



TUULIVOIMALAN AUTOMAATTI- NEN KÄYNNISTYMINEN TUULI- OLOSUHTEIDEN PERUSTEELLA

Juha Salo

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Sähkövoimatekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkövoimatekniikka

JUHA SALO:

Tuulivoimalan automaattinen käynnistyminen tuuliolosuhteiden perusteella

Opinnäytetyö 115 sivua, joista liitteitä 32 sivua

Toukokuu 2013

Tämän työn tavoitteena oli tutkia ja määrittää tuuliolosuhteet, joiden perusteella Tampereen ammattikorkeakoululla oleva pientuulivoimala kannattaa kytkeä sähköverkkoon. Pientuulivoimalan toimintaa mallinnettiin koulun sähkölaboratoriossa olevalla laitteistolla, joka koostui samoista laitteista ja generaattorista, kuin koulun pihalla oleva oikea tuulivoimala.

Ennen tehomittauksia täytyi selvittää laitteiston toiminta ja saada se toimimaan.

Tutkimuksessa mitattiin generaattorin tuottamaa ja verkkoon syötettyä tehoa sen ollessa horros-, valmius- ja tuotantotilassa. Vertaamalla generaattorin eri tuulennopeuksilla tuottamaa tehoa tuulivoimalan kuluttamaan tehoon, nähdään millä tuulennopeudella generaattorin teho ylittää riittävästi valmiustilassa olevan laitteiston tehonkulutuksen.

Pelkkä tehojen vertailu ei yksin riitä käynnistämisen perustaksi. Tehon ylityksen täytyy olla myös kestoltaan riittävän pitkä, jotta voimala kannattaa kytkeä verkkoon. Koska tehorajan ylittämisen hetki ja kesto aika eivät voi olla ennakolta tiedossa, täytyy voimalan oikeaa kytketymishetkeä selvittää kokeellisin mittauksin ja analyysin.

Saadut mittaustulokset ja laskelmat ovat tehty Tampereen ammattikorkeakoulun pientuulivoimalalle laboratorio-olosuhteissa ja pätevät lähinnä sille. Saatuja tuloksia voidaan kuitenkin soveltaa myös muille pientuulivoimaloille, tietyin varauksin.

Asiasanat: tuulivoimala, taajuusmuuttaja, generaattori, roottori, LCL-suodin

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Electrical Power Engineering

JUHA SALO:

Wind turbine automatic start wind conditions of basis.

Bachelor's thesis 115 pages, appendices 32 pages
May 2013

The goal of this project was to investigate the wind conditions and determine, whether to plug in the small-scale wind turbine at Tampere University of Applied Sciences. Functioning of the small-scale wind turbine was modeled with the same type of apparatus from our school's electricity labs.

The research was about amounts of electric power the generator supplied the electric power network with, as it was on hibernate-, stand by- or generation mode. By comparing the amount of power generated with the amount of power spent, can be discovered at what wind velocity does the generator make itself useful.

The gained results of measurements and calculations have been done about our school's small-scale wind turbine and mostly do apply only for it.

Key words: wind turbine, frequency converter, generator, rotor, LCL-filter

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	TUULIENERGIA	9
	2.1. Lyhyt katsaus tuulivoiman historiaan	9
	2.2. Miten ja missä tuuli syntyy	9
	2.3. Tuuliolosuhteet Suomessa	10
3	PIENTUULIVOIMALA	12
	3.1. Rakenne ja toiminta	12
	3.1.1 Tuulen teho.....	14
	3.1.2 Roottorin teho	15
	3.2. Tuulennopeuden mittaaminen.....	18
4	TAMKIn TUULIVOIMALA	20
	4.1. Mittausjärjestelyt	21
	4.2. Generaattori	23
	4.3. Tuulivoimalan ohjauslaitteiston osat ja niiden toiminta	23
	4.3.1 Taajuusmuuttajat	25
	4.3.2 Välijännitepiiri	29
	4.3.3 Ohjauslogiikka	31
	4.3.4 LCL-suodin	32
	4.3.5 Tuulivoimalan verkkoon kytkeminen ja verkonvalvonta	33
5	MITTAUKSET	36
	5.1. Vian etsintää voimalan ohjauslaitteistossa	36
	5.1.1 Välijännitepiirin kondensaattorit.....	37
	5.1.2 Generaattorin tehokäyrä.....	37
	5.2. Tasasuuntaajan parametroitinta	38
	5.2.1 Parametrien asetus taajuusmuuttajaan.....	39
	5.2.2 Paritusajo.....	39
	5.2.3 Momenttikäyrän viritys.....	42
	5.2.4 Loistehot laitteiston eri osissa	44
	5.3. Tuulivoimalan tuotto ja omakulutussmittaukset	44
	5.3.1 Horrostila	44
	5.3.2 Valmiustila	45
	5.3.3 Käyttötila.....	45

6	MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI	47
6.1.	Tulokset alkuperäisillä asetusarvoilla	47
6.1.1	Päätö- ja loisteho.....	47
6.1.2	Tuotto ja omakulutus	48
6.1.3	Käynnistymistuulennopeus	51
6.1.4	LCL-suotimen vaikutus.....	52
6.1.5	Lämpötilan vaikutus PM-generaattorin tuottoon	53
6.2.	Tulokset uudelleen parametroinnin jälkeen.....	55
6.2.1	Päätö- ja loisteho.....	55
6.2.2	Tuotto ja omakulutus	58
6.2.3	Käynnistymistuulennopeus	58
6.2.4	LCL-suodatin ja harmoniset yliaallot	60
7	PIENTUULIVOIMALAN SÄÄTÖ JA OPTIMOINTI	64
7.1.	Roottorin, generaattorin, kaapelin ja taajuusmuuttajan sovittaminen.....	65
7.2.	Käynnistyminen ja toiminta pienillä tuulennopeuksilla	67
7.3.	Toiminta suurella tuulennopeudella.....	68
8	TUOTON OPTIMOIMINEN.....	69
8.1.	Millä tuulennopeudella voimala kannattaa käynnistää	69
8.1.1	Tuoton optimointia heikoissa tuuliolosuhteissa	69
9	OHJELMIEN PÄIVITYS VOIMALAN LAITTEISTOIHIN	73
9.1.	Taajuusmuuttajat.....	73
9.1.1	Työkaluohjelmat Vacon-muuttajille	74
9.1.2	Vacon-taajuusmuuttajan sovellusohjelmat	74
9.1.3	Parametrien talletus ja kopiointi.....	75
9.2.	Ohjauslogiikka	76
10	POHDINTA.....	78
	LÄHTEET.....	80
	LIITTEET	83
	Liite 1. Generaattorin tehokäyrämittaus resistiivisellä kuormalla 1(1)	83
	Liite 2. Tuulivoimalan tehot ennen viritystä 1(1).....	84
	Liite 3. Kylmän ja kuumen generaattorin tehot 1(1)	85
	Liite 4. Tuulivoimalan tehot virituksen jälkeen 1(1).....	86
	Liite 5. Roottorin c_p -arvo 1(1)	87
	Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy) 1(12) ..	88
	Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy) 2(12) ..	89

Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	3(12) ..	90
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	4(12) ..	91
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	5(12) ..	92
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	6(12) ..	93
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	7(12) ..	94
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	8(12) ..	95
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	9(12) ..	96
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	10(12)	97
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	11(12)	98
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)	12(12)	99
Liite 7. INU-yksikön parametrit.	1(7).....	100
Liite 7. INU-yksikön parametrit.	2(7).....	101
Liite 7. INU-yksikön parametrit.	3(7).....	102
Liite 7. INU-yksikön parametrit.	4(7).....	103
Liite 7. INU-yksikön parametrit.	5(7).....	104
Liite 7. INU-yksikön parametrit.	6(7).....	105
Liite 7. INU-yksikön parametrit.	7(7).....	106
Liite 8. AFE-yksikön parametrit	1(2)	107
Liite 8. AFE-yksikön parametrit	2(2)	108
Liite 9. Tuulivoimalan generaattorin tekniset tiedot (GinLong)	1(1).....	109
Liite 10. Tuulivoimalan verkonvalvontareleen GMR-1 toimintakaavio	1(2)...	110
Liite 10. Tuulivoimalan verkonvalvontareleen GMR-1 toimintakaavio	2(2)...	111
Liite 11. Tuulivoimalan käynnistämistä valvova taajuusmuunnin	1(2)	112
Liite 11. Tuulivoimalan käynnistämistä valvova taajuusmuunnin	2(2)	113
Liite 12. Tuulennopeuskäyrä 3 m/s		114
Liite 13. Tuulennopeuskäyrä 4 m/s		115

LYHENTEET JA TERMIT

ABB	Taajuusmuuttajavalmistaja
AFE	Active front-end
AWEA	American Wind Energy Association
c_p	Roottorin tehokerroin
c_T	Roottorin momenttikerroin
λ	Roottorin lavan kärkinopeussuhde
ρ	Ilman tiheys
CWT	Cypress Wind Turbines Oy
FC1	generaattoripuolen invertteri, INU
FC2	verkkopuolen invertteri, AFE
ID	Identification driver
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
INU	Inverter unit
LoM	Loss of Mains, Saarekekäyttösuojaus
JTY	Jyväskylän teknillinen yliopisto
LTY	Lappeenrannan teknillinen yliopisto
P	Teho
PMG	Permanent Magnet Generator
PWM	Pulse Width Modulation
rpm	Rotations per minute
T_r	Roottorin vääntömomentti
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
THD	Total Harmonic Distortion
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto
Vacon	Taajuusmuuttajavalmistaja
VSI	Voltage Source Inverter
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
v_{cut-in}	Tuulennopeuden alaraja, jolla generaattori tuottaa sähköä
$v_{cut-off}$	Tuulennopeus, jolla generaattori pysäytetään

1 JOHDANTO

Tuuli puhaltaa missä se tahtoo... kuulet sen huminan, mutta et tiedä mistä se tulee ja minne se menee. Onko näin? Selviääkö tuulen salaisuus tässä työssä?

Tuulivoimala on yksi vanhimmista energiantuotantomuodoista ja samalla eräs nykyaikaisimmista sähköenergiantuotantomuodoista. Vanhoilla tuulimyllyillä ja nykyaikaisilla tuulivoimaloilla ei juurikaan ole muuta yhteistä kuin tuulen liike-energian hyödyntäminen pyörimisliikkeen aikaansaamiseksi.

Ihmiskunta on osannut käyttää tuulienergiaa hyödyksi jo tuhansien vuosien ajan. Jo muinaiset egyptiläiset ja myöhemmin viikingit hyödynsivät tuulen voimaa purjeveneissään. Ensimmäiset tuulimyllyt rakennettiin noin 2600 vuotta sitten Persiassa. Suomeen ne rantautuivat Turussa vuonna 1463. Suomessa oli 1800-luvun lopulla tuulimyllyjä noin 10000 kappaletta. Sähköä niillä tuotettiin 1900-luvun alkupuolella, mutta jäivät pois käytöstä muun tekniikan kehittyessä. Viimeiset vuosikymmenet ovat tuoneet tuulivoimalat taas takaisin ja niitä kehitetään kovasti. (<http://www.tuulivoimatieto.fi/historia>)

Tampereen ammattikorkeakoululle hankittiin pientuulivoimala opetuskäyttöön vuonna 2011. Toimitukseen kuului myös oikeaa tuulivoimalaa vastaava laitteisto, jolla tämä työ tehtiin laboratorio-olosuhteissa.

Tämän työn lähtökohtana oli selvittää milloin ja millä ehdoilla pientuulivoimala kannattaa käynnistää ja kytkeä sähköverkkoon.

Tämä työ on rajattu koskemaan vain pieniä kolmilapaisia tuulivoimaloita, eikä työssä oteta kantaa tuulivoimaloiden taloudelliseen kannattavuuteen. Myös energian varastointi rajataan pois.

Energian hinnasta riippumatta kaikki voimalat ovat kannattamattomia, jos ne kuluttavat enemmän kuin tuottavat. Tätä kannattavuuden rajaa tässä työssä etsitään.

2 TUULIENERGIA

2.1. Lyhyt katsaus tuulivoiman historiaan

Tuulivoimala on yksi vanhimmista energiantuotantomuodoista ja eräs nykyaikaisimmista sähköenergiantuotantomuodoista. Vanhoilla tuulimyllyillä ja nykyaikaisilla tuulivoimaloilla ei juurikaan ole muuta yhteistä kuin tuulen liike-energian hyödyntäminen pyörimisliikkeen aikaansaamiseksi. (Kuva 1)



KUVA 1. Vanhoja ja uusia myllyjä (The American Wind Power Center)

2.2. Miten ja missä tuuli syntyy

Kaikki uusiutuvat energiamuodot (paitsi vuorovesi ja maalämpö) ja jopa fossiiliset polttoaineet viimekädessä tulevat auringosta. Myös tuulen energia on peräisin aurinkoenergiasta.

Auringon säteilyn teho ilmakehän ulkorajalla on suuruusluokkaa 1370 W/m^2 . Lähes puolet aurinkoenergiasta sitoutuu lämpönä maanpintaan ja meriin, josta se heijastuu takaisin avaruuteen pitkäaaltoisena lämpösäteilynä. Toinen puoli aurinkoenergiasta kuluu ns. hydrologi- sen kierron ylläpitämiseen. Osa tästä kierrosta voidaan hyödyntää vesivoimana. Pieni osa (noin 9 kertaa maailman energiakulutus) aurinkoenergiasta sitoutuu fotosynteesiin eli kasvi- ja puumassaan. Osa tästä voidaan hyödyntää bioenergiana. (Ilmatieteen laitos, Helsinki)

Noin kahdesta kolmeen prosenttia auringosta tulevasta energiasta muuttuu liike-energiaksi eli tuuleksi. Tämä on noin 40-kertainen energiamäärä verrattuna maailman tämänhetkiseen energiankulutukseen. (Ilmatieteen laitos, Helsinki)

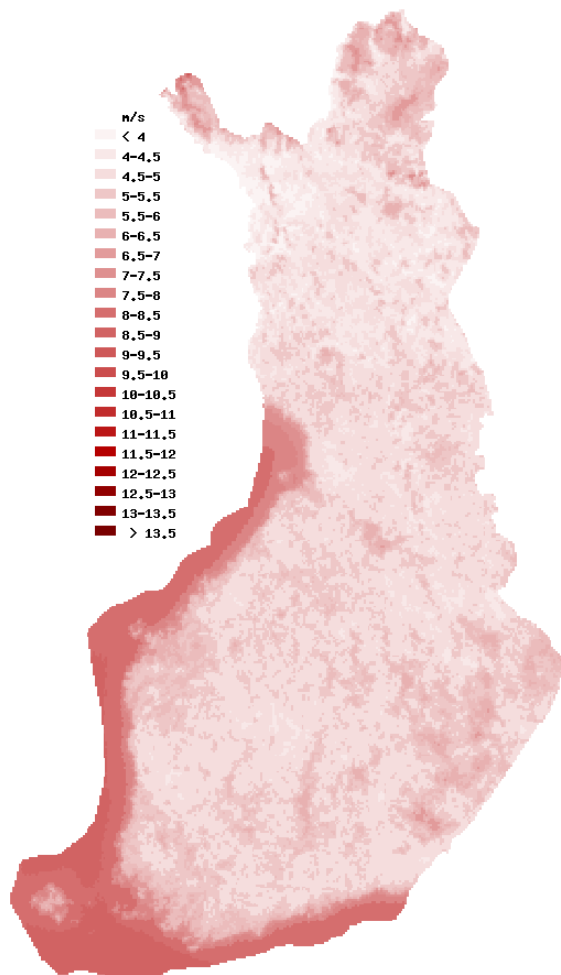
Tuuli on ilmakehässä liikkuva maanpinnan suuntainen ilmavirtaus, jonka syntymiseen vaikuttaa maapallon epätasainen lämpeneminen ja jäähtyminen. Auringon säteily vaimenee ilmakehässä. Lähellä napa-alueita säteily kulkee pitemmän matkan ilmakehässä kuin päiväntasaajalla, jolloin säteily vaimenee sitä enemmän mitä lähemmäksi napa-aluetta tullaan. Aurinko myös lämmittää maanpintaa eri tavoin eri leveysasteilla. Maapallon muodosta, sekä auringon ja maapallon keskinäisestä sijainnista johtuen lähellä päiväntasaajaa olevat alueet saavat huomattavasti enemmän auringon säteilyä kuin napa-alueet. Epätasaisen lämpenemisen vaikutuksesta maapallo toimii kuin lämpöpumppu siirtäen lämmintä ilmaa napa-alueille ja viileämpää ilmaa päiväntasaajan suuntaan. (Ilmatieteen laitos, Helsinki)

2.3. Tuuliolosuhteet Suomessa

Tuuliolosuhteet Suomessa jakautuvat karkeasti katsoen kahtia. Rannikolla on hyvät tuuliolosuhteet, jotka mahdollistavat rakentaa sinne molempia, suur- ja pientuulivoimaloita. Sisämaan tuuliolosuhteet ovat enimmäkseen heikkoja, jolloin kyseeseen tulevat pienille tuulenopeuksille suunnitellut pientuulivoimalat. Niitäkään ei kannata rakentaa, jos alueella ei tuule riittävästi. (Kuvio 1)

Tuulivoimalalle kannattaa etsiä paikallisesti tuulisin paikka. Tuulisimpia alueita ovat tavallisesti aukeat pellot ja järven rannat, missä puustoraja on kaukana takana. Tuulennopeus kasvaa ylöspäin mentäessä. Mitä korkeammalle koneisto nostetaan sitä enemmän energiaa saadaan.

Rannikolla tuulen syntyyn voi lisäksi vaikuttaa maa-aineksen lämpeneminen auringon vaikutuksesta nopeammin kuin meri lämpenee päivisin. Ilma nousee, leijailee merelle ja luo matalapaineen maanpinnalle, joka vetää puoleensa kylmää ilmaa mereltä. Tätä kutsutaan merituuleksi. Usein iltahämärässä on ajanjaksoja jolloin on tyyntä, tällöin maan ja meren lämpötila on sama. Yöllä tuuli puhaltaa vastakkaiseen suuntaan. Maatuulen nopeudet yleisesti yöaikaan ovat alhaisempia, koska öisin maan ja meren lämpötilaero on pienempi. Suomessakin maa-merituuli-ilmiö esiintyy ja tuntuu 15 - 20 km:n etäisyydelle rantaviivasta. Tuulivoiman kannalta maa-merituulivaihtelulla on Suomessa varsin vähäinen merkitys. (Ilmatieteen laitos, Helsinki)



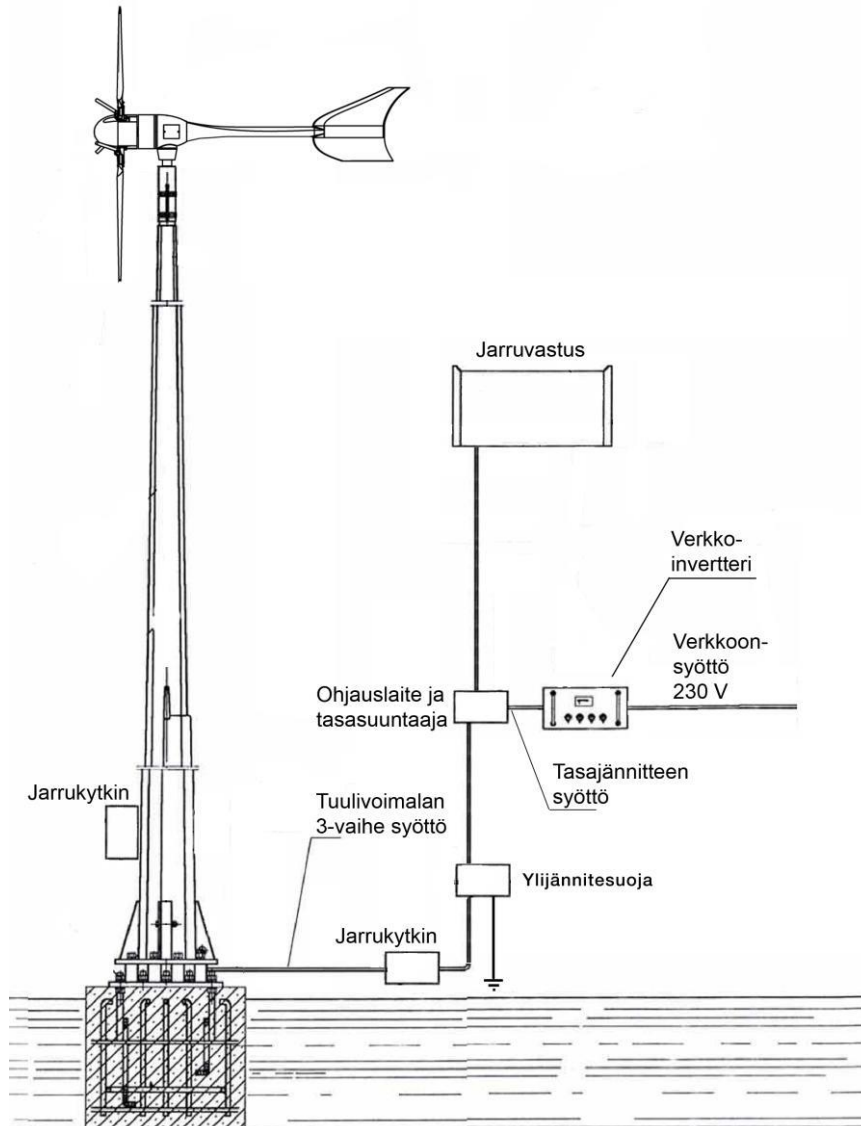
KUVIO 1. Tuuliolosuhteet suomessa (Tuuli-atlas, 2012)

3 PIENTUULIVOIMALA

Tuulivoimalalla tuotetaan tavallisesti sähköä, vaikkakin tuulivoimalaa voidaan käyttää myös veden pumppaamiseen. Kiinteistökäytössä helpoin tapa hyödyntää tuulivoimaa on muuttaa sen tuottama sähkö tavalliseksi verkkosähköksi. Tuulivoimala voidaan kytkeä myös osaksi kiinteistön sähkölämmitysjärjestelmää esimerkiksi vesivaraajaan tai sillä voidaan tuottaa peruslämpöä talven aikana kesämökillä. Kolmas vaihtoehto on akkukäyttö. Se on yleisin kesämökkikäytössä paikoissa, joissa sähköverkkoa ei ole saatavilla. Akkuja voidaan käyttää myös silloin kun halutaan rakentaa varajärjestelmä sähkökatkojen varalta. Pientuulivoimalat voidaan jakaa rakenneratkaisuiltaan vaaka- ja pysty akselisiin tuuliturbiineihin. Tässä työssä käsitellään vain kolmilapaisia, vaaka-akselisia, taajuusmuuttajaohjattuja pientuulivoimaloita. Vaikkakin vaaka- ja pysty akselisten tuulivoimaloiden ohjauselektroniikan erot ovat hyvin pieniä.

3.1. Rakenne ja toiminta

Tässä työssä tutkittava pientuulivoimala on tyypiltään niitä yleisimpiä ja se koostuu periaatetasolla kuviossa 2 näkyvistä laitteista.



KUVIO 2. Pientuulivoimalajärjestelmän laitteisto periaatetasolla (JOPK)

Pientuulivoimalan verkkoon kytkemiseksi on generaattorin ja sähköverkon väliin asennettava laitteisto, jolla tuotettu sähkö muokataan verkkomuotoiseksi. Tuulivoimalan generaattorin tuottaman sähkönn jännite ja taajuus muuttuvat jatkuvasti pyörimisnopeuden muuttuessa. Taajuusmuuttajat mahdollistavat tämän vaihtuvataajuisen ja -jännitteisen energian hyödyntämisen ja syöttämisen verkkoon, koska generaattoriyksikkö muuttaa tehon ensin tasasähköksi, jonka jälkeen verkkoinvertteri muuntaa sähkönn normaaliksi 400VAC/50Hz vaihtosähköksi.

Tuulivoimala tuottaa tuulisuuden mukaan vaihtelevan määrän sähköä. Mikäli sähköä ei voida käyttää, ohjauslaite kytkee päälle jarruvastuksen. Jarruvastuksen tehtävä on jarruttaa tuulivoimala ja jopa pysäyttää se. Siihen ohjataan tuulivoimalan tuottama sähkö, jolloin se kuumenee voimakkaasti. Jarruvastus on kuitenkin harvoin käytössä, lähinnä vain ongelmatilanteissa, esim. jos sähköverkko on poikki.

Verkkoinvertteri toimii siten, että se tunnistaa sähköyhtiöltä tulevan sähkön taajuuden ja jännitteen ja syöttää sen rinnalle tuulivoimalasta tulevan sähkön. Verkkoinvertteri on kytketty sulaketauluun ja se syöttää tätä kautta sähköä kiinteistöön. Tällöin tuulivoimalan tuottama hyöty näkyy suoraan säästönä sähkölaskussa. Jos tuulivoimalan tuottama sähkö ei riitä kokonaan omaan kulutukseen, niin tarvittava osuus otetaan sähköverkosta. Tilanteen ollessa toisinpäin, eli tuulivoimalan tuottaessa enemmän sähköä, kuin kiinteistössä kulutetaan, ylijäämä siirtyy verkon puolelle yleiseen käyttöön.

Jos sähköverkkoon tulee vika, myös verkkoinvertteri lopettaa automaattisesti sähkön tuotannon. Tämä on sähköverkkojen turvallisuusvaatimus. Verkkoinvertteri ei siis toimi yksin varavirtajärjestelmänä, vaan sellaiseen tarvitaan aina myös akut. (Jokamiehen opas pientuulivoimalan käyttöön)

3.1.1 Tuulen teho

Tuulesta saatavan tehon teoreettinen hyötysuhde on noin 59 %, mutta käytännössä tähän ei päästä. Tuulesta saatavan maksimihyötysuhteen määrää Betzin-laki. (kaava 1)

$$c_p = \frac{P}{P_0} = 0,5 * \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right] * \left[1 + \frac{v_2}{v_1}\right], \text{ missä} \quad (1)$$

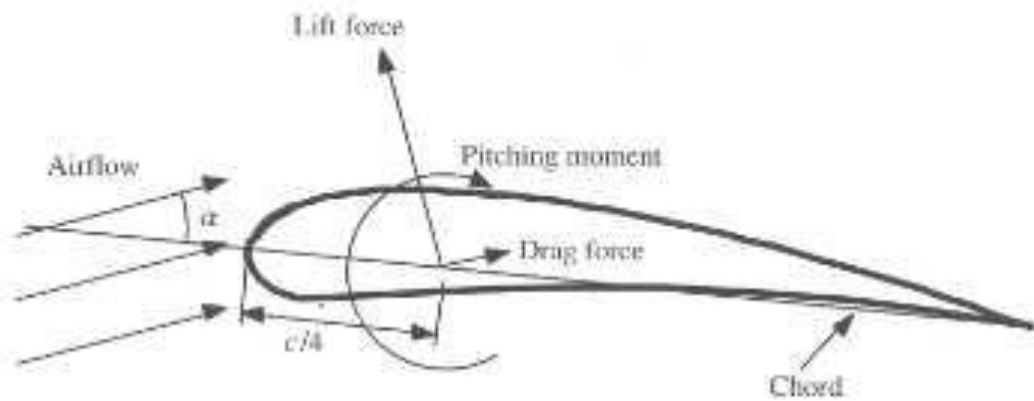
v_2 = nopeus ennen roottoria

v_1 = nopeus roottorin jälkeen

P = ilmasta otettu teho

P_0 = ilmavirtauksen teho

Tuulivoimala on koneisto, joka muuttaa tuulen energian sähköksi. Tuulivoimalassa tuulen energia muutetaan ensin mekaaniseksi energiaksi pyörivälle akselille, joka on kytketty generaattorin roottoriin. Pyörimisliikkeen muodostamiseen käytetään tuulen tuuliturbiinin laivoille aiheuttamaa nostevoimaa. Nostevoima syntyy, kun ilma virtaa siiven yläpinnalla nopeammin aiheuttaen sinne pienemmän paineen kuin siiven alapinnalla. Tämän seurauksena syntyy tuulensuuntaan nähden kohtisuora nostevoima (lift force). Siipi aiheuttaa myös vastusvoiman (drag force) ilmavirralle. Nämä kaksi voimaa sekä pituuskallistuksen vääntömomentti (pitching moment) vaikuttavat kuvion 3 mukaan siiven poikkileikkauksen jäniteellä neljänneksen päässä siiven kärkipisteestä. Voimien ja väännön suuruuteen voidaan vaikuttaa ilmavirran ja siiven poikkileikkauksen kohtauskulmaa muuttamalla. (Manwell 2002, s.328-335)



KUVIO 3. Siiven poikkileikkaus, jossa näkyy tuulen aiheuttamat noste- ja vastusvoimat. (Manwell)

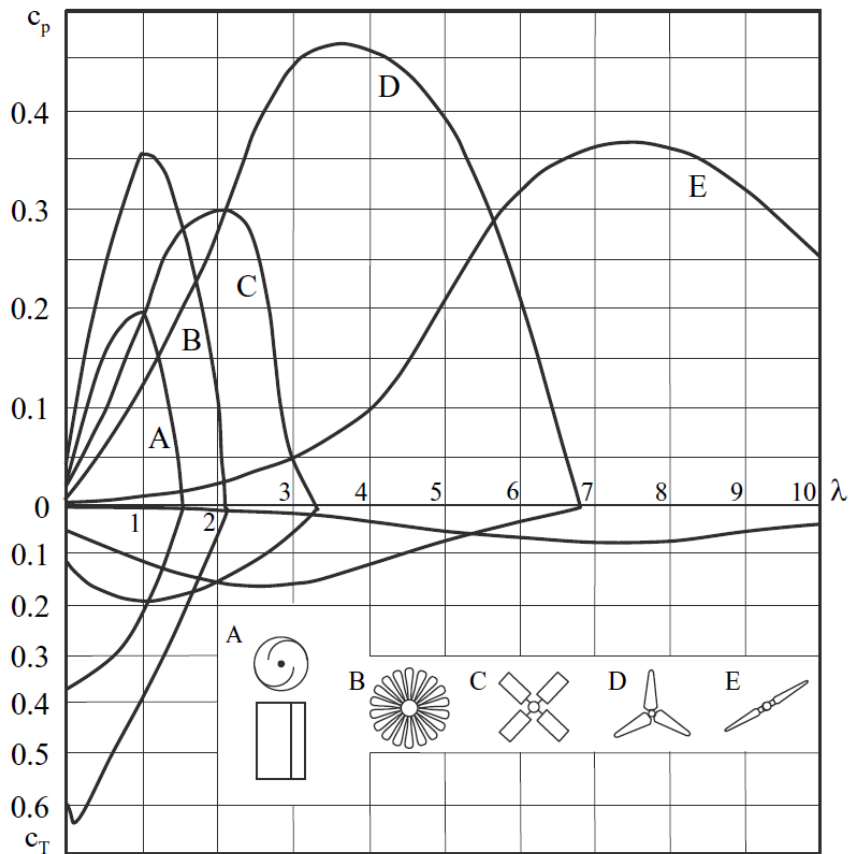
3.1.2 Roottorin teho

Roottorin teho on riippuvainen sen pyörähdyspinta-alasta, tuulennopeudesta ja siivelle tyypillisestä tehokertoimesta c_p , joka kolmilapaiselle roottorille on maksimissaan 0,47. Huomattavaa on, että teho on riippuvainen pyörähdyspinta-alan toisesta potenssista ja tuulen nopeuden kolmannesta potenssista. Roottorin pyöriessä siihen syntyy aerodynaaminen vääntömomentti, joka voidaan laskea kaavalla (2).

$$T_r = 0,5 * \rho * \pi * R^3 * v^2 * c_T \quad (2)$$

Roottorin akselille syntyvän aerodynaamisen väännön suuruus riippuu roottorin kärkinopeudesta ja geometriasta, tuulen nopeudesta sekä roottorin ilmanvastuksesta. Kolmilapaisen roottorin teoreettinen tehokertoimen maksimiarvo $c_p=0,47$ ja sen tuottama akseliteho voidaan laskea kaavalla (3). (Kuvio 4)

$$P = 0,5 * \rho \pi R^2 v^3 c_p \quad (3)$$



KUVIO 4. Erilaisten roottoreiden teho- ja momenttisyötösuhteet tuulen jättönopeuden funktiona (Vihriälä Harri, Control of Variable Speed Wind Turbines, Väitöskirja TTY)

Roottorin lavat voivat olla joko kiinteästi asennetut tai säätävikulmaiset. Molemmilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Kiinteä laparakenne on halpa ja vahva, mutta se on optimoitu suppeammalle tuulennopeus alueelle.

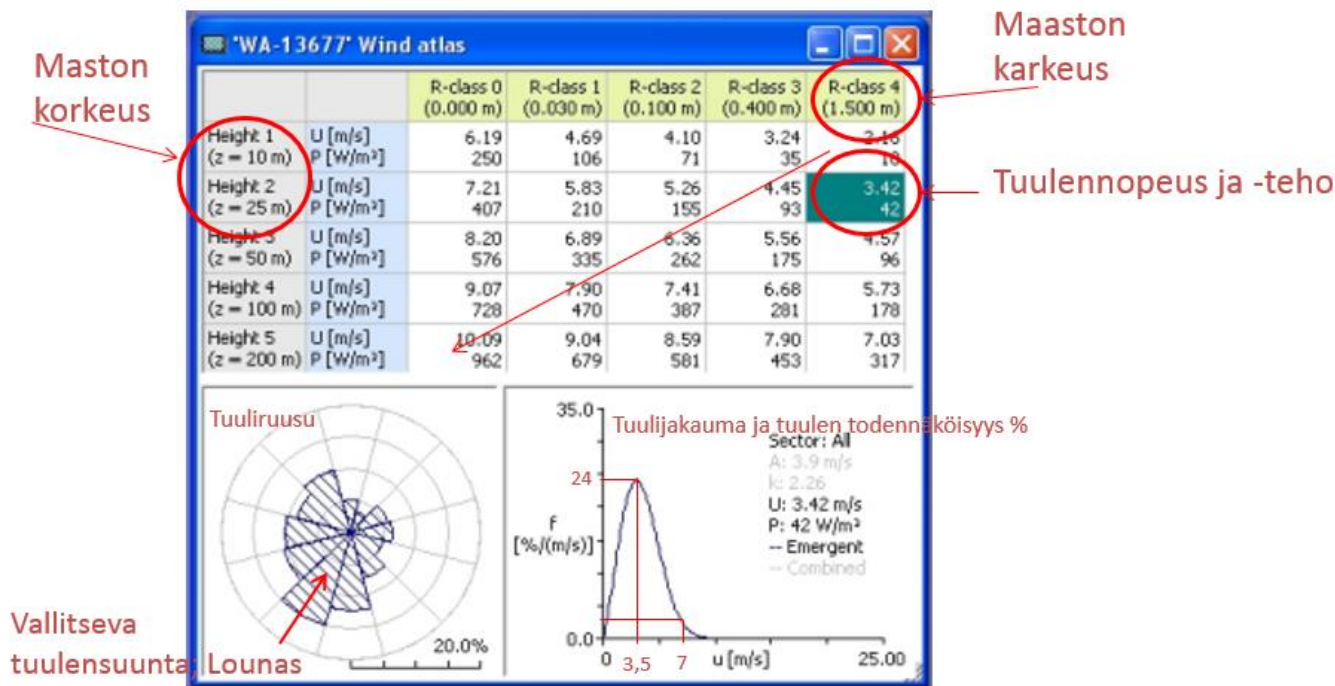
Lapakulman säädöllä varustetut roottorit ovat kalliimpia ja vikaantuvampia (Kuva 2). Niillä saadaan kuitenkin useita etuja, mm. parempi käyntiinlähtö, mahdollisuus säädellä pyörimisnopeutta ja tehokas myrskysuojaus.



KUVA 2. Lapakulman säädöllä varustetun roottorin säätölaite (Rapport SEPEN 19.2, Sonkyo Energy)

3.2. Tuulennepeuden mittaaminen

Tuulennepeuden mittaamista tarvitaan jo tuulivoimalan suunnitteluvaiheessa, kun kartoitetaan alueiden tuulisuutta. Tuulennepeusmittaria kutsutaan anemometriksi. Valmiita tuulikartoituksia löytyy tuuliatlaksesta, joita voi käyttää investointipäätösten tukena ja arvioita tehtäessä (Kuvio 5)



KUVIO 5. Valmiita tuulitietoja tuuliatlaksesta (Pientuulivoimaa Vuorekseen, Erkki Haapanen, 2011)

Tuulivoimalan asennuspaikan tuulisuuden arvioimiseksi on olemassa erilaisia mittaussmenetelmiä ja laitteita, mutta yksinkertaisin ja luotettavin tapa on asentaa oma tuulimittari ja mitata tuuliolosuhteita itse. Mittaus on tehtävä tuulivoimalan suunnitellulta napakorkeudelta. Mittauksia varten tarvitaan usein myös masto, joka voidaan vuokrata mittalaitteita myyviltä yrityksiltä.

Kuviossa 5 esitetään kootusti tuulimittauksessa kerättyjä tietoja, joista on hyötyä kun mietitään tuulivoimalan asennuspaikkaa. Tuulimittauksen yhteydessä tallennetaan tietoa myös tuulen suunnasta, jolloin tuuliruusuista nähdään missä määrin eri ilmansuunnista tuulee.

Tuulimittauksen tulisi kestää useita kuukausia ja mieluusti jopa vuoden. Tämä johtuu siitä, että eri vuodenaikoina tuuliolosuhteet vaihtelevat huomattavasti. Kun tuuliolosuhteet on mitattu, keskituulennopeutta verrataan valmistajan tuulivoimalalle ilmoittamaan tuottoarvioon. Tuottoarvio on kuitenkin aina arvio. (Pientuulivoimaa Vuorekseen, Erkki Haapanen, 2011)

4 TAMKin TUULIVOIMALA

TAMKille hankittiin pientuulivoimala (Kuva 3) opetuskäyttöön vuonna 2011. Toimitukseen kuului myös oikeaa tuulivoimalaa vastaava laitteisto, jolla tämä työ tehtiin laboratorio-olosuhteissa. Toimittajana oli Cypress Wind Turbines Oy. Tuulivoimalan teknisiä tietoja taulukossa 1.



KUVA 3. Pientuulivoimala TAMKin pihalla.

TAULUKKO 1. TAMKIn tuulivoimalan teknisiä tietoja

Valmistaja	Sonkyo Energy
Malli	WindSpot 3.5
Tuulivoimalan tyyppi	Vaaka-akselinen
Suunnan ohjaus	Passiivinen
Ohjain tyyppi	Verkkoonkytkentä
Invertteri	Vacon INU/AFE
Jarrutus	Sähköinen
Tehon hallinta	Passiivinen lavankääntö
Generaattori	PMG 3,5 kW
Roottorin halkaisija	4.1 m
Lapojen määrä	3 kpl
Maston korkeus	18 m
Nimellistehontuotto	11 m/s
Käynnistymistuulennopeus	3 m/s

4.1. Mittausjärjestelyt

Kaikki tähän työhön liittyvät mittaukset suoritettiin koulun sähkölaboratoriossa olevalla tuulivoimalaa mallintavalla laitteistolla. Laitteiston ohjausosa on täysin sama kuin ulkona olevassa oikeassa tuulivoimalassa.

Tuulivoimaa mallinnettiin servomootorilla, mekaanisen vaihteiston välityksellä (Kuva 4). Tekniset tiedot löytyvät taulukoista 2 ja 3. Voimalaa mallintava laitteisto kytkettiin suoraan koulun sähköverkkoon, jonne myös tuotettu sähkö syötettiin. Tehon mittauksessa käytettiin Fluke453-tehomittaria, useita Fluke43-tehomittareita, Fluke-skooppiä ja perinteisiä W-mittareita. Fluke453:n virtapihdit oli tarkoitettu melko suurelle virta-alueelle (40A) ja ovat sellaisenaan käytettynä epätarkkoja pieniä virtoja mitattaessa. Tarkkuutta parannettiin laittamalla viisinkertainen virtasilmukka pihdin läpi pieniä tehoja mitattaessa. Fluke43:n virtapihdissä oli sopiva virta-alue valinta myös pienille tehoille.

Mittalaitteiden kalibroinneista oli kulunut jo vuosia, mutta niiden todettiin olevan riittävän hyvin spekseissä tätä mittausta ajatellen.

