

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

Vaidotas Girgždys

**MAŽŲJŲ GENERATORIŲ PRIJUNGIMO
PRIE SKIRSTOMOJO TINKLO
TYRIMAS**
Magistro darbas

Vadovas

doc.dr. E. V. Nevardauskas

ŠIAULIAI, 2007

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

TVIRTINU

Katedros vedėjas

doc. dr. T. Šimkevičius

2007 06

**MAŽŲJŲ GENERATORIŲ PRIJUNGIMO
PRIE SKIRSTOMOJO TINKLO
TYRIMAS
Magistro darbas**

Vadovas

doc.dr. E.
V. Nevardauskas

2007 06

Recenzentas

ŠU Technologijos fakulteto
Elektros inžinerijos
katedros vedėjas

doc. dr. T. Šimkevičius

2007 06

Atliko

EM-5 gr. stud.

Vaidotas Girgždys

2007 06 04

ŠIAULIAI, 2007

Turinys

SAMMARY	4
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	6
IŽANGA.....	7
1. MAŽŪJŲ GENERATORIŲ VYSTYMASIS.....	8
2. VĖJO ELEKTRINĖS TECHNINIAI DUOMENYS.....	11
3. MAŽŪJŲ GENERATORIŲ ĮTAKA ELEKTROS TINKLUI.....	13
4. MAŽŪJŲ GENERATORIŲ PRIJUNGIMO PRIE ELEKTROS TINKLŲ REIKALAVIMAI.....	16
5. VĖJO ELEKTRINIŲ KLASIFIKACIJA.....	18
6. VĖJO ELEKTRINĖS PRIJUNGIMO PRIE SKIRSTOMŲJŲ ELEKTROS TINKLŲ SCHEMA.....	20
7. VĖJO ELEKTRINĖS SUDEDAMOSIOS DALYS.....	23
8. NUSISTOVĖJUSIO REŽIMO ĮTAMPA.....	26
9. AKTYVIOJO GALINGUMO IR DAŽNIO VALDYMAS SISTEMOJE.....	34
10. ĮTAMPOS POKYČIAI IR MIRGĖJIMAS.....	37
11. FEROREZONANSAS.....	43
12. MAŽŪJŲ GENERATORIŲ RELINĖ APSAUGA.....	44
13. VĖJO ELEKTRINĖS PALEIDIMAS IR STABDYMAS.....	46
IŠVADOS.....	51
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	52

Summary

Girgždys V. The investigation of connection of small generators to distribution network: Master thesis of electrical engineer / research advisor doc. dr. E. V. Nevardauskas; Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department – Šiauliai, 2007. – 52 p.

Small generators aren't the new thing for energetics. First, these generators are distributed among all electric system. Second, they often use renovated electric sources.

Small generators are used in small hydro – electric power stations as well as in wind electric power stations. For that purpose in research there is chosen small generator which is used in wind electric power stations.

At these days more than 20 000 wind electric power stations function all over the world. Contemporary progress of technology guarantees the reliability and profitableness of exploitation of this energy.

The aim of this research is to analyze the principles of small generators, effects and – the main demands of adopting them to the appropriate places and their connection to the distributive electric wiring network.

Lentelių sąrašas

1.1	2010m. ir tolesnei perspektyvai planuojami Lietuvos elektros sistemos generatoriai.....	10 p.
1.2	Atsinaujinančiųjų energijos šaltinių plėtros planai Lietuvoje ir ES.....	10 p.
2.1	Vėjo elektrinės techniniai duomenys.....	11 p.
2.2	Vardiniai vėjo elektrinės duomenys.....	12 p.
4.1	Mažųjų generavimo šaltinių panaudojimo reikalavimai.....	17 p.
8.1	Nusistovėjusios režimo įtampos reikalavimai kai kuriuose ES elektros sistemose.....	27 p.
8.2	Aktyviojo galingumo kitimo grafiko bandymo rezultatai.....	30 p.
8.3	Aktyviojo galingumo kitimo grafiko bandymo rezultatai.....	31 p.
8.4	Reaktyvusis galingumas, esant didžiausiems aktyviesiems galingumams.....	32 p.
8.5	Reaktyviojo galingumo generavimo ir vartojimo kitimas, esant skirtingoms VE generuojamiems aktyviesiems galingumams.....	33 p.
9.1	Generuojamo dažnio valdymo vertės.....	35 p.
10.1	Staigiųjų įtampos pokyčių ir mirgėjimo reikalavimai kai kuriuose ES elektros sistemose.....	38 p.
10.2	Leistinos projektinės mirgėjimo aštrumo rodiklio vertės.....	39 p.
10.3	Vėjo elektrinės veikos sukeliama įtampos mirgėjimo koeficientas $c(\psi_k, v_a)$	40 p.
13.1	Vėjo elektrinės išjungimo kriterijai.....	47 p.
13.2	Vėjo elektrinės galingumo priklausomybė nuo vėjo greičio.....	48 p.

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Energijos gavimo planavimas iki 2010 m.....	8 p.
3.1 pav. Vėjo greičio amplitudė 10, 30 ir 50 m. aukščiuose.....	14 p.
3.2 pav. Vėjo krypties kitimas.....	15 p.
5.1 pav. Vėjo elektrinių klasifikacijos būdai.....	19 p.
6.1 pav. Vėjo elektrinės prijungimo schema.....	22 p.
7.1 pav. Vėjo elektrinės viršutinės dalies vaizdas.....	24 p.
7.2 pav. Vėjo elektrinės apatinės dalies vaizdas.....	26 p.
8.1 pav. Didžiausių leistinų ir išmatuotų vidutinių ir vardinių galingumų santykiai.....	29 p.
8.2 pav. Aktyviojo galingumo kitimas.....	32 p.
8.3 pav. Reaktyviojo galingumo kitimas.....	33 p.
9.1 pav. Vėjo jėgainės įtampų ir dažnių projektinės trukmės.....	36 p.
9.2 pav. Dažnio valdymas.....	37 p.
10.1 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 6,0$ m/s.....	41 p.
10.2 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 7,5$ m/s.....	41 p.
10.3 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 8,5$ m/s.....	42 p.
10.4 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 10,0$ m/s.....	42 p.
12.1 pav. Vėjo elektrinėse naudojamos mikroprocesorinės relės.....	44 p.
12.2 pav. Kryptinės relinės apsaugos veikimo atvejai.....	45 p.
12.3 pav. Trumpojo jungimo srovės matavimo ir jungimo vietos aptikimo problema.....	45 p.
13.1 pav. Vėjo elektrinės generatoriaus išjungimo ir įjungimo akimirksniai.....	46 p.
13.2 pav. Vėjo elektrinės galingumo priklausomybė nuo vėjo greičio.....	49 p.

Ižanga

Mažieji generatoriai nėra kokia tai naujiena elektros energetikai. Pirmiausia šie generatoriai yra pasiskirstę po visą elektros sistemą, dažniausiai yra arti tiesioginių elektros vartotojų ir yra prijungti į skirstomąjį tinklą. Antra, jie dažnai naudoja atsinaujinančiosios energijos šaltinius, pavyzdžiui vėją arba saulės šviesą. Todėl kalbant apie vėjo elektrines arba mažąsias hidroelektrines tarp atsinaujinančiosios energijos, paskirstytojo generavimo ir mažųjų generatorių sąvokų didelių skirtumų nėra.

Atsinaujinančiųjų energijos šaltinių panaudojimas, globalinis gamtos atšilimas ir su tuo susijusi pasaulio visuomenės veikla yra įgijusi tarptautinių susitarimų ir planų formą.

Kartu pasaulio energetikai perspėja, kad atsinaujinančiosios energijos šaltiniai gali pakeisti tik nedidelę tradicinės energetikos dalį. Pirminės energijos vartojimo taupymas, perdirbimo efektyvumo didinimas yra žymiai daugiau naudos atnešančios priemonės. Ateityje atsinaujinantys energijos ištekliai vis labiau įtakos energijos tiekimo įvairovę, emisijų sumažinimą ir tinkamą energijos naudojimą.

Šiuo metu veikia per 20 tūkstančių vėjo elektrinių, įrengtų įvairiose pasaulio šalyse. Šiuolaikinė technologijų pažanga garantuoja šios energijos eksploatacijos patikimumą ir pelningumą. Esamų technologijų elektrinių galingumas kinta plačiose ribose: nuo kelių kilovatų iki keleto megavatų. Taigi ši technologija sudaro galimybę labai įvairiai panaudoti vėjo energiją, pvz., baterijos krovimui ar būsto apšvietimui, stambaus masto įrengimams, kurie teikia elektros energiją elektros tinklams.

Išsivysčiusios pasaulio šalys jau įvertino atsinaujinančių bei alternatyvių energijos šaltinių vertę. Būtent dabar, kai tapome pilnaverčiais Europos sąjungos nariais (ES) turime pasinaudoti jų patirtimi, ir sekti rodomu pavyzdžiu. Tam mums reikia visapusiškos informacijos, kad galėtume deramai pritaikyti ir atitinkamai išnaudoti šių energijų privalumus.

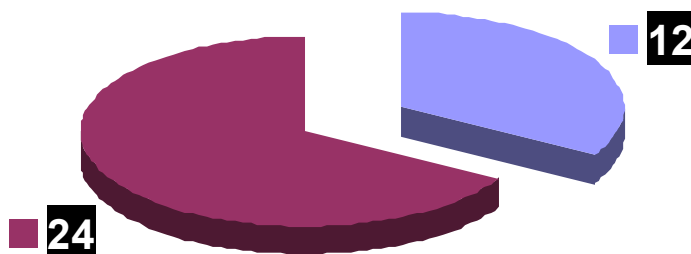
Darbo tikslas - įvertinti vieną iš pagrindinių alternatyviosios energijos formų - vėjo energiją..

Išanalizuoti mažųjų generatorių jungiamų į skirstomąjį tinklą pajungimo galimybes, pristatyti vėjo energetikos dabartinę situaciją ne tik klestinčiose valstybėse, bet ir Lietuvos Respublikoje. Tyrimui pasirinkau mažąjį generatorių kuris naudojamas vėjo elektrinėse.

1. Mažųjų generatorių vystymasis

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%.

2010 m.



1.1 pav. Energijos gavimo planavimas iki 2010 m.

Šis energetinį savarankiškumą didinantis užmojis panaudoti išsiskaidusią atsinaujinančiąją energiją yra labai brangus.

Atsinaujinančiuosius energijos šaltinius plačiai panaudoti trukdo šie kriterijai:

- 1) Integravimasis į energijos rinką. Šių energijos šaltinių panaudojimas energijos vartotojams turi teikti naudą, todėl turi būti sukurti atitinkami energijos biržos su plačiu atsinaujinančiųjų energijos šaltinių panaudojimu prekybos modeliai.
- 2) Taisyklių pritaikymas. Tinklų ir elektrinių operatoriai turi pertvarkyti rinkos taisykles taip, kad padidėtų paskirstytųjų energijos rūšių naudojimo pelnas.
- 3) Prijungimo prie elektros tinklų technologijos. Kaip ir kiek paskirstytųjų energijos generatorių galima prijungti prie esančių elektros tinklų taip, kad elektros vartotojams būtų užtikrintas tinkamas elektros kokybės ir saugos lygis?
- 4) Įtakos perdavimo elektros tinklui įvertinimas.
- 5) Paskirstytojo generavimo sistemos.

Pagrindiniai elektros gamybos priaugliai laukiami vėjo energetikoje. Vėjo elektrinės ir jų junginiai, vadinami vėjo parkais, atitinka ir atsinaujinančios energetikos ir paskirstytojo generavimo sąvokas bei gali būti vadinami mažaisiais generatoriais. Planuojamas labai spartus esamų galimybių Lietuvos pajūryje statyti vėjo elektrines panaudojamas, apie 2011 metus pasiekiant galimybių maksimumą – apie 170 MW suminės galios ribą, kurią užduoda esamų 110 kV linijų pralaidumas. Tolesni statybos planai siejami su jūrinių elektrinių statyba Baltijos jūroje ir įvairiais perdavimo tinklo plėtros, bei kitų rezervinių elektros linijų ir elektrinių statybos planais.

Remiantis Lietuvos respublikos įstatymais vėjo elektrinių statyba yra priskiriama prie ūkinės veiklos, kuri gali daryti reikšmingą poveikį aplinkai. Pagal vėjo elektrinių įrengimui (kai aukštis įskaitant sparnų ilgį - daugiau nei 10 m ar turinčių 2 ar daugiau turbinų) yra atliekama atranka dėl poveikio aplinkai privalomo vertinimo. Atranką atlieka regionų aplinkos apsaugos departamentai, kurie ir priima išvadą ar privaloma atlikti poveikio aplinkai vertinimą. Vėjo energetikos projektai pagrindinai susiduria su įtaka kraštovaizdžiui, biologinei įvairovei, triukšmo lygiui, vizualiniam aspektui, socialinei – ekonominei situacijai, kultūros paveldui, turizmui, rekreacijai ir kt.

Vėjo energetikos suminis augimas Europos Sąjungos šalyse 2004 metų gale pasiekė 34 205 MW galią ir nuo 28 568 MW 2003 metais per metus priaugo 5 637 MW, nors buvo instaliuota 5 703 MW, viso apie 16,6 %. Estijos salose ir Liepojos apylinkėse Latvijoje jau veikia dideli (40 x 0,6 MW) vėjo parkai. Lietuvoje vėjo energetika tik prasideda, tačiau 2008 metais jau planuojama turėti 160 MW, dar po penkių metų apie 500 MW suminės galios vėjo elektrinių.

Kaimyninių Skandinavijos, o ypač Danijos patirtis rodo, kad tol, kol vėjo energetikos suminė instaliuotoji galia išlieka elektros sistemos dažnio reguliatorių galios lygyje, sistemos dažnio reguliavimo pajėgumai su vėjo elektrinių galių atsiradimu ir vėl pranykimu susidoroja.

Vėjo energetikos poveikis elektros sistemai ir visai visuomenei yra dvejopas. Pirmiausia, vėjo panaudojimas leidžia taupyti įvežtinio kuro sąnaudas elektrai gaminti, sukelia tam tikras energetinio savistovumo mintis, gerina šalies gamtos saugojimo ir šiltnamio efekto mažinimo įvaizdį. Kita pusė yra priešinga. Lietuvos sistemos galią turės papildomai balansuoti šiluminės elektrinės. Dalis generatorių turės dirbti priverstiniuose nenašiuose režimuose, Pavyzdžiui 300 MW blokas turės dirbti su 150 MW apkrova tam, kad galėtų kiekvieną akimirksnį perimti vėjo energetikos duobę ar nusikrauti vėjui stipriau papūtus.

Vėjo energetika didina gaminamos elektros savikainą. Planuojamos iki 2011 metų pastatyti suminės 170 MW galios vėjo elektrinės pagamins apie 0,29 TWh energijos per metus ir pareikalaus apie 39 mln. Lt. subsidijų, kurias mokės elektros vartotojai perpadidintą elektros padavimo kainą. Vėjo elektrines rezervuojančiųjų galių pirkimas dar papildomai padidins šią kainą maždaug 53 mln. Lt. Į mažųjų generatorių kategoriją patenka visi 20 MW ir mažesnės galios generatoriai.

2010m. ir tolesnei perspektyvai planuojami Lietuvos elektros sistemos generatoriai

Elektrinės tipas	Įrenginio galia, MW
Lietuvos Elektrinė	150 – 300
Vilniaus, Kauno ir Mažeikių Elektrinė	60 - 150
Kombinuoto ciklo Elektrinė	50 – 200
Kauno Hidroelektrinė	20
Naujosios Nemuno Hidroelektrinė	15 - 25
Esančios ir naujos mažosios Hidroelektrinės	0,05 – 0,2
Dujinės kogeneravimo Elektrinės	2 – 30
Blokinės Elektrinės	0,02 - 2
Vėjo Elektrinės	0,6 - 5
Biokuro Elektrinės	0,1 – 0,2

Lietuvoje laukiame didelių galingumų vėjo elektrinių nuo 1 iki 5 MW galingumo statybos, masiškai pasirenkant 2 MW agregatus ir apjungiant į 30 – 50 MW galingumo vėjo parkus. Planuojami net dar didesnio galingumo jūroje statomų vėjo elektrinių parkai. Mažesnio galingumo vėjo elektrinių statyba mažai tikėtina, nes Lietuvoje tinkamų vietovių šioms elektrinėms statyti nėra daug, tinka tik siaura pajūrio juosta ir jūros seklumos, o silpnesnių vėjų zonose mažosios vėjo elektrinės (<1 MW) neatsiperka.

