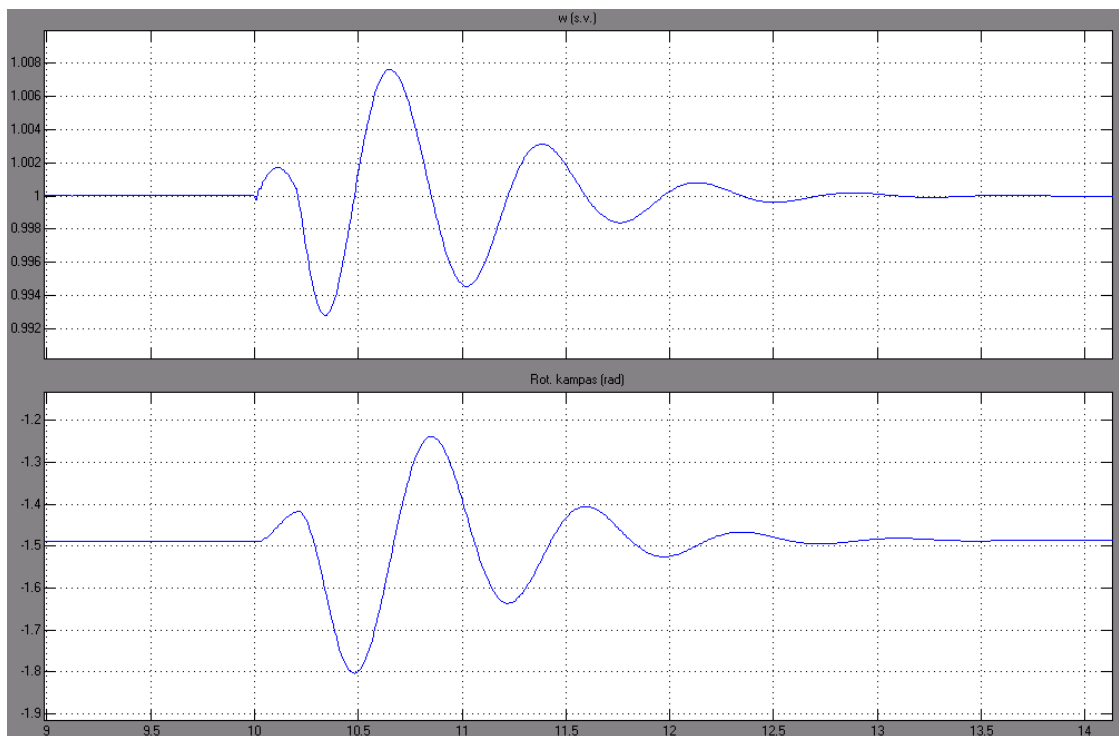


4.2.9 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

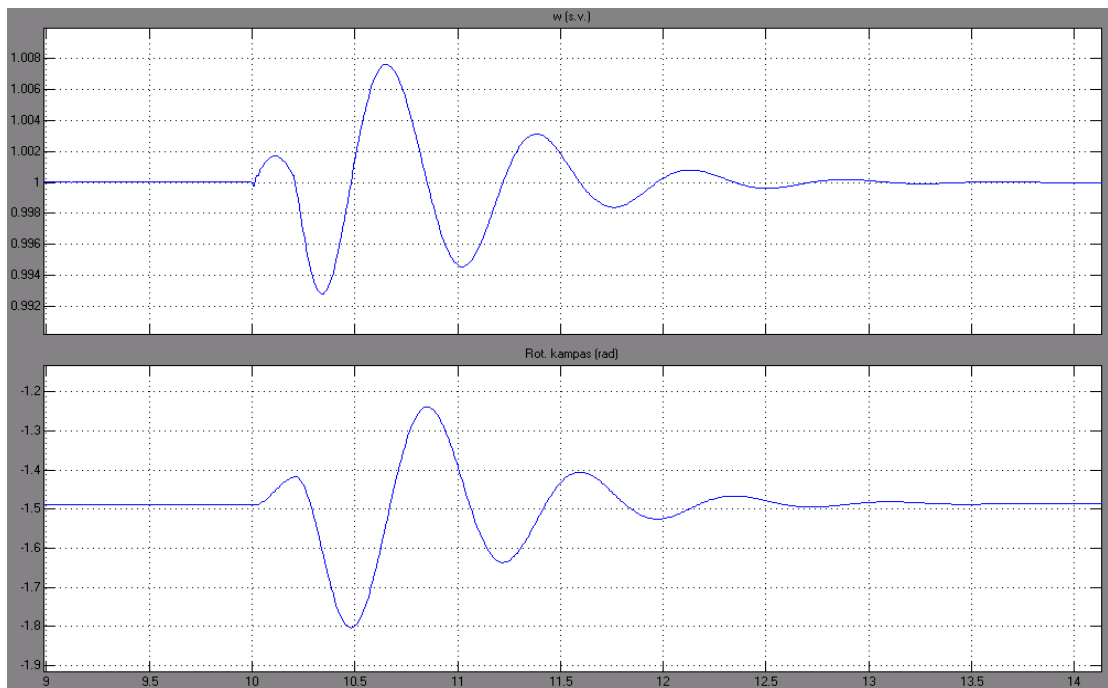
Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose atvaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{\text{rot}}$ ,  $U$  ir  $I$  kreivės (4.2.10 pav., 4.2.11 pav. ir 4.2.12 pav.):



**4.2.10 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „2“ pavaizduoti  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose.



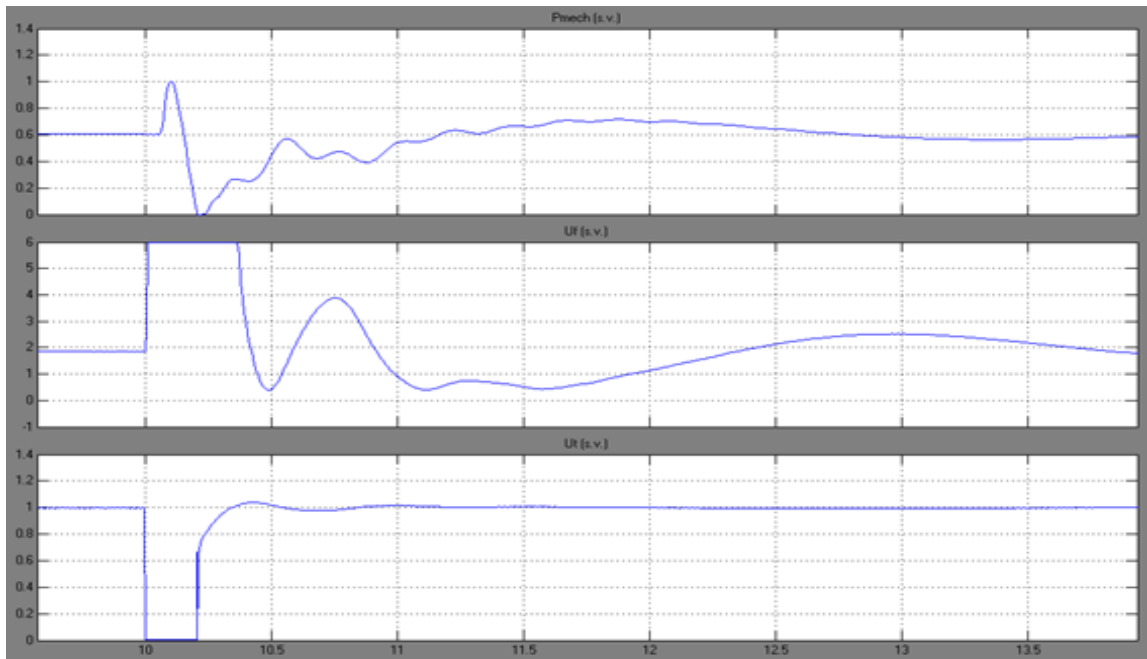
**4.2.11 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose.



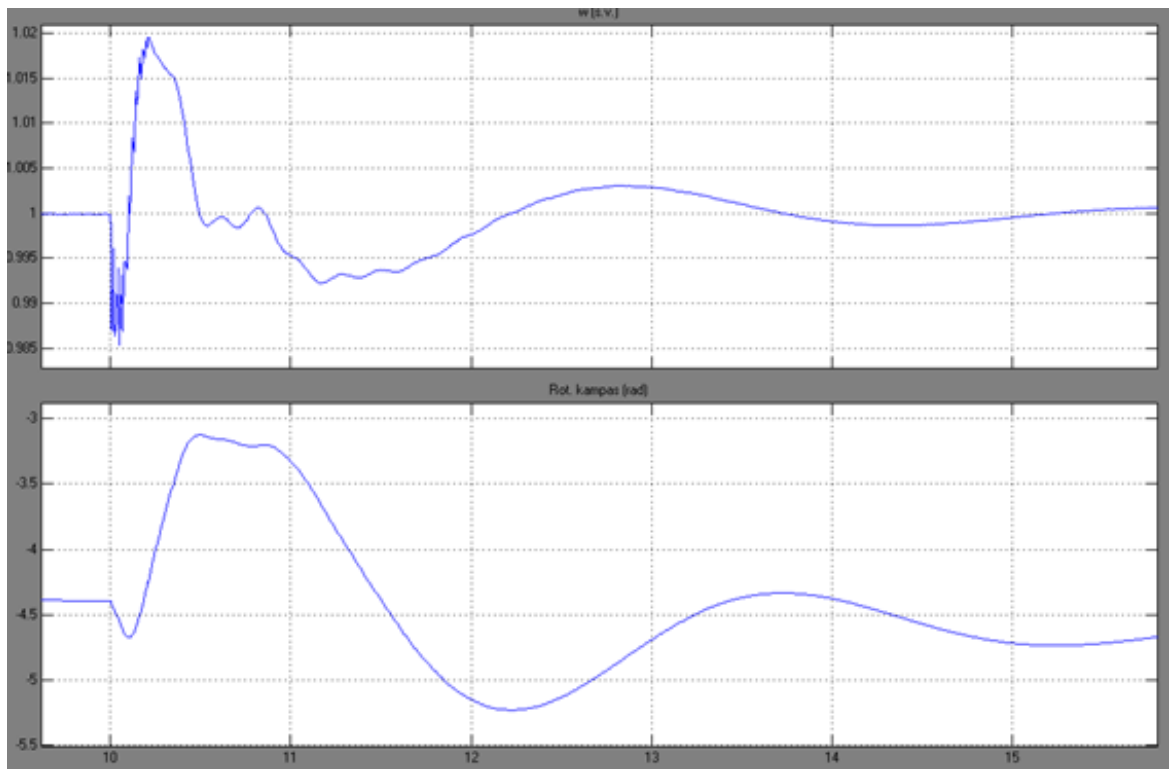
4.2.12 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose.

3. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba atskirai nuo sistemos (tiriama biodyzelinio generatoriaus „1“ stabilumo riba ir įtaka biodyzeliniam generatoriui „2“).

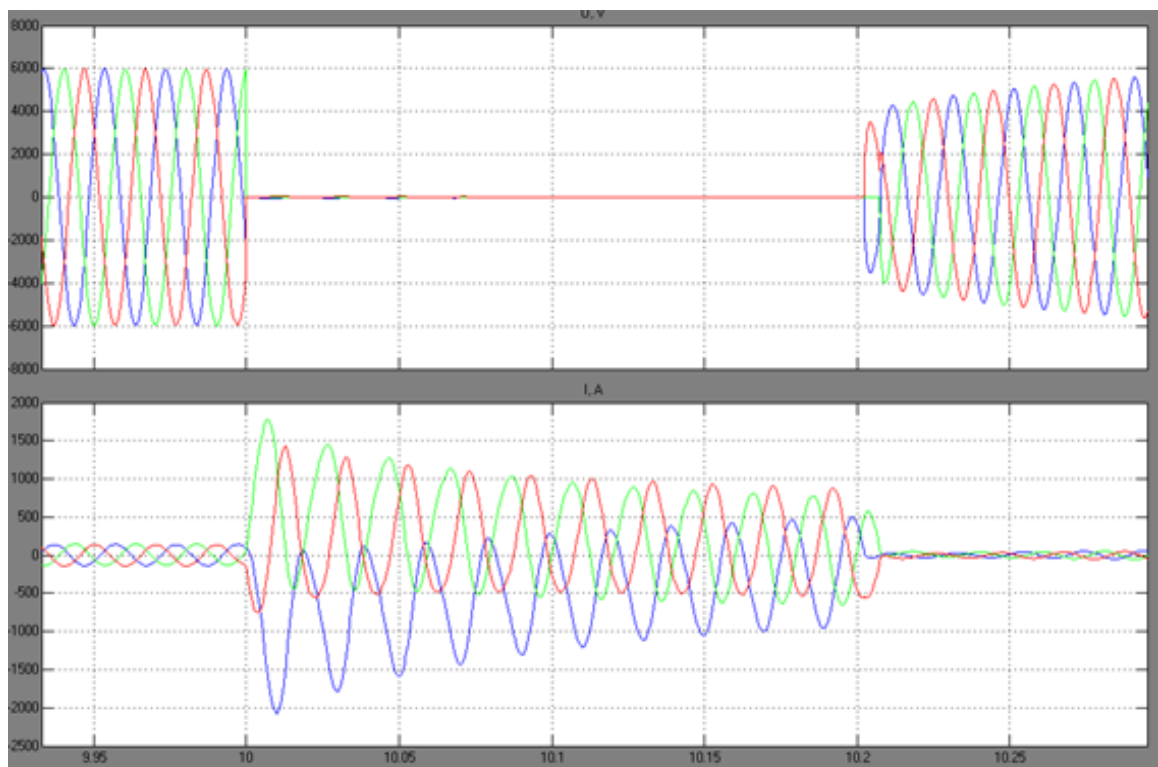
Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{\text{rot}}$ ,  $U$  ir  $I$  kreivės (4.2.13 pav., 4.2.14 pav. ir 4.2.15 pav.):



4.2.13 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ pavaizduoti  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