TAULUKKO 2. Servokäytön tekniset tiedot

n_n	M_n	M_k	K_T
rpm	Nm	Nm	Nm/A _{rms}
3000	18	23,4	2,0

TAULUKKO 3. Vaihteen tekniset tiedot

Valmistaja: SEW-EURODRIVE					
Malli: R47 AD2					
i	n_1	n_2	M_{2max}	P_e	m
	rpm	rpm	Nm	kW	kg
6,00	1400	233	156	4,0	16



KUVA 4. Servomoottori ja sen ohjauspöytä, vaihteisto ja generaattori

4.2. Generaattori

Tässä työssä testattavana ollut generaattori oli Ginlongin valmistama kestopagneetti-generaattori GL-PMG-3500. Koulun pihalla olevassa tuulivoimalassa on tuntemattoman tekijän kopio tästä samasta mallista. Generaattorin kylkeen tussilla merkityt kilpiarvot ovat taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Generaattorin kilpiarvot

n_n	n_{max}	f_s	P_n	I_n	U_Y	M_n	$N_{apap.}$
rpm	rpm	Hz	kW	A	V	Nm	lkm
252	300	42	3,5	7	320	150	10

Kestomagneettikoneessa roottorikäänitys on korvattu kestopagneeteilla. Toimintaperiaate on melko samanlainen kuin perinteisillä tahtikoneilla, mutta erillinen magnetointipiiri voidaan jättää pois, jolloin hyötysuhde paranee. Kun roottorin magnetointia ei voida säätää, on magnetointi vakio ja tehokerroin muuttuu kuorman mukana. Kestomagneeteista johtuen vastajännite on pyörimisnopeudesta riippuvainen, jolloin kentänheikennys on rajallista. Tässä tilanteessa kentänheikennys tarkoittaa kääniviuon pienentämistä ja pyörimisnopeuden nostamista yli nimellisnopeuden, jännitteen säilyessä nimellisarvossa. (Hietalahti Lauri, Säädetyt sähkömoottori käytöt, 2011)

4.3. Tuulivoimalan ohjauslaitteiston osat ja niiden toiminta

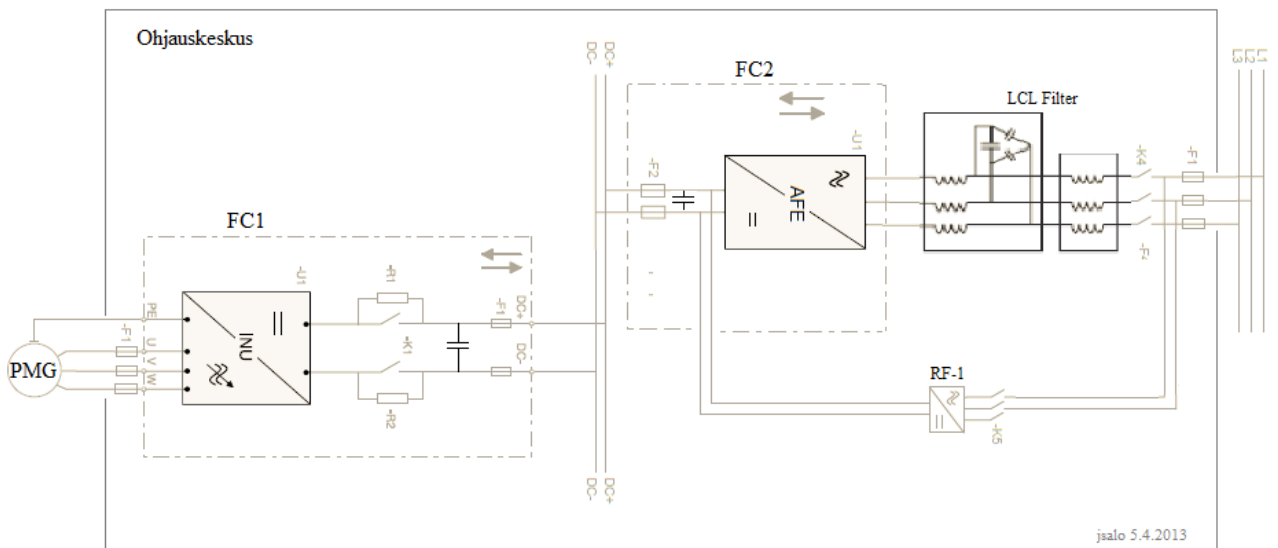
Aluksi täytyi selvittää mistä laitteista tuulivoimalan ohjainlaitteisto koostui ja mikä niiden tehtävä oli. Miten kokonaisuus toimii ja mikä laite ohjaa mitään. Tuulivoimalan ohjauslaitteisto esitellään kuvassa 5 ja tuulivoimalan sähkökaaviokuvat löytyvät liitteestä 6.



KUVA 5. Tuulivoimalan ohjauslaitteisto

4.3.1 Taajuusmuuttajat

Kun pientuulivoimala halutaan liittää sähköverkkoon, niin vaatii se toimiakseen tehoelektronikkalaitteiston, jolla voidaan muuttaa generaattorin tuottama muuttuvataajuinen vaihtovirta verkkotaajuiseksi. Tässä tuulivoimalassa on käytetty kahta Vaconin Common DC bus invertteriyksikköä. Molemmat ovat olleet alun perin INU-yksiköitä, joista toisesta on tehty AFE-yksikkö. INU-yksiköstä saadaan AFE-yksikkö lataamalla siihen AFE-ohjelma ja lisäämällä välijännitepiiriä lataava tasasuuntaaja. (Kuvio 6)



KUVIO 6. TAMKIn tuulivoimalan invertterikytkennän periaatteellinen lohkokaavio

Generaattori kytketään INU-yksikköön ja sähköverkko AFE-yksikköön. Näiden kahden välillä on tasajännitepiiri, jota INU-yksikkö lataa ja josta AFE-yksikkö kytkee IGBT ohjatulla kuusipulssisillalla tehoa verkkoon. Lisäksi tarvitaan latauspiiri, jolla välijännitepiirin DC-jännite saadaan nostettua nimellistasolle ennen yksikköjen modulointien käynnistystä. Latauspiiri ohitetaan (K5), kun jännite on tarpeeksi suuri, ja verkkopuolen pääkontaktin (K4) koskettimet suljetaan. INU-yksikön toinen tärkeä tehtävä on säätää generaattorin kuormitusta roottorin momenttikäyrän mukaan ja optimoida näin tuulesta saatavaa tehoa. Roottorin ja generaattorin on sovittava teholtaan yhteen.

Taajuusmuuttajan ohjauselektroniiikan toiminta tuulivoimalakäytössä:

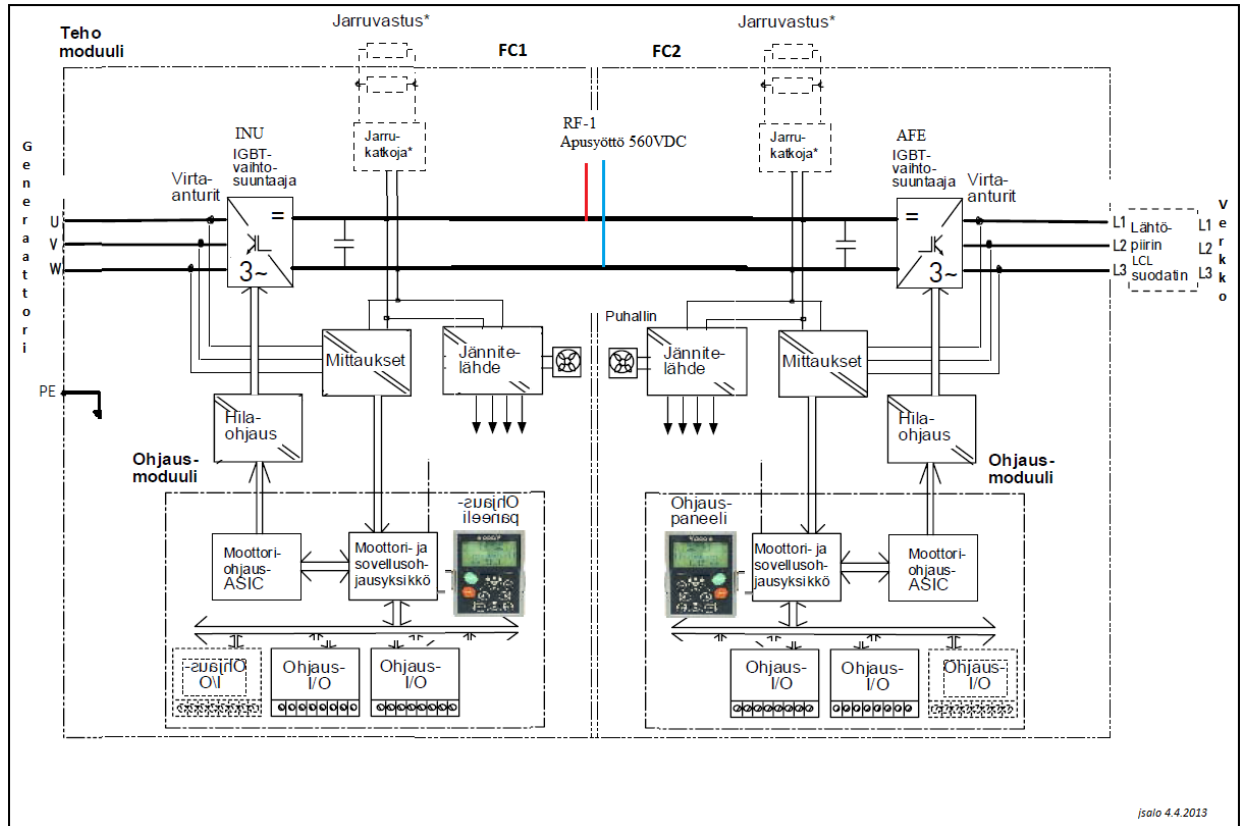
Kun tuulivoimala syöttää tehoa verkkoon, ohjaa INU:n mikroprosessori generaattoria mitaustietojen, parametriasetusten, ohjausliittymän ja ohjauspaneelin antamien tietojen perusteella. Moottori- ja sovellusohjausyksikkö ohjaa puolestaan moottorinohjaus-ASIC-piiriä, joka taas laskee ohjausjaksot IGBT-kytkimille. Hilaohjausvahvistin vahvistaa nämä signaalit IGBT-tasasuuntaajalle, joka muodostaa tasajännitteen välijännitepiiriin. AFE:n mikroprosessori ohjaa verkkoon syötettävän jännitteen muotoa mitaustietojen, parametriasetusten, ohjausliittymän ja ohjauspaneelin antamien tietojen perusteella. Moottori- ja sovellusohjausyksikkö ohjaa puolestaan moottorinohjaus-ASIC-piiriä, joka taas laskee ohjausjaksot IGBT-kytkimille. Hilaohjausvahvistin vahvistaa nämä signaalit IGBT vaihtosuuntaajaa varten ja IGBT-vaihtosuuntaaja tuottaa säädettävän, symmetrisen, kolmivaiheisen PWM-moduloidun AC-jännitteen verkkoon. (Kuvio 7) (Vacon User's Manual ARFIF02 Active Front End)

Kun tehon suunta on verkosta generaattoriin päin, niin toiminta on käänteinen. Eli näillä taajuusmuuttajilla voidaan syöttää energiaa molempiin suuntiin. Tuulivoimalakäytössä taajuusmuuttajien on ohjelmallisesti hallittava tehon siirron suunta, ettei synny tilannetta, jossa generaattori lähtisi pyörimään moottorina. Koulun pihalla olevan tuulivoimalan testivaiheessa näin on päässyt käymään. Nykyisellään tätä tuulivoimalaa ohjataan ABB:n taajuusmuuttajilla, joiden kanssa näitä ongelmia ei ole ollut.

Väljännitepiirissä olevat kondensaattorit toimivat energiavarastona tasasähkölle. Taajuusmuuttajan generaattorista ottama teho on kokonaan pätötehoa. Siksi generaattorin $\cos\varphi \approx 1$ muuttajan parametreissa. (Vacon_NX_käyttöohje_fi.pdf 2011, 17)

Tämän tuulivoimalan taajuusmuuttajat ovat vektoriohjattuja, jännitevälipiirillisiä VSI-(Voltage Source Inverter) ja pulssinleveysmoduloituja PWM-(Pulse-Width Modulation) konverttereita, joissa käytetään IGBT-siltaa (Insulated Gate Bipolar Transistor). (Vacon)

Tämän tyyppisillä taajuusmuuttajilla voidaan ohjata PM- ja induktiokoneita.



KUVIO 7. Tuulivoimalan taajuusmuuttajakytkennän ohjauslohkokaavio (Vacon)

Taajuusmuuttajan tärkein mitoituskriteeri on sen läpi kulkeva teho. Teho muodostuu jännitteen ja virran tulosta. Niinpä taajuusmuuttajan (komponenttien) jännite ja virtakestoisuudet tulevat vastaan komponentteja valittaessa ja niiden suojausta toteutettaessa.

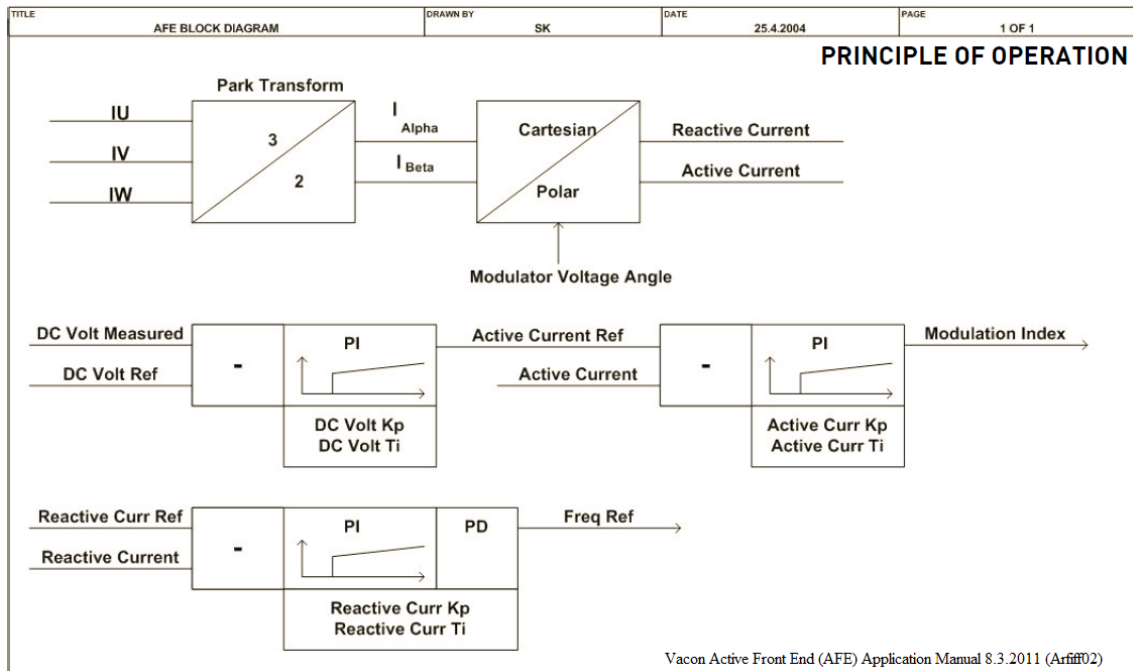
TAULUKKO 5. TAMKIn tuulivoimalassa olevien taajuusmuuttajien tekniset tiedot.

Tyyppi	Yksikkö		Pieni ylikuormitus (vaihtovirta)		Suuri ylikuormitus (vaihtovirta)		I_{max}
	Koodi	Koko	I_{L-jatk} [A]	I_{1min} [A]	I_{H-jatk} [A]	I_{1min} [A]	I_{2s} [A]
AFE	NXA_0009 5	FR4	9	9,9	7,6	11,4	14
INU	NXI_0009 5	FR4	9	9,9	7,6	11,4	14

AFE-yksikkö muodostaa verkkojännitteen seuraavasti:

AFE-yksikkö tahdistaa invertterin siihen liitettyyn sähköverkkoon ja muodostaa verkkoon syötettävää jännitettä ohjaamalla IGBT-transistoreilla jännitteen taajuutta ja amplitudia. AFE:n perustoimintaperiaattena on verkkovirran jakaminen verkkojännitteen suhteen pätö- ja loisivir-

takomponentteihin. Näitä mitattuja arvoja verrataan parametreinä annettaviin referenssiarvoihin. Pätövirran referenssiarvo saadaan välipiirin jännitteen säätäjältä, jonka tarkoitus on pitää välipiirin jännite parametrinä annettavan ohjearvon suuruisena. DC-jänniteensäätäjän lähdön ja mitatun pätovirran erotus antaa pätovirransäätimelle ohjearvon. Pätövirransäätäjän lähtö antaa AFE:lle jännitteen amplitudin ohjearvon. Tämä näkyy kuviossa 8 muuttujana *Modulation Index*. Loisvirtakomponenttia verrataan parametrinä annettavaan ohjearvoon, josta erotus menee PI-säätäjälle. Positiivinen ohjearvo kompensoi induktiivista loisvirtaa ja negatiivinen kapasitiivista. Oletusarvona loisvirran ohje on 0. Loisvirransäätäjän tehtävä on pitää suuntaaja synkronoituna verkkoon. Sen lähtö derivoituna antaa AFE-yksikölle taajuusohjeen. (Vacon User's Manual ARFIF02 Active Front End)



KUVIO 8. AFE-yksikön ohjearvojen muodostaminen (Vacon AFE User's Manual)

Nykyaikaisessa taajuusmuuttajassa puolijohdekytkinten toimintaa ohjaa mikroprosessori, johon on ohjelmoitu vakiona sähkömoottorin matemaattinen malli. Kun INU-yksikön ja generaattorin välistä yhteyttä muutetaan, (esim. vaihdetaan kaapelia) tulee suorittaa parametriaajo, jossa moottorista mitataan tarvittavat arvot. Tämän jälkeen prosessori laskee annetuista ohjauskäskyistä ja mitatuista arvoista kytkimille uudet olotilat.

Taajuusmuuttajan ulostulojännitteen rakentamistapaa kutsutaan pulssinleveysmoduloinniksi, josta on käytössä vakiintunut lyhenne *PWM* (*Pulse Width Modulation*). Tämä tarkoittaa, että ulostuleva jännite muodostuu vakiosuuruisesta tasajännitevälipiirin tasajännitteestä. Ulostulevan jännitteen suuruutta säädelään pulssien kestoajan pituutta muuttamalla. Tämä tarkoittaa siis puolijohteen johtamisajan muuttamista aina, kun muodostetaan uusi jännite. Tämä keino on nopein tapa muuttaa ulostulevaa jännitettä muihin tapoihin verrattuna. *PWM* on myös nykyaikana käytetyin modulaatiotapa erikoistapauksia lukuun ottamatta. (Vacon)

4.3.2 Välijännitepiiri

Molempien inverttereiden, INU ja AFE välijännitepiirit ovat yhdistetty toisiinsa. Yksiköiden välijännitepiireissä olevat kondensaattorit ($2 \times 235 \mu\text{F}$) toimivat energiavarastona tasasähkölle ja vakauttavat jännitettä. Tässä ratkaisussa välijännitepiiri tarvitsee DC-syötön verkosta ennen kuin taajuusmuuttajat voidaan käynnistää. Tämä hoidetaan ohjauskaapissa olevalla pienellä tasasuuntaajalla (RF-1), joka on kytketty verkon pääjännitteeseen (400VAC/560VDC). Tämän tuulivoimalan taajuusmuuttajissa on omat sisäiset tasasuuntaajat tätä tarkoitusta varten, mutta niitä ei voida käyttää, koska taajuusmuuttajat kytketään irti verkosta silloin kun ei tuule riittävästi. Toinen painavampi syy ulkoisen latauspiirin käyttöön on näiden taajuusmuuttajien toimimattomuus kun käytetään sisäistä latauspiiriä. Teknisesti näiden toiminnalle ei pitänyt olla mitään estettä, mutta jostain syystä jos järjestelmän käynnisti kontaktoria K5 käsin painamalla tai logiikkaohjelman avulla kontaktoria ohjaamalla, ei järjestelmä toiminut oikein. Joko jarrutus ei toiminut tai sitten tehoa ei mennyt verkkoon ollenkaan. Syy: AFE-yksikkö ei mene run-tilaan ollenkaan jos se käynnistetään näin.

Taajuusmuuttajien sisäisessä latauspiirissä on 50Ω latausvastus, eli se rajoittaa IGBT:den läpi kulkevaa virtaa. Samaa periaatetta käyttäen on rakennettu tämä ulkoinenkin latauspiiri, joka on toteutettu tasasuuntaajalla sekä kahdella 50Ω vastuksella. (Pasi Vähämartti, Nocart Oy)

Väljännitepiirin DC-apusyöttö tarvitaan väljännitepiirissä olevien kondensaattoreiden suojaamiseksi. Tyhjät kondensaattorit muodostavat lähes oikosulun IGBT-sillalle, jos ne kytketään tyhjänä generaattori- tai verkkojännitteeseen.

Väljännitepiirin jännitetasoa säätämällä vaikutetaan verkkoon syötettävän jännitteen tasoon. AFE pystyy vahvistamaan DC-välipiirin jännitteen (oletusarvo +10 %) suuremmaksi kuin DC-välipiirin nimellisjännite ($1,35 \times U_N$). Moduloinnin ollessa käynnissä, DC-piirin jännite pysyy referenssin suuruisena. Väljännitepiirin jännitereferenssinä käytettiin 105 %:tta, mikä tarkoittaa 400 V:n syöttöverkossa noin 567 VDC:tä ($1,05 \times 1,35 \times 400 \text{ V} = 567 \text{ V}$). Kerroin 1,05 tulee käytetystä tasajännitereferenssistä ja kerroin 1,35 on ohjaamattoman 6-pulssisillan vakiotermi.

Myös sähköverkon jännitetaso vaikuttaa väljännitepiirin jännitetasoon. Sähköverkon jännitetason noustessa nousee myös taajuusmuuttajan välipiirin jännite. Sen noustessa liikaa on tuuli-voimalla irrotettava verkosta taajuusmuuttajan rikkoutumisen estämiseksi. (Vacon User's Manual ARFIF02 Active Front End)

AFE-yksikön parametreissa loisivirtareferenssinä käytettiin 0 %:a, joten verkkoon syötetään ilmeisesti pelkkää pätövirtaa. AFE-yksikkö syöttää tehon verkkoon LCL-suodattimen läpi, jonka tarkoitus on suodattaa verkkovirrasta ylimääräiset taajuudet pois ja tehdä siitä sinin muotoista.

Väljännitepiiriin kytketään myös jarruvastukset, jos niitä halutaan käyttää. Tässä voimalassa sitä ratkaisua ei ole käytetty. Nämä liittimet on merkitty tunnuksin B-, B+/R+ ja R-. DC-kiskoliitännässä käytetään liittimiä B- ja B+, kun taas jarruvastusliitäntä tehdään liittimiin R+ ja R-. (Vacon NX käyttöohje, UD01029A.pdf) Jarruvastustoiminto otetaan käyttöön parametriasetuksella valikosta P6.7.1. Tällä toiminnolla taajuusmuuttajalle kerrotaan, onko sisäinen jarruvastus kytketty vai ei.

4.3.3 Ohjauslogiikka

Tuulivoimalasovellus tarvitsee ulkoisen ohjauslogiikan, joka herättää voimalan ja ohjaa sen toimintaa silloin kun taajuusmuuttajia ei kannata pitää toiminnassa. Esimerkiksi pienillä tuulennopeuksilla.

Taajuusmuuttajiin voidaan lisätä erilaisia liityntäkortteja, joissa on analogi- ja digitaali- I/O-liityntöjä ja niillä voidaan tehdä ohjauksia ja seurata tilatietoja. Tässä tuulivoimalassa taajuusmuuttajat laitetaan horrostilaan, kun ei tuule tarpeeksi, eikä taajuusmuuttajan logiikkaa voida silloin käyttää.

Tämän tuulivoimalan kehitysvaiheessa on huomattu, että esimerkiksi analogi-tulot eivät toimi, mikäli taajuusmuuttajien tehoelektroniikka ei ole päällä. I/O ohjaus todennäköisesti toimii. Esimerkiksi tuulianturin tai generaattorin pyörimisnopeustietoa pitää pystyä lukemaan jatkuvasti. Näiden mittaus täytyi siirtää ulkoisen ohjelmoitavan releen hoidettavaksi. Ennen releen käyttöönottoa taajuusmuuttajia modifioitiin siten, että ne lähtivät käyntiin itsestään kun välipiirin jännite nousi noin 80VDC tasoon. Tämä oli mahdollista toteuttaa kestomagneettigeneraattoreilla. Käytännössä tämä osoittautui huonoksi ratkaisuksi. Ensimmäkin itse modifiointityö täytyi tehdä ja toinen oli modifioinnin vikaantuminen. Tämän ratkaisun huono puoli oli myös se, ettei käynnistystasoa pystytty mitenkään muuttamaan. (Pasi Vähamarti, Nocart Oy)

Tuulesta pitäisi mitata pidemmän ajan keskiarvoa, josta sitten päätetään milloin taajuusmuuttajat käynnistetään. Modifioidut taajuusmuuttajat lähtivät pienimmästäkin tuulenpuuskasta päälle jos vain siipi ehti kiihtymään riittävästi. Turhia käynnistyskysymyksiä tuli paljon.

Tämän tuulivoimalan käynnistymistä valvova taajuusmittamuunnin F-MU ohjaa monitoimiohjausrelettä Easy512-DC-RC, joka mm. käynnistää taajuusmuuttajat, kun tuulennopeus on ylittänyt asetetun raja-arvon. (Taulukko 6.)

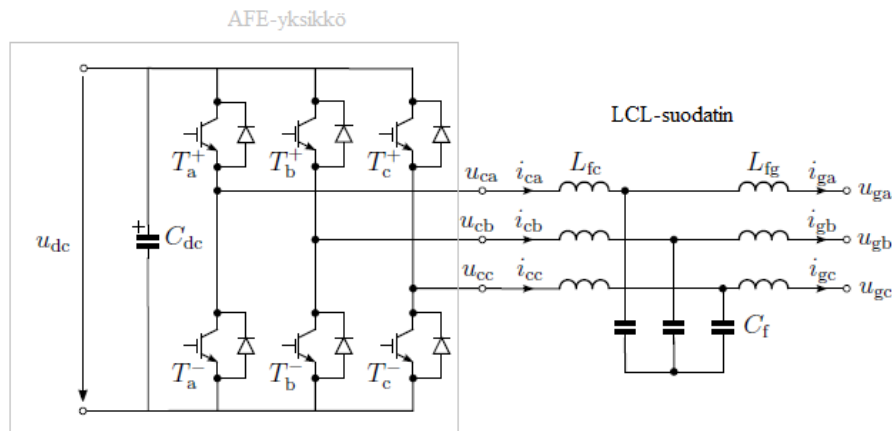
TAULUKKO 6 EasyReleen tekniset tiedot

Tekniset tiedot			
Käyttöjännite	24 VDC	Valmistajan tyyppi	EASY512-DC-RC
Lähdöt	4 aikarelettä	LCD-näytöllä ja käyttöpainikkeilla	
Tuloliitännät	8	Virrankulkunäyttö kytkentäkaavion tarkastukseen	
Mitat L x K x S	71.5 x 90 x 58 mm	lähies kaikki nykyaikaisen PLC:n teho-ominaisuudet	
Toimintalämpötila	-25...+55 °C	laskureita ja kytkentäkelloja,	
Digitaalitulot (käytettävissä analogisesti)	8 (2)	aritmetiikkayksikköä ja loogista operaatiota	
Suojausluokka	IP 20	analogisten arvojen vertailija,	
Analogitulot	0...10 VDC		
Kuormavirta	4 x 8 A		
Relelähdöt	enint. 10 A	Ohjelmointi käyttöpainikkeilla tai mukavasti EASY-SOFT-	
Analogilähdöt	0...10 VDC		

4.3.4 LCL-suodin

Verkon ja taajuusmuuttajan väliin on kytketty suodatin, jonka tarkoituksena on vaimentaa AFE-yksikön tuottamien vaihevirtojen PWM-moduloinnista aiheutuvat harmoniset yliaallot. Vaihevirran viipaleaalto on suodatettava mahdollisimman hyvin ja pienin häviöin sinin muotoiseksi.

Suodin on LCL-tyyppinen, jossa kahden sarjaan kytketyn kolmivaihekelan väliin on kytketty kondensaattorit kolmioon (Kuvio 9.) Se on passiivinen kokonaisuus eikä tarvitse ulkoista ohjailua vaan toimii itsenäisesti.



KUVIO 9. LCL-suodatin kytkettynä AFE-yksikköön

LCL-suodatin on luonteeltaan värähtelevä systeemi sarja- ja rinnakkaisresonanssineen ja se suunnitellaan määrätyleiselle teholle, jolla sen toiminta on haluttua. Suodattimen suodatuksen tehokkuuteen vaikuttaa vaihevirrän suuruus: virran pienentyessä suodatuskyky heikkenee. Vaikutus on sitä suurempi, mitä suurempi on kuristimen induktanssiarvo. Tämä voi aiheuttaa ongelmia vaihtosuuntaajan tapauksessa, jossa kuormitus vaihtelee suuresti. (Vaihtosuuntauksen ja suodatuksen toteuttaminen tasasähköjakeluverkossa 2007, LTY)

Tässä tuulivoimalassa käytetty suodatin on hieman ylimitoitettu ja vaatisi tarkastelua enemmänkin. (Pasi Vähämartti, Nocart Oy) Tässä tuulivoimalassa käytetystä LCL-suodattimesta on hyvin vähän tietoa, eikä sitä käsitellä tässä työssä.

4.3.5 Tuulivoimalan verkkoon kytkeminen ja verkonvalvonta

Tässä työssä ei käsitellä kovin tarkasti sähköverkkoon liittymisen sähkölaitoskohtaisia ehtoja. Voidaan kuitenkin todeta, että tuulivoimalan kytkeminen sähköverkkoon vaatii luvan paikalliselta sähköyhtiöltä ja sillä tuotetun sähkön on täytettävä tuulivoimalan rakennestandardissa IEC 641002 mainitut normit ja laatuvaatimukset (ET Energiategollisuus). Tuulivoimalan energiantuoton verkkoon on täytettävä useita ehtoja, joita määritellään standardeissa ja sähkölaitosten ohjeissa (Taulukko 7.)

Pientuulivoimala on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät laitteiston irti yleisestä verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa (Loss of Mains – suojaus, LoM), tai jos jännite tai taajuus generaattorilaitteiston navoissa poikkeaa sallitulle toiminnalle asetelluista jännite- ja taajuusarvoista. Pientuulivoimala ei saa koskaan kytkeytyä verkkoon, kun verkon jännite tai taajuus ei ole annetuissa rajoissa. Pienvoimalaitoksen suojalaitteita ovat mm. ylijännite-, alijännite-, ylitaajuus-, alitaajuus-, ylivirta- ja maasulkusuoja sekä ne on varustettava erottavalla mekaanisella kytkinlaitteella, jonka tulee olla lukittava. Suojauksen avulla turvataan, että pienvoimalaitoksen toiminta ei aiheuta vaaraa eikä häiriötä jakeluverkolle ja sen muille verkon käyttäjille ja huoltohenkilöstölle. (Energiategollisuus ry 2009 ja Tuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, Rauman energia)

Suomessa noudatettavat sähköverkon liityntäsuojauksen asettelurajat on määritelty standardissa EN 50438. Taulukossa 7 on esitetty standardin asetteluarvot.

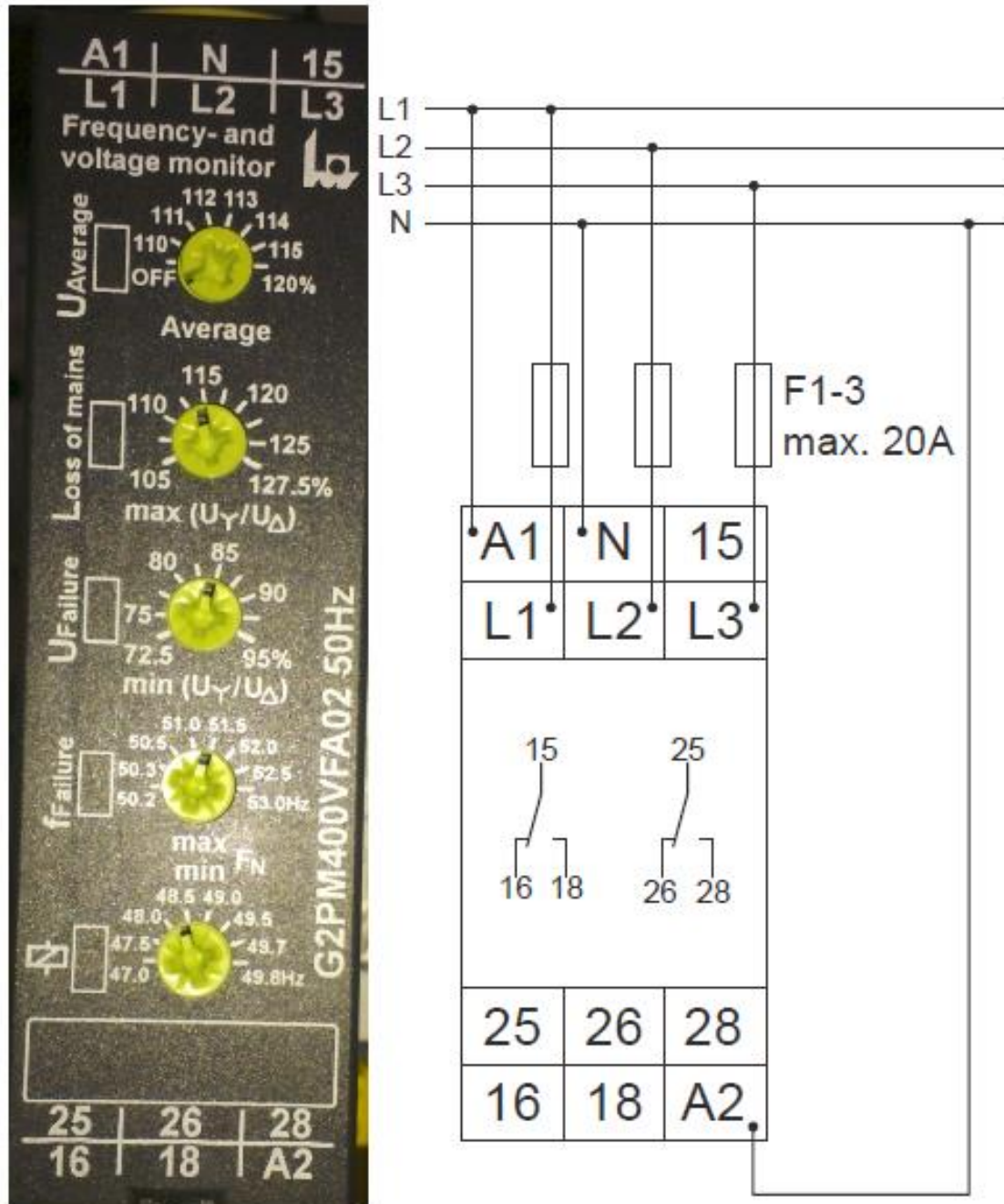
TAULUKKO 7. Liittymän suojauksen asetteluarvot (LK 4)

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite-taso 1	1,5 s	U_n+10 % (440V)
Ylijännite-taso 2	0,15 s	U_n+15 % (460V)
Alijännite-taso 1	5 s	U_n+15 % (340V)
Alijännite-taso 2	0,15 s	U_n-50 % (200V)
Ylitaajuus	0,20 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
LoM (Loss of Mains) YSE	0,15 s	saarekekäyttö

Tuulivoimala tulee tahdistaa toimimaan samassa vaiheessa ja samalla taajuudella ennen tuulivoimalan kytkemistä yleiseen sähköverkkoon. Jos verkkoon syötettäisiin eritaajuisia virtaa, vaihe-erot voisivat aiheuttaa oikosulkuja ja sähkölaitteiden rikkoutumista. Synkronointi verkon kanssa tulee olla täysin automatisoitua. Liittymän suojauksen tulee taata, että tehon syöttö verkkoon alkaa vain silloin, kun jännite ja taajuus ovat olleet suojausasetusten sallimissa rajoissa vähintään vaaditun minimiajan, joka taajuusmuuttajilla liitetyille järjestelmille on 20 sekuntia. Vaihtosuuntaajalaitteet voidaan kytkeä verkkoon ilman erillistä tahdistinta, jos verkko-osa synkronoituu automaattisesti ja kytkeminen ei aiheuta haitallista käynnistysvirtasysäystä. (Energiateollisuus ry 2009)

Muiden suojalaitteiden lisäksi on voimalaitoslaitteisto varustettava ylivirtareleellä, jonka tulee olla kolmivaiheinen. (Vantaan Energia Oy 2010, 6, 10) Verkonhaltija asettaa ehtoja taajuusmuuttajasta ja koko voimalasta vastaanotettavalle sähköenergialle esim. tehokertoimen $\cos\varphi$ on oltava noin yksi, eivätkä jännitteen ja virran yliaallot saa ylittää laitestandardin tasoa (pj-verkko, 25A tai alle).

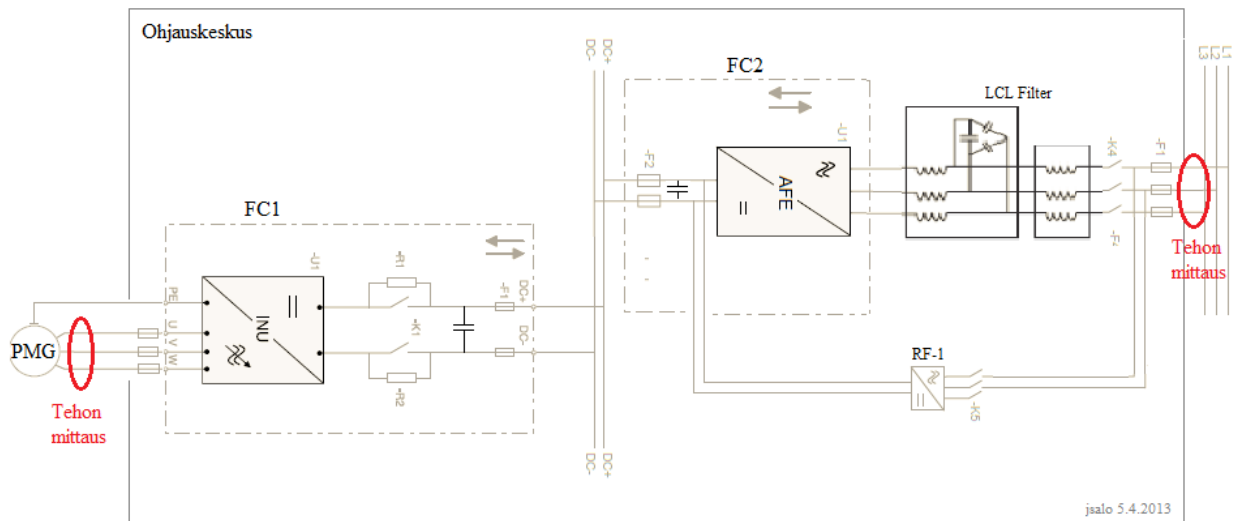
Tämän tuulivoimalan verkonvalvonta on hoidettu erillisellä verkonvalvontareleellä GMR-1 (Kuva 6) Verkonvalvontareleen toiminta kuvattu liitteessä 10.



KUVA 6. Verkonvalvontarele GMR-1 ja sen kytkentä verkkoon

5 MITTAUKSET

Tavoitteena oli selvittää millä generaattorin pyörimisnopeudella voimala tuottaa tehoa enemmän, kuin se kuluttaa sitä. Tehoa mitattiin samanaikaisesti generaattorista ja verkkoliitännästä. (Kuvio 10)



KUVIO 10. Tuulivoimalan tehon mittauspisteet (Vacon)

5.1. Vian etsintää voimalan ohjauslaitteistossa

Monien alkuvaikeuksien ja INU-yksikön parametrien asettelujen jälkeen mittauksia päästiin tekemään niin, että generaattorin kierrokset voitiin nostaa nimellistasolle. Mittaustulokset olivat kuitenkin erilaisia, kuin niiden oletettiin olevan. Generaattori tuotti valtavasti loistehoa ja luonnollisesti kuumeni, kun generaattorin kierrokset nostettiin sen nimelliskohteelle. Mittauksia tehtiin useilla eri mittareilla tuloksien oikeellisuuden varmistamiseksi. Kytkennässä kokeiltiin myös perinteisiä kiertokäämi W-mittareita. Tulokset olivat samoja kaikilla mittaustavoilla.

5.1.1 Välijännitepiirin kondensaattorit

INU-yksikön parametrien asetteluista ja ID-ajoista huolimatta generaattorin tuottama loisteho ei lähtenyt pieneneään. Mieleen tuli kokeilla kaikenlaista, jopa manuaaliin tutustumista. Sieltä löytyi varoitus välijännitepiirien kondensaattoreiden vaurioitumisesta ja lataamisesta pitkän käyttämättömyysjakson jälkeen. Laitteistohan oli ollut kauan käyttämättä laboratoriossa ja nyt se oli otettu suoraan käyttöön.

Välijännitepiirin kondensaattoreiden latausohje:

Pitkän varastoinnin jälkeen kondensaattorit on ladattava, jotta ne eivät vahingoittuisi. Kondensaattorien mahdollisesti suurta vuotovirtaa täytyy rajoittaa. Paras ratkaisu tähän on säädettävällä rajavirralla varustettu tasavirtalähde.

- 1) Aseta rajavirraksi 300–800 mA taajuusmuuttajan koon mukaan.
- 2) Kytke virtalähde DC-välipiirin liittimiin B+/B- (DC+ liittimeen B+ ja DC- liittimeen B-) tai suoraan kondensaattorin napoihin. NX-taajuusmuuttajissa, joissa ei ole liittimiä B+/B-, voidaan virtalähde kytkeä kahden tulovaiheen (L1 ja L2) väliin.
- 3) Aseta DC-jännite yksikön nimellisarvoon ($1,35 \cdot U_N$ AC) ja syötä taajuusmuuttajaa vähintään tunnin verran.