Atsinaujinančiųjų energijos šaltinių plėtros planai Lietuvoje ir ES

Rodiklis	Lietuvos padėtis	ES vidurkis	Lietuvos siekis	ES siekis
Atsinaujinančių energijos išteklių dalis bendrame pirminės energijos balanse	7,8 % 2003 m.	6 % 2003 m.	12 % 2010 m.	12 % 2010 m.
Elektros energijos, pagamintos naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, dalis nuo bendrojo elektros energijos sunaudojimo	2,7 % 2003 m.	14,2 % 2001 m.	7 % 2010 m.	22 % 2010 m.

2. Vėjo elektrinės techniniai duomenys

Mažieji generatoriai Lietuvos elektros tinkluose pagal įtampas yra grupuojami į kelias grupes.

Pirmajai grupei priskiriami prie žemos įtampos skirstomojo tinklo linijų jungiami generatoriai, kurių galingumo ribą užduotų vartotojų, prijungtų prie tos linijos galingumas. Generatoriaus galingumas būtų trečdalis arba kiek mažiau už žeminančiojo transformatoriaus, kuris maitina vartotojus, galingumą. Prie 10 kV linijų jungiamų generatorių lygi užduoda transformatoriai: kaimo vietovėse iki 1 MW, o miesto ribose iki 3 MW. Taip pat prie mažųjų generatorių priskiriami ir tie generatoriai, kurie jungiami prie 35 – 110 kV linijų. Tai būtų iki 10 MW galingumo generatoriai 35 kV tinklui ir iki 20 MW 110 kV tinklui. Šiam darbo tyrimui pasirinkau vėjo elektrinę, kuri jungiama prie 10 kV skirstomojo tinklo.

Pasirinktos vėjo elektrinės techniniai duomenys pateikti 2.1, 2.2 lentelėse

2.1 lentelė

Vėjo elektrinės techniniai duomenys

Vėjo elektrinės gamintojas ir gaminio pavadinimas	Enercon GmbH
Vėjo elektrinės tipas (gulsčiosios ar stačiosios ašies)	E-40/6.44/E2
Sparnų tipas:	
Menčių skaičius	3
Menčių pokrypio valdymas	Yra
Greičio netekimo aktyvusis valdymas	Nėra
Greičio netekimo pasyvusis valdymas	Nėra
Sukimosi greičio valdymo tipas	
Pastovaus greičio	
Dviejų greičių	
Kintamo greičio	Kintamo greičio
Veleno ašies aukštis, m	77,9
Vėjaračio skersmuo, m	43,3
Generatoriaus tipas ir vardiniai įprastinės veiklos ir pereinamojo vyksmo parametrai (santykinės generatoriaus varžos)	Sinchroninis, žiedinis Dalyvavimas trumpajame jungime 0,8 kA (400 V)

2.1 lentelės tęsinys kitame lape

2.1 lentelės tęsinys

Generatoriaus vardinis galingumas, kW	600
Keitiklio tipas, paskirtis ir prijungimo schema	ENERCON
Keitiklio vardinė galia, kW, bei santykinės keitiklio varžos	2 x 300
Transformatoriaus tipas ir vardinė galia, kVA, bei santykinės transformatoriaus varžos	Dyn 5 700 kVA 10/0,4 kV + 2 x 4%
Vidutinis metinis vėjo greitis statybos vietoje, v_a , m/s	6,5
Vardinis elektrinės veiklos vėjo greitis v_n , m/s	12,5
(Generavimo pradžios) paleistos vėjo greitis, m/s	2,5
(Priverstinio) stabdymo vėjo greitis, m/s	25
Atlaikymo riba, m/s	52,5

2.2 lentelė

Vardiniai vėjo elektrinės duomenys

Vardinis aktyvusis galingumas, P_n , kW	600 kW
Vardinis pilnutinis galingumas, S_n	600 kVA
Vardinis reaktyvusis galingumas, Q_n	22,5 kvar
Vardinė įtampa, U_n	400 V
Vardinė srovė, I_n	866 A
Transformatoriaus transformavimo koeficientas, kV / kV	10/0,4 kV + 2x4

3. Mažųjų generatorių įtaka elektros tinklui

Didėjant vėjo elektrinių kiekiui, tenka labai gerai įvertinti vėjo elektrinių įtaką sistemos aktyviojo galingumo balansavimui, dažnio valdymui ir kitiems svarbiems sistemos režimų parametrams:

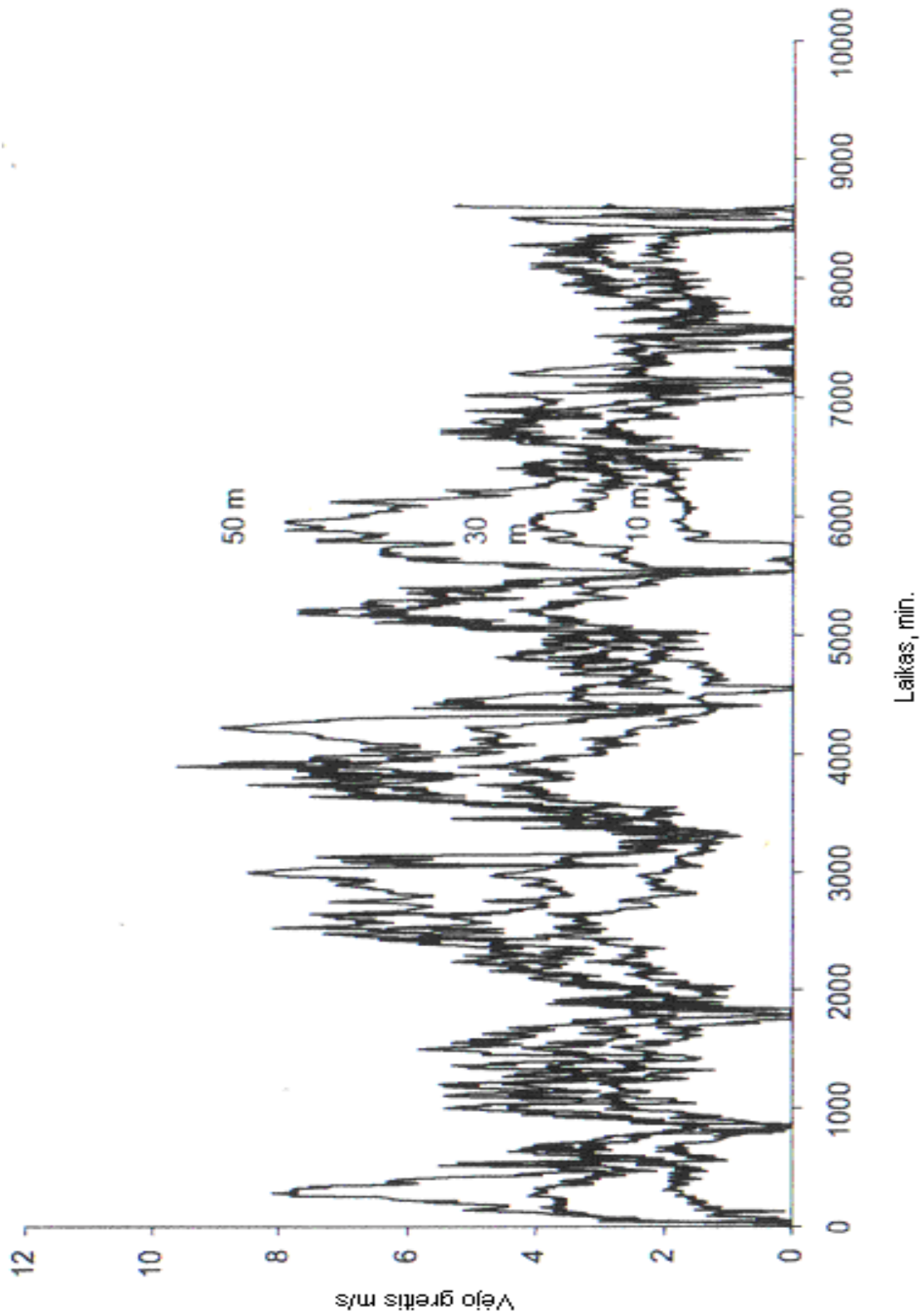
1. reaktyviojo galingumo reguliavimui;
2. įtampos reguliavimui;
3. elektros kokybei.

Vėjo elektrinės pajungimas į tinklą, kitaip negu šiluminių, vandens ir atominių, sukelia kai kuriuos papildomus tinklo darbo nestabilumus, kurie priklauso nuo vėjo parametrų kitimo. Pagal vėjo greičio matavimo duomenų oscilogramas (3.1 paveikslas) matyti dideli vėjo pokyčiai per tam tikrą laiką. Be chaotiškai besikeičiančios vėjo greičio amplitudės, taip pat keičiasi ir vėjo kryptis (3.2 paveikslas). Buvo atlikti tyrimai ir vėjo greičio amplitudė, išmatuota 10, 30 ir 50 m. aukščiuose, kinta nuo 0 iki 10 m/s ir išsluoksniuoja pagal aukščius. Leistinas apkrovimas šiuo atveju gali būti ribojamas tik terminiais tinklo pralaidumo parametrais, bet ir įtampos kokybės parametrais.

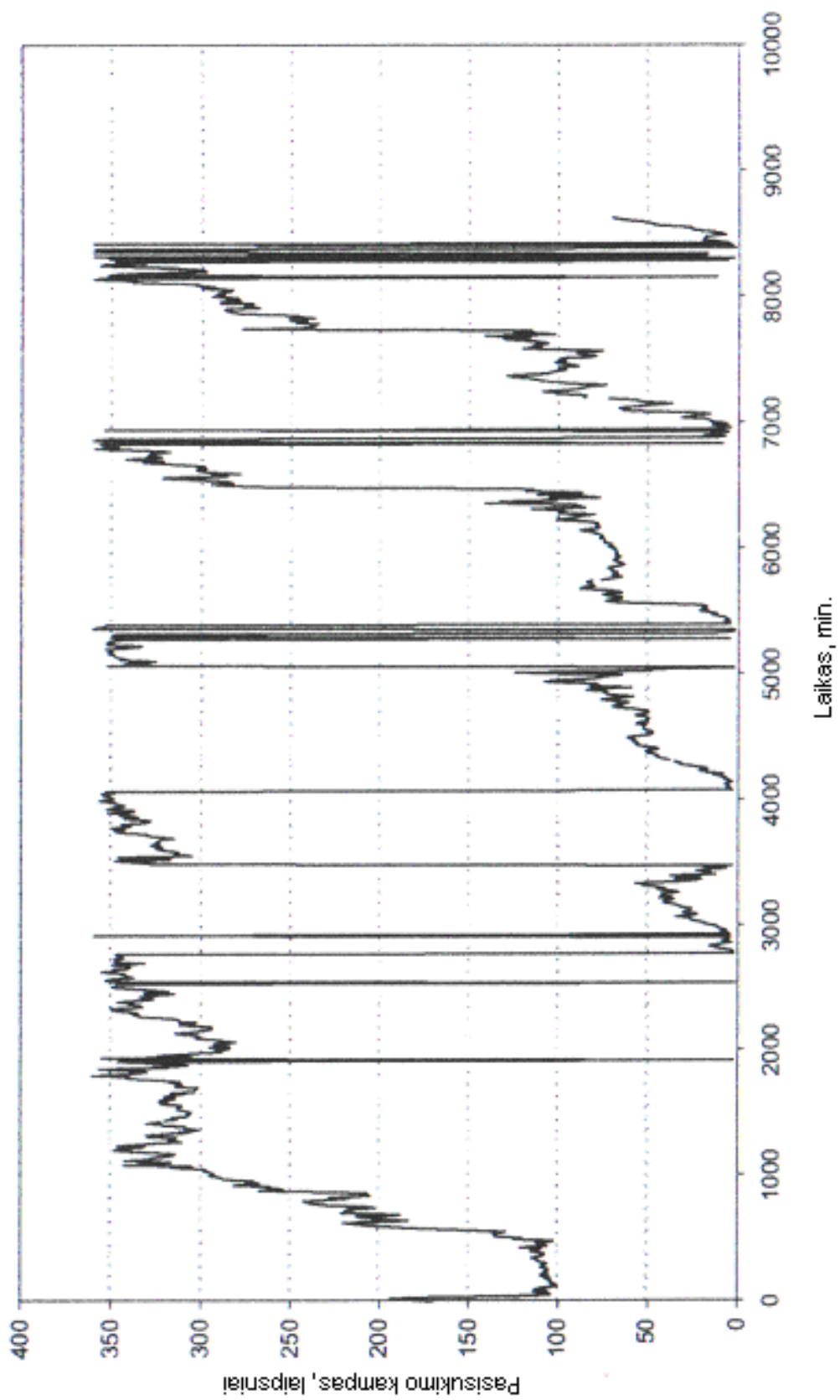
Juntos įtampos vartotojui turi du elektros kokybės parametrai:

1. dažni įtampos šuoliai;
2. tiekiamos į tinklą elektros srovės aukštesnių harmonikų lygis.

Įtampos kitimo ir mirgėjimo dydis priklauso nuo tinklo parametrų, o jam sumažinti reikia brangesnių įrenginių. Harmonikų, kurias sukelia vėjo elektrinė naudojami elektroniniai keitikliai, lygio sumažinimas yra palyginti nesunkiai sprendžiamas, panaudojant harmonikų filtrus.



3.1 pav. Vėjo greičio amplitudė 10, 30 ir 50 m. aukščiuose



3.2 pav. Vėjo krypties kitimas

4. Mažųjų generatorių prijungimo prie elektros tinklų reikalavimai

Norint prie elektros sistemos prijungti mažuosius generatorius, reikia išpildyti šiuos reikalavimus. Pirmasis reikalavimo išpildymas būtų tai, kad turi atitikti elektros įrenginių įrengimo taisykles, kurios yra:

- 1) užtikrinti temperatūrinį stabilumą;
- 2) numatyti atsaką, esant neįprastinei įtampai;
- 3) numatyti atsaką, esant neįprastiniam dažniui;
- 4) rasti sinchronizavimo būdą ir parinkti priemones;
- 5) numatyti apsaugą nuo elektromagnetinių poveikių;
- 6) numatyti apsaugą nuo elektros krūvių ir žaibų;
- 7) suderinti lygiagrečiai veikiančių įtaisų darbus;
- 8) numatyti atsparumą arba apsaugą nuo nuolatinės srovės tekėjimo;
- 9) apskaičiuoti ir numatyti veiksmus netikėto atsiskyrimo į vietinį mikrotinklą atveju;
- 10) apskaičiuoti ir numatyti veiksmus galios apgražos atveju;
- 11) apskaičiuoti ir numatyti veiksmus, nutrūkus vienos fazės ar neutralės grandinei;
- 12) apskaičiuoti ir numatyti perjungimo po trikdžių veiksmus ir priemones;
- 13) filtruoti harmonikas.

Antrasis reikalavimas turi būti tai, jog turi atitikti vietinių tinklų įmonės operatoriaus reikalavimus, kurie yra:

- 1) įtampos reguliavimas;
- 2) numatyti stebėjimo priemones;
- 3) suderinti generatoriaus ir elektros tinklo apsaugų atjungimo sroves ir laikus;
- 4) įžeminimo ir vietinio tinklo įžeminimo sistemų suderinimas;
- 5) numatyti garantuoto atskyrimo ir izoliavimo nuo tinklo priemones;
- 6) apskaičiuoti ir numatyti įtampos pokyčių ir mirgėjimo slopinimo priemones.

Trečiasis reikalavimas turi būti toks, jog turi derintis su elektros sistemos priežiūros inspekcijos tai yra (pardavimo elektros tinklo operatoriaus) reikalavimais, kurie yra:

- 1) numatyti ir įrengti sistemos operatoriui įrenginio (>1 MW) stebėjimo priemones;
- 2) įrengti ir atlikti elektros pardavimo ir pirkimo matavimo priemonių reikalavimus;
- 3) numatyti operatoriaus komandų įvykdymo ir registravimo priemones.

Visos šios prijungimo priemonės ir reikalavimai taikomi visiems prie elektros tinklų prijungiamiems generatoriams, tačiau techninės prijungimo taško sąlygos ir paties generatoriaus

savybės skiriasi, todėl taikomų priemonių apimtis ir techniniai atitikimo būdai dar turi atsižvelgti į prijungiamo generatoriaus galią.

