

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Bronislavas Lekas

VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PRIJUNGIMO PRIE SKIRSTOMŲJŲ
ELEKTROS TINKLŲ GALIMYBIŲ TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. E. Nevardauskas

ŠIAULIAI, 2010

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas
lekt. G. Valiulis

2010-05

VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PRIJUNGIMO PRIE SKIRSTOMŲJŲ
ELEKTROS TINKLŲ GALIMYBIŲ TYRIMAS

Energetikos inžinerijos magistro darbas

Vadovas

doc. dr. E. Nevardauskas

2010 05

Recenzentas

doc. dr. Z. Turauskas

2010 06

Atliko

EM-8 gr. stud.

B. Lekas

2010 05

ŠIAULIAI, 2010

Lekas B. The Investigation of Possibilities to Connect the Wind Stations Park to Distribution Networks: Master theses of electrical engineer/research advisor Assoc. Dr. E. Nevardauskas; Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department. – Šiauliai, 2010.

SUMMARY

Nowadays fossils start costliness, wind stations and their parks building and connection to Distribution Networks in this time is very actual theme. Over and over broad, not only on the seashore, in Lithuania are built and connected wind stations and their parks.

The aim of my work is the investigation of possibilities to connect the wind stations park to distribution networks, what influence the connect possibilities in the chosen point of distribution networks.

I did the programme to the primitive test of possibilities to connect wind stations and their parks to distribution networks in this work.

I did the investigation of possibilities to connect 6 MW wind station park to 35 kV and 10 kV distribution networks in Pakruojis district. I calculated the parameters of networks quality, when wind stations park is working and when is stopped.

I give conclusion about results and succession of this investigation.

Lekas B. Vėjo elektrinių parko prijungimo prie skirstomųjų elektros tinklų galimybių tyrimas: Magistro darbas/vadovas doc. dr. E. Nevardauskas; Šiaulių universitetas Technologijos fakultetas, Elektros inžinerijos katedra. – Šiauliai, 2010.

SANTRAUKA

Brangstant iškastiniam kurui, vėjo elektrinių ir jų parkų statymas ir prijungimas prie skirstomųjų elektros tinklų šiuo metu darosi labai aktuali tema. Lietuvoje vis plačiau, ne tik pajūryje, yra statomos ir prijungiamos vėjo elektrinės ir jų parkai.

Mano darbo tikslas yra ištirti vėjo elektrinių parko prijungimo prie skirstomųjų elektros tinklų galimybes, kas įtakoja jų prijungimo galimybes pasirinktame skirstomojo elektros tinklo taške.

Šiame darbe padariau programą-skaičiuoklę, pirminiam vėjo elektrinių ar jų parkų prijungimo galimybei prie skirstomojo elektros tinklo patikrinti.

Darbe ištirtos 6 MW vėjo elektrinių parko prijungimo galimybės prie 35 kV ir 10 kV tinklo oro linijų, esančių Pakruojo rajone. Apskaičiuoti tinklo kokybės parametrai, kai vėjo elektrinės dirba ir kai ne.

Pateikiamos išvados apie tyrimo rezultatus ir tyrimo tęstinumą.

Paveikslėlių sąrašas

1 pav. VE galių kitimą išlyginantysis srautas Elektrėnai – Klaipėda ir atgal.....	9
2 pav. Lietuvos vėjų atlasas.....	10
3 pav. Aktyvaus skirstomojo tinklo elementas – mikrotinklas.....	16
4 pav. Skirtingų analizės tipų kategorijos.....	17
5 pav. Vėjo elektrinių prijungimo prie elektros tinklo schemas.....	20
6 pav. Vėjo elektrinės prijungimo schema.....	21
7 pav. Vėjo elektrinių parko prijungimo prie elektros tinklo schemas.....	22
8 pav. Ferorezonanso sukelti viršįtampiai skirstomajame tinkle.....	27
9 pav. Vėjo elektrinės prijungimas skirstomojo tinklo maitinančiosios linijos gale.....	28
10 pav. Vėjo elektrinės prijungimo prie skirstomojo tinklo schema.....	29
11 pav. Įtampos priklausomybė nuo VE galios. Linijos ilgis 10 km.....	32
12 pav. Excel pagrindu padarytos programos skaičiavimų lentelė.....	33
13 pav. VEP prijungimo prie skirstomojo tinklo žemėlapis.....	34
14 pav. Vėjo elektrinės schema.....	35
15 pav. Vėjo elektrinės prijungimo prie esamo 35 kV elektros tinklo schema.....	36
16 pav. Įtampos kitimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{var}}=\text{max}$; $P_{\text{VEP}}=0$	37
17 pav. Enercon vėjo elektrinių reakcija į trumpąjį jungimą tinkle.....	46
18 pav. Vėjo elektrinės generatoriaus išjungimo ir įjungimo akimirksniai.....	48
19 pav. Enercon E-82 galios priklausomybė nuo vėjo greičio.....	52
20 pav. Enercon E-82 galios koeficiento priklausomybė nuo vėjo greičio.....	53
21 pav. Vėjo elektrinės prijungimo prie esamo 10 kV elektros tinklo schema.....	44
22 pav. Įtampos kitimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{var}}=\text{max}$; $P_{\text{VEP}}=0$	55
23 pav. Įtampos kitimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{var}}=\text{max}$; $P_{\text{VEP}}=0$, prijungus 6 MW vėjo elektrinę.....	56
24 pav. VE atsiperkamumo palyginimas.....	58

Lentelių sąrašas

1 lentelė Nusistovėjusios režimo įtampos reikalavimai kai kuriose ES elektros sistemose.....	24
2 lentelė Staigiųjų įtampos pokyčių ir mirgėjimo reikalavimai kai kuriose ES elektros sistemose.....	25
3 lentelė Iki 40 eilės harmoninių įtampų vertės tiekimo taškuose procentais.....	26
4 lentelė Oro linijų laidai ir jų parametrai.....	29
5 lentelė Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške, kai laido skerspjūvio plotas 35 mm ² , linijos ilgis 10 km.....	30
6 lentelė Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške, kai laido skerspjūvio plotas 50 mm ² , linijos ilgis 10 km.....	30
7 lentelė Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške, kai laido skerspjūvio plotas 70 mm ² , linijos ilgis 10 km.....	31
8 lentelė Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške, kai laido skerspjūvio plotas 95 mm ² , linijos ilgis 10 km.....	31
9 lentelė Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške, kai laido skerspjūvio plotas 120 mm ² , linijos ilgis 10 km.....	31
10 lentelė Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške, kai laido skerspjūvio plotas 150 mm ² , linijos ilgis 10 km.....	31
11 lentelė Oro linijų laidai ir jų parametrai.....	38
12 lentelė Įtampos nuostoliai linijos atkarpose.....	38
13 lentelė Įtampų skaičiavimas prijungimo taškuose.....	39
14 lentelė Mazgų duomenys.....	41
15 lentelė Leistinosios projektinės harmoninių įtampų vertės.....	42
16 lentelė Vėjo elektrinės skleidžiamų harmonikų apskaičiuotos ir leidžiamos vertės.....	43
17 lentelė Vėjo elektrinių parko apsaugų nuo vidinių pažeidimų nustatymai.....	46
18 lentelė Vėjo elektrinės išjungimo kriterijai.....	47
19 lentelė Veibulo formos orientacinis parametras nuo aukščio.....	50
20 lentelė Žemės paviršiaus šiurkštumo klasės ir laipsnio rodikliai.....	50

21 lentelė Vėjo greičių pasiskirstymas valandomis, pagaminamos energijos kiekiai tam tikriems vėjo greičiams.....	52
19 lentelė Oro linijų laidai ir jų parametrai.....	54
20 lentelė Įtampos nuostoliai linijos atkarpose.....	54
21 lentelė Įtampų skaičiavimas prijungimo taškuose.....	54

Turinys

ĮŽANGA.....	6
1. VĖJO ENERGETIKA IR VĖJO ELEKTRINĖS.....	8
1.1. KODĖL BŪTENT VĖJO ENERGIJA?.....	8
1.2. GERIAUSIOS SĄLYGOS VĖJO ENERGETIKAI LIETUVOJE.....	10
1.3. VĖJO ELEKTRINIŲ INTEGRAVIMAS Į ELEKTROS TINKLĄ.....	12
1.4. VĖJO ENERGETIKOS PRIJUNGIMO PRIE ELEKTROS TINKLŲ PROBLEMOS.....	14
1.5. MAŽŪJŲ GENERATORIŲ TECHNINIS POVEIKIS ELEKTROS TINKLUI IR VISAI SISTEMAI.....	16
2. VĖJO ELEKTRINIŲ PRIJUNGIMO PRIE ELEKTROS TINKLO SKAIČIAVIMAS.....	29
2.1. PRIJUNGIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS, ATSIŽVELGIANT Į TINKLO PARAMETRUS.....	29
2.2. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PAKRUOJO RAJONE PRIJUNGIMO PRIE ESAMO 35KV ELEKTROS TINKLO GALIMYBIŲ SKAIČIAVIMAS.....	34
2.3. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PAKRUOJO RAJONE PRIJUNGIMO PRIE ESAMO 10KV ELEKTROS TINKLO GALIMYBIŲ SKAIČIAVIMAS.....	53
3. FINANSINIO ATSIPERKAMUMO SKAIČIAVIMAS.....	57
IŠVADOS.....	59
LITERATŪRA.....	60

IŽANGA

Trys ketvirčiai elektros energijos pasaulyje išgaunama kūrenant iškastinį kurą arba branduolinėse jėgainėse. Šie kuro šaltiniai anksčiau ar vėliau išseks. Be to, deginamasis iškastinis kuras nepalankiai veikia aplinką, o branduolinis kuras, įskaitant jo gavimą ir atliekų saugojimą, dar ir labai brangus. Klimatas sparčiai šyla ir kelia didelius iššūkius žmonijai. Kartu su kitais veiksniais klimato šilimą lemia CO₂ spartus didėjimas atmosferoje, jo kiekį atmosferoje didina iškastinio kuro deginimas.

Žmonija priversta ieškoti būdų gauti elektros energiją be taršos ir nerizikuojant, kad ji kada nors baigsis. Atėjo laikas veikti taip, kad energijos gamyba ir vartojimas būtų naudingas ekonomikai ir aplinkai. Vienintelė išeitis yra atsinaujinantys energijos šaltiniai, t.y. tokie, kurie niekada nesibaigia ir yra praktiškai nemokami: saulės energija, vėjo energija, potvynių energija, upių energija, biomasės energija ir t.t.

Kai Lietuva ir kitos šalys 2004 m. pavasarį įsijungė į Europos Sąjungą, pažangi energetikos plėtros strategija pradėjo galioti ir joms. Todėl artimiausioje ateityje galime tikėtis spartesnės atsinaujinančiųjų šaltinių energetikos plėtros ir Lietuvoje. Tokios energetikos plėtros strategijos ES laikosi neatsitiktinai: iškastinio kuro atsargos yra baigtinės, jos gana greitai senka, o to kuro kainos nuolatos kyla. Tokie procesai sudaro vis geresnes ir geresnes sąlygas plėtoti atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijoms. Be to, visame pasaulyje iškastinio kuro kontrolė siejama su korupcija ir smurtu, o naftos, gamtinių dujų, anglies, orimulsijos deginimas – su aplinkos tarša, aiškiai įrodyta žala žmonių sveikatai, su vis dažniau stichines nelaimes atnešančiu pasaulinio atšilimo reiškiniu. JAV esantis Pasaulio stebėjimo institutas (World Watch Institute) po daugiamečių stebėjimų nustatė tiesioginę priklausomybę tarp vidutinės metinės Žemės atmosferos temperatūros didėjimo ir kasmet įvairių stichinių nelaimių padaromų materialinių nuostolių dydžio. Dėl pasaulinio atšilimo vis dažniau kyla karščio bangos, didžiulės liūtys, potvyniai, nuošliaužos, uraganai ir kitos nelaimės, kurios pareikalauja vis daugiau žmonių aukų ir daug materialinių nuostolių.

Europoje yra sukaupta gana didelė vėjo elektrinių parkų eksploatavimo patirtis. Didėjant vėjo elektrinių galingumams kai kuriose vietovėse kito ir prijungimo bei valdymo metodai. Vieningos prijungimo schemas nėra, kiekvienu atveju pasirenkamas tai vietai tinkantis tiek techniniu, tiek ekonominiu požiūriu tinkamiausias variantas, neretai apsunkinantis jų vieningo valdymo galimybes.

Vis daugiau valstybių susikuria palankias įstatymines bazes atsinaujinančiųjų šaltinių energetikai plėtoti. Labai palankias bazes turi Vokietija, Danija, Ispanija, Jungtinė Karalystė ir kitos ES šalys. Šiuo metu ją baigia sukurti Čekija. Lietuva palankios visapusiškos įstatyminės bazės atsinaujinančiųjų šaltinių energetikai plėtoti dar neturi.

Šiame darbe programos Microsoft Excel pagrindu padariau programą-skaičiuoklę, kuri leidžia apytiksliai paskaičiuoti vėjo elektrinių ar jų parko prijungimo prie elektros tinklo pasirinktame taške galimybę.

Patikrinau 6 MW vėjo elektrinių parko prijungimo prie 35 kV ir prie 10 kV elektros tinklo Pakruojo rajone pasirinktame prijungimo taške galimybę.

Tyrimo skaičiavimai yra atliekami, naudojant medžiagą nurodytą literatūroje.

1. VĖJO ENERGETIKA IR VĖJO ELEKTRINĖS

1.1 KODĖL BŪTENT VĖJO ENERGIJA?

Mes dabar gyvename energijos nežinomybės amžiuje. Pigios ir gausiai išgaunamos energijos dienos yra baigtos, todėl tenka ieškoti alternatyvių energijos šaltinių.

Europos priklausomybė nuo importuojamo iškastinio kuro tapo grėsme ekonominiam stabilumui, kadangi padidėjusios iškastinio kuro kainos pagrindu, ypač padidėjo elektros kaina. Yra labai svarbu, kad Europos Sąjunga vysto savo vidinius energijos išteklius iki maksimalaus galimo lygio bei skatintų efektyvų energijos naudojimą.

Europa yra intensyviai energiją naudojanti sritis, stipriai priklausanti nuo importo, jau šiandieną joje importuojama 50 % energijos poreikių ir tikėtina, kad importas padidės iki 70 % per ateinančius du dešimtmečius, jeigu Europa nepakeis krypties. Iki 2030, naftos importas tikėtina pakils nuo 76 % iki 88 %, o dujų importas nuo 50 % į 81 %, lyginant su 2000. Vietiniai iškastiniai kuro išteklių, esantys Šiaurės jūroje, yra greitai besieikvojančios.

Vėjo energija ne tik prisidės saugant Europos energetinę nepriklausomybę ir klimato tikslus ateityje, taip pat ji galės paversti rimtą energijos aprūpinimo problemą į galimybę Europai siekti komercinės naudos, technologijų tyrinėjimo, eksporto ir pritaikymo srityje.

Komisija nusprendė, kad einamosios elektros rinkos nėra konkurencingos dėl keturių pagrindinių priežasčių: skersinės sienos perdavimo sąsajų trūkumo; dominuojančių, integruotų energetikos bendrovių egzistavimo; šališkų energetikos sistemų operatorių; žemo likvidumo didmeninėse elektros rinkose. Šitie keturi barjerai yra pagrindiniai instituciniai ir struktūriniai trūkumai, trukdantys naujoms technologijoms tokioms kaip vėjo energija įstoti į rinką.

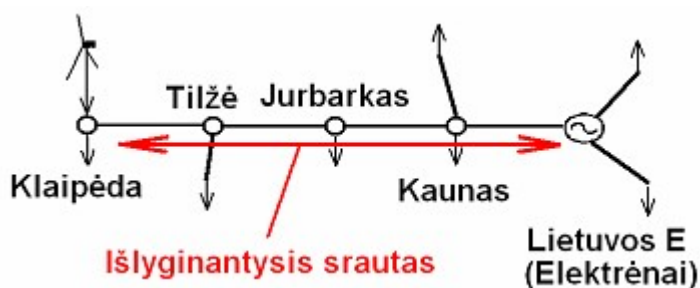
Svarbiausi klausimai susiję su vėjo energijos integracija yra šie: pasikeitęs požiūris į energetikos sistemos veikimą; vėjo elektrinių prijungimo į bendrą tinklą reikalavimai išlaikant stabilų ir patikimą tiekimą; energetikos tinklo struktūros išplėtimas ir modifikacija ir vėjo energijos įtaka sistemos adekvatumui ir perdavimo saugumui.

Infrastruktūros investicijų reikalingumas nėra pagrįstas tik vėjo energija, todėl, tinklo išplėtimas, tinklo sustiprinimas ir padidintas atsargos dydis duoda naudos visiems sistemos vartotojams. Integruotas būsimų sprendimų metodas yra būtinas.

Vėjo elektrinės ir jų junginiai, vadinami vėjo parkais, gali būti vadinami mažaisiais generatoriais, jei diegiamas vėjo parkas yra mažos galios ir jungiamas prie skirstomųjų tinklų. Vėjo elektrinių spartų galių vystymą pradeda riboti ir 110 kV linijų galių pralaidumas. Tolesni vėjo elektrinių plėtros planai siejami su jūrinių vėjo elektrinių statyba Baltijos jūroje ir įvairiais perdavimo tinklo plėtros, bei kitų rezervinių elektros linijų ir elektrinių statybos planais. Tačiau vėjo elektrinių statytojai susiduria su visa eile sunkumų rengiant detaliuosius planus, atliekant poveikio aplinkai vertinimą, užsakant vėjo jėgaines iš gamintojų, dėl ko visas vėjo elektrinės statybos procesas užtrunka žymiai ilgiau, nei buvo tikėtasi.

Vėjo energetikos suminė instaliuoti gali turi išlikti elektros sistemos dažnio reguliatorių galios lygyje, kol 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 galių turės papildomai balansuoti šiluminės elektrinės. Dalis generatorių turės dirbti priverstiniuose nenašiuose režimuose.