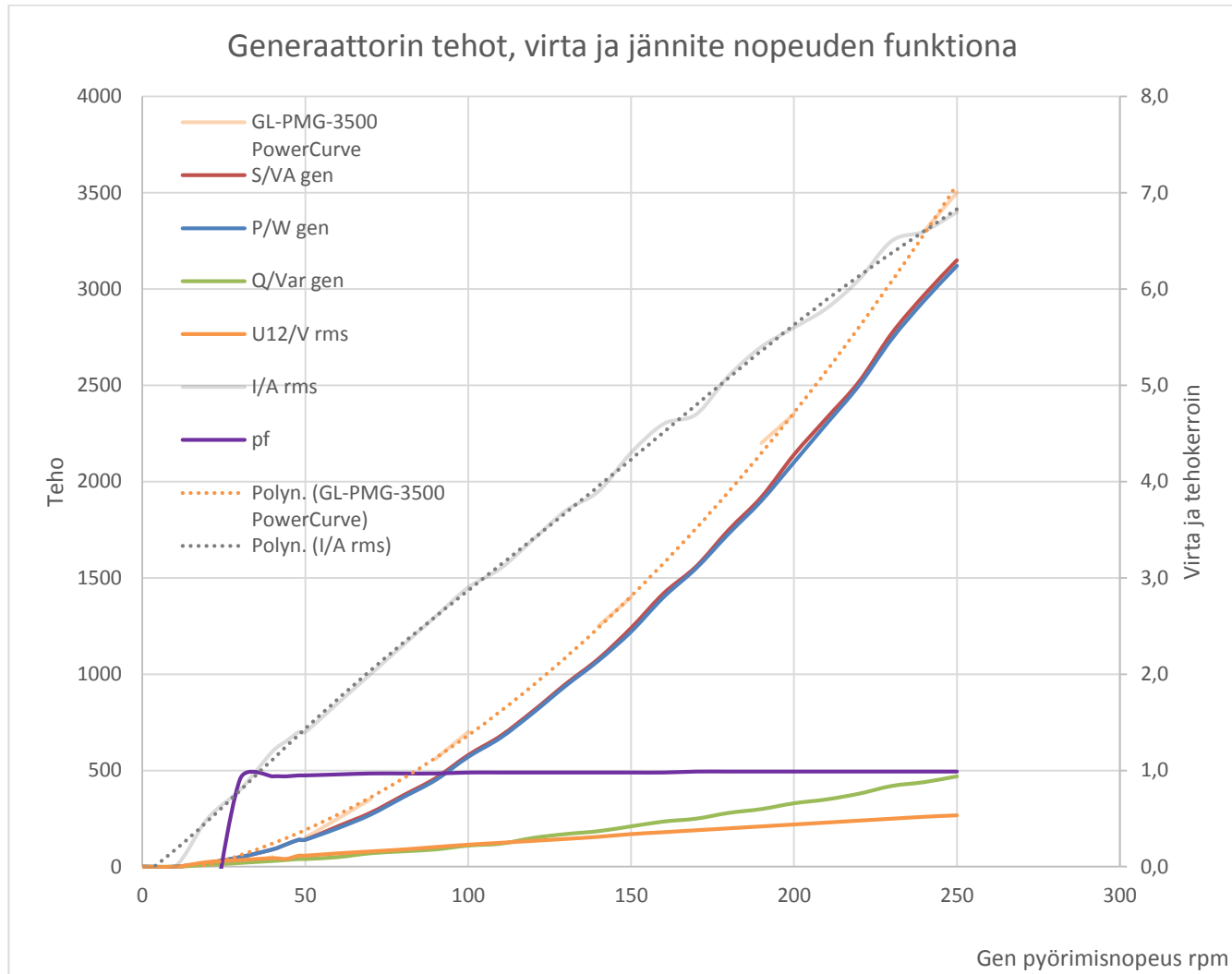
Jos tasavirtaa ei ole käytettävissä ja yksikkö on ollut varastossa jännitteettömänä paljon kauemmin kuin 12 kuukautta, ota yhteys tehtaaseen ennen virran kytkemistä. (Vacon NX käyttöohje)

Kondensaattorit todettiin kuitenkin toimiviksi välijännitepiirin jännitetason perusteella. Jos kondensaattorit pääsevät vioittumaan, niin välijännitepiirin jännite laskee ja huojuu, koska kondensaattoreiden kapasitanssi on pienentynyt. (Vacon HelpDesk)

5.1.2 Generaattorin tehokäyrä

Kun välijännitepiirin kondensaattoreista ei löytynyt vikaa, eikä LCL-suodin pysty vaikuttamaan INU-yksikön ja generaattorin toimintaan, niin päätettiin tutkia generaattorin kuntoa

mittaamalla sen tehokäyrä resistiivisellä kuormalla. Saatu tehokäyrä todettiin valmistajan antamien speksien mukaiseksi. (Kaavio 1.)



KAAVIO 1. Generaattorin mittaustulokset resistiivisellä kuormalla

5.2. Tasasuuntaajan parametointia

Loisteho-ongelman selvittäminen vaati syvempää perehtymistä taajuusmuuttajien toimintaan ja sen parametointiin. Cypressin entisen työntekijän Pasi Vähämartin avulias suhtautuminen vanhaan projektiin auttoi monessa asiassa eteenpäin.

5.2.1 Parametrien asetus taajuusmuuttajaan

Erilaisilla INU-yksikön parametrien muuttamiskokeiluilla alkoi generaattorin toiminta muuttua paremmaksi. Loisteho pieneni, mutta ei tarpeeksi. Näytti siltä, että INU-yksikön ”moottorimalli” ei ollut jostain syystä kohdallaan, vaikka sille oli annettu parametreina generaattorin kilpiarvot, joiden paikkansapitävyys alkoi hieman epäilyttämään.

Kaikki taajuusmuuttajien parametrit ovat muutettavissa taajuusmuuttajan etupaneelista tai NCDrive-ohjelmalla tietokoneelta. Voimalan ohjaamiseen ja jarruttamiseen liittyvät parametrit ovat muokattavissa myös ajon aikana. Vacon taajuusmuuttajien parametreista ja niiden asettelusta lisää kohdassa 9.1.

5.2.2 Paritusajo

Taajuusmuuttajan ohjaus perustuu sisäiseen moottorimalliin, joka pitää alustaa, ennen kuin aletaan käyttää taajuusmuuttajaa generaattorin ohjaamiseen. Tärkeintä on se, että generaattorin nimellisarvot ovat kohdallaan taajuusmuuttajassa. Nimellisarvot tässä tapauksessa ovat generaattorin nimellistaajuus, pyörimisnopeus ja kuormittamattoman generaattorin jännite nimellistaajuudella ja generaattorin nimellisvirta. Nämä on yleensä annettu generaattorin arvokilvessä. (Taulukko 8.)

TAULUKKO 8. Taajuusmuuttajalle annettavat parametrit:

Numero	Nimi	Arvo
P 2.1.6	Motor Nom Voltg	320
P 2.1.7	Motor Nom Freq	42
P 2.1.8	Motor Nom Speed	252
P 2.1.9	Motor Nom Currnt	7,0
P 2.1.10	Motor Cos Phi	1

Paritusajo (ID-ajo) sovittaa generaattorin, kaapelin ja taajuusmuuttajan toimimaan parhaalla mahdollisella hyötysuhteella. Ilman onnistunutta ID-ajoa loisivirrat kuumentavat laitteistoa, eikä hyötysuhde ole hyvä. Optimaalinen tilanne on suorittaa id-ajo joka kerralla, kun laitteet tai kaapeli vaihtuu.

ID-ajo vaatii Vacon-taajuusmuuttajan käyttöohjeen mukaisesti seuraavaa:

- Generaattorin tulee olla kytkettynä lopulliseen kaapeliin.
- Kaapelia ei saa lyhentää, tai ID-ajo pitää suorittaa uudestaan.
- Generaattorin akselilla ei ole kuormaa.

Tuulimyllykäytössä tämä tarkoittaa sitä, että id-ajoa ei voi suorittaa, jos tuulee.

- Monigeneraattori- installaatioissa jokaiselle generaattorille tehdään oma ID-ajo.
- ID-ajo on suositeltavaa tehdä aina käyttäen "id with run"-ajoa. Näin ei voida kuitenkaan toimia, mikäli akselilla on kuormaa. Tällöin käytetään "id no run"-ajoa. Toisaalta jos generaattori pyörii, ei paritusta voi tehdä ollenkaan.

ID-ajo tehdään generaattorin taajuusmuuttajalle, ei verkkoon syöttävälle taajuusmuuttajalle.

ID ajon toimenpiteet:

- Laita taajuusmuuttajiin sähköt päälle painamalla välipiirin latauspiirin kontaktori K5 pohjaan
- Estä sähkökaapin normaali toiminta siten, että vaihdetaan parametri 3.1. arvoon Keypad Control.
- Valitaan id-ajon suoritustapa: parametri 2.6.16. Toimivat vaihtoehdot
ID No Run, akseli ei pyöri
ID with Run. pyöritetään moottoria id-ajon aikana.
- Painetaan Start-nappia taajuusmuuttajan etupaneelissa. Jos on valittu 2 ID with Run, moottori ajetaan nopeuteen, joka vastaa 2/3 nimellinopeudesta.
- Kun id-ajo päättyy, on palautettava normaali toimintamoodi vaihtamalla parametri 3.1. arvoon I/O Terminal.

Jos id-ajo epäonnistuu, antaa taajuusmuuttaja vikakoodin 57 ID Run Failed ja parametriin 2.6.16 jää arvo 5 ID Run Failed. Jos kaikki menee niin kuin pitää parametrin 2.6.16. arvoksi tulee 0 No Action.

Id-ajon aikana taajuusmuuttaja laskee moottorimallin parametrit ja tallettaa ne parametriryhmän 2.6.25 IDENTIFICATION alle. (Voimalan taajuusmuuttajaohje CWT-03_017_r3)

5.2.3 Momenttikäyrän viritys

Cypressin tekemä tuulivoimasovellus CWT on rakennettu Vaconin All In One -sovelluksen päälle ja sijaitsee INU-yksikön tuulivoimalaohjelman valikkorakenteen tasolla 8.

Tuulen teho kasvaa suoraan verrannollisena sen nopeuden kolmanteen potenssiin. Optimaalisella pyörimisnopeudella roottorin pyörimisnopeuden ja tuulenopeuden suhde on vakio. (Liite 5)

Perusohjaus toimii niin, että lasketaan pyörimisnopeudesta riippuva momenttikäyrä. Ohjelmassa kaikki arvot on laskettu suoraan prosentteina generaattorin nimellisarvoista.

Ohjaus toimii generaattorin sähköisten arvojen perusteella eikä sinänsä ota kantaa roottorin rakenteeseen tai sen aerodynamiikkaan. Momenttikäyrän virittämisessä on oikeastaan kysymys generaattorin ja roottorin sovittamisesta yhteen. Tarkoitus on kuvata roottorin optimaalinen toimintakäyrä generaattorin arvojen avulla. On mahdollista, että tuulivoimalassa generaattori ja roottori ovat "samaa paria", jolloin viritys on aika helppoa, koska optimaalinen toimintapiste on molemmilla osilla sama. Muuten joudutaan hakemaan sopivaa toiminta-aluetta vähän laajemmalti.

Momenttikäyrän muodon säätäminen on käyttäjän vapaasti muutettavissa taulukkoon pohjautuvan parametroidin ansiosta. Käyrän muodon muuttaminen tapahtuu valikon 8.1. (3-26) kautta. Moottorin pyörimisnopeus määritellään prosentteina nimellisestä nopeudesta. 250rpm koneessa esimerkiksi 10 % tarkoittaa 25 rpm:ää. Momenttikäyrän X-akselin pisteet, eli generaattorin pyörimisnopeudet määritellään valikoissa 8.1.(3-14). Nopeuden pisteet on nimetty SpeedPoint x-tyylisesti, jossa x tarkoittaa taulukon rivinumeroa.

Nopeuden tulee aina kasvaa taulukossa. SpeedPoint 0:n arvo pidetään aina nollana (0 % generaattorin nimellisnopeudesta). SpeedPoint 10:een määritellään generaattorin nimellisnopeus, eli 100 %. SpeedPoint 11 määrittää eräänlaisen ylinopeus pisteen. Tällä 100-110 % välillä generaattorin momenttia kasvatetaan tyypillisesti hyvin jyrkästi, jolla yritetään estää siiven karkaaminen.

SpeedPoint 0-11 arvot voivat kasvaa esimerkiksi seuraavasti:

0 - 12 - 23 - 30 - 40 - 55 - 68 - 74 - 87 - 94 - 100 - 115

TorquePoint toimii täysin vastaavalla tavalla kuin kierrosnopeuden määrittäminen taulukkoon. TorquePoint määrittelee momenttitason prosenttia nimellisestä vastaavan numeroiselle SpeedPoint nopeudelle prosenttia nimellisestä. Momenttikäyrän pisteet määritellään valikosta 8.1.(15-26). Nollapiste on tyypillisesti nolla ja 10 piste tyypillisesti 100. 10-piste voi olla vaikka 50, kunhan momenttikäyrän muoto on edelleen nouseva. Tosin edellinen esimerkki tarkoittaisi sitä, että generaattori on tarpeeseen nähden tuoplasti liian iso, eli generaattorin tehosta hyödynnetään vain puolet.

TorquePoint 0-11 arvot voivat kasvaa esimerkiksi seuraavasti:

0 - 5 - 18 - 40 - 48 - 60 - 65 - 69 - 75 - 85 - 100 - 145

Esimerkin taulukossa SpeedPoint 3:n arvo on 30 ja TorquePoint 3:n arvo 40. Tämä tarkoittaa että 30 % nimelliskoepudella generaattoria kuormitetaan 40 % nimellismomentilla. Mikäli generaattorin nimellismomentti on esimerkiksi 150Nm ja nimelliskoepuus 250 rpm (kuten TAMK:in 3,5kW voimalan generaattorin), tarkoittaa edelliset arvot seuraavaa:

40 % nimelliskoepudesta = $250 * 0,3 = 75$ rpm

30 % nimellismomentista = $150 * 0,4 = 60$ Nm

Em. lukujen avulla voidaan laskea generaattorin sähköinen teho kaavalla 4.

$$P_{gen} = \frac{M_d * n_{gen}}{9550} = \frac{60 * 75}{9550} = 0,47kW \quad ,jossa M_d [Nm] ja n_{gen} [rpm] \quad (4)$$

Edellisen esimerkin perusteella teho kyseisessä pisteessä on 0,47kW. (Cypress tuulivoimalaohje 03_017_r3)

Suuren loistehon määrän vuoksi generaattoria lähdettiin testaamaan loivalla momenttikäyrällä, ettei generaattori kuumenisi liikaa ja sen magneetit vaurioituisi. (Taulukko 9.) Lämmön vaikutusta PM-generaattorin tuottoon käsitellään kohdassa 6.1.5.

TAULUKKO 9. Alkuarvot momenttikäyrän pisteille

M%	0	2	5	18	30	38	48	60	65	72	90	100
n%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
n _{gen}	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275

5.2.4 Loistehot laitteiston eri osissa

Generaattorissa syntyvä loisteho aiheutuu kun INU-yksikkö muodostaa ”moottorimallin” joko vääristä parametreista tai sitten ID-ajo ei tunnista generaattoria oikein. Generaattorissa syntyvä loisteho kulkee generaattorin staattoriin ja taajuusmuuttajan välijännitepiiriin kondensaattorin välillä aiheuttaen staattoriin resistiivisessä osassa tehohäviön, joka kuumentaa generaattoria.

5.3. Tuulivoimalan tuotto ja omakulutukset

Tuulivoimalan omakulutus on laskettu generaattorin tuoton ja verkkoon siirretyn tehon erotuksena. Erillisten laitteiden tehon kulutusta ei ole lähdetty mittaamaan, koska ne ovat arvioitavissa valmistajien datatiedoista, eivätkä ne ole kovin merkityksellisiä tämän työn alkuperäisen tavoitteen tai tulosten kannalta.

5.3.1 Horrostila

Kun tuulivoimalan ohjauslaitteisto kytketään sähköverkkoon, niin osalle apulaitteita syötetään käyttöjännite kontaktorin K3 avulla. Näihin kuuluu verkonvalvontarele (GMR-1), generaattorin taajuutta valvova taajuusmuunnin (FT-1) ja 24VDC apujännite (PS-1), joka taas käynnistää EasyReleen (R1). LCL-suodin ja koko sen jälkeinen pääsyöttö generaattorille saakka on erotettu verkosta kontaktorilla K4, jolloin sen läpi ei kulje tehoa horrostilassa.

Ohjauslaitteistossa oleva generaattorin taajuutta valvova taajuusmuunnin (FT-1) lähettää koko järjestelmää valvovalle EasyReleelle (R1) tiedon generaattorin taajuudesta analo-

gia-viestinä (2-10VDC). EasyReleelle on asetettu raja-arvoksi FT-1:ltä tulevalle jänniteviestille 2,5V, jolla FC1 käynnistetään. FC1:n käynnistyessä generaattorin nopeus on noin 50 rpm. Tuulennopeutena tämä vastaa noin 3-4 m/s. Tuulivoimalan ohjauslaitteisto on horrostilassa kun tuulennopeus on alle 3 m/s ja edellisestä käyttötilasta on kulunut vähintään 5 min. Horrostilassa ohjauslaitteiston tehonkulutus on noin 4W. Horrostilan ja valmiustilan välissä on lyhyt välivaihe, jossa tuulivoimalan kulutus on 40W ja viiveaika tässä tilassa noin 2 min. Toiminta-ajat poikkeavat hieman toisistaan, edellisestä toimintatilasta riippuen.

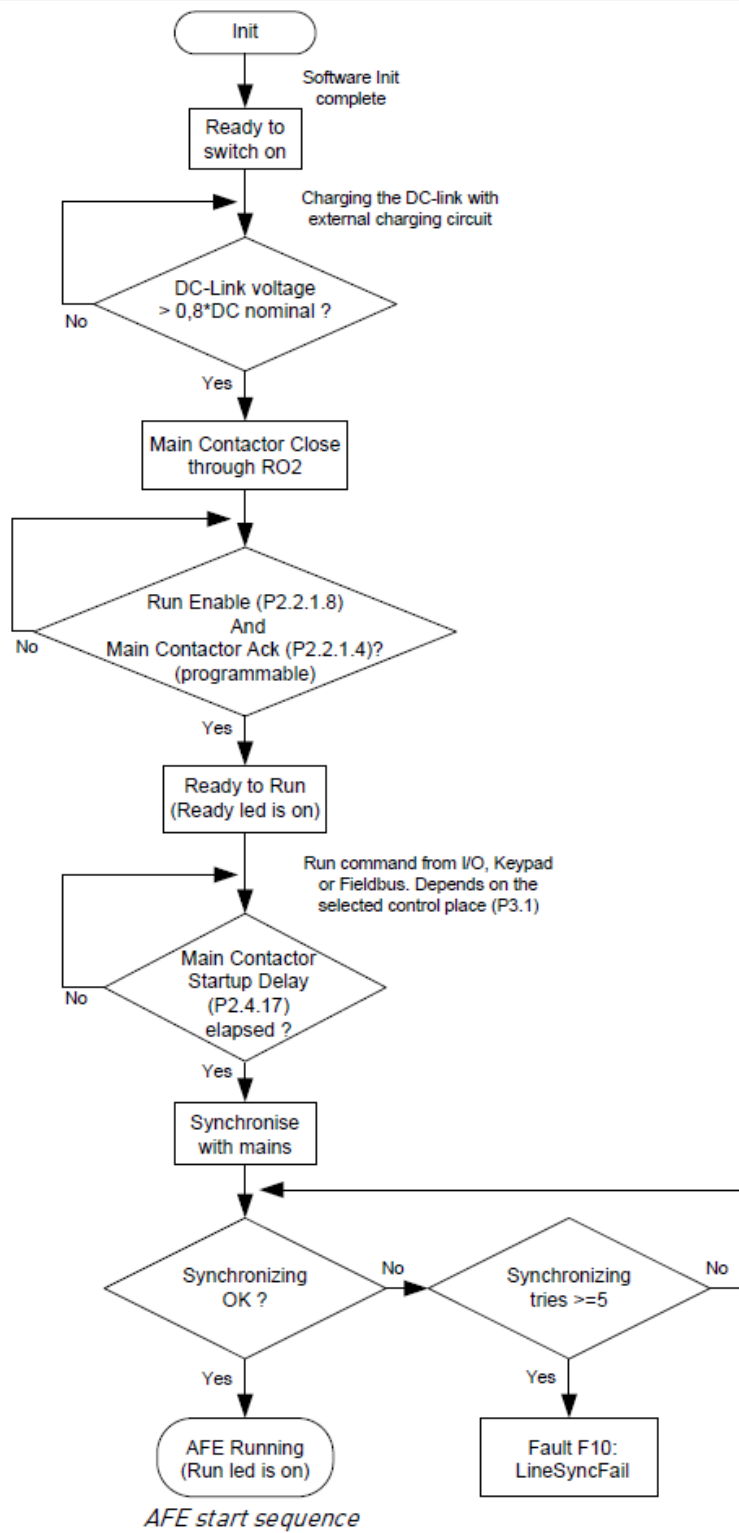
5.3.2 Valmiustila

Valmiustilaan ohjauslaitteisto siirtyy kun ollaan käyttötilassa ja tuulennopeus laskee alle 3 m/s. Valmiustilan kestoajaksi on EasyReleelle asetettu 5 min. Tämän ajan jälkeen siirytään horrostilaan, jos tuulennopeus ei nouse yli 3 m/s. Valmiustilassa ohjauslaitteiston tehonkulutus on noin 300-400W riippuen siitä, mikä vaihe tuulivoimalalla on ollut ennen valmiustilaan siirtymistä.

5.3.3 Käyttötila

Käyttötilaan siirytään kohdassa 5.3.1 kerrotulla tavalla. Ohjauslaitteiston tehonkulutus käyttötilassa on noin 200-300W, joka menee pääasiassa taajuusmuuttajille. Tuulivoimalan tilojen vaihtuminen ja tehonkulutus on hieman erilaista riippuen siitä muuttuuko se laskevalla vai nousevalla tuulella. Sanottavaa merkitystä sillä ei kuitenkaan tuulivoimalan kokonaisenergiankulutukseen ole.

Seuraavassa alla olevassa kaaviossa on kerrottu AFE-yksikön verkkoon kytkeytyminen, joka tapahtuu automaattisesti EasyReleen ja INU-yksikön ohjaamana. (Kaavio 2.) (Vacon User's Manual ARFIF02 Active Front End application manual)



KAAVIO 2. AFE-yksikön toiminta kun tuulivoimala kytkeytyy verkkoon (Vacon User's Manual ARFIF02 Active Front End application manual)

6 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Mittaustuloksista esitetään tässä pääasiassa vain kuvaajia, mutta tarkempi mittausdata löytyy tämän työn liitteistä.

6.1. Tulokset alkuperäisillä asetusarvoilla

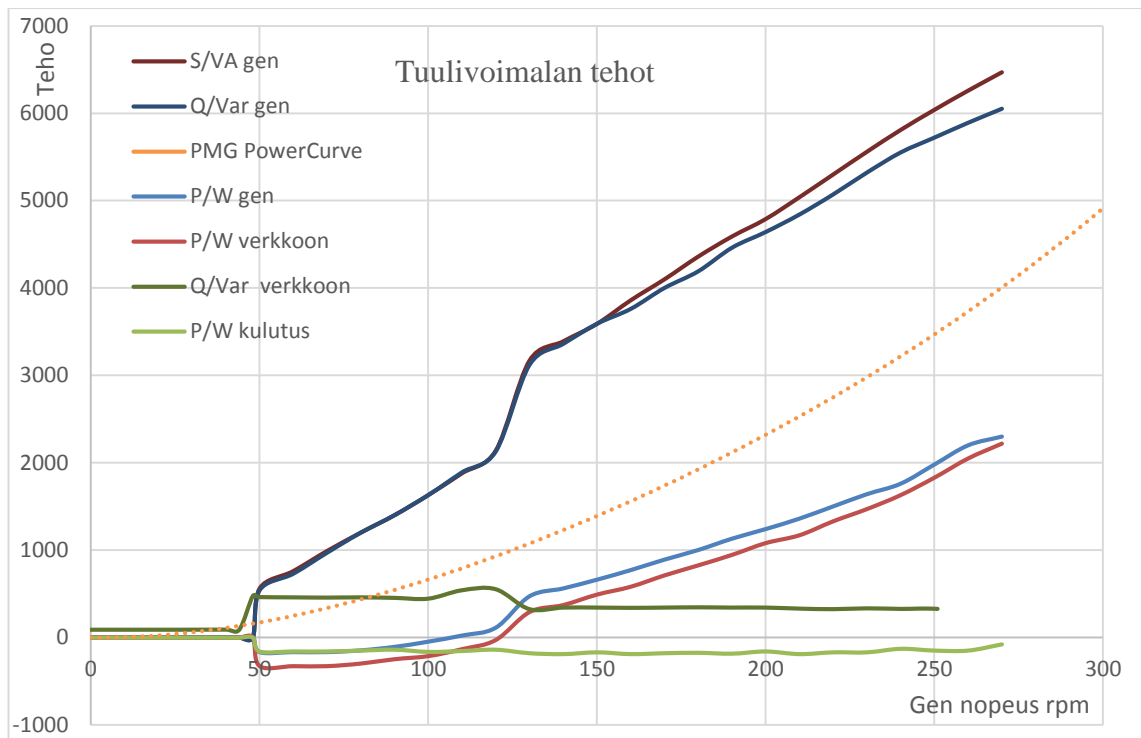
6.1.1 Pätö- ja loisteho

Generaattorin pyörimisnopeusalueella 0-47 rpm taajuusmuuttajat ovat horrostilassa. Tuottoa tai kulutusta ei juurikaan ole. Kun saavutetaan tuulivoimalan heräämisraja, niin taajuusmuuttajat kytkeytyvät käytännössä samanaikaisesti päälle ja INU-yksikkö alkaa kuormittamaan generaattoria voimakkaasti. Generaattorin vastamomentti 50 rpm kohdalla on niin suurta, että kenttäolosuhteissa tuulivoimalan roottori ei jaksaisi pyörittää generaattoria. Syy ei ole momenttikäyrässä, vaan INU-yksikön luomassa ”moottorimalissa”. Myös generaattorin vaihevirtaa rajoittava parametri on asetettu liian suureksi.

Generaattori tuottaa induktiivista loistehoa jyrkällä kasvulla. Samalla se kuluttaa pätötehoa aluksi 200W, saavuttaen nollakulutuksen kun generaattorin nopeus on 120 rpm. Tästä pätötehon kulutuksesta syntyy verkkoon päin loistehon kasvua, josta tarkemmin kohdassa 6.2.1.

Taajuusmuuttajan generaattorista ottama teho on kokonaan pätötehoa ja loisteho jää generaattoriin, koska se ei pääse kulkemaan välijännitepiirin läpi. Generaattorissa syntyvä loisteho ”kulkee” generaattorin staattoriin ja taajuusmuuttajan välijännitepiirin kondensaattorin välillä aiheuttaen staattoriin resistiivisessä osassa tehohäviön, joka kuumentaa generaattoria ($P_h = 3 * R_S * I_S^2$).

Tuulivoimalan toiminnan tässä vaiheessa tehon suunta on verkosta generaattoriin päin. Tehon suunta kääntyy kun generaattorin nopeus on noussut noin 120 rpm ja voimala alkaa tuottamaan energiaa sähköverkkoon. (Kaavio 3)

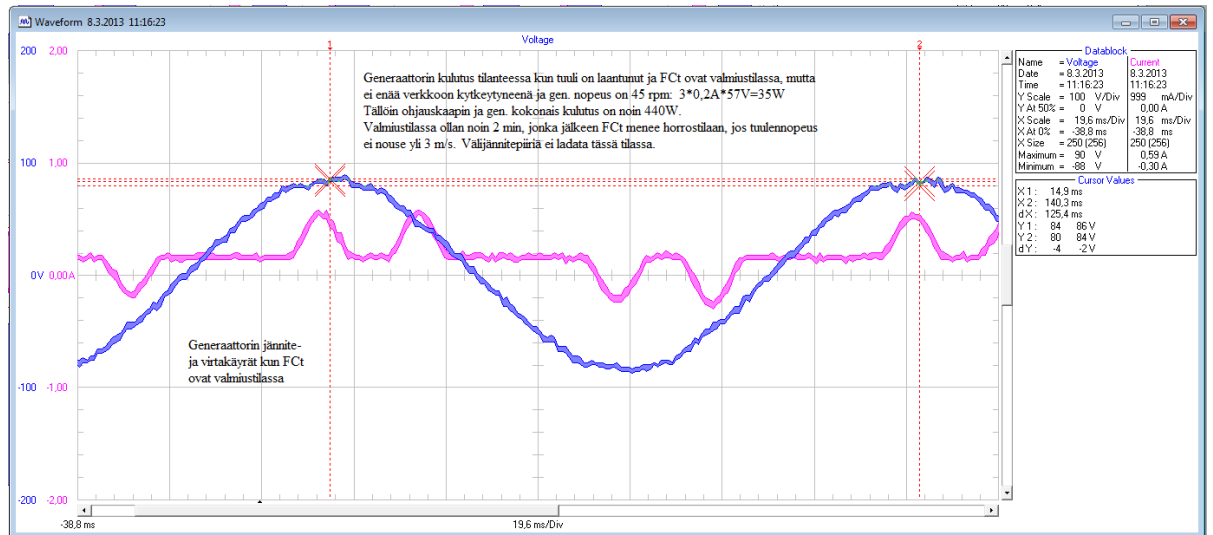


KAAVIO 3. Tuulivoimalan tehokäyrät alkuperäisillä asetusarvoilla

Yleisesti ottaen taajuusmuuttajilla varustetut voimalaitokset voivat säätää loistehon määrää tehokerrointa muuttamalla, kun muissa tuulivoimalatyypeissä loistehotasapainoa voidaan ylläpitää muun muassa kondensaattoreilla ja keloilla. Tällä työssä esille tulleella generaattorin tuottamalla loisteholla ei ole mitään tekemistä edellä mainitun kanssa. Kyse on verkkoon tuotetusta loistehosta, jota voidaan säätää. Tämän tuulivoimalan AFE-yksikön parametreissa on verkkoon syötettävän loistehon määräksi asetettu nolla. Loistehon säädöllä voidaan myös säätää jännitettä. Jos voimalan liitännänpisteen jännite on liian alhaalla, voidaan jännitettä nostaa syöttämällä verkkoon loistehoa. Ja vastaavasti jännitteen ollessa liian korkealla voi voimala alkaa kuluttamaan loistehoa ja siten laskea jännitettä liitännänpisteessä. (Hajautetun tuotannon verkkoon liittäminen, J.P. Vainikka JTY 2011)

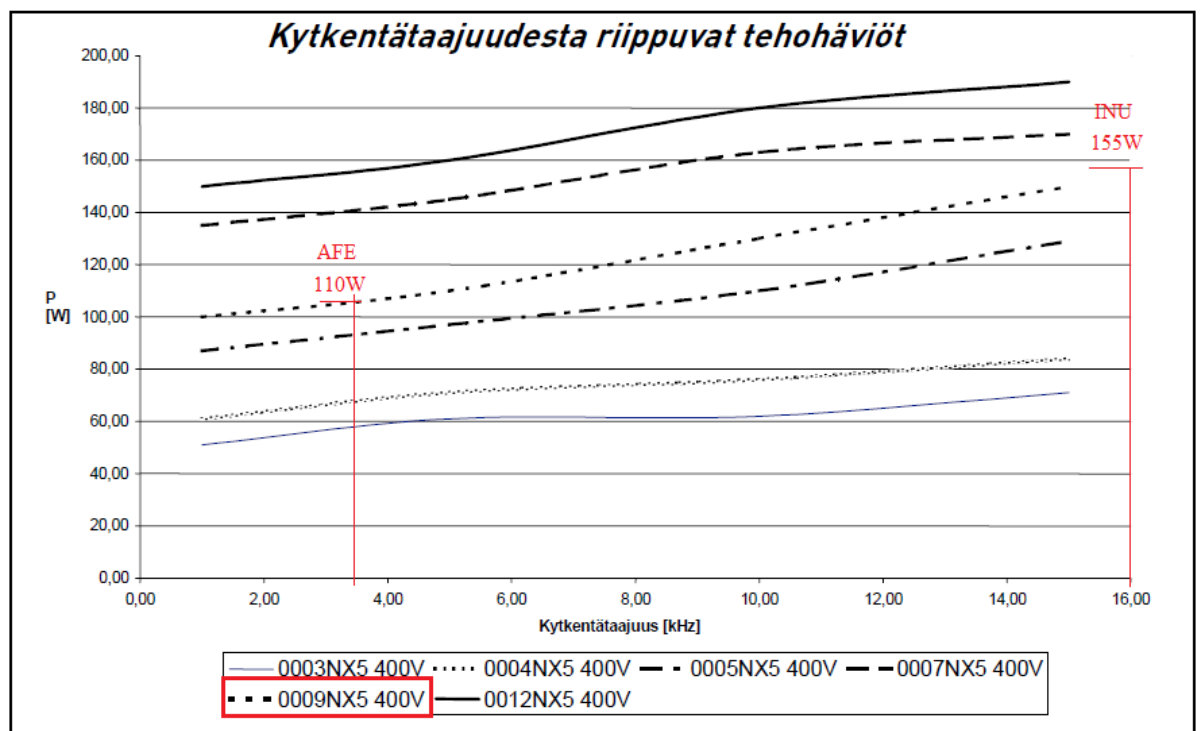
6.1.2 Tuotto ja omakulutus

Kun tuulivoimala saavuttaa käynnistymisnopeuden ja taajuusmuuttajat kytkeytyvät toimintaan, niin kierrosalueella 50-120 rpm aiheutuu kulutusta, joka syntyy generaattorissa. Taajuusmuuttajien ja apulaitteiden kulutus on koko käyntiajan tasainen 200W, joka näkyy kaaviossa 3 vihreänä käyränä. Kuvioissa 11, 12 ja 13 näkyy tuulivoimalan tehonkulutus sen eri toimintatiloissa.

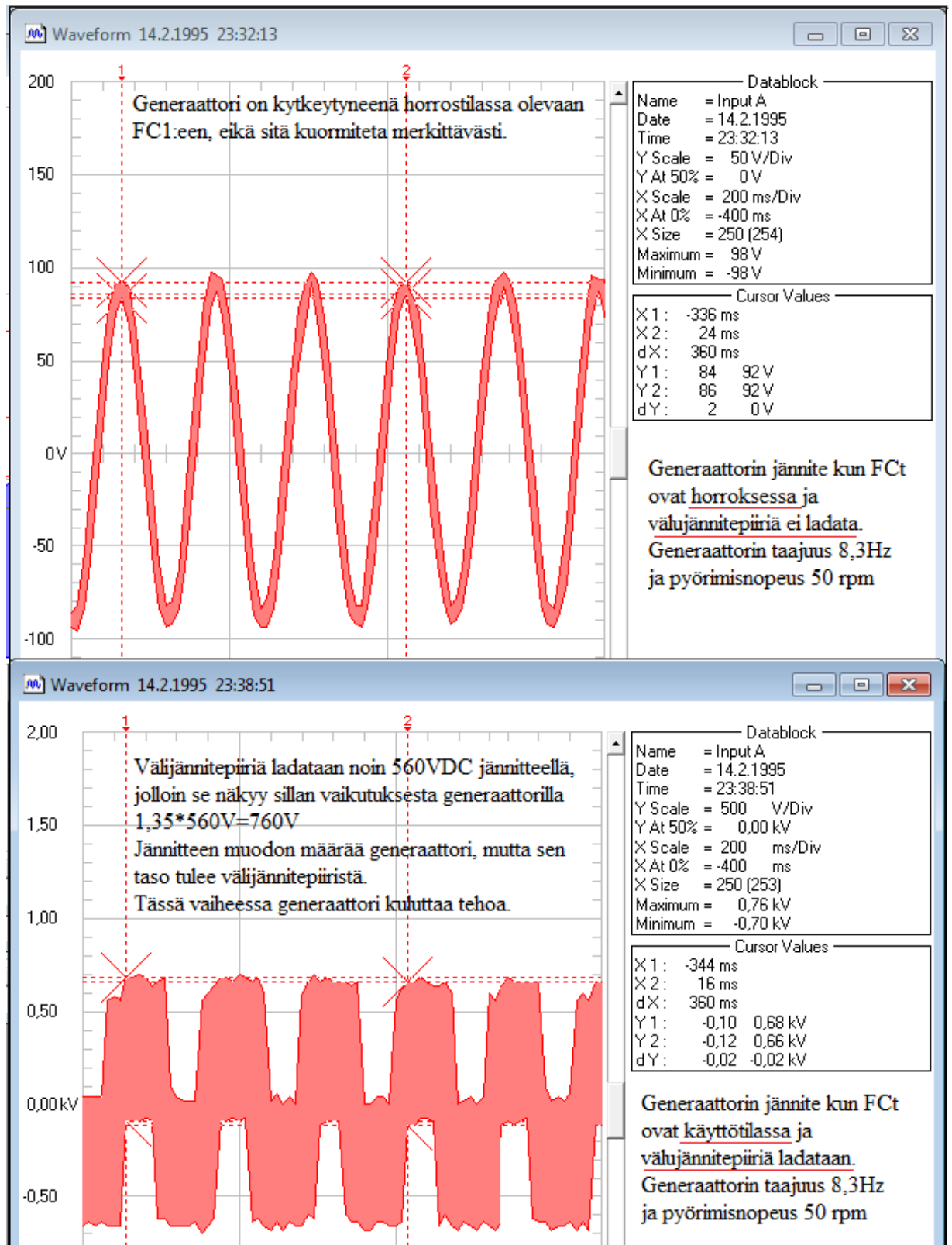


KUVIO 11. Generaattorin kulutus kun tuulivoimala on valmiustilassa.

Suurin kulutus syntyy taajuusmuuttajissa, jotka kuluttavat käyttötilassa tehoa yhteensä noin 250W.



KUVIO 12. Taajuusmuuttajien tehohäviöt kytKentätaajuuden funktiona (Vacon)



KUVIO 13. Taajuusmuuttajien herääminen ja vj-piirin latautumisen vaikutus.

Näillä säädöillä tuulivoimala ei tuottaisi yhtään, koska roottori ei jaksaisi pyörittää generaattoria.

6.1.3 Käynnistymistuulennopeus

Tuulivoimalan käynnistymistuulennopeutta ei pystytä mittaamaan generaattoripenkissä, vaan se on mitattava roottorin ja generaattorin yhdistelmällä oikeissa tuuliolosuhteissa tai tuulitunnelissa. Roottorin c_p -arvon tunteminen auttaa kyllä arviointia.

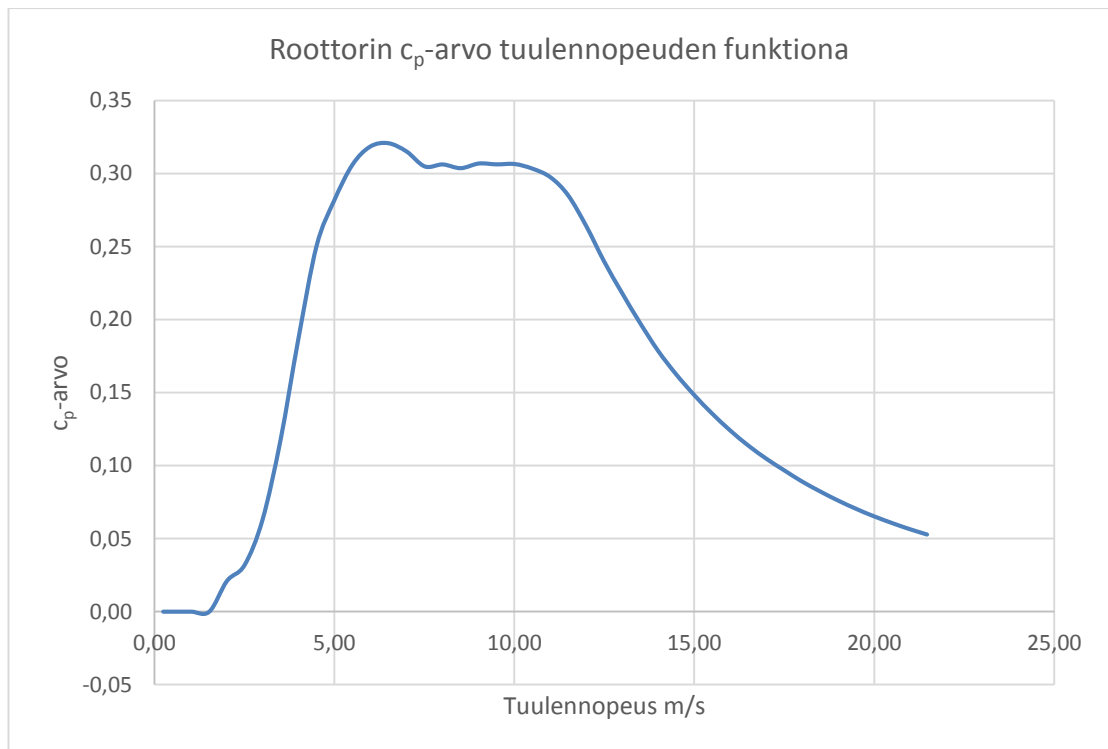
Joitakin arvioita tässä työssä saatujen mittaustulosten ja oikean tuulivoimalan roottorin c_p -arvon välillä on tehty. Vertailussa on käytetty Intertek-testitalon tekemien testien tuloksia. Testatussa tuulivoimalassa on samanlainen roottori ja generaattori, kuin TAMKIn tuulivoimalassa. Taajuusmuuttajayksikkö on erilainen. Testi on tehty todellisissa tuuliolosuhteissa Espanjan rannikolla. (Sonkyo Report, WindSpot 3,5 kW Wind Turbine Generator System Summary Test Report, Intertek)

Teoreettisella c_p -arvolla 0,47 laskettaessa generaattorin 50 rpm vastaa noin 3 m/s tuulennopeutta, jos generaattoria ei kuormiteta voimakkaasti. Todellisuudessa tämän tuulivoimalan tehokerroin c_p ei ole niin hyvä, vaan sen arvo vaihtelee välillä 0-0,35 riippuen roottorin pyörimisnopeudesta. (Kaavio 4)

Kun käynnistymistilanteessa arvioitu c_p on 0,13 ja generaattorin kuormitus kaavion 3 mukaan on 50 rpm kohdalla noin 800 VA ($Q = 800\text{Var}$ ja $P = -200\text{W}$), saadaan ”teoreettiseksi” käynnistymistuulennopeudeksi 9 m/s. Eli tuulivoimala ei lähde pyörimään näillä asetuksilla, vaan se toimii pyörrevirtajarruna.

$$v_t = \sqrt[3]{\left(\frac{S_{gen}}{(0,5 * \rho * \pi * R^2 * c_p)}\right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{800}{(0,5 * 1,225 * \pi * 2,05^2 * 0,13)}\right)} \approx 9\text{m/s} \quad (5)$$

$$P = 0,5 * \rho \pi R^2 v^3 c_p \quad (6)$$



KAAVIO 4. Arvio TAMKIn tuulivoimalan c_p -arvolle tuulennepeuden funktiona (Inter-tek)

Tässä tuulivoimalassa roottorin lavat ovat itsesäätyviä pyörimisnopeudesta johtuvan keskipakoisvoiman vaikuttamana. Lapakulman säätö muuttaa roottorin c_p -arvoa. Tästä lisää työn loppupuolella.