4.1 lentelė

Mažųjų generavimo šaltinių panaudojimo reikalavimai

		Reikalavimas	
		Esamas poveikis	Planuojamas poveikis
Vartotojo reikalavimai	Sauga	Galingumo rezervavimas	
	Kokybė	Apsauga nuo momentinių įtampos kryžių	Aukšta elektros kokybė
	Kaina	Vartotojui priimtinas lygis	
Elektros tinklo operatoriaus Reikalavimai	Kokybė	Vartotojui priimtinas lygis Įtampos palaikymas silpnuose tinkluose	
	Kaina		Rezervinio galingumo balanso poreikis ir tiekimas Sistemos stiprinimo kainos mažinimas
Kiti		Energijos resursų įvairinimas Poveikio aplinkai silpninimas Nepriklausomi nuo kuro tiekėjų galios šaltiniai	

Keliamieji reikalavimai kartu yra ir paskirstytojo generavimo, ypač naudojant atsinaujinančiuosius energijos šaltinius plėtros kriterijai.

Kitas kriterijus yra bandymų procedūrų trūkumas. Nėra labai jau tiksliai suprantama kaip įrengti mažuosius generatorius, kad būtų ir pigu, ir pakankamai patikima.

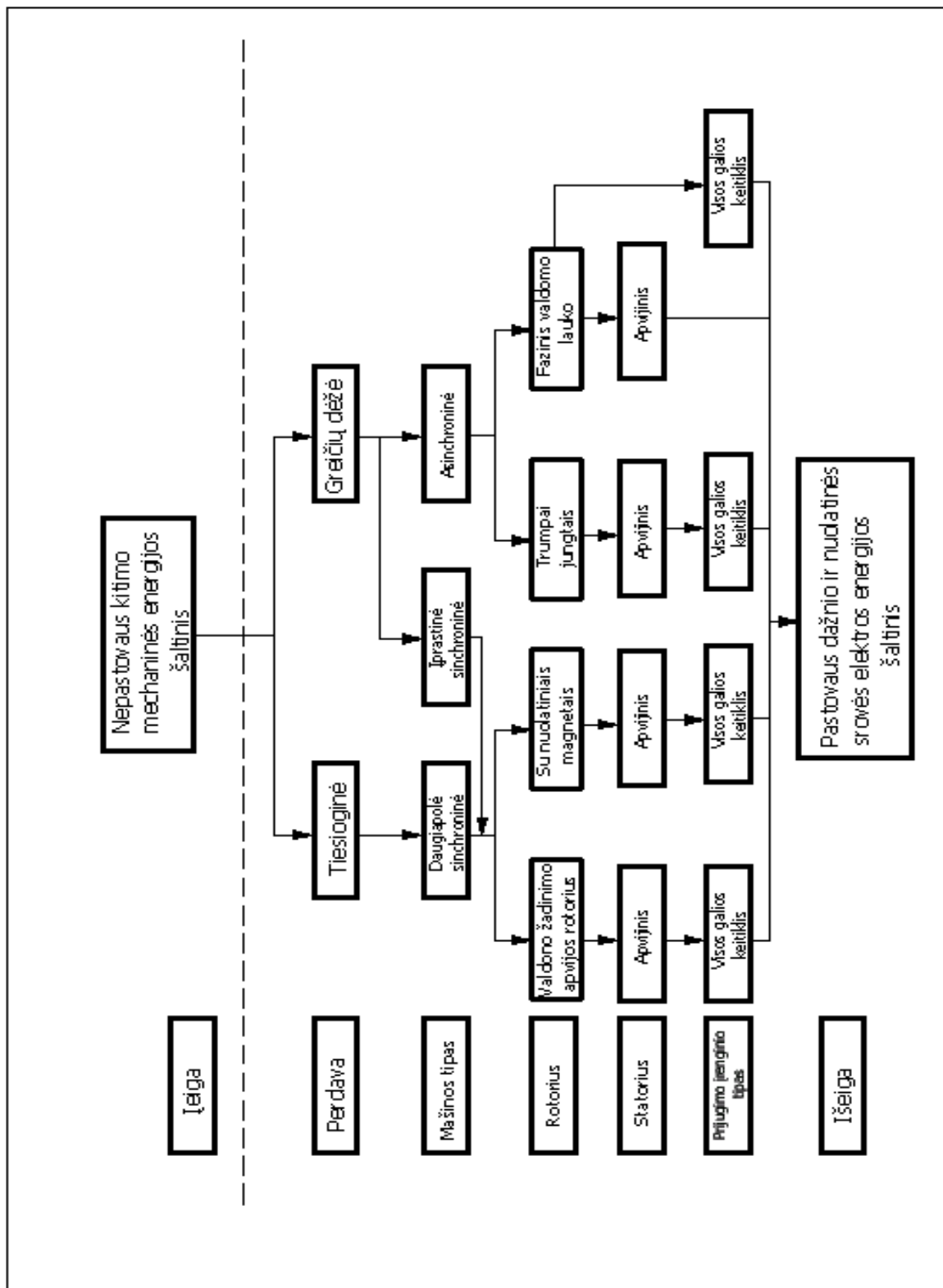
Elektros sistemos reikalavimai mažiesiems generatoriams keliami, kadangi nuolat reikia malšinti jų sukeltus padarinius.

Skirstomieji tinklai buvo sukonstruoti ir išstobulinti elektros tiekimui viena kryptimi – iš didžiųjų elektros stočių, per perdavimo tinklus į skirstomuosius ir į vartotojų įvadus. Didžiulis visuomenės skatinimas plačiau naudoti atsinaujinančiuosius šaltinius ir kitus mažuosius generatorius, elektros

rinkos susidarymas ir palankios elektros supirkimo kainos labai padidino vartotojų, turinčių rezervinius generatorius, norą juos pradėti eksploatuoti lygiagrečiai su elektros sistemos generatoriais. Galima išskirti šias bendro darbo priežastis: perdavimo ir skirstomojo tinklo apkrovos mažinimas, priešinimasis aukštoms elektros pirkimo kainoms, kartu naudoti pačių pasigamintą šilumą ir elektrą, patikimumo gerinimas, siekis dalyvauti elektros rinkoje ir pardavinėti papildomas paslaugas.

5. Vėjo elektrinių klasifikacija

Vėjo elektrinių būna įvairių klasifikacijų. 5.1 paveiksle pateiksiu kokių būna vėjo elektrinių klasifikacijų. Tyrimui pasirinkta vėjo elektrinė turinti sinchroninį ENERCON žiedinį generatorių.



5.1 pav. Vėjo elektrinių klasifikacijos būdai

6. Vėjo elektrinės prijungimo prie skirstomųjų elektros tinklų schema

Mažųjų generatorių pajungimas į elektros tinklą yra labai sudėtingas veiksnys. Labai svarbus ir galima sakyti pagrindinis uždavinys yra užtikrinti apsaugą nuo elektros traumos. Visi mažieji generatoriai turi turėti aiškiai matomą nuo likusios elektros tinklo dalies izoliuojantį skyriklį arba jungtuvą. Šie izoliuojantieji skyrikliai naudojami generatorius remontuojant, prižiūrint elektros linijas, kad būtų užtikrintas saugus remontuojančio personalo darbas. Energetikos inspekcijos darbuotojai, tikrindami ar gerai įrengtas mažasis generatorius, pirmiausia tikrina ar gerai įrengtas izoliuojantysis skyriklis (jungtuvas) ir ar sklandžiai jis atsijungia, nes vartojamas labai retai. Šis tikrinimas kartais būna pateikiamas kaip papildomas saugos reikalavimas.

Kitas labai svarbus reikalavimas prijungime tai kad turi būti skiriamasis transformatorius, kuris taikomas dėl generatoriaus išėjimo ir elektros tinklo vardinės įtampos skirtumų. Dauguma mažo galingumo šaltiniai gali būti jungiami į žemos įtampos tinklą tiesiai, kadangi įtampos sutampa.

Lietuvoje visi mažieji generatoriai yra trifaziai, dažniausiai jungiami į 10 kV tinklą, todėl įtampą aukštinantysis transformatorius kartu yra ir skiriamasis. Tiesiogiai prie žemosios įtampos jungiamų generatorių atveju žemoji įtampa - žemoji įtampa skiriamasis transformatorius taip pat turėtų būti naudojamas, nes tada įmanoma lanksčiai taikyti skirtingus neutralės režimus: elektros tinkle tradiciškai įžemintą neutralę, o generatoriaus grandinę – sujungtą trikampiui ir neįžemintą visai be neutralės taško. Tokie generatoriai nebijo atsitiktinių įžemėjimų, yra patogesni įrengti apsaugoms ir dažniausiai yra pigesni lyginant su kitais generatoriais.

Kitas reikalavimas yra viršįtampių įtaisų apsaugos įrengimas. Šis reikalavimas taikomas jei mažieji generatoriai yra jungiami prie oro linijos arba oro linija yra šalia. Viršįtampių ribotuvai saugo nuo:

- 1) viršįtampių;
- 2) oro linijomis sklindančių žaibo viršįtampių;

Ribotuvų įrengimas ir jų veikimo tikrinimas turi būti atliekamas pagal galiojančias elektros įranginių įrengimo taisykles ir galiojančius Lietuvos standartus.

Eksploatuojant mažuosius generatorius yra tikrinami prijungimo linijos parametrai, apsaugų suderinamumas, įžeminimo schemų atitikimas proketuotoms, viršįtampių ribotuvo veikos zona.

Daug elektros bendrovių reikalauja atlikti jau veikiančio ir prie elektros tinklo prijungto generatoriaus parametrų ir išėjimo dydžių matavimus. Dalis matavimų turi būti atliekami nuolat: generatoriaus pagamintas aktyviosios ir pagamintas ar suvartotas reaktyviosios energijos kiekiai ir išėjimo arba prijungimo taško įtampa, o nuo tam tikro galingumo generatoriams dar išėjimo

galingumas (P ir Q). Taip pat reikalaujama matuoti, nesimetrijos lygį, įtampos fluktuacijos, sukeliančios apšvietos mirgėjimą, aštrumo rodiklius. Kartais dar papildomai reikalaujama epizodiškai tikrinti apsaugos priemonių suderinamumą, o energetikos priežiūros organizacijos turi visą laiką registruoti generatoriaus, kaip prie elektros tinklų prijungto elektros įrenginio, visus priežiūros ir remontų darbus.

Mažasis sinchroninis generatorius negali būti įjungiamas į tinklą, jei netenkina šių sąlygų:

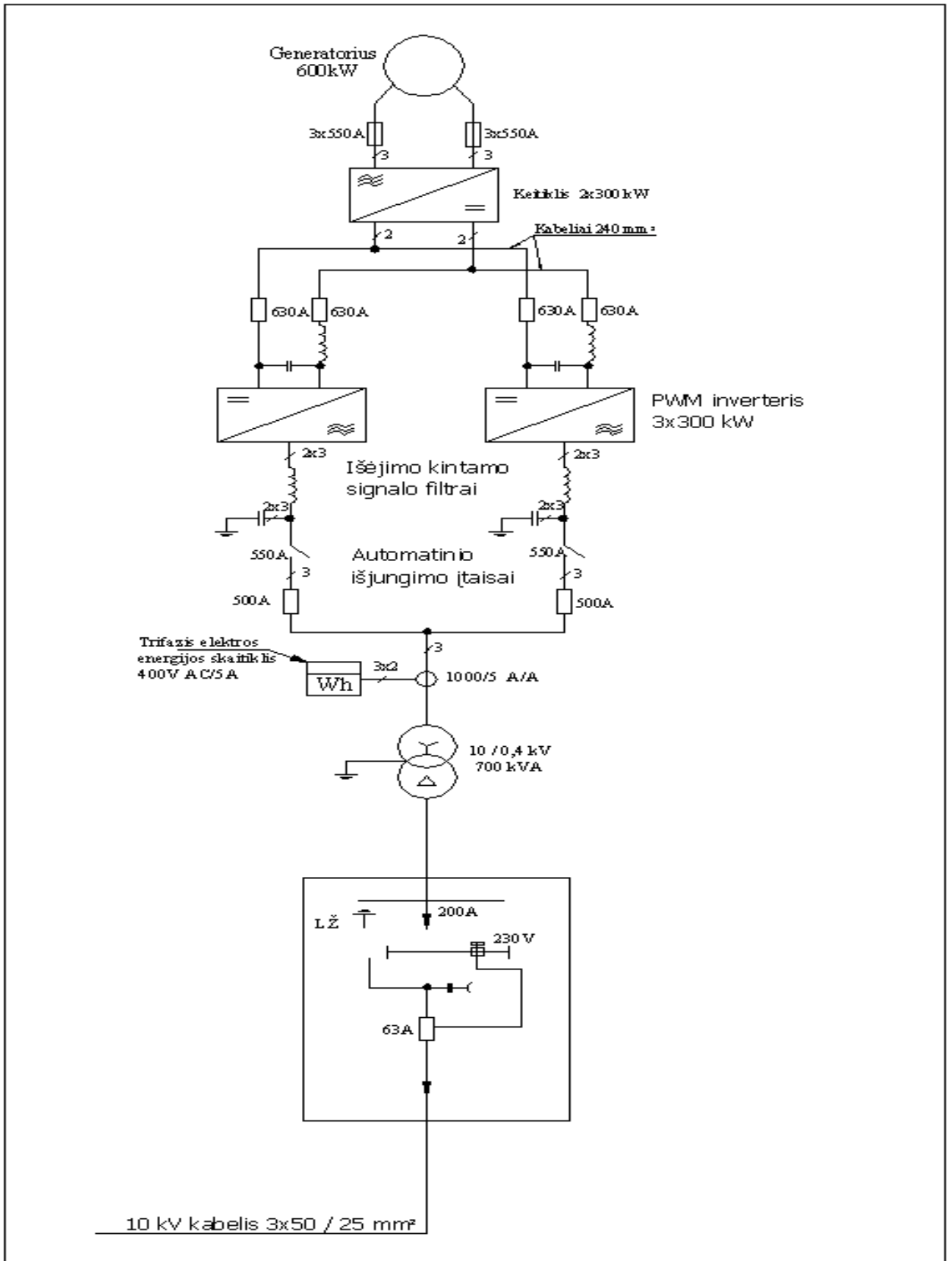
$$\Delta U < 10 \% ; \Delta f < 0,5 \text{ Hz}; \Delta \varphi < 10^\circ$$

Įjungimo kampo nesutapimas, jei tai yra nurodytas pačio generatoriaus gamintojo, gali būti didesnė ar net bet kokia.

Darbo tyrimui pasirinktoji vėjo elektrinė, kuri į tinklą yra jungiama per elektroninius energijos keitiklius tai jiems ši sąlyga ypač tinka. Šiuo metu yra gaminami keitikliai turintys atvirkštiniais ryšiais paremtą valdymą ir elektros tinklo darbui nedaro jokios įtakos, arba ši įtaka yra labai jau maža. Įprasta, kad generatorių keitikliai yra pritaikyti generuoti tokio dažnio ir įtampos elektros energiją, kokia yra prijungimo taške buvo išmatuota. Atsiradus išoriniam trumpajam jungimui, tokie keitikliai užsidaro ir vėl pradeda veikti tik trumpajam jungimui pasibaigus.

Be trikdžių elektros tinklui mažinimo, tolydiniai elektroniniai galingumo keitikliai taip pat efektyviai slopina generuojamo galingumo kitimus ir, skaičiuodami bei optimaliai valdydami pokyčio delną, iki minimumo sumažina elektros mirgėjimo aštrumą.

Tyrimui pasirinkta vėjo elektrinės prijungimo schema pavaizduota 6.1 paveiksle.