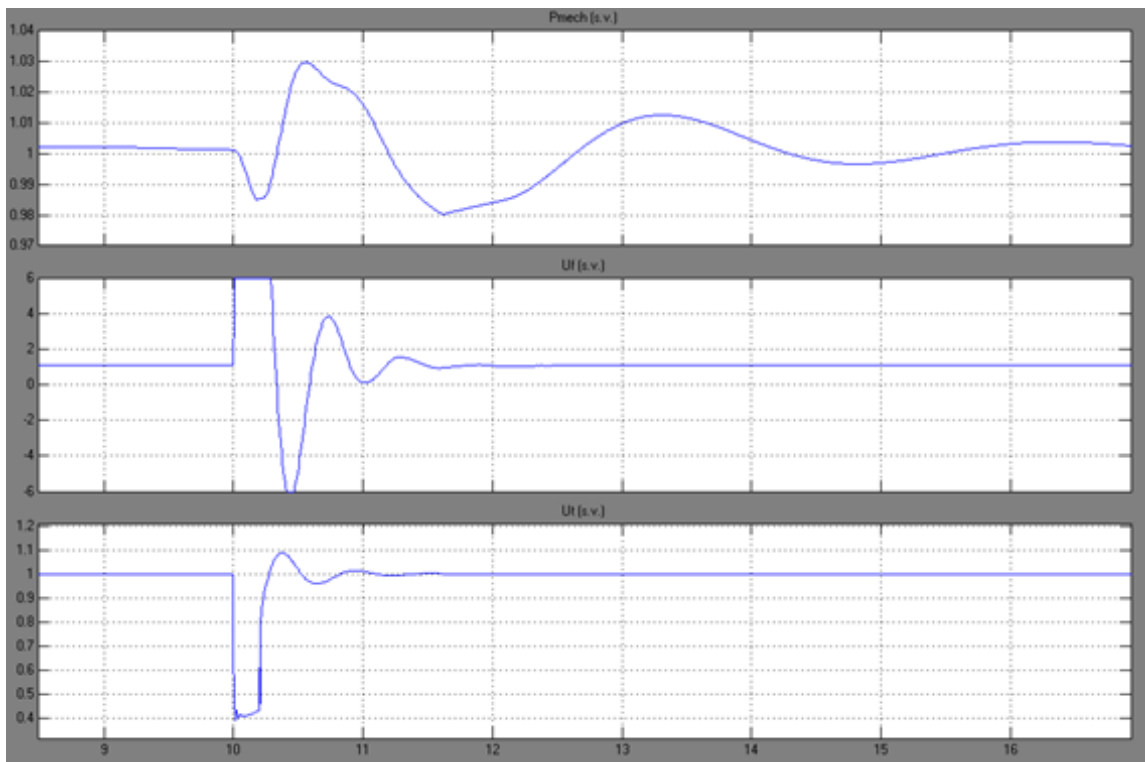


4.2.14 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

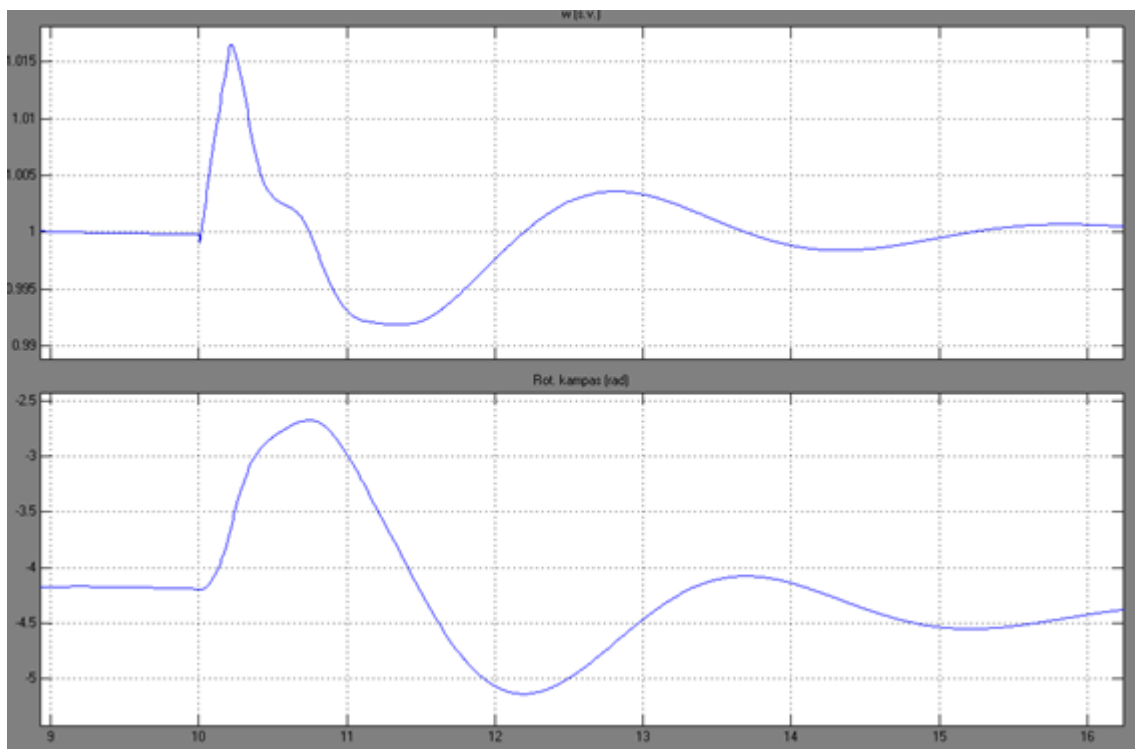


4.2.15 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

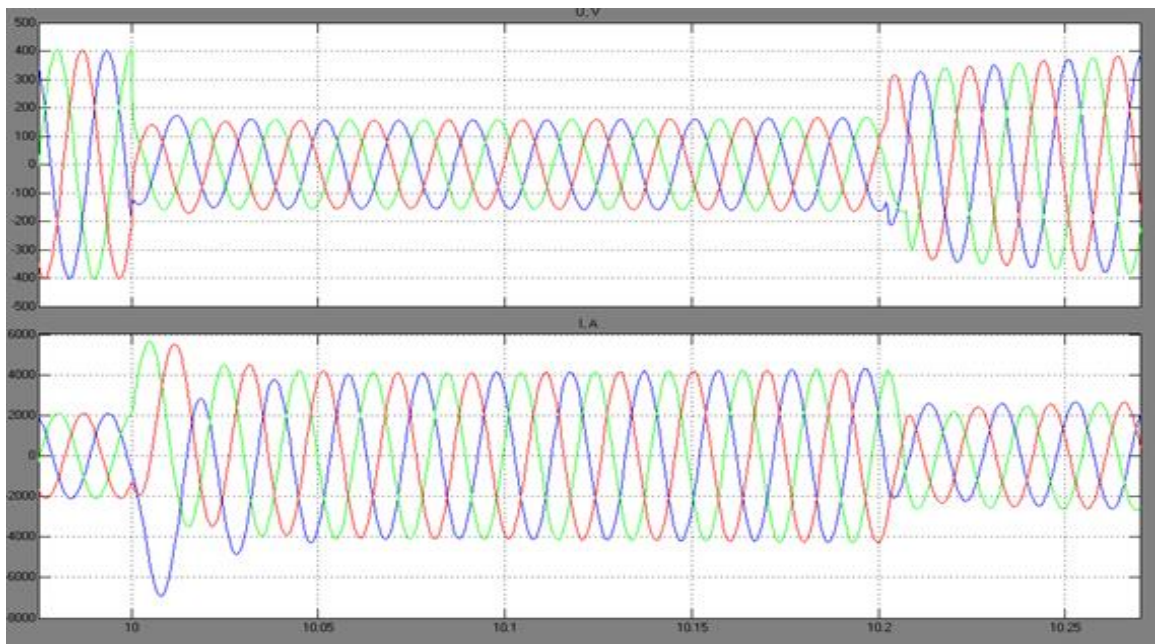
Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pateiktos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{\text{rot}}$ ,  $U$  ir  $I$  kreivės (4.2.16 pav., 4.2.17 pav. ir 4.2.18 pav.):



4.2.16 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ atvaizduoti  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_r$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose.



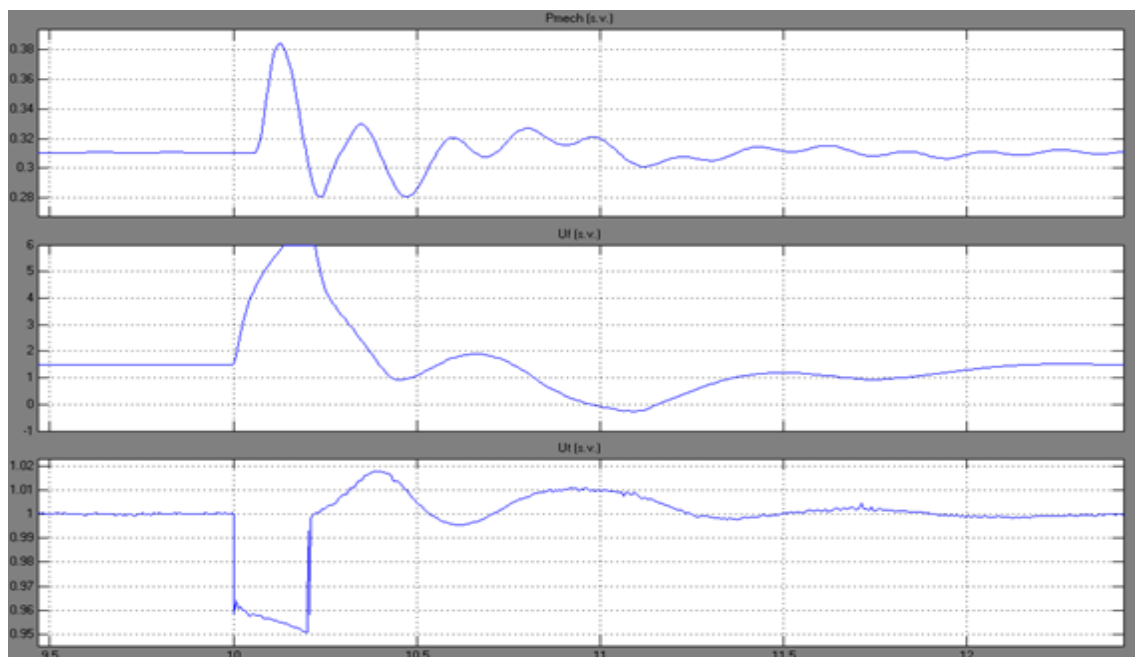
4.2.17 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose.



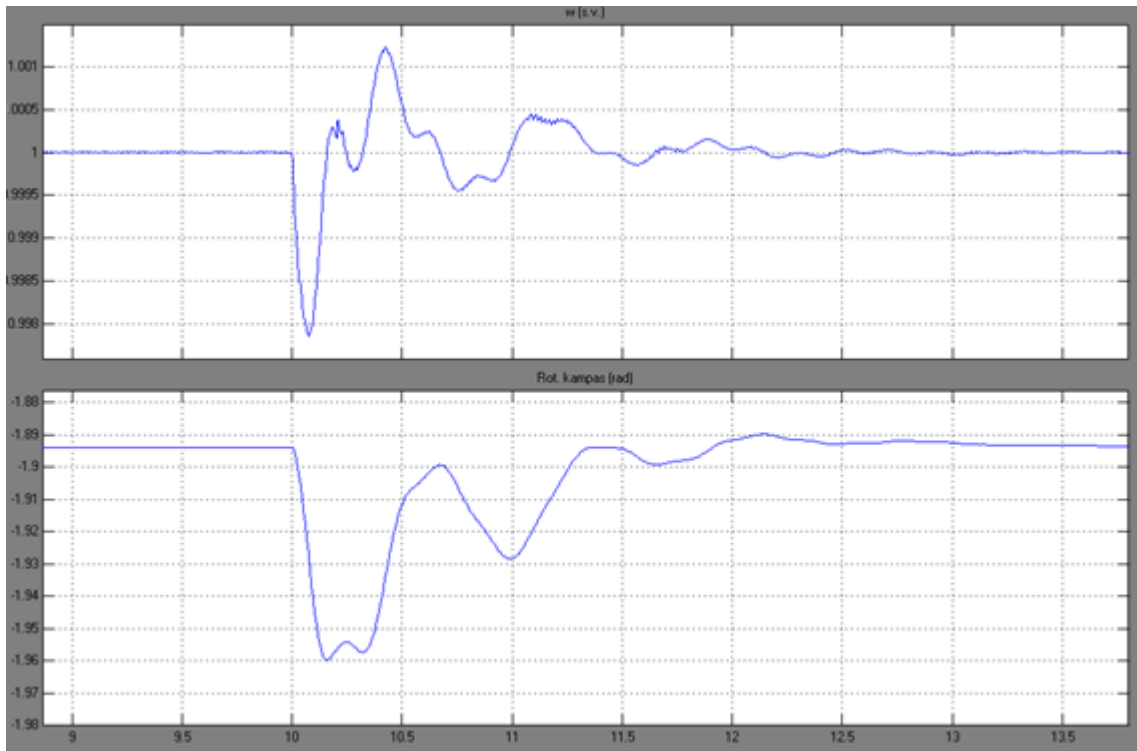
4.2.18 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose.

4. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba kartu su sistema (tiriama biodyzelinio generatoriaus „2“ stabilumo riba ir įtaka biodyzeliniam generatoriui „1“).

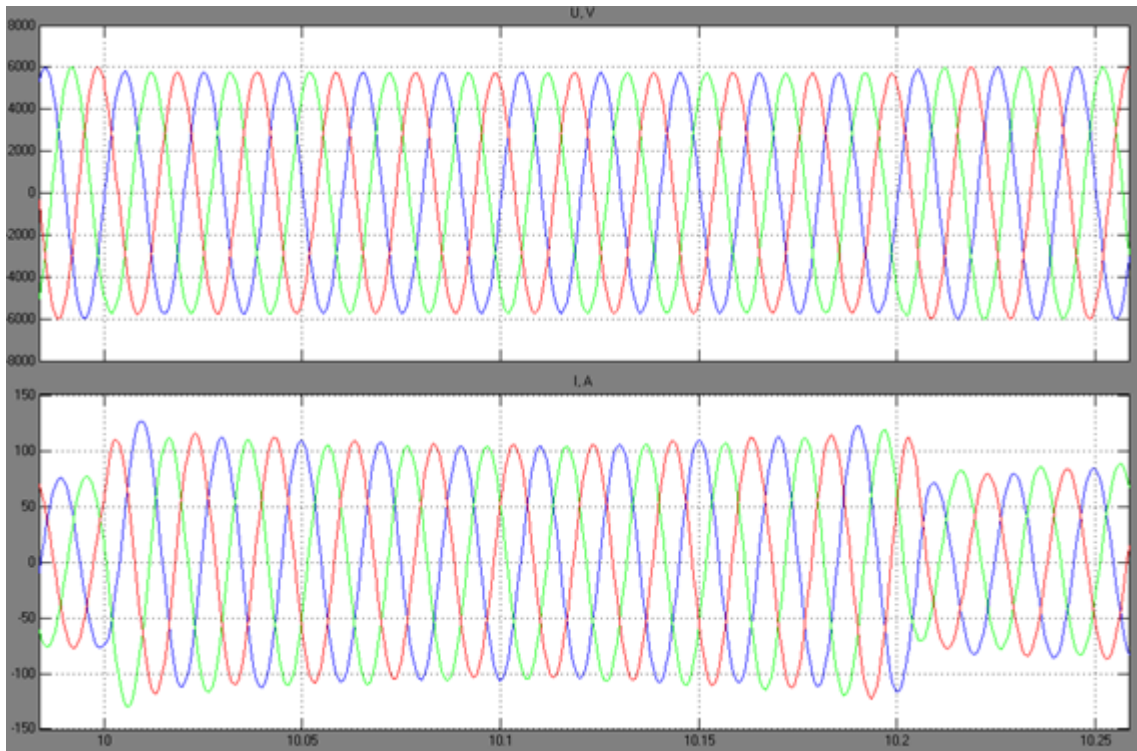
Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{rot}$ ,  $U$  ir  $I$  kreivės (4.2.19 pav., 4.2.20 pav. ir 4.2.21 pav.):



4.2.19 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ atvaizduoti  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose.