6.1.4 LCL-suotimen vaikutus

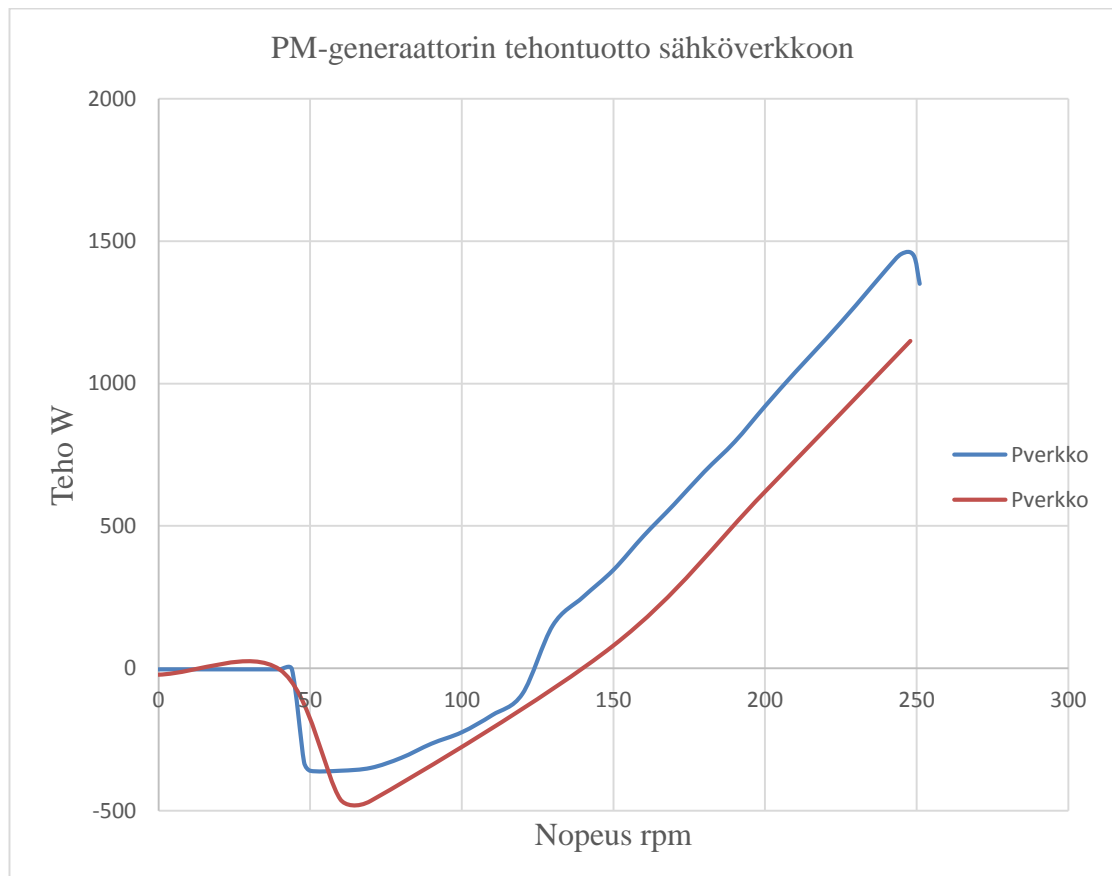
LCL-suotimen vaikutusta ei päästy mittaamaan, koska ohjainlaitteistossa oleva verkonvalvontarele (GMR-1) estää tuulivoimalan verkkoon kytkeytymisen, jos suodin ei ole käytössä. Sähkön laatu oli niin huonoa. Nyt jälkeinpäin arvioituna, olisihan sen voinut mitata pienin kytkentämuutoksin.

Kun tuulivoimala tuottaa energiaa sähköverkkoon, niin loisteho on vakio riippumatta tuotetun energian suuruudesta. Verkkoon tuotetun loistehon määrä on riippuvainen suotimen koosta. Tämä suodin tuottaa verkkoon noin 300Var koko nopeusalueella. Poikkeuksena alue, jolla tuulivoimala kuluttaa, eli tehon suunta on verkosta voimalaan päin. Silloin suodin aiheuttaa verkkoon noin 600Var loistehon, kunnes tehon suunta kääntyy verkkoon päin. Tästä mielenkiintoisesta seikasta lisää kohdassa 6.2.1.

6.1.5 Lämpötilan vaikutus PM-generaattorin tuottoon

Generaattorissa syntyvä loisteho aiheuttaa staattoriin resistiivisessä osassa tehohäviön, joka kuumentaa generaattoria ($P_h = 3 * R_S * I_S^2$). Tästä aiheutuu luonnollisesti generaattorin lämpenemistä, joka on riippuvainen tuotetun loistehon määrästä. Riittävän voimakas lämpeneminen heikentää kestopagneettien tehoa ja aiheuttaa näin generaattorin tehon laskua. Tämä tuli selkeästi esille kylmän (sininen) ja kuuman (punainen) generaattorin mittauksissa. (Kaavio 5.)

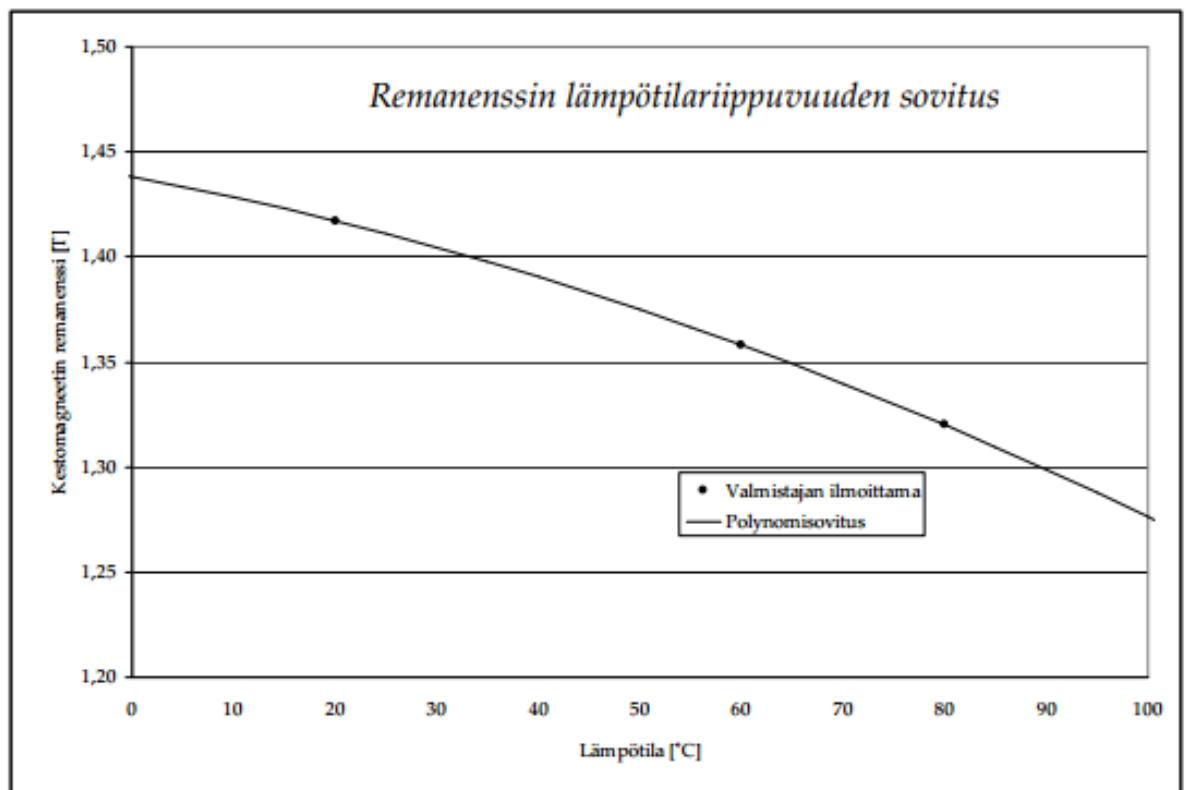
Kuumen generaattorin tuotto kylmään verrattuna tippui 20 %, joka on paljon. Kuumen generaattorin testi tehtiin vain muutamalla mittapisteellä, siksi käyrät ovat hieman erimuotoisia. Mittauksen alussa kylmän generaattorin alkulämpötila oli 20°C ja lopussa pintalämpötila 90°C. Toinen mittaus tehtiin heti perään muutamalla mittapisteellä ja mittauksen lopussa generaattorin pintalämpötila oli noin 100°C. Toki generaattorin lämmitessä kasvavat muutkin häviöt kuin kestopagneettien remanenssivaikutus. Tällaiset testit eivät ole PM-generaattorin magneettien kannalta kovin suotavia. Generaattorin valmistaja lupaa magneeteille (NdFeB) lämmönkestoksi 150°C.



KAAVIO 5. Kylmän ja kuumen generaattorin tehontuoton ero

Kestomagneetin remanenssi on lämpötilariippuvainen suure. Lämpötilan noustessa remanenssi heikkenee; lisääntynyt lämpöliike häiritsee atomaaristen dipolien yhdensuuntaisuutta. Lämpötilan kasvaessa riittävän suureksi, niin kutsuttuun Curien lämpötilaan, remanenssimagnetoituma menetetään kokonaan, sillä lämpöliike on siinä määrin hallitsevaa, ettei vaihtovuorovaikutus enää kykene yhdensuuntaistamaan dipoleita. Edellä kuvatussa tilanteessa lämpöliike siis hävittää nettomagnetoituman, eikä se palaudu enää materiaalin jäähtyessäkään. Tässäkin tapauksessa materiaali voidaan kuitenkin magnetoida uudelleen. Lämpötilan lasku puolestaan kasvattaa remanenssia. Kuitenkin, ferromagneettisesta materiaalista riippuen, magnetoituma alkaa heiketä uudelleen tietyn lämpötilan alapuolella. (Kuvio 14)

(ECR-ionilähteen magneettikentän lämpötilariippuvuus, pro.gradu P. Frondelius, Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos 2005)



KUVIO 14. Kestomagneetin remanenssin riippuvuus lämpötilasta. (JTY)

6.2. Tulokset uudelleen parametroinnin jälkeen

Tässä analysoidaan tilannetta, jossa generaattorin tuottama loisteho on saatu lähes kokonaan pois ja generaattori on saatu tuottamaan täyden määrän pätötehoa verkkoon. Muutos on saatu aikaan muuttamalla INU-yksikön moottorimallia suoraan parametreina. Kaikki INU-yksikköön tehdyt parametrimuutokset löytyvät liitteestä 7. Aihetta on käsitelty myös kohdassa 9.1.3 Parametrien talletus ja kopiointi.

6.2.1 Pätö- ja loisteho

Myös parametrimuutosten jälkeen generaattorin pyörimisnopeusalueella 0-47 rpm FCt ovat horrostilassa. Tuottoa ei ole, mutta horrostilan kulutusta on noin 4W, joka aiheuttaa verkkoon noin 20Var loistehon. Tällä ei ole merkitystä tuulivoimalan tuotolle. Horrostilanteessa LCL-suodin, FCt ja välijännitepiiriä lataava taajuusmuunnin eivät ole kytkeytyneenä verkkoon, mutta silti verkkoon menee noin 20 Var loistehoa. Tämän pienen loistehon muodostajaksi jää 24V:n apujännitettä syöttävä AC/DC-hakkuri, joka on kytketty vaiheeseen L3 ja jonka kulutus on tuo 4W. Muiden vaiheiden kulutus on nolla.

Kun saavutetaan heräämisraja, niin INU- ja AFE-yksiköt kytkeytyvät käytännössä samanaikaisesti päälle ja INU-yksikkö alkaa kuormittaa generaattoria, mutta ei enää samalla tavalla, kuin ennen parametrien asettelua. Generaattori ei kuluta enää pätötehoa ja tuottaa loistehoa enää 100Var ja nimellisnopeudellakin vain vähän enemmän kuin resisitiivisellä kuormalla.

Kun FCt kytkeytyvät päälle, niin ohjauskeskus kokonaisuudessaan ottaa verkosta noin 250W. Kun tämä pätöteho otetaan LCL-suodattimen läpi, niin siitä syntyy suotimen eteen verkkoon päin noin 600 Varin induktiivinen loispatti, joka vaimenee, kun pätötehon suunta kääntyy verkkoon päin, noin 75 rpm kohdalla. Tässä tilanteessa syntyy merkillinen ilmiö kun taajuusmuuttaja ottaa verkosta suhteellisen suuren suotimen läpi vähän pätötehoa. Pätöteho muuttuu suotimen läpi kulkiessaan pätö- ja loistehoksi, josta vain pätöteho pääsee jatkamaan ja loisteho palaa takaisin suotimen läpi verkkoon. Näin syntyy taajuusmuuttajan ja LCL-suodattimen välinen ”loispumppu”, joka aiheuttaa havaitun ”loispatin” suotimen eteen verkon puolelle.

Ilmiö tulee esille myös osoittimien vaihekulmaa seuraamalla. Verkosta suotimen läpi otetun tehon pienentyessä osoittimien vaihekulma ($\cos\varphi = -0,63$) lähtee pieneneään 130 asteesta kohti 90 astetta. Kun tehon kulutus on nolla ja sen suunta muuttuu, niin osoittimien vaihekulma muuttuu 90 asteesta nollassa ja samalla loispatti on poissa ($\cos\varphi \approx 1$).

Jos loispattia halutaan pienentää, täytyy generaattorin tuottaa heti kytkemishetkellä tuulivoimalan omankulutuksen verran tehoa. Eli generaattorille olisi kytkettävä kerralla noin 400W tehoinen vastamomentti. Tämä aiheuttaisi roottorille voimakkaan momentti-iskun ja roottori pysähtyisi, jos ollaan alle 6 – 7 m/s tuulenopeuksissa. Jos taas siirretään kytkentähetkeä ylemmäksi, niin roottori ehkä jaksaisi pyöriä, mutta momentti-isku olisi yhtä suuri ja rasittaisi koko tuulivoimalaa. Jos taas momentti-iskua pienennetään, joko momenttikäyrää loiventamalla tai rampituksella, niin silloin ei myöskään generaattori tuota tehoa ja se täytyy ottaa kytkentähetkellä verkosta. Joka taas aiheuttaa sen loispatin.

Verkon puolelle syntyvästä loispatista ei ole niin suurta haittaa, että sen takia kannattaisi aiheuttaa voimakkaita momentti-iskuja roottorille. Tuoton optimointi käynnistyshetkeä siirtämällä on sitten eri asia ja myös kannattavaa monestakin syystä. Tästä lisää kohdassa 8.1.1 tuoton optimointia heikoissa tuuliolosuhteissa.

Loppualueen 300 Varin induktiivinen loisteho johtuu suotimen läpi verkkoon kulkevasta tehosta ja on tälle suotimelle tyypillinen arvo, eikä ole riippuvainen sen läpi kulkevan tehon määrästä.

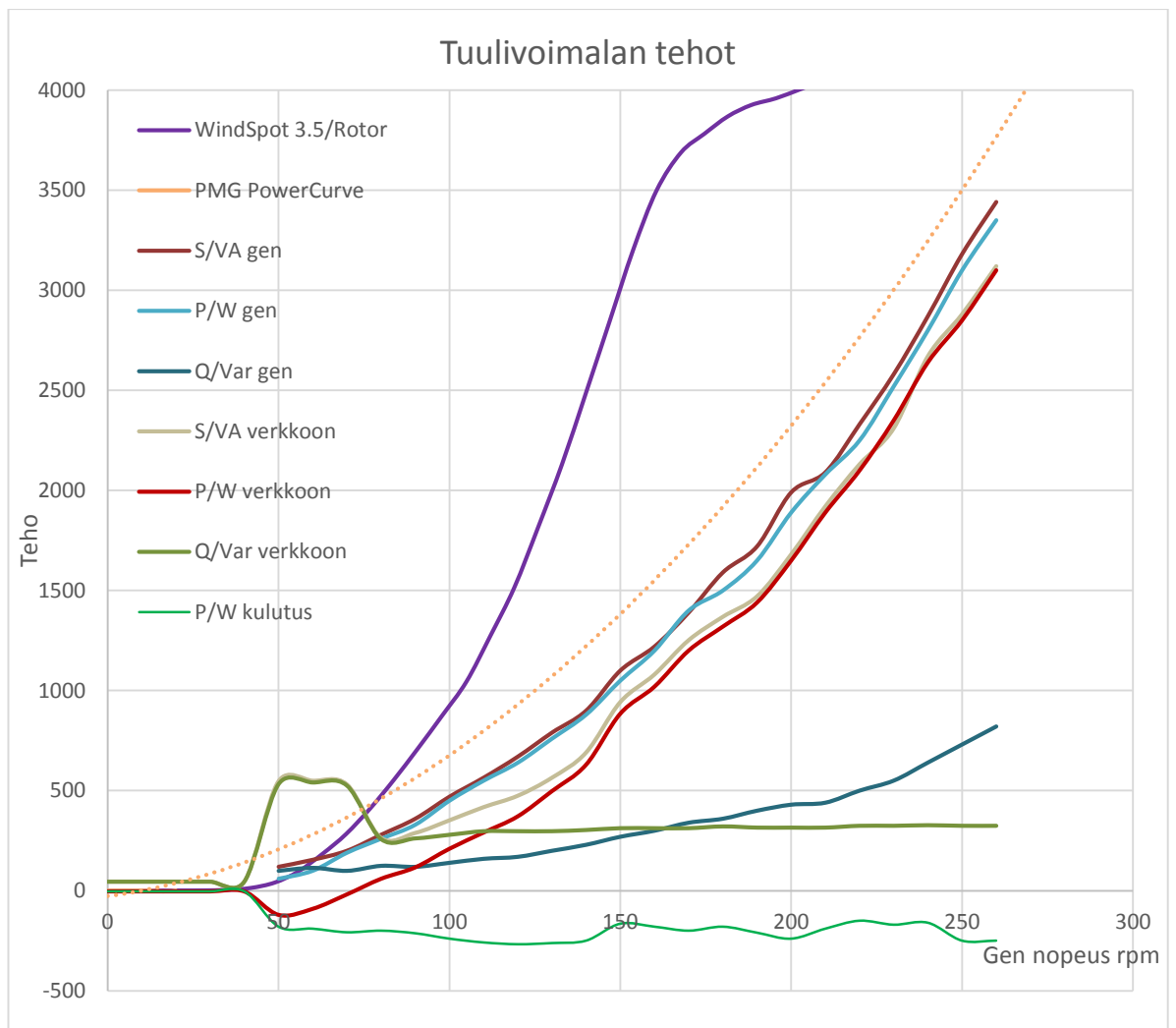
LCL-suodatin suunnitellaan määrätylehelle teholle, jolla sen toiminta on haluttua. Suodattimen suodatuksen tehokkuuteen vaikuttaa vaihevirran suuruus: virran pienentyessä suodatuskyky heikkenee. Vaikutus on sitä suurempi, mitä suurempi on kuristimen induktanssiarvo. Tämä voi aiheuttaa ongelmia vaihtosuuntaajan tapauksessa, jossa kuormitus vaihtelee suuresti. (Vaihtosuuntauksen suodatus, diplomityö 2007, P. Nuutinen, LTY)

Tämä käynnistykseen yhteydessä syntyvä loispatti ei vaikuta generaattorin eikä taajuusmuuttajien toimintaan. Haitta näkyy sähköverkkoon siirretyn sähkön laadussa. Seuraavilla parametriasetuksilla generaattori alkaa tuottaa pätötehoa verkkoon huomattavasti aiemmin ja täyden määrän. (Taulukko 10)

TAULUKKO 10. Uudet arvot momenttikäyrän pisteille

M%	0	2	5	18	30	38	48	60	70	80	95	110
n%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
n _{gen}	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
P 2.1.5 Virtaraja					9 A vanha				7 A uusi			
P 2.1.6 Nimellisjännite					370 V vanha				320 V uusi			

Uusi momenttikäyrä noudattaa muodoltaan generaattorin valmistajan mittaamaa tehokäyrää (oranssi), joskin sopivasti hieman sen alapuolella. Tehokäyrien pieni mutkaisuus johtuu mittausarvojen lukemaepätarkkuuksista. (Kaavio 6)

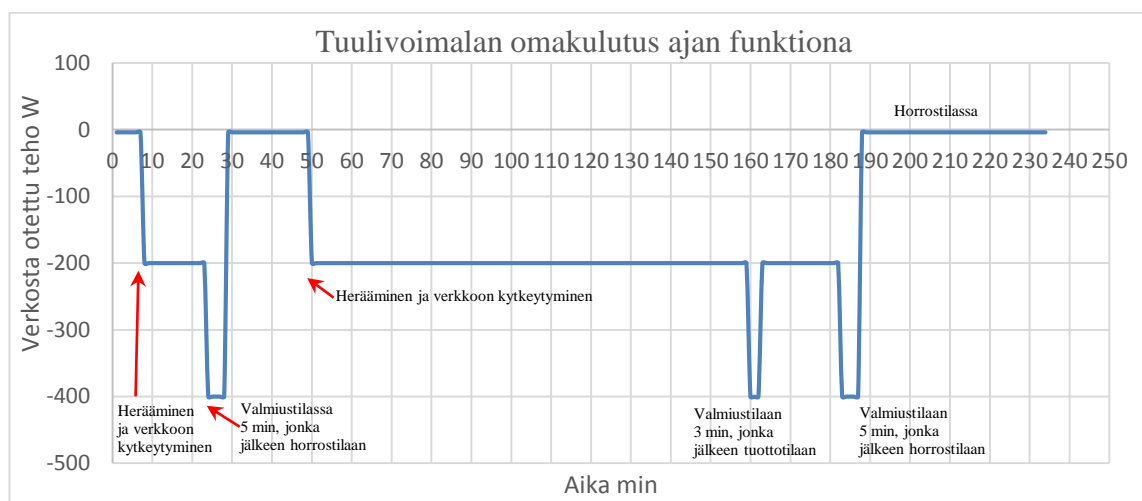


KAAVIO 6. Tuulivoimalan tehot uudelleen parametroinnin jälkeen

6.2.2 Tuotto ja omakulutus

Generaattori lähtee tuottamaan heti kun sen pyörimisnopeus saavuttaa 50 rpm ja taajuusmuuttajat kytkeytyvät toimintaan. Tämä voisi tapahtua teoriassa jo 3 - 4 m/s tuulennopeudella, mutta käytännössä se vaatii suuremman nopeuden. Tästä tarkemmin kohdassa 7.1.

Tuulivoimala alkaa tuottaa energiaa sähköverkkoon kun generaattorin nopeus on noin 75 rpm. Tämä vastaa tuulennopeutena noin 5 - 6 m/s. Tuulivoimalan omakulutus sen käynnialueella on noin 200W ja valmiustilassa 400W. (Kuvio 15.)



KUVIO 15. Esimerkki tuulivoimalan kulutuksesta sen eri käyttötiloissa

Kaavioissa 6 ja 7 olevien tehokäyrien mutkaisuus johtuu generaattoritehoa mittaavan Fluke453 lukemien huojumisesta ja sitä kautta tulevista lukemaepätarkkuuksista. Tässä tilanteessa vanhat kiertokäämimittarit olisivat olleet paikallaan. Ne vaimentavat huojunnan pois ja tulosten oikein lukeminen on varmempaa. Tämäkin tuli huomattua vasta myöhemmin tuloksia analysoitaessa. Toki uusissa mittalaitteissa on paljon ominaisuuksia, joita ei mitenkään voi korvata vanhoilla kiertokäämimittareilla.

6.2.3 Käynnistymistuulenoisuus

Taajuusmuuttajien päällekytkeytymishetkellä roottorin arvioitu c_p on 0,2 ja generaattorin kuormitus kaavion 7 mukaan on 50 rpm kohdalla noin 70 W, saadaan teoreettiseksi käynnistymistuulenoisuudeksi 3,5 m/s. (Kaava 7)

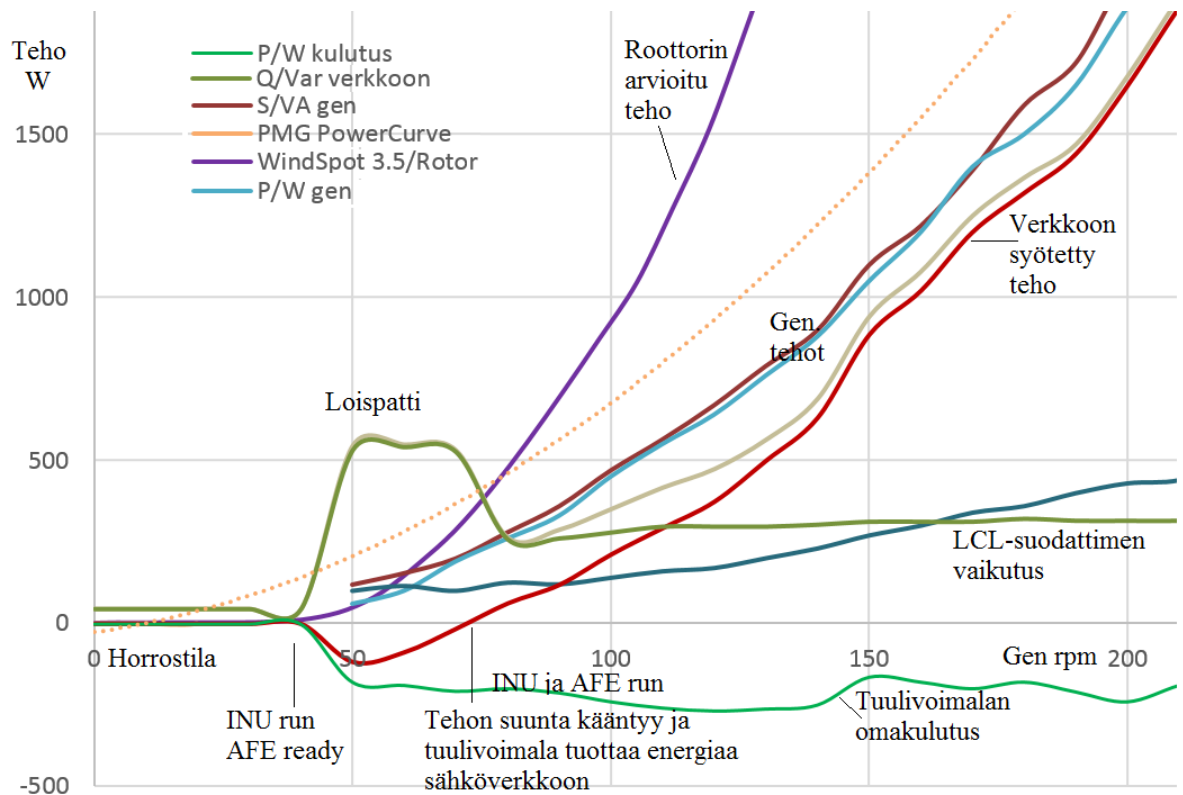
$$v_t = \sqrt[3]{\left(\frac{P_{gen}}{(0,5 * \rho * \pi * R^2 * c_p)}\right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{70}{(0,5 * 1,225 * \pi * 2,05^2 * 0,15)}\right)} \approx 3,5 \text{ m/s} \quad (7)$$

Lasketaan tuulivoimalan akselille saatava vääntömomentti, kun roottorin c_t -arvo on 0,12. (Kaava 8)

$$T_r = 0,5 * \rho * \pi * R^3 * v^2 * c_T = 0,5 * 1,225 * \pi * 2,05^3 * 3,5^2 * 0,12 \approx 24 \text{ Nm} \quad (8)$$

INU-yksikön momenttikäyrän arvo 50 rpm kohdalla on 25 Nm. (Mitattu arvo)

Huomataan, että roottorin momentti ja generaattoriin vastamomentti ovat yhtä suuria. Koska roottori ja generaattori ovat saavuttaneet pyörimisnopeuden ilman kuormaa, niin roottorilla ja generaattorilla on pyörimisliikkeestä saatu inertiaetu, joka vastaa generaattorin momenttia. Riippuu tuulen noususta ja kestosta, jaksako roottori ottaa momenttinväistyksen vastaan. Käytännössä käynnistymisraja-asettelua on nostettava, tai generaattorin vastamomenttia pienennettävä alakierrosalueelta. Myös rampitusajo voi auttaa tähän.



KAAVIO 7 Tuulivoimalan käynnistyminen ja verkkoon kytkeytyminen

6.2.4 LCL-suodatin ja harmoniset yliaallot

Vaihtosähkölaitteet ovat suunniteltu toimimaan sinimuotoisella virralla ja jännitteellä. Ideaalisessa sähköverkossa vaihtojännite ja -virta ovatkin sinimuotoisia. Todellisissa sähköjärjestelmissä jännitteen ja virran muodot poikkeavat kuitenkin sinimuodosta muun muassa harmonisten yliaaltojen takia. Harmonisilla yliaalloilla tarkoitetaan perustaajuuden monikertoja. Harmonisia yliaaltoja aiheuttavat epälineaariset kuormitukset, jotka ottavat verkosta muuta kuin sinimuotoista virtaa. Yleisesti voidaan ajatella yksivaiheisten kuormien synnyttävän kolmannen kertaluvun yliaaltoja ja kolmivaiheisten kuormien aiheuttavan muita yliaaltoja. Yliaaltoja aiheuttavia laitteita ovat esimerkiksi hakkuriteholähteet, tasasuuntaajat, taajuusmuuttajat, tyristorikäytöt ja purkauslamput. Yliaaltovirran suuruus on riippuvainen kuormituksesta sekä verkon impedanssista kyseessä olevalla taajuudella. (TTT-käsikirja 2000-07. Luvut 4, 6 ja 9. ABB)

Sähköverkon jännite voi yliaaltojen seurauksena säröytyä. Virtayliaallot aiheuttavat verkon impedansseissa yliaaltoisia jännitehäviöitä, jotka näkyvät käytännössä jännitteen säröytymisenä. Jännitesärö ilmoitetaan THD (Total Harmonic Distortion) -arvona joka merkitsee yliaaltokomponenttien suuruutta suhteessa normaaliin sinimuotoiseen aaltoon. Sähköverkon jännitteen laadussa voidaan jännitesärön osalta pitää alle 5 %:n säröytymää hyvänä, kun korkeaksi laaduksi voidaan luokitella alle 3 %:n jännitesäröytymä. (TTT-käsikirja 2000-07. Luvut 4, 6 ja 9. ABB) (Korpinen L. Yliaalto-opus 2010)

Tuulivoimaloissa käytetään useasti tehoelektroniikkaa, jotka aiheuttavat runsaasti harmonisia yliaaltoja. Siksi tuulivoimaloiden aiheuttamille yliaalloille määrätäänkin sekä standardeissa että verkkomääräyksissä raja-arvot, joita ei saa ylittää. (ET energiateollisuus)

Yliaaltojen suodattamiseen voidaan käyttää passiivi- ja aktiivisuodattimia. Yksinkertaisin on yhdelle taajuudelle viritetty passiivisuodatin. Suodattimen resonanssitaajuus pyritään mitoittamaan poistettavan yliaallon taajuudelle, ja kondensaattorin kapasitanssi määrää yleensä tarvittavan perustaajuuden kompensointitehon. Perustaajuudella impedanssin tulee olla mahdollisimman suuri pätötehohäviöiden minimoimiseksi.

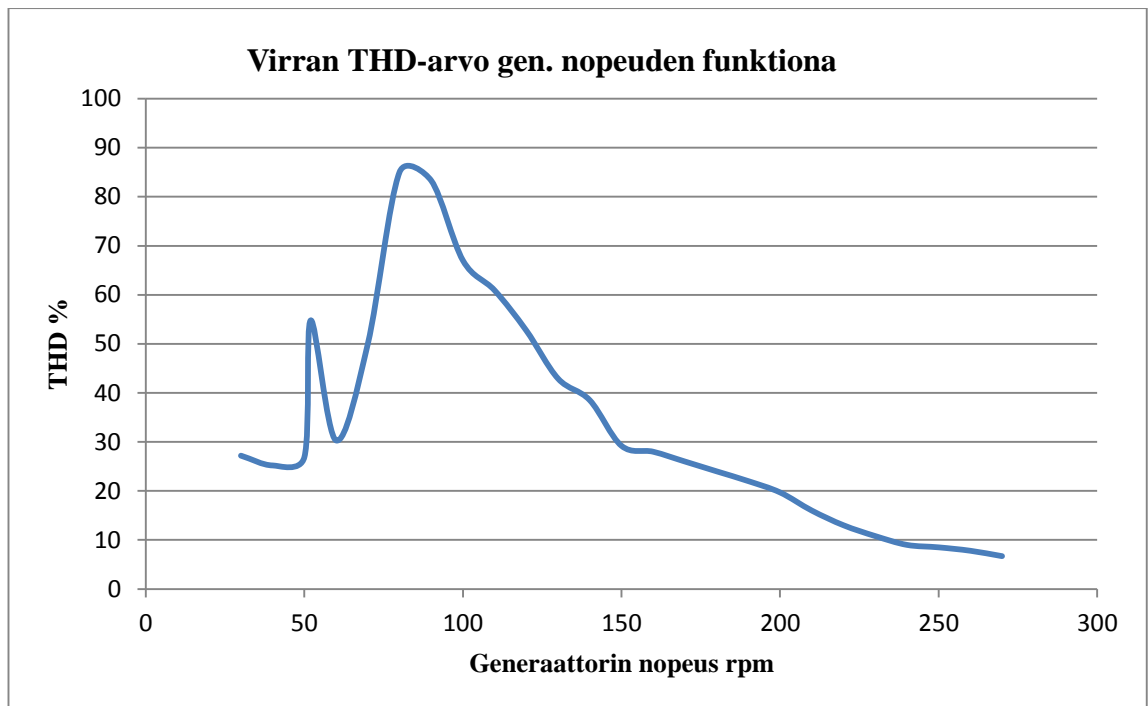
Passiivisia suodattimia nimitetään yleisesti imupiireiksi. Imupiirit ovat perustaajuudellaan kapasiivisia sarjaresonanssipiirejä, joten ne tuottavat induktiivista loistehoa ja toimivat siten samalla kompensointikondensaattoreina. Kytkemällä monta tämänlaista suodatinta rinnakkain voitaisiin kaikki yliaallot poistaa. Tämä olisi kuitenkin hyvin kallis ratkaisu. Passiiviset

laajakaistasuodattimet, ovat periaatteeltaan ylipäästösuodattimia ja ne suodattavat kaikki haluttua taajuutta korkeammat taajuudet.

Aktiivisuodattimet ovat tehopuolijohteilla toteutettuja säädettäviä yliaaltovirtalähteitä. Ne syöttävät verkon yliaaltoihiin nähden vastakkaisessa vaiheessa olevia yliaaltoja, jolloin verkon yliaallot kumoutuvat. Aktiivisuodattimen edut passiivisuodattimiin nähden ovat muuttuvien yliaaltojen tehokas suodatus, monien yliaaltojen suodatus yhdellä suodattimella ja aktiivisuodattimien nopea vaste ja pieni tilantarve. (Korpinen L. Yliaalto-opus 2010)

THD arvoja mitatessa kannattaa huomioida, että myös verkko vaikuttaa mittauksiin. Verkon pitäisi olla täysin ideaalinen, jotta mittauksista voisi varmuudella nähdä taajuusmuuttajan tuottaman sähkön laadun. Tämä tulee esille saarekekäyttöjen yhteydessä. Kun taajuusmuuttaja luo oman sähköverkon, on sen jännite ja virta säröt alle 5 %. Mutta kun verkkoon kytketään erilaisia kulutuskojeita, kuten taajuusmuuttajia, moottoreita, telkkareita, loistelamppuja jne., käy niin, että jännitesärö nousee pahimmillaan 8 - 9 % paikkeille, ja virtasäröistä ei sitten kannata juuri mitään puhuakaan, sillä ne kasvavat jopa 100 % paikkeille. Tämä on puhtaasti kulutuksen aiheuttamaa yliaaltojen lisäystä. Esimerkiksi ATV31 taajuusmuuttaja aiheuttaa yksinään 180 % virtasärön. Saarekkeessa tämä näkyy todella hyvin, koska verkko on pienikokoinen, eli se ei syö häiriöitä itseensä yhtä hyvin kuin valtakunnanverkko. (P.Vähämartti, Nocart Oy)

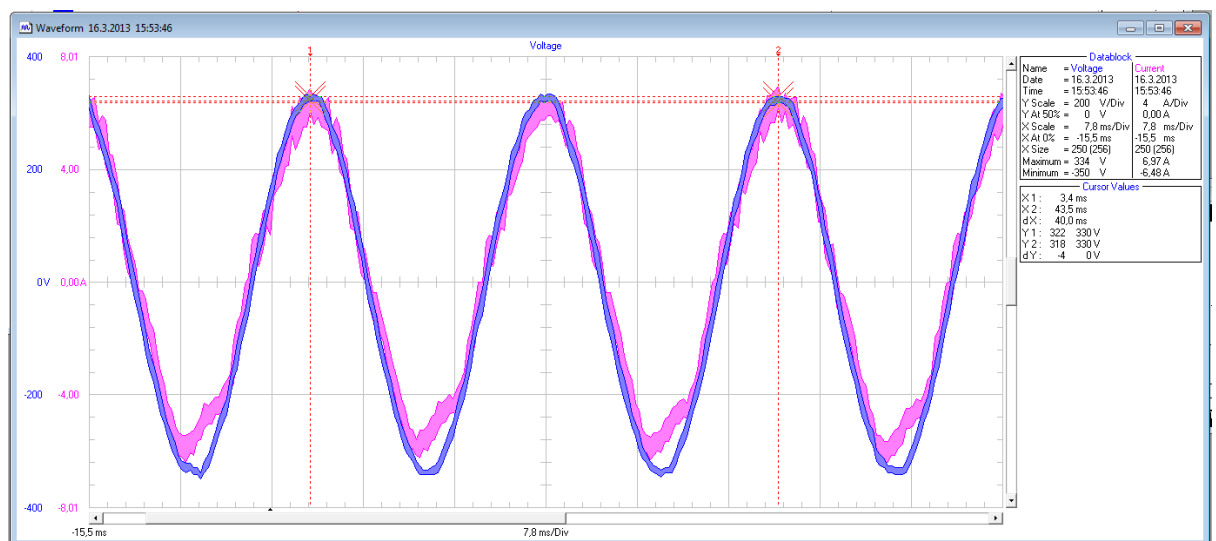
Tässä työssä testatun tuulivoimalan sähköverkkoon tuottaman virran THD-arvo oli parhaimmillaan 7 % generaattorin nimellinopeudella ja -teholla. THD-arvo vaihteli kuitenkin melkoisesti generaattorin nopeusalueella, ollen huomattavasti suurempi pienillä kieroksilla (Kaavio 8). Kaaviossa 8 näkyy THD-arvojen kasvupiikki, kun taajuusmuuttajat kytkeytyvät verkkoon (50 rpm) ja toinen voimakkaampi kasvu tapahtuu, kun tehon suunta vaihtuu generaattorista sähköverkkoon päin (75 rpm). Tuloksista voi päätellä, että suodatin on suunniteltu toimimaan tämän tuulivoimalan nimellistehoalueelle tai sen yläpuolelle, eikä näin ollen toimi parhaalla mahdollisella tavalla sisämaan heikoissa tuuliolosuhteissa pyörivissä tuulivoimaloissa.



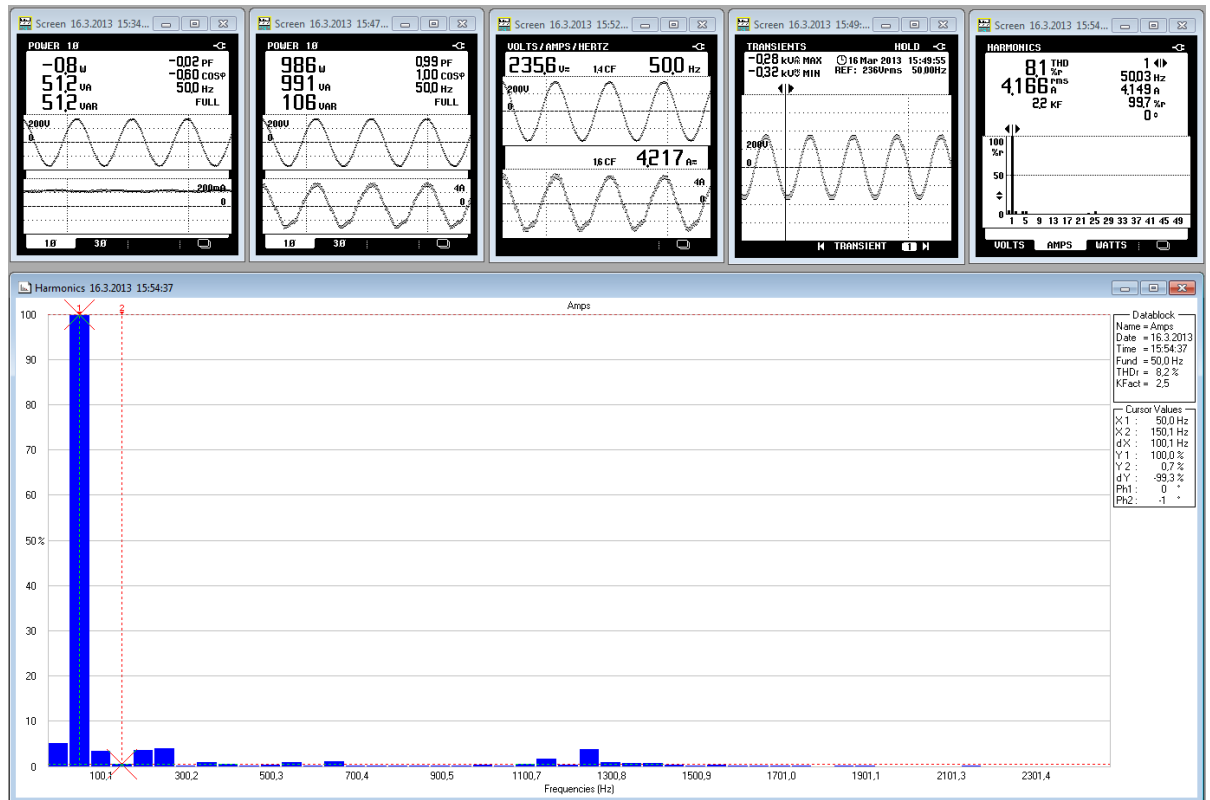
KAAVIO 8. Sähköverkkoon syötetyn virran THD-arvo

Mainittakoon tässä vielä, että tuulivoimalan INU-yksikön parametroinnin vaikutukset eivät vaikuta LCL-suotimen toimintaan, eikä LCL-suodatin näy mitenkään generaattori-puolelle. AFE-yksikön parametreissa ulostulevan loistehon arvoksi on asetettu 0 Var.