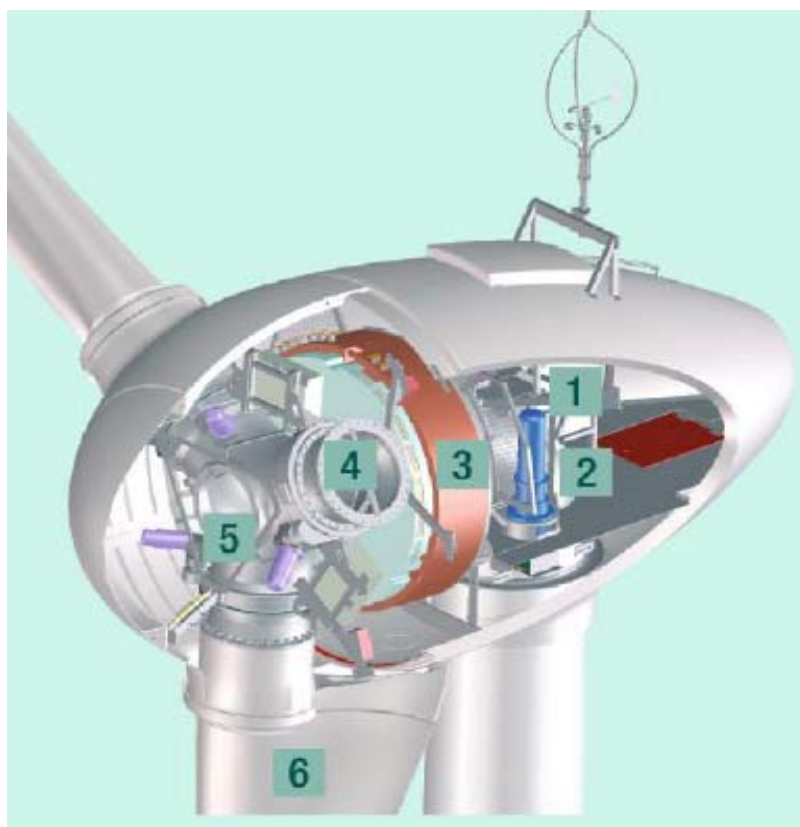


6.1 pav. Vėjo elektrinės prijungimo schema

7. Vėjo elektrinės sudedamosios dalys

Šioje mūsų tyrinėjamoje vėjo elektrinėje naudojamas sinchroninis generatorius pagal schemą: nepastovaus dažnio srovė - nuolatinė srovė – pastovaus dažnio srovė arba mechaniniai, elektroninės aparatūros valdomi įrenginiai, kuriais gaunamas pastovus generatoriaus sukimosi greitis ir pastovus kintamos srovės dažnis.

Tam tikslui keičiamas vėjaračio sparnų pasisukimo kampas - padidėjus vėjo greičiui vėjaratis stabdomas, o sumažėjus - greitinamas. Įvairūs mechaniniai ir aerodinaminiai stabdymo įrenginiai laiduoja pastovų vėjo elektrinės rotoriaus sukimąsi. Kad būtų išvengta gedimo viesulo atveju, vėjo elektrinė turi automatinio stabdymo mechanizmus. Techninio aptarnavimo darbams atlikti įrengiama viena ar keletas stabdymo sistemų. Be to, elektrinė gali pasisukti į šoną prisiderindama prie vėjo krypties. Tyrimui pasirinktos vėjo elektrinės viršutinės dalies vaizdas pavaizduotas 7.1 paveiksle.



1. Pagrindinis laikiklis;
2. Nukrypimų variklis;
3. Žiedinis generatorius;
4. Jungiklis;
5. Rotoriaus stebulė;
6. Rotoriaus mentys.

7.1 pav. Vėjo elektrinės viršutinės dalies vaizdas

Elektrinės teikia energiją į elektros tinklą. O elektros energija iš tinklo yra naudojama elektrinėms paleisti, valdyti bei eksploatuoti. Be to, iš tinklo imama sužadavimo srovė, sinchronizuojanti elektrinės generatoriaus fazes, dėl to elektrinė negali dirbti, jeigu neveikia tinklas. Tinkle dirbančios vėjo elektrinės statomas gerų vėjo energijos išteklių vietovėse, kuriose elektros gamyba yra pelninga, pvz., komerciniuose vėjo energetikos ūkiuose.

7.1 paveiksle pavaizduotos vėjo elektrinės viršutinė dalis. Šios tyrinėjamos vėjo elektrinės stebulė yra nelanksti, generatorius yra tiesiogiai varomas sinchroninis ENERCON gamybos žiedinis generatorius. Rotoriaus mentys yra pagamintos iš stiklo pluošto sustiprinto plastiko. Jie pasižymi šiomis savybėmis:

1. Ilgu tarnavimo laiku;

2. Žemu ūžesio skleidimu;
3. Mažu apkrovimu;
4. Mažu medžiagų suvartojimu.

Taip pat rotorius mentys yra patentuotas produktas gaminamas presavimo būdu. Kiekvienas sparnas gaminamas atskirai, po to suklijuojamas po 2 – 3 pagal poreikį. Šiuo atveju tyrinėjamos vėjo elektrinės menčių skaičius yra 3. Sparno kraštas padengiamas specialia antikorozine medžiaga, nudažomas. Elektrinės posūkio sparnas naudojamas ne tik generatoriaus orientavimui į vėjo kryptį. Originali sparno konstrukcija veikia kaip elektrinės apsauga nuo per didelio (uraganinio) vėjo. Esant darbiniam vėjo srautui, posūkio sparnas yra lygiagretus generatoriaus ašiai, o kai vėjo srautas per didelis, posūkio sparnas pasuka generatoriaus ašį atitinkamu kampu nuo vėjo srauto krypties, taip apsaugodamas generatorių nuo perkrovos.

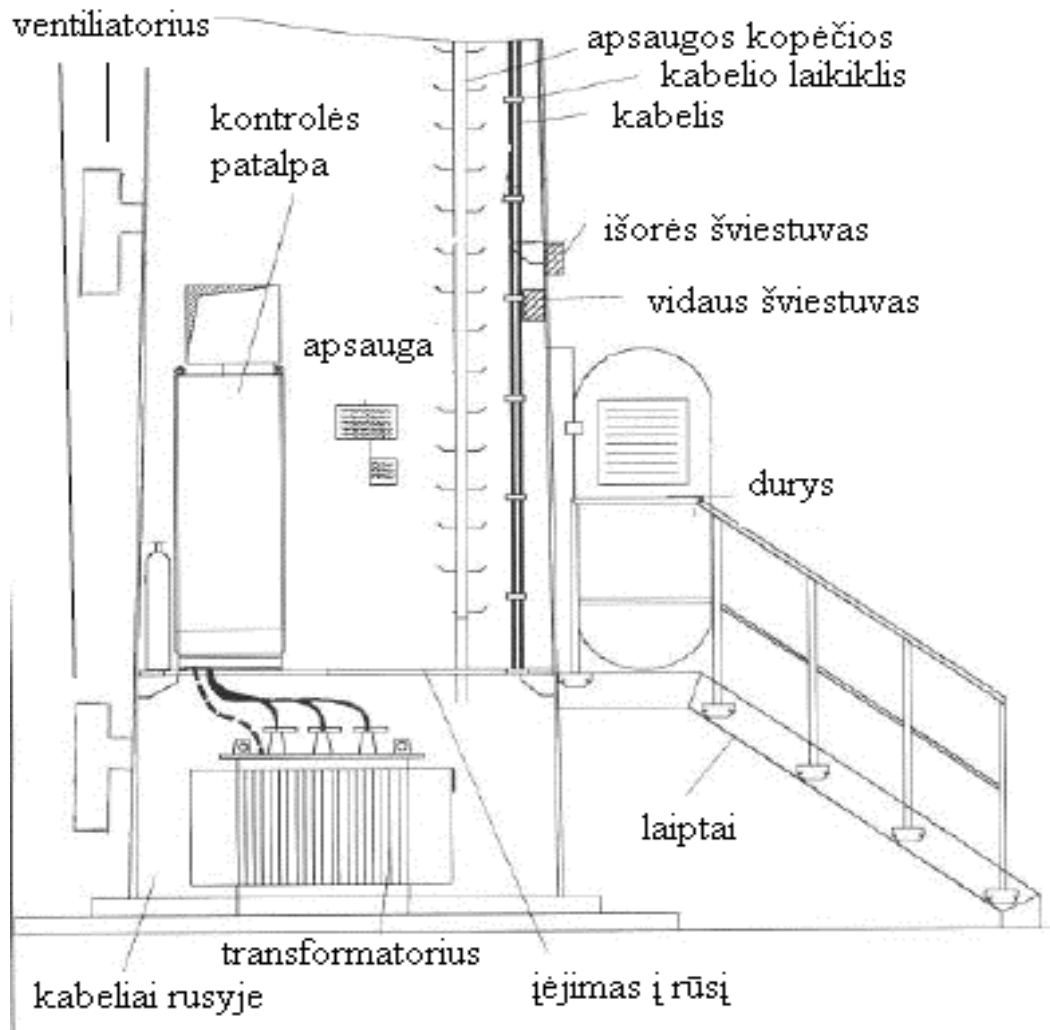
Rotoriaus mentys, o ypač šios tyrinėjamos vėjo elektrinės E-40 yra skirti operacijoms su skirtingais pasisukimais ir skirtingais greičiais.

Generatorius kaip minėjau yra:

1. Žiedinis;
2. Tiesiogiai sujungtas su rotoriumi;
3. Daugiapolis;
4. Sinchroninis.

Generatoriaus vardinis galingumas 600 kW.

Vėjo elektrinės apatinės dalies vaizdas pavaizduotas 7.2 paveiksle.



7.2 pav. Vėjo elektrinės apatinės dalies vaizdas

Nagrinėjamoje vėjo elektrinėje naudojamas Dyn 5 tipo transformatorius, kurio vardinis galingumas 700 kVA.

8. Nusistovėjusio režimo įtampa

Įtampos kitimo problema yra viena iš svarbiausių, susijusių su energijos generavimu. Lietuvoje iki 2009 metų nusistovėjusio režimo įtampa gali kisti nuo -10 iki +6 %, vėlesniais metais sutaps su Europoje standartiniais nuokrypiais $\pm 10\%$. Tačiau greitas net ir 0,3 % vertės mažumo įtampos kitimas mažo pralaidumo tinkluose yra nemalonus. Tokie įtampos kitimai dažnai pasitaiko kaimo vietovėse, kuriose yra geriausios sąlygos mažųjų generatorių elektrinėms. Nusistovėjusios režimo įtampa gali būti ribojantis veiksnys, nusakantis didžiausią prijungiamų mažųjų generatorių elektrinių kiekį konkrečioje teritorijoje.

Nusistovėjusios režimo įtampos reikalavimai kai kuriose ES elektros sistemose

Įtampa	EN 50160	Lietuva	Vokietija	Danija	Ispanija	Nyderlandai
Maks. Δu_{lt} ŽĮ	±10%	±10%	3%	-	-	-
Maks. Δu_{lt} VĮ	±10%	±10%	2%	1% (5%)	5% (2%)	-
Maks. Δu_{lt} AĮ	-	-	-	-	5%	-
Maks. U_{lt} ŽĮ	110%	106%	106%	106%	-	106%
Maks. U_{lt} VĮ	110%	110%	-	-	-	105%
Maks. U_{lt} AĮ	-	-	-	-	-	110%
Min. U_{lt} ŽĮ	90%	90%	90%	90%	-	90%
Min. U_{lt} VĮ	90%	90%	-	-	-	95%
Min. U_{lt} AĮ	-	-	-	-	-	90%

Standartinė vardinė žemoji įtampa U_n yra:

- keturlaidėje trijų fazių sistemoje $U_n=230$ V tarp fazės ir neutralės,
- trilaidėje trijų fazių sistemoje $U_n= 230$ V tarp fazių.

Vidutinės tiekiamosios įtampos vertę apsprendžia sutartinė tiekiamoji įtampa U_c .

Įprastinėmis veikos, išskyrus pažaidų ar įtampos pertrūkių būsenas, sąlygomis:

- kiekvienos savaitės visų 10 min. trukmės intervalų tiekiamosios įtampos vidutinių kvadratinių verčių 95 % vidurkių atvejai turi būti $U_n \pm 10$ % srities ribose;
- visi 10 min. trukmės intervalų tiekiamosios įtampos vidutinių kvadratinių verčių vidurkiai turi būti $U_n +10$ %/-10 % srities ribose;
- vidutinės tiekiamosios įtampos įprastinėmis veikimo sąlygomis, neatsižvelgiant į įtampos pertrūkius, kiekvienos savaitės visų 10 min trukmės intervalų tiekiamosios įtampos vidutinių kvadratinių verčių 95 % vidurkių turi būti $U_c \pm 10$ % ribose.

Šie įtampos matavimo nurodymai reikalauja įtampą matuoti tam tikrais elektros kokybės matavimo prietaisais, kuriuos dabar įprasta vadinti elektros tinklo kokybės arba tiesiog elektros tinklo analizatoriais.

Prijungiant vėjo elektrinę prie skirstomojo elektros tinklo pakanka apskaičiuoti dviejų ribinių būklių – didžiausio generavimo bei mažiausios vietinių vartotojų apkrovos režimą ir mažiausio generavimo kai vėjo elektrinė atjungta, bei didžiausios vartotojų apkrovos režimą ir rasti įtampos kitimo ribas vėjo elektrinės prijungimo taške. Yra viena sąlyga, jog prijungimo įtampa neturi viršyti skirstomojo tinklo operatoriaus nurodytų ribų.

Atsižvelgdami į apkrovų ir generuojamų galingumų srautus vėjo elektrinės galingumą išreiškiu vardinėmis P_n ir Q_n didžiausiomis leistinomis $P_{\max \text{leistina}}$ ir $Q_{\max \text{leistina}}$, 60 sekundžių vidurkio P_{60} ir Q_{60} arba 0,2 sekundės intervalo vidurkio $P_{0,2}$ ir $Q_{0,2}$ galiomis.

Turėdami vėjo elektrinės generatoriaus galingumą apskaičiuojame didžiausią leistiną aktyviojo galingumo santykį $p_{\max leistina}$

$$p_{\max leistina} = \frac{P_{\max leistina}}{P_n} = \frac{600}{600} = 1 \quad (8.1)$$

$p_{\max leistina}$ - didžiausios leistinos ir vardinio galingumo santykis;

$P_{\max leist}$ - didžiausias leistinas galingumas;

P_n - didžiausias vardinis galingumas.

Atlikdami tyrimą išmatuojame 60 sekundžių trukmės didžiausią vidutinį galingumą, kuris yra $P_{60} = 596,3$ kW. Turėdami šią reikšmę galime apskaičiuoti didžiausią 60 sekundžių intervalo vidutinio ir vardinio galingumo santykį, kuris apskaičiuojamas pagal 8.2 formulę.

$$p_{60} = \frac{P_{60}}{P_n} \quad (8.2)$$

p_{60} - didžiausios išmatuotos 60 sekundžių intervalo vidutinio ir vardinio galingumų santykis;

P_{60} - didžiausias išmatuotas 60 sekundžių intervalo vidutinis galingumas;

P_n - didžiausias vardinis galingumas.

$$p_{60} = \frac{596,3}{600} = 0,99 \quad (8.3)$$

Atlikdami analogišką pakartotinį tyrimą, tačiau šį kartą matuojame didžiausią 0,2 sekundės intervalo vidutinį galingumą. Gauname, jog didžiausias 0,2 sekundės intervalo vidutinis galingumas $P_{0,2} = 670,3$ kW. Taip pat turėdami šiuos tyrimų rezultatus apskaičiuojame didžiausią 0,2 sekundės intervalo vidutinio ir vardinio galingumo santykį $p_{0,2}$, kuris apskaičiuojamas pagal 8.4 formulę.

$$p_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{P_n} \quad (8.4)$$

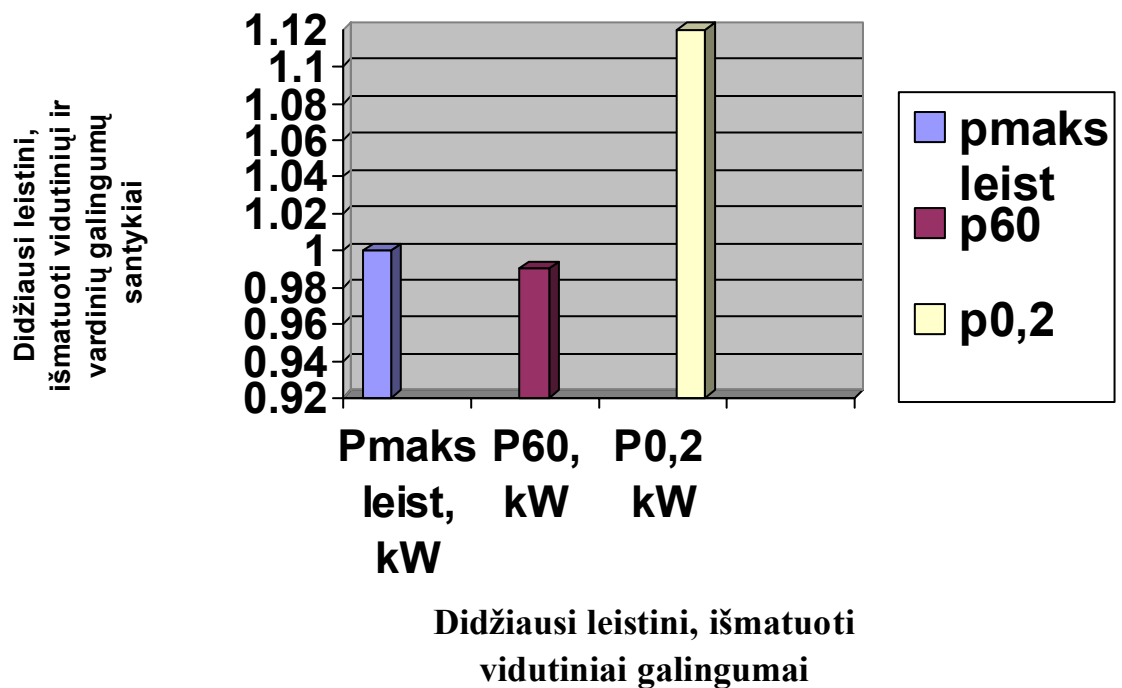
$p_{0,2}$ - didžiausios išmatuotos 0,2 sekundžių intervalo vidutinio ir vardinio galingumų santykis;

$P_{0,2}$ - didžiausias išmatuotas 0,2 sekundžių intervalo vidutinis galingumas;

P_n - didžiausias vardinis galingumas.

$$p_{0,2} = \frac{670,3}{600} = 1,12 \quad (8.5)$$

Gautus rezultatus pavaizduojame grafiškai 8.1 paveikslas.