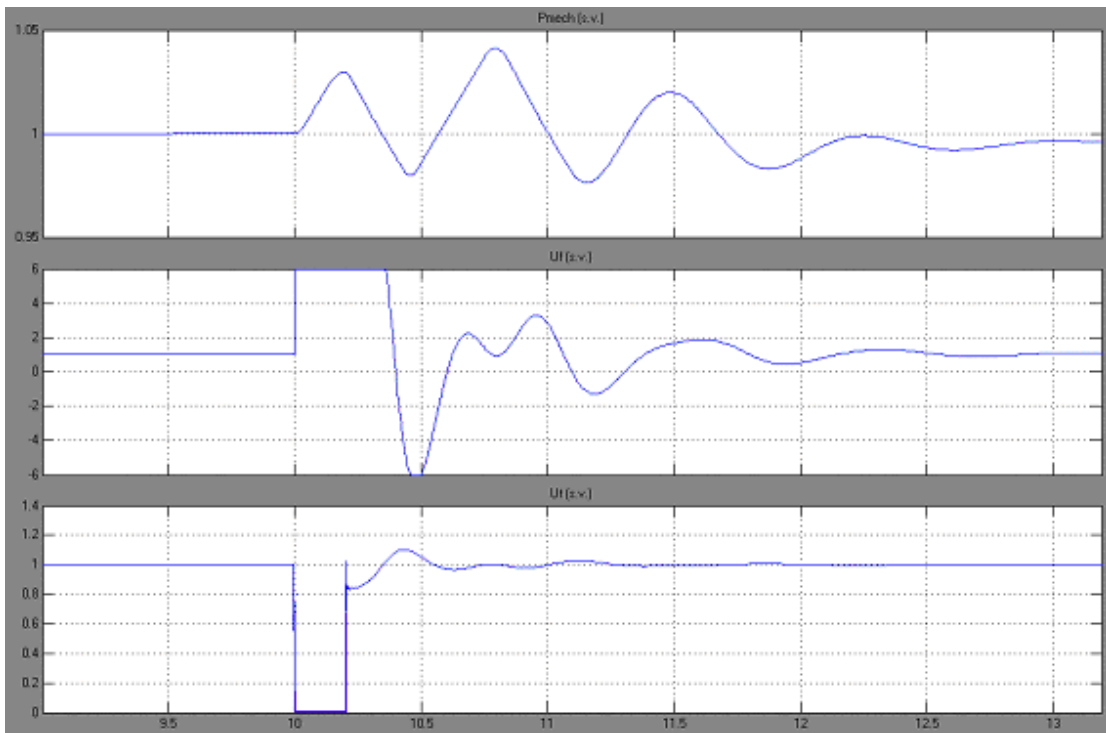


4.2.20 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose.

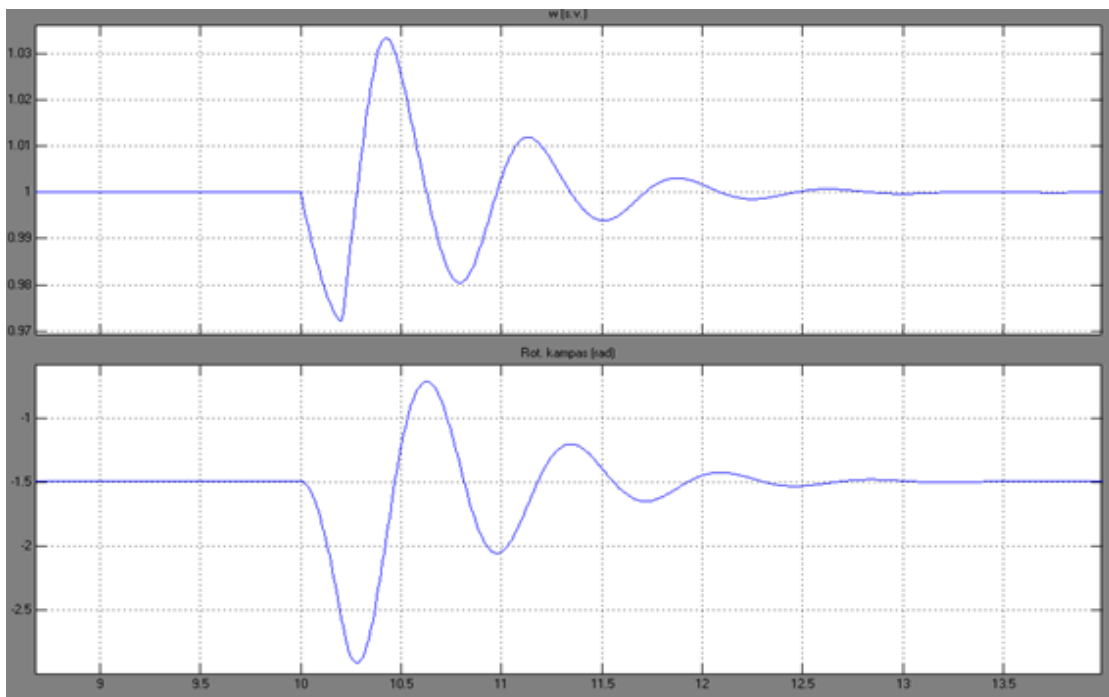


4.2.21 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose.

Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.22 pav. ir 4.2.23 pav.):



4.2.22 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“ atvaizduoti  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

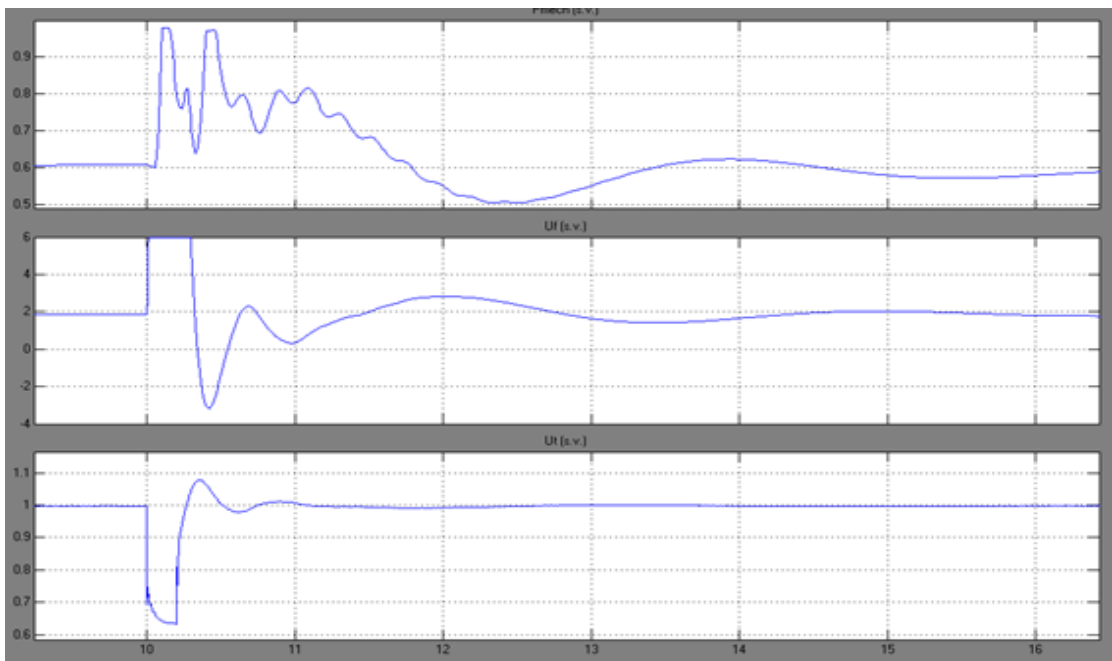


4.2.23 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

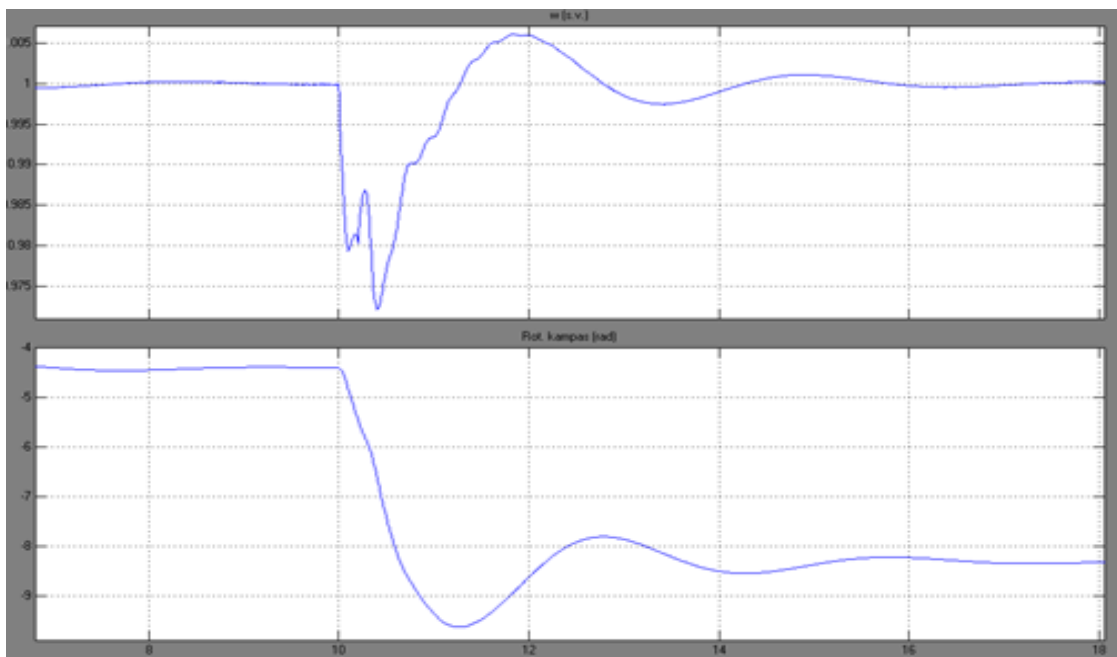
5. trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose, kai paskirstyti generatoriai dirba atskirai nuo sistemos (tiriama biodyzelinio generatoriaus „2“ stabilumo riba ir įtaka dyzeliniam generatoriui „1“).

Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$ ,  $\Delta\delta_{rot}$ ,  $U$  ir  $I$  kreivės (4.2.24 pav., 4.2.25 pav. ir 4.2.26 pav.):

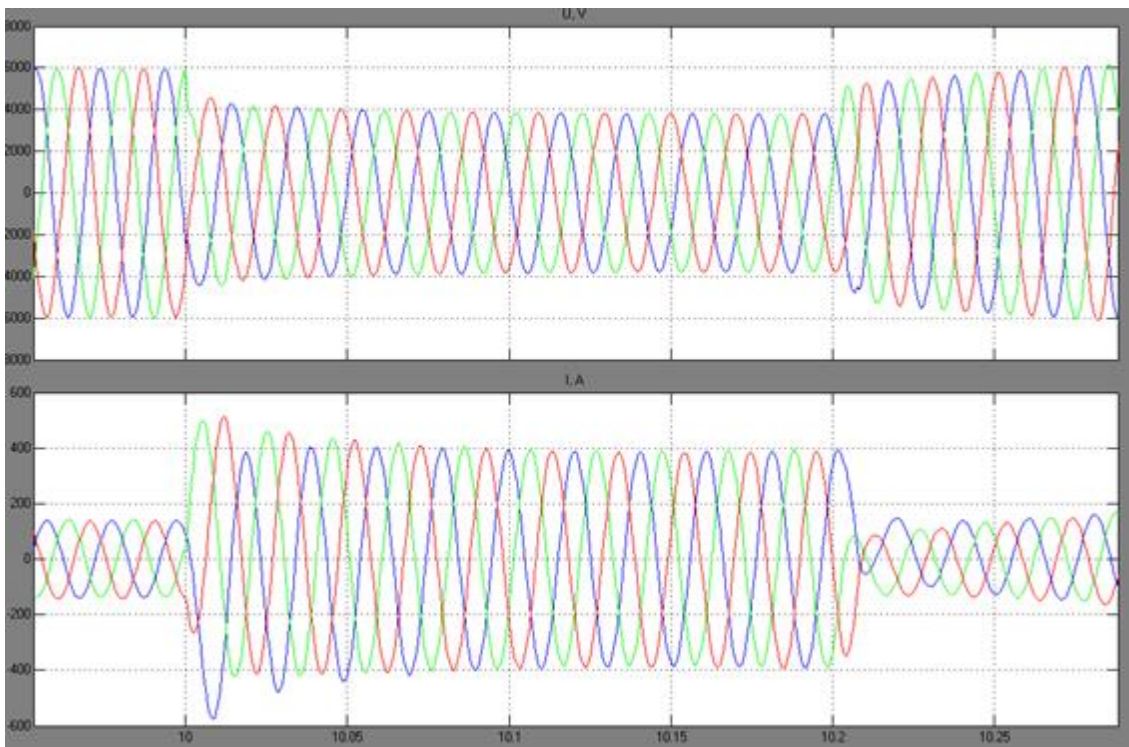




4.2.24 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ pavaizduoti  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose.