Tuulivoimalan verkkoon syöttämän jännitteen aaltomuoto on hyvä, mutta virran aaltomuodossa on vielä jonkun verran näkyvissä kytkeytymisestä johtuvaa leikkautumista. Tämä näkyy myös THD-arvoissa. (Kuviot 16 ja 17)



KUVIO 16. Verkkoon syötetyn tehon aaltomuodot LCL-suotimen jälkeen



KUVIO 17. TAMKin tuulivoimalalla tuotetun sähkövirran laatu

Verkkoon syötetyn jännitteen THD-arvot jäivät epähuomiossa mittaamatta, joten niistä ei ole tuloksia.

7 PIENTUULIVOIMALAN SÄÄTÖ JA OPTIMOINTI

Tuulivoimalan tuoton optimointi on monen seikan yhteensovittamista ja lopputulos on usein heikoimman lenkin mukainen. Siksi optimointia kannattaa tehdä jo tuulivoimalan suunnittelu- ja hankintavaiheessa. Viimeaikainen pientuulivoimaloiden voimakas kehittyminen on tuonut markkinoille useita laitevalmistajia, jotka toimittavat valmiita tuulivoimalaratkaisuja, eikä kaikkea kehitystyötä tarvitse enää tehdä itse. On kuitenkin hyvä tietää valintoja tehtäessä, mihin seikkoihin tulisi kiinnittää huomiota, kun ollaan hankkimassa pientuulivoimalaa.

Ensinnäkin tulisi tietää sen alueen tuuliolosuhteet, jonne tuulivoimala aiotaan rakentaa ja valita tuulivoimalan kokoluokka. Heikkotuulisille alueille ei kannata suunnitella suuritehoisia voimaloita, koska niitä ei voi kuormittaa optimitoimialueella heikkojen tuulten vuoksi. Jos nyt kuitenkin heikkotuulisille alueille halutaan tuulivoimala, niin pienen generaattorin ja hyvän roottorin yhteensovittamisella saa paremman lopputuloksen, kuin isommalla, joka ei jaksaa pyöriä.

Hyvin suunniteltu tuulivoimalan siipi on avain asemassa, koska siiven pitää toimia monilla eri tuulennopeuksilla ja pyörimisnopeuksilla. Siipi voidaan suunnitella toimimaan hyvin matalilla tuulennopeuksilla, jolloin tuulivoimala soveltuu käytettäväksi sisämaassa tai vaihtoehtoisesti voimakkailla tuulilla, jolloin tuulivoimala on tarkoitettu rannikolle tai saaristoon. Siiven toiminnasta kertoo se, millä tuulennopeudella valmistaja ilmoittaa tuulivoimalan tuottavan nimellistehon verran energiaa. Suomen sisämaan olosuhteissa parhaiten toimivat siivet, jotka on mitoitettu matalille tuulennopeuksille. Tämä näkyy tuulivoimalan teho- ja tuottokäyristä. (Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön)

Seuraava oleellinen tuulivoimalan komponentti on generaattori, jonka valintaan vaikuttaa oleellisesti alueen tuuliolosuhteet. Kolmas tärkeä valinta on tuulivoimalan säätölaitteisto. Nykyisin se on usein taajuusmuuttajan sisältävä laitekokonaisuus, joka säätää generaattorin optimikuormitusta ja huolehtii verkkoon kytkeytymisestä.

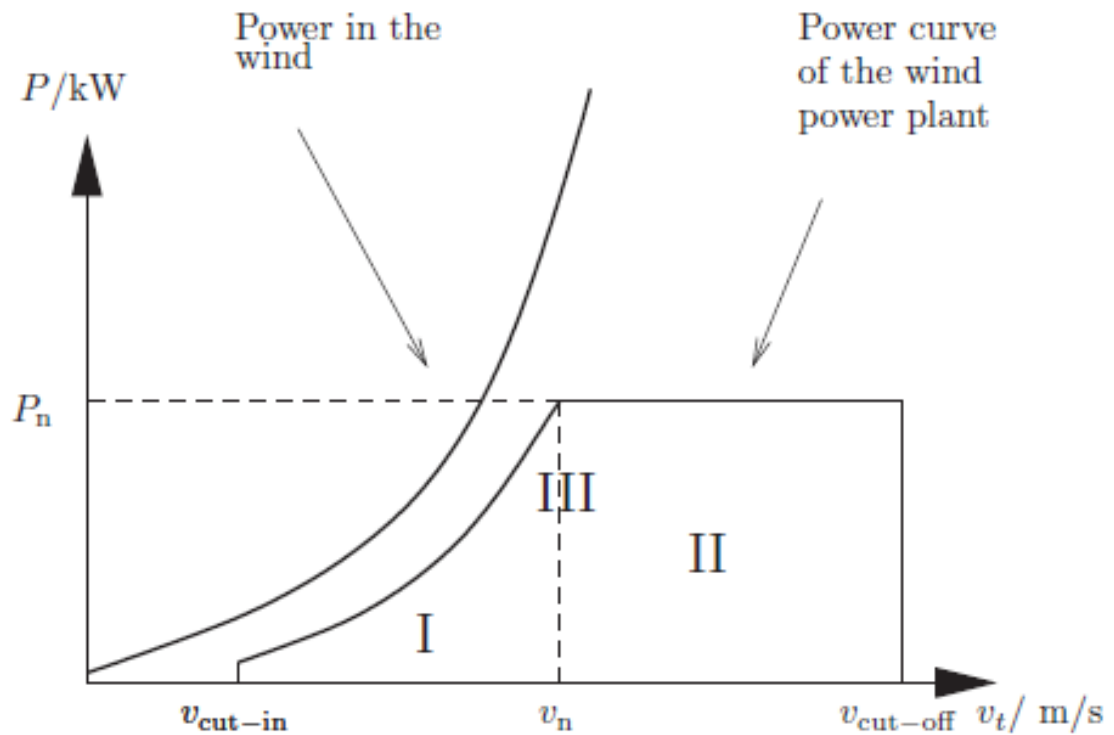
7.1. Roottorin, generaattorin, kaapelin ja taajuusmuuttajan sovittaminen

Tässä työssä tutkittavan tuulivoimalan säätöjärjestelmä koostuu roottorin aerodynaamisen momentin säädöstä ja generaattorin sähköisen momentin säädöstä. Käytettävä säätö riippuu turbiinin toiminta-alueesta. Alle nimellisellä tuulennopeudella säätöjärjestelmä pyrkii ottamaan suurimman mahdollisen sähkötehon generaattorista ilman, että tuulen akselille kehittämä momentti ylittyy. Tämä säätö tehdään generaattorin vastamomenttia säätämällä, ja vasta nimellistuulennopeuden yli olevalla alueella käytetään lapakulmasäätöä rajoittamaan roottorin tehoa.

Kuviossa 18 on merkitty numeroilla tuulivoimalan toiminta-alueet. Kuvioista nähdään myös tuulen sekä tuulivoimalan teho nopeuden funktiona. Toiminta-alue I alkaa siitä tuulennopeudesta, kun generaattori alkaa tuottaa sähkötehoa, ja loppuu voimalan nimelliseen tuulennopeuteen. Tällä alueella säätöjärjestelmä ajaa generaattoria parhaimmalla hyötysuhteella. Alueella II, on tuulennopeus yli nimellisen. Tällöin järjestelmä rajoittaa tehon yleensä voimalan nimellistehoon. Toimintapisteessä III saavutetaan nimellisteho, jolloin säätöjärjestelmä siirtyy tehonrajoitustilaan pitäen tuotetun tehon koko ajan nimellisessä. Tässä työssä tulkittavassa tuulivoimalassa tämä säätö on toteutettu roottorin lapakulman säädöllä.

Cut-in-tuulennopeus on alaraja, jonka jälkeen generaattori alkaa tuottaa sähköä. Roottori pyörii kuitenkin jo ennen tämän rajan saavuttamista ilman kuormitusta.

Cut-off-tuulennopeus on nopeus, jolla generaattori pysäytetään. Tämä tehdään tässä tuulivoimalassa säätämällä roottorin siipien lapakulmia niin paljon, että roottorin siivet sakaavat ja generaattorin vastamomentti pysäyttää roottorin. (H.Vihriälä)



KUVIO 18. Tuulivoimalan tehonsäädön toiminta-alueet (H.Vihriälä)

Tuulesta saatavan tehon optimointi vaatii roottorin, generaattorin ja säätölaitteiston yhteen sovittamista jo tuulivoimalan suunnitteluvaiheessa. Joskus niiden valintaan ei voi kuitenkaan vaikuttaa, niin kuin tässäkin työssä. Jäljelle jää mahdollisimman hyvä generaattorin ja roottorin momenttien yhteen sovittaminen oikealla vastamomentilla.

Tämän tuulivoimalan nopeudensäätö perustuu generaattorista otettavan sähkötehon säätöön vastamomentilla. Tuulivoimalasovelluksen vastamomentin optimointi pitää tehdä tarkasti voimalakohtaisen käyrästön mukaan, josta käy ilmi kuinka suurella momentilla ja pyörimisnopeudella generaattoria voidaan kullakin tuulennopeudella ajaa. Jos roottorin teho- ja momenttikäyriä ei tunneta, voidaan niitä arvioida laskemalla niille teoreettiset mallit. (Kappale 6.1.3) Jokaisella tuulennopeudella on olemassa piste, jolloin generaattorin pyörimisnopeus ja akselin momentti ovat optimaalisia. Tällöin tuulivoimalaa ajetaan parhaalla hyötysuhteella.

Tuulivoimalan taajuusmuuttajan INU-yksikössä on sovellusohjelma, jonka avulla generaattoria kuormitetaan ohjelmaan asetetun kuormituskäyrän mukaisesti. Yleensä tämä generaattorin vastamomenttia ohjaava käyrä asetetaan aluksi roottorin tehokäyrän alapuolelle. Tämän jälkeen alkaa se oikea säätäminen oikeissa tuuliolosuhteissa.

Lopullinen hienosäätö on monesti ja myös eniten sitä kenttätyötä, jota täytyy tehdä oikeissa tuuli- ja ympäristöolosuhteissa. Säätöä ja kokeilua vuorotta. Vaikka laitteisto toimii laboratorion testipenkissä, niin ei se välttämättä toimi tolopessa.

Generaattorin ja taajuusmuuttajan välinen kaapelointi asettaa myös omat haasteensa voimalan optimaaliselle tuotolle. Se täytyy sovittaa juuri sopivasti. Liian ohut aiheuttaa häviöitä ja liian paksu lisää kapasitanssia liikaa ja aiheuttaa impedanssin sovitusongelmia taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttajan ja generaattorin yhteensovittaminen tapahtuu INU-yksikössä ajettavalla ID-ajolla, joka täytyy tehdä aina kaapelimuutosten jälkeen. (Vacon NX käyttöohje)

Koulun tuulivoimalassa generaattorin ja INU-yksikön välinen kaapelointi on aiheuttanut ongelmia. Kaapelin pituus ja poikkipinta-ala yhdistettynä ympäristötekijöihin voivat olla syynä ongelmiin, joita tuulivoimalassa on esiintynyt. Varsinkin kun kaapelille ei ole tehty 360-asteen maadoitusta, joka on vaatimuksena generaattorikaapelille. (P.Vähämarti, Nocart Oy) Parhaan tuloksen saamiseksi täytyy kokonaisuuden sopia yhteen.

7.2. Käynnistyminen ja toiminta pienillä tuulennopeuksilla

Laboratoriossa viritetty momenttikäyrä vaatisi kokeilua oikeissa tuuliolosuhteissa. Täytyy muistaa, että testipenkissä ajettut tehokäyrät ja niistä saadut käynnistämisaajat ovat kuormitetulle generaattorille. Todellisessa tuulivoimalassa roottori pyörii vapaasti ennen taajuusmuuttajien kytkeytymistä. Toisaalta pyörivällä roottorilla ja generaattorilla on jonkin suuruinen inertia, joka ottaa vastaan pienet kytkeytymishetken momenttinkyäykset. Tuulivoimalan todellinen verkkoon kytkeytymisaika on ehkä hieman ylempänä, kuin laboratoriomittauksissa saatu raja. Uusi tuulivoimala vaatii yleensä aina testauksen ja sovituksen oikeisiin tuuliolosuhteisiin.

Jos oikeat tuuliolosuhteet antaisivat mahdollisuuden kasvattaa INU-yksikön momenttiohjetta käyntiinlähönopeusalueella, niin se täytyisi rampittaa. Ilman rampitusta roottori saisi taajuusmuuttajien käynnistymishetkellä roottorin pyörimisnopeutta vastaavan momentti-iskun, joka rasittaa laitteistoa ja aiheuttaa roottorin hidastumisen.

7.3. Toiminta suurella tuulenopeudella

Tämän tuulivoimalan roottorin laparakenne on tehty itsestään tuulenopeuden mukaan säätäväksi. Lapakulman säätö toimii samalla myrskysuojana. Laboratoriomittauksissa ei roottorin toimintaa ole luonnollisestikaan voitu testata, mutta koulun pihalla olevassa tuulivoimalassa roottorin lapakulmansäätö on osoittautunut toimivaksi.

Normaali tilanteessa, kun tuulenopeus nousee, niin INU-yksikkö ”jarruttaa” generaattoria momenttikäyrän mukaisesti. Jos tuuli vain yltyy, eikä generaattorin vastamomentti riitä kumoamaan roottorin momenttia, niin roottorin pyörimisnopeus nousee lähelle 250 rpm. Roottorin lapakulmansäädön vaikutus alkaa voimakkaana heti 250 rpm paikkeilla, eikä se anna kierrosten nousta juurikaan yli 250 rpm.

Jarruvastuksia ei ole otettu käyttöön tässä tuulivoimalassa ja ainoaksi myrskysuojaksi jää roottorin lapakulmansäätö. Jos jarruvastukset halutaan ottaa käyttöön, niin ne kytketään välijännitepiiriin ja niiden toimintaa ohjaa INU-yksikkö, siihen asetettujen parametrien mukaisesti.

8 TUOTON OPTIMOIMINEN

Oletuksena onnistuneelle tuulivoimalan tuoton optimoisemiselle on, että laitepuolen kokonaisuus on sovitettu hyvin yhteen. Tämä tarkoittaa, että roottori, generaattori ja tasasuuntain ovat samaa teholuokkaa. Roottorin tuottama teho saisi olla hieman suurempi kuin generaattorista saatava teho.

8.1. Millä tuulennopeudella voimala kannattaa käynnistää

Peruslähdekohta on, että käynnistää ei kannata, jos tuottoa ei tule. Se, että miksi tuottoa sitten ei ole riittävästi, voi johtua monista seikoista, joita on käsitelty aiemmin tässä työssä. Niitä ei käsitellä enää, vaan oletetaan, että laitteisto on valittu oikein ja sovitettu hyvin toisilleen sopivaksi. Myös käyttöpaikalla tehtävä hienosäätö on suoritettu. Tässä osiossa käsitellään vain sisämaassa, suhteellisen heikkotuulisilla alueilla olevia pientuulivoimaloita, jotka joutuvat pyörimään kannattavuuden rajoilla. Tuulivoimalan käynnistymishetkeen vaikuttaa moni asia. Sama tuulivoimala samoilla säädoillä toimii yhdessä paikassa, mutta ei välttämättä enää toisessa.

8.1.1 Tuoton optimointia heikoissa tuuliolosuhteissa

Tuuli, josta energia otetaan, on huonosti ennustettavissa ja yleensä se heikkotuulisilla alueilla on myös puuskittaista. Heikkokin, mutta puuskittainen tuuli kyllä useinkin käynnistää tuulivoimalan, mutta sen kesto on lyhyt. Tämä yhdessä tuulivoimalan oman kulutuksen kanssa aiheuttaa tilanteen, jossa tuotto ja kulutus kilpailevat keskenään, eikä voitajaa ennakolta tiedetä.

Helppointa olisi nostaa käynnistymisraja niin ylös, että varmasti pyörii. Tässä vain voisi käydä heikkotuulisilla alueilla niin, että tuulivoimalan roottori ei sitten kovin usein pyörisi. Siksi täytyy ruveta hakemaan sitä kannattavuuden alarajaa. Yksi tapa on mitata paikallisia tuulia ja valita niistä joku tyypillinen tai muuten haluttu tuulikäyrä ja analysoida sen avulla miten tuulivoimala ja sen tuotto käyttäytyvät juuri siinä tuulessa.

Seuraavassa taulukossa 11 on pikaisesti tehty esimerkinomainen laskelma tässä työssä testatulle tuulivoimalle. Laskelmassa tuulivoimala käynnistyy taulukon arvojen mukaan ja siirtyy valmiustilaan kaikissa tapauksissa tuulennopeuden ollessa 3 m/s. Valmiustilassa ollaan 5 minuuttia (Kuviot 19 ja 20). Laskelma on täysin teoreettinen, mutta havainnollistaa, että eroja löytyy.

Arvioidaan tuulivoimalan valmius- ja käyttötilan omakulutus tai se tiedetään. Tässä työssä testatun tuulivoimalan kulutus valmiustilassa on noin 400W ja käyttötilassa noin 200W. Käynnistymisnopeusalueella roottorin c_p -arvo noin 0,2.

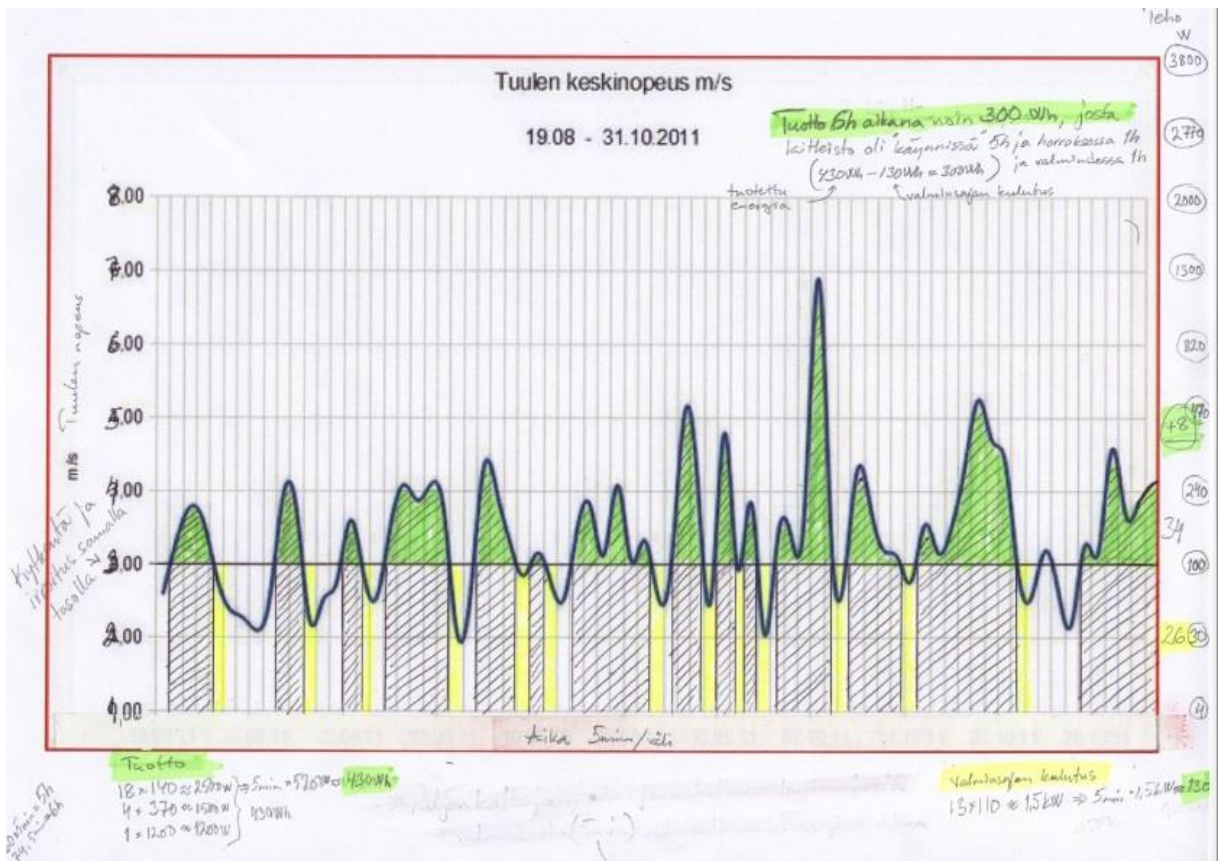
Generaattorin tuoton avulla lasketaan alhaisin pyörintänopeus, jolla tuulivoimala voidaan käynnistää. Valmiustilan tehonkulutustietoa tarvitaan arvioitaessa valmiustilassa kulutetun energian määrää. Generaattorin tuotto käynnistymishetkellä on noin 70W.

$$P = 0,5 * \rho \pi R^2 v^3 c_p \quad (9)$$

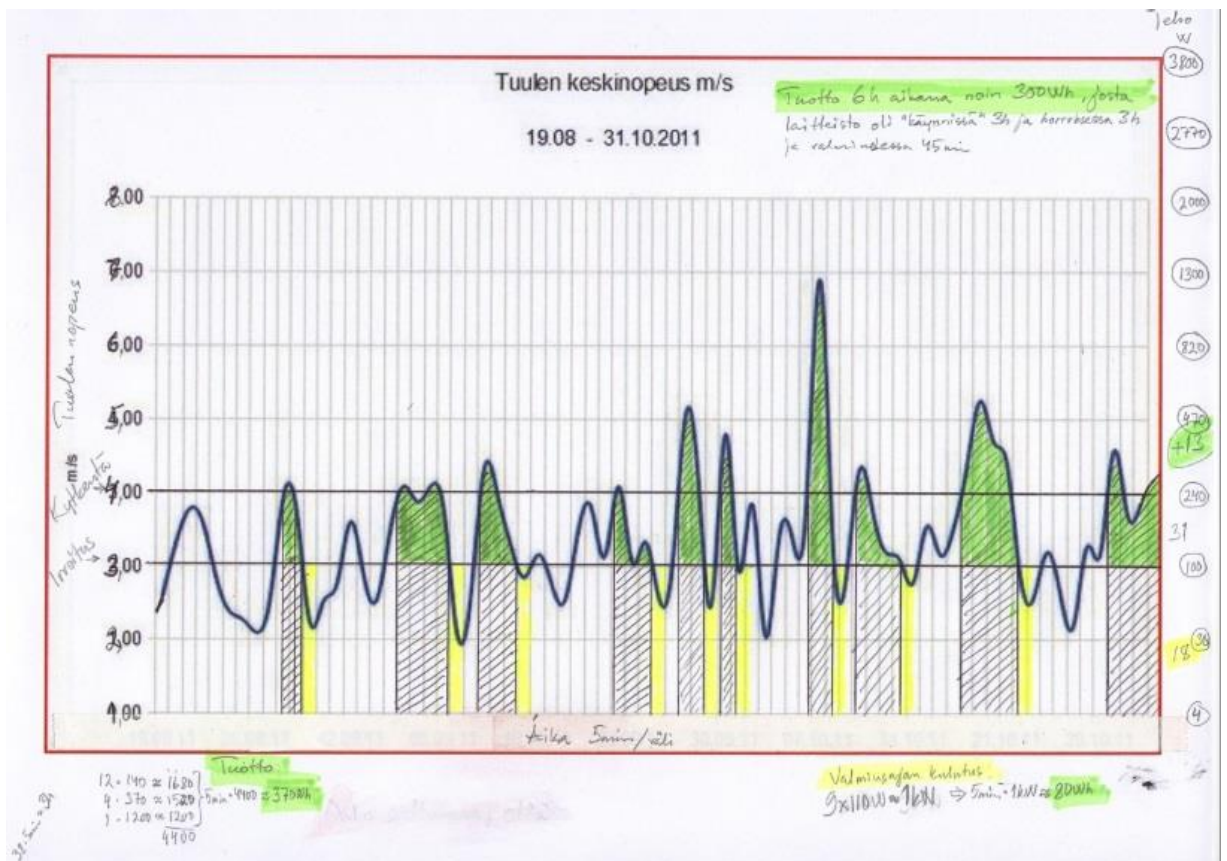
$$v = \sqrt[3]{\left(\frac{P}{0,5\rho\pi R^2 c_p}\right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{70W}{0,5*1,225*\pi*2,05^2*0,2}\right)} \approx 3 \text{ m/s} \quad (10)$$

TAULUKKO 11. Tuulivoimalan käynnistymisrajan vaikutus tuottoon

Käynnistymisnopeus	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
Tuotto	430 Wh	370 Wh	162 Wh	110 wh
Oma kulutus	130 Wh	70 Wh	55 Wh	9 Wh
Nettotuotto	300 Wh	300 Wh	107 Wh	101 Wh
Käyntitilassa	3 h 45 min	3 h	15 min	7 min
Valmiustilassa	1 h	45 min	15 min	5 min
Horrostilassa	2 h	3 h	6 h 15 min	6 h 33 min
Käynnistykset	13 kpl	18 kpl	3 kpl	1 kpl



KUVIO 19. Tuulivoimalan käynnistys- ja pysäytysnopeus 3 m/s



KUVIO 20. Tuulivoimalan käynnistysnopeus 4 m/s ja pysäytysnopeus 3 m/s

Laskelmia kannattaa tehdä niillä muuttujilla, joita tuulivoimalassa on mahdollista muuttaa. Tässä voimalassa voidaan säätää käynnistys- ja pysäytysnopeutta ja valmiusaikaa. Toki paljon muutakin, mutta nämä ovat niitä peruskäyttäjän hallittavissa olevia säätöjä.

Taulukon tuloksista huomataan, että tuulennopeuksilla 3 – 4 m/s nettotuotto on sama ja taas 5 – 6 m/s nettotuotto on sama. Tuulivoimalan omakulutus pienenee valmiusaikajaksojen vähentyessä. Merkittävää tässä on, että käynnistyskertoja on huomattavasti enemmän silloin kun tuulivoimalan halutaan käynnistyvän 3 – 4 m/s tuulennopeudella. Kun tuulivoimalan investointiaika on 20 vuotta, niin käynnistyskertoja voisi tulla 1 – 2 miljoonaa. Kestävätkö taajuusmuuttajat sitä?

Myös käyttöajat poikkeavat satakertaisesti, kun nostetaan käynnistymisnopeus 3 -4 m/s nopeudesta 5 – 6 m/s nopeuteen. Todennäköisesti paras ratkaisu on tutkia keskituulennopeutta esimerkiksi 10min ajanjaksolla ja jos näyttää, että tämä on riittävän suurta, niin vasta sitten laitetaan keskus päälle. Lyhyitä tuulenpuuskia varten ei tuulivoimalaa kannata päälle laittaa. Niistä saatavan energiamäärän muutoksella ei ole juurikaan merkitystä kun ollaan heikoissa ja puuskittaisissa tuulissa. Tässä työssä tuulivoimalan tuoton optimoinnin käsittely jää kevyeksi, vaikka se onkin tärkeä ja mielenkiintoinen osa tuulivoimalan käyttöä.

9 OHJELMIEN PÄIVITYS VOIMALAN LAITTEISTOIHIN

Tämän tuulivoimalan ohjauslaitteistoon kuuluu kolme yksikköä, jotka sisältävät ohjelmistoja, jotka ohjaavat tuulivoimalan toimintoja. Ne ovat ohjelmoitava aikarele, joka ohjaa koko muuta laitteistoa ja kaksi taajuusmuuttajaa, joita kutsutaan INU- ja AFE-yksiköiksi.

Tuulivoimalan omistajan tulisi vaatia toimituksen mukana laitteistojen ohjelmat, mahdollisten laiterikkojen varalle. Tuulivoimala on täysin toimintakyvytön, jos jonkun laitteen ohjelma tuhoutuu tai sitä tarvitaan laitteen vaihdon yhteydessä.

Pientuulivoimalan toimittajat eivät yleensä anna toimituksen yhteydessä laitteistoon asennettujen ohjelmien ohjelmätiedostoja. Näin on myös tämän TAMKin tuulivoimalan osalta käynyt. Syyksi he sanovat, että sovellusohjelmaa pystyy monistamaan rajatta. Eli ostamalla yhden tuulivoimalan, voisi rakentaa itse samanlaisen keskuksen halvemmalla, ja asentaa siihen valmiin ohjelman. Onhan se näinkin. Toisaalta täytyy muistaa, että normaalioloissa systeemisoftaa ei tarvitse päivittää, kuten ei sovellusohjelmaakaan. Laiterikon sattuessa voi toimittajalta yrittää saada ohjelmistoa, mutta kun tuulivoimalankäyttöikä on yli 20 vuotta, niin voi olla, että toimittajaa ei enää ole. Taajuusmuuttajarikon sattuessa usein vioittuu sen tehoaste, mutta ohjausosa, jossa ohjelma on, jää ehjäksi. Siirtämällä se uuteen tehoasteeseen, siirtyvät myös ohjelmat. Tämä tosin vaatinee, että tehoaste on jotakuinkin identtinen vanhan kanssa.

9.1. Taajuusmuuttajat

Nykyaikaiset taajuusmuuttajat ovat pitkälle kehitettyjä tietokonepohjaisia laitteistoja, jotka sisältävät teho- ja ohjausyksikön. Tehoyksikön läpi kulkee generaattorin tuottama teho. Ohjausyksikössä oleva ohjelmisto, erilaisten I/O-lisäkorttien avulla, hoitaa taajuusmuuttajan toimintoja.

Ohjauspaneeli toimii linkkinä käyttäjän ja taajuusmuuttajan välillä. Ohjauspaneelia käytetään parametrien asetukseen, käyttötietojen lukemiseen, sekä ohjauskomentojen antamiseen. Se on irroitettava ja sitä voidaan käyttää päälaitteesta erillään kytkemällä se kaa-

pelin avulla taajuusmuuttajaan. Ohjauspaneelin sijaan voidaan käyttää myös PC:tä taajuusmuuttajan ohjaamisessa. PC:n kytkentää varten tarvitaan suora RS232C-kaapeli. (Vacon NX All in one-sovellusopas)

9.1.1 Työkaluohjelmat Vacon-muuttajille

Vacon Oy on kehittänyt erilaisia PC-sovellusohjelmia, joiden avulla voidaan taajuusmuuttajia käyttää monipuolisemmin, kuin ohjauspaneelista.

Vacon NCDriver on tehty parametrien asettamiseen, kopioimiseen, tallentamiseen, tulostamiseen sekä valvontaan ja ohjaukseen. Parametreja voidaan lukea reaaliaikaisesti. Ohjelmassa on myös liipaisuominaisuus. Tämä ominaisuus on erittäin hyvä vikojen etsinnässä. Tietojen tallennus tapahtuu tietokoneen kovalevylle ja niitä voidaan lukea ja tarkastella jälkikäteen. Myös sattuneen vian voi asettaa liipaisun ehdoksi. Parametrien tarkastelu ja muuttaminen koneella on joustavampaa kuin paneelista käsin. Muutoksen jälkeen kaikki parametrit on syötettävä kerralla muuttajaan, jotta muutokset tulisivat voimaan. (Vacon NX All in one-sovellusopas)

Toinen työkaluohjelman on NCLoad, jolla voidaan ladata ohjelmia taajuusmuuttajaan. NCDriver- ja NCLoad-ohjelmistot ovat ilmaisohjelmia. NC1131-3 Engineering-työkalua voidaan käyttää ohjelmistojen räätälöintiin ja omien sovellusten tekoon (maksullinen).

9.1.2 Vacon-taajuusmuuttajan sovellusohjelmat

Vaconin valmistamat NX-sarjan taajuusmuuttajat ovat varustettu tehtaalta tullessaan seitsemällä eri sovelluksella. Tästä paketista käytetään nimeä *All in One*-sovelluspaketti.

Eri sovellukset ovat perussovellus, vakiosovellus, paikallis-/kauko-ohjaussovellus, vakionopeussovellus, erikoiskäyttösovellus, *PID*-sovellus sekä pumppu- ja puhallinautomaatiikkasovellus. (Vacon All in one sovellusopas)

Näissä taajuusmuuttajissa perusohjelmana on Vacon All in one-ohjelmapaketti ja lisäksi INU-yksikössä Cypress Wind Turbines Oy:n tuulivoimalakäyttöön tehty generaattorin

ohjausohjelma CWT 0.2. AFE-yksikössä on Vaconin ARFIQ106 1.2 verkkoon syöttöohjelma.

Normaalikäytössä tuulivoimalan toiminta on automaattista, eikä sille tarvitse tehdä mitään. Huolto- ja säätötilanteessa ohjauksia voidaan kuitenkin tehdä joko muuttajassa sijaitsevasta ohjauspaneelistä tai tietokoneen ja sovellusohjelma NCDrive:n avulla.

Mittausten loppupuolella sain Vaconilta vihjeen, että taajuusmuuttajan systeemiohjelman päivitys voisi ehkä auttaa ID-ajo-ongelmaan. Sain heiltä uusimman systeemiohjelman ja ohjeen, että sen voi ladata vanhan päälle, eikä CWT-ohjelma tuhoudu. No toisin kävi. CWT-ohjelma tuhoutui ja tuulivoimalasta tuli toimintakyvytön.

Tästä alkoi pitkään kestänyt yritys saada CWT-ohjelma palautettua INU-yksikköön. On kokeiltu kopiointia muista yksiköistä ja monia muita temppuja, mutta heikoin tuloksin. Onnistuin kuitenkin saamaan alkuperäisen CWT-ohjelman, mutta sen asennus ei onnistunut yhteensopivuusongelman vuoksi. Latasin INU-yksikköön Vaconilta saadun Marnie-sovelluksen, jotta taajuusmuuttaja ei jäisi aivan ilman sovellusohjelmaa.

Ratkaisuksi tähän ongelmaan löytyi Särkänniemen tuulivoimalasta poistetut taajuusmuuttajat. Ne ovat samanlaisia, kuin tässä koulun tuulivoimalassa olevat ja niissä on samat ohjelmat. Vaihtamalla Särkänniemen INU-yksikkö laboratoriolaitteistoon, saatiin sinne myös CWT-ohjelma. Vaihdon jälkeen Särkänniemen INU-yksikön erilainen parametointi täytyy vielä päivittää samaksi kuin vanhassa INU-yksikössä oli ollut. Tämän jälkeen INU-yksikölle on suoritettava ID-ajo. Talteen otetut INU- ja AFE-yksiköiden parametriarvot ovat tämän työn liitteenä. Kaikkien parametrien kuvaus löytyy Vacon All in one-sovellusoppaasta.

9.1.3 Parametrien talletus ja kopiointi

Taajuusmuuttajien ohjelmat tarvitsevat käyttäjän antamia asetusparametreja osatakseen toimia halutulla tavalla. Parametrien avulla käyttäjän käskyt voidaan siirtää taajuusmuuttajalle. Kun tuulivoimala on saatu viritettyä hyvin toimivaksi eli parametrit kohdalleen, niin ne kannattaa ottaa talteen NCDrive-ohjelmalla. (Kuvio 21)

Parameter Window

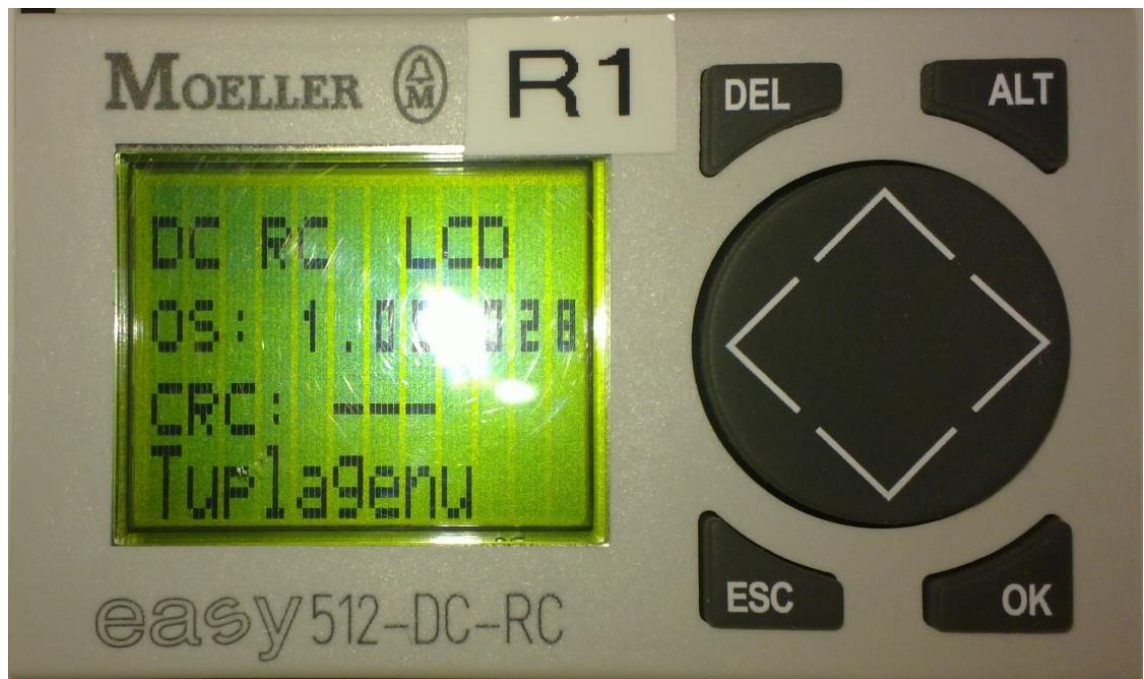
C:\Users\jsalo\Documents\TAMK\Lopputyö 13042013\Lopputyöhön liittyvät tiedostot\FC1 INU-yksikön p

Index	Variable Text	Value	Default	Unit	Min	Max
P 2.6.23.10	Stop 0 SpeedTime	100	100	ms	n/a	n/a
P 2.6.23.11	StartUp Torque	0 / Not Used	0 / Not Used		n/a	n/a
P 2.6.23.12	StartUp Torq FWD	0,0	0,0	s	n/a	n/a
P 2.6.23.13	StartUp Torq REV	0,0	0,0	s	n/a	n/a
P 2.6.23.14	Reserved	0	0		n/a	n/a
P 2.6.23.15	Encoder1FiltTime	0,0	0,0	ms	n/a	n/a
P 2.6.23.16	Reserved	0	0		n/a	n/a
P 2.6.23.17	CurrentControlKp	127,92	320,00	%	n/a	n/a
P 2.6.23.18	CurrentControlTi	1,5	1,5	ms	n/a	n/a
P 2.6.23.19	GenerPower Limit	300,0	300,0	%	n/a	n/a
P 2.6.23.20	MotorPowerLimit	300,0	300,0	%	n/a	n/a
P 2.6.23.21	NegTorqueLimit	300,0	300,0	%	n/a	n/a
P 2.6.23.22	PosTorqueLimit	300,0	300,0	%	n/a	n/a
P 2.6.23.23	Flux Off Delay	0	0	s	n/a	n/a
P 2.6.23.24	Stop State Flux	100,0	100,0	%	n/a	n/a
P 2.6.23.25	SPC f1 Point	0,00	0,00	Hz	n/a	n/a
P 2.6.23.26	SPC f0 Point	0,00	0,00	Hz	n/a	n/a
P 2.6.23.27	SPC Kp f0	100	100	%	n/a	n/a
P 2.6.23.28	SPC Kp FwP	100	100	%	n/a	n/a
P 2.6.23.29	SPC Torq Min	0,0	0,0	%	n/a	n/a
P 2.6.23.30	SPC Kp Torq Min	100	100	%	n/a	n/a
P 2.6.23.31	SPC Kp TC Torq	0	0	ms	n/a	n/a
P 2.6.23.32	FluxReference	100,0	100,0	%	n/a	n/a
P 2.6.23.33	SpeedErrorFiltTC	0	0	ms	n/a	n/a
P 2.6.23.34	Modulation Limit	100	100	%	n/a	n/a
P 2.6.24.1	Motor Type	1 / PMS Motor	1 / PMS Motor		n/a	n/a
P 2.6.24.2	FluxCurrent Kp	500	500		n/a	n/a
P 2.6.24.3	FluxCurrent Ti	5,0	5,0	ms	n/a	n/a
P 2.6.24.4	PMSMShaftPositio	0	0		n/a	n/a
P 2.6.24.5	EnableRstIdentifi	1 / Yes	1 / Yes		n/a	n/a
P 2.6.24.6	TorqStabGain	120	120		n/a	n/a
P 2.6.24.7	TorqStabDamp	980	980		n/a	n/a
P 2.6.24.8	TorqStabGainFWP	50	50		n/a	n/a
P 2.6.25.1	Flux 10 %	10,0	10,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.2	Flux 20 %	20,0	20,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.3	Flux 30 %	30,0	30,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.4	Flux 40 %	40,0	40,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.5	Flux 50 %	50,0	50,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.6	Flux 60 %	60,0	60,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.7	Flux 70 %	70,0	70,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.8	Flux 80 %	80,0	80,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.9	Flux 90 %	90,0	90,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.10	Flux 100 %	100,0	100,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.11	Flux 110 %	110,0	110,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.12	Flux 120 %	120,0	120,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.13	Flux 130 %	130,0	130,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.14	Flux 140 %	140,0	140,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.15	Flux 150 %	150,0	150,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.16	RsVoltageDrop	246	329		n/a	n/a
P 2.6.25.17	IrAddZeroPVoltag	411	503		n/a	n/a
P 2.6.25.18	IrAddGeneScale	0	0		n/a	n/a
P 2.6.25.19	IrAddMotorScale	100	100		n/a	n/a
P 2.6.25.20	MotorBEMVoltage	73,25	90,00	%	n/a	n/a
P 2.6.25.21	LsVoltageDrop	432	1125		n/a	n/a
P 2.6.25.22	IU Offset	-9	-21		n/a	n/a
P 2.6.25.23	IV Offset	-20	-24		n/a	n/a
P 2.6.25.24	Iw Offset	-23	-20		n/a	n/a
P 2.6.25.25	Speed Step	0,0	0,0	%	n/a	n/a
P 2.6.25.26	Torque Step	0,0	0,0	%	n/a	n/a

KUVIO 21. NCDrivellä talteen otetut INU-yksikön parametrit, moottorimalli vihreällä.

9.2. Ohjauslogiikka

Tätä tuulivoimalaa ohjaavan EasyReleen ohjelmasta ei ole varmuuskopiota. Se voidaan ottaa talteen tai palauttaa EasySoft-ohjelmalla. Jokin versio EasyReleen ohjelmakoodista löytyy tämän työn liitteenä olevalta USB-muistilta, josta sen voi ladata ohjausreleeseen tarpeen vaatiessa. Lataaminen vaatii EasySoft-ohjelman.