8.1 pav. Didžiausių leistinų ir išmatuotų vidutinių ir vardinių galingumų santykiai

Vėjo elektrinė prijungta prie perdavimo tinklo, prijungimo taške nusistovėjusios režimo įtampa turi atitikti perdavimo tinklo operatoriaus nurodytas vertes ir šiuos reikalavimus:

1. Iš visų per 24 valandas atliktų įtampos matavimų, kurie atliekami ne mažiau kaip 18 kartų per minutę įprastinis įtampos pokytis 95 % atvejų turi būti $\pm 5\%$ vardinės įtampos;
2. didžiausias leistinasis įtampos pokytis turi būti ir kuris taip pat matuojamas 18 kartų per minutę $\pm 10\%$ vardinės įtampos vertės.

Iš gautų tyrimo rezultatų galime apskaičiuoti aktyviąją galią kintant generuojamam galingumui, kuri išreiškiame procentais nuo P_n . Skaičiavimui naudoju vidutinį procentų reikšmę pavyzdžiui 0 – 10

skaičiavimuose naudoju 5%, 10 – 20 imu 15% ir taip atlieku kitus skaičiavimus, kurių rezultatus pateikiu 8.2 lentelėje.

8.2 lentelė

Aktyviojo galingumo kitimo grafiko bandymo rezultatai

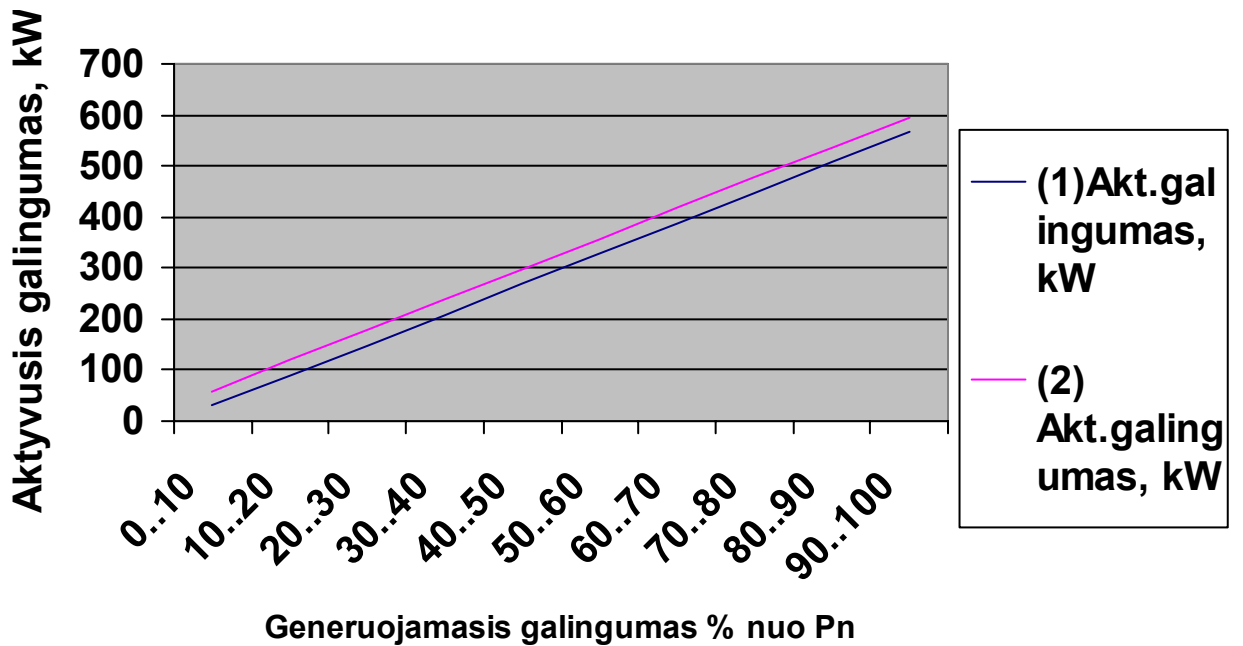
$P_{\max leistina}$ [kW]	600	P_{60} [kW]	596,3
$P_{\max leist}$	1,00	p_{60}	0,99
Generuojamas galingumas % nuo P_n		Aktyvusis galingumas, kW	
0 – 10		29,8	
10 – 20		89,4	
20 – 30		149,1	
30 – 40		208,7	
40 – 50		268,3	
50 – 60		327,9	
60 – 70		387,6	
70 – 80		447,2	
80 – 90		506,8	
90 – 100		566,5	

Kaip palyginimą apskaičiuoju aktyvųjį galingumą kintant generuojamam galingumui tik šį kartą skaičiavimui naudoju maksimalią reikšmę pavyzdžiui 0 – 10 % tai naudoju 10 %, 20 % ir t.t.

Aktyviojo galingumo kitimo grafiko bandymo rezultatai

$P_{\max leistina}$ [kW]	600	P_{60} [kW]	596,3
$P_{\max leist}$	1,00	p_{60}	0,99
Generuojamas galingumas % nuo P_n		Aktyvusis galingumas, kW	
0 – 10		59,6	
10 – 20		119,3	
20 – 30		178,9	
30 – 40		238,5	
40 – 50		298,2	
50 – 60		357,8	
60 – 70		417,4	
70 – 80		477,0	
80 – 90		536,7	
90 – 100		596,3	

Gautus rezultatus pavaizduojame grafiškai. Grafinis aktyviojo galingumo kitimo priklausomybė nuo generuojamo galingumo pavaizduota 8.2 paveiksle.



8.2 pav. Aktyviojo galingumo kitimas

8.2 paveiksle (1) pavaizduotas aktyvusis galingumas, kuris buvo skaičiuojamas naudojant vidutinę generuojamo galingumo reikšmę, o (2) pavaizduotas aktyviojo galingumo kitimas, kuris buvo skaičiuojamas naudojant maksimalią generuojamo galingumo reikšmę.

8.4 lentelėje pateikiu reaktyviojo galingumo generavimo ir vartojimo bandymo duomenis, esant didžiausiems aktyviesiems galingumams.

8.4 lentelė

Reaktyvusis galingumas, esant didžiausioms aktyviesiems galingumams

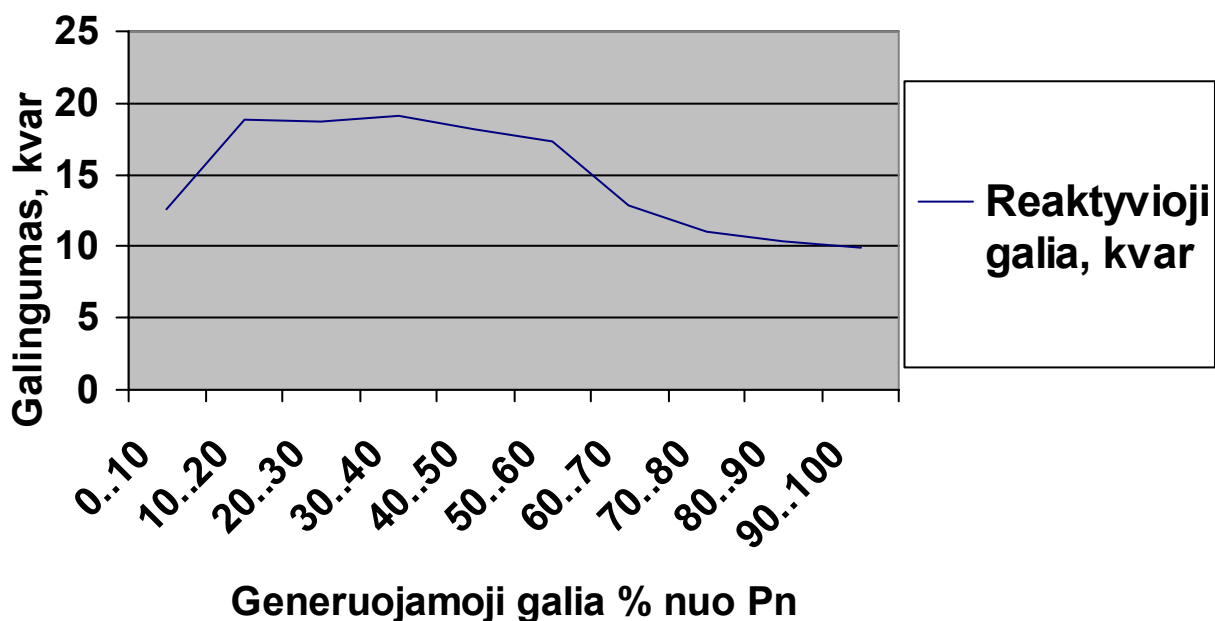
Reaktyvusis galingumas, nustatyta generuojant didžiausią leistiną aktyvųjų galingumą $P_{maksleist}$, kvar	7
Reaktyvusis galingumas, nustatyta generuojant didžiausią 60 s intervalo vidutinį aktyvųjų galingumą P_{60} , kvar	7
Reaktyvusis galingumas ia, nustatyta generuojant didžiausią 0,2 s intervalo vidutinį aktyvųjų galingumą $P_{0,2}$, kvar	3

Reaktyviojo galingumo generavimo ir vartojimo kitimas, esant skirtingoms vėjo elektrinės generuojamoms aktyviesiems galingumams pateikiama 8.5 lentelėje.

**Reaktyviojo galingumo generavimo ir vartojimo kitimas, esant skirtingiems VE
generuojamiems aktyviesiems galingumams**

Generuojamas galingumas % nuo P_n	Aktyvusis galingumas, kW	Reaktyvusis galingumas, kvar
0 – 10	29,8	12,6
10 – 20	89,4	18,8
20 – 30	149,1	18,7
30 – 40	208,7	19,1
40 – 50	268,3	18,2
50 – 60	327,9	17,3
60 – 70	387,6	12,9
70 – 80	447,2	11,1
80 – 90	506,8	10,3
90 – 100	566,5	9,9

Gautus 8.5 lentelės bandymo rezultatus pavaizduojame grafiškai. Iš gautų rezultatų matome, jog kintant generuojamam galingumui aktyvusis galingumas ženkliai didėja, o reaktyvusis galingumas mažėja.



8.3 pav. Reaktyviojo galingumo kitimas

9. Aktyviojo galingumo ir dažnio valdymas sistemoje

Elektros sistemos dažnis yra proporcingas sinchroninių generatorių sukimosi greičiui. Dažnio reguliavimas yra viena iš sisteminių paslaugų ir yra susijęs su kintamosios srovės sistemų balanso tarp vartojimo ir gamybos išlaikymu, atsižvelgiant ir į suplanuotus energijos mainus tarp gretimų valdymo rajonų. Balansas gali būti palaikomas keičiant aktyviojo galingumo gamybą arba kitomis procedūromis. Generavimo ir vartojimo neatitikimo bei dažnio reguliavimo kriterijus yra valdymo rajono paklaida:

$$VRP = \Delta P_{VR} + R \cdot \Delta f; \quad (9.1)$$

čia: ΔP_{VR} – valdymo rajono aktyvusis galingumo nuokrypis;
 R – statizmo koeficientas;
 Δf – sistemos dažnio nuokrypis.

Pirmasis lygybės narys apibūdina valdymo rajono gamybos ir vartojimo balansą, o antrasis parodo sistemos dažnio nuokrypį nuo vardinės reikšmės. Apkrovos įtaką dažniui šioje formulėje nevertinkime. Kai sistemoje atsiranda koks nors trikdys, sutrinka gamybos ir vartojimo balansas, ir susidaro dažnio pokytis. Sumažėjus dažniui, generatorių greičio regulatoriai stengiasi sustabdyti jo kritimą. Regulatoriai ir automatinis dažninis nukrovimas leidžia išvengti dažnio kritimo ir pastarasis nusistovi prie mažesnės nei vardinė dažnio vertės. Šis veiksmų planas dar žinomas kaip pirminis dažnio reguliavimas. Tačiau mažesnis nei vardinis sistemos dažnis sukelia nepageidaujamus galios srautus tarpsisteminiuose linijose ir didina rajono valdymo paklaidą. Norint atstatyti vardinį sistemos dažnį, generatoriaus darbo taškas turi būti priderintas prie naujojo gamybos ir vartojimo balanso, ir generuojamoji galia padidinta.

Šias dažnio reguliavimo nuostatas turi vykdyti visi mažieji generatoriai automatiškai. Jei generatorius dirba lygiagrečiai su visa sistema, jo regulatorius turi sekti sistemos dažnį. Jei mažasis generatorius pradeda dirbti savarankiškai ar su keliais kaimyniniais generatoriais susijungęs į mikrotinklą, regulatoriai turi palaikyti vardinį dažnį. Leistinieji nuokrypiai turi atitikti standartinius dažnio kokybės reikalavimus:

1. sinchroniškai su sistema sujungtų generatorių:
50 Hz \pm 1 % (t.y. 49,5 ... 50,5 Hz) 99,5 % per metus,
50 Hz + 4 % / -6 % (t.y. 47 ... 52 Hz) 100 % visą laiką;

2. su jungtine sistema sinchroniškai nesujungtų sistemų (pvz., kai kurios elektros tiekimo jūros salų sistemos arba mikrotinklai):

50 Hz ± 2 % (t.y. 49 ... 51 Hz) 99,5 % per savaitę,

50 Hz ± 15 % (t.y. 42,5 ... 57,5 Hz) 100 % visą laiką.

Dažniausiai perdavimo tinklo operatoriai elektrinei ar parkui nurodo valdyti dažnį, o jei to nėra tai vėjo elektrinės arba parko valdymo įrenginiai turi keisti nurodytos generuojamo galingumo vertę lyginant su perdavimo tinklo dažnio verte. Tokiais atvejais dažnio valdymo komandos tampa viršesnės už vėjo elektrinės valdymo pagal nurodytą galingumą komandas. Dirbant vėjo elektrinei pastoviai kinta tinklo dažnis. Vėjo elektrinė turi būti reguliuojama taip kaip pateikta 9.1 lentelėje.