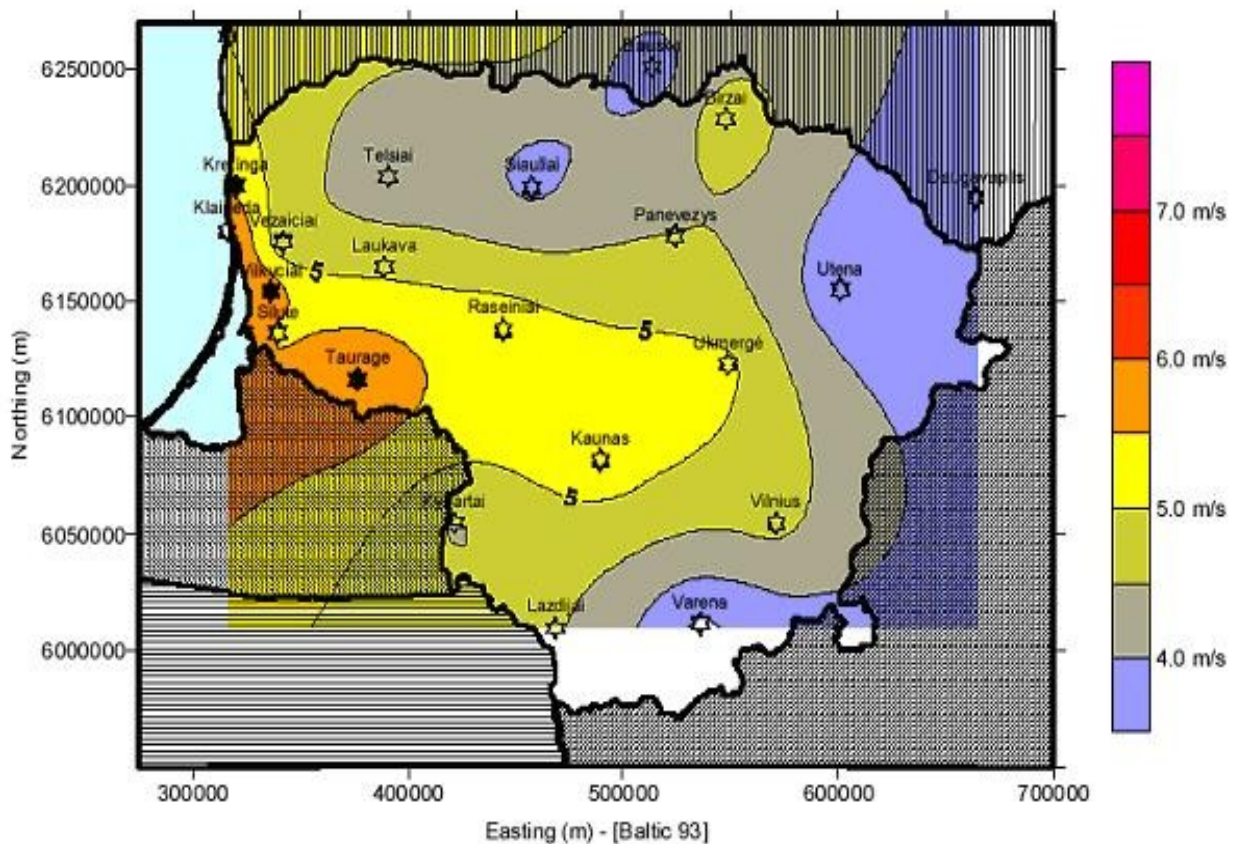
1 pav. VE galių kitimą išlyginantysis srautas Elektrėnai – Klaipėda ir atgal[4]

Sistemos galių balansą išlyginantysis srautas savo ruožtu sukels įtampų reguliavimo ir reaktyviosios galios balanso Klaipėdos mazge problemą. Reikalingos naujos elektros energetikos valdymo priemonės – pavyzdžiui, 150 MVA reaktyviosios galios kompensatoriai Klaipėdoje ir nauji informacinės sistemos tobulinimo sprendiniai.

1.2. GERIAUSIOS SĄLYGOS VĖJO ENERGETIKAI LIETUVOJE

Buvo parengtas Atlasas įgyvendinant JTVP/PAF projektą "Regioninė Baltijos šalių vėjo energijos programa". Per vienerius metus surinktus duomenis susistemino ir lyginamąją analizę atliko Danijos Riso Nacionalinės laboratorijos ekspertai. Tai pirmas tokio pobūdžio vėjo atlasas Baltijos šalyse.

Pirmasis vėjo atlasas nėra labai patikimas, kadangi tiesioginiai vėjo matavimai buvo atlikti tikrai trijose vietovėse (matavimo vietos paveiksle pavaizduotos juoda žvaigždute – Kretingos, Vilkyčių ir Tauragės vėjo greičių matavimo stotys). Vėjo greičiai visoje likusioje Lietuvoje buvo įvertinti naudojantis ilgalaikiais hidrometeorologinių stočių vėjo greičių matavimais. Kadangi vėjo greičių matavimai yra viena iš sudėtinių hidrometeorologinių stočių atliekamų matavimų, šių stočių įrengimo vietos ne visada atitinka vėjo greičių matavimo vietoms keliamus reikalavimus (vietovės užstatymo, šiurkštumo ir t.t.). Visų nuo pajūrio nutolusių vietovių vyraujančių vėjų greičiai, turėtų būti daugiausia naudojami vertinant kaip greitai vėjo ištekliai mažėja tolstant nuo Baltijos jūros.



2 pav. Lietuvos vėjų atlasas[4]

(„The UNDP/GEF Regional Baltic Wind Energy Programme“; Risoe national Laboratory, Roskilde, Denmark; 27.10.2003).

Matome, kad geriausiai vėjo energijai išnaudoti tinka Lietuvos pajūrio zona, kur metiniai vidutiniai vėjo greičiai viršija 5,5 m/s. Šioje zonoje kiek išsiskiria vėjo greičių duomenys iš Šilutės hidrometeorologinės stoties, kuri įsiterpė tarp projekte naudotų vėjo greičių matavimo vietų Vilkyčiuose ir Tauragėje.[3]

1.3. VĖJO ELEKTRINIŲ INTEGRAVIMAS Į ELEKTROS TINKLĄ

Didelės galios vėjo turbinos, nepriklausomai nuo to, ar jos pastatytos sausumoje, ar atviroje jūroje, dirba sujungtos su vietiniais elektros tinklais ir visą pagamintą elektros energiją atiduoda į juos. Elektros tinklai yra susiję su elektros energijos vartotojais, kuriems būtina užtikrinti tiekiamos elektros energijos kokybę, taigi kelia tam tikrų reikalavimų ir elektros energijos, gaunamos iš vėjo elektrinių, kokybės parametrus.

Nuolatinis vėjo greičio svyravimas sukelia ir atitinkamus turbinos generatoriaus įtampos lygio svyravimus (flicker). Jeigu elektros tinklo, prie kurio prijungtos vėjo turbinos, nėra pakankamai didelis, tai gali atsiliiepti viso tinklo įtampos kokybei ir kartu kelti kai kurių sunkumų tiek buitiniams, tiek pramoniniams vartotojams. Siekiant išvengti šio reiškinių žalingų pasekmių, aukšto dažnio svyravimams slopinti naudojamos atitinkamos įtampos techninės slopinimo priemonės, tačiau žemesnių dažnių svyravimų išlyginimo ir galios balanso elektros tinkle uždavinys tenka įprastinėms elektrinėms, dirbančioms elektros tinklų sistemose.

Konkreči vėjo turbino jungimo į elektros tinklą schema priklauso nuo to, kokio tipo generatorius panaudotas vėjo turbinoje ir kokių turbino greičio režimu dirba pati turbina. Kaip žinoma, vėjo turbinoose naudojami sinchroniniai ir asinchroniniai elektros generatoriai. Asinchroniniai varikliai šiek tiek pranašesni už sinchroninius. Be to, jie pigesni, todėl ir naudojami 90% visų vėjo turbinų. Be to, dalis vėjo turbinų dirba stabilizuojant rotorius sukimosi dažniu, kita dalis stengiantis pasiekti aukštesnį vėjo energijos išnaudojimo efektyvumą, dirba kintamuoju sukimosi dažniu.

Stabilizuojant rotorius sukimosi dažniu dirbančios vėjo turbino jungiamos su tinklu tiesiogiai, naudojant individualų galios transformatorių, suderinantį turbino generatoriaus ir elektros tinklo įtampas. Daugumos didelės galios vėjo turbinų generatoriai dirba vardine 690 V įtampa. Tokių turbinų elektros generatoriai dirba sinchroniškai su elektros tinklu.

Tokiais atvejais transformatorius įtaisomas pačioje vėjo turbinoje, o tai savo ruožtu padidina turbino gabaritą. Vėjo turbinų parkuose kai kada statomas vienas galios transformatorius keletui turbinų prijungimo prie tinklo taške.[3]

Kai vėjo turbina dirba kintamuoju rotorius sukimosi dažniu, jos generatoriaus įtampos dažnis irgi yra nuolatos kintantis, ir tokia turbina negali būti įjungta į elektros tinklą tiesiogiai. Reikalinga tarpinė šiuos parametrus suderinanti grandis. Tokia grandis – tai įtampos keitiklis (inverteris).

Įtampos keitiklis vėjo turbino generatoriaus įtampą pirmiausia išlygina, po to išlygintą nuolatinę įtampą paverčia į kintamą įtampą, kurios dažnis atitinka elektros tinklo dažnį.

Naudojami įvairių tipų įtampos keitikliai. Keitiklis yra ganėtinai brangus įrenginys, ir jo naudojimas padidina turbinos kainą. Maža to, turbinas netiesiogiai jungiant į tinklą, tinklo įtampoje gali atsirasti aukštesnių harmonikų dedamųjų. Šios problemos išvengti padeda specialūs aukštesnių harmonikų filtrai.

Tačiau vėjo turbinos jungimas per įtampos keitiklį turi keletą privalumų, kurie atsveria trūkumus:

- Turbina gali dirbti kintamuoju greičiu, o tai leidžia geriau išnaudoti turbinos našumą;
- Leidžia sumažinti turbinos sukimosi dažnį esant mažiems vėjo greičiams ir tuo sumažinti triukšmo emisiją;
- Leidžia reguliuoti reaktyviąją galią, o tai labai svarbu silpname tinkle, ir kt.

Pastaraisiais metais vėjo energijos rinkoje netiesioginis jungimas, t.y. jungimas per įtampos keitiklį, naudotas tik turbinose su daugiapoliu generatoriumi ir neturinčiose tarpinės mechaninės pavaros (Firmos ENERCON E-82 – 2000kW galios vėjo turbinos). [3]

1.4. VĖJO ENERGETIKOS PRIJUNGIMO PRIE ELEKTROS TINKLŲ PROBLEMAS

Pagrindinės smulkiųjų generatorių veikimo problemos iškilo pradėjus masiškai statyti vėjo elektrines. Vėjo greičio kitimas, visiško vėjo nebuvimo periodai, nepastovi generuojama galia ir dažnai nepalanki tokių elektrinių prijungimo vieta elektros sistemai sukelia didelių prisitaikymo, režimų valdymo ir elektros kokybės užtikrinimo problemų. Tačiau net ir esant palankiai vėjo elektrinės prijungimo vietai galimos rimtos problemos energetikos sistemai. Visų pirma tai susiję su elektros energijos gamybos nepastovumu, kuris atitinkamai reikalauja elektros tinklų pralaidumo rezervo. Rezervai elektros tinklų pralaidumuose yra didelė prabanga, kadangi tai sąlygoja neefektyvią elektros tinklų statybą, neekonomišką elektros perdavimo ir paskirstymo linijų statybą, elektros tinklų infrastruktūros neefektyvumą.

Vėjo elektrinės taip pat turi didelę įtaką energetikos sistemos galių ir energijos balansui. Kol vėjo elektrinių kiekis energetikos sistemoje nėra labai didelis, vėjo elektrinių įtaka energetikos sistemai nėra reikšminga. Tačiau esant didesniam vėjo elektrinių kiekiui, sistemoje turi būti laikomi papildomi greiti rezervai elektrinėse ar naudojamos kitos priemonės energetikos sistemos balanso valdymui.

Atliktose įvairiose studijose, darbuose nurodoma labai skirtinga vėjo elektrinių suminė galia, kuri neturi įtakos energetikos sistemos balansui. Vėjo elektrinių suminė galia, kuri neturi įtakos energetikos sistemos balansui, svyruoja nuo 10% nuo poreikio galios iki 20 % metiniame energijos balanse. Pati mažiausia riba yra 10 % nuo suvartojamos galios, t.y. vėjo elektrinių suminė galia neturi viršyti 10% nuo suvartojamos galios. Pati didžiausia galima vėjo elektrinių suminė galia yra kuomet užduodama riba, kad vėjo elektrinių elektros energijos gamyba neturi viršyti 20 % energijos balanse. Nors šiuos ribos yra gan labai skirtingos, tačiau visos jos gali būti teisingos ir apsprendžiamos energetikos sistemos galimybėmis. Energetikos sistemose, kuriose yra didelis kiekis hidroelektrinių, veikiančių didelių šiluminių elektrinių, kuriose yra didelis kiekis greito rezervo, tose energetikos sistemose galima pastatyti daugiau vėjo elektrinių. Ir tose energetikos sistemose, kuriose yra galios rezervo trūkumas, kuriose nėra daug hidroelektrinių, tose energetikos sistemose galima pastatyti mažiau vėjo elektrinių. Lietuvos energetikos sistemoje yra ribotas greito rezervo dydis, nėra daug hidroelektrinių, tad vėjo elektrinių bendra galia turėtų būti apribota mažesne riba. Nors Lietuvos energetikos sistemoje yra didelė Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė, tačiau šios elektrinės pajėgumai pagrindinai naudojami atominės elektrinės rezervavimui. Uždarius atominę elektrinę, Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė galėtų veikti kaip greito galios rezervo

šaltinis. Kol kas galima riba gali būti – neviršijant 10 % nuo suvartojamos galios dydžio ar kad vėjo elektrinių bendra elektros energijos gamyba neturi viršyti 10 % energijos balanse.

Atsinaujinančiuosius energijos šaltinius plačiai panaudoti trukdo šie barjerai:

- 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.

- Taisyklių pritaikymas. Tinklų ir elektrinių operatoriai turi pertvarkyti rinkos taisykles (per paskatas, tarifus ir direktyvas) taip, kad padidėtų paskirstytųjų energijos rūšių naudojimo pelnas.

- 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?

- Įtakos perdavimo elektros tinklui įvertinimas. Kaip pagerinti dabar esančias perdavimo tinklo vadybos strategijas, kad plačiai dideliais kiekiais prijungti paskirstytieji generatoriai turėtų teikiamą poveikį perdavimo ir paskirstymo tinklų efektyvumo lygiams?

- Paskirstytojo generavimo sistemos. Kaip pabaigti paskirstyto generavimo sistemų (generatoriai, kaupikliai, prijungimas prie elektros tinklų ir informacijos ryšiai) prototipų tyrimus, kad šie kuo puikiau atitiktų energijos rinkos reikalavimus? [2].

1.5. MAŽŪJŲ GENERATORIŲ TECHNINIS POVEIKIS ELEKTROS TINKLUI IR VISAI SISTEMAI

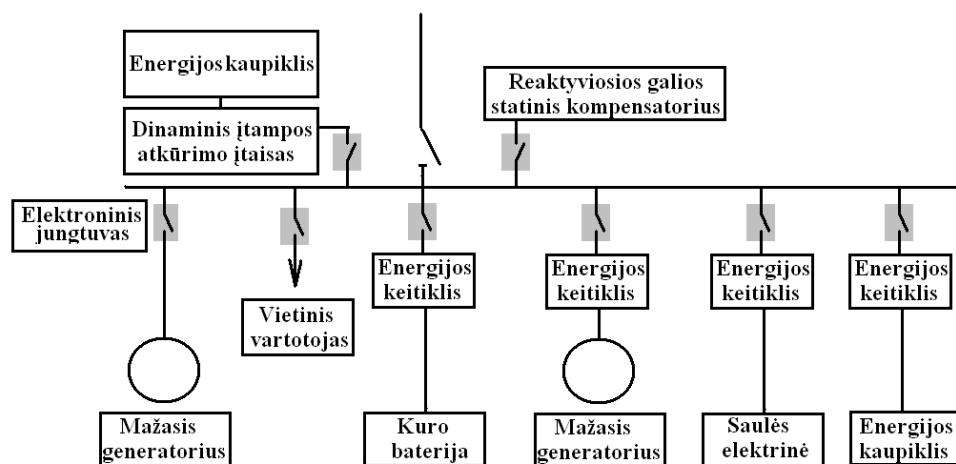
Mažųjų generatorių platus panaudojimas, įsisavinant atsinaujinančiosios energijos šaltinius ir diegiant iškasamo kuro taupymo priemones, labai įtakoja dabartinių elektros sistemų ir jas valdančių operatorių darbą. Šį poveikį įvertinti ir iš anksto pasiruošti yra labai svarbu, nes gali nukentėti elektros energijos vartotojai ar net sutrikti elektros sistema.

Kartu reikia atsiminti, kad norėdami kiek galima atpiginti atsinaujinančiųjų generatorių kainą, jų gamintojai dažnai priima rizikingus sprendimus, ir tokių gaminių patikimumas ir patvarumas gali būti nepakankami, o kartais paskelbtosios elektrinės savybės gali būti įgyvendintos tik pavyzdiniame egzemplioriuje. Todėl patikrinti, ar mažieji generatoriai atitinka jų kokybės ir kitus standartus taip pat būtina.

Pagrindinės smulkiųjų generatorių veikimo problemos iškilo pradėjus masiškai statyti vėjo elektrines. Vėjo greičio kitimas, visiško vėjo nebuvimo periodai, nepastovi išėjimo galia ir dažnai nepalanki tokių elektrinių prijungimo vieta elektros sistemai sukelia didelių prisitaikymo, režimų valdymo ir elektros kokybės užtikrinimo problemų.

1.5.1. Skirtingi techninės analizės uždavinių tipai

Naujų techninių priemonių ir mažųjų generatorių (keitiklių) prisotintas skirstomasis tinklas yra iš esmės naujas techninis objektas. Tai aktyvus, energetikos elektronikos įtaisų valdomas ir komutuojamas, elektros energijos generatorius ir vartotojas tuo pačiu metu. Skirstomojo tinklo elementas parodytas 3 paveiksle. Maitinančioji linija jungia mikrotinklą su tradicine elektros sistema.