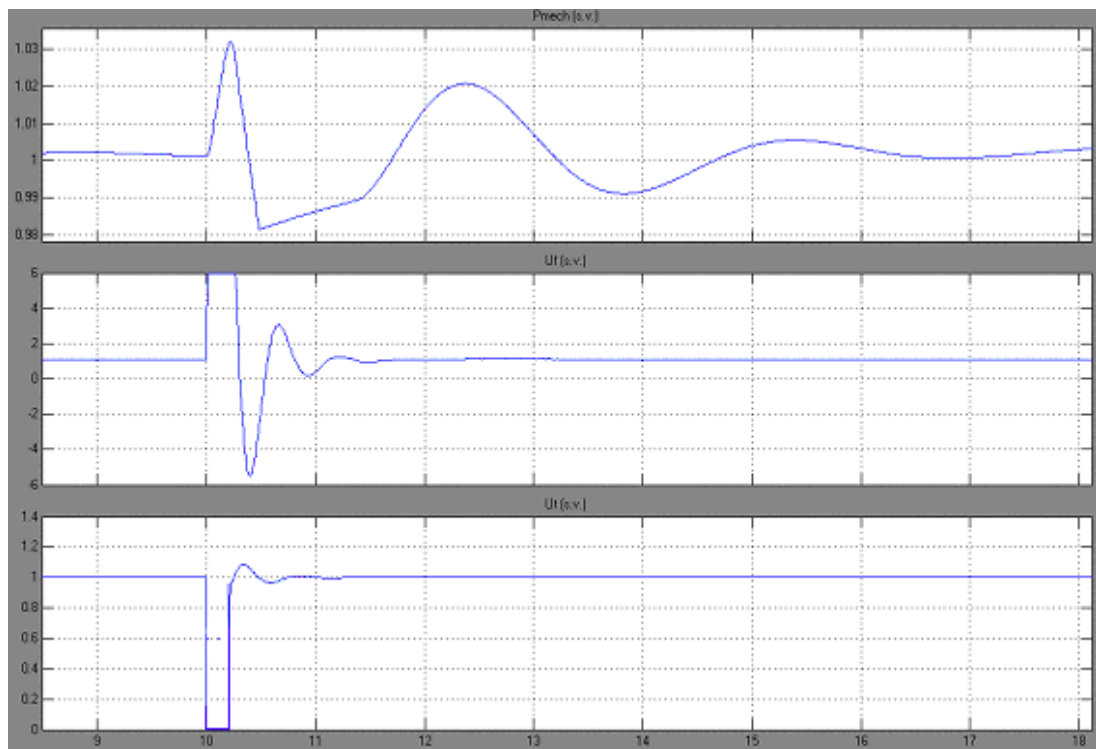


4.2.25 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose.

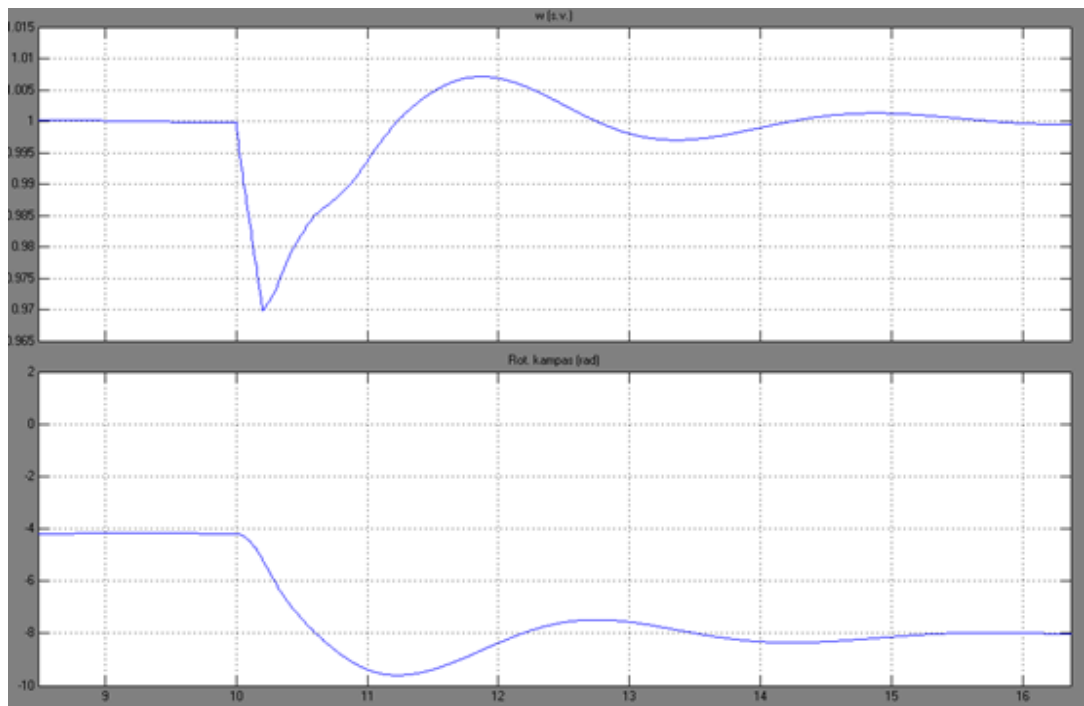


4.2.26 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“ įtampų ir srovių grafikai, kai  $K^{(3)}$  biodyzelio generatoriaus „2“ šynose.

Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.27 pav. ir 4.2.28 pav.):



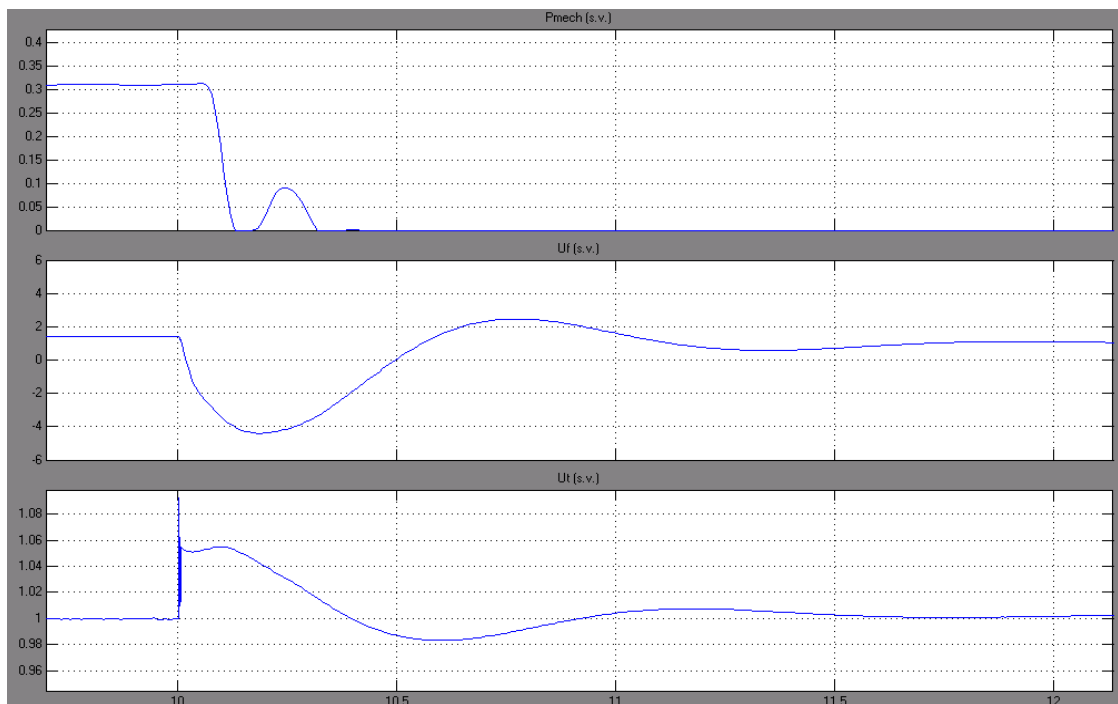
4.2.27 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.



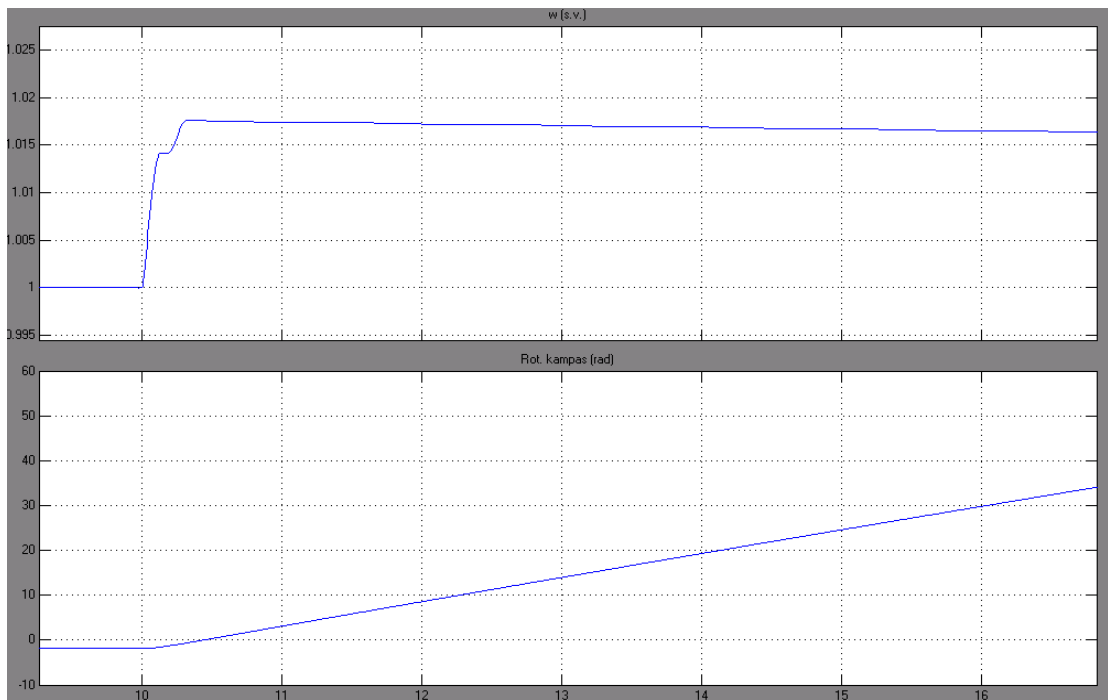
4.2.28 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai, kai  $K^{(3)}$  jo paties šynose.

6. staigus vardinės apkrovos praradimas biodyzeliniam generatoriui „1“ (tiriama staigi biodyzelinio generatoriaus „1“ atsijungimo įtaka stabilumui).

Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.29 pav. ir 4.2.30 pav.):

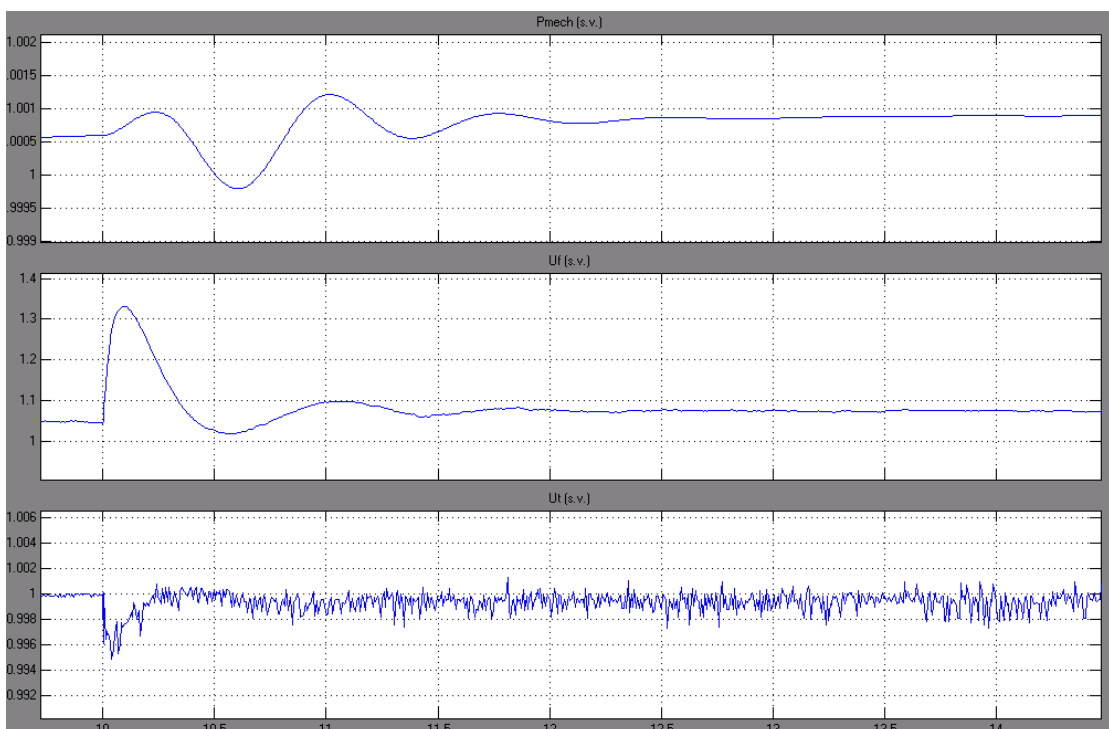


4.2.29 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai, kai visiškai prarandama apkrova.