9.1 lentelė

Generuojamo dažnio valdymo vertės

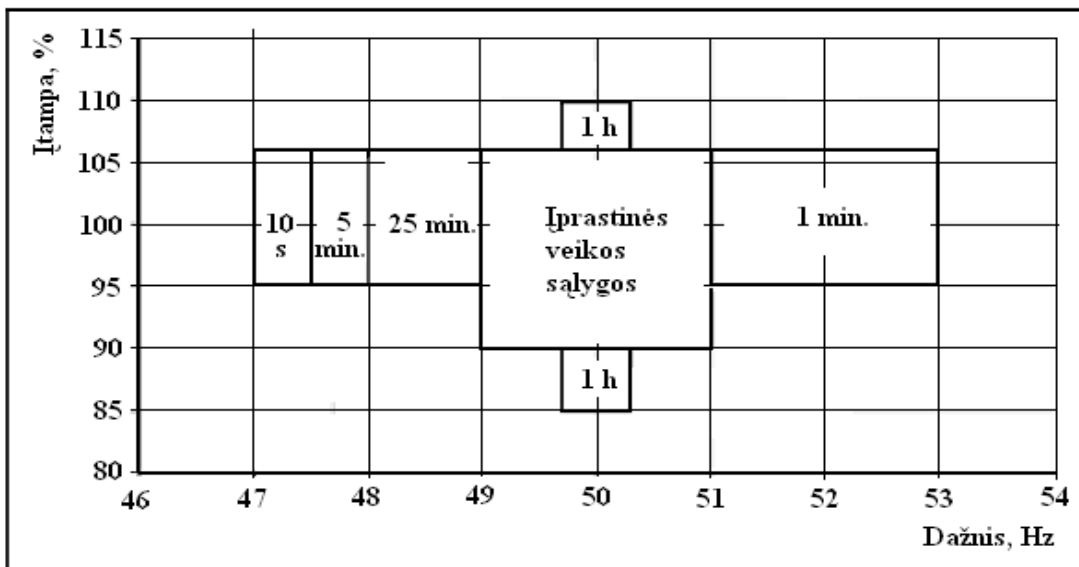
	Statų sritis	Avarinės vertės
Nukrypusių nuo vardinio dažnio reguliavimo srities dažnio riba (f_{\min})	50 – 47 Hz	48,7 Hz
Nukrypusių nuo vardinio dažnio reguliavimo srities aukščiausioji dažnio riba (f_{\max})	50 – 53 Hz	51,3 Hz
Nukrypusių nuo vardinio dažnių nejautrumo srities aukštesnioji riba (f_{d+})	50 - 53	50,15 Hz
Generuojamos galios reguliavimo faktorius dažnių f_{\min} , f_d , f_{d+} , f_{\max} srityje	Aukštesniems dažniams : $(1 - \frac{f - f_{d+}}{f_{\max} - f_{d+}}) \cdot 100 \%$ Žemiesiems dažniams : $1 + \frac{f - f_d}{f_{\min} - f_d} \cdot 100 \%$	
Reguliavimo greitis, apskaičiuotas nuo ribinės vertės iki visiško suregulavimo taško	10 % vardinės galios per sekundę	

Nuo 47 Hz iki 53 Hz dažnių juostoje dažnio matavimo paklaida neturi viršyti ± 10 mHz. Šis reikalavimas turi būti vykdomas, net jei įtampos kreivė būtų iškreipta harmonikų. Fazės pokytis iki

20° šios charakteristikos neturi paveikti. neatkuriama, elektrinė atjungiamą nuo tinklo. Valdymo atsako laikas kelios sekundės. Dažnio valdymas paremtas tuo, kad elektrinė gali mažinti arba didinti savo galingumą, atsižvelgiant į dažnio pokytį jos prijungimo taške. Dažniui pakitus virš neįtrauktos ribos ± 10 mHz elektrinė turi keisti savo generuojamą galingumą. Vėjo elektrinės, keisdamos menčių pokrypį, lengvai gali savo galią mažinti, tačiau didinti, jei nėra pakankamai vėjo – negali.

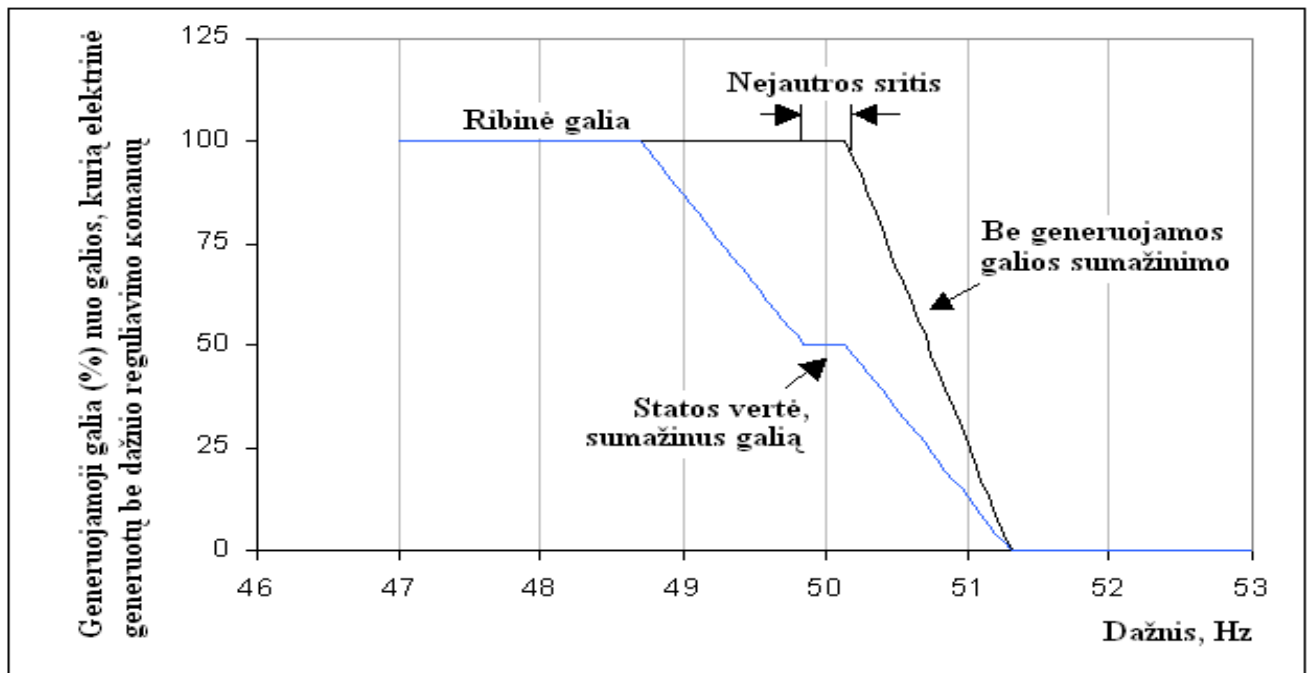
Elektros sistemos dažnis yra proporcingas sinchroninių generatorių sukimosi greičiui.

Neįprastos įtampos ir dažniai neturi būti generavimo galingumo sumažėjimo daugiau kaip 15 % priežastimi. Turi būti numatyta, kad nurodytų veikų bendroji trukmė gali būti iki 10 valandų per metus.



9.1 pav. Vėjo elektrinės įtampų ir dažnių projektinės trukmės

Vėjo elektrinės konstrukcijoje yra numatytos apsaugos, ir elektrinei turi būti draudžiama dirbti, jei įtampa arba dažnis viršija 9.1 paveiksle nurodytas ribas. Dažniui nukritus žemiau 47 Hz arba pakilus virš 51 Hz, o įtampa sumažėjus mažiau kaip 85% vardinės vertės arba padidėjus daugiau kaip 110% vardinės vertės, situacija tampa avarine, ir automatiškai elektrinė relinės apsaugos pagalba atjungiamą.



9.2 pav. Dažnio valdymas, remiantis 9.1 lentelės avarinėmis reikšmėmis

10. Įtampos pokyčiai ir mirgėjimas

Staigiųjų tiekiamosios įtampos pokyčių įprastinė priežastis yra arba apkrovų pokyčiai vartotojų įrenginiuose arba tinklo perjungimai. Žemosios įtampos tinkluose normaliomis veikimo sąlygomis staigieji įtampos pokyčiai paprastai neviršija 5 % U_n , tačiau keletą kartų per dieną, tam tikrais atvejais gali viršyti 10 % U_n . Vidutinės įtampos tinkluose normaliomis veikimo sąlygomis staigusis įtampos pokytis paprastai neviršija 4 % U_c , tačiau kartais per dieną tam tikrais atvejais gali įvykti trumpalaikis iki 6 % U_c pokytis. Įtampos pokytis, kai įtampa tampa mažesnė nei 0,9 U_n vadinamas staigiuoju įtampos kryčiu.

Dėl įtampos svyravimų kinta lempų šviesos srautas, sukeltis elektrinės apšvietos mirgėjimą.

Mirgėjimas – vizualus svyravimo išpūdis, sukeltas šviesos šaltinio, kurio šviesumas arba spektrinė sudėtis kinta laike. Virš tam tikro lygio mirgėjimas tampa aštrus ir pradeda dirginti akis.

Dirginimas auga labai greitai, didėjant svyravimų amplitudei. Esant tam tikram pasikartojimo dažniui, net mažiausi svyravimai gali dirginti akis.

Mirgėjimo aštrumas – dirginančio mirgėjimo poveikio intensyvumas, apibūdinamas Tarptautinės elektrotechnikos sąjungos ir Tarptautinės elektrotechnikos komisijos mirgėjimo matavimo metodu bei įvertinamas šiais dydžiais:

– trumpalaikis aštrumas (P_{st}), matavimo trukmė dešimt minučių,

– ilgalaikis aštrumas (P_{lt}), apskaičiuojant 12 sekančių vienas paskui kitą 10 minutinių intervalų per dvi valandas trumpalaikių aštrumų vidurkį.

Įprastinėmis veikos sąlygomis 95 % savaitės trukmės ilgalaikio mirgėjimo aštrumas, atsiradęs dėl įtampos svyravimų, turi būti $P_{lt} < 1$. Reakcija į mirgėjimą yra subjektyvi ir skiriasi priklausomai nuo mirgėjimo atsiradimo priežasties bei trukmės. Kai kuriais atvejais, kai $P_{lt}=1$, gali prasidėti akių dirginimas, tuo tarpu kitais atvejais, net jei P_{lt} didesnis, dirginimo nebūna.

10.1 lentelė

Staigiųjų įtampos pokyčių ir mirgėjimo reikalavimai kai kuriose ES elektros sistemose

Įtampos kokybė	LST EN 50160	Lietuva	Vokietija	Danija	Ispanija	D. Britanija
Mirgėjimas						$\Delta U \leq 1\%$
Maks. P_{lt} ŽĮ	1	1	0,464	1,0	-	-
Maks. P_{st} ŽĮ	-	-	-	-	-	-
Maks. P_{lt} VĮ	1	1	0,464	-	0,9	-
Maks. P_{st} VĮ	-	-	-	1,0	0,9	-
Maks. P_{lt} AĮ	-	-	-	-	0,6	-
Maks. P_{st} AĮ	-	-	-	-	0,8	-
Amplitudė						$\Delta U \leq 1\%$
Maks. Δu_{st} ŽĮ	-	-	3%	-	-	-
Maks. Δu_{st} VĮ	-	-	2%	-	-	-
Maks. Δu_{st} AĮ	-	-	-	-	-	-

Vertinant vėjo elektrinės sukeltą mirgėjimą prijungimo taške skiriami du faktoriai:

1. pirmuoju faktoriumi, kuris vadinamas mirgėjimo koeficientu, vertinamas vėjo elektrinės generuojamos galios svyravimų indėlis į tinklo įtampos mirgėjimą;
2. vėjo elektrinės perjungimų įtakai įtampos mirgėjimui prijungimo taške išreikšti yra taikomas antrasis – įtampos mirgėjimo laipto faktorius.

Jie dar priklauso nuo vidutinio metinio vėjo greičio statybos vietoje v_a , kuris matuojamas vėjaračio veleno aukštyje, ir tinklo trumpojo jungimo grandinės pilnutinės varžos fazinio kampo vertės ψ_k prijungimo taške. Vėjo elektrinių gamintojai turi nustatyti mirgėjimo koeficiento ir mirgėjimo laipto faktoriaus vertes esant vidutiniams metiniams vėjo greičiams:

$$v_a = 6 \text{ m/s}, 7,5 \text{ m/s}, 8,5 \text{ m/s ir } 10 \text{ m/s}$$

bei esant trumpojo jungimo grandinės faziniams kampams lygiems:

$$\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ \text{ ir } 85^\circ$$

Įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklis P_{lt} , kurio priežastis yra vėjo elektrinė, turi atitikti 10.2 lentelėje pateiktus reikalavimus.

10.2 lentelė

Leistinos projektinės mirgėjimo aštrumo rodiklio vertės

10 (20) kV tinkle	$P_{lt} \leq 0,50$
35 kV tinkle	$P_{lt} \leq 0,35$
110 kV tinkle	$P_{lt} \leq 0,20$

Įtampos didėjimas ir mažėjimas yra laikomi dviem pokyčiais. Per 10 minučių (600 sekundžių, trumpoji stebėjimo trukmė) buvusių mirgėjimų trukmės sumuojamos ir paverčiamos mirgėjimo aštrumo rodikliu P_{st} , kuris apskaičiuojamas pagal 10.1 formulę:

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{600}} \quad (10.1)$$

Sudėjus dvylika trumpųjų stebėjimų, gaunamas ilgos trukmė stebėjimas (120 minučių arba kitaip sakant 2 valandos) ir apskaičiuojamas jo vidurkis, kuris išreikštas 10.2 formule:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} P_{stj}^3} \quad (10.2)$$

Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimo koeficientui keliami reikalavimai išreiškiami 10.3 formule:

$$c(\psi_k, v_a) < P_{lt} \cdot \frac{S_k}{S_n} \quad (10.3)$$

- $c(\psi_k, v_a)$ – įtampos mirgėjimo koeficientas;
- S_k - trumpojo jungimo galingumas prijungimo taške;
- ψ_k – trumpojo jungimo grandinės fazinis kampas prijungimo taške;
- v_a – metinis vidutinis vėjo greitis veleno aukštyje;
- S_n – vėjo elektrinės pilnutinis vardinis galingumas;
- P_{lt} – įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklis.

Tačiau pasirinktoje vėjo elektrinėje kuri turi savarankišką sinchroninio generatoriaus žadinimą, visus srovės šuolius slopina. Dalyvavimo maitinant išorinį trumpąjį jungimą, taip pat ir trumpojo jungimo srovės nėra. Tačiau, šis mano paminėtas teiginys generatoriaus ir keitiklio vidinėms pažaidoms negalioja. Tai formulė 10.4 supaprastėja:

$$c(\psi_k, v_a) < \frac{P_{lt}}{S_n}. \quad (10.4)$$

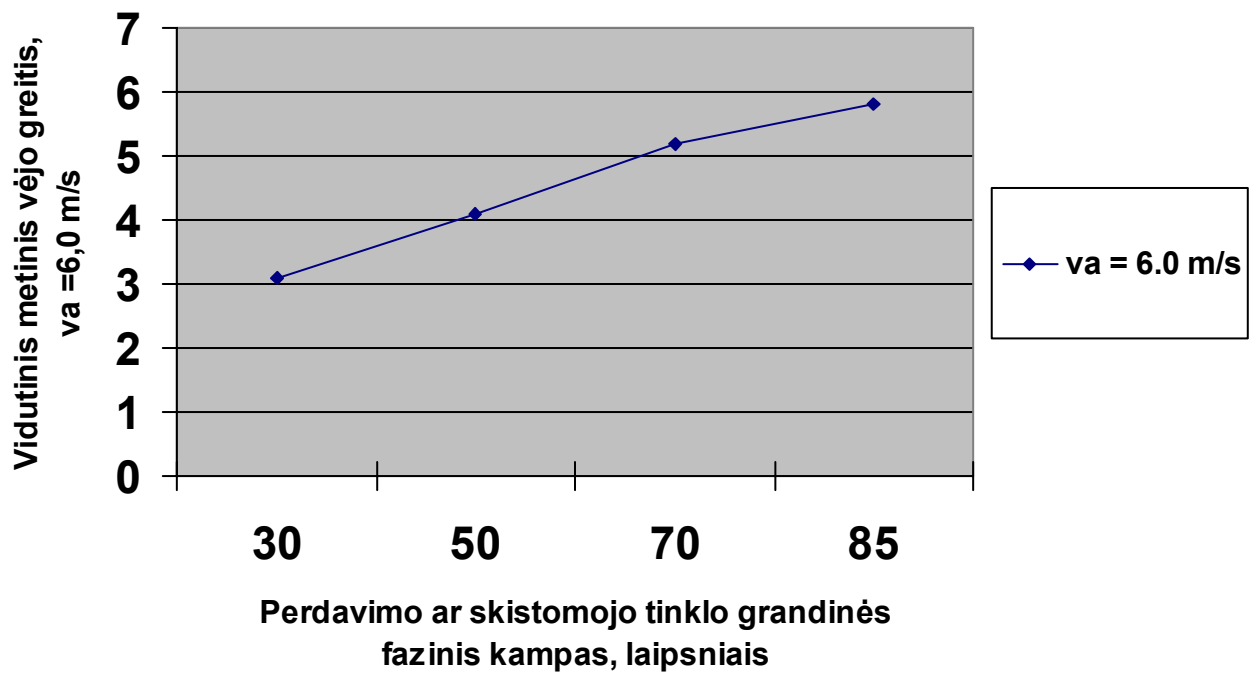
Atliekant vėjo elektrinės įtampos mirgėjimo koeficiento matavimus buvo gauti šie dydžiai, kuriuos surašau i 10.3 lentelę.