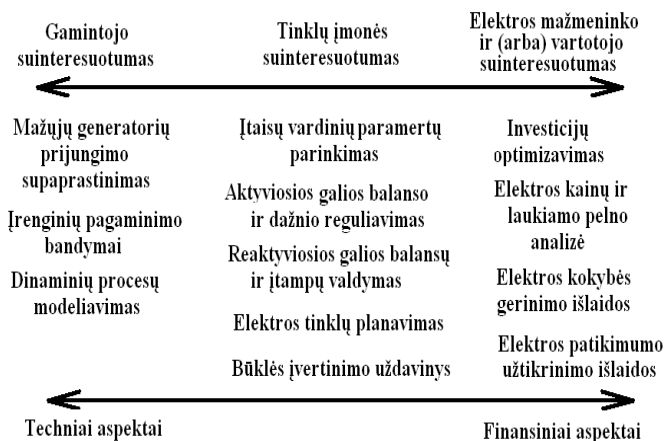


3 pav. Aktyvaus skirstomojo tinklo elementas – mikrotinklas[4]

Vienas tyrimų tipas yra atskirų mikrotinklo elementų pereinamųjų procesų: trumpojo jungimo srovių, statinio ir dinaminio stabilumo tyrimai. Šie tyrimai labai svarbūs įrenginių gamintojams – konstruojant ir gaminant mikrotinklo elementus: generatorius, keitiklius ir jungtuvus, reikia žinoti galinčių susidaryti viršįtampių ir viršsrovių ribas. Projektuojant ir eksploatuojant mažuosius generatorius ir jų keitiklius, reikia parinkti tam tikras sąlygas atitinkančius įrenginius.

Mažojo generatoriaus ir mikrotinklo savininko požiūriu reikia optimizuoti vienkartinis kapitalinius įdėjimus ir kasmetines eksploatacines išlaidas. Svarbus laukiamo pelno modelis ir jo dalys: patikimumo užtikrinimo, elektros kokybės gerinimo ir priežiūros darbų planavimo modeliai. [5]

Savarankiškai dirbantys paskirstytieji generatoriai, maitinantys vietinę apkrovą, yra labai svarbūs elektros sistemos darbo valdymo, planavimo ir būklės įvertinimo uždavinių atžvilgiu. Didėjant mažųjų generatorių suminei galiai, elektros sistemoje prasideda elektros linijomis tekančių srautų mažėjimas, kai paskirstytieji generatoriai veikia, ir staigus padidėjimas, kai šie neveikia. Taip pat keičiasi poreikis ir didėja švytavimai bei reguliavimo nuostoliai įprastinių generatorių įmonėse. Todėl trečią uždavinių tipą sudaro elektros sistemos režimų skaičiavimo ir planavimo bei valdymo uždaviniai. Uždavinių tipai vaizduojami 4 paveiksle.



4 pav. Skirtingų analizės tipų kategorijos[4]

Vadinasi elektros sistemos požiūriu stabilumo ir atsparumo viršsroviams skaičiavimai svarbūs tik tiek, kad mažieji generatoriai būtų pajėgūs atlaikyti avarinius ir poavarinius elektros tinklų režimus. Finansiniai uždaviniai svarbūs tik tiek, kiek šie atsako į elektros tinklo operatoriui svarbius finansinius klausimus. Pagrindinę tyrimų dalį sudaro tarpiniai uždaviniai, kurie nėra tokie smulkmeniškai, kaip stabilumo uždaviniai, ir nėra tiek apibendrinti, kaip finansiniai.

Prijungimo schemas tipai

Mažųjų generatorių prijungimo prie sistemos tinklų schemas parinkimas yra kompleksinis techninis ir saugos nuo elektros uždavinys. Paskirstytasis elektros generavimas labai praplečia su elektra profesionaliai turinčių reikalų žmonių ratą, kas sukelia papildomą elektros traumų pavojų. Todėl pirmoje vietoje yra elektros saugos užtikrinimas.

Visi mažieji generatoriai turi turėti aiškiai matomą nuo likusios elektros tinklo dalies izoliuojantį jungtuvą arba skyriklį. Šį reikalavimą palaiko didžioji dalis elektros bendrovių, tačiau yra išimčių labai mažos galios, ypač vienfazėms fotoelektrinėms, kurioms pakanka įprastinio išjungiklio. Mažąjį šaltinį izoliuojantysis skyriklis naudojamas generatorius remontuojant, o taip pat elektros linijų priežiūrai, kai darbuotojai atjungia visus įtampą į liniją paduodančius šaltinius, kad galėtų saugiai dirbti. 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.

Antras prijungimo schemoje dažnai reikalaujamas būti elementas yra skiriantysis transformatorius. Šiaip transformatorius taikomas dėl generatoriaus išėjimo ir elektros tinklo vardinės įtampų skirtumų. Daug, ypač labai mažos ir mažos galios šaltinių gali būti jungiami į žemosios įtampos tinklą tiesiai, nes įtampos sutampa. Už skiriantįjį transformatorių pasisako daug elektros bendrovių, o, pavyzdžiui, Niujorko valstijoje apmoka tokio transformatoriaus įrengimo išlaidas. Teigiama, kad skiriantysis transformatorius vieną gretimai esantį vartotoją ar mažojo šaltinio savininką apsaugo nuo kito šalia esančio vartotojo skleidžiamų harmoninių trikdžių bei sumažina galimą fazinę nesimetriją, nes yra daug paplitusių vienfazių šaltinių, pavyzdžiui, nedidelės galios vienfazių fotoelektrinių, kurias pagal daugelio bendrovių reikalavimus galima jungti į tinklą, jei jų galia neviršija 20% tos fazės apkrovos.[2].

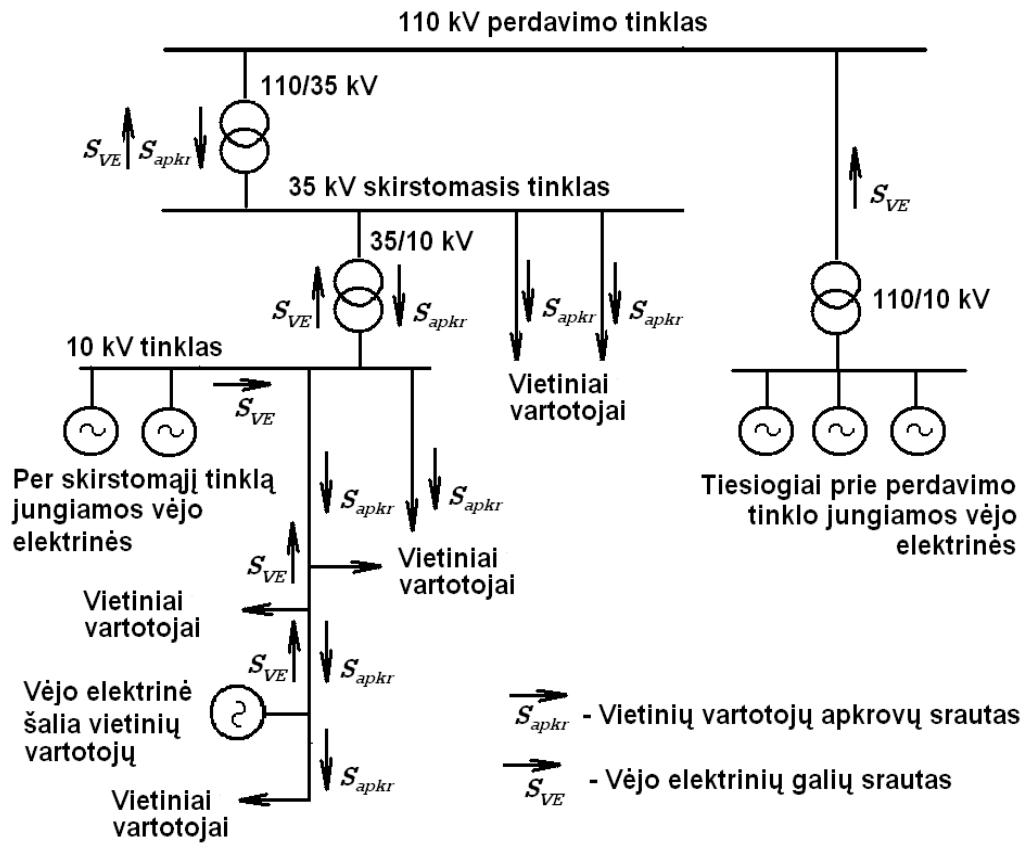
Lietuvoje visi mažieji generatoriai yra trifaziai, dažniausiai jungiami į 10 kV tinklą, todėl įtampą aukštinantysis transformatorius kartu yra ir skiriantysis. Tiesiogiai prie žemosios įtampos jungiamų generatorių atveju žemoji įtampa - žemoji įtampa skiriantysis transformatorius taip pat turėtų būti 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 apsaugoms įrengti ir dažnai yra pigesni.

Jei žemosios įtampos mažasis generatorius (pvz., kuro baterija, energijos kaupiklis ir pan.) prie elektros tinklo yra jungiamas per keitiklį, skiriantysis transformatorius kartu yra ir aukštinantysis, todėl prijungimo schemoje jis vis tiek yra.

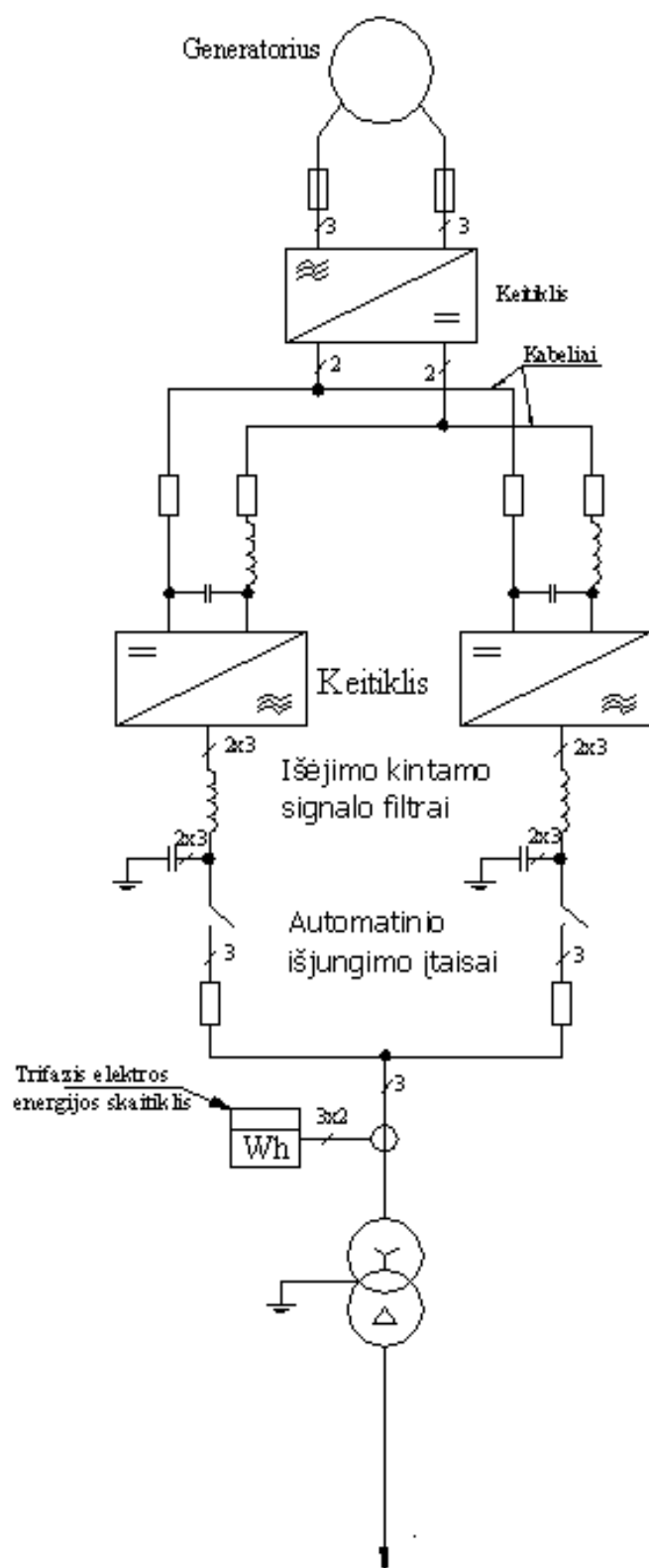
Trečias tipinis reikalavimas yra apsaugos nuo viršįtampių įtaiso buvimas, jei mažasis generatorius jungiamas prie oro linijos arba jei netoliese tokia linija yra. Viršįtampių ribotuvas kartu saugo mažąjį generatorių (keitiklį) ir nuo viršįtampių, kylančių perjungiant kondensatorių baterijas ar apkrovas, bei susidarančius tiristoriniuose keitikliuose. Ribotuvas saugo generatorių ir nuo oro linijomis sklindančių žaibo viršįtampių. Tada prijungimo sutartyse galima elektros tinklams palankiai sudaryti finansinės atsakomybės nuo tinklu keliaujančių atmosferinių viršįtampių skyrių. Ribotuvo įrengimas ir veikos tikrinimas turi būti atliekamas pagal elektros įrenginių įrengimo taisykles ir galiojančius Lietuvos standartus. Visi Lietuvos elektros įrengimo srities standartai yra perimtieji Europos standartai, todėl visoje Europoje taikomi tie patys elektros įrengimo reikalavimai.

Kiti reikalavimai yra jau susiję su prijungimo schemos eksploatavimu. Pirmiausia dažnai reikalaujama eksploatacijos pradžios tikrinimų. Šie gali būti labai paprasti, pavyzdžiui fotoelektrinės atveju reikia patikrinti ar ji prisijungia prie tinko ir ar atsijungia skiriančiuoju jungtuvu (skyrikliu, kirtikliu). Žymiai sudėtingesni įrenginio montavimo tikrinimai yra atliekami sinchroninių ar asinchroninių generatorių atvejais. Tikrinami prijungimo linijos parametrai (talpis, varža), apsaugų suderinamumas, įžeminimo schemų atitikimas projektuotoms, izoliuojančiųjų nuo sistemos įrenginių veikimas, viršįtampių ribotuvo veikos zona. Dažnai prijunginio schemos patikrą pavedama atlikti ir rezultatus aprašyti pačiam generatoriaus savininkui, arba kitai bendrovei.

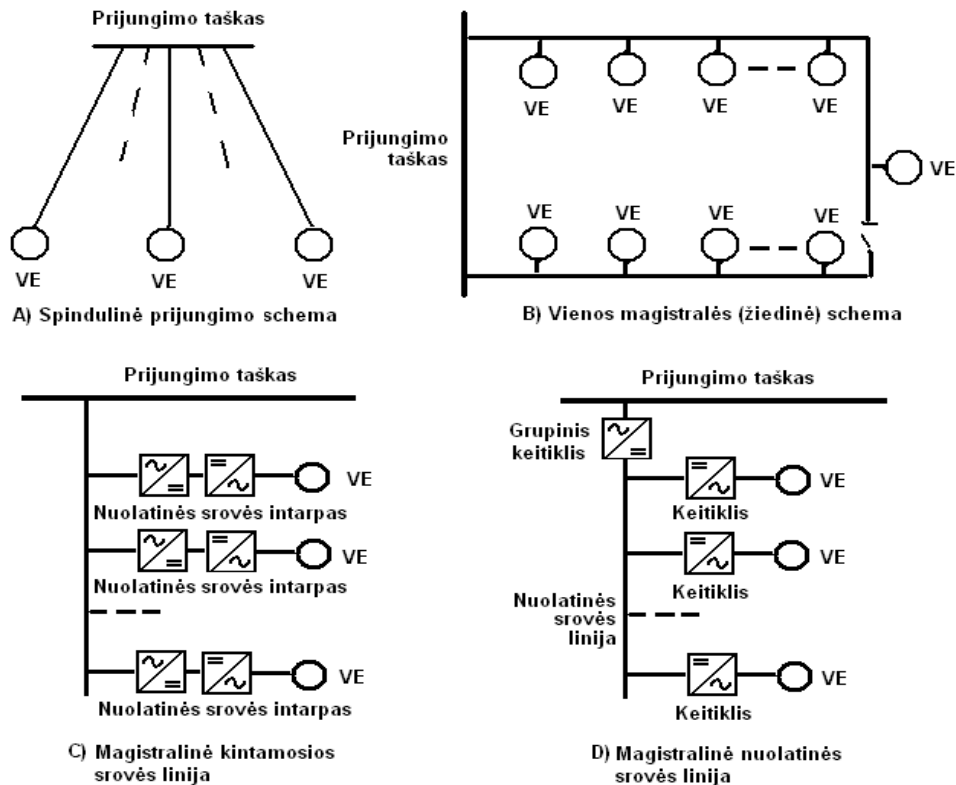
Daug elektros bendrovių reikalauja atlikti jau veikiančio ir prie elektros tinklo prijungto generatoriaus parametrų ir išėjimo dydžių matavimus. Dalis matavimų turi būti atliekami nuolat: generatoriaus pagamintas aktyviosios ir pagamintas ar suvartotas reaktyviosios energijos kiekiai ir išėjimo arba prijungimo taško įtampa, o nuo tam tikros galios generatoriams dar išėjimo galios (P ir Q). Epizodiškai reikalaujama matuoti harmoninius iškrypius, nesimetrijos lygį, įtampos svyravimo, sukeliančios apšvietos mirgėjimą, aštrumo rodiklius. Kartais dar papildomai reikalaujama epizodiškai tikrinti apsaugos priemonių suderinamumą, o energetikos priežiūros organizacijos – turėti ir visą laiką registruoti generatoriaus, kaip prie elektros tinklų prijungto elektros įrenginio, visus priežiūros ir remontų darbus. Kartu tai gera auklėjimo ir apsaugos nuo elektros sukeliama pavojų didinimo priemonė.[3]



5 pav. Vėjo elektrinių prijungimo prie elektros tinklo schemas[8].



6 pav. Vėjo elektrinės prijungimo schema[6].