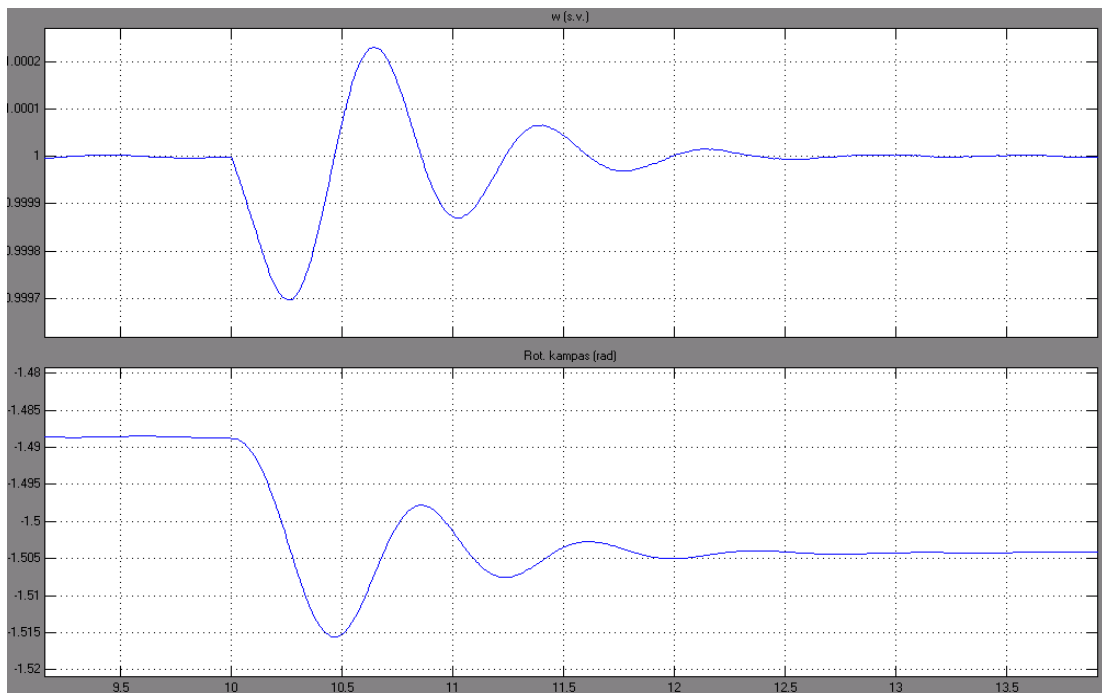


**4.2.30 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai visiškai praradus apkrovą.

Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.31 pav. ir 4.2.32 pav.):



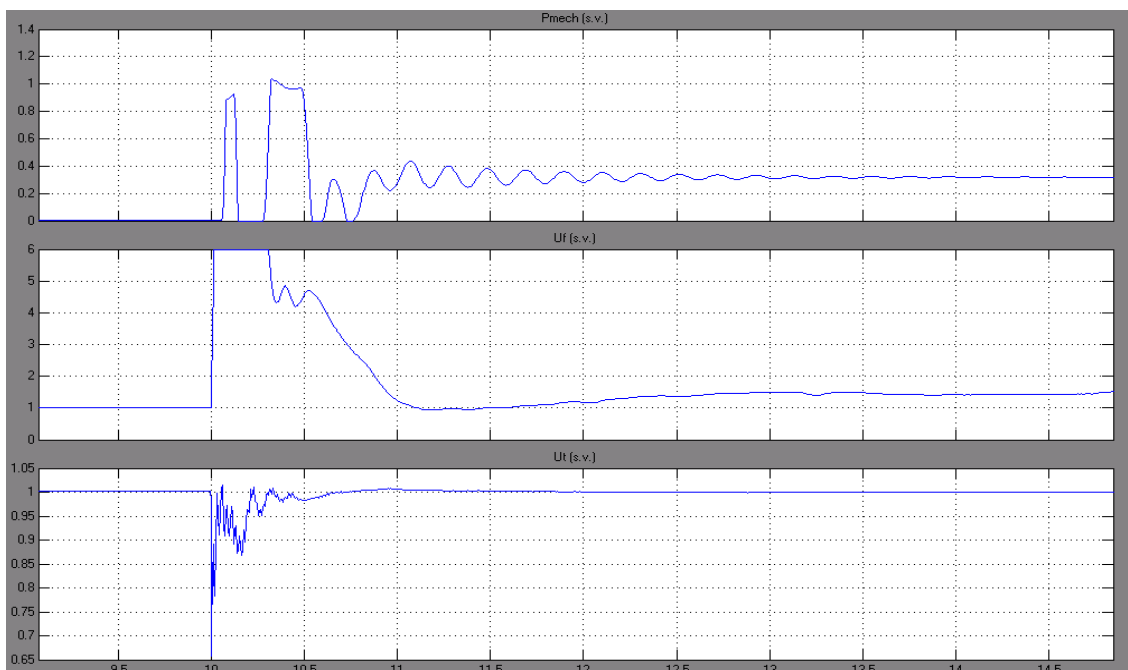
**4.2.31 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „2“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ visiškai praradus apkrovą.



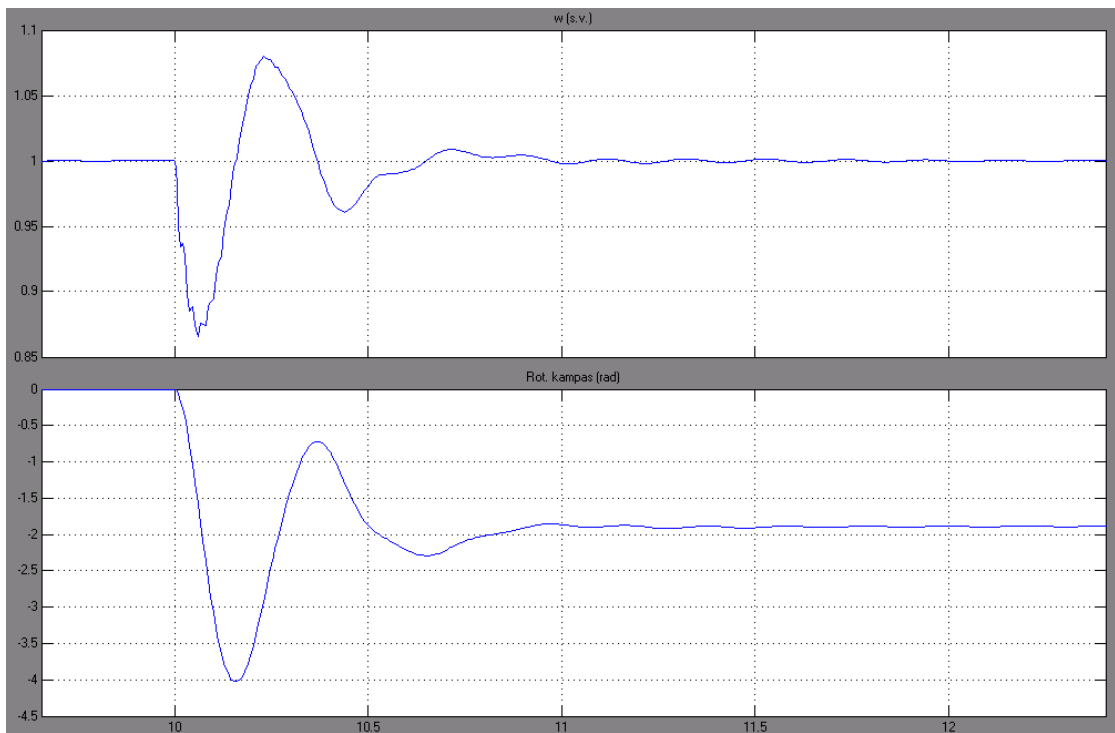
4.2.32 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ visiškai praradus apkrovą.

7. staigus apkrovos suteikimas biodyzeliniam generatoriui „1“, kai generatorius dirba tuščia eiga (tiriama staigi biodyzelinio generatoriaus „1“ prisijungimo įtaka stabilumui).

Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.33 pav. ir 4.2.34 pav.):

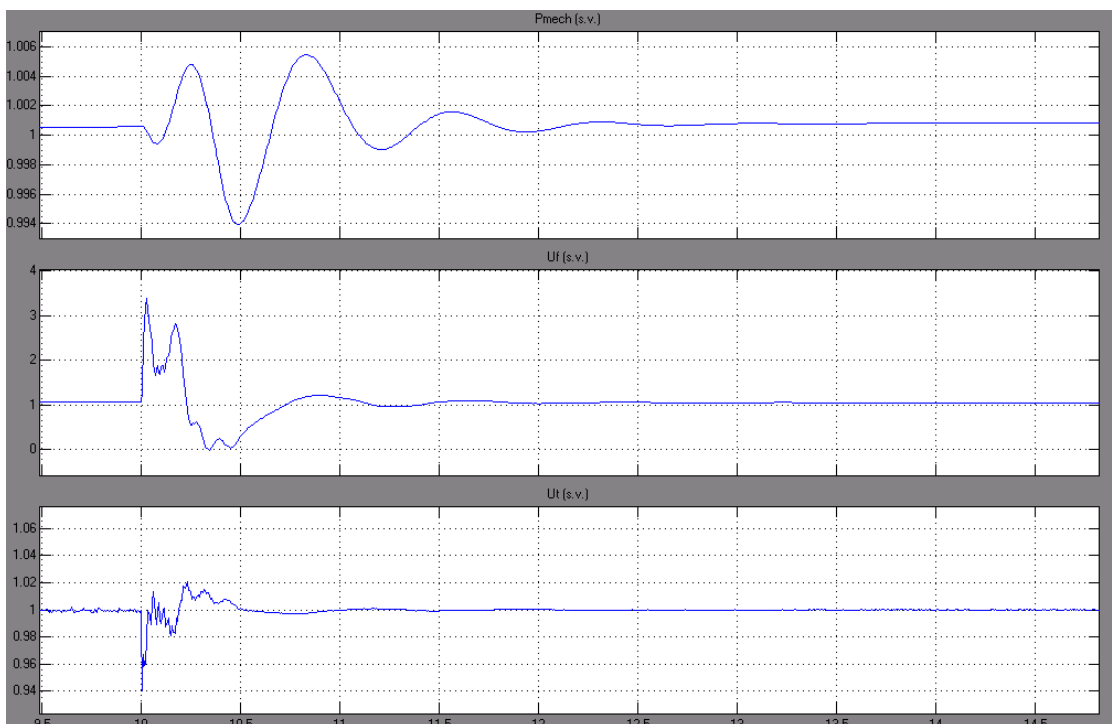


4.2.33 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai suteikus apkrovą.

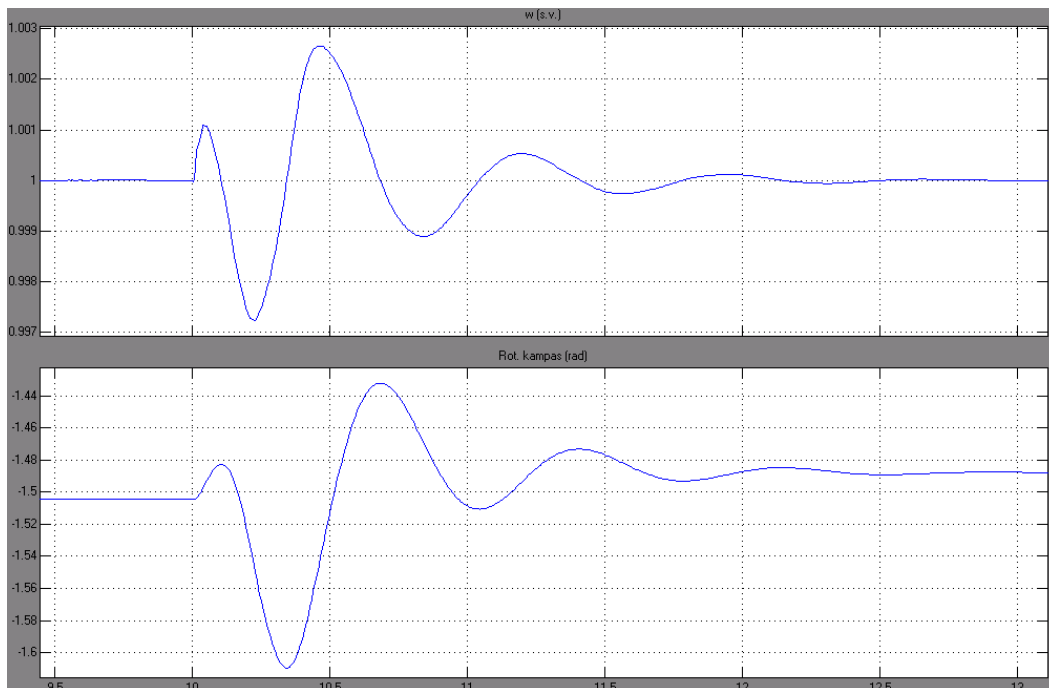


4.2.34 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai suteikus apkrovą.

Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.35 pav. ir 4.2.36 pav.):



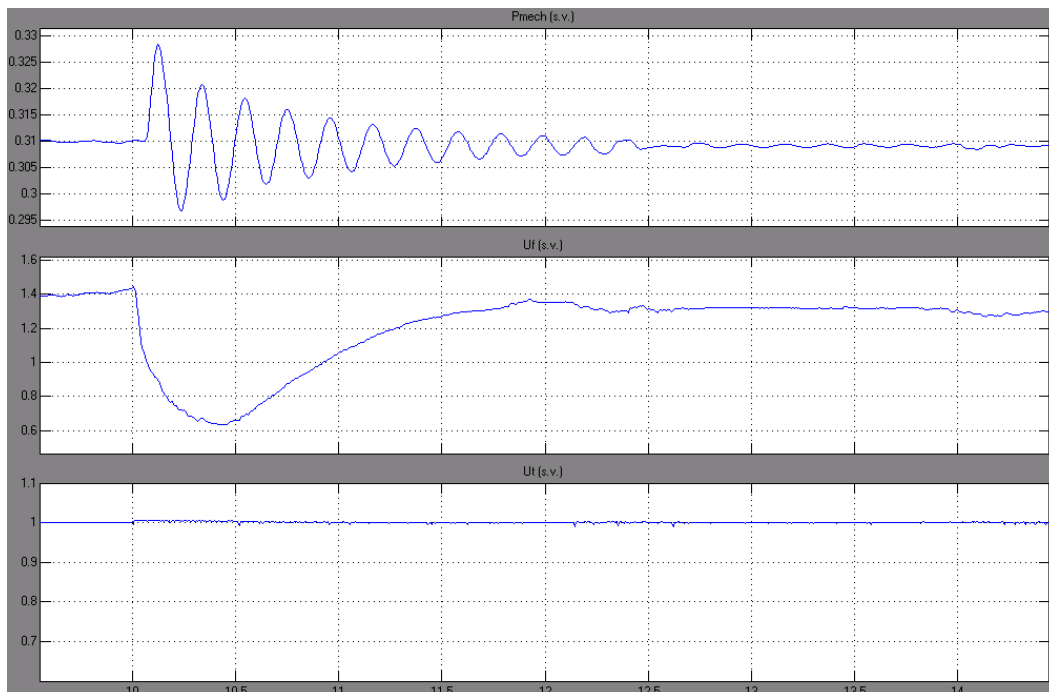
4.2.35 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ suteikus apkrovą.