10.3 lentelė

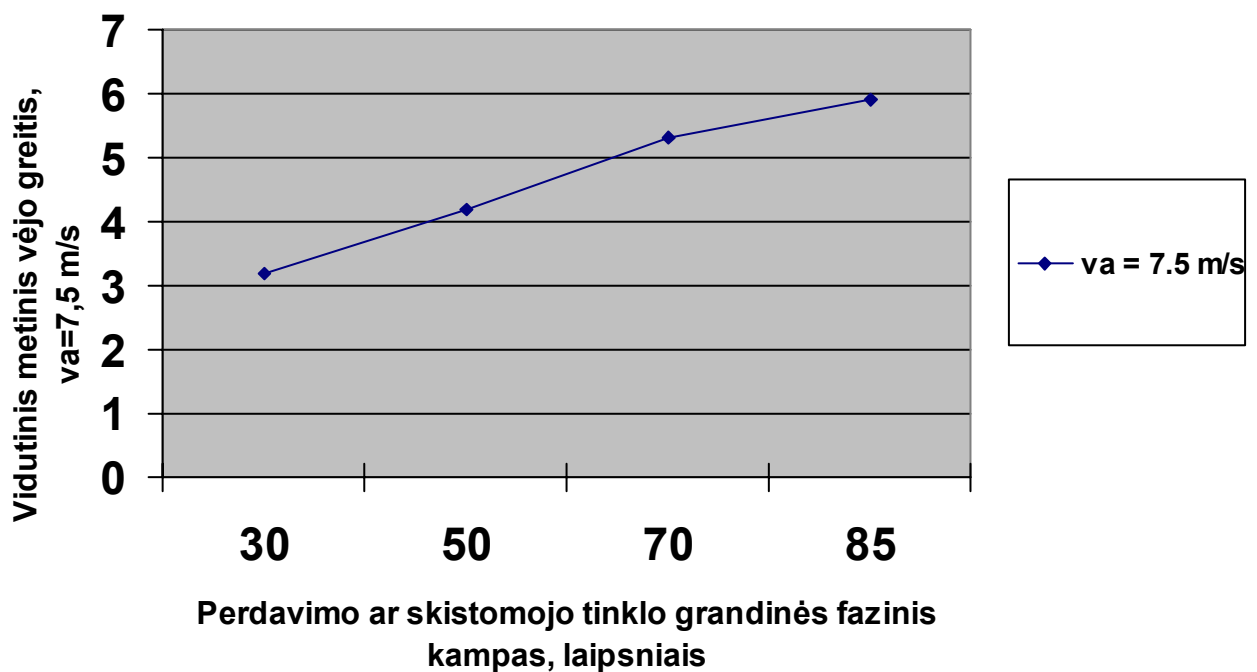
Vėjo elektrinės veikos sukeliama įtampos mirgėjimo koeficientas $c(\psi_k, v_a)$

Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, ψ_k	30°	50°	70°	85°
Vidutinis metinis vėjo greitis, v_a (m/s)	Įtampos mirgėjimo koeficientai, $c(\psi_k, v_a)$			
$v_a = 6,0$ m/s	3,1	4,1	5,2	5,8
$v_a = 7,5$ m/s	3,2	4,2	5,3	5,9
$v_a = 8,5$ m/s	3,2	4,3	5,3	5,9
$v_a = 10,0$ m/s	3,3	4,3	5,4	5,9

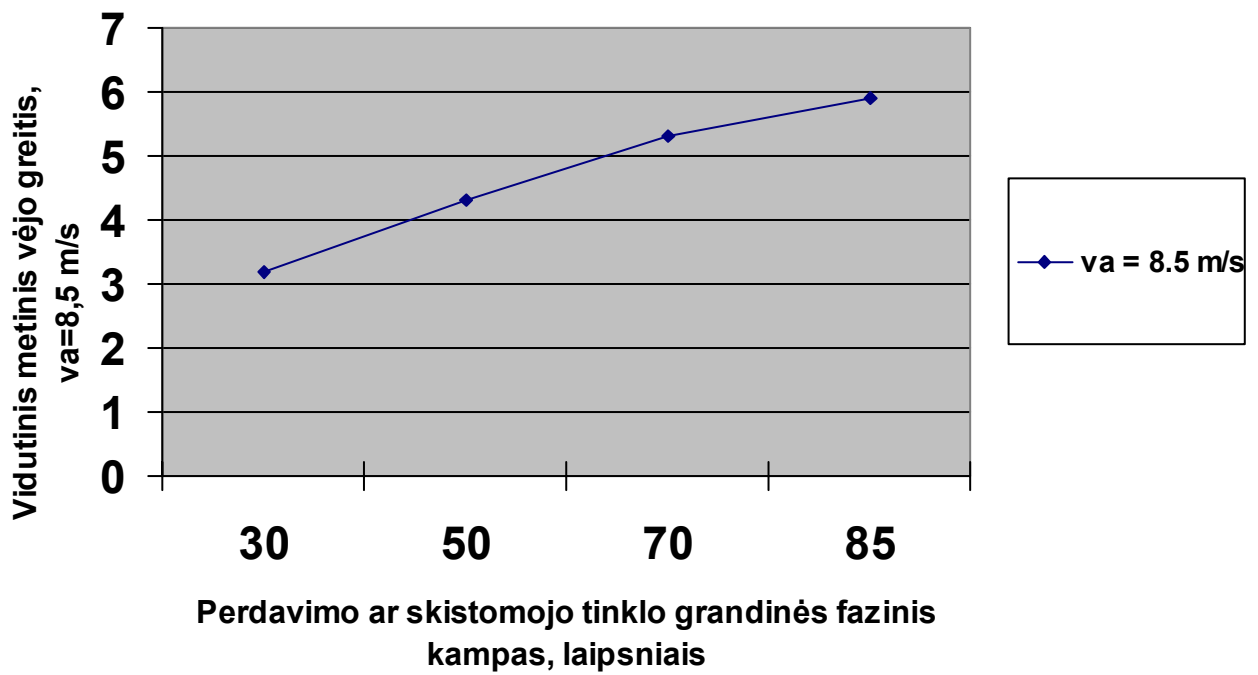
Surašę gautus tyrimo duomenis i 10.3 lentelę matome, jog įtampos mirgėjimo koeficientai $c(\psi_k, v_a)$ esant skirtingiems vėjo greičiams, kurie kinta nuo 6,0 m/s iki 10,0 m/s ir perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės faziniam kampui ψ_k , kuris yra nuo 30° iki 85° vienas nuo kito labai mažai tesiskiria.



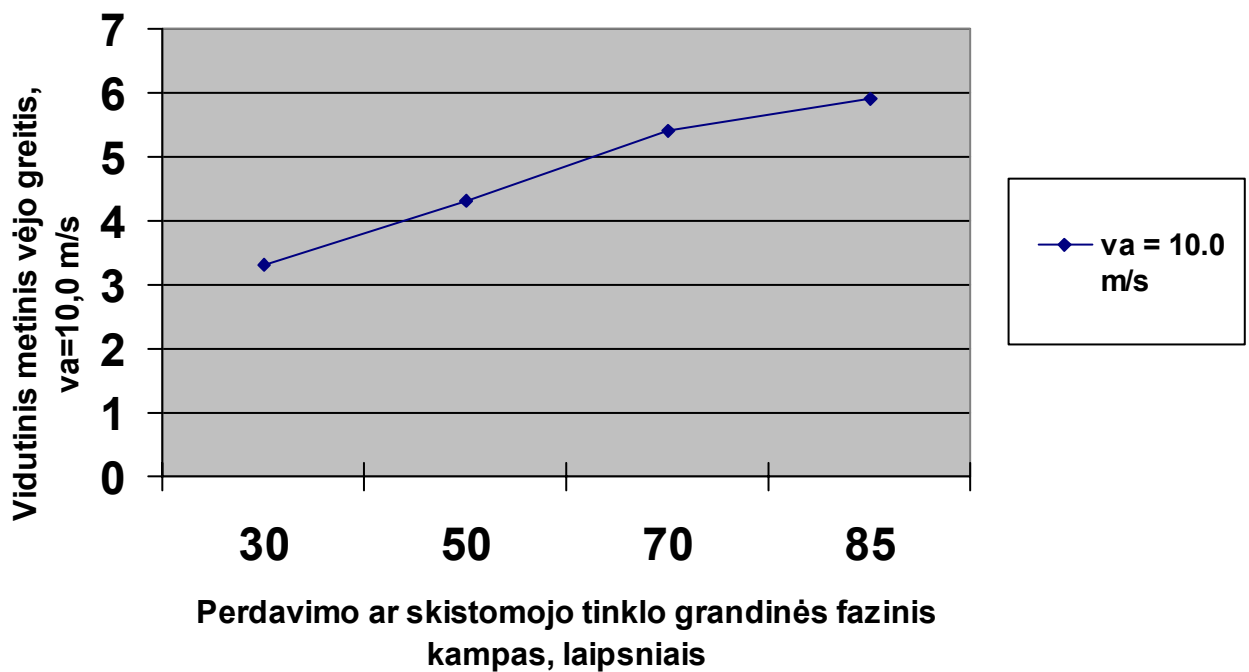
10.1 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 6,0$ m/s



10.2 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 7,5$ m/s



10.3 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 8,5 \text{ m/s}$



10.4 pav. Vėjo greičio priklausomybė nuo skirstomojo tinklo grandinės fazinio kampo, kai $v_a = 10,0 \text{ m/s}$

11. Ferorezonansas

Kadangi mano pasirinkta vėjo elektrinė yra jungiama prie 10 kV elektros tinklo tai šiame tinkle ir 35 kV tinkle dažnas reiškinys yra ferorezonansas. Viena ferorezonanso vieta būtų generatorius, o kita pastotės šynos, kurių talpis ir įtampos transformatoriaus induktyvumas sukuria virpamąjį kontūrą. Jei tinklas pakankamai stipriai apkrautas, elektros nuostoliai artimi vardiniam, susidarantys ferorezonanso virpesiai yra silpni, o viršįtampiai – savaime nuslopinti.

Skirstomojo tinklo apsaugos nepritaikytos reaguoti į šiuos greitus kelių milisekundžių trukmės įtampos pokyčius, todėl paprastai susiduriama tik su ferorezonanso rezultatais – sudegusiais įrenginiais. Dažniausiai sudega silpniausią izoliaciją turintis įtampos transformatorius. Jei paskirstytasis generatorius liktų įjungtas į neapkrautą, bet dar įtampą turintį skirstomąjį tinklą, jau jo izoliacija būtų silpniausia, todėl ferorezonanso sukeltos pažaidos tikimybė generatoriui yra labai didelė. Išėjis – staigiai atjungti įvadinį generatoriaus jungtuvą ir atskirti generatorių nuo tinklo.

Skirstomajame tinkle turi būti tik transformatorius saugantieji saugikliai, perdegantys tik nuo vidinių transformatoriaus pažaidų. Jei saugikliai yra pačiame skirstomajame tinkle, pavyzdžiui saugantys oro liniją nuo kabelinės atšakos gedimų, ir jie yra oro ar kabelinėje linijoje tarp žeminančiosios įtampą pastotės ir paskirstytojo generatoriaus, tai sudegus vienos fazės saugikliui susidaro idealios ferorezonanso būsenos sąlygos. Todėl visoje linijoje nuo pastotės iki generatoriaus neturi būti vienfazių saugiklių.

Kita pakankamai sudėtinga situacija susidaro skirstomojo tinklo apsaugoje nuo viršįtampių.

Dabar tinklas paprastai nuo atmosferinių viršįtampių yra saugomas viršįtampių ribotuvais, kurių poveikio ir gesimo įtampos parenkamos priklausomai nuo vardinės įtampos parenkamos taip, kad įtampai sumažėjus, ribotuvai užgestų. Esant veikiančiam paskirstytajam mažajam generatoriui, prijuntam prie skirstomojo tinklo, tinklo įtampa yra palaikoma pakankamai aukšta, todėl viršįtampių ribotuvai gali neužgesti. Išėjis – parinkti kelis ribotuvus taip, kad atjungti tinklo elementai savo galuose turėtų po ribotuvą, o viršįtampio banga būtų ne dvigubinama, o slopinama.

Patys prijungimo aparatai ir jų izoliacija turi būti pakankamai atsparūs atlaikyti padidintą iki 220% vardinės vertės įtampą, nes pačiu pirmuoju generatoriaus įjungimo akimirksniu, jei atsitiktų, kad tinklo ir generatoriaus įtampos yra priešingų fazių, ant aparatų gnybtų susidarytų dviguba ir net kiek didesnė įtampa.

12. Mažųjų generatorių relinė apsauga

Mažųjų generatorių relinė apsauga turi apsaugoti generatorių ar energijos keitiklį nuo vidinių pažaidų ir trumpųjų jungimų bei nuo išorinio tinklo pažaidų bei trumpųjų jungimų, kurie keltų grėsmę mažajam generatoriui. Tai būtų apsauga nuo nesvarbu kokios kilmės viršįtampių, nuo per daug staigių ir per daug gilių tam tikros trukmės įtampos kryčių ir dažnio, matuojamo prijungimo taške, pokyčių. Šioje vėjo elektrinėje kaip ir daugelį kitų naudojamos mikroprocesorinės apsaugos relės, kurios yra šiuolaikinė skaitmeninė apsauga savyje turintį kombinuotą daugiafunkcionalų įrenginį jungiantį savyje įvairias apsaugos funkcijas:

1. Matavimus;
2. Kontrolę;
3. Vietinį ir distancinį valdymą.



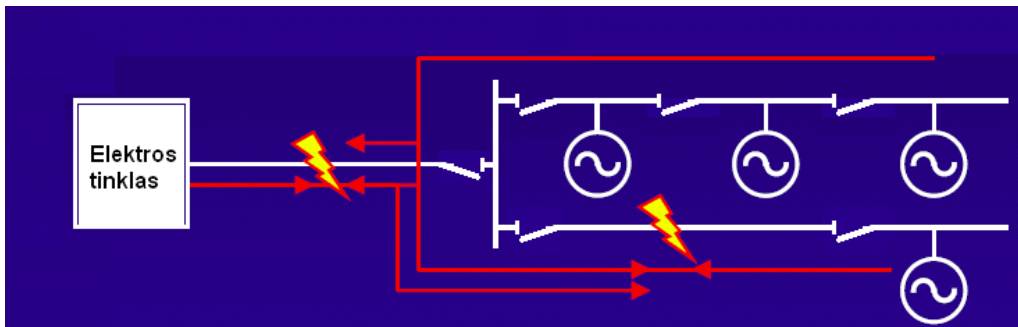
12.1 pav. Vėjo elektrinėse naudojamos mikroprocesorinės relės

Elektros sistemos tinklų operatoriaus pažiūriu mažieji generatoriai turi turėti patikimą relinę apsaugą. Ji turi gebėti atjungti ne mažiau kaip 6 dvifazius ar trifazius trumpuosius jungimus per 5 minutes. Tai reiškia, kad šių generatorių apsauga turi turėti nepriklausomą maitinimo šaltinį, pavyzdžiui, pakankamai talpią akumuliatorių bateriją. Energijos kaupimas kondensatoriuose, įmagnetintuose solenoiduose ar mechaninėse spyruoklėse šiuo atveju yra nepakankamas.