7 pav. Vėjo elektrinių parko prijungimo prie elektros tinklo schemos

1.5.3. Sistemos reikalavimai vėjo elektrinių generatoriams

Elektros sistemos reikalavimai mažiesiems generatoriams keliami, nes reikia gesinti jų veikimo sukeltas konfliktines situacijas.

Skirstomieji tinklai buvo sukonstruoti ir ištobulinti 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 pasigaminą šilumą ir elektrą, patikimumo gerinimas, siekis dalyvauti elektros rinkoje ir pardavinėti papildomas paslaugas.

Sistemos reikalavimai mažiesiems generatoriams, kurių galia viršija 10 MW, sutampa su įprastinių elektros stočių generatoriams taikomais reikalavimais, todėl yra gerai dokumentuoti ir įteisinti [4]. Šie generatoriai paprastai jungiami tiesiai prie 110 kV įtampos pastočių, yra pritaikyti komerciniam elektros energijos generavimui ir atitinka sistemos generatoriams keliamus reikalavimus.

Tačiau lygiagrečiam darbui jungiant mažesnius (<10 MW) generatorius, ypač mažesnius už 2 MW generatorius, kurie paprastai buvo įrengti kaip rezerviniai generatoriai ir nebuvo pritaikyti bendram darbui su sistema, paprastai kyla daug problemų.

Iš karto susiduriama su darbo planavimo, elektros pirkimo ir pardavimo, aktyviosios ir reaktyvios galių balansavimo ir reguliavimo problemomis, keičiasi elektros tinklo relinių apsaugų darbo nustatymai ir net veikimo principai.

Jau vien tai, kad pasikeičia srautų tekėjimo kryptys, elektros tiekimo struktūroje sukelia didžiulius prieštaravimus. Kartu pasikeičia trumpųjų jungimų viršsrovių kryptys ir tenka tobulinti apsaugas nuo viršsrovių – pridėti kryptines apsaugas. Padidėjęs apsaugų kiekis ir sudėtingumas mažina buvusį elektros tiekimo apsaugų patikimumą.

Pasikeičia talpiųjų ir induktyviųjų elementų santykis ir susidaro ferorezonansams susidaryti palankios galimybės. Rezonuojant susidaro viršįtampiai ir genda įrenginiai. Paprastai yra pramušama įtampos transformatoriaus apvijų izoliacija.

Paties mažojo generatoriaus pastatymo vieta dažnai yra toli nuo skirstomojo tinklo pastotės, o yra pramonės įmonėje, kuri paprastai yra ir generatoriaus savininkas. Keisti pastatymo vietos negalima, nes įmonei dar reikia šilumos ar karšto garo. Pats ekonomiškiausias sprendimas tokiu atveju yra papildomas elektros kogeneravimas, kai kuras iš pradžių yra deginamas turbinoje, kuri suka elektros generatorių, o susidariusi šiluma naudojama įmonės technologiniame procese. Kitas atvejis yra, kai generatorius buvo statomas dėl elektros tiekimo patikimumo ir buvo skirtas maitinti svarbius vartotojus elektros tinklo gedimo atvejais. [2]

1.5.3.1. 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 +10 %, sutampa su Europoje standartiniais nuokrypiais. 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. Nusistovėjusio režimo įtampa gali būti ribojantis veiksnys, nusakantis didžiausią prijungiamų mažųjų generatorių elektrinių kiekį konkrečioje teritorijoje.

Nusistovėjusios režimo įtampos reikalavimai kai kuriose ES elektros sistemose 1 lentelė

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

1.5.3.2 Staigieji 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, sukeliantis elektrinės apšvietos mirgėjimą (angl. *flicker*). Mirgėjimas – vizualus svyravimo įspūdis, sukeltas šviesos šaltinio, kurio šviesumas arba spektrinė sudėtis kinta laike (TEŽ 161-08-13). 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 (*UIE-IEC*) 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. [7].

Staigiųjų įtampos pokyčių ir mirgėjimo reikalavimai

kai kuriose ES elektros sistemose

2 lentelė.

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} AI	-	-	-	-	0,6	-
Maks. P_{st} AI	-	-	-	-	0,8	-
Amplitudė						$\Delta U \leq 1\%$
Maks. Δu_{st} ŽĮ	-	-	3%	-	-	-
Maks. Δu_{st} VĮ	-	-	2%	-	-	-
Maks. Δu_{st} AI	-	-	-	-	-	-

1.6.3.3 Harmonikos

Žemosios ir vidutinės įtampos tinkluose įprastinėmis veikos sąlygomis kiekvienos savaitės visų 10 min. trukmės intervalų kiekvienos harmonikos vidutinių kvadratinių verčių 95 % vidurkių atvejais turi neviršyti 5.3 lentelėje nurodytųjų verčių. Rezonansas gali padidinti atskiras harmonines įtampas. Vis tik tiekiamosios įtampos netiesinis iškreipimų faktorius (*NIF*, angl. *THD*) turi būti mažesnis arba lygus 8 %, įskaitant visas harmonikas iki 40 eilės, nes dabar jau 40 eilės harmonika yra sutartinė riba (buvo 25-tos).

Iki 40 eilės harmoninių įtampų vertės tiekimo taškuose procentais 3 lentelė

Nelyginės harmonikos				Lyginės harmonikos	
Nekartotinės 3		Kartotinės 3			
Eilė h	Santykinė įtampa, %	Eilė h	Santykinė įtampa, %	Eilė h	Santykinė įtampa, %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6..40	0,5
13	3	iki 39	0,5		
17	2				
23	1,5				
iki 37	1,5				

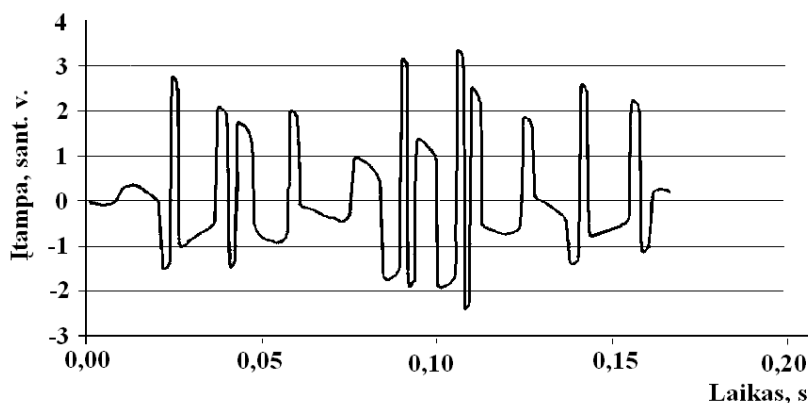
Harmonikas gali skleisti visi netiesines darbo charakteristikas turintys elektros imtuvai: liumunescensinės lempos, variklių pavarų keitikliai, tiristoriniai dažnio apgręžikliai be filtrų ir kita panaši įranga. Šie įrenginiai persijungia vieną kartą per pusperiodį ir todėl generuoja didelius kiekius žemesnės eilės harmonikų. Dabar dažniausiai naudojami naujesni tranzistoriniai įrenginiai, pvz. daugumoje kintamo greičio vėjo turbinų, kuriuose yra naudojamas impulsų pločio moduliavimas. Įrenginys vieno periodo metu persijungia daug kartų ir dažniausiai pradeda generuoti harmonikas ties 2 kHz riba. Harmonikų dydis yra mažesnis, o jų dažnis aukštesnis, todėl jos yra lengviau nufiltruojamos negu žemesnės eilės harmonikos, o patys filtrai yra mažesnių gabaritų.

Ribinis leistinasis įtampos netiesinis iškreipimų faktorius NIF turi būti mažesnis arba lygus 8 % vidutinės įtampos tinkle. Planuojant tolesnį sistemos tinklų vystymą, užduodamas projektinis lygis, kuris yra mažesnis už ribinį, ir yra 6,5 % vidutinės ir 3 % aukštos įtampos tinkle. Harmonikų lygio mažinimas yra rimta investicija į ateitį, nors leidžia tiksliau matuoti elektros energijos kiekius ir mažinti elektros energijos sąnaudas tinkluose.[4]

1.6.3.3 Ferorezonansas

Ferorezonanso reiškinys yra dažnas 10 ir 35 kV tinkluose, kai dalis tinklo yra oro linijos, o dalis – kabelinės atšakos, maitinančius vartotojus. Paskirstytasis generatorius čia būtų tik vienas iš sutelktųjų induktyviųjų varžų. Kita ferorezonanso vieta – 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 – savaimė nuslopinti. Tačiau jei lieka įmagnetintas transformatorius, skirstomasis tinklas su įtampa, o vartotojai atsijungia – virpesiai stipriai padidėja.

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 silpnusia, 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. [2]



8 pav. Ferorezonanso sukelti viršįtampiai skirstomajame tinkle

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, prijungtam 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.

Lietuviškose elektros įrenginių įrengimo taisyklėse apie vidutinės, o ypač apie žemosios įtampos paskirstytuosius mažuosius generatorius nekalbama.

Įžeminimo ir generatorių atskiriančiojo transformatoriaus varžos yra svarbios, taip pat susidarant aukštesniosioms, ypač trečiajai - harmonikoms. Išėjis – parinkti tik transformatorių, kurio viena apvija būtų sujungta trikampiui ir gesintų 10 kV tinkle nereikalingas harmonikas, o

generatoriaus apviją jungti žvaigžde su įžemintu neutraliuoju tašku. Transformatoriaus santykinė varža turi būti pakankamai didelė. Jei įžemėjimo srovės generatoriaus grandinėje vis tiek gaunasi per didelės, į neutralę reikia įjungti nedidelės varžos reaktorių, kuris kartu būtų ir 3 harmoniką slopinantis filtras. Stipriai padidėjusi neutralės srovė, senajam rezerviniam generatoriui pradėjus dirbti lygiagrečiai su elektros tinklu, būna didelis netikėtumas įmonės elektrikams. Net kartais šis laidininkas sudega.

Viena iš pagrindinių priežasčių mažajam generatoriui pradėti dirbti lygiagrečiai su elektros tinklu yra siekis užtikrinti nepertraukiamą kompiuterių apkrovos maitinimą, laikinai ar ilgam nutrūkus maitinimui iš skirstomojo tinklo pusės.



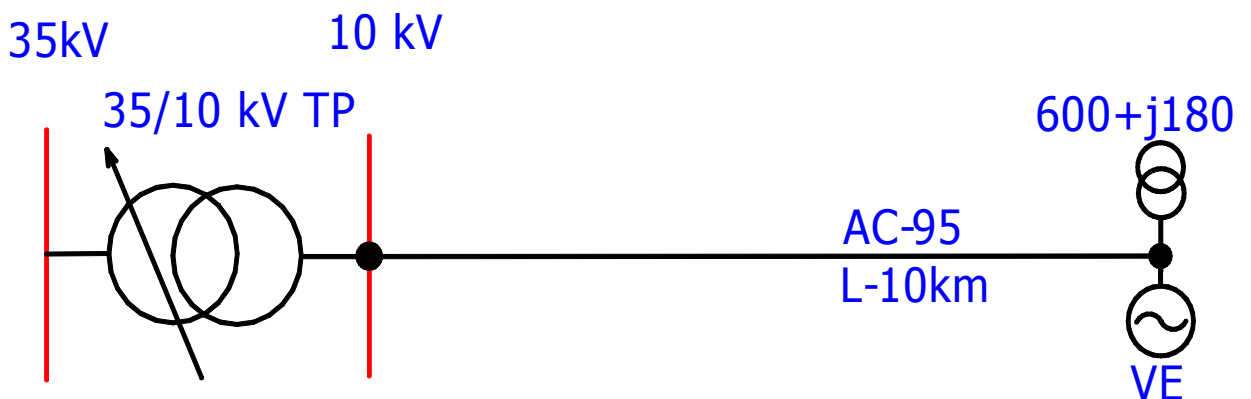
9 pav. Vėjo elektrinės prijungimas skirstomojo tinklo maitinančiosios linijos gale[9].

9 paveikslėlyje parodytoje linijoje veikia keli sekcionuojantys jungtuvai, kurių paprastai kiekvienas turi automatinio kartotinio jungimo (AKĮ) savybę. Susidaro sudėtingas kartotinio įjungimo laikų ir delsų parinkimo uždavinys. Generatoriaus įmonė nori sumažinti, pavyzdžiui, kompiuterių maitinimo pertraukos laiką iki minimumo, todėl ji delsos netaiko. Tai savo ruožtu labai apsunkina lankų gesimus likusiame tinkle ir susidaro nesėkmingo AKĮ tikimybė. Išėitis – koordinuoti įjunginių delsas, arba taikyti sudėtingesnius dvigubo kartojimo įrenginius. Vietoje izoliuojančiojo skyriklio statyti galios skyriklį su vienfaziais saugikliais būtų klaida, nes vienos fazės saugikliui perdegus susidarytų palankios sąlygos ferorezonansui susidaryti.

Patys prijungimo schemas 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.[3]

2. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PRIJUNGIMO PRIE SKIRSTOMOJO ELEKTOS TINKLO SKAIČIAVIMAS

2.1. PRIJUNGIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS, ATSIŽVELGIANT Į TINKLO PARAMETRUS



10 pav. Vėjo elektrinės prijungimo prie skirstomojo tinklo schema.

$$R_{12} = L_{12} \cdot r_0; \quad (2.1)$$

$$X_{12} = L_{12} \cdot x_0; \quad (2.2)$$

Apskaičiuojame linijos varžas. Skaičiavimų duomenis pateikiu 4 lentelėje

Oro linijų laidai ir jų parametrai

4 lentelė

Eil. Nr.	Ilgis, km	Laido markė	r_0 , Ω/km	R , Ω	x_0 , Ω/km	X , Ω
1	10	AC-35	0,85	8,5	0,454	4,54
2		AC-50	0,588	5,88	0,448	4,48
3		AC-70	0,42	4,2	0,441	4,41
4		AC-95	0,299	2,99	0,43	4,3
5		AC-120	0,245	2,45	0,413	4,13
6		AC-150	0,198	1,98	0,409	4,09

Laidininkų aktyviosios ir reaktyviosios varžos parenkamos iš literatūros. Įtampos nuostoliai negali viršyti 10 % normaliaame režime ir 15 % avariniame režime. [1]

Skaičiuojame įtampos nuostolius:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_N}, \quad (2.3)$$

$$\Delta U = \frac{1000 \cdot 4.6 + 300 \cdot 4.08}{10} = -179.64 \text{ V};$$

Įtampos kritimas prijungimo taškuose apskaičiuojamas pagal (2.4) formulę:

$$U_2 = U_s - \Delta U_2 \quad (2.4)$$

$$U_2 = U_s - \Delta U_2 = 10500 - 89,82 = 10410 \text{ V};$$

Įtampos kritimas procentais prijungimo taškuose apskaičiuojamas pagal (2.5) formulę:

$$\Delta U_{\%} = -\frac{(U_N - U_2)}{U_N} \cdot 100\%; \quad (2.5)$$

$$\Delta U_{2,\%} = -\frac{(10000 - 10410)}{10000} \cdot 100\% = -4.1\%;$$

Analogiškai įtampos nuostolius paskaičiuojame, esant įvairiems apkrovimams, nekeičiant linijos ilgio ir laido storio, duomenis surašome į 5 - 10 lenteles.

Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške,

kai laido skerspjūvio plotas 35 mm², linijos ilgis 10 km

5 lentelė

VE galia, kW	ΔU, V, kai režimas P _{var} =min; P _{VE} =max	U,V, kai režimas P _{var} =min; P _{VE} =max	ΔU, %
400	-394,48	10894,5	8,9448
500	-493,1	10993,1	9,931
600	-591,72	11091,7	10,9172
700	-690,34	11190,3	11,9034
1000	-986,2	11486,2	14,862
1500	-1479,3	11979,3	19,793
2000	-1972,4	12472,4	24,724

Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške,

kai laido skerspjūvio plotas 50 mm², linijos ilgis 10 km

6 lentelė

VE galia, kW	ΔU, V, kai režimas P _{var} =min; P _{VE} =max	U,V, kai režimas P _{var} =min; P _{VE} =max	ΔU, %
400	-288,96	10789	7,8896
500	-361,2	10861	8,612
600	-433,44	10933	9,3344
700	-505,68	11006	10,0568
1000	-722,4	11222	12,224
1500	-1083,6	11584	15,836
2000	-1444,8	11945	19,448

Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške,

kai laido skerspjūvio plotas 70 mm², linijos ilgis 10 km

7 lentelė

VE galia, kW	ΔU, V, kai režimas P _{var} =min; P _{VE} =max	U,V, kai režimas P _{var} =min; P _{VE} =max	ΔU, %
-----------------	---	---	-------

400	-220,92	10720,9	7,2092
500	-276,15	10776,2	7,7615
600	-331,38	10831,4	8,3138
700	-386,61	10886,6	8,8661
1000	-552,3	11052,3	10,523
1500	-828,45	11328,5	13,2845
2000	-1104,6	11604,6	16,046

Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške,
kai laido skerspjūvio plotas 95 mm², linijos ilgis 10 km 8 lentelė