KUVA 7. EasyReleen käyttöpaneeli

10 POHDINTA

Tämä työ avasi erityisesti taajuusmuuttajien toiminta-ajatusta ja sitä kautta myös niiden soveltumista moneen muuhunkin käyttöön.

Työn tavoitteeksi asetettiin etsiä tuulivoimalan käynnistämisraja, jossa energian tuotto sähköverkkoon alkaa kasvaa suuremmaksi kuin laitteiston omakulutus. Raja löytyi ja sitä saatiin säädöillä pudotettua huomattavan paljon alemmaksi kuin se alussa oli. Laitteiston säädöt on tehty laboratorio-olosuhteissa ja niiden siirto roottorikäyttöön ja todellisiin tuuliolosuhteisiin vaatii paikanpäällä tehtäviä hienosäätöjä ja optimointia, jotka ovat asennuspaikan tuulisuudesta riippuvia. Tuoton optimointia käsittelevä osa jäi kevyeksi, mutta se onkin tehtävä tuulivoimalan ympäristössä vallitsevien todellisten tuuliolosuhteiden mukaan, joita ei tunnettu.

Työssä tuli esille myös tuulivoimalan käyttäjän riippuvuus tuulivoimalan laitteiston toimittajasta. Jos jokin laitteiston osa rikkoutuu tai esimerkiksi sen ohjelmisto vikaantuu, kuten tässä työssä kävi, niin koko voimala on toimintakyvytön. Jos laitteiston toimittajaa ei enää ole, on laitteiston kuntoon saattaminen usein käyttäjän omien taitojen varassa. Laitteiston osia kyllä useimmiten saa, mutta räätälöityjen ohjelmien saanti on melko mahdotonta. Siksi ne kannattaa vaatia toimituksen yhteyteen ja säilyttää itsellä. Tuulivoimalan laskennallinen käyttöikä kun on pitkä.

Pientuulivoimaloista saatava tieto on myös puutteellista tai ehkä osittain markkinointisyistä rajoitettua. Generaattorin teho- ja tuottokäyrät ovat helposti saatavilla, mutta valmiin ja toimivan voimalan verkkoon tuottamaa tehoa ei ilmoiteta, saati voimalan omaa kulutusta.

Työn aikana selvisi myös, että tässä työssä käytettyä generaattoria voidaan tuulivoimalakäytössä ohjata ABB:n taajuusmuuttajalla ilman ongelmia. Jää epäily, että onko näissä koululla olevien Vaconin taajuusmuuttajien ID-ajossa jotain vikaa, kun ne eivät osaa luoda toimivaa moottorimallia, vaan niitä täytyy auttaa vippaskonsteilla.

Ajatuksia tähän työhön liittyvistä jatkotöistä, joita voisivat olla:

- INU-yksikön parametrointi + momenttikäyrän sovitus oikealle myllylle.
- Tuulivoimalan määräaikaishuolto

- Generaattorin kilpiarvojen määrittäminen.
- LCL-suodattimen mittaaminen ja mahdollinen loistehon kompensointi AFE-yksiköllä.
- Koulun sähköverkon vaikutus LCL-suodattimen jälkeen mitattuun THD-arvoon.

Tälle työlle asetetut tavoitteet täyttyivät hyvin, mutta selvisikö tuulen salaisuus tässä työssä?

LÄHTEET

Control strategy of a variable speed wind turbine with multipole permanent magnet synchronous generator. Luettu 3.3.2013

http://www.risoe.dk/rispubl/art/2007_152_paper.pdf

Cypress Wind Turbines Oy. Voimalan taajuusmuuttajaohje CWT-03_017_r3.pdf 2011. Luettu 4.2.2013.

Easy512 ohjausrele manual. Luettu 4.4.2013

http://www.moeller.net/de/products_solutions/motor_applications/control/easy/download.jsp

ECR-ionilähteen magneettikentän lämpötilariippuvuus, pro.gradu P. Frondelius, Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos 2005. Luettu 12.3.2013.

https://www.jyu.fi/fysiikka/en/research/accelerator/ionources/theses/pentti_frondelius_gradu.pdf

Energiateollisuuden kotisivut. Luettu 10.2.2013

<http://energia.fi/energiateollisuus>

Gipe Paul 2004. Wind Power. ISBN I-902916-54-9. Luettu 1.3.2013.

Hau Erich 2006. Wind Turbines. ISBN 10-3-540-24240-6. Luettu 3.3.2013.

Hietalahti, L. 2011 Säädetyt sähkömoottorikäytöt. Luettu 2.11.2012

Hietalahti, L. 2011 Muuntajat ja sähkökoneet. Luettu 2.11.2012

Ilmatieteenlaitoksen kotisivut. Luettu 1.2.2013

<http://ilmatieteenlaitos.fi/etusivu>

Jokamiehen opas pientuulivoimalan käyttöön 2012. Luettu 2.3.2013.

<http://www.tampere.fi/teksti/index/tampereinfo/projektit/kaupunkikonserninhankeet/eco2-hanke/raportitjajulkaisut/tampereellatuulee-jokamiehenopaspientuulivoimankayttoon.html>

Korpinen L. Yliaalto-opus. Luettu 3.4.2013

<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>

Manwell, J.F. & McGowan, J.G. & Rogers, A.L. 2002. Wind energy explained: theory. University of Massachusetts, USA. s 2-19, s.328-335.

Pientuulivoimaa Vuorekseen, Erkki Haapanen, 2011. Luettu 2.1.2013

<http://www.tuulitaito.fi>

SFS-EN 50438, Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille. Luettu 3.1.2013.

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=showproduct&productnumber=177250>

Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon. Pöyry Energia Oy / Motiva Oy.
Luettu 14.3.2013.

http://www.motiva.fi/files/232/Sahkon_pientuotannon_liittaminen_verkkoon.pdf

Sonkyo Report, WindSpot 3,5 kW. (SEPEN 19.2) tuulivoimalan testiraportti.
Luettu 2.4.2013.

<http://www.sepen-montplaisir.fr/index.php?...sonkyo...Rapport SEPEN 19.2 Sonkyo Energy WindSpot 3,5 kW.>

Sonkyo Report, WindSpot 3,5 kW. (Intertek) Wind Turbine Generator System Summary Test Report. Luettu 2.3.2013.

http://www.intertek.com/uploadedFiles/Intertek/Divisions/Commercial_and_Electrical/Media/PDF/Energy/Wind/AWEAcertificate100386839CRT-001b.pdf

Sähköpostikeskustelut, Pasi Vähämartti Nocart Oy.

Sähköpostikeskustelut, Vacon HelpDesk

Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytöissä. Luettu 12.2.2013.

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>

TTT-käsikirja 2000-07. Luvut 4, 6 ja 9. ABB. Luettu 19.3.2013.

Tuuliatlas. Luettu 1.2.2013

<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>

Tuuliatlaksen yhteenvetoraportti. Luettu 14.4.2013

http://www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas_yhteenvetoraportti.pdf

Tuulivoimaporttaali. Luettu 1.2.2013

http://wind.vei.fi/public/index.php?cmd=smarty&id=85_lfi

Tuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Luettu 1.3.2013.

http://www.raumanenergia.fi/sahkoverkko/fi_FI/tuotanto/

Vacon Common DC Bus Systems, BC00249K.pdf, Luettu 9.3.2013.

<http://old.vacon.com/Default.aspx?id=450403&FileView=462803>

Vacon User's Manual ARFIF02 Active Front End application manual, UD01129F.pdf
Luettu 3.3.2013.

<http://old.vacon.com/Default.aspx?id=450403&FileView=462803>

Vacon Marine application manual APFIF09, UD01059I.pdf. Luettu 23.3.2013

<http://old.vacon.com/Default.aspx?id=450403&FileView=462803>

Vacon NX All in one-sovellusopas, UD00944E.pdf. Luettu 1.3.2013

<http://old.vacon.com/Default.aspx?id=450403&FileView=462803>

Vacon NX käyttöohje, UD01029A.pdf. Luettu 1.3.2013

<http://old.vacon.com/Default.aspx?id=450403&FileView=462803>

Vaihtosuuntauksen ja suodatuksen toteuttaminen tasasähköjako-
verkoissa 2007. LTY sähkötekniikan osasto, P. Nuutinen. Luettu 15.3.2013.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20072143>

Vihriälä H., Control of Variable Speed Wind Turbines, Väitöskirja. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Luettu 13.3.2013.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-200903101037>

Verkkosuodattimella varustetun verkkosuuntaajan virtasäätö. J. Kukkola, Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu. Luettu 14.3.2013
<http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100691.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Generaattorin tehokäyrämittaus resistiivisellä kuormalla

1(1)

Gen. tehokäyrän mittaus 13.3.2013							
Fluke 435 generaattorista R=50ohm							
gen.rpm	P/W gen	S/VA gen	Q/Var gen	pf	I/A rms	U12/V rms	R/kolmio 3*50
0	0	0	0		0,0	0,0	50
10	0	0	0		0,0	0,0	50
20	20	20	10	-0,87	0,5	25,0	50
30	50	50	20	0,91	0,8	35,0	50
40	90	90	30	0,94	1,2	45,0	50
44	115	115	35	0,94	1,3	41,0	50
48	140	140	40	0,95	1,4	58,0	50
50	140	140	40	0,95	1,4	58,0	50
60	200	210	50	0,96	1,7	70,0	50
70	270	280	70	0,97	2,0	80,0	50
80	360	370	80	0,97	2,3	90,0	50
90	450	460	90	0,97	2,6	103,0	50
100	570	580	110	0,98	2,9	115,0	50
110	670	680	120	0,98	3,1	125,0	50
120	800	810	150	0,98	3,4	135,0	50
130	940	950	170	0,98	3,7	145,0	50
140	1070	1080	185	0,98	3,9	156,0	50
150	1220	1240	210	0,98	4,3	170,0	50
160	1400	1420	235	0,98	4,6	180,0	50
170	1550	1560	250	0,99	4,7	190,0	50
180	1730	1750	280	0,99	5,1	200,0	50
190	1900	1920	300	0,99	5,4	210,0	50
200	2100	2140	330	0,99	5,6	220,0	50
210	2300	2330	350	0,99	5,8	230,0	50
220	2500	2520	380	0,99	6,1	240,0	50
230	2740	2770	420	0,99	6,5	250,0	50
240	2940	2970	440	0,99	6,6	260,0	50
250	3120	3150	470	0,99	6,8	267,4	50

Liite 3. Kylmän ja kuuman generaattorin tehot

1(1)

Kylmän ja kuuman generaattorin mittaus W-mittareilla 7.3.2013					
gen.rpm	P v1	P v2	P v3	P/W verkkoon	
0	0	0	-4	-4	-4
10	0	0	-4	-4	-4
20	0	0	-4	-4	-4
30	0	0	-4	-4	-4
40	0	0	-4	-4	-4
44	0	0	-4	-4	-4
48	-110	-110	-110	-330	-330
50	-120	-120	-120	-360	-360
60	-120	-120	-120	-360	-360
70	-110	-120	-120	-350	-350
80	-100	-105	-110	-315	-315
90	-85	-90	-90	-265	-265
100	-75	-75	-75	-225	-225
110	-50	-45	-70	-165	-165
120	-30	-20	-40	-90	-90
130	50	60	40	150	150
140	75	95	80	250	250
150	115	130	100	345	345
160	150	165	150	465	465
170	185	205	185	575	575
180	220	240	230	690	690
190	255	280	260	795	795
200	300	320	300	920	920
210	335	360	345	1040	1040
220	380	390	385	1155	1155
230	420	435	420	1275	1275
240	460	475	465	1400	1400
245	475	500	480	1455	1455
249	475	490	485	1450	1450
251	440	460	450	1350	1350
0	-5	-7	-10	-22	-22
40	0	0	-4	-4	-4
60	-150	-155	-155	-460	-460
70	-150	-155	-160	-465	-465
150	30	40	10	80	80
200	200	220	200	620	620
248	380	390	380	1150	1150

Liite 4. Tuulivoimalan tehot virityksen jälkeen

1(1)

FC1 parametreja muutettu															Fluke43 VerkostaVerkkoon 16.3.2013															Omakulutus		
P2.1.5 Virtaraja 9 -> 7A															Fluke435 Generaattorista 16.3.2013																	
P2.1.6 Nimellisjännite palautettu takaisin 370 -> 320V, ID-ajoa ei ole ajettu muutosten välillä																																
M.M./Nm	M.M./Nm	gen.rpm	P/W gen	S/VA gen	Q/Var gen	pf	U/V gen	I/A gen	gen.f/hz	gen.rpm	P/W	S/VA	Q/Var	pf	fii	P/W verks/VA verK	Q/Var ver	gen.rpm	P/W kulut	PMG Powe												
0	0	0	0						0	0	0	-1	45,5	45,5	-0,01	-0,63	136,5	136,5	0	0	-3											
0	10	20	10				10	0,0	1,7	10	-1	45,6	45,6	-0,02	-0,63	136,8	136,8	10	10	-3												
0	20	30	20				25	0,0	3,3	20	-1	45,5	45,5	-0,01	-0,56	136,5	136,5	20	20	-3												
0	30	40	30						5,0	30	-1	45,5	45,5	-0,02	-0,57	136,5	136,5	30	30	-3												
0	40	50	40				50	0,1	6,7	40	-1	45,5	45,5	-0,02	-0,6	136,5	136,5	40	40	-3												
4	24	50	60				72	0,9	8,3	50	-40	182	177	-0,23	-0,26	546	531	50	50	-180												
4	24	60	100				81	1,0	10,0	60	-30	183	180	-0,22	-0,23	549	540	60	60	-190												
6	36	70	190				98	1,3	11,7	70	-6	177	175	-0,03	-0,01	531	525	70	70	-208												
8	48	80	260				105	1,6	13,3	80	20	88	86	0,05	0,9	60	264	258	80	-200												
9	54	90	330				120	1,7	15,0	90	39	96	87	0,4	0,93	117	288	261	90	-213												
10	60	100	450				130	2,0	16,7	100	70	117	93	0,6	0,97	210	351	279	100	-240												
10	60	110	550				145	2,3	18,3	110	97	139	99	0,7	0,99	291	417	297	110	-259												
11	66	120	640				150	2,5	20,0	120	124	158	99	0,78	0,99	372	474	297	120	-268												
11	66	130	760				160	2,8	21,7	130	166	188	99	0,85	1	498	564	297	130	-262												
12	72	140	880				172	3,0	23,3	140	210	230	101	0,9	1	630	690	303	140	-250												
14	84	150	1050				182	3,3	25,0	150	295	314	104	0,93	1	885	942	312	150	-165												
15	90	160	1200				190	3,6	26,7	160	340	360	104	0,95	1	1020	1080	312	160	-180												
15	90	170	1400				200	3,9	28,3	170	400	417	104	0,96	1	1200	1251	312	170	-200												
17	102	180	1500				214	4,1	30,0	180	440	456	107	0,97	1	1320	1368	321	180	-180												
16	96	190	1650				220	4,6	31,7	190	480	490	105	0,98	1	1440	1470	315	190	-210												
17	102	200	1890				230	4,8	33,3	200	550	560	105	0,98	1	1650	1680	315	200	-240												
18	108	210	2080				241	5,1	35,0	210	630	640	105	0,98	1	1890	1920	315	210	-190												
20	120	220	2250				250	5,4	36,7	220	700	710	108	0,99	1	2100	2130	324	220	-150												
22	132	230	2520				261	5,7	38,3	230	760	770	108	0,99	1	2350	2310	324	230	-170												
22	132	240	2800				272	6,1	40,0	240	880	890	109	0,99	1	2640	2670	327	240	-160												
24	144	250	3100				281	6,6	41,7	250	950	960	108	0,99	1	2850	2880	324	250	-250												
26	156	260	3350						106,0	260	1030	1040	108	1	1	3100	3120	324	260	-250												
28	168	270							45,0	270								270														
																			280		4200											
																			290													
																			300		5000											

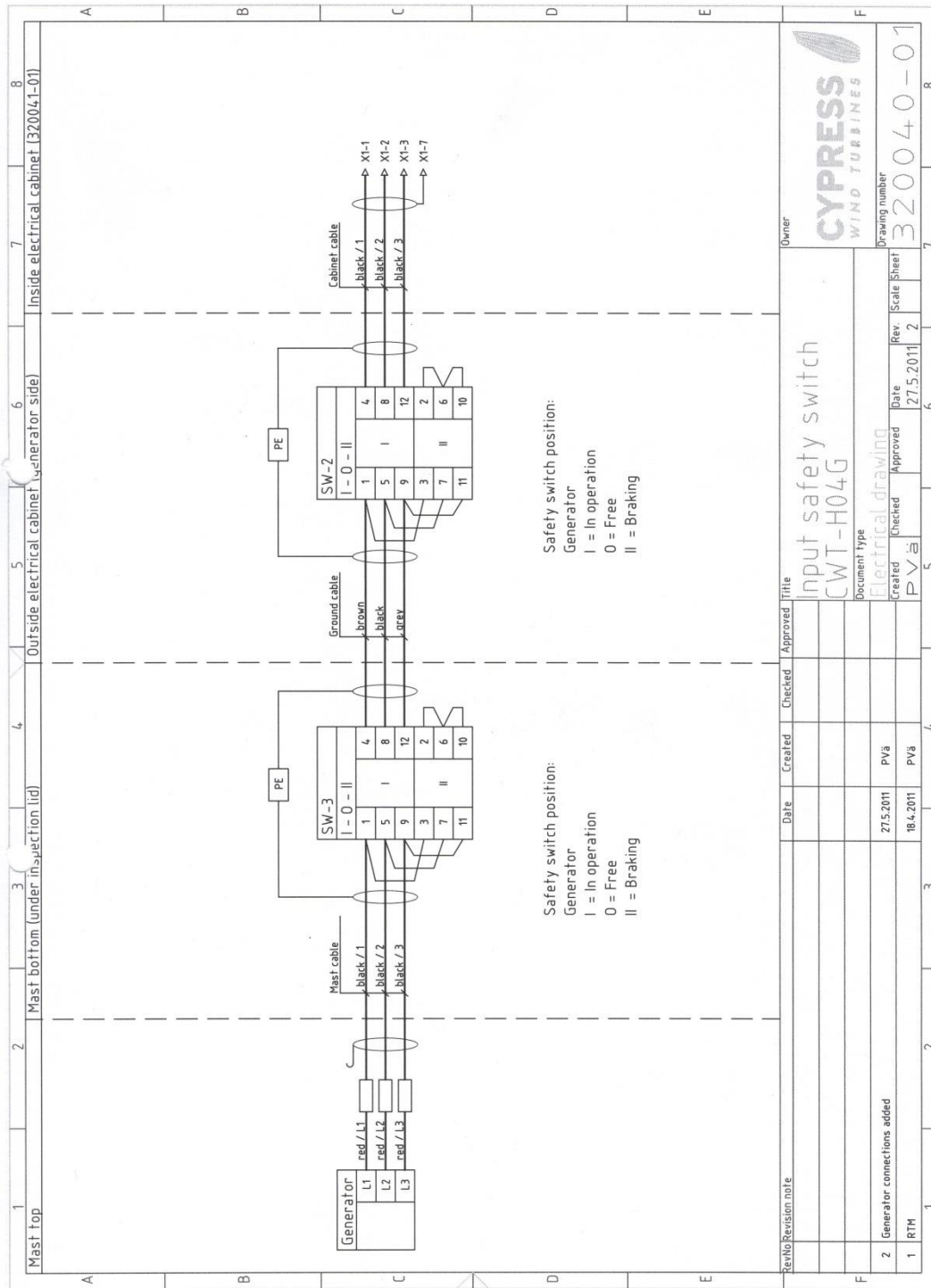
Liite 5. Roottorin c_p -arvo

1(1)

InterTek testiraportti WindSpot 3.5 (GL-PMG-3500/PowerOne Aurora) january 2013									
P/m2	P tuuli 13,	v tuuli	gen.rpm?	WindSpot 3.5/Aurora	tip?	TIP	cp	P.Curve	
0	0	0,00	0	0	#JAKO/0!				0
0,0	0	0,24	3	1	9,31	3,00	0,00	0,00	0
0,0	1	0,51	7	1	0,97	3,00	0,00	0,00	0
0,3	4	1,02	14	1	0,13	3,00	0,00	0,00	0
1,0	13	1,52	21	1	0,04	3,00	0,00	0,00	0
2,2	31	2,01	28	1	0,02	3,00	0,20	0,02	
4,3	59	2,50	35	4	0,03	3,00	0,30	0,03	
7,4	103	3,00	42	14	0,06	3,00	0,50	0,06	
11,8	163	3,50	49	41	0,12	3,00	0,95	0,12	200
17,5	241	3,99	56	95	0,19	3,00	1,40	0,19	
25	346	4,50	63	184	0,25	3,00	1,80	0,25	300
34	472	4,99	70	283	0,28	3,00	2,00	0,28	
46	632	5,50	77	412	0,31	3,00	2,15	0,31	450
59	816	5,99	84	553	0,32	3,00	2,20	0,32	
75	1038	6,49	91	709	0,32	3,00	2,20	0,32	560
94	1303	7,00	98	874	0,32	3,00	2,20	0,32	
117	1609	7,51	105	1044	0,30	3,00	2,10	0,30	650
141	1952	8,01	112	1273	0,31	3,00	2,15	0,31	
170	2341	8,51	119	1513	0,30	3,00	2,10	0,30	
201	2779	9,01	126	1815	0,31	3,00	2,15	0,31	1000
237	3267	9,51	133	2130	0,31	3,00	2,15	0,31	
276	3810	10,01	140	2486	0,31	3,00	2,15	0,31	1200
319	4398	10,50	147	2840	0,30	3,00	2,10	0,30	
366	5056	11,00	154	3202	0,30	3,00	2,10	0,30	1400
418	5762	11,49	161	3499	0,29	3,00	2,05	0,29	
476	6564	12,00	168	3688	0,26	3,00	1,90	0,26	
536	7402	12,49	175	3782	0,24	3,00	1,75	0,24	1800
602	8307	12,98	181	3869	0,22	3,00	1,60	0,22	
673	9284	13,47	188	3925	0,20	3,00	1,50	0,20	2200
754	10401	13,99	196	3959	0,18	3,00	1,35	0,18	
837	11557	14,49	203	4004	0,16	3,00	1,30	0,16	2350
927	12795	14,99	210	4047	0,15	3,00	1,20	0,15	
1023	14119	15,49	217	4082	0,14	3,00	1,15	0,14	
1128	15560	16,00	224	4109	0,12	3,00	0,95	0,12	2850
1237	17064	16,50	231	4134	0,11	3,00	0,85	0,11	
1357	18729	17,02	238	4165	0,10	3,00	0,80	0,10	3300
1475	20359	17,50	245	4196	0,10	3,00	0,80	0,10	
1600	22081	17,98	251	4201	0,09	3,00	0,75	0,09	3500
1740	24013	18,49	259	4216	0,08	3,00	0,70	0,08	
1888	26056	19,00	266	4219	0,08	3,00	0,70	0,08	3750
2044	28211	19,51	273	4223	0,07	3,00	0,55	0,07	
2199	30344	19,99	279	4222	0,07	3,00	0,55	0,07	4200
2389	32967	20,55	287	4227	0,06	3,00	0,50	0,06	
2557	35281	21,02	294	4227	0,06	3,00	0,50	0,06	
2724	37596	21,47	300	4230	0,05	3,00	0,50	0,05	5000

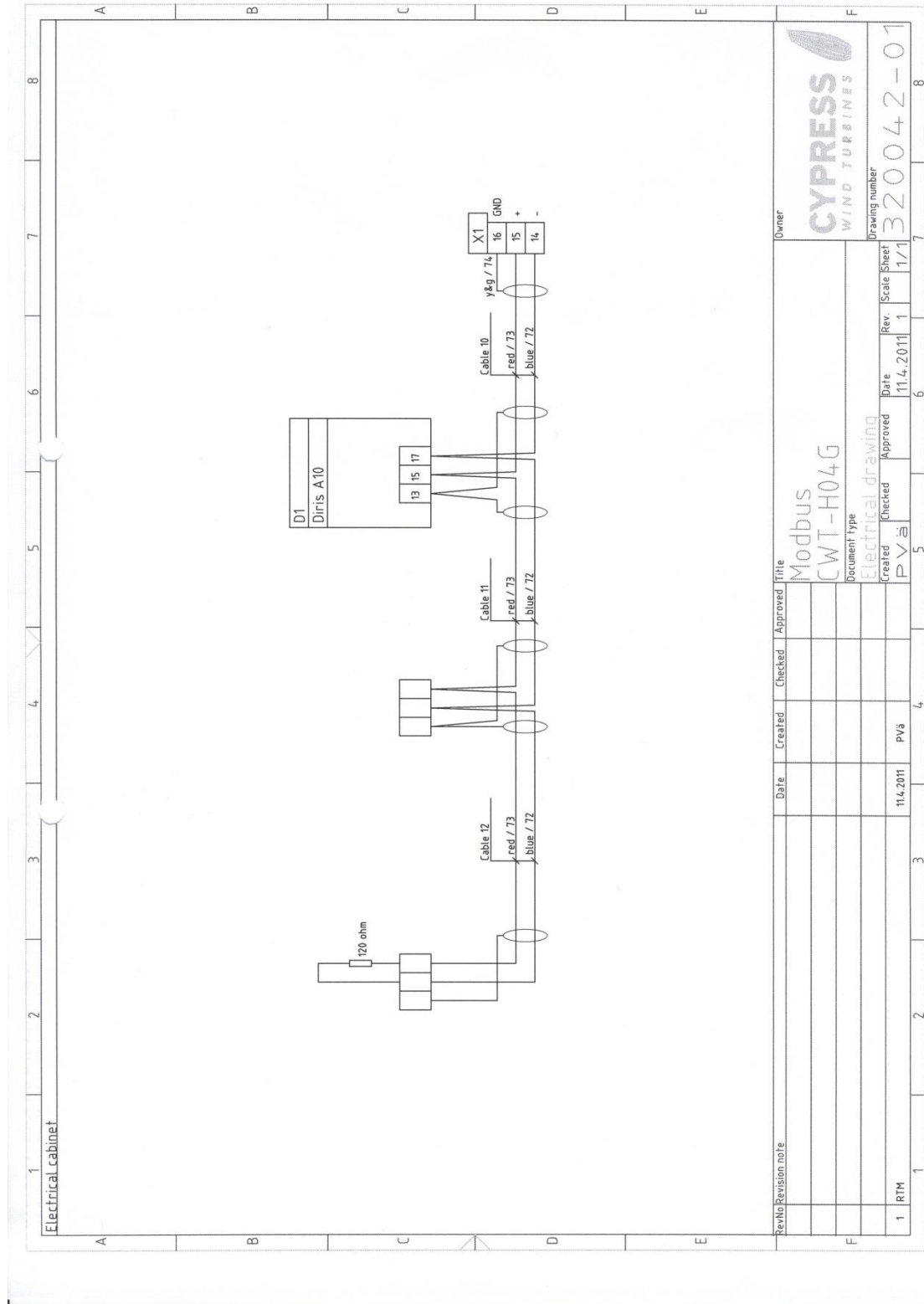
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

1(12)

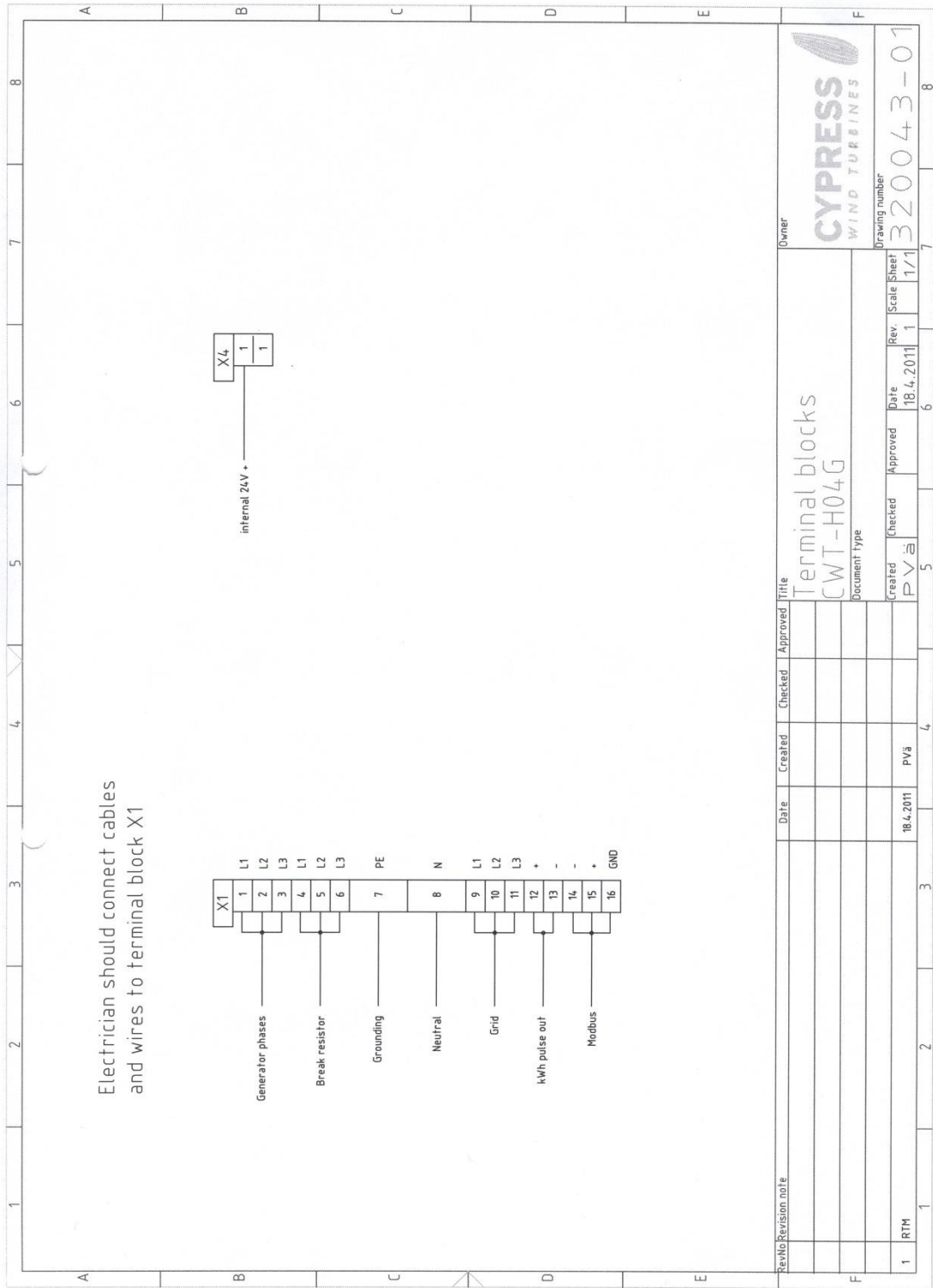


Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

2(12)



Rev/No	Revision note	Date	Created	Checked	Approved	Title	Owner
1	RTM	11.4.2011	PVa			Modbus CWT-H04G	CYPRESS WIND TURBINES
						Document type Electrical drawing	Drawing number 320042-01
						Created	Rev. / Scale Sheet
						Checked	Date
						Approved	11.4.2011
							1 / 1

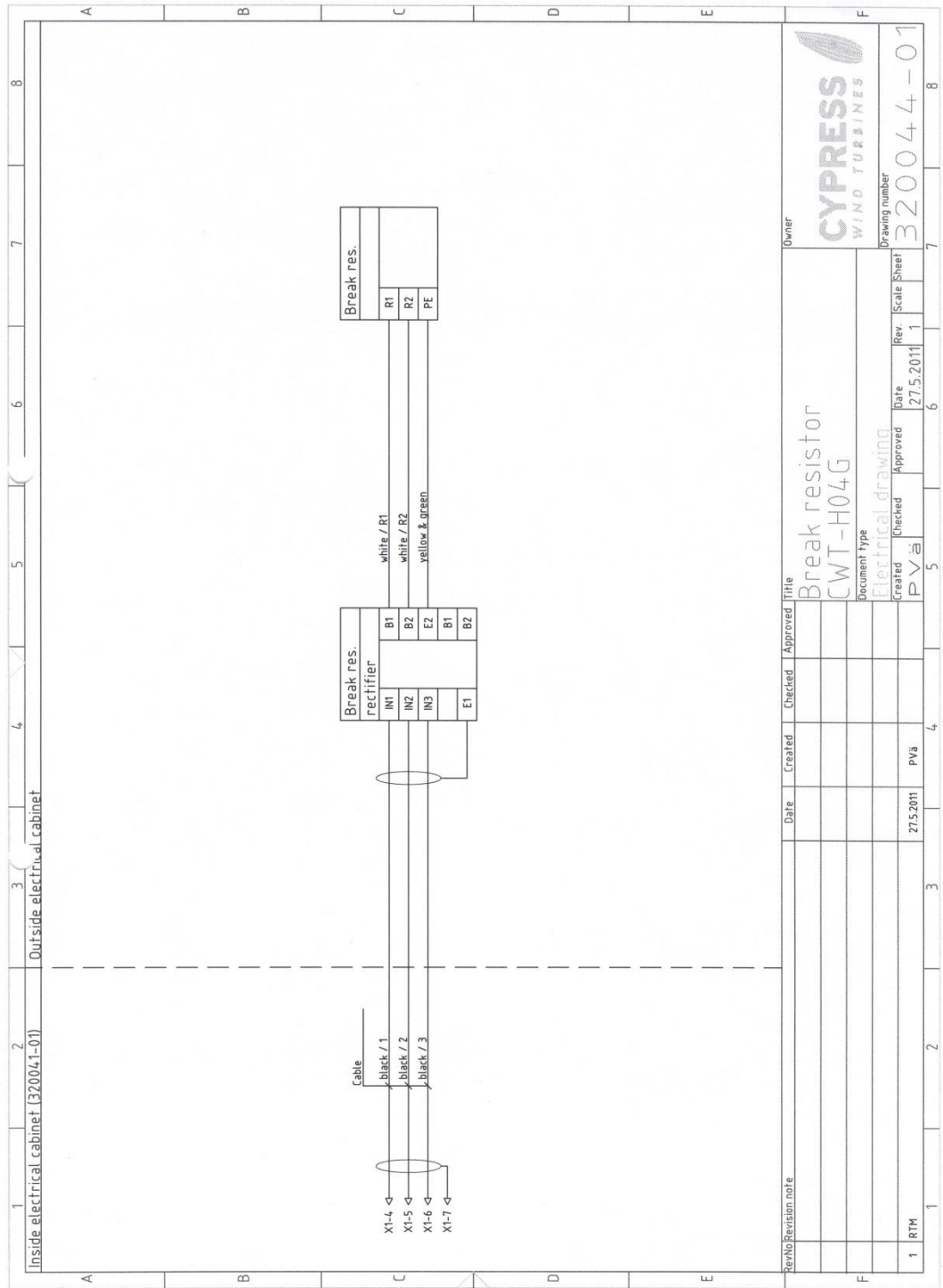


Rev/No	Revision note	Date	Created	Checked	Approved	Title	Owner
1	RTM	18.4.2011	PVä			Terminal blocks CWT-H04G Document type	CYPRESS WIND TURBINES

Created	Checked	Approved	Date	Rev.	Scale	Sheet	Drawing number
PVä			18.4.2011	1	1/1	1/1	320043-01

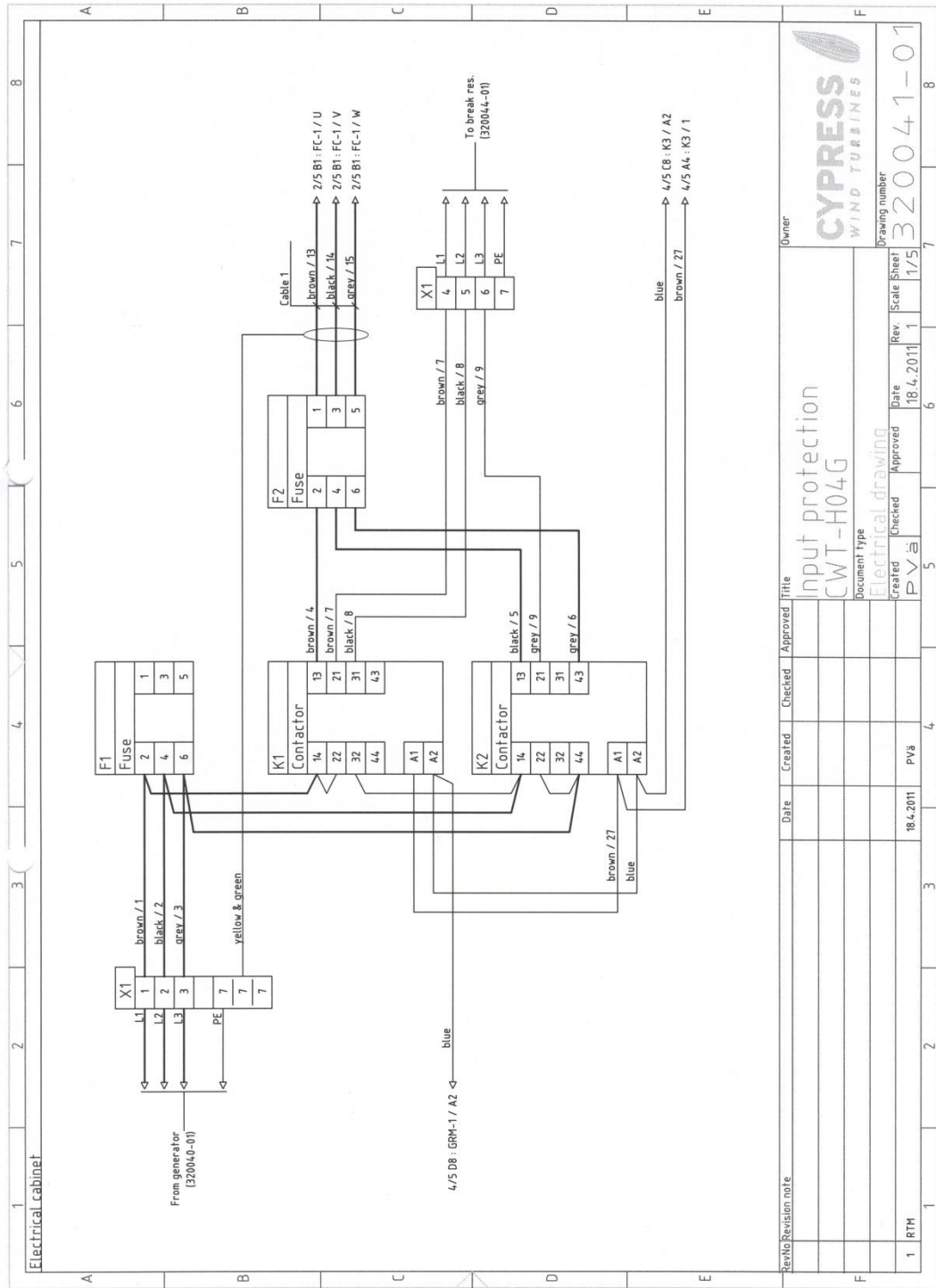
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

4(12)



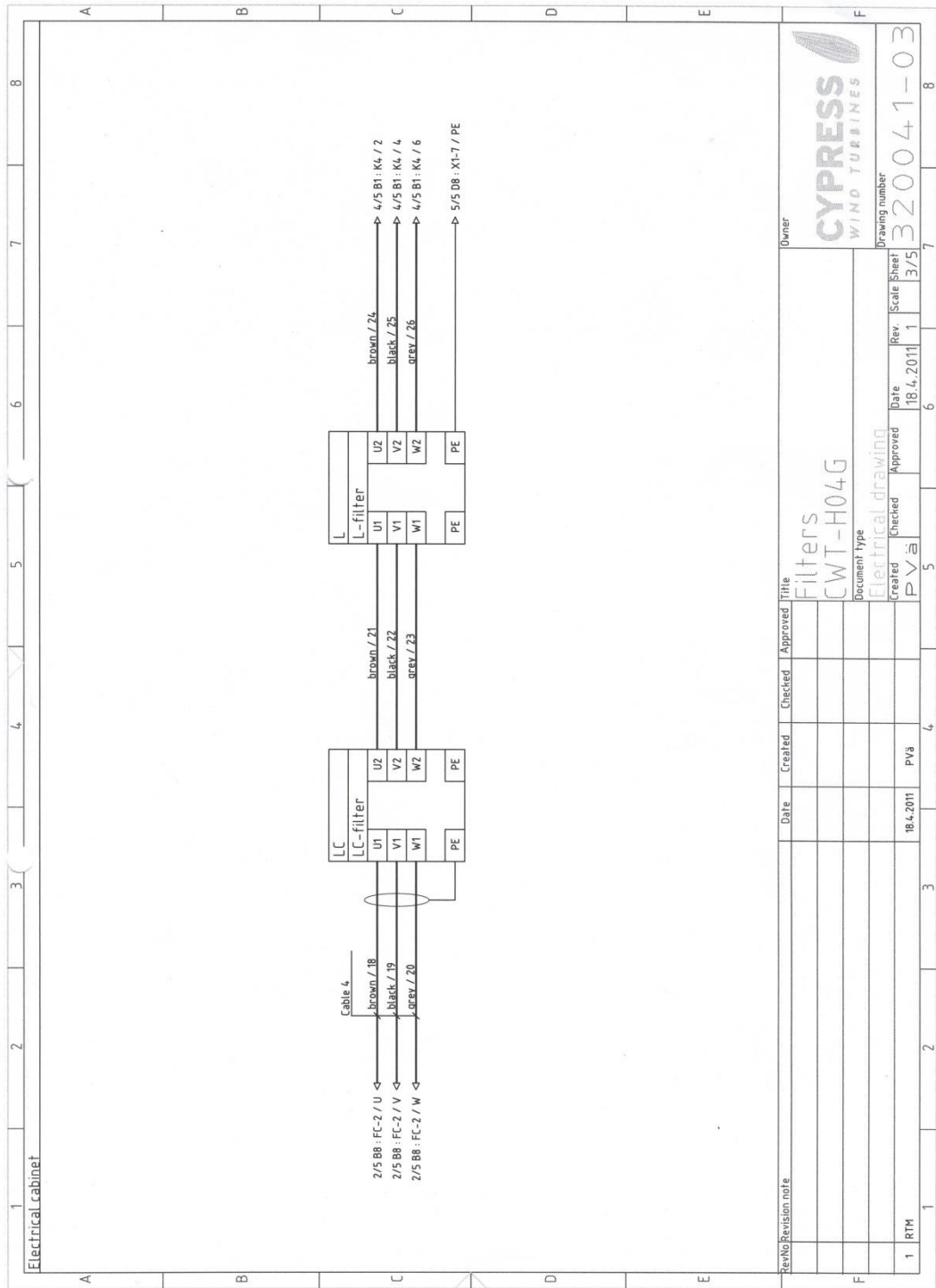
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