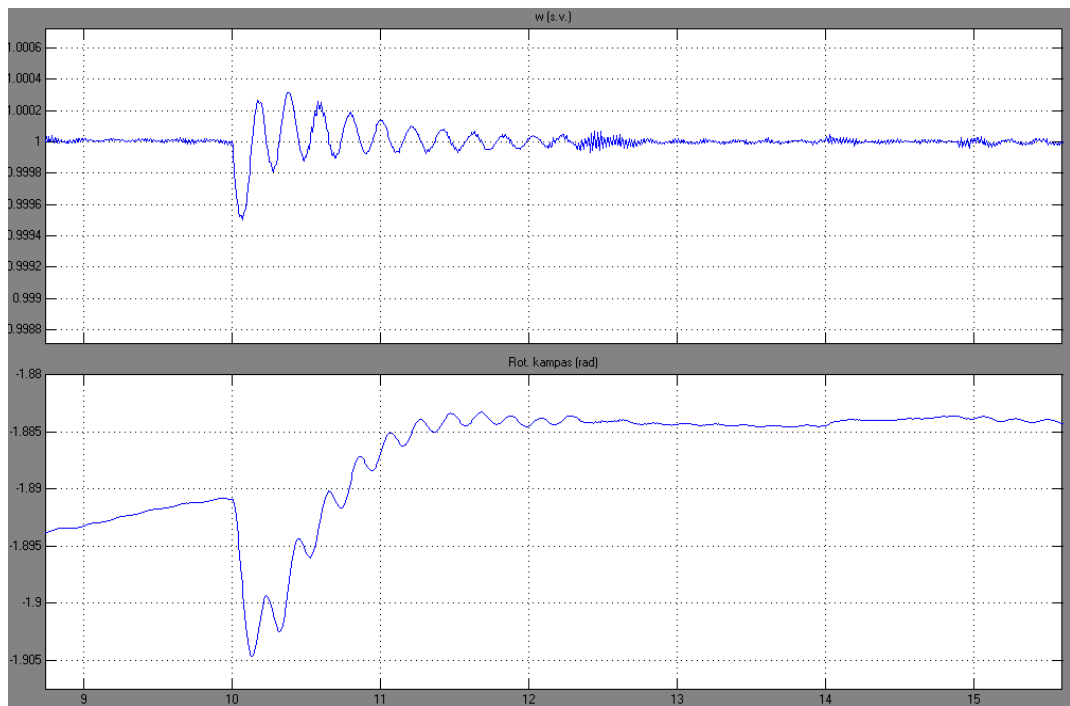
**4.2.36 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai biodyzeliniam generatoriui „1“ suteikus apkrovą.

8. staigus vardinės apkrovos praradimas biodyzeliniam generatoriui „2“ (tiriama staigi biodyzelinio generatoriaus „2“ atsijungimo įtaka stabilumui).

Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.37 pav. ir 4.2.38 pav.):

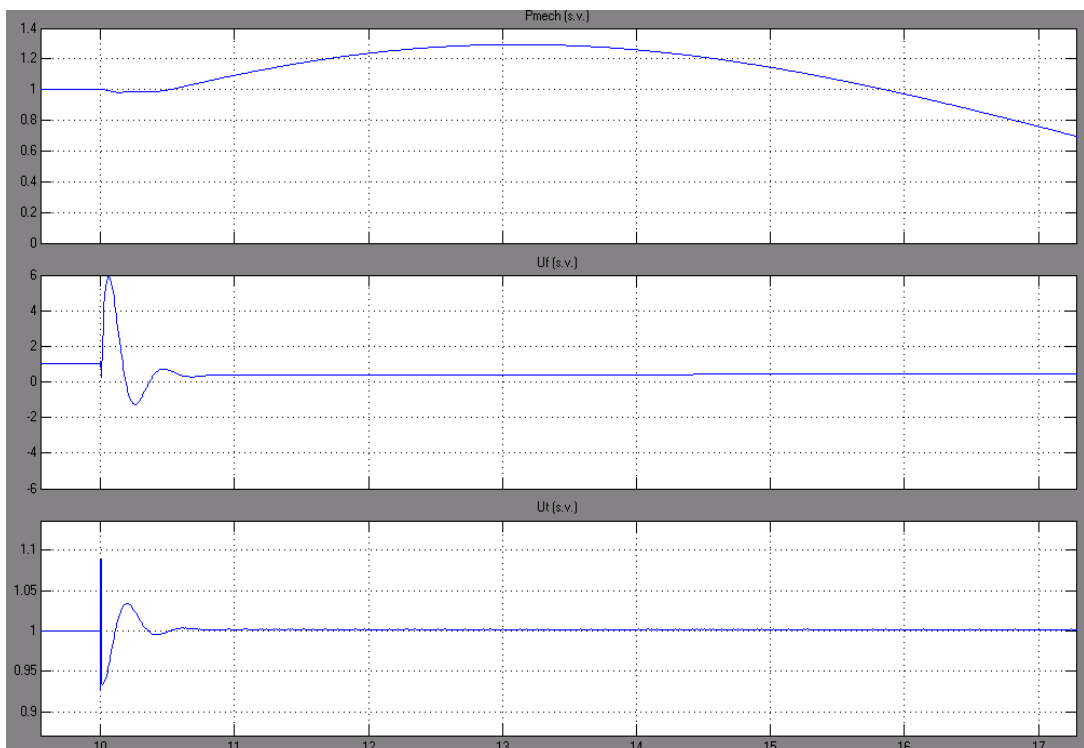


**4.2.37 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „1“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai biodyzeliniam generatoriui „2“ visiškai praradus apkrovą.



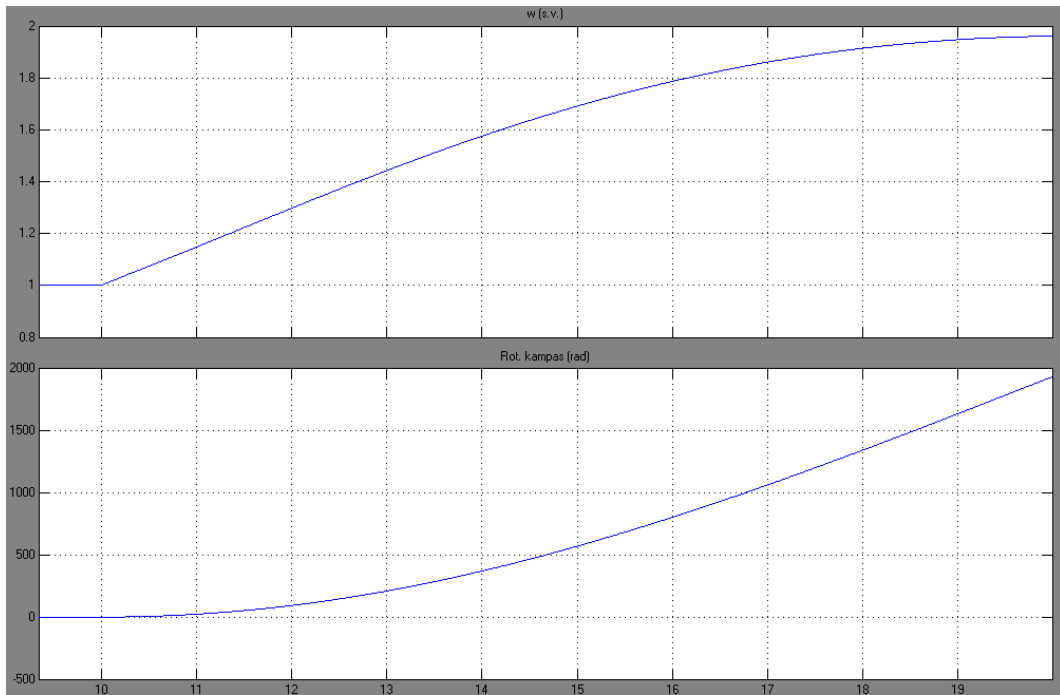
**4.2.38 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai biodyzeliniam generatoriui „2“ visiškai praradus apkrovą.

Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.39 pav. ir 4.2.40 pav.):



**4.2.39 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „2“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai visiškai praradus apkrovą.

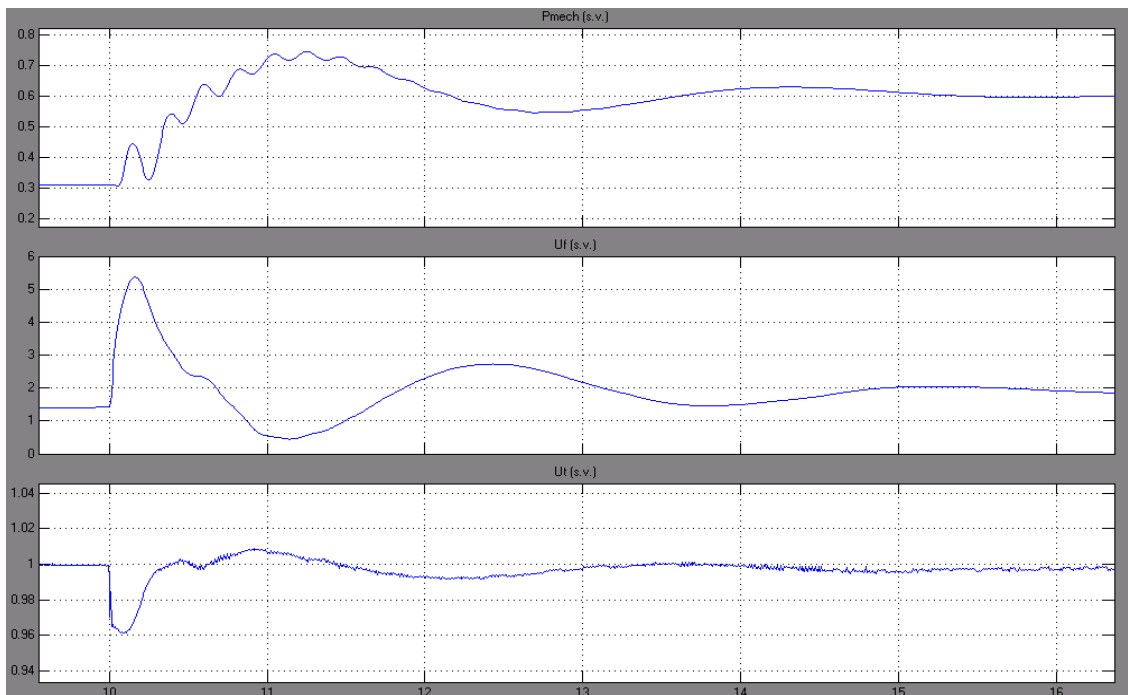




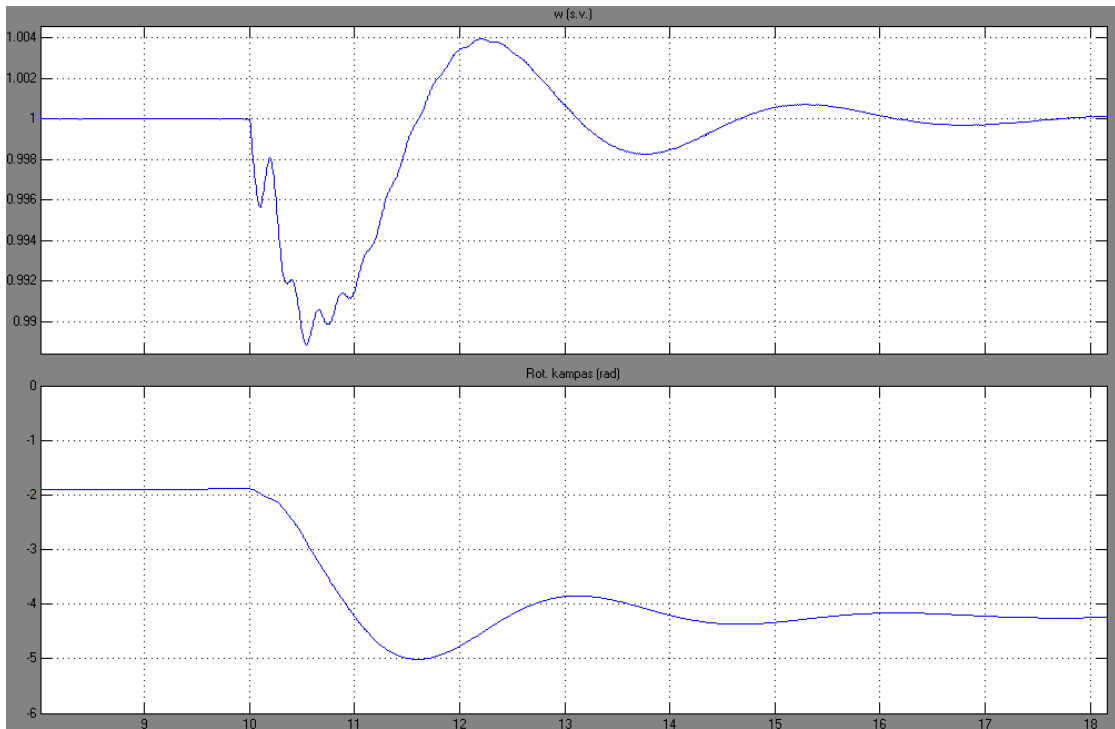
4.2.40 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai visiškai praradus apkrovą.

9. sistemos atsijungimas (tiriama sistemos įtaka paskirstytų generatorių stabilumui).

Biodyzelinio generatoriaus „1“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{rot}$  kreivės (4.2.41 pav. ir 4.2.42 pav.):

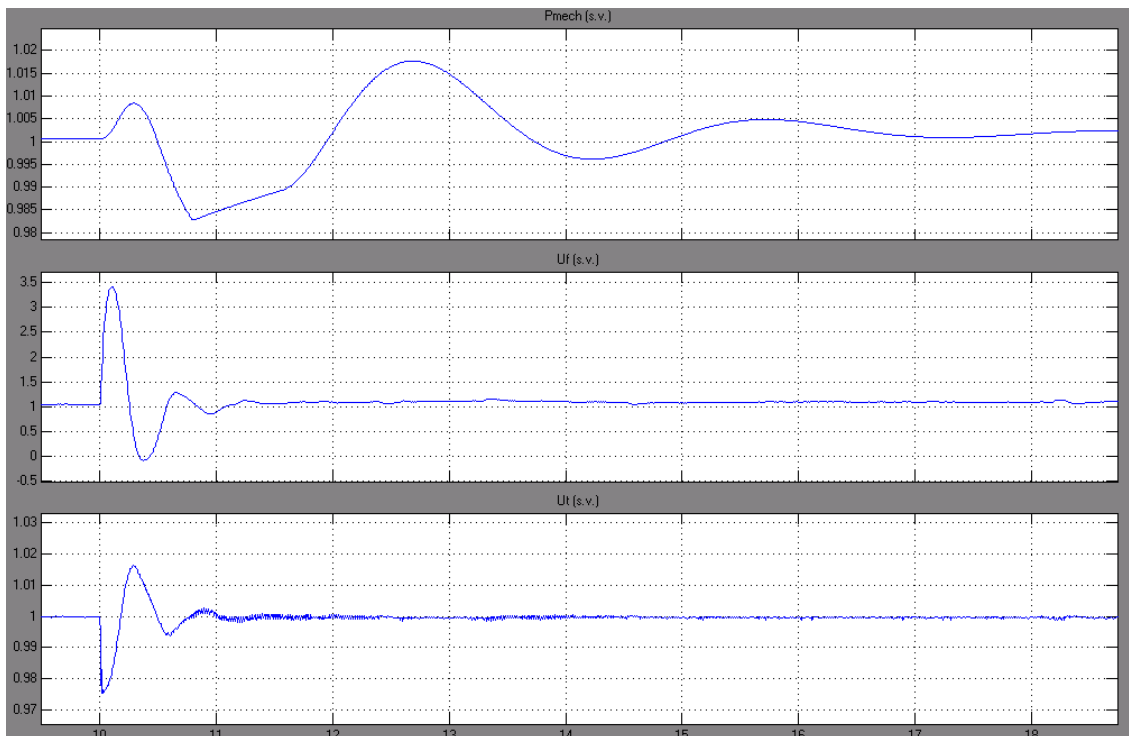


4.2.41 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $P_{mech}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai atsijungus sistemai.