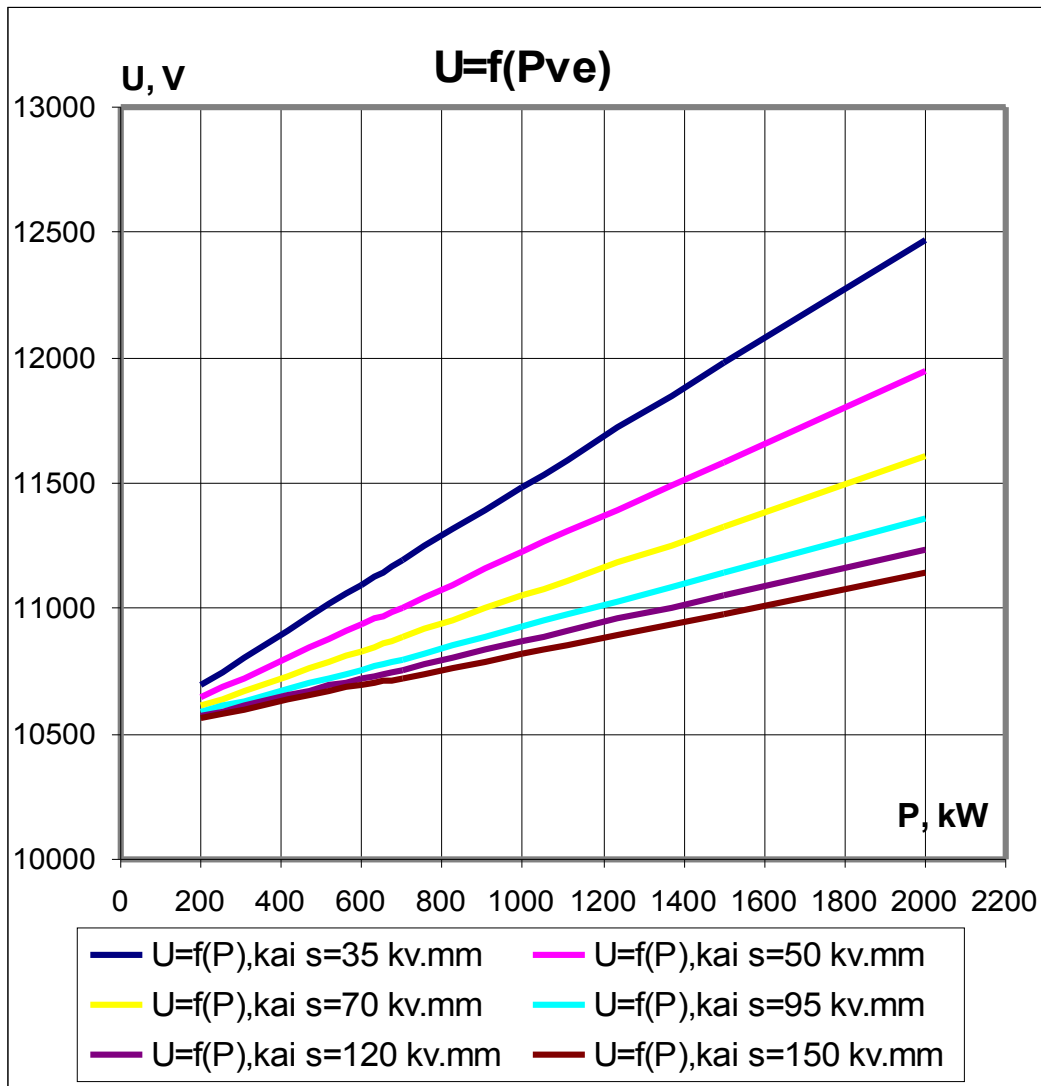
VE galia, kW	ΔU, V, kai režimas P_{var}=min; P_{VE}=max	U,V, kai režimas P_{var}=min; P_{VE}=max	ΔU, %
400	-171,2	10671,2	6,712
500	-214	10714	7,14
600	-256,8	10756,8	7,568
700	-299,6	10799,6	7,996
1000	-428	10928	9,28
1500	-642	11142	11,42
2000	-856	11356	13,56

Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške,
kai laido skerspjūvio plotas 120 mm², linijos ilgis 10 km 9 lentelė

VE galia, kW	ΔU, V, kai režimas P_{var}=min; P_{VE}=max	U,V, kai režimas P_{var}=min; P_{VE}=max	ΔU, %
400	-147,56	10647,6	6,4756
500	-184,45	10684,5	6,8445
600	-221,34	10721,3	7,2134
700	-258,23	10758,2	7,5823
1000	-368,9	10868,9	8,689
1500	-553,35	11053,4	10,5335
2000	-737,8	11237,8	12,378

Įtampos nuostoliai ir kritimas VE prijungimo taške,
kai laido skerspjūvio plotas 150 mm², linijos ilgis 10 km 10 lentelė

VE galia, kW	ΔU, V, kai režimas P_{var}=min; P_{VE}=max	U,V, kai režimas P_{var}=min; P_{VE}=max	ΔU, %
400	-128,28	10628,3	6,2828
500	-160,35	10660,4	6,6035
600	-192,42	10692,4	6,9242
700	-224,49	10724,5	7,2449
1000	-320,7	10820,7	8,207
1500	-481,05	10981,1	9,8105
2000	-641,4	11141,4	11,414



o

11 pav. Įtampos priklausomybė nuo VE galios. Linijos ilgis 10 km.

Visą šį skaičiavimo algoritmą perkėliau į Microsoft Office Excel programą. Pavyko padaryti labai patogią programą-skaičiuoklę VE ar VEP prijungimui prie elektros tinklo pasirinktame taške patikrinti. Programoje-skaičiuoklėje, keičiant tinklo parametrus, iš karto gaunami duomenys ir nubraižomi grafikai (11 pav.), iš kurių galima spręsti, kokia galimybė pasirinktame taške prijungti pasirinktos galios vėjo elektrinę ar jū parką. Ši programa labai patogi projektuotojams, pradiniam ir pagreitintam VE ar VEP prie elektros tinklo galimybių patikrinimui.

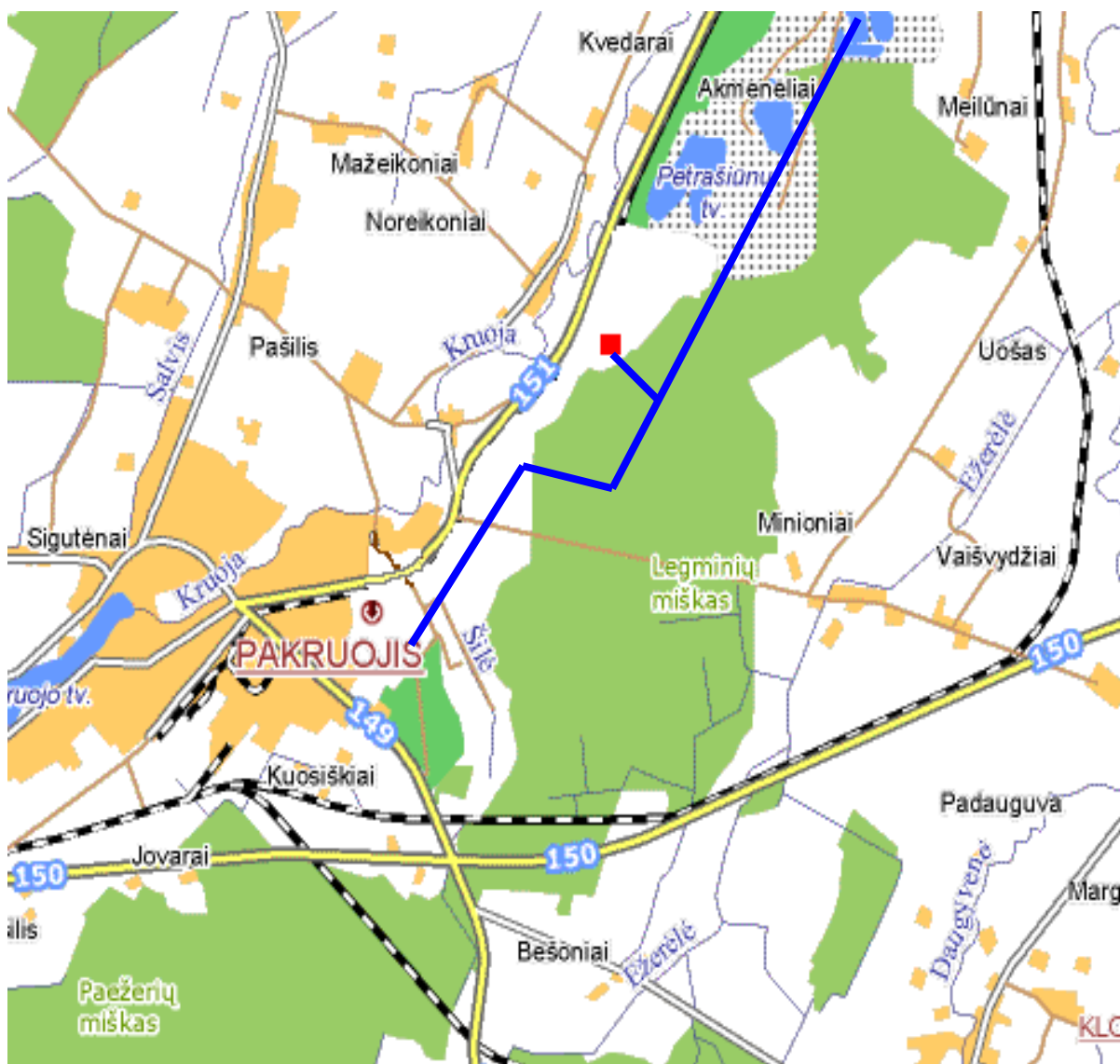
12 pav. pavaizduota Excel pagrindu mano padaryta programa-skaičiuoklė. Į geltonos spalvos langelius yra įrašomi pasirinkto tinklo parametrai: įtampa, linijos ilgis, apkrova, šaltinio įtampa, ir

programa-skaiciuokle iš karto paskaičiuoja įtampas prijungimo taške. Rezultatai gaunami mėlynuose langeliuose. Remiantis šiais rezultatai Excel programa nubraižo grafiką (11 pav.), iš kurio aiškiai matyti, ar yra galimybė pasirinktame taške prijungti vėjo elektrinę ar jų parką.

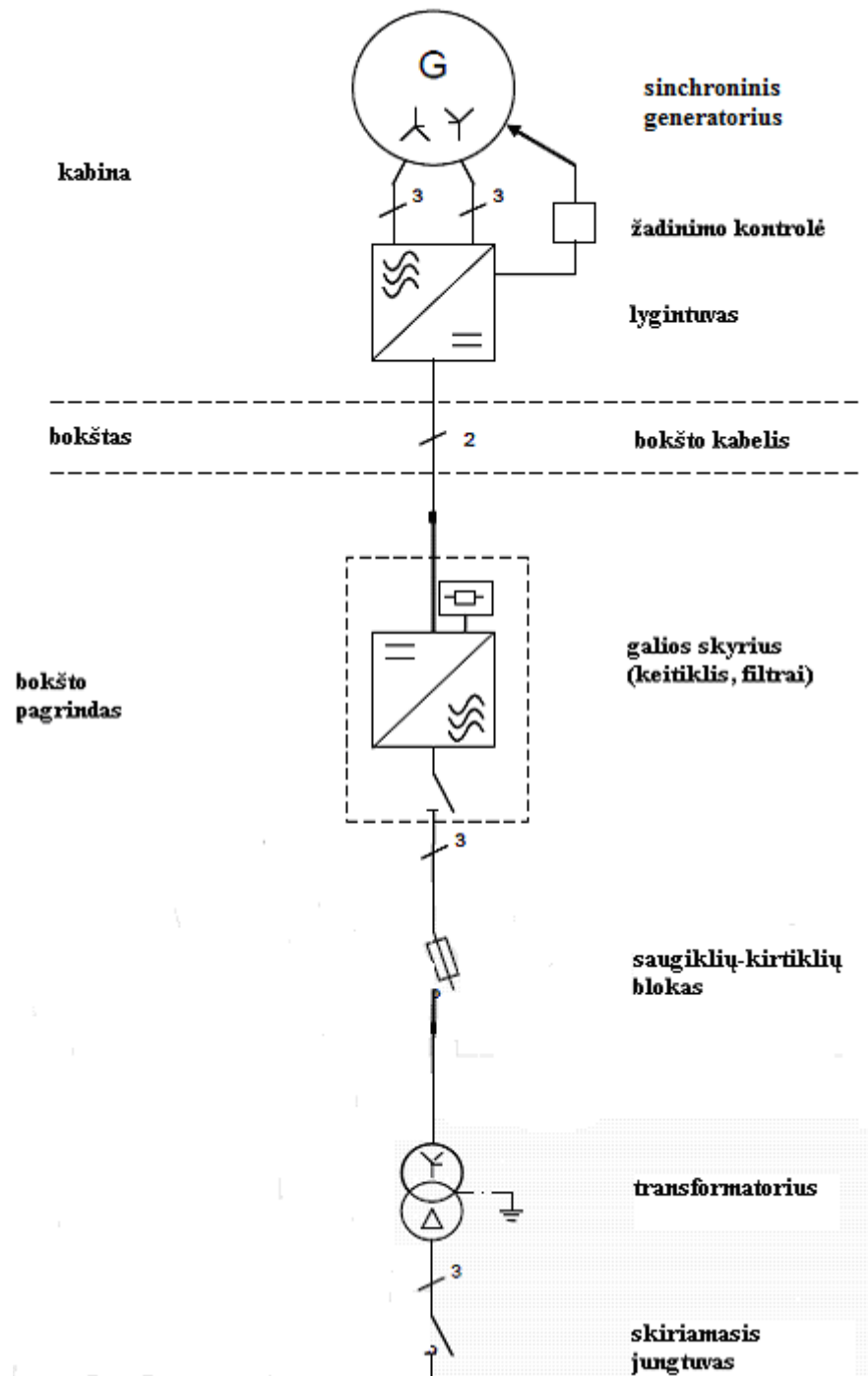
Un, kV	10	Uš, V	10500				
L, km	1	Pvart.	100				
Pve, kW	0	500	800	1000	1500	2000	6000
35 mm ²	10492,776	10528,896	10550,568	10565,016	10601,136	10637,256	11081,858
50 mm ²	10492,776	10528,896	10550,568	10565,016	10601,136	10637,256	10926,216
70 mm ²	10494,477	10522,092	10538,661	10549,707	10577,322	10604,937	10825,857
95 mm ²	10495,72	10517,12	10529,96	10538,52	10559,92	10581,32	10752,52
120 mm ²	10496,311	10514,756	10525,823	10533,201	10551,646	10570,091	10717,651
150 mm ²	10496,793	10512,828	10522,449	10528,863	10544,898	10560,933	10689,213

12 pav. Excel pagrindu padarytos programos skaičiavimų lentelė.

2.2. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PAKRUOJO RAJONE PRIJUNGIMO PRIE ESAMO 35 kV ELEKTROS TINKLO GALIMYBIŲ SKAIČIAVIMAS



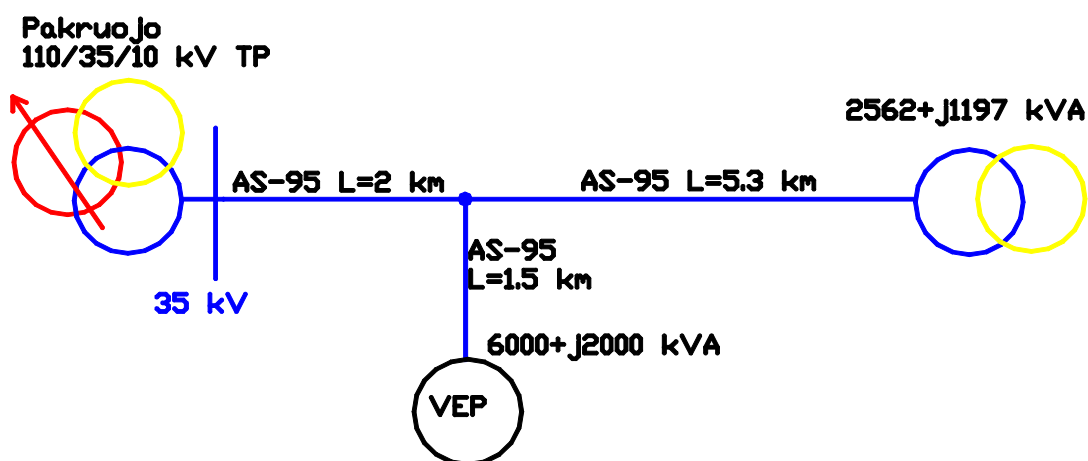
13 pav. VEP prijungimo prie skirstomojo tinklo žemėlapis



14 pav. Vėjo elektrinės schema.

2.2.1. AKTYVIŲJŲ IR REAKTYVIŲJŲ GALIŲ BALANSO SKAIČIAVIMAS

15 pav. pavaizduotame vėjo elektrinių parke patikrinsiu 3 vėjo elektrinių Enercon E-82, kurių kiekvienos generatoriaus galia po 2000 kW prijungimo galimybę pasirinktame tinklo taške. Vėjo elektrinės vėjaratį sudaro 3 mentės, jų ilgis 41 m, vėjaračio skersmuo apie 82 m, plotas 5,281 m², ašis įtaisyta 100 m. aukštyje. Atsijungia, esant 28 – 32 m/s vėjui. Vėjo elektrinių parkas prijungiamas prie 35 kV tinklo per 35/10 kV TP su 10 MVA transformatoriumi[10].



15 pav. Vėjo elektrinės prijungimo prie esamo 35 kV elektros tinklo schema.

Vartotojų aktyviosios ir reaktyviosios galios pasirenkamos, kai $P=\max$ ir kai $P=\min$:

Vartotojų didžiausia galia:

$$S_{\max} = 2562 + j1197 \text{ kVA}$$

Vartotojų mažiausia galia:

$$S_{\min} = 1512 + j861$$

Vėjo elektrinių parko generuojamoji galia:

$$P_{0,2\Sigma} = \sum_{i=1}^{N_{VE}} P_{n,i} + \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{VE}} (P_{0,2i} - P_{n,i})^2}; \quad (2.2.1)$$

$$(2.2.2)$$

$$Q_{0,2\Sigma} = \sum_{i=1}^{N_{VE}} Q_{n,i} + \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{VE}} (Q_{0,2i} - Q_{n,i})^2}.$$

čia: N_{VE} – vėjo elektrinių, kurių galia sudedama, skaičius,

P_n ir Q_n – vėjo elektrinės generuojamos aktyvioji ir reaktyvioji galios,

$P_{0,2}$ ir $Q_{0,2}$ – vėjo elektrinės generuojamos aktyvioji ir reaktyvioji galios per 0,2 s trukmės intervalą.

Pirmas režimas.