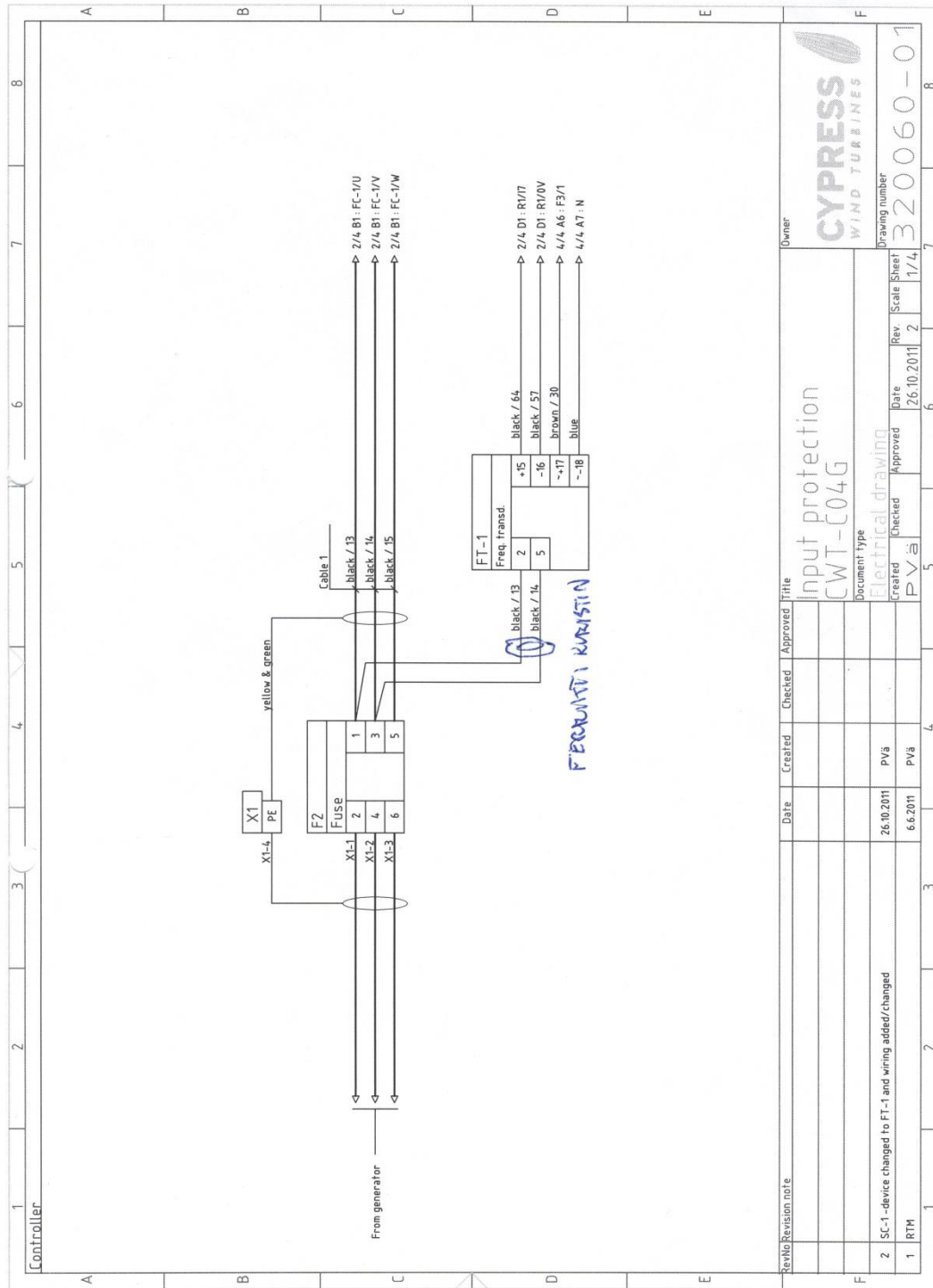
5(12)



Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

6(12)



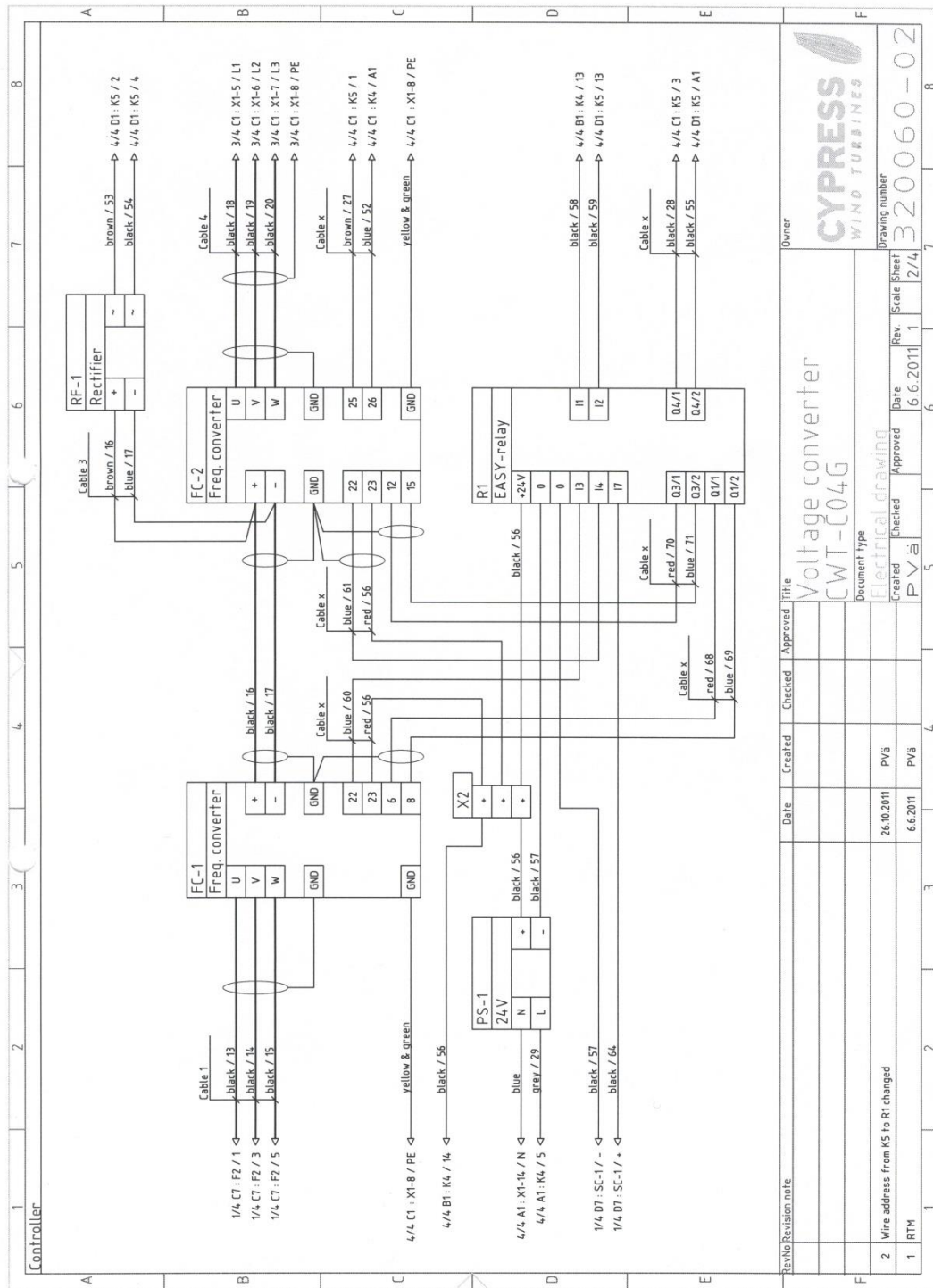


RevNo	Revision note	Date	Created	Checked	Approved	Title	Owner
2	SC-1 -device changed to FT-1 and wiring added/changed	26.10.2011	PVä			Input protection CWT-C04G	CYPRESS WIND TURBINES
1	RTM	6.6.2011	PVä			Electrical drawing	

Created	Checked	Approved	Date	Rev	Scale	Sheet	Drawing number
PVä			26.10.2011	2	1/4	2	320060-01

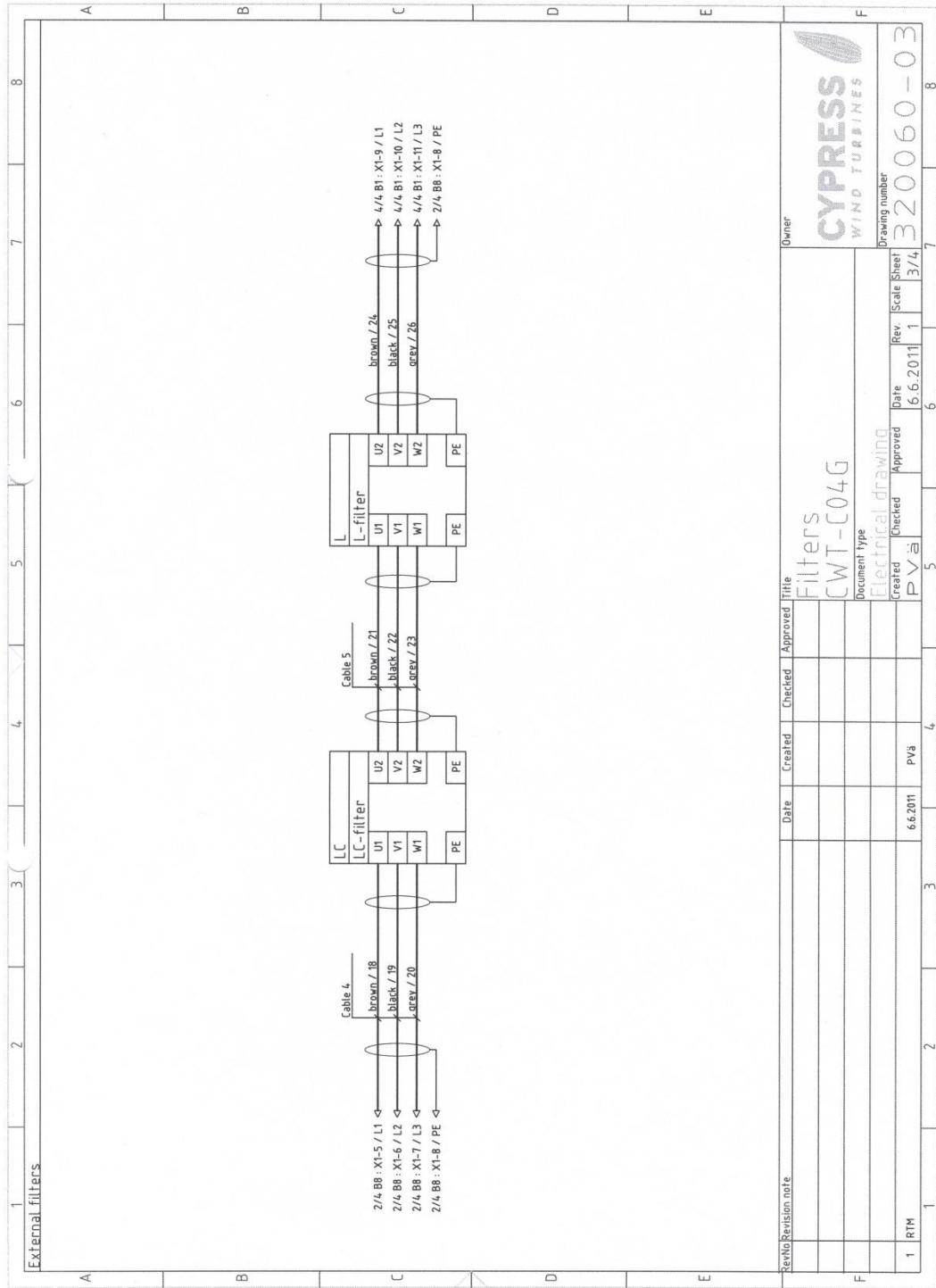
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

8(12)



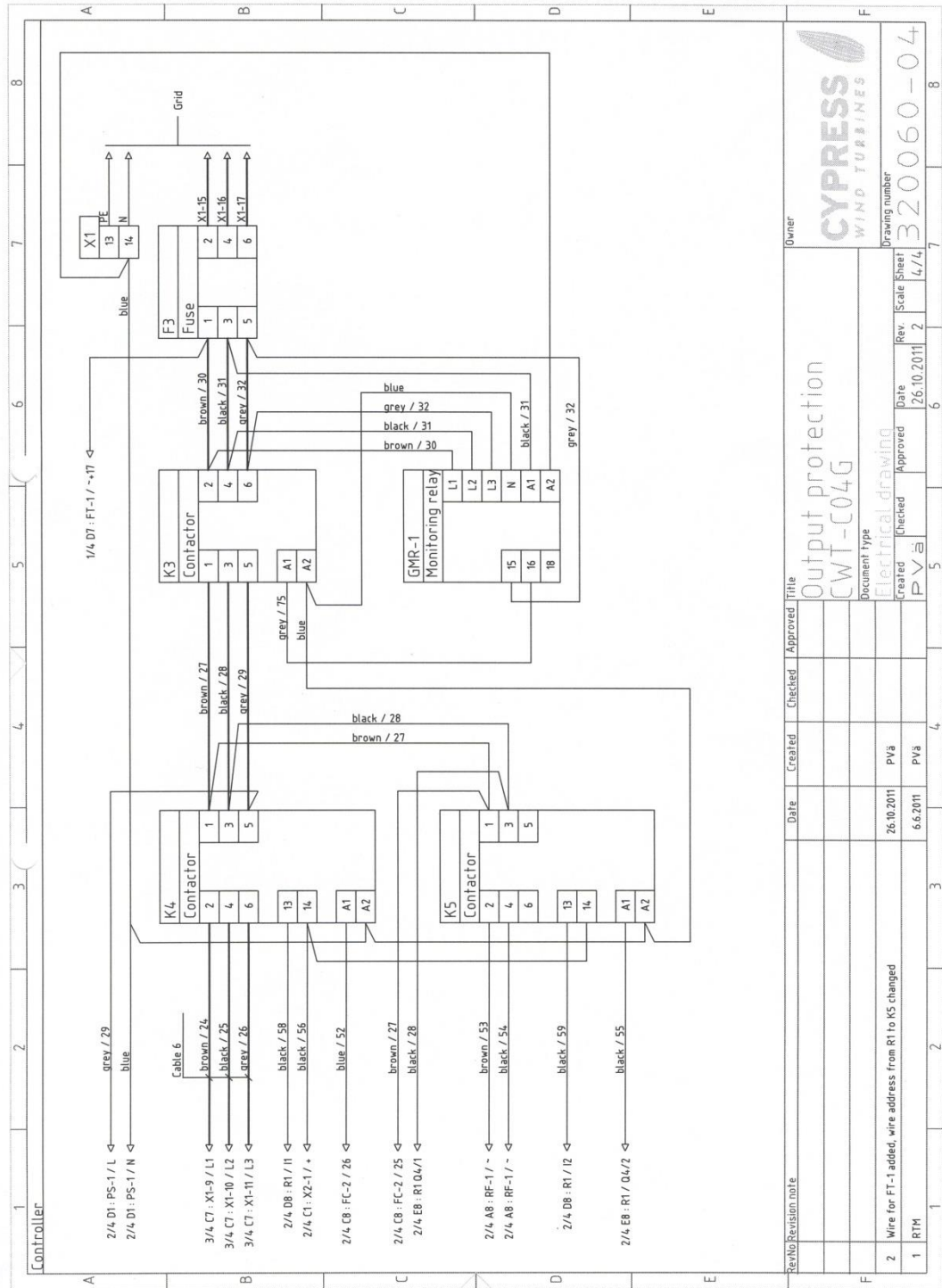
Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

9(12)



RevNo	Revision note	Date	Created	Checked	Approved	Title	Owner
1	RTM	6.6.2011	PVA			Filters CWT-C04G Document type Electrical drawing	CYPRESS WIND TURBINES
		Created	Checked	Approved	Date	Rev.	Scale/Sheet
					6.6.2011	1	3/4
							Drawing number
							320060-03

Liite 6. Tuulivoimalan sähköpiirustukset (Cypress Wind Turbines Oy)

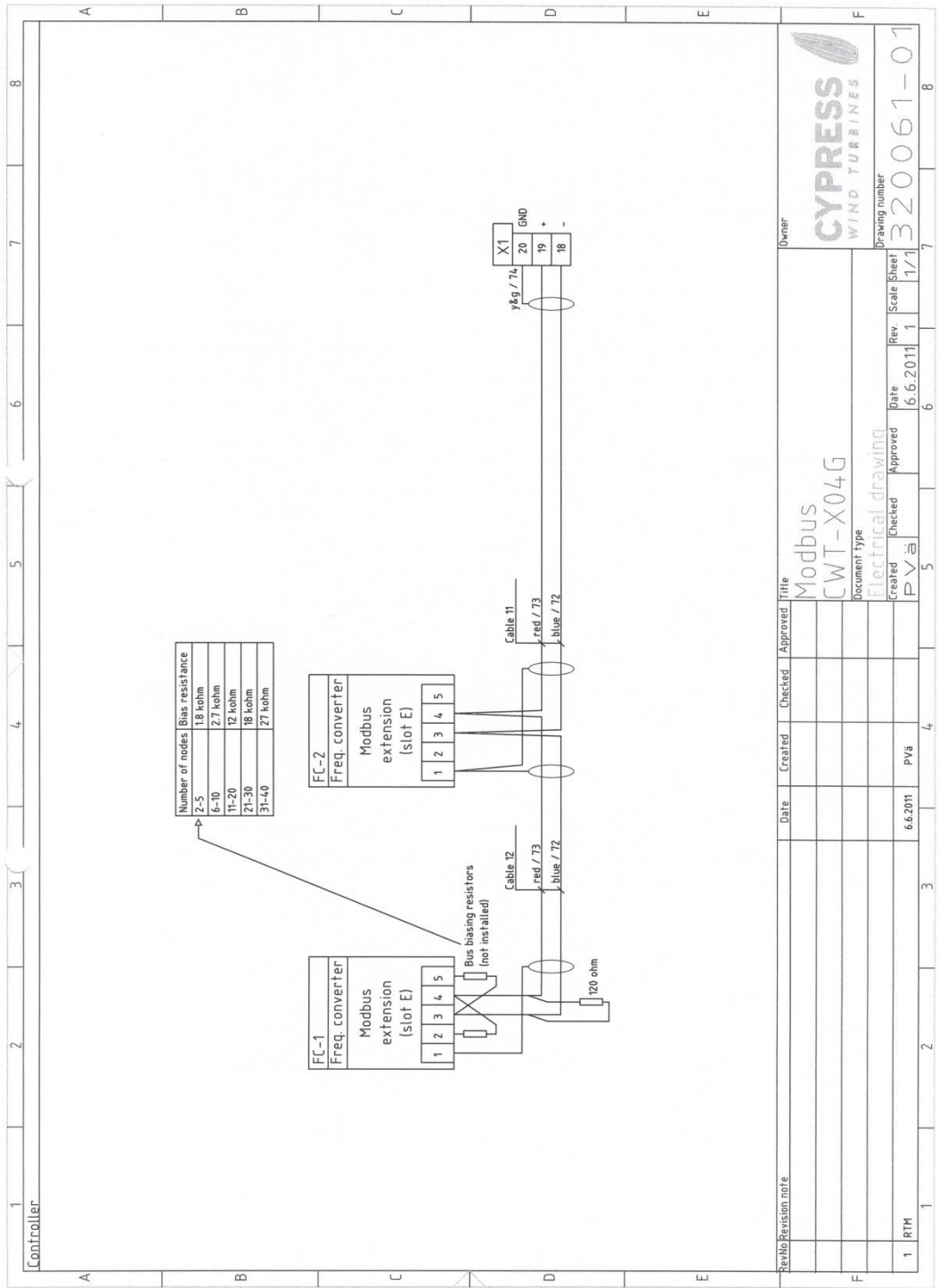


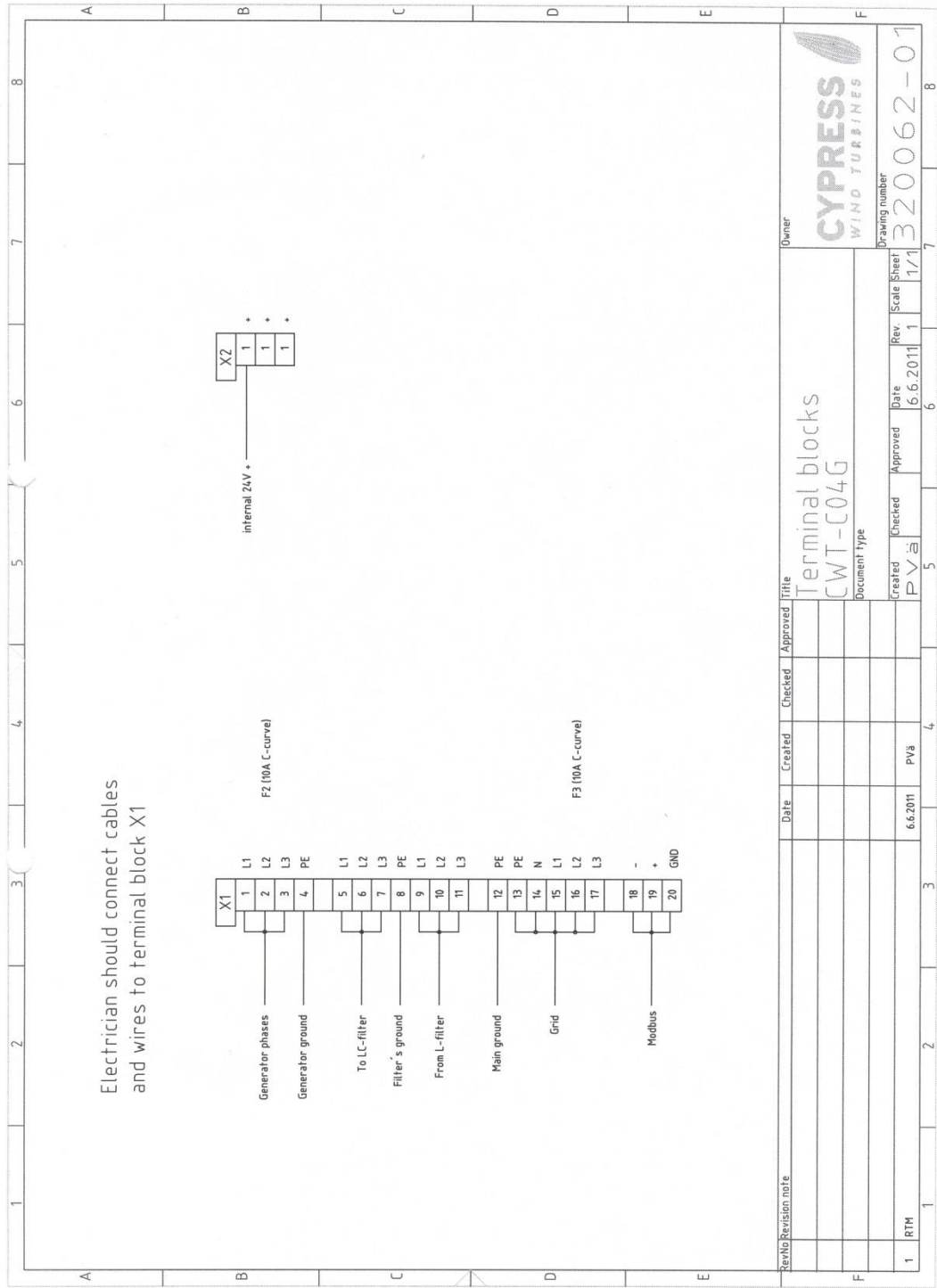
Rev/No	Revision note	Date	Created	Checked	Approved	Title	Owner
2	Wire for FT-1 added, wire address from R1 to K5 changed	26.10.2011	PV3			Output protection CWT-C04G	
1	RTM	6.6.2011	PV3			Electrical drawing	

Created	Checked	Approved	Date	Rev.	Scale	Sheet
PV3			26.10.2011	2	4/4	4/4

Drawing number: 320060-04

Owner: CYPRESS WIND TURBINES





Liite 7. INU-yksikön parametrit.

1(7)

Tulostettu: 22.4.2013 17:12:21
 Sarjanumero: n/a
 Laite: NXP
 Tallennettu: 19.4.2013 15:06:08
 Rajapinta: 4.56
 Sovellus: CWT (FC1 INU-yksikön parametrit labrasta.par, CWT 0.2)
 Parametri tiedosto: C:\Users\jsalo\Documents\TAMK\Lopputyö 13042013\Lopputyöhön liit

Indeksi	Teksti	Arvo	Yksikkö	Min	Max	ID
P 2.1.1	Min Frequency	0,00	Hz	n/a	n/a	101
P 2.1.2	Max Frequency	52,00	Hz	n/a	n/a	102
P 2.1.3	Accel Time 1	3,0	s	n/a	n/a	103
P 2.1.4	Decel Time 1	3,0	s	n/a	n/a	104
P 2.1.5	Current Limit	7,0	A	n/a	n/a	107
P 2.1.6	Motor Nom Voltg	320	V	n/a	n/a	110
P 2.1.7	Motor Nom Freq	42,00	Hz	n/a	n/a	111
P 2.1.8	Motor Nom Speed	252	rpm	n/a	n/a	112
P 2.1.9	Motor Nom Currnt	7,0	A	n/a	n/a	113
P 2.1.10	Motor Cos Phi	1,00		n/a	n/a	120
P 2.1.11	I/O Reference	0 / AI1		n/a	n/a	117
P 2.1.12	Keypad Ref Sel	8 / Keypad Ref.		n/a	n/a	121
P 2.1.13	Fieldbus Ctr Ref	9 / Fieldbus		n/a	n/a	122
P 2.1.14	Jog Speed Ref	5,00	Hz	n/a	n/a	124
P 2.1.15	Preset Speed 1	10,00	Hz	n/a	n/a	105
P 2.1.16	Preset Speed 2	15,00	Hz	n/a	n/a	106
P 2.1.17	Preset Speed 3	20,00	Hz	n/a	n/a	126
P 2.1.18	Preset Speed 4	9 / ?		n/a	n/a	
P 2.1.19	Preset Speed 5	9 / ?		n/a	n/a	
P 2.1.20	Preset Speed 6	40,00	Hz	n/a	n/a	129
P 2.1.21	Preset Speed 7	50,00	Hz	n/a	n/a	130
P 2.2.1.1	Start/Stop Logic	0 / Forw - Rev		n/a	n/a	300
P 2.2.1.2	MotPot Ramp Time	10,0	Hz/s	n/a	n/a	331
P 2.2.1.3	MotPotMemFreqRef	1 / Res:Stop+P.D		n/a	n/a	367
P 2.2.1.4	Adjust Input	0 / Not Used		n/a	n/a	493
P 2.2.1.5	Adjust Minimum	0,0	%	n/a	n/a	494
P 2.2.1.6	Adjust Maximum	0,0	%	n/a	n/a	495
P 2.2.2.1	AI1 Signal Sel	AnIN:A.1		n/a	n/a	377
P 2.2.2.2	AI1 Filter Time	0,10	s	n/a	n/a	324
P 2.2.2.3	AI1 Signal Range	0 / 0-100%		n/a	n/a	320
P 2.2.2.4	AI1 Custom Min	0,00	%	n/a	n/a	321
P 2.2.2.5	AI1 Custom Max	100,00	%	n/a	n/a	322
P 2.2.2.6	AI1 RefScale Min	0,00	Hz	n/a	n/a	303
P 2.2.2.7	AI1 RefScale Max	45,91	Hz	n/a	n/a	304
P 2.2.2.8	AI1 JoystickHyst	0,00	%	n/a	n/a	384
P 2.2.2.9	AI1 Sleep Limit	0,00	%	n/a	n/a	385
P 2.2.2.10	AI1 Sleep Delay	0,00	s	n/a	n/a	386
P 2.2.2.11	AI1 Joyst.Offset	0,00	%	n/a	n/a	165
P 2.2.3.1	AI2 Signal Sel	AnIN:A.2		n/a	n/a	388
P 2.2.3.2	AI2 Filter Time	0,10	s	n/a	n/a	329
P 2.2.3.3	AI2 Signal Range	1 / 4mA/20%-100%		n/a	n/a	325
P 2.2.3.4	AI2 Custom Min	20,00	%	n/a	n/a	326
P 2.2.3.5	AI2 Custom Max	100,00	%	n/a	n/a	327
P 2.2.3.6	AI2 RefScale Min	0,00	Hz	n/a	n/a	393
P 2.2.3.7	AI2 RefScale Max	0,00	Hz	n/a	n/a	394
P 2.2.3.8	AI2 JoystickHyst	0,00	%	n/a	n/a	395
P 2.2.3.9	AI2 Sleep Limit	0,00	%	n/a	n/a	396
P 2.2.3.10	AI2 Sleep Delay	0,00	s	n/a	n/a	397
P 2.2.3.11	AI2 Joyst.Offset	0,00	%	n/a	n/a	166
P 2.2.4.1	AI3 Signal Sel	AnIN:0.1		n/a	n/a	141
P 2.2.4.2	AI3 Filter Time	0,00	s	n/a	n/a	142
P 2.2.4.3	AI3 Signal Range	0 / 0-100%		n/a	n/a	143
P 2.2.4.4	AI3 Custom Min	0,00	%	n/a	n/a	144
P 2.2.4.5	AI3 Custom Max	100,00	%	n/a	n/a	145
P 2.2.4.6	AI3 Signal Inv	0 / No Inversion		n/a	n/a	151
P 2.2.5.1	AI4 Signal Sel	AnIN:0.1		n/a	n/a	152
P 2.2.5.2	AI4 Filter Time	0,00	s	n/a	n/a	153
P 2.2.5.3	AI4 Signal Range	0 / 0-100%		n/a	n/a	154
P 2.2.5.4	AI4 Custom Min	20,00	%	n/a	n/a	155
P 2.2.5.5	AI4 Custom Max	100,00	%	n/a	n/a	156
P 2.2.5.6	AI4 Signal Inv	0 / No Inversion		n/a	n/a	162
P 2.2.6.1	Currnt Lim ScIng	0 / Not Used		n/a	n/a	399
P 2.2.6.2	DC-currnt ScIng	0 / Not Used		n/a	n/a	400
P 2.2.6.3	Acc/Dec Ramp Red	0 / Not Used		n/a	n/a	401
P 2.2.6.4	Torque Suprv Scl	0 / Not Used		n/a	n/a	402
P 2.2.6.5	MotorTorqueLimit	0 / Not Used		n/a	n/a	485
P 2.2.6.6	GenerTorqueLimit	0 / Not Used		n/a	n/a	1087
P 2.2.6.7	MotorPowerLimit	0 / Not Used		n/a	n/a	179
P 2.2.6.8	GenerPower Limit	0 / Not Used		n/a	n/a	1088
P 2.2.7.1	Start Signal 1	DigIN:A.1		n/a	n/a	403
P 2.2.7.2	Start Signal 2	DigIN:A.2		n/a	n/a	404
P 2.2.7.3	Run Enable	DigIN:0.2		n/a	n/a	407
P 2.2.7.4	Reverse	DigIN:0.1		n/a	n/a	412
P 2.2.7.5	Preset Speed 1	DigIN:0.1		n/a	n/a	419
P 2.2.7.6	Preset Speed 2	DigIN:0.1		n/a	n/a	420
P 2.2.7.7	Preset Speed 3	DigIN:0.1		n/a	n/a	421
P 2.2.7.8	Mot Pot Down	DigIN:0.1		n/a	n/a	417
P 2.2.7.9	Mot Pot Up	DigIN:0.1		n/a	n/a	418

Liite 7. INU-yksikön parametrit.

2(7)

Indeksi	Teksti	Arvo	Yksikkö	Min	Max	ID
P 2.2.7.10	Fault Reset	DigIN:A.3	n/a	n/a	n/a	414
P 2.2.7.11	Ext Fault Close	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	405
P 2.2.7.12	Ext Fault Open	DigIN:0.2	n/a	n/a	n/a	406
P 2.2.7.13	Acc/Dec Time Sel	DigIN:A.6	n/a	n/a	n/a	408
P 2.2.7.14	Acc/Dec Prohibit	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	415
P 2.2.7.15	DC Brake Command	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	416
P 2.2.7.16	Jogging Speed	DigIN:A.4	n/a	n/a	n/a	413
P 2.2.7.17	AI1/AI2 Select	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	422
P 2.2.7.18	I/O Term Control	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	409
P 2.2.7.19	Keypad Control	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	410
P 2.2.7.20	Fieldbus Control	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	411
P 2.2.7.21	Param Set1/Set2	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	496
P 2.2.7.22	Mot Ctrl Model/2	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	164
P 2.2.7.23	Cooling Monitor	DigIN:0.2	n/a	n/a	n/a	750
P 2.2.7.24	Ext. Brake ACK	DigIN:0.2	n/a	n/a	n/a	1210
P 2.2.7.25	Reserved	0	n/a	n/a	n/a	1499
P 2.2.7.26	Enable Inching	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	532
P 2.2.7.27	Inching 1	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	530
P 2.2.7.28	Inching 2	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	531
P 2.2.7.29	Reset ENCl Pos.	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	1090
P 2.2.7.30	Emergency Stop	DigIN:0.2	n/a	n/a	n/a	1213
P 2.2.7.31	MF Mode 2	DigIN:0.1	n/a	n/a	n/a	1092
P 2.2.7.32	Input Switch Ack	DigIN:0.2	n/a	n/a	n/a	1209
P 2.3.1.1.1	Dig.Out 1 Signal	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	486
P 2.3.1.1.2	DO1 Content	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	312
P 2.3.1.1.3	DO1 ON Delay	0,00	s	n/a	n/a	487
P 2.3.1.1.4	DO1 OFF Delay	0,00	s	n/a	n/a	488
P 2.3.2.1.1	Dig.Out 2 Signal	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	489
P 2.3.2.1.2	DO2 Content	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	490
P 2.3.2.1.3	DO2 ON Delay	0,00	s	n/a	n/a	491
P 2.3.2.1.4	DO2 OFF Delay	0,00	s	n/a	n/a	492
P 2.3.3.1	Ready	DigOUT:A.1	n/a	n/a	n/a	432
P 2.3.3.2	Run	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	433
P 2.3.3.3	Fault	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	434
P 2.3.3.4	Fault, Inverted	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	435
P 2.3.3.5	Warning	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	436
P 2.3.3.6	Ext. Fault/Warn.	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	437
P 2.3.3.7	AI Ref Faul/Warn	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	438
P 2.3.3.8	OverTemp Warn.	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	439
P 2.3.3.9	Reverse	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	440
P 2.3.3.10	Direct Differenc	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	441
P 2.3.3.11	At Ref. Speed	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	442
P 2.3.3.12	Jogging Speed	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	443
P 2.3.3.13	ExtControl Place	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	444
P 2.3.3.14	Ext Brake Contrl	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	445
P 2.3.3.15	ExtBrakeCtrl, Inv	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	446
P 2.3.3.16	FreqOut SupvLim1	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	447
P 2.3.3.17	FreqOut SupvLim2	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	448
P 2.3.3.18	Ref Lim Superv.	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	449
P 2.3.3.19	Temp Lim Superv.	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	450
P 2.3.3.20	Torq Lim Superv.	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	451
P 2.3.3.21	MotTherm Flt/Wrn	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	452
P 2.3.3.22	Ain Supv Lim	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	453
P 2.3.3.23	MotorReg. Active	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	454
P 2.3.3.24	FB Dig Input 1	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	455
P 2.3.3.25	FB Dig Input 2	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	456
P 2.3.3.26	FB Dig Input 3	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	457
P 2.3.3.27	FB Dig Input 4	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	169
P 2.3.3.28	FB Dig Input 5	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	170
P 2.3.3.29	DC Ready Pulse	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	1218
P 2.3.3.30	SafeDisableActiv	DigOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	756
P 2.3.4.1	Freq Supv Lim 1	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	315
P 2.3.4.2	Freq Supv Val 1	0,00	Hz	n/a	n/a	316
P 2.3.4.3	Freq Supv Lim 2	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	346
P 2.3.4.4	Freq Supv Val2	0,00	Hz	n/a	n/a	347
P 2.3.4.5	Torque Supv Lim	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	348
P 2.3.4.6	Torque Supv Val	100,0	%	n/a	n/a	349
P 2.3.4.7	Ref Superv Lim	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	350
P 2.3.4.8	Ref Superv Value	0,0	%	n/a	n/a	351
P 2.3.4.9	Ext Brake OffDel	0,5	s	n/a	n/a	352
P 2.3.4.10	Ext Brake OnDel	1,5	s	n/a	n/a	353
P 2.3.4.11	Temp Lim Superv.	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	354
P 2.3.4.12	Temp Supv Value	40	°C	n/a	n/a	355
P 2.3.4.13	Ain Supv Input	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	356
P 2.3.4.14	Ain Supv Llim	10,00	%	n/a	n/a	357
P 2.3.4.15	Ain Supv Hlim	90,00	%	n/a	n/a	358
P 2.3.4.16	BrakeOnOffCurLim	0,0	A	n/a	n/a	1085
P 2.3.5.1	Iout 1 signal	AnOUT:A.1	n/a	n/a	n/a	464
P 2.3.5.2	Iout Content	6 / Motor Power	n/a	n/a	n/a	307
P 2.3.5.3	Iout Filter Time	1,00	s	n/a	n/a	308
P 2.3.5.4	Iout Invert	0 / No Inversion	n/a	n/a	n/a	309
P 2.3.5.5	Iout Minimum	0 / 0 mA	n/a	n/a	n/a	310
P 2.3.5.6	Iout Scale	100	%	n/a	n/a	311
P 2.3.5.7	Iout Offset	0,00	%	n/a	n/a	375
P 2.3.6.1	Iout 2 Signal	AnOUT:0.1	n/a	n/a	n/a	471
P 2.3.6.2	Iout 2 Content	4 / O/P Current	n/a	n/a	n/a	472
P 2.3.6.3	Iout 2 Filter T	1,00	s	n/a	n/a	473
P 2.3.6.4	Iout 2 Invert	0 / No Inversion	n/a	n/a	n/a	474
P 2.3.6.5	Iout 2 Minimum	0 / 0 mA	n/a	n/a	n/a	475

Liite 7. INU-yksikön parametrit.