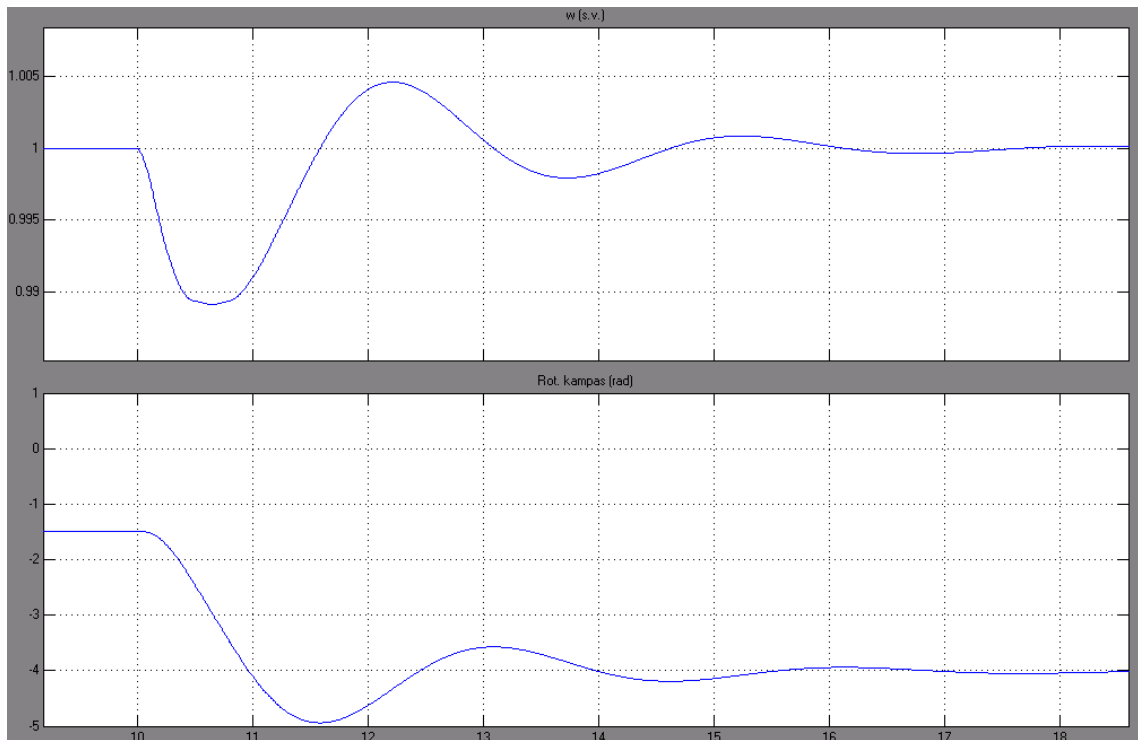


4.2.42 pav. Biodyzelinio generatoriaus „1“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai atsijungus sistemai.

Biodyzelinio generatoriaus „2“ darbo grafikai, kuriuose pavaizduotos  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$ ,  $\omega$  ir  $\Delta\delta_{\text{rot}}$  kreivės (4.2.43 pav. ir 4.2.44 pav.):



4.2.43 pav. Biodyzelinio generatoriaus „2“  $P_{\text{mech}}$ ,  $u_f$ ,  $u_t$  grafikai atsijungus sistemai.



**4.2.44 pav.** Biodyzelinio generatoriaus „2“  $\omega$  ir rotoriaus kampo grafikai kai atsijungia sistema.

### 4.3 Ištirtų stabilumo sąlygų rezultatai

Vienas iš nepalankiausių dinaminio stabilumo atžvilgių – tai trifazis trumpasis jungimas generatoriaus šynose. O rotoriaus kampo kitimas yra lygiai toks pat svarbus kriterijus, kai nagrinėjamas generatoriaus dinaminis stabilumas. Kai įvyksta trifazis trumpasis jungimas, rotoriaus greičio pokyčiai gaunasi didesni, kai paskirstyti generatoriai dirba autonominiame režime. Iš gautų grafikų matosi, kad biodyzeliniam generatoriui „1“ ir biodyzeliniam generatoriui „2“ dirbant sistemoje pereinamasis procesas baigiasi ir normalus darbo režimas atsistato greičiau nei dirbant autonominiu režimu (atsijungus nuo sistemos). Taip pat, tiriant generatorių stabilumą, labai svarbus kriterijus yra įtampos stabilumas. Paskirstytiems generatoriams dirbant sistemoje įtampa yra žymiai stabilesnė ir greičiau atsistato pereinamųjų procesų metu lyginant su darbu autonominiu režimu. Toliau pateikiama konkrečių trumpųjų jungimų  $K^{(3)}$  bei staigių apkrovų pokyčių įtaka kiekvienam iš generatorių.

Įvykus trifaziam trumpajam jungimui 35 kV sistemoje biodyzelinio generatoriaus „1“ mechaninė galia įgauna gana stiprius pokyčius. Pradiniu momentu, mechaninė galia, susvyruoja nuo 0,7 s.v. iki 0 s.v. (1 s.v. - leistinoji elektros tinklo nominalioji įtampa). Toks svyravimas trunka apie 0,5 sekundės. Po 0,5 sekundės svyravimai pradeda slopsti ir sudaro apie 0,2 s.v..

Visas procesas trunka apie 1,5 sekundės. Po 3 sekundžių trukusio pereinamojo proceso svyravimai visiškai nusistovi. Palyginus nusistovėjusios mechaninės galios vertę ir prieš tai gauta verte gaunama, kad nusistovėjusi vertė yra apie 0,1 s.v. didesnė. Tai įvyksta todėl, kad persiskirsto generatorių galios ir sistema. O žadinimo įtampa susvyruoja gana plačiose ribose. Nuo tuščiosios eigos žadinimo įtampos vertės, trumpojo jungimo pradžioje, žadinimo įtampa pakyla iki maksimumo: 6 s.v.. Žadinimo įtampos maksimali vertė išsilaiko 0,3 sekundės ir tada ima mažėti. Žadinimo įtampos pereinamasis procesas trunka 3 sekundes, iki kol nusistovi prieš tai buvęs pereinamasis procesas. Trumpojo jungimo pradžioje, generatoriaus „1“ gnybtų įtampa krenta iki 0,2 s.v. ir laikosi apie 0,3 sekundes (trumpojo jungimo trukmė yra 0,2 sekundės), o tada grįžta į pradinę padėtį. Po 0,5 sekundės, gnybtų įtampa, pilnai atsistato. Synchroninio generatoriaus „1“ rotoriaus sukimosi greitis kinta labai nedaug: apie 0,03 s.v. ribose, o svyravimai nusistovi po 3 sekundžių. Pastebima, kad rotoriaus kampo maksimalūs pokyčiai sudaro 0,4 radiano. O didžiausi svyravimai įvyksta 0,5 sekundės nuo pereinamojo proceso pradžios. Po to svyravimai slopsta. Po 4 sekundžių svyravimai visiškai nusistovi. Generatoriaus „1“ šynose, trumpojo jungimo metu, fazių įtampos krenta iki 1,8 kV. Kai pasibaigia trumpasis jungimas, fazių įtampos iš karto atsistato. Žiūrint į srovių grafiką (4.2.3 pav.), pradiniu metu, srovė išauga iki 1,5 kA, o po to palaipsniui mažėja. Trumpojo jungimo pabaigoje srovė sumažėja iki 800 A. Generatoriaus „2“ grafikų pokyčiai yra ženkliai mažesni, kai trumpasis jungimas įvyksta 35 kV pusėje. Štai mechaninės galios pokyčiai siekia tik 0,04 s.v., o procesas nusistovi po 3 sekundžių. Žadinimo įtampa per 0,3 sekundės pakyla iki maksimalios 6 s.v. ribos. Pats procesas nusistovi po 2,2 sekundės. Trumpojo jungimo metu, synchroninio generatoriaus „2“ gnybtų įtampa, nukrenta iki 0,4 s.v., o po to staiga atsistato. Pereinamasis procesas visiškai pasibaigia po 1 sekundės. Rotoriaus sukimosi greitis 0,05 s.v. ribose. Šis greitis visiškai nusistovi po 4 sekundžių. Rotoriaus kampo svyravimai sudaro 1,5 radiano. Pats procesas yra slopstančio tipo, o pradinis režimas visiškai nusistovi po 4 sekundžių. Biodyzelinio generatoriaus „2“ šynų įtampa krenta iki 160 V, kai įvyksta trumpasis jungimas. O pati įtampa atsistato po 0,2 sekundžių kai nebelieka trumpojo jungimo. Iš srovių grafiko (4.2.6 pav.) matyti, kad trumpojo jungimo metu, srovės išauga dvigubai. Trumpam jungimui pasibaigus dar kurį laiką (0,15 s) vis dar aperiodiškai didėja. Išnykus trumpajam jungimui, po 0,3 sekundės nusistovi pradiniai dydžiai.

Kai trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  (0,2 s) įvyksta biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose (dirbant kartu su sistema) biodyzelinio generatoriaus „1“ mechaninė galia susvyruoja nuo 0 s.v. iki 1 s.v.. Po to svyravimai slopsta ir po 4 sekundžių visiškai nusistovi. Žadinimo įtampa pasiekia savo maksimalią 6 s.v. ribą, bet po 0,4 sekundės krenta iki 0,8 s.v.. Po 4 sekundžių nusistovi žadinimo įtampos kreivės svyravimai. Generatoriaus „2“ gnybtų įtampa krenta iki 0, o

trumpajam jungimui pasibaigus - atsistato. Po 0,8 sekundės generatoriaus „2“ gnybtų įtampa visiškai atsistato. 0,3 s.v. ribose kinta rotoriaus sukimosi greitis, o nusistovi po 4 sekundžių. Rotoriaus kampas kinta 0,7 radiano. Iš įtampų grafiko (4.2.9 pav.) matyti, kad, kai įvyksta trumpasis jungimas, įtampos tuo metu tampa lygios nuliui. Trumpam jungimui pasibaigus, įtampos per 0,2 sekundės atsistato. Iš srovių grafiko (4.2.9 pav.) matyti, kad pradiniu momentu yra pasiekta 2 kA riba, o vėliau palaipsniui nukrenta iki 800 A. Trumpam jungimui pasibaigus, pradinės srovių reikšmės atsistato po 0,2 sekundės. Biodyzelinio generatoriaus „2“ grafikai yra labai panašūs kaip ir trumpojo jungimo metu 35 kV pusėje.

Įvykus  $K^{(3)}$  trumpajam jungimui biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose, kai dirba atskirai nuo sistemos, biodyzelinio generatoriaus „1“ parametrų kitimo kreivės gaunamos labai panašios į kreives kaip ir dirbant su sistema. Tačiau išnykus trumpajam jungimui, pereinamieji procesai pasibaigia tik po 6 sekundžių. Dar yra skirtumas tas, kad rotoriaus kampo svyravimai jau sudaro apie 2,5 radiano. Tas pats gaunasi, kai matuojami biodyzelinio generatoriaus „2“ parametrai. Čia pereinamasis procesas nusistovi po gana ilgo laiko tarpo – maždaug po 8 sekundžių, o rotoriaus kampo svyravimai sudaro apie 3 radianus.

Įvykus  $K^{(3)}$  trumpajam jungimui biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose, kai yra dirbama kartu su sistema biodyzelinio generatoriaus „1“ parametrų kitimo kreivės atrodo žymiai švelnesnės. Mechaninė galia kinta tik 0,1 s.v. ribose. Po 0,18 sekundės, žadinimo įtampa, įgauna maksimalią reikšmę, kai trumpasis jungimas beveik išnyksta. Žadinimo įtampos maksimumas (6 s.v.) trunka tik 0,1 sekundės, o po to nukrenta. Sinchroninio generatoriaus „1“ gnybtų įtampa nukrenta iki 0,04 s.v.. Rotoriaus greitis kinta labai nežymiai, o rotoriaus kampo nuokrypiai sudaro 0,1 radiano. Pereinamojo proceso trukmė trunka apie 3 sekundes. Iš įtampų grafiko (4.2.21 pav.) matosi, kad trumpasis jungimas biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose labai mažai įtakoja biodyzelinio generatoriaus „1“ darbą. Iš srovių grafiko (4.2.21 pav.) matyti, kad jos padidėja tik iki 100 A. Visiškai kitokia padėtis gaunama biodyzelinio generatoriaus „2“ parametrų grafikuose (4.2.22 pav.). Mechaninė generatoriaus „2“ galia, trumpojo jungimo metu, pakinta tik iki 0,05 s.v.. Žadinimo įtampa, trumpojo jungimo metu, kinta nuo minimalios iki maksimalios ribos: nuo –6 s.v. iki 6 s.v.. Sinchroninio generatoriaus „2“ gnybtų įtampa krenta iki 0 s.v. Rotoriaus sukimosi greitis kinta iki 0,06 s.v. ribose. Rotoriaus kampo pokytis sudaro apie 2 radianus. Bendrai pereinamasis procesas pasibaigia po 3 sekundžių nuo trumpojo jungimo pradžios.

Kai trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose ir dirbama atskirai nuo sistemos, gaunami labai panašūs pereinamųjų procesų grafikai. Skirtumas tik tas, kad gaunami didesni biodyzelinio generatoriaus „1“ mechaninės galios nuokrypiai. Galios

nuokrypis gaunasi 0,4 s.v., o rotoriaus kampo nuokrypis – 5 radianai. Biodyzelinio generatoriaus „2“ rotoriaus kampo nuokrypiai 5,5 radiano. O pereinamųjų procesų nusistovėjimo laikas, abiem generatoriams, kai išnyksta trumpasis jungimas, gaunasi apie 6 sekundes.