Vėjo elektrinė galios negeneruoja, vartotojai vartoja maksimaliai: $P_{VE}=0$; $P_{var}=max$;

$$S_{max} = 2562 + j1197 \text{ kVA}$$

Antras režimas: $P_{VE}=max$; $P=min$;

Vėjo elektrinė maksimaliai generuoja galią, vartotojai vartoja minimaliai: $P_{VE}=max$; $P_{var}=min$;

$$S_{min} = S_{min \text{ v.}} - S_{VEP} = 1512 + j861 - 6000 - j2000 = -4488 - j1139 \text{ kVA};$$

2.2.2. ĮTAMPOS REŽIMŲ SKAIČIAVIMAS

$$R_{12} = L_{12} \cdot r_0; \quad (2.2.2.1)$$

$$X_{12} = L_{12} \cdot x_0; \quad (2.2.2.2)$$

Analogiškai apskaičiuojame visų linijų atkarpų varžas. Skaičiavimų duomenis pateikiu 11 lentelėje

Oro linijų laidai ir jų parametrai 11 lentelė

Linija	Ilgis, km	Laido markė	r_0 , Ω/km	R, Ω	x_0 , Ω/km	X, Ω
1-2	2	AC-95	0,33	0,66	0,397	0,8
2-3	5,3	AC-95	0,33	1,75	0,397	2,11
2-4	1,5	AC-50	0,588	0,882	0,488	0,732

Laidininkų aktyviosios ir reaktyviosios varžos parenkamos iš [9] pateikiamų lentelių.

Įtampos nuostoliai negali viršyti 10 % normaliaame režime ir 15 % avariniame režime. Skaičiuojame įtampos nuostolius

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_N}, \quad (2.2.2.3)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100\%, \quad (2.2.2.4)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{U_N} = \frac{2562 \cdot 0,66 + 1197 \cdot 0,8}{35} = 75,67 \text{ V};$$

Analogiškai įtampos nuostolius paskaičiuojame kiekvienai linijos atkarpai, duomenis surašome į 12 lentelę.

Įtampos nuostoliai linijos atkarpose 12 lentelė

Linija	Rėžimas	Rėžimas
	$P_{\text{vart}}=\text{max}; P_{\text{VE}}=0$	$P_{\text{vart}}=\text{min}; P_{\text{VE}}=\text{max}$
$\Delta U_{12}, \text{ V}$	75,67	110,66
$\Delta U_{23}, \text{ V}$	200,26	127,5
$\Delta U_{24}, \text{ V}$	0	193

Įtampos kritimas prijungimo taškuose apskaičiuojamas pagal (2.2.2.5) formulę:

$$U_2 = U_s - \Delta U_{12} \quad (2.2.2.5)$$

$$U_2 = U_s - \Delta U_{12} = 35000 - 75,67 = 34924,33 \text{ V};$$

Įtampos kritimas procentais prijungimo taškuose apskaičiuojamas pagal (2.2.2.6) formulę:

$$\Delta U_{\%} = \frac{(U_N - U_2)}{U_N} \cdot 100\%; \quad (2.2.2.6)$$

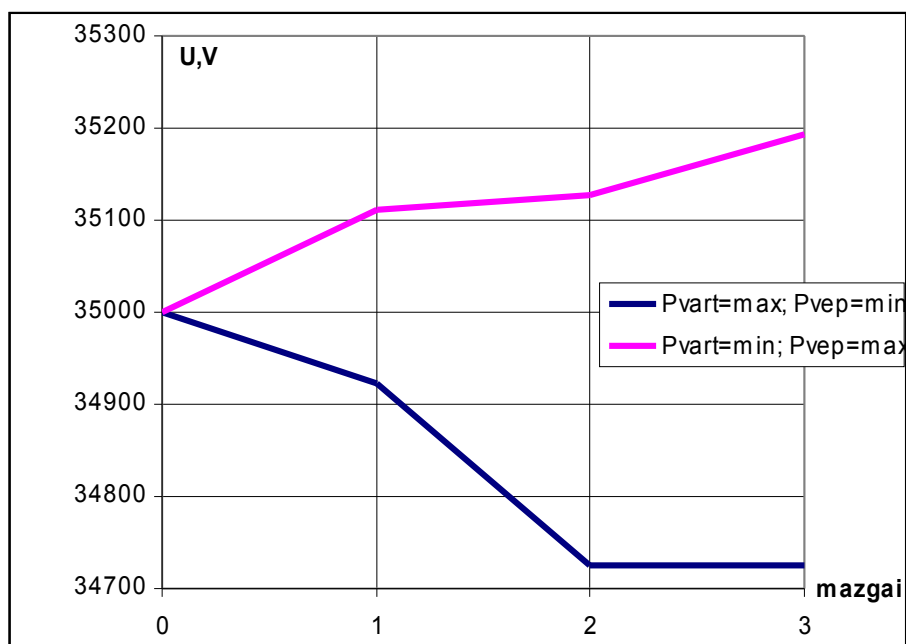
$$\Delta U_{2,\%} = \frac{(35000 - 34924.33)}{35000} \cdot 100\% = 0.22\%$$

Skaičiavimo duomenys pateikti lentelėje, o įtampos kitimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{vart}}=\text{max}$; $P_{\text{VEP}}=0$, pavaizduotas 16 pav.

Įtampų skaičiavimas prijungimo taškuose

13 lentelė

Vartotojas	Rėžimas $P_{\text{vart}}=\text{max}$; $P_{\text{VE}}=0$		Rėžimas $P_{\text{vart}}=\text{min}$; $P_{\text{VE}}=\text{max}$	
	U, V	$\Delta U, \%$	U, V	$\Delta U, \%$
Prijungimo taškas 2	34922	0,22	35110,66	0,32
Prijungimo taškas 3	34724,07	0,79	35127,5	0,36
Prijungimo taškas 4	34724,07	0	35193	0,55



16 pav. Įtampos kitimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{vart}}=\text{max}$; $P_{\text{VEP}}=0$

2.2.3. ELEKTROS KOKYBĖS PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS

Aktyviosios ir reaktyviosios varžos randamos iš 11 lentelės

Apskaičiuojame sistemos varžas vėjo elektrinės prijungimo taške 4:

$$R_{sum4}=R_{12}+R_{24}; \quad (2.2.3.1)$$

$$R_{sum4}=0,66+0,882=1,542 \Omega;$$

$$X_{sum4}=X_{12}+X_{24}; \quad (2.2.3.2)$$

$$X_{sum4}=0,8+0,732=1,532 \Omega.$$

Duomenis surašome į 3.1 lentelę.

Skaičiuojame sistemos varžos kampą VE prijungimo taške 4 pagal 2.2.3.3 formulę:

$$\varphi = \arctg \frac{X_{sum}}{R_{sum}}; \quad (2.2.3.3)$$

$$\varphi_7 = \arctg \frac{1,532}{1,542} = 44,88^\circ.$$

Duomenis surašome į 3.1 lentelę.

Skaičiuojame pilnąją atkarpos 1-4 varžą:

$$Z_{14} = \sqrt{R_{sum4}^2 + X_{sum4}^2}; \quad (2.2.3.4)$$

$$Z_{14} = \sqrt{1,542^2 + 1,532^2} = 2,173 \Omega.$$

Duomenis surašome į 3.1. lentelę.

Trumpojo jungimo srovė 1, 2, 3, 4 taškuose apskaičiuojama pagal 3.5 formulę:

$$I_{t.j.} = \frac{U_N}{Z_L + Z_{TR}}; \quad (2.2.3.5)$$

čia U_N – nominali įtampa,

Z_L – linijos pilnoji varža,

Z_{TR} – transformatoriaus pilnoji varža (10 MVA transformatoriaus $Z=3,253 \Omega$).

$$I_{t,j,4} = \frac{35000}{Z_{14} + Z_{TR}} = \frac{35000}{2,173 + 3,253} = 6450,4 \text{ A}.$$

Analogiškai paskaičiuojame trumpo jungimo srovės kituose taškuose, duomenis surašome į 3.1 lentelę.

Trumpojo jungimo pilnoji galia apskaičiuojama pagal 3.6 formulę:

$$S_{t,j} = \sqrt{3} \cdot 35000 \cdot I_{t,j}; \quad (2.2.3.6)$$

$$S_{t,j,2} = \sqrt{3} \cdot 35000 \cdot I_{t,j,4} = \sqrt{3} \cdot 35000 \cdot 6450,4 = 391,03 \text{ MVA}.$$

Analogiškai apskaičiuojame pilnąją trumpo jungimo galią visuose taškuose. Duomenis surašome į 14 lentelę.

Mazgų duomenys				14 lentelė		
Prijunginys	R, Ω	X, Ω	φ, °	Z, Ω	I _{t,j} , A	S _{t,j} , MVA
2 mazgas	0,66	0,8	50,47	1,07 5	8085,7	490,2
3 mazgas	2,41	2,91	50,37	3,78	4976,5	301,68
4 mazgas	1,542	1,532	44,88	2,17 3	6450,4	391,03

Harmoninės srovės turi būti tokios, kad elektrinės prijungimo taške būtų išvengta nepageidautinų harmoninių įtampų.

Vėjo elektrinės generuojamos harmoninės srovės gali būti perskaičiuojamos į prijungimo taško harmonines įtampas[1]:

$$I_h (\%) \leq U_h (\%) \cdot \sqrt{\frac{1 + (\text{tg } \psi_k)^2}{1 + (\text{h} \cdot \text{tg } \psi_k)^2}} \cdot \frac{S_k}{S_{apkr} + S_{park}}. \quad (2.2.3.7)$$

čia: I_h – vėjo elektrinės h -harmoninės srovės ir pagrindinio dažnio srovės santykis;

U_h – h - harmoninės įtampos leistinoji vertė iš 3.2 lentelės;

S_k – trumpojo jungimo galia prijungimo taške;

ψ_k – trumpojo jungimo grandinės fazinis kampas prijungimo taške;

S_{apkr} – bendro naudojimo elektros tinklo pastotės vietinė (be vietinio generavimo) apkrovos galia;

S_{park} – vėjo elektrinių parko arba vėjo elektrinės pilnutinė vardinė galia.

Leistinosios projektinės harmoninių įtampų vertės

15 lentelė

Nelyginės harmonikos, kurios nekartinės 3			Nelyginės harmonikos, kurios kartotinės 3			Lyginės harmonikos		
Eilė h	Projektinė leistinoji vertė, %		Eilė h	Projektinė leistinoji vertė, %		Eilė h	Projektinė leistinoji vertė, %	
	10-35 kV	≥ 110 kV		10-35 kV	≥ 110 kV		10-35 kV	≥ 110 kV
5	5	2	3	4	2	2	1,6	1,5
7	4	2	9	1,2	1	4	1	1
11	3	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,5
13	2,5	1,5	21	0,2	0,2	8	0,4	0,4
17	1,6	1	>21	0,24	0,2	10	0,4	0,4
19	1,2	1				12	0,2	0,2
23	1,2	0,7				>12	0,2	0,2
25	1,2	0,7						
>25	0,2+0,5	0,2+0,5						
	$\frac{25}{h}$	$\frac{25}{h}$						

Skaičiuojame harmonines sroves 4 mazgui pagal 3.7 formulę:

$$I_2(\%) \leq 1,6(\%) \cdot \sqrt{\frac{1 + (\operatorname{tg} 44.88)^2}{1 + (2 \cdot \operatorname{tg} 44.88)^2}} \cdot \frac{391.03}{6.324} = 77,94\%.$$

Analogiškai suskaičiuojame visą 25 harmoninių srovių eilę vėjo elektrinių parkui. Duomenis surašome į 16 lentelę. Atlikus skaičiavimus matome, kad pasirinktosios vėjo elektrinės atitinka visoms harmoninėms srovėms taikomus reikalavimus.

Vėjo elektrinės skleidžiamų harmonikų
apskaičiuotos ir leidžiamos vertės

16 lentelė

Harmonikos eilė h	Apskaičiuota harmoninė srovė, % nuo $I_{n,3}$ mazge	Leidžiama harmoninė įtampa, %	Harmonikos eilė h	Apskaičiuota harmoninė srovė, % nuo $I_{n,3}$ mazge	Leidžiama harmoninė įtampa, %
2	77,94	0,5	3	165,9	0,3
4	36,73	0,1	5	166,56	0,6
6	15,35	0,1	7	114,47	0,4
8	10,76	0,1	9	30,57	0,1
10	9,70	0,1	11	69,55	0,3
12	4,45	0,1	13	53,54	0,2
14	4,13	0,1	15	6	0,1
16	3,88	0,1	17	30,13	0,1
18	3,66	0,1	19	21,42	0,1
20	3,48	0,1	21	3,4	0,1
22	3,32	0,1	23	19,52	0,1
24	3,19	0,1	25	18,74	0,1

2.2.4. SUPAPRASTINTAS MIRGĖJIMO AŠTRUMO RODIKLIO NUSTATYMO BŪDAS

Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimas yra santykinai greiti ir labai greiti dėl vėjo greičio ir oro tankio kitimo atsirandantys ir nuolat pasikartojantys įtampos pokyčiai, kurie per elektrinio apšvietimo prietaisus neigiamai veikia žmonių regėjimą: jų akyse sukelia mirgėjimo pojūčius. Fiziologiniais tyrimais nustatytos ribinės tokio mirgėjimo vertės pateiktos elektromagnetinio suderinamumo serijos mirgėjimą nagrinėjančiuose standartuose. Vertinant vėjo elektrinės sukeltą mirgėjimą prijungimo taške skiriami du faktoriai:

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

Abu faktoriai nustatomi per vėjo elektrinės tipo bandymus. Jie dar priklauso nuo vidutinio metinio vėjo greičio statybos vietoje v_a , matuojamo vėjaračio veleno aukštyje, ir tinklo trumpojo jungimo grandinės pilnutinės varžos fazinio kampo vertės ψ_k prijungimo taške. Vėjo elektrinių gamintojai, nurodomas standarte, 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:

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

Jeigu statybos vietoje konkrečiai tokių vėjo greičių nėra ar prijungimo tinklo taške fazinio kampo vertė skiriasi, mirgėjimo koeficiento ir mirgėjimo laipto faktoriaus vertės randamos interpoliuojant elektrinės tipo bandymo rezultatus [1].

Įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklis P_{it} , kurio priežastis yra vėjo elektrinė, turi atitikti šiuos reikalavimus:

10-20kV tinkle: $P_{lt} \leq 0,50$;

35-60kV tinkle: $P_{lt} \leq 0,35$;

110kV tinkle: $P_{lt} \leq 0,20$.

Vėjo elektrinės sukeliama mirgėjimo koeficiento tikroji vertė apskaičiuojama:

$$c(\psi_k, v_a) < P_{lt} \cdot \frac{S_k}{\sqrt{S_{park} \cdot S_n}}. \quad (2.2.3.8)$$

Čia: $c(\psi_k, v_a)$ – įtampos mirgėjimo koeficientas;

S_k – trumpojo jungimo galia prijungimo taške;

ψ_k – trumpojo jungimo grandinės fazinis kampas prijungimo taške;

v_a – metinis vidutinis vėjo greitis veleno aukštyje;

S_n – vėjo elektrinės pilnutinė vardinė galia;

S_{park} – vėjo elektrinių parko pilnutinė vardinė galia.

Jei prie prijungimo taško yra prijungta tik viena vėjo elektrinė, o elektrinių parko nėra ir jis neplanuojamas, 3.8 formulė supaprastėja:

$$c(\psi_k, v_a) < P_{lt} \cdot \frac{S_k}{S_n}. \quad (2.2.3.9)$$

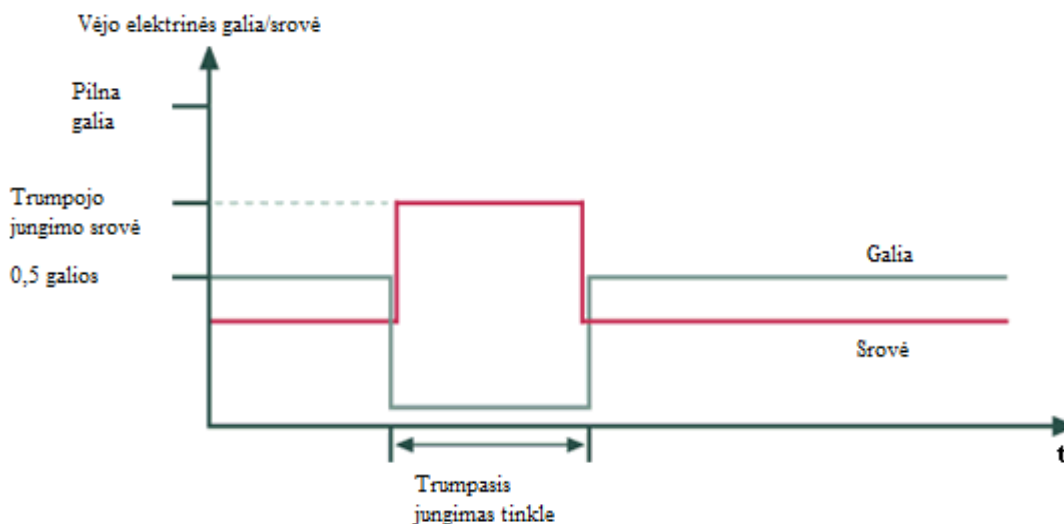
$$c(44,88^0)_4 < 0,35 \cdot \frac{391,03}{\sqrt{6 \cdot 2}} = 39,51$$

Apskaičiuotasis įtampos mirgėjimo koeficientas tenkina sąlygą $c(\psi_k, v_a) < P_{lt} \cdot \frac{S_k}{S_n}$, todėl reikalavimai yra nepažeidžiami.

2.2.5. VIDINIŲ IR IŠORINIŲ TRUMŲJŲ JUNGIMŲ SROVIŲ SKAIČIAVIMAI

Elektrinės vidaus tinkle trumpieji jungimai yra paskaičiuoti ir apsauga nuo jų yra numatyta jau paties gamintojo. Išorinius trumpuosius jungimus tenka skaičiuoti visada, nes reikia projektuoti išorinį tinklą ir parinkti prijungimo grandinei elektros laidininkus ir aparatus, pavyzdžiui, skyriklį ar jungtuvą.

Enercon vėjo elektrinės E-82 turi savybę neatsijungti, tinkle įvykus trumpam jungimui taip pat, jei būtina elektrinė gali palaikyti tinklo įtampą, esant problemoms tinkle. Tai pasiekama, panaudojant reaktyviąją galią.