Relinė apsauga turi saugoti mažuosius generatorius nuo:

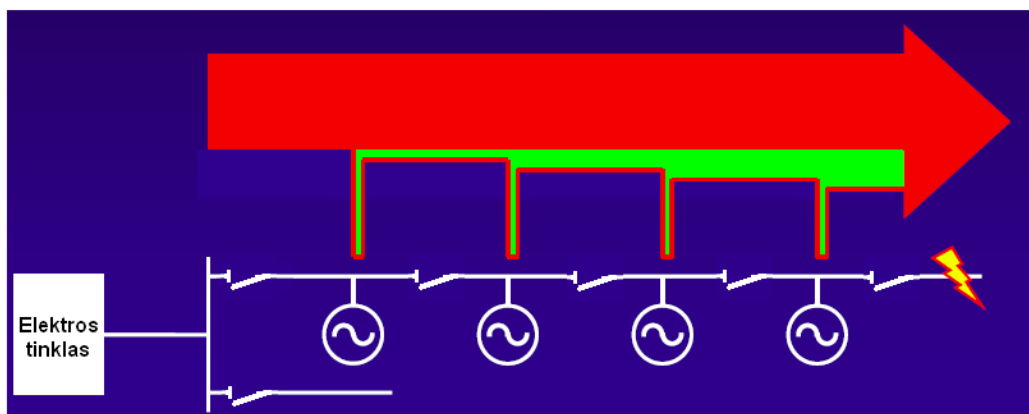
1. per didelio dažnio;
2. per mažo dažnio;
3. per didelės įtampos;
4. per mažos įtampos;
5. signalizuoti apie atsijungimą nuo tinklo;
6. viršsrovių;
7. virštemperatūrių;
8. įžemėjimo ir pokyčių prijungimo schemose.

Trumpuosius jungimus galima atjungti tik kryptinėmis apsaugomis. Galimi nepageidautino atjungimo variantai:



12.2 pav. Kryptinės relinės apsaugos veikimo atvejai

12.3 paveiksle parodyta vis didėjanti trumpojo jungimo srovė sukelia sekcionuojančių jungtuvų parinkimo ir jų apsaugų suderinimo problemą. Šiuo atveju tik jautrios distancinės apsaugos būtų selektyvios.

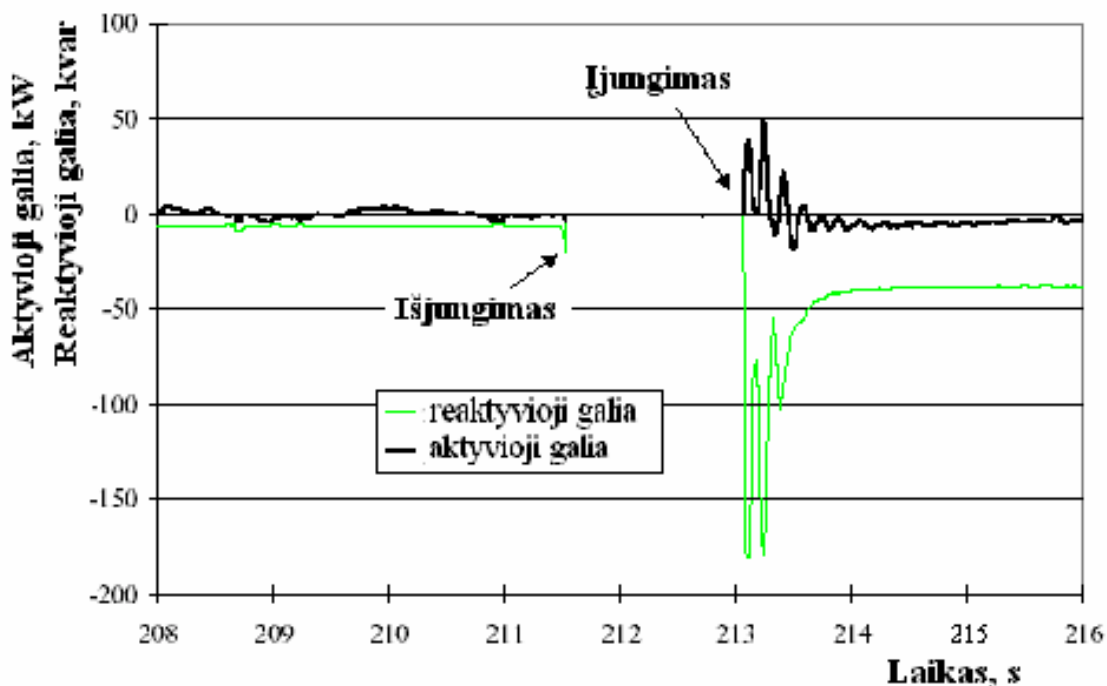


12.3 pav. Trumpojo jungimo srovės matavimo ir jungimo vietos aptikimo problema

Kadangi pagal gamintojų užtikrinimus, mažieji generatoriai yra mažai jautrūs arba visai nejautrūs trumpųjų jungimų viršroviams, rekomenduojamos paprastesnės apsaugos pirmuoju trumpojo jungimo akimirksniu, po to turėtų sekti pakartotinas automatinis įjungimas ir sudėtingesnės bei didesne delsa suprojektuotos antrojo etapo apsaugos.

13. Vėjo elektrinės paleidimas ir stabdymas

Vėjo elektrinės taip pat ir mano tyrinėjamą elektrinę įjungti ir išjungti galima valdant iš tinklo operatoriaus dispečerinio punkto. Vėjo elektrinės generatoriaus išjungimo ir įjungimo akimirksniai pavaizduoti 13.1 paveiksle.



13.1 pav. Vėjo elektrinės generatoriaus išjungimo ir įjungimo akimirksniai

Vėjo elektrinė stabdoma suveikus relinei apsaugai. Šios elektrinės išjungimo kriterijai pateikti 13.1 lentelėje.

Vėjo elektrinės išjungimo kriterijai

Išjungimo kriterijus	Apsaugos status vertė		Status vertės peržengimo leistinoji delta	
	Per žema įtampa	$0,9 U_n$	V	10 ... 60
Per daug žema įtampa	$0,85 U_n$	V	≤ 10	s
Per aukšta įtampa	$1,06 U_n$	V	60	s
Viršįtampis	$1,1 U_n$	V	200	ms
Per daug aukštas dažnis	50,5	Hz	200	ms
	Jei dažnio valdymas veikia, tai 51	Hz	200	ms
Per daug žemas dažnis	47	Hz	200	ms

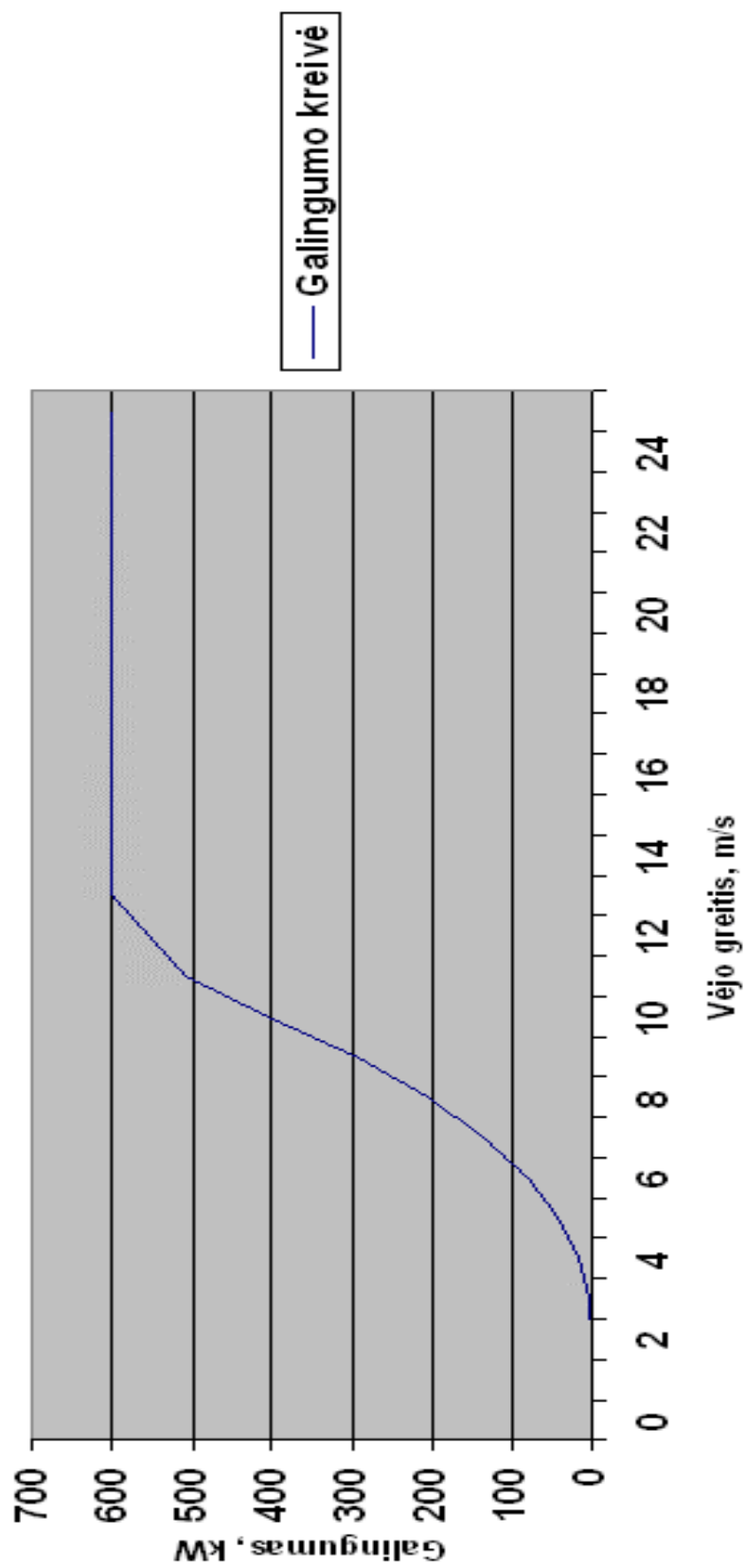
Taip pat elektrinei dirbant normaliame režime ir skirstomajame tinkle įvyko pažaida tai suveikus relinei apsaugai elektrinė automatiškai atsijungia ir išijungti gali po 5 ar 10 minučių kai tinklo veikos sąlygos tampa įprastinėmis. Kitas atvejis jei elektrinė atsijungia dėl per didelio greičio, ji gali pati automatiškai išijungti vėjo greičiui sumažėjus.

Stabdymo vėjo greitis turi būti ne mažesnis kaip 25 m/s. Vėjo elektrinė turi būti patvirtinto tipo konstrukcijos ir jų stabdymo vėjo greitis turi būti patvirtintas bandymu. Kadangi pasirinktos vėjo elektrinės galingumas 600 kW tai 13.2 lentelėje pateiksiu bandymų duomenis vėjo elektrinės galingumo priklausomybę nuo vėjo greičio.

Vėjo elektrinės galingumo priklausomybė nuo vėjo greičio

Vėjo greitis, m/s	Galingumas, kW
0	0
1	0
2	0
3	1,7
4	14,7
5	40,8
6	79,6
7	134,8
8	207,1
9	292,6
10	403,4
11	508,1
12	554
13	600
14	600
15	600
16	600
17	600
18	600
19	600
20	600
21	600
22	600
23	600
24	600
25	600

13.2 lentelės duomenis pavaizduoju grafiškai 13.2 paveiksle.



13.2 pav. Vėjo elektrinės galios priklausomybė nuo vėjo greičio

Kaip matyti tiek iš 13.1 lentelės tiek ir iš 13.1 paveikslo, jog pasirinktoji vėjo elektrinė įsijungia esant vėjo greičiui 3 m/s, o esant vėjo greičiui 13 m/s vėjo elektrinės galingumas siekia maksimumą 600 kW ir esant didesniam nei 13 m/s vėjo greičiui elektrinė gamina pastoviai 600 Kw ir galutinai atsijungia kai vėjo greitis siekia 25 m/s.

Išvados

Mažųjų generatorių daromas poveikis elektros tinklų srautams, įtampos režimams, relinės apsaugos darbui ir kitiems techniniams faktoriams yra pakankamai aiškus ir šiame darbe atlikdami tyrimą išnagrinėjome vėjo elektrinės prijungimą prie skirstomųjų elektros tinklų.

Mažųjų generatorių elektrinių statybai Lietuvoje galimybių yra pakankamai daug, tačiau trūksta demonstracinių projektų ir statybos finansinių studijų. Rekomenduojam plėsti technologiškai brandžių: vandens, biokuro ir tame tarpe vėjo elektrinių statybas.

Elektros energijos gamyba panaudojant atsinaujinančius energijos išteklius yra viena iš prioritetinių ES ir Lietuvos energetikos tikslų. Šiuo metu Lietuvoje jau priimti teisės aktai, nustatantys elektros gamybos vėjo elektrinėse teisinis prielaidas ir reikalavimus.

Nepaisant to, elektros gamyba naudojant vėjo energiją Lietuvoje didesniu mastu nėra plėtojama. Viena pagrindinių priežasčių – potencialių investuotojų netenkinanti nustatyta minimali elektros energijos, pagamintos vėjo elektrinėse, supirkimo kaina. Be to, labiausiai investuotojus domina galimybės statyti vėjo elektrines Baltijos jūroje ar jos pakrantėje.

Šiuo darbu siekta išsamiai išanalizuoti šią, plačiai mūsų dienomis taikomą, nebranduolinės energijos technologiją; t.y., apžvelgti esminius mažųjų generatorių veikimo principus, būtiniausius taikymo ir pritaikymo atitinkamose vietovėse reikalavimus ir etapus, pagrindinius panaudojimo būdus ir galimybes.

Tyrimui pasirinkta vėjo elektrinė yra pastatyta Nausodės km., Sedos sen., Mažeikių raj. ir 2006 m. sėkmingai pajungta į skirstomąjį elektros tinklą.

Literatūros sąrašas

1. Lašas A. Pramoninė elektronika 2 / A. Lašas, V. Bartkevičius, R. Šurna, A. Verikas, A. Kopustnikas, K. Valužis, B. Starkus. Vilnius, 1991.
2. Л. А. Бессонов Теоретические основы электротехники, Электрические цепи, Москва, 1978.
3. Mažųjų generatorių įtaka sistemos patikimumui ir valdymui. KTU ESK, 2005.
4. Vėjo elektrinių prijungimo prie Lietuvos elektros energetikos sistemos techninė taisyklės., patvirtintos Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2004 m. balandžio 6 d. Įsakymu Nr. 4-102 (Žin., 2004, Nr., 57-2007).
5. Galinis A. Išorinių energijos gamybos kaštų įtakas Lietuvos energetikos sistemos funkcionavimui ir darniai plėtrai / A. Galinis, E. Norvaiša, 2004, Nr. 2.
6. Lietuvos elektros energetikos sistemos automatinio generavimo valdymo nuostatai, Valst. Žinios, Nr. 91-3919, 2002.
7. LST EN 61400-25-1 Vėjo elektrinės. 25-1 dalis. Vėjo elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Bendrųjų principų ir modelių aprašymas (IEC 61400-25-1:2005), 2005.
8. LST EN 61400-25-3 Mažųjų generatorių elektrinės. 25-3 dalis. Mažųjų generatorių elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Informacijos mainų modelis (IEC 61400-25-3:2005), 2005.
9. LST EN 61400-25-4 Vėjo elektrinės. 25-4 dalis. Vėjo elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Praplečiamąja dokumentų aprašų kalba (XML) besiremiančio ryšio profilio atvaizdavimas (IEC 61400-25-4:2005), 2005.
10. LST EN 61400-25-5 Vėjo elektrinės. 25-5 dalis. Vėjo elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Atitikties tikrinimas (IEC 61400-25-5:2005), 2005.
11. Connection of distributed generation – effect on the power system. ENERCON, Hamburg, Januar, 2000.
12. Markevičius A. Šilumos energetika ir technologijos / A. Markevičius, A. Burlakovas, M. Tamašauskienė. Kaunas, 2005. vasario 3-4 d.
13. Nacionalinė energetikos strategija. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2002. 44 p.
14. ENERCON. Vokietija, 2007. Prieiga per internetą: <http://www.enercon.de>.
15. Ramonas Z. Technologijos fakulteto studijų darbų parengimo tvarka, Mokomoji knyga / Z. Ramonas, V. Petronis, D. Čikotienė. Šiauliai, 2004