3(7)

Indeksi	Teksti	Arvo		Yksikkö	Min	Max	ID
P 2.3.6.6	Iout 2 Scale	100	%	n/a	n/a	n/a	476
P 2.3.6.7	Iout 2 Offset	0,00	%	n/a	n/a	n/a	477
P 2.3.7.1	Iout 3 Signal	AnOUT:0.1		n/a	n/a	n/a	478
P 2.3.7.2	Iout 3 Content	5 / Motor Torque		n/a	n/a	n/a	479
P 2.3.7.3	Iout 3 Filter T	1,00	s	n/a	n/a	n/a	480
P 2.3.7.4	Iout 3 Invert	0 / No Inversion		n/a	n/a	n/a	481
P 2.3.7.5	Iout 3 Minimum	0 / 0 mA		n/a	n/a	n/a	482
P 2.3.7.6	Iout 3 Scale	100	%	n/a	n/a	n/a	483
P 2.3.7.7	Iout 3 Offset	0,00	%	n/a	n/a	n/a	484
P 2.4.1	Ramp 1 Shape	2,0	s	n/a	n/a	n/a	500
P 2.4.2	Ramp 2 Shape	2,0	s	n/a	n/a	n/a	501
P 2.4.3	Accel Time 2	10,0	s	n/a	n/a	n/a	502
P 2.4.4	Decel Time 2	10,0	s	n/a	n/a	n/a	503
P 2.4.5	Brake Chopper	0 / Not Used		n/a	n/a	n/a	504
P 2.4.6	Start Function	2 / Cond.FlyStar		n/a	n/a	n/a	505
P 2.4.7	Stop Function	0 / Coasting		n/a	n/a	n/a	506
P 2.4.8	DC-Brake Current	0,0	A	n/a	n/a	n/a	507
P 2.4.9	Stop DC-BrakeIm	0,00	s	n/a	n/a	n/a	508
P 2.4.10	Stop DC-BrakeFr	1,50	Hz	n/a	n/a	n/a	515
P 2.4.11	Start DC-BrakeIm	0,00	s	n/a	n/a	n/a	516
P 2.4.12	Flux Brake	0 / Off		n/a	n/a	n/a	520
P 2.4.13	FluxBrakeCurrent	7,0	A	n/a	n/a	n/a	515
P 2.4.14	DCBrakeCurInStop	0,7	A	n/a	n/a	n/a	1080
P 2.4.15	Inching Ref 1	2,00	Hz	n/a	n/a	n/a	1233
P 2.4.16	Inching Ref 2	-2,00	Hz	n/a	n/a	n/a	1240
P 2.4.17	Inching Ramp	1,0	s	n/a	n/a	n/a	1257
P 2.4.18	Emerg.Stop Mode	1 / Ramping		n/a	n/a	n/a	1276
P 2.4.19	Control Options	0		n/a	n/a	n/a	1084
P 2.5.1	Range 1 Low Lim	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	509
P 2.5.2	Range 1 High Lim	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	510
P 2.5.3	Range 2 Low Lim	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	511
P 2.5.4	Range 2 High Lim	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	512
P 2.5.5	Range 3 Low Lim	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	513
P 2.5.6	Range 3 High Lim	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	514
P 2.5.7	PH Acc/Dec Ramp	1,0	x	n/a	n/a	n/a	518
P 2.6.1	Motor Ctrl Mode	2 / OL TorqCtrl		n/a	n/a	n/a	600
P 2.6.2	U/f Optimization	0 / None		n/a	n/a	n/a	109
P 2.6.3	U/f Ratio Select	2 / Programmable		n/a	n/a	n/a	108
P 2.6.4	Field WeakngPnt	51,42	Hz	n/a	n/a	n/a	602
P 2.6.5	Voltage at FWP	100,00	%	n/a	n/a	n/a	603
P 2.6.6	U/f Mid Freq	2,10	Hz	n/a	n/a	n/a	604
P 2.6.7	U/f Mid Voltg	7,08	%	n/a	n/a	n/a	605
P 2.6.8	Zero Freq Voltg	5,01	%	n/a	n/a	n/a	606
P 2.6.9	Switching Freq	16,0	kHz	n/a	n/a	n/a	601
P 2.6.10	Overvolt Contr	1 / On:NoRamping		n/a	n/a	n/a	607
P 2.6.11	Undervolt Contr	1 / On:NoRamping		n/a	n/a	n/a	608
P 2.6.12	Motor Ctrl Mode2	2 / OL TorqCtrl		n/a	n/a	n/a	521
P 2.6.13	OL Speed Reg P	3000		n/a	n/a	n/a	637
P 2.6.14	OL Speed Reg I	300		n/a	n/a	n/a	638
P 2.6.15	LoadDrooping	0,00	%	n/a	n/a	n/a	620
P 2.6.16	Identification	0 / No Action		n/a	n/a	n/a	631
P 2.6.17	Restart Delay	0,300	s	n/a	n/a	n/a	1424
P 2.6.18	LoadDroopingTime	0	ms	n/a	n/a	n/a	656
P 2.6.19	Neg Freq Limit	-327,67	Hz	n/a	n/a	n/a	1286
P 2.6.20	Pos Freq Limit	50,80	Hz	n/a	n/a	n/a	1285
P 2.6.21	GenerTorqueLimit	300,0	%	n/a	n/a	n/a	1288
P 2.6.22	MotorTorqueLimit	300,0	%	n/a	n/a	n/a	1287
P 2.6.23.1	MagnCurrent	0,0	A	n/a	n/a	n/a	612
P 2.6.23.2	Speed Control Kp	30		n/a	n/a	n/a	613
P 2.6.23.3	Speed Control Ti	100,0	ms	n/a	n/a	n/a	614
P 2.6.23.4	Reserved	0		n/a	n/a	n/a	1499
P 2.6.23.5	Accel.Compens.	0,00	s	n/a	n/a	n/a	626
P 2.6.23.6	Slip Adjust	75	%	n/a	n/a	n/a	619
P 2.6.23.7	Start Magn Curr	0,0	A	n/a	n/a	n/a	627
P 2.6.23.8	Start Magn Time	0	ms	n/a	n/a	n/a	628
P 2.6.23.9	Start 0SpeedTime	100	ms	n/a	n/a	n/a	615
P 2.6.23.10	Stop 0 SpeedTime	100	ms	n/a	n/a	n/a	616
P 2.6.23.11	StartUp Torque	0 / Not Used		n/a	n/a	n/a	621
P 2.6.23.12	StartUpTorq FWD	0,0	s	n/a	n/a	n/a	633
P 2.6.23.13	StartUpTorq REV	0,0	s	n/a	n/a	n/a	634
P 2.6.23.14	Reserved	0		n/a	n/a	n/a	1499
P 2.6.23.15	Encoder1FiltTime	0,0	ms	n/a	n/a	n/a	618
P 2.6.23.16	Reserved	0		n/a	n/a	n/a	1499
P 2.6.23.17	CurrentControlKp	127,92	%	n/a	n/a	n/a	617
P 2.6.23.18	CurrentControlTi	1,5	ms	n/a	n/a	n/a	657
P 2.6.23.19	GenerPower Limit	300,0	%	n/a	n/a	n/a	1290
P 2.6.23.20	MotorPowerLimit	300,0	%	n/a	n/a	n/a	1289
P 2.6.23.21	NegTorqueLimit	300,0	%	n/a	n/a	n/a	645
P 2.6.23.22	PosTorqueLimit	300,0	%	n/a	n/a	n/a	646
P 2.6.23.23	Flux Off Delay	0	s	n/a	n/a	n/a	1402
P 2.6.23.24	Stop State Flux	100,0	%	n/a	n/a	n/a	1401
P 2.6.23.25	SPC f1 Point	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	1301
P 2.6.23.26	SPC f0 Point	0,00	Hz	n/a	n/a	n/a	1300
P 2.6.23.27	SPC Kp f0	100	%	n/a	n/a	n/a	1299
P 2.6.23.28	SPC Kp FWP	100	%	n/a	n/a	n/a	1298
P 2.6.23.29	SPC Torq Min	0,0	%	n/a	n/a	n/a	1296
P 2.6.23.30	SPC Kp Torq Min	100	%	n/a	n/a	n/a	1295
P 2.6.23.31	SCP Kp TC Torq	0	ms	n/a	n/a	n/a	1297
P 2.6.23.32	FluxReference	100,0	%	n/a	n/a	n/a	1250

Liite 7. INU-yksikön parametrit.

4(7)

Indeksi	Teksti	Arvo		Yksikkö	Min	Max	ID
P 2.6.23.33	SpeedErrorFiltTC	0		ms	n/a	n/a	1311
P 2.6.23.34	Modulation Limit	100		%	n/a	n/a	655
P 2.6.24.1	Motor Type	1 / FMS Motor			n/a	n/a	650
P 2.6.24.2	FluxCurrent Kp	500			n/a	n/a	651
P 2.6.24.3	FluxCurrent Ti	5,0		ms	n/a	n/a	652
P 2.6.24.4	PMSMShaftPositio	0			n/a	n/a	649
P 2.6.24.5	EnableRslIdentifi	1 / Yes			n/a	n/a	654
P 2.6.24.6	TorqStabGain	120			n/a	n/a	1412
P 2.6.24.7	TorqStabGain	980			n/a	n/a	1413
P 2.6.24.8	TorqStabGainFWP	50			n/a	n/a	1414
P 2.6.25.1	Flux 10 %	10,0		%	n/a	n/a	1355
P 2.6.25.2	Flux 20 %	20,0		%	n/a	n/a	1356
P 2.6.25.3	Flux 30 %	30,0		%	n/a	n/a	1357
P 2.6.25.4	Flux 40 %	40,0		%	n/a	n/a	1358
P 2.6.25.5	Flux 50 %	50,0		%	n/a	n/a	1359
P 2.6.25.6	Flux 60 %	60,0		%	n/a	n/a	1360
P 2.6.25.7	Flux 70 %	70,0		%	n/a	n/a	1361
P 2.6.25.8	Flux 80 %	80,0		%	n/a	n/a	1362
P 2.6.25.9	Flux 90 %	90,0		%	n/a	n/a	1363
P 2.6.25.10	Flux 100 %	100,0		%	n/a	n/a	1364
P 2.6.25.11	Flux 110 %	110,0		%	n/a	n/a	1365
P 2.6.25.12	Flux 120 %	120,0		%	n/a	n/a	1366
P 2.6.25.13	Flux 130 %	130,0		%	n/a	n/a	1367
P 2.6.25.14	Flux 140 %	140,0		%	n/a	n/a	1368
P 2.6.25.15	Flux 150 %	150,0		%	n/a	n/a	1369
P 2.6.25.16	RsVoltageDrop	246			n/a	n/a	662
P 2.6.25.17	IrAddZeroPVoltag	411			n/a	n/a	664
P 2.6.25.18	IrAddGeneScale	0			n/a	n/a	665
P 2.6.25.19	IrAddMotorScale	100			n/a	n/a	667
P 2.6.25.20	MotorBEMVoltage	73,25		%	n/a	n/a	674
P 2.6.25.21	LsVoltageDrop	432			n/a	n/a	673
P 2.6.25.22	IU Offset	-9			n/a	n/a	668
P 2.6.25.23	IV Offset	-20			n/a	n/a	669
P 2.6.25.24	IW Offset	-23			n/a	n/a	670
P 2.6.25.25	Speed Step	0,0		%	n/a	n/a	1252
P 2.6.25.26	Torque Step	0,0		%	n/a	n/a	1253
P 2.7.1	4mA Input Fault	0 / No Action			n/a	n/a	700
P 2.7.2	4mA Fault Freq.	0,00		Hz	n/a	n/a	728
P 2.7.3	External Fault	2 / Fault			n/a	n/a	701
P 2.7.4	Input Ph. Superv	0 / No Action			n/a	n/a	730
P 2.7.5	UVolt Fault Resp	0 / Fault Stored			n/a	n/a	727
P 2.7.6	OutputPh. Superv	2 / Fault			n/a	n/a	702
P 2.7.7	Earth fault	2 / Fault			n/a	n/a	703
P 2.7.8	Motor Therm Prot	0 / No Action			n/a	n/a	704
P 2.7.9	MotAmbTempFactor	0,0		%	n/a	n/a	705
P 2.7.10	MIP f0 Current	40,0		%	n/a	n/a	706
P 2.7.11	MIP Motor T	30		min	n/a	n/a	707
P 2.7.12	Motor Duty Cycle	100		%	n/a	n/a	708
P 2.7.13	Stall Protection	0 / No Action			n/a	n/a	709
P 2.7.14	Stall Current	8,1		A	n/a	n/a	710
P 2.7.15	Stall Time Lim	15,00		s	n/a	n/a	711
P 2.7.16	Stall Freq Lim	25,00		Hz	n/a	n/a	712
P 2.7.17	Underload Protec	0 / No Action			n/a	n/a	713
P 2.7.18	UP fnom Torque	50,0		%	n/a	n/a	714
P 2.7.19	UP f0 Torque	10,0		%	n/a	n/a	715
P 2.7.20	UP Time Limit	20,00		s	n/a	n/a	716
P 2.7.21	ThermistorF.Resp	2 / Fault			n/a	n/a	732
P 2.7.22	FBComm.FaultResp	2 / Fault			n/a	n/a	733
P 2.7.23	SlotComFaultResp	2 / Fault			n/a	n/a	734
P 2.7.24	PT100 Numbers	0		x	n/a	n/a	739
P 2.7.25	PT100 FaultRespo	0 / No Action			n/a	n/a	740
P 2.7.26	PT100 Warn.Limit	120,0		°C	n/a	n/a	741
P 2.7.27	PT100 Fault Lim.	130,0		°C	n/a	n/a	742
P 2.7.28	Brake Fault	1 / Warning			n/a	n/a	1316
P 2.7.29	BrakeFaultDelay	0,20		s	n/a	n/a	1317
P 2.7.30	SB Comm Fault	3 / Fault,Coast			n/a	n/a	1082
P 2.7.31	SB Fault Delay	3,00		s	n/a	n/a	1352
P 2.7.32	Cooling F Delay	2,00		s	n/a	n/a	751
P 2.7.33	Speed Error	0 / No Action			n/a	n/a	752
P 2.7.34	Speed Max. Diff.	5		%	n/a	n/a	753
P 2.7.35	SpeedErrorDelay	0,50		s	n/a	n/a	754
P 2.7.36	SafeDisable Mode	1 / Warning			n/a	n/a	755
P 2.8.1	Wait Time	5,00		s	n/a	n/a	717
P 2.8.2	Trial Time	30,00		s	n/a	n/a	718
P 2.8.3	Start Function	1 / Flying Start			n/a	n/a	719
P 2.8.4	Undervolt. Tries	5			n/a	n/a	720
P 2.8.5	Overvolt. Tries	5			n/a	n/a	721
P 2.8.6	Overcurr. Tries	0			n/a	n/a	722
P 2.8.7	4mA Fault Tries	0			n/a	n/a	723
P 2.8.8	MotTempF Tries	0			n/a	n/a	726
P 2.8.9	Ext.Fault Tries	0			n/a	n/a	725
P 2.8.10	Underload tries	0			n/a	n/a	738
P 2.9.1	FB Min Scale	0,00		Hz	n/a	n/a	850
P 2.9.2	FB Max Scale	0,00		Hz	n/a	n/a	851
P 2.9.3	FB Data Out1 Sel	1			n/a	n/a	852
P 2.9.4	FB Data Out2 Sel	2			n/a	n/a	853
P 2.9.5	FB Data Out3 Sel	45			n/a	n/a	854
P 2.9.6	FB Data Out4 Sel	4			n/a	n/a	855
P 2.9.7	FB Data Out5 Sel	5			n/a	n/a	856

Liite 7. INU-yksikön parametrit.

5(7)

Indeksi	Teksti	Arvo	Yksikkö	Min	Max	ID
P 2.9.8	FB Data Out6 Sel	6	n/a	n/a	n/a	857
P 2.9.9	FB Data Out7 Sel	7	n/a	n/a	n/a	858
P 2.9.10	FB Data Out8 Sel	37	n/a	n/a	n/a	859
P 2.9.11	FB Data IN 1 Sel	1140	n/a	n/a	n/a	876
P 2.9.12	FB Data IN 2 Sel	46	n/a	n/a	n/a	877
P 2.9.13	FB Data IN 3 Sel	47	n/a	n/a	n/a	878
P 2.9.14	FB Data IN 4 Sel	48	n/a	n/a	n/a	879
P 2.9.15	FB Data IN 5 Sel	0	n/a	n/a	n/a	880
P 2.9.16	FB Data IN 6 Sel	0	n/a	n/a	n/a	881
P 2.9.17	FB Data IN 7 Sel	0	n/a	n/a	n/a	882
P 2.9.18	FB Data IN 8 Sel	0	n/a	n/a	n/a	883
P 2.10.1	Torque Limit	300,0	%	n/a	n/a	609
P 2.10.2	TorqLimCtrl P	3000	n/a	n/a	n/a	610
P 2.10.3	TorqLimCtrl I	200	n/a	n/a	n/a	611
P 2.10.4	Torq Ref Select	7 / Power Curve	n/a	n/a	n/a	641
P 2.10.5	Torq Ref Max	300,0	%	n/a	n/a	642
P 2.10.6	Torq Ref Min	0,0	%	n/a	n/a	643
P 2.10.7	Torq Speed Limit	0 / Max Freq	n/a	n/a	n/a	644
P 2.10.8	OL TC Min Freq	3,00	Hz	n/a	n/a	636
P 2.10.9	OL TorqCtrl P	150	n/a	n/a	n/a	639
P 2.10.10	OL TorqCtrl I	10	n/a	n/a	n/a	640
P 2.10.11	TorqSpeedLimitCL	2 / RampOut - +	n/a	n/a	n/a	1278
P 2.10.12	TorqRefFilterTC	0	ms	n/a	n/a	1244
P 2.10.13	Window Neg	2,00	Hz	n/a	n/a	1305
P 2.10.14	Window Pos	2,00	Hz	n/a	n/a	1304
P 2.10.15	Window Neg Off	0,00	Hz	n/a	n/a	1307
P 2.10.16	Window Pos Off	0,00	Hz	n/a	n/a	1306
P 2.10.17	SPC OutTorqLim.	300,0	%	n/a	n/a	1382
P 2.11.1	MF Mode	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	1324
P 2.11.2	FollowerStopFunc	2 / As Master	n/a	n/a	n/a	1089
P 2.11.3	Follower Ref Sel	18 / Master Ramp	n/a	n/a	n/a	1081
P 2.11.4	FollowerTorq Sel	9 / MasterTorque	n/a	n/a	n/a	1083
P 2.11.5	Speed Share	100,00	%	n/a	n/a	1241
P 2.11.6	Load Share	100,0	%	n/a	n/a	1248
P 2.11.7	MF Mode 2	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	1093
P 3.1	Control Place	1 / I/O Terminal	n/a	n/a	n/a	125
P 3.3	Keypad Direction	0 / Forward	n/a	n/a	n/a	123
P 3.4	StopButtonActive	1 / Yes	n/a	n/a	n/a	114
P 6.3.4	Autom. BackUp	0 / Yes	n/a	n/a	n/a	820
P 6.5.2	Parameter Lock	0 / ChangeEnable	n/a	n/a	n/a	819
P 6.5.3	Startup wizard	0 / No	n/a	n/a	n/a	826
P 6.5.4	Multimon. items	0 / ChangeEnable	n/a	n/a	n/a	822
P 6.5.5	OPTAF Remove	0	n/a	n/a	n/a	832
P 6.6.1	Default page	0.	n/a	n/a	n/a	
P 6.6.2	Default page/OM	1	n/a	n/a	n/a	
P 6.6.3	Timeout time	30	s	n/a	n/a	804
P 6.6.4	Contrast	18	n/a	n/a	n/a	805
P 6.6.5	Backlight time	10	min	n/a	n/a	818
P 6.7.1	InternBrakeRes	0 / Not conn.	n/a	n/a	n/a	821
P 6.7.2	Fan control	3 / Calc temp	n/a	n/a	n/a	825
P 6.7.3	HMI ACK timeout	200	ms	n/a	n/a	823
P 6.7.4	HMI retry	5	n/a	n/a	n/a	824
P 6.7.5	Sine Filter	0 / Not conn.	n/a	n/a	n/a	
P 6.7.6	Pre-Charge Mode	0 / Normal FC	n/a	n/a	n/a	
P 7.1.1.1	AI1 mode	3 / 0...10V	n/a	n/a	n/a	
P 7.1.1.2	AI2 mode	1 / 0...20mA	n/a	n/a	n/a	
P 7.1.1.3	AO1 mode	1 / 0...20mA	n/a	n/a	n/a	
P 8.1.2	PowerCurveFiltT	25	n/a	n/a	n/a	1532
P 8.1.3	SpeedPoint 0	0	%	n/a	n/a	
P 8.1.4	SpeedPoint 1	10	%	n/a	n/a	
P 8.1.5	SpeedPoint 2	20	%	n/a	n/a	
P 8.1.6	SpeedPoint 3	30	%	n/a	n/a	
P 8.1.7	SpeedPoint 4	40	%	n/a	n/a	
P 8.1.8	SpeedPoint 5	50	%	n/a	n/a	
P 8.1.9	SpeedPoint 6	60	%	n/a	n/a	
P 8.1.10	SpeedPoint 7	70	%	n/a	n/a	
P 8.1.11	SpeedPoint 8	80	%	n/a	n/a	
P 8.1.12	SpeedPoint 9	90	%	n/a	n/a	
P 8.1.13	SpeedPoint 10	100	%	n/a	n/a	
P 8.1.14	SpeedPoint 11	110	%	n/a	n/a	
P 8.1.15	TorquePoint 0	0,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.16	TorquePoint 1	2,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.17	TorquePoint 2	5,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.18	TorquePoint 3	18,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.19	TorquePoint 4	30,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.20	TorquePoint 5	38,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.21	TorquePoint 6	48,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.22	TorquePoint 7	60,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.23	TorquePoint 8	70,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.24	TorquePoint 9	80,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.25	TorquePoint 10	95,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.26	TorquePoint 11	110,0	%	n/a	n/a	
P 8.3.2	AnemometerMax	50,00	m/s	n/a	n/a	1513
P 8.3.3	AnemometerMin	0,00	m/s	n/a	n/a	1515
P 8.4.1	Speed Limit	50,00	Hz	n/a	n/a	1600
P 8.4.2.2	SlowSpeedLim	3,00	Hz	n/a	n/a	1661
P 8.4.2.3	SlowSpeedProtAct	0 / No	n/a	n/a	n/a	1662
P 8.4.2.4	OffPowerLim	0,10	kW	n/a	n/a	1663
P 8.4.2.5	SlowSpeedFilt	100	n/a	n/a	n/a	1664

Liite 7. INU-yksikön parametrit.

6(7)

Indeksi	Teksti	Arvo	Yksikkö	Min	Max	ID
P 2.9.8	FB Data Out6 Sel	6	n/a	n/a	n/a	857
P 2.9.9	FB Data Out7 Sel	7	n/a	n/a	n/a	858
P 2.9.10	FB Data Out8 Sel	37	n/a	n/a	n/a	859
P 2.9.11	FB Data IN 1 Sel	1140	n/a	n/a	n/a	876
P 2.9.12	FB Data IN 2 Sel	46	n/a	n/a	n/a	877
P 2.9.13	FB Data IN 3 Sel	47	n/a	n/a	n/a	878
P 2.9.14	FB Data IN 4 Sel	48	n/a	n/a	n/a	879
P 2.9.15	FB Data IN 5 Sel	0	n/a	n/a	n/a	880
P 2.9.16	FB Data IN 6 Sel	0	n/a	n/a	n/a	881
P 2.9.17	FB Data IN 7 Sel	0	n/a	n/a	n/a	882
P 2.9.18	FB Data IN 8 Sel	0	n/a	n/a	n/a	883
P 2.10.1	Torque Limit	300,0	%	n/a	n/a	609
P 2.10.2	TorqLimCtrl P	3000	n/a	n/a	n/a	610
P 2.10.3	TorqLimCtrl I	200	n/a	n/a	n/a	611
P 2.10.4	Torq Ref Select	7 / Power Curve	n/a	n/a	n/a	641
P 2.10.5	Torq Ref Max	300,0	%	n/a	n/a	642
P 2.10.6	Torq Ref Min	0,0	%	n/a	n/a	643
P 2.10.7	Torq Speed Limit	0 / Max Freq	n/a	n/a	n/a	644
P 2.10.8	OL TC Min Freq	3,00	Hz	n/a	n/a	636
P 2.10.9	OL TorqCtrl P	150	n/a	n/a	n/a	639
P 2.10.10	OL TorqCtrl I	10	n/a	n/a	n/a	640
P 2.10.11	TorqSpeedLimitCL	2 / RampOut - +	n/a	n/a	n/a	1278
P 2.10.12	TorqRefFilterTC	0	ms	n/a	n/a	1244
P 2.10.13	Window Neg	2,00	Hz	n/a	n/a	1305
P 2.10.14	Window Pos	2,00	Hz	n/a	n/a	1304
P 2.10.15	Window Neg Off	0,00	Hz	n/a	n/a	1307
P 2.10.16	Window Pos Off	0,00	Hz	n/a	n/a	1306
P 2.10.17	SPC OutTorqLim.	300,0	%	n/a	n/a	1382
P 2.11.1	MF Mode	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	1324
P 2.11.2	FollowerStopFunc	2 / As Master	n/a	n/a	n/a	1089
P 2.11.3	Follower Ref Sel	18 / Master Ramp	n/a	n/a	n/a	1081
P 2.11.4	FollowerTorq Sel	9 / MasterTorque	n/a	n/a	n/a	1083
P 2.11.5	Speed Share	100,00	%	n/a	n/a	1241
P 2.11.6	Load Share	100,0	%	n/a	n/a	1248
P 2.11.7	MF Mode 2	0 / Not Used	n/a	n/a	n/a	1093
P 3.1	Control Place	1 / I/O Terminal	n/a	n/a	n/a	125
P 3.3	Keypad Direction	0 / Forward	n/a	n/a	n/a	123
P 3.4	StopButtonActive	1 / Yes	n/a	n/a	n/a	114
P 6.3.4	Autom. BackUp	0 / Yes	n/a	n/a	n/a	820
P 6.5.2	Parameter Lock	0 / ChangeEnable	n/a	n/a	n/a	819
P 6.5.3	Startup wizard	0 / No	n/a	n/a	n/a	826
P 6.5.4	Multimon. items	0 / ChangeEnable	n/a	n/a	n/a	822
P 6.5.5	OPTAF Remove	0	n/a	n/a	n/a	832
P 6.6.1	Default page	0.	n/a	n/a	n/a	
P 6.6.2	Default page/OM	1	n/a	n/a	n/a	
P 6.6.3	Timeout time	30	s	n/a	n/a	804
P 6.6.4	Contrast	18	n/a	n/a	n/a	805
P 6.6.5	Backlight time	10	min	n/a	n/a	818
P 6.7.1	InternBrakeRes	0 / Not conn.	n/a	n/a	n/a	821
P 6.7.2	Fan control	3 / Calc temp	n/a	n/a	n/a	825
P 6.7.3	HMI ACK timeout	200	ms	n/a	n/a	823
P 6.7.4	HMI retry	5	n/a	n/a	n/a	824
P 6.7.5	Sine Filter	0 / Not conn.	n/a	n/a	n/a	
P 6.7.6	Pre-Charge Mode	0 / Normal FC	n/a	n/a	n/a	
P 7.1.1.1	AI1 mode	3 / 0...10V	n/a	n/a	n/a	
P 7.1.1.2	AI2 mode	1 / 0...20mA	n/a	n/a	n/a	
P 7.1.1.3	AO1 mode	1 / 0...20mA	n/a	n/a	n/a	
P 8.1.2	PowerCurveFiltT	25	n/a	n/a	n/a	1532
P 8.1.3	SpeedPoint 0	0	%	n/a	n/a	
P 8.1.4	SpeedPoint 1	10	%	n/a	n/a	
P 8.1.5	SpeedPoint 2	20	%	n/a	n/a	
P 8.1.6	SpeedPoint 3	30	%	n/a	n/a	
P 8.1.7	SpeedPoint 4	40	%	n/a	n/a	
P 8.1.8	SpeedPoint 5	50	%	n/a	n/a	
P 8.1.9	SpeedPoint 6	60	%	n/a	n/a	
P 8.1.10	SpeedPoint 7	70	%	n/a	n/a	
P 8.1.11	SpeedPoint 8	80	%	n/a	n/a	
P 8.1.12	SpeedPoint 9	90	%	n/a	n/a	
P 8.1.13	SpeedPoint 10	100	%	n/a	n/a	
P 8.1.14	SpeedPoint 11	110	%	n/a	n/a	
P 8.1.15	TorquePoint 0	0,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.16	TorquePoint 1	2,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.17	TorquePoint 2	5,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.18	TorquePoint 3	18,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.19	TorquePoint 4	30,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.20	TorquePoint 5	38,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.21	TorquePoint 6	48,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.22	TorquePoint 7	60,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.23	TorquePoint 8	70,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.24	TorquePoint 9	80,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.25	TorquePoint 10	95,0	%	n/a	n/a	
P 8.1.26	TorquePoint 11	110,0	%	n/a	n/a	
P 8.3.2	AnemometerMax	50,00	m/s	n/a	n/a	1513
P 8.3.3	AnemometerMin	0,00	m/s	n/a	n/a	1515
P 8.4.1	Speed Limit	50,00	Hz	n/a	n/a	1600
P 8.4.2.2	SlowSpeedLim	3,00	Hz	n/a	n/a	1661
P 8.4.2.3	SlowSpeedProtAct	0 / No	n/a	n/a	n/a	1662
P 8.4.2.4	OffPowerLim	0,10	kW	n/a	n/a	1663
P 8.4.2.5	SlowSpeedFilt	100	n/a	n/a	n/a	1664

Liite 7. INU-yksikön parametrit.

7(7)

Indeksi	Teksti	Arvo	Yksikkö	Min	Max	ID
P 8.5.1	Main Contactor	DigOUT:B.1		n/a	n/a	1502
P 8.5.3	Afe Control	DigOUT:B.2		n/a	n/a	1526
P 8.5.4	Main Contactor	DigOUT:A.5		n/a	n/a	1525
P 8.5.5	PowerOffLevel	0,07	kW	n/a	n/a	1520
P 8.5.6	Startup Voltage	100	V	n/a	n/a	1610
P 8.7.1	Step Size	2		n/a	n/a	1700
P 8.8.2	Step	5		n/a	n/a	
P 8.8.3	Step filter	7		n/a	n/a	
P 8.8.4	D Pow Lim	0,5	%	n/a	n/a	
P 8.8.7	D Speed Lim	3	rpm	n/a	n/a	

Liite 8. AFE-yksikön parametrit

1(2)

Tulostettu: 27.3.2013 8:53:22
 Sarjanumero: 11645478
 Laite: NXP
 Varusohjelma: NXP00002V183 (22.34.10533)
 Rajapinta: 4.65
 Sovellus: (ARFIQ106_1_2_gen.vcn, ARFIQ106 1.2)
 Parametri tiedosto: E:\TAMK\Lopputyö\NXP ohjelmat\FC2 parametrit 27032013.par

Indeksi	Teksti	Arvo	Yksikkö	Min	Max	ID
P 2.1.1	RatedLineVoltage	400	V	0	1000	1201
P 2.1.2	DCVoltReference	110,00	%	105,00	130,00	1462
P 2.1.3	Virtaraja	9,0	A	0,0	14,0	107
P 2.1.4	Start/Stop Funct	1 / Auto		0	1	1274
P 2.1.5	AutoStopLevel	-0,5	%	-100,0	100,0	1099
P 2.2.1.1	Run Request	0 / Not Used		0	6	1206
P 2.2.1.2	Contactoor Open	11 / DINS(-)		0	12	1508
P 2.2.1.3	InFilterOverTemp	0 / Not Used		0	12	1179
P 2.2.1.4	Main Cont Ack	0 / Not Used		0	6	1453
P 2.2.1.5	InFilter Fan Mon	0 / Not Used		0	12	1178
P 2.2.1.6	Vian kuittaus	6 / DIN6		0	6	1208
P 2.2.1.7	External Fault	0 / Not Used		0	12	1214
P 2.2.1.8	Käynn.sallittu	0 / Not Used		0	6	1212
P 2.2.1.9	Force AFE Mode	0 / Not Used		0	6	1540
P 2.2.2.1	ReactCurrRef Sel	0 / Panel		0	2	1384
P 2.2.2.2	PT100 AIN Select	0 / Not used		0	1	1221
P 2.2.2.3	AI1 Minimum	0 / 0V/0mA		0	1	1227
P 2.2.2.4	AI1 Filter time	1,00	s	0,01	10,00	1228
P 2.2.2.5	AI2 Minimum	0 / 0V/0mA		0	1	1231
P 2.2.2.6	AI2 Filter time	1,00	s	0,01	10,00	1232
P 2.3.1.1	DO1	7 / Regen Active		0	11	1216
P 2.3.1.2	DO2 (RO1)	2 / Running		0	11	1217
P 2.3.2.1	AO1 Signal ID	0		0	2000	1233
P 2.3.2.2	AO1 Offset	0 / 0V/0mA		0	1	1234
P 2.3.2.3	AO1 Filter	10,00	s	0,02	10,00	1235
P 2.3.2.4	AO1 Max. Value	1500		-30000	30000	1236
P 2.3.2.5	AO1 Min. Value	0		-30000	30000	1237
P 2.4.1	Voltage Ctrl Kp	200		0	32000	1451
P 2.4.2	Voltage Ctrl Ti	50	ms	0	1000	1452
P 2.4.3	Active Curr Kp	400		0	4000	1455
P 2.4.4	Active Curr Ti	15		0	1000	1456
P 2.4.5	Sync Kp	2000		0	32000	1457
P 2.4.6	Sync Ti	50		0	1000	1458
P 2.4.7	Power Lim Motor	0,1	%	0,1	300,0	1289
P 2.4.8	Power Lim Gen	300,0	%	0,1	300,0	1290
P 2.4.9	Restart Delay	100	ms	0	32000	1281
P 2.4.10	Stop Delay	1000	ms	0	32000	1282
P 2.4.11	Reactive CurrRef	0,0	%	-100,0	100,0	1459
P 2.4.12	DCVoltSuperv Lim	600	V	0	1100	1454
P 2.4.13	KytKentätaajuus	3,6	kHz	3,6	16,0	601
P 2.4.14	Control Options	32		0	65535	1463
P 2.4.15	ModulatorType	3 / Software 3		0	3	1516
P 2.4.16	ModIndexLimit	100	%	0	200	655
P 2.4.17	MCont On Delay	0,40	s	0,00	10,00	1519
P 2.4.18	RatedLineCurrent	7,0	A	0,0	14,0	113
P 2.4.19	Sync Kp Start	4000		0	30000	1530
P 2.5.1	Drooping	0,00		0,00	100,00	620
P 2.5.2	PWM Synch	0 / Disable		0	1	1501
P 2.5.3	Start Up Delay	0,00	s	0,00	327,67	1500
P 2.6.1	FB Data Out1 Sel	1104		0	65535	1490
P 2.6.2	FB Data Out2 Sel	1174		0	65535	1491
P 2.6.3	FB Data Out3 Sel	1172		0	65535	1492
P 2.6.4	FB Data Out4 Sel	1173		0	65535	1493
P 2.6.5	FB Data Out5 Sel	56		0	65535	1494
P 2.6.6	FB Data Out6 Sel	57		0	65535	1495
P 2.6.7	FB Data Out7 Sel	0		0	65535	1496
P 2.6.8	FB Data Out8 Sel	1107		0	65535	1497

Liite 8. AFE-yksikön parametrit

2(2)

P 2.6.9	FB Data IN 1 Sel	0	0	10000	876
P 2.6.10	FB Data IN 2 Sel	1161	0	10000	877
P 2.6.11	FB Data IN 3 Sel	0	0	10000	878
P 2.6.12	FB Data IN 4 Sel	0	0	10000	879
P 2.6.13	FB Data IN 5 Sel	0	0	10000	880
P 2.6.14	FB Data IN 6 Sel	0	0	10000	881
P 2.6.15	FB Data IN 7 Sel	0	0	10000	882
P 2.6.16	FB Data IN 8 Sel	0	0	10000	883
P 2.7.1	Termist.vian vas	1 / Varoitus	0	3	732
P 2.7.2	Ulkoinen vika	2 / Vika	0	3	701
P 2.7.3	InputFilter Temp	3 / Fault,DC OFF	0	3	1505
P 2.7.4	Maasulkusuojaus	1 / Fault	0	1	1332
P 2.7.5	Earth Falt Curr	50,0	% 0,0	100,0	1333
P 2.7.6	FB WatchdogDelay	2,00	s 0,00	5,00	1354
P 2.7.7	PT100 Vika vaste	2 / Vika	0	3	740
P 2.7.8	PT100 VaroitRaja	100,0	°C -30,0	200,0	741
P 2.7.9	PT100 Vika raja	130,0	°C -30,0	200,0	742
P 2.7.10	OverCurrent Resp	2 / Vika	2	3	1506
P 2.7.11	OverVoltage Resp	2 / Vika	2	3	1507
P 2.7.12	DriveOverTemp	3 / Fault,DC OFF	2	3	1517
P 2.7.13	Tulovaihevalv.	2 / Vika	0	3	1518
P 2.7.14	MCont FaultDelay	3,50	s 0,00	10,00	1521
P 2.8.1	JällkäynnViive	0,50	s 0,10	10,00	717
P 2.8.2	Yritysaika	30,00	s 0,00	60,00	718
P 2.8.3	Ylijänn Lukum.	0	0	10	721
P 2.8.4	Ylivirta Lukum.	0	0	3	722
P 2.8.5	Ulk.vika Lukum.	0	0	10	725
P 2.9.1	ControlMode	0 / AFE	0	2	1531
P 2.9.2	Base Frequency	60,00	Hz -120,00	120,00	1532
P 2.9.3	Base Current	0,0	% -200,0	200,0	1533
P 2.9.4	FrequencyDroop	0,500	Hz 0,000	10,000	1534
P 2.9.5	VoltageDroop	10,00	% 0,00	100,00	1535
P 2.9.6	Control Options2	0	0	65535	1536
P 2.9.7	AdvancedOptions2	0	0	65535	1560
P 2.9.8	AdvancedOptions4	0	0	65535	1561
P 3.1	Ohjauspaikka	1 / I/O	0	2	1403
P 6.3.4	Autom. tallennus	0 / Kyllä	0	1	820
P 6.5.2	Parametrilukko	0 / MuutSallittu	0	1	819
P 6.5.3	Aloituskysely	0 / Ei	0	1	826
P 6.5.4	Valvontasivu	0 / MuutSallittu	0	1	822
P 6.5.5	OPTAF Remove	0	0	1	832
P 6.6.1	Oletussivu	0	0	99.99.99.99.99	
P 6.6.2	Oletussivu/OM	1	0	99	
P 6.6.3	Paluuviive	60	s 0	65535	804
P 6.6.4	Kontrasti	18	0	31	805
P 6.6.5	Taustavalo	10	min 0	65535	818
P 6.7.1	Sis. jarruvastus	0 / Ei kytketty	0	1	821
P 6.7.2	Puhaltimen ohj.	3 / Calc temp	0	3	825
P 6.7.3	HMI ACK viive	200	ms 0	5000	823
P 6.7.4	HMI uud.läh.	5	1	10	824
P 6.7.5	Sine Filter	1 / Kytketty	0	1	
P 6.7.6	Pre-Charge Mode	0 / Normal FC	0	1	
P 7.1.1.1	AI1 moodi	3 / 0...10V	1	5	
P 7.1.1.2	AI2 moodi	1 / 0...20mA	1	5	
P 7.1.1.3	AO1 moodi	1 / 0...20mA	1	4	
P 7.5.1.1	Komm. protokolla	1 / Modbus RTU	1	2	
P 7.5.1.2	Slave Osoite	3	1	247	
P 7.5.1.3	Baud Nopeus	6 / 9600 Baud	1	8	
P 7.5.1.4	Parit. Tyyppi	0 / Ei tarkistusta	0	2	
P 7.5.1.5	Komm. time-out	30	s 0	3600	
P 7.5.1.6	Operointi moodi	1 / Normaali	1	1	

Lisätiedot

Taajuusmuuttajan tiedot (NCDrive Ver. 2.0.16 maaliskuu-27-2013 8:53:25)



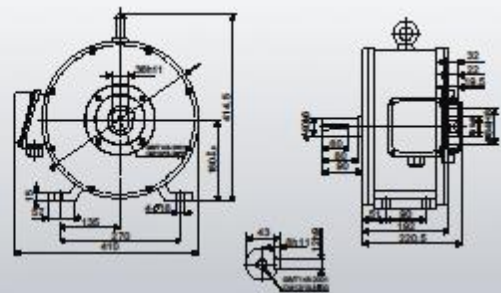
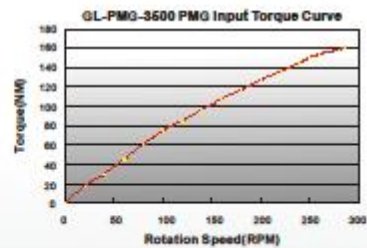
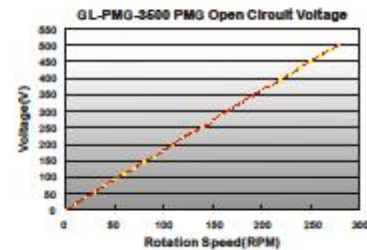
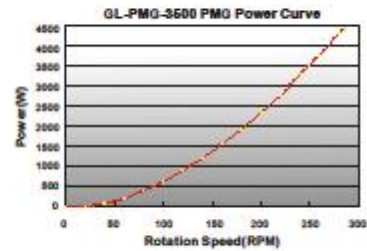
Wind Turbine Permanent Magnet Generator/ Alternator Ginlong Technologies GL-PMG-3500

World Leading Professional Wind Turbine Parts Supplier

Electrical Specification	
Rated Output Power(W):	3500
Rated Rotation Speed (RPM):	250
Rectified DC Current at Rated Output (A):	11
Required Torque at Rated Power (NM):	150
Phase Resistance (Ohms):	2.7
Output Wire Square Section (mm ²):	6
Output Wire Length (mm):	100
Insulation:	H Class
Generator configuration:	3 Phase star connected AC output
Design Lifetime:	>20 years

Mechanical Specification	
Mounting Type:	Horizontal
Weight (Kgs):	78
Starting Torque (NM):	<2.0
Rotor Inertia (Kg.m ²):	0.086
Bearing Type:	High standard NSK 6309DDU (Front) NSK 6309DDU (Rear)

Material Specification	
Shaft Material:	Nickle plated 40 Cr Steel with quenching and tempering treatment
Shaft Bearing:	High standard SKF or NSK bearing
Outer Frame Material:	Steel with anti-corrosion treatment
Fasteners (nuts and bolts):	High standard Stainless Steel
Windings Temperature Rating:	180 degrees Celsius
Magnet Material:	NdFeB (Neodymium Iron Boron)
Magnets Temperature Rating:	150 degrees Celsius
Lamination Stack:	High specification cold-rolled Steel





Frequency- and voltage monitoring

G2PM400VFA02 50Hz

Monitoring relays - GAMMA series
 in 3 phase mains following EN50438
 Detection of off-grid operation
 Quick net error recognition
 Connection of neutral wire necessary
 Supply voltage selectable via power modules or switching power supply
 2 change over contacts
 Width 22.5mm
 Industrial design



Technical data

1. Functions

Frequency monitoring in Phase L1 with fixed ON-Delay and adjustable thresholds.

WIN_f (Frequency) Monitoring the window between Min and Max

Voltage monitoring in 3 phase mains with fixed ON-Delay, adjustable thresholds and detection of off grid operation.

WIN_v (Voltage) Monitoring the window between Min and Max

Adjustable 10 minutes average threshold.

2. Time ranges

ON-Delay:	Adjustment range
fixed, 1s	
OFF-Delay:	
U ≤ U _{min}	< 200ms
U ≥ U _{max}	< 200ms
f ≤ F _{min}	< 200ms
f ≥ F _{max}	< 200ms

3. Indicators

3.1 Indicators for voltage monitoring

Red LED U_{average} ON: One of the 3 phases (L-N) has exceeded the 10 minutes-average

Red LED U_{max} ON: One of the 3 phases (L-N) has exceeded the adjusted threshold

3.2 Indicators for off grid operation

Red LED Loss of mains ON: Indication of failure

3.3 Indicators for frequency monitoring

Red LED f_{average} ON: The frequency has exceeded the adjusted threshold

3.4 Indicators for relay outputs

Yellow LED ON/OFF: Indication of relay output

4. Mechanical design

Self extinguishing plastic housing, IP rating IP40

Mounted on DIN rail TS 35 according to EN 60715

Mounting position: any

Shockproof terminal connection according to VBG 4 (PZ1 required), IP rating IP20

Tightening torque: max. 1Nm

Terminals capacity:

- 1 x 0.5 to 2.5mm² with/without multicore cable end
- 1 x 4mm² without multicore cable end
- 2 x 0.5 to 1.5mm² with/without multicore cable end
- 2 x 2.5mm² flexible without multicore cable end

5. Input circuit

Supply voltage:
12V to 400V a.c.

terminals A1-A2 (galvanically separated) selectable via power module type TR2 according to specification of power module

Tolerance:

Rated frequency:

according to specification of power module

Supply voltage:
24V DC

terminals A1-A2 (galvanically separated) selectable