17 pav. Enercon vėjo elektrinių reakcija į trumpąjį jungimą tinkle

Vėjo elektrinių su keitikliais maksimali t.j. ($I_{K,maks}$) priklauso nuo naudojamų keitiklių skaičiaus. Kiekvieno keitiklio maksimali t.j. srovė yra 500 A 400 V įtampai prijungimo mazge. Taigi vėjo elektrinės su aštuoniais keitikliais maksimali trumpojo jungimo srovė bus 4000 A.

Tipas	Galia, MW	Keitiklių skaičius	I_N , A	I' , A	$k_K = \frac{I''}{I_N}$	I_S , A	I_{Kisj} , A
E-82	2	8	2887	4000	1,386	5867	4000
E-82	2	7	2887	3500	1,212	4950	3500

Čia: I'' ir I_K – viršpereinamoji (pradinė) ir nusistovėjusi t.j. srovės;

i_S ir I_{Kisj} – smūginė ir keitiklio išjungimo t.j. srovės;

κ ir μ – puslaidininkinio keitiklio koeficientai.

2.2.6. VĖJO ELEKTRINIŲ RELINĖ APSAUGA

Vėjo elektrinių generatorių relinė apsauga turi apsaugoti generatorių ar energijos keitiklį nuo vidinių pažeidimų ir trumpųjų jungimų bei nuo išorinio tinklo pažeidimų bei trumpųjų jungimų, kurie sukeltų grėsmę 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 vietoje, pokyčių. Šiam vėjo elektrinių parkui kaip ir kitiems naudojamos mikroprocesorinės apsaugos relės, kurios yra skaitmeninė apsauga, savyje turinti kombinuotą daugiafunkcionalų įrenginį apjungiantį savyje įvairias apsaugos funkcijas:

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

Elektros sistemos tinklų operatoriaus požiūriu vėjo elektrinių generatoriai turi turėti patikimą relinę apsaugą. Ji turi sugebėti atjungti ne mažiau kaip 6 dvifazius ar trifazius trumpuosius jungimus per 5 minutes. Tai yra, kad šių generatorių apsauga turi turėti nepriklausomą maitinimo šaltinį, pavyzdžiui, pakankamai talpią akumuliatorių bateriją ar pan. Energijos kaupimas kondensatoriuose, įmagnetintuose solenoiduose ar mechaninėse spyruoklėse šiuo atveju yra nepakankamas. [10].

Relinė apsauga turi saugoti vėjo elektrinės generatorius nuo:

1. Per mažo ir per didelio dažnio;
2. Per mažos ir per didelės įtampos;
3. Signalizuoti apie atsijungimą nuo tinklo;
4. Viršsrovių;
5. Virštemperatūrių;

6. Įžemėjimų ir kitų pokyčių prijungimo schemose.

Trumpuosius jungimus galima atjungti tik kryptinėmis apsaugomis.

Kadangi pagal gamintojų užtikrinimus, vėjo elektrinių generatoriai yra mažai jautrūs arba visai nejautrūs trumpųjų jungimų viršsroviams, rekomenduojamos paprastesnės apsaugos pirmuoju trumpojo jungimo akimirksniu, po to turėtų sekti pakartotinas automatinis įjungimas ir sudėtingesnės bei didesnės delsa suprojektuotos antrojo etapo apsaugos [7].

Vėjo elektrinių parko apsaugų nuo vidinių pažeidimų nustatymai

17 lentelė

Matuojamasis dydis	Statos vertė	Apsaugos delsa
$U < 1$	70%	2- 10 sekundžių vėjo elektrinių atjungimas
$U >^{17}$	110%	<100 ms, įtampos mažinimas
$f < 2$	47,0 – 48,0 Hz	300 ms, parko atjungimo ilgiausia delsa
$f >^{18}$	50,5 – 51,0 Hz	300 ms, parko atjungimo ilgiausia delsa

2.2.7. VĖJO ELEKTRINĖS PALEIDIMAS IR STABDYMAS

Vėjo elektrinės taip pat ir mano skaičiuojamą vėjo elektrinių parką įjungti ir išjungti bus galima, valdant iš Tinklo operatoriaus dispečerinės. Valdymui naudojama SCADA valdymo sistema

Vėjo elektrinė stabdoma suveikus relinei apsaugai.

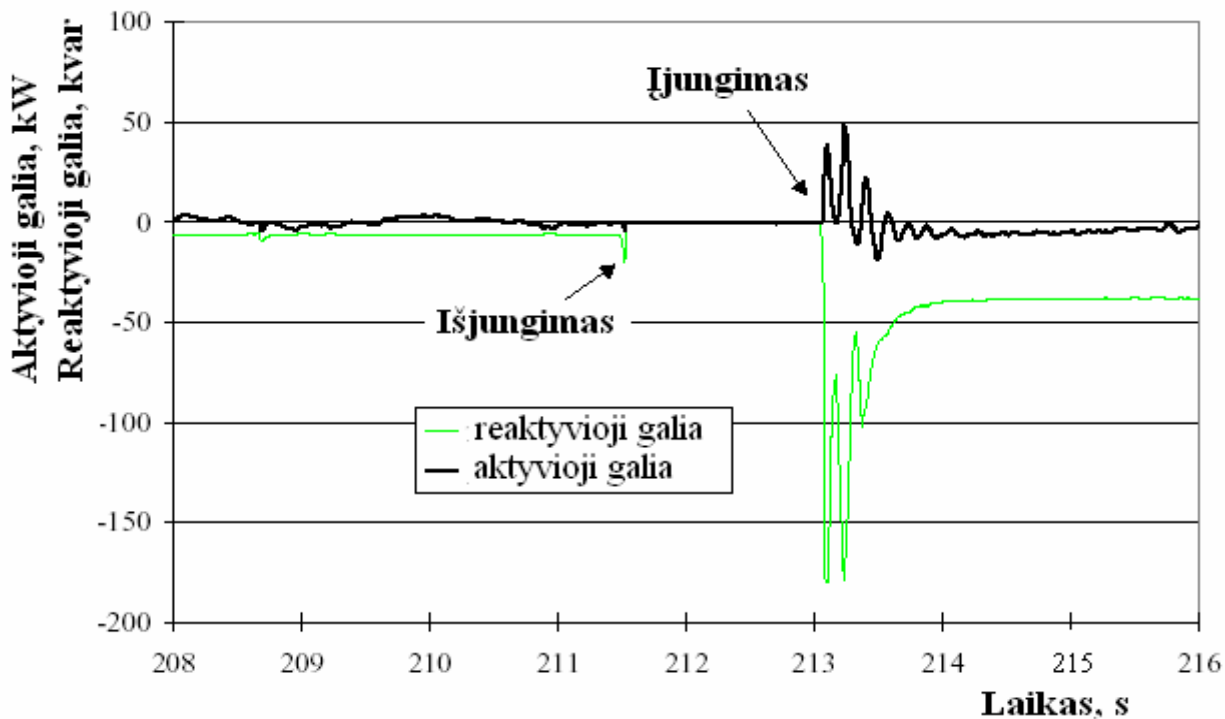
Vėjo elektrinės išjungimo kriterijai

18 lentelė

Išjungimo kriterijus	Apsaugos nustatymo vertė		Nustatymo vertės peržengimo leistinoji delsa	
Per žema įtampa	$0,9 U_n$	V	10 . 60	s
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
Per daug žemas dažnis	47	Hz	200	ms

Taip pat elektrinei dirbant normaliaame režime ir skirstomajame tinkle įvykus pažeidimui, tai suveikus relinei apsaugai elektrinės automatiškai atsijungia ir įsijungti 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 įsijungti vėjo greičiui sumažėjus.

Stabdymo vėjo greitis turi būti ne mažesnis kaip 25 m/s. Vėjo elektrinės turi būti patvirtinto tipo konstrukcijos ir jų stabdymo vėjo greitis turi būti patvirtintas bandymu [10].



18 pav. Vėjo elektrinės generatoriaus išjungimo ir įjungimo akimirksniai[10]

2.2.8. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO GENERUOJAMOS GALIOS IR ENERGIJOS SKAIČIAVIMAS

Apskaičiuoju Enercon E-82 vėjo elektrinių generuojamas galias, pritaikydamas vėjo elektrinės galios kreivę ir Veibulo parametrus.

Nemažą įtaką vėjo greičio dydžiui turi aukštis nuo žemės paviršiaus. Vidutinį vėjo greitį vėjo elektrinės ašies aukštyje galima apskaičiuoti pagal 4.1 formulę:

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n, \quad (2.2.8.1)$$

čia: v_1 – vėjo greitis (m/s) išmatuotas aukštyje h_1 (m);

v_2 – vėjo greitis (m/s) vėjaračio stebulės aukštyje h_2 (m);

n – laipsnio rodiklis, įvertinantis vietovės šiurkštumo laipsnį 20 lentelė. Vietovės paviršiaus šiurkštumo klasė 3, todėl laipsnio rodiklis n yra 0,28.

Veibulo skalės parametras a randamas iš lentelės pateiktos prieduose.

$a = 8,03 \text{ m/s}$

Veibulo formos orientacinis parametras k parenkamas nuo vėjo vidutinio matavimo aukščio h_x 19 lentelė. Kadangi projektuojamos elektrinės veleno aukštis yra 100 m, todėl $k = 2,4$ (4.1 lentelė).

Veibulo formos orientacinis parametras nuo aukščio 19 lentelė

Aukštis h_x , m	Veibulo formos parametras
Iki 30	1,7
Iki 50	2
Iki 70	2,2
Iki 90	2,3
Virš 100	2,4

Žemės paviršiaus šiurkštumo klasės ir laipsnio rodikliai 20 lentelė

Paviršiaus tipas	Paviršiaus šiurkštumo klasė	Laipsnio rodiklis n
Vandens paviršius	0	0,01
Visiškai atvira vietovė su lygiu paviršiumi, pvz keliai, aerodromai, ganyklos ir t.t.	0,5	0,077
Atvira, retomis kalvomis apsupta žemės ūkio vietovė, be tvorų ir medžių, su retai pasitaikančiais pastatais.	1	0,12
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug $0,125 \text{ km}^2$	1,5	0,145
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug $0,25 \text{ km}^2$	2	0,16
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug 1 km^2	2,5	0,2
Kaimo gyvenvietė, nedideli miesteliai, sodai ir miškai	3	0,28

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n = 3,82 \cdot \left(\frac{100}{20} \right)^{0,28} = 6 \text{ m/s}$$

Veibulo parametrai skaičiuojami regionams arba vietai pagal vėjų greičių kitimo pasiskirstymą atlikus vėjo matavimus toje vietoje. Pagal surinktus duomenis sudaromas metinis vėjo greičių pasiskirstymo grafikas, kuriuo remiantis paskaičiuojamas Veibulo formos parametras.

Skaičiuojami tikėtini vėjo greičiai valandomis per metus pagal Veibulo ir skalės parametrus pagal 2.2.8.2 formulę.

$$H = (e \cdot (-e^{(\ln(\frac{V_i - 0,5}{a}))}) - e \cdot (-e^{(\ln(\frac{V_i - 0,5}{a}))})) \cdot 8760 ; \quad (2.2.8.2)$$

$$H = (e \cdot (-e^{(\ln(\frac{1-0,5}{8,26}) \cdot 2,4)}) - e \cdot (-e^{(\ln(\frac{1+0,5}{8,26}) \cdot 2,4)})) \cdot 8760 = 1910,1 h / m \cdot$$

Gautus rezultatus surašome į 21 lentelę.

Vėjo elektrinės Enercon galios kreivės pateiktos 19 ir 20 paveiksle.

Vėjo elektrinės Enercon pagaminamos elektros energijos kiekis skaičiuojamas pagal 2.2.8.3 formulę:

$$W = H_i \cdot P_i ; \quad (2.2.8.3)$$

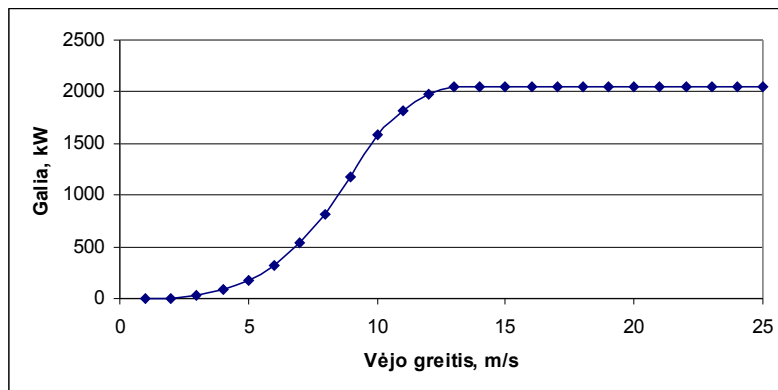
Čia: H_i – valandų pasiskirstymas pagal vėjo greitį;

P_i – vėjo elektrinės galios pagal galios kreivę;

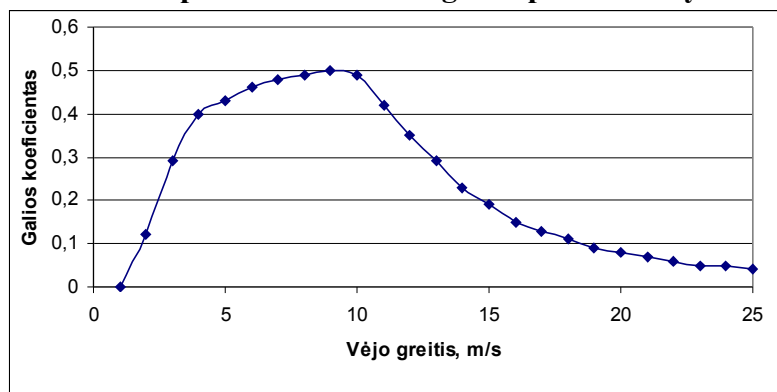
$$W_1 = H_1 \cdot P_1 = 1910,182 \cdot 0 = 0 kWh / m ;$$

$$W_2 = H_2 \cdot P_2 = 1428,524 \cdot 6 = 8518,536 kWh / m ;$$

Gautus rezultatus surašome 21 lentelę.



19 pav. Enercon E-82 galios priklausomybė nuo vėjo greičio



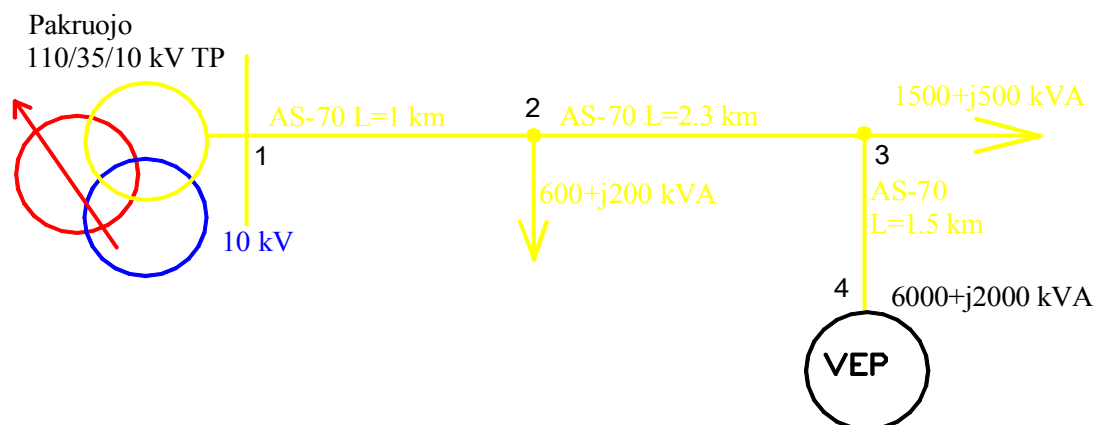
20 pav. Enercon E-82 galios koeficiento priklausomybė nuo vėjo greičio
21 lentelėje pateikti skaičiavimų rezultatai.

Vėjo greičių pasiskirstymas valandomis, pagaminamos energijos kiekiai tam tikriems vėjo greičiams 21 lentelė

Vėjo greitis	Galia iš gamintojo galios kreivės, P, kW				Elektros energijos kiekis, W, kWh/m			c(p)
	VE	VE1	VE2	VE3	VE1	VE2	VE3	
V _i								
1	1910,182	0	0	0	0	0	0	0
2	1428,524	3	3	3	4285,57	4285,57	4285,57	0,12
3	1068,317	25	25	25	26707,9	26707,9	26707,9	0,29
4	798,9376	82	82	82	65512,8	65512,8	65512,8	0,4
5	597,4831	174	174	174	103962,	103962,	103962,	0,43
6	446,8259	321	321	321	143431,	143431,	143431,	0,46
7	334,1574	532	532	532	177771,	177771,	177771,	0,48
8	249,8986	815	815	815	203667,	203667,	203667,	0,49
9	186,8859	1180	1180	1180	220525,	220525,	220525,	0,5
10	139,7621	1580	1580	1580	220824,	220824,	220824,	0,49
11	104,5206	1810	1810	1810	189182,	189182,	189182,	0,42
12	78,16545	1980	1980	1980	154767,	154767,	154767,	0,35
13	58,45579	2050	2050	2050	119834,	119834,	119834,	0,29
14	43,71599	2050	2050	2050	89617,7	89617,7	89617,7	0,23
15	32,69287	2050	2050	2050	67020,3	67020,3	67020,3	0,19
16	24,44926	2050	2050	2050	50120,9	50120,9	50120,9	0,15
17	18,28431	2050	2050	2050	37482,8	37482,8	37482,8	0,13
18	13,67386	2050	2050	2050	28031,4	28031,4	28031,4	0,11
19	10,22596	2050	2050	2050	20963,2	20963,2	20963,2	0,09
20	7,647452	2050	2050	2050	15677,2	15677,2	15677,2	0,08
21	5,719124	2050	2050	2050	11724,2	11724,2	11724,2	0,07
22	4,277029	2050	2050	2050	8767,91	8767,91	8767,91	0,06
23	3,198563	2050	2050	2050	6557,05	6557,05	6557,05	0,05
24	2,392036	2050	2050	2050	4903,67	4903,67	4903,67	0,05
25	1,788877	2050	2050	2050	3667,19	3667,19	3667,19	0,04

Susumavus visus energijos kiekius W_i tikėtinas Enercon E-82 vėjo elektrinių parko pagaminamos elektros energijos kiekis 5925019 kWh.