Vienintelis modeliavimo atvejis, kai dirbama kartu su sistema yra staigus apkrovų praradimas ir staigus jų suteikimas. Kai staiga prarandama biodyzelinio generatoriaus „1“ apkrova, tai mechaninė generatoriaus galia krenta iki nulio. Tada žadinimo įtampa susvyruoja 6 s.v. ribose ir nusistovi po 2 sekundžių. Generatoriaus „1“ gnybtų įtampa pakyla iki 1,1 s.v., tačiau po 2 sekundžių nusistovi ties 1,01 riba. Rotoriaus greitis padidėja iki 1,018 s.v., o rotoriaus kampas stabiliai pradeda didėti. Didėjant rotoriaus kampui, jis praranda sinchroninį sukimosi greitį. Tuo tarpu biodyzelinio generatoriaus „2“ parametrų pokyčiai yra labai nežymūs. Iš grafikų (4.2.32 pav.) matosi, kad biodyzelinio generatoriaus „1“ atsijungimas biodyzeliniam generatoriui „2“ darbui įtakos praktiškai neturi.

Staiga suteikus biodyzeliniam generatoriui „1“ apkrovą, jo mechaninė galia nusistovi po 3 sekundžių ir yra apie 0,3 s.v.. Tačiau, mechaninė galia, prieš tai susvyruoja labai plačiame diapazone: nuo 0 s.v. iki 1 s.v.. Žadinimo įtampa pradiniu momentu pasiekia maksimalią 6 s.v. ribą, o po 0,3 sekundės krenta. Čia po 4 sekundžių, žadinimo įtampa nusistovi ties 1,5 s.v.. Generatoriaus gnybtų įtampa pradiniu momentu krenta iki 0,65 s.v., tačiau per 1 sekundę atsistato iki 1 s.v.. Rotoriaus sukimosi greitis susvyruoja nuo 0,2 s.v. iki 1 s.v., svyravimas užtrunka apie 1,5 sekundės. Rotoriaus kampas kinta 4 radianų ribose, tačiau po 1,5 sekundės nusistovi ir yra apie 2 radianai. Biodyzelinio generatoriaus „2“ žymesnių pokyčių nepastebima. Tai reiškia, kad staigus apkrovos suteikimas biodyzeliniam generatoriui „1“ nepadaro jokios įtakos biodyzelinio generatoriaus „2“ parametrams.

Biodyzeliniam generatoriui „2“ staiga praradus apkrovą, iš grafikų (4.2.40 pav.) pastebimas spartus rotoriaus greičio ir rotoriaus kampo didėjimas. Iš grafikų (4.2.40 pav.) aiškiai matosi, kad generatorius jau nebedirba sinchroniniu režimu. O biodyzelinio generatoriaus „1“ parametrams, praradus biodyzelinio generatoriaus „2“ apkrovą, žymesnės įtakos nepadaro. Vadinas biodyzelinio generatoriaus „1“ parametrai kinta labai nežymiai.

Suteikus biodyzeliniam generatoriui „2“ apkrovą, stipriai kinta tik jo parametrai, o biodyzelinio generatoriaus „1“ parametrai kinta labai nežymiai. Suteikiant apkrovą biodyzeliniam generatoriui „2“ gaunama, jog dirbant kartu su sistema negalima iškart suteikti pilnos vardinės apkrovos, nes tokiu atveju biodyzelinis generatorius „2“ dirba nebestabiliu režimu.

Kiek kitoks stabilumo sąlygų tyrimo atvejis yra toks, kai staiga atsijungia sistema. Šiuo atveju biodyzelinio generatoriaus „1“ mechaninė galia nuo 0,31 s.v. padidėja iki 0,6 s.v.. Dėl to, kad pagal užduotus parametrus biodyzelinis generatorius „2“ dirbtų pilna galia, o biodyzelinis generatorius „1“ padengtų jos trūkumą. Biodyzelinio generatoriaus „1“ žadinimo įtampa susvyruoja maždaug 5 s.v. ribose, bet po 6 sekundžių visiškai nusistovi. Sistemos atsijungimo metu, gnybtų įtampa, pažemėja labai neženkliai iki 0,96 s.v., o po 6 sekundžių pilnai nusistovi. Labai nedaug susvyruoja ir rotoriaus sukimosi greitis tik apie 0,01 s.v., o pats procesas nusistovi po 6 sekundžių. Rotoriaus kampo svyravimai sudaro apie 3 radianus. Į sistemos atsijungimą biodyzelinio generatoriaus „2“ reakcija yra labai silpna. Mechaninės galios svyravimai sudaro 0,03 s.v.. Žadinimo įtampa susvyruoja 3,5 s.v. ribose. 0,04 s.v. ribose kinta generatoriaus „2“ gnybtų įtampa. Rotoriaus greičio pokyčiai sudaro vos 0,015 s.v.. Žymesni pokyčiai pastebimi tik rotoriaus kampo grafike (4.2.44 pav.) ir sudaro 3,5 radiano. Pereinamasis procesas pasibaigia po 6 sekundžių.

Įvykus  $K^{(3)}$  trumpajam jungimui tinkle gaunami skirtingi ribiniai trumpųjų jungimų laikai. Gaunami tokie laikai, kai paskirstyti generatoriai dar sugeba grįžti į stabilią būseną. Įvykus  $K^{(3)}$  trumpajam jungimui biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose, ribinis trumpojo jungimo laikas yra 0,27 s, o įvykus trumpajam jungimui biodyzelinio generatoriaus „2“ šynose ribinis laikas yra 0,21 s. Kitas variantas yra trumpasis jungimas  $K^{(3)}$  35 kV pusėje. Šiuo atveju tiriama sisteminės avarijos įtaka. Įvykus trifaziam trumpajam jungimui 35 kV pusėje ribinė trumpojo jungimo trukmė yra 0,4 s.

Paskirstyti generatoriai: biodyzelinis generatorius „1“ ir biodyzelinis generatorius „2“, skirtingai reaguoja į apkrovų kitimą. Staiga suteikiant biodyzeliniam generatoriui „2“ vardinę apkrovą, rotoriaus kampo pereinamasis procesas, įgauna ilgalaikio švytuojančio pobūdžio kreivę. Esant tokiems švytavimams galima pastebėti, kad biodyzelinis generatorius „2“ dirba nebe sinchroniniu režimu. Biodyzelinis generatorius „2“ sugeba atstatyti normalų darbo režimą kai staigi apkrova sudaro apie 60 proc. biodyzelinio generatoriaus „2“ vardinės galios. Biodyzelinis generatorius „1“ sugeba atstatyti stabilią būseną kai apkrova yra apie 72 proc. vardinės jo galios. O duodant didesnę kaip 72 proc. apkrovą biodyzelinio generatoriaus „1“ rotoriaus kampo kreivė įgauna ilgalaikį švytuojantį pobūdį, todėl generatorius dirba jau nebe sinchroniniu režimu. Vertinant dinaminį stabilumą generatorių gnybtų įtampų požiūriu gaunama analogiška situacija.

Kitas variantas yra staigus apkrovos praradimas. Šiuo atveju abu generatoriai elgiasi labai panašiai. Padidėja rotoriaus sukimosi greitis, o rotoriaus kampas pradeda stabiliai didėti. Toks darbo režimas parodo, kad tiek vienas tiek kitas generatorius dirba nebe sinchroniniu režimu.

Tuo pačiu galima daryti išvadą, kad tiek vienam tiek kitam generatoriui reikalinga minimali apkrova, kad išliktų sinchroninis rotorius sukimosi dažnis. Biodyzelinio generatoriaus „1“ minimali apkrova, kad išlaikytų sinchroninį sukimosi greitį yra 11 proc. vardinės generatoriaus galios. O minimali biodyzelinio generatoriaus „2“ apkrova yra 9 proc. vardinės generatoriaus galios.

Tiriant dinaminį stabilumą labai svarbi yra avarijos vieta. Įvykus  $K^{(3)}$  trumpiems jungimams pas vartotojus yra gaunamos skirtingos stabilumo ribos. Dėl to, kad skirstomajame tinkle yra didelės aktyviosios varžos. Kuo avarijos vieta yra toliau nuo generatoriaus, tuo mažesnė yra trumpojo jungimo srovė. Esant tolimam trumpam jungimui generatorius dirba pakankamai stabiliai. Nes trumpojo jungimo vieta gauna energiją jau nebe iš vieno generatoriaus, dėl to generatorių darbas yra mažiau sutrikdomas.

Iš gautų duomenų galima pastebėti, kad esant avariniams darbo režimams dinaminio stabilumo požiūriu, pagal esamus generatorių ir pirminių variklių bei jų reguliatorių parametrus, šiek tiek pranašesnis yra biodyzelinis generatorius „1“. Biodyzelinio generatoriaus „1“ stabilumo ribos visuose sunkiausiuose darbo režimuose yra didesnės. Taip pat biodyzelinis generatorius „1“ greičiau atstato stabilų darbo režimą. O biodyzelinis generatorius „2“ pranašesnis tik tuo, kad jam reikalinga mažesnė minimali apkrova.

## 5 Išvados

1. Generatoriui dirbant sistemoje gaunama, jog jo įtampos yra gerokai stabilesnės bei žymiai greičiau atsistato po avarijų ar staigių apkrovų pokyčių, nei generatoriui dirbant autonominiu režimu atsijungus nuo sistemos.
2. Abiejų biodyzelinių generatorių mechaninės galios ( $P_{\text{mech}}$ ) nuokryptai gaunami didesni, kai generatoriai dirba autonominiu režimu (atsijungę nuo sistemos). Tačiau, ta pati mechaninė galia ( $P_{\text{mech}}$ ), atsistato žymiai greičiau nei generatoriams dirbant sistemoje.
3. Susumavus generatorių rotorius kampus, gaunama, kad dirbant sistemoje generatoriaus „1“ rotorius kampas: 0,5 radiano, o atsistatymo laikas: 3,5s. Generatoriaus „2“ rotorius kampas: 4,2 radiano, o laikas: 3s. Dirbant autonominiu režimu (atskirai nuo sistemos), generatoriaus „1“ rotorius kampas: 7,5 radiano, laikas: 6s. Generatoriaus „2“ rotorius kampas: 5,5 radiano, laikas: 6s. Todėl, generatoriams dirbant autonominiu režimu, jų rotorius kampai  $\Delta\delta$  gaunami didesni, o laikas trunkantis kol  $\Delta\delta$  nusistovi – ilgesni, nei generatoriams dirbant sistemoje.
4. Įvykus  $K^{(3)}$  trumpajam jungimui biodyzelinio generatoriaus „1“ šynose - ribinis trumpojo jungimo laikas yra 0,27 s. Įvykus  $K^{(3)}$  trumpajam jungimui biodyzelinio



- generatoriaus „2“ šynose - ribinis trumpojo jungimo laikas yra 0,21 s. Įvykus  $K^{(3)}$  trumpajam jungimui 35 kV pusėje - ribinė trumpojo jungimo trukmė yra 0,4 s.
5. Biodyzelinio generatoriaus „2“ minimali apkrova išlaikyti sinchroninį sukimosi greitį yra 9 proc. vardinės generatoriaus galios. Biodyzelinio generatoriaus „1“ minimali apkrova išlaikyti sinchroninį sukimosi greitį yra 11 proc. vardinės generatoriaus galios.
  6. Generatoriams didelę įtaką daro linijų aktyvioji varža. Kuo arčiau generatorių įvyksta trumpasis jungimas, tuo labiau yra sutrikdomas jų darbas.

## 6 Literatūra

1. Paskirstytoji elektros energijos gamyba Europoje ir Lietuvoje [interaktyvus] [žr. 2016-04-25]. Prieiga per internetą: [http://www.lmaleidykla.lt/publ/0235-7208/2007/4/Ener\\_001\\_008.pdf](http://www.lmaleidykla.lt/publ/0235-7208/2007/4/Ener_001_008.pdf)
2. Mažųjų generatorių prijungimo prie skirstomojo tinklo tyrimas [interaktyvus] [žr. 2016-04-25]. Prieiga per internetą: [http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2007~D\\_20070816\\_163314-02554/DS.005.0.03.ETD](http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2007~D_20070816_163314-02554/DS.005.0.03.ETD)
3. Energijos vartojimo efektyvumas [interaktyvus] [žr. 2016-12-21]. Prieiga per internetą: [www.ekostrategija.lt](http://www.ekostrategija.lt)
4. Benzininiai ir dyzeliniai generatoriai [interaktyvus] [žr. 2016-12-25]. Prieiga per internetą: <https://benzininiaiidyzeliniaigeneratoriai.wordpress.com/>
5. AKSA Power Generation, Installation recommendations & operation manual of diesel generating set. [interaktyvus] [žr. 2017-01-06]. Prieiga per internetą: <http://www.aksausa.com/wp-content/uploads/2015/06/AKSA-GENERATOR-INSTALLATION-OPERATION-MANUAL.pdf>
6. Raff, Lionel. Principles of Physical Chemistry. New Jersey: Prentice-Hall 2001
7. The diesel engine cycle [interaktyvus] [žr. 2017-01-10]. Prieiga per internetą: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/diesel.html>
8. S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche. A methodology for optimal of autonomous hybrid PV/wind system. 2007. Energy Policy 35 (2007) 5708-5718
9. Straipsnis, „Simulation Model of Hydro Power Plant Using Matlab/Simulink“, Mousa Sattouf Int. Journal of Engineering Research and Applications [interaktyvus] [žr. 2017-02-15]. Prieiga per internetą: [http://www.ijera.com/papers/Vol4\\_issue1/Version%202/AN4102295301.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue1/Version%202/AN4102295301.pdf)
10. Gečys S. Elektromechanika. Mokomoji knyga. Kaunas, KTU leidykla „Technologija“, 2011. 104p.
11. Straipsnis, „Biodegalų gamybos ir vartojimo plėtros Lietuvoje įvertinimas“, Vladislovas KATINAS, Juozas SAVICKAS [interaktyvus] [žr. 2017-02-16]. Prieiga per internetą: <http://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/energetika/article/view/2340>
12. „Biodegalai“ [interaktyvus] [žr. 2017-03-01]. Prieiga per internetą: [http://www.lei.lt/img/up/File/atvir/bioenerlt/index\\_files/Biodegalai\\_galut.pdf](http://www.lei.lt/img/up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodegalai_galut.pdf)
13. P.Kundur. Power system stability and control. –N.Y.:IEEE Press, 1994