2.3. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PAKRUOJO RAJONE PRIJUNGIMO PRIE ESAMO 10 kV ELEKTROS TINKLO GALIMYBIŲ SKAIČIAVIMAS



21 pav. Vėjo elektrinės prijungimo prie esamo 10 kV elektros tinklo schema.

Vėjo elektrinių parko Pakruojis rajone prijungimo prie 10 kV elektros tinklo galimybes paskaičiuojame analogiškai prijungimo skaičiavimui prie 35 kV elektros tinklo. Pirmiausia paskaičiuojame galių balansą ir įtampos režimus pagal 2.2.2 skyriaus formules. Toliau skaičiuojame elektros kokybės parametrus pagal 2.2.3 skyriaus formules. Visus skaičiavimo rezultatus pateikiu 17 – 21 lentelėse.

Vartotojų aktyviosios ir reaktyviosios galios pasirenkamos, kai $P=\max$ ir kai $P=\min$:

Vartotojų didžiausia galia:

$$S_{\max} = S_{\max 2} + S_{\max 3} = 600 + j200 + 1500 + j500 = 2100 + j700 \text{ kVA}$$

Vartotojų mažiausia galia:

$$S_{\min} = S_{\min 2} + S_{\min 3} = 100 + j30 + 500 + j150 = 600 + j180 \text{ kVA}$$

$$R_{12} = L_{12} \cdot r_0 = 1 \cdot 0,42 = 0,42 \ \Omega$$

$$X_{12} = L_{12} \cdot x_0 = 1 \cdot 0,441 = 0,441 \ \Omega$$

Atitinkamai apskaičiuojame kitų linijos atkarpų varžas ir rezultatus pateikiu 22 lentelėje

Oro linijų laidai ir jų parametrai

22 lentelė

Linija	Ilgis, km	Laido markė	r_0 , Ω/km	R , Ω	x_0 , Ω/km	X , Ω
1-2	1	AC-70	0,42	0,42	0,441	0,441
2-3	2,3	AC-70	0,42	0,966	0,441	1,003
3-4	1,5	AC-70	0,42	0,63	0,441	0,661

Įtampos nuostoliai negali viršyti 10 % normaliaame režime ir 15 % avariniame režime.

Skaičiuojame įtampos nuostolius:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{U_N} = \frac{5400 \cdot 0,42 + 1820 \cdot 0,441}{10} = 307,07 \text{ V};$$

Analogiškai apskaičiuojame kitų ruožų įtampos nuostolius, rezultatus pateikiu 23 lentelėje.

Įtampos nuostoliai linijos atkarpose

23 lentelė

Linija	Rėžimas	Rėžimas
	$P_{\text{vart}}=\text{max}; P_{\text{VE}}=0$	$P_{\text{vart}}=\text{min}; P_{\text{VE}}=\text{max}$
ΔU_{12} , V	119,07	-307,07
ΔU_{23} , V	195,05	-716,85
ΔU_{34} , V	0	-510,2

Įtampos kritimas prijungimo taškuose:

$$U_2 = U_s - \Delta U_{12} = 10500 - 119,07 = 10380,93 \text{ V};$$

Įtampos kritimas procentais:

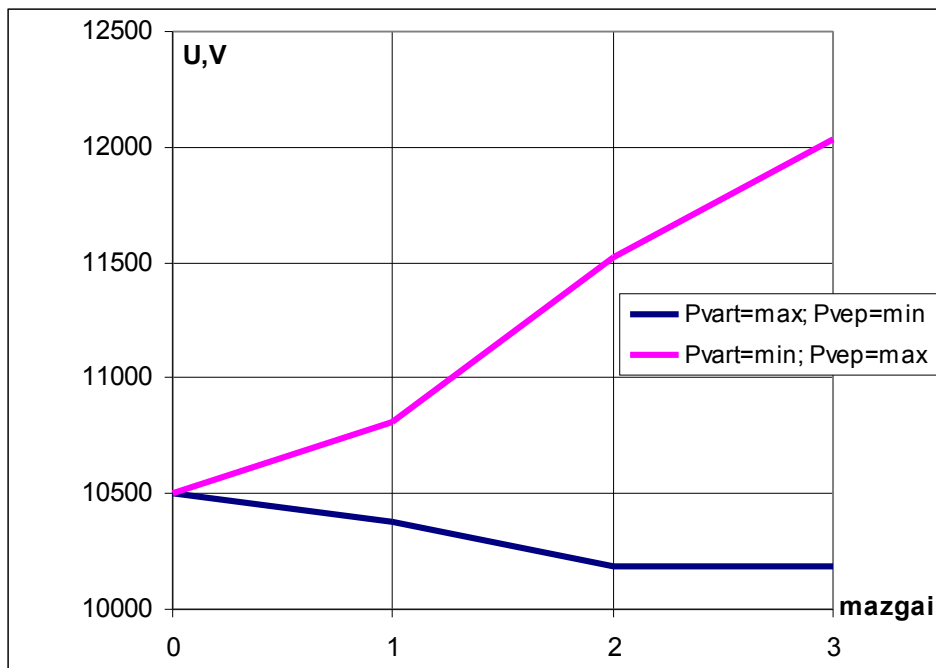
$$R_{12} = \frac{U_N - U_2}{U_N} \cdot 100\% = \frac{10000 - 10380,93}{10000} \cdot 100\% = 3,8\%;$$

Skaičiavimo duomenys pateikti 24 lentelėje, o įtampos kritimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{vart}}=\text{max}; P_{\text{VE}}=0$, pavaizduotas 22 pav.

Įtampų skaičiavimas prijungimo taškuose

24 lentelė

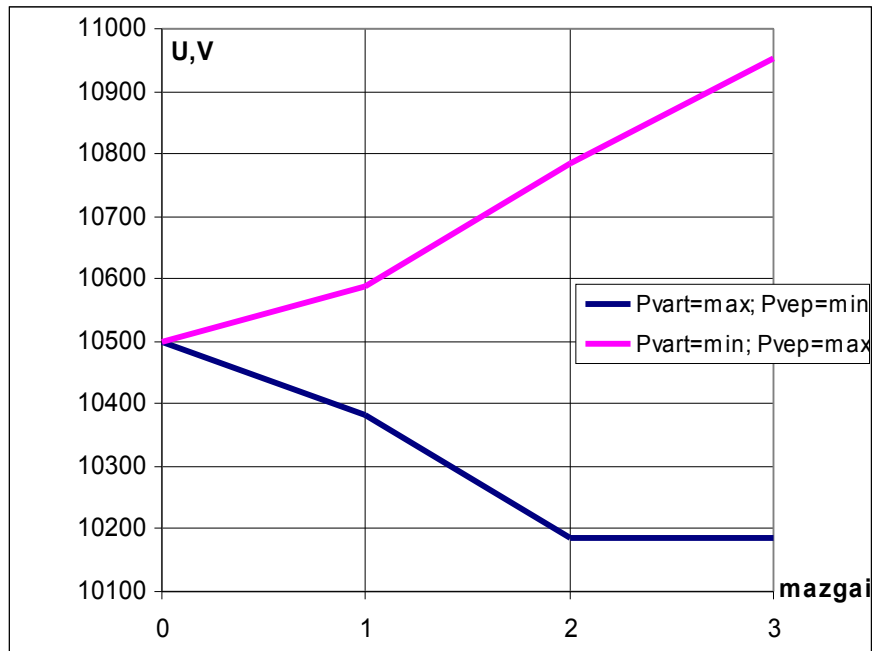
Vartotojas	Rėžimas $P_{\text{vart}}=\text{max}; P_{\text{VE}}=0$		Rėžimas $P_{\text{vart}}=\text{min}; P_{\text{VE}}=\text{max}$	
	U, V	ΔU , %	U, V	ΔU , %
Prijungimo taškas 2	10380,93	3,8	10807,07	8,07
Prijungimo taškas 3	10185,88	1,86	11523,92	15,24
Prijungimo taškas 4	10185,88	1,86	12034,12	20,22



22 pav. Įtampos kitimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{vart}}=\max$; $P_{\text{VEP}}=0$, prijungus 6 MW vėjo elektrinių parką

Elektros kokybės parametrus šiuo atveju skaičiuoti neverta, kadangi pasirinktame taške tokios galios vėjo elektrinių parko prijungimas negalimas, nes parkui dirbant pilna galia, įtampa sukyla iki neleistinos ribos.

Pasirinktame taške prie 10 kV orinės linijos Pakruojo rajone galima būtų prijungti 2 MW galios vėjo elektrinę (23 pav.).



23 pav. Įtampos kitimas prijungimo taškuose, kai $P_{\text{vart}}=\text{max}$; $P_{\text{VEP}}=0$, prijungus 2 MW vėjo elektrinę

3. FINANSINIO ATSIPERKAMUMO SKAIČIAVIMAS

6 MW vėjo elektrinių parko pastatymo ir įsigijimo kaina apytiksliai būtų apie vieną milijoną eurų už 1 MW. Taigi mūsų pasirinktų ENERCON E-82 6000 kW galios vėjo elektrinių parkas kainuotų 6 mln. eurų, arba 21 mln. litų. Nuo 2009 m. sausio 1d. vėjo elektrinėse pagaminamos elektros energijos supirkimo kaina didinama iki 0,30 Lt/kWh.

Pelnas, gautas pardavus elektros energiją: $C = 5925019 \cdot 0,3 \text{ Lt} / \text{kWh} = 1777505,7 \text{ Lt}$

Įvertinus transformatorių pastotės ir 10 kV kabelinių linijų medžiagų ir montavimo išlaidas, kurios sudaro 4 mln litų, vėjo elektrinių parkas, prijungtas prie 35 kV orinės linijos, atsipirks:

$$T_{at} = \frac{25000000}{1777505,7} = 14,06 \text{ metų.}$$

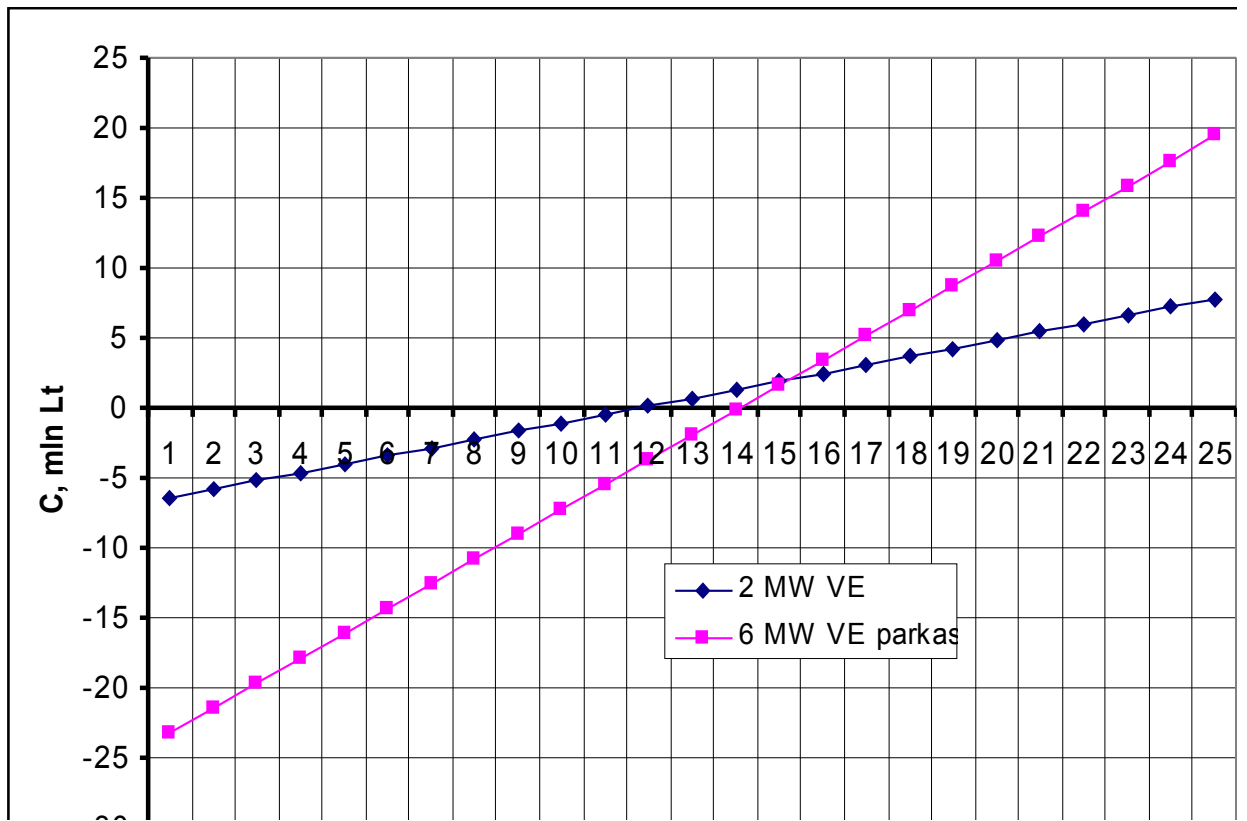
Pasirinktos ENERCON E-82 2 MW galios vėjo elektrinė kainuotų 2 mln. eurų, arba 7 mln. litų. Duomenys skaičiavimui paimti iš 21 lentelės.

Pelnas, gautas pardavus elektros energiją: $C = 1975006 \cdot 0,3 \text{ Lt} / \text{kWh} = 592501,8 \text{ Lt}$

Vėjo elektrinė atsipirks:

$$T_{at} = \frac{7000000}{592501,8} = 11,81 \text{ metus.}$$

Lyginant 6 MW vėjo elektrinių parko prijungiamo prie 35 kV elektros tinklo ir 2 MW vėjo elektrinės atsiperkamumą, 2 MW vėjo elektrinė prijungta prie 10 kV tinklo atsiperka greičiau, tačiau paskaičiavus pelną, per likusius vėjo elektrinių eksploatavimo metus beveik 11,5 mln litų daugiau pelno duoda vėjo elektrinių parkas prijungtas prie 35 kV elektros tinklo (24 pav.).



24 pav. VE atsiperkamumo palyginimas.
metai

IŠVADOS:

1. Tyrimo rezultatai parodė, kad vėjo elektrinių ar jų parkų prijungimą labai riboja elektros tinklo apkrova ir pralaidumo galimybės, t.y. kuo didesnė tinklo apkrova, tuo didesnės galios vėjo elektrinę ar jų parką galime prijungti prie šio tinklo ir atvirkščiai.

2. 6 MW vėjo elektrinių parkas Pakruojo rajone gali būti prijungiamas prie 35 kV oro linijos. Darbo rezultatai rodo, kad įtampos nuostoliai prijungimo taške atitinka tinklo kokybei keliamus reikalavimus, t.y. neturi viršyti $\pm 10\%$. Šio vėjo elektrinių parko prijungimas prie 35 kV oro linijos įtampos kokybės problemų nesukels.

3. 6 MW vėjo elektrinių parką Pakruojo rajone, prijungus prie 10 kV oro linijos vėjo elektrinių parkui dirbant pilna galia, įtampa sukyla iki neleistinos ribos, iki 12022 V, todėl pasirinktame taške vėjo elektrinių parko prie 10 kV oro linijos prijungti negalima. Pasirinktame taške galima prijungti tik 2 MW vėjo elektrinę.

4. Trumpojo jungimo srovė prijungus vėjo elektrinių parką ant 35 kV šynų Pakruojo TP padidėja 6%, todėl RAA nuostatus galima palikti tuos pačius.

5. Vėjo elektrinės su keitikliais yra linkusios pilnai nusikrauti ne tik artimų, bet ir stipriai sumažinti galią tolimų trumpųjų jungimų metu. Didėjant tokių elektrinių kiekiui ir galiai, elektros sistemoje gali kilti problemų, užtikrinant stabilų sistemos darbą ir reguliuojant dažnį.

6. Norint prijungti 6 MW vėjo elektrinių parką Pakruojo rajone prie 10 kV tinklo pasirinktame taške, reikėtų keisti oro linijos laidus arba mažinti arba riboti vėjo elektrinių parko maksimalią galią.

7. Vėjo elektrinių parkas Pakruojo rajone prijungtas prie 35 kV elektros tinklo atsipirks per 14,06 metų, o prie 10 kV – 11,81 metų, tačiau pelnas eksploatacijos laikotarpyje didesnis gaunamas iš 6 MW vėjo elektrinių parko, prijungto prie 35 kV linijos.

Tęsiant tyrimą, galima būtų nagrinėti reaktyvios galios, dažnio ir įtampos valdymo aspektus.

LITERATŪRA

1. Deveikis T., Nevardauskas E., Vėjo elektrinių atsiperkamumo skaičiavimo ypatybės. Jaunųjų mokslininkų darbai. Nr. 3(7). Šiauliai. 2005
2. LST EN 61400-21, Vėjo elektrinių generatorių sistemos. 21 dalis. Prie elektros tinklų prijungtų vėjo elektrinių elektros kokybės charakteristikų matavimas ir įvertinimas. 2001
3. Nevardauskas E. V. Vėjo elektrinių prijungimo prie Lietuvos elektros energetikos sistemos techninės taisyklės. Patvirtintos 2004 m. balandžio 6 d. Ūkio ministro įsakymu Nr. 4-102. Valstybės žinios, 2004.
4. Navardauskas E. V., Šulga D. Vėjo energetikos įtaka elektros sistemų režimams ir jų valdymui. 2005.
5. Cidras J., Feijo A. E. A Linear Dynamic Model for Asynchronous wind Turbines With Mechanical Fluctuations // IEEE Transaction on Power Systems. August 2002.
6. Pidre J. C., Carrillo C. J., Feijoo Lorenzo A. E. Probabilistic model for mechanical power fluctuations in asynchronous wind parks // IEEE Transaction on Power Systems. May 2003.
7. Petru T., Thiringer T. Modeling of wind turbines for power system studies // IEEE Transaction on Power Systems. November 2002.
8. Sorensen P., Hansen A., Janosi L. et al. Simulation of Interaction between Wind Farm and Power System. Riso National Laboratory, Roskilde, 2001
9. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования.. Москва: энергоатомиздат, 1991.
10. Prieiga per internetą: <<http://www.enercon.de>> [2010.01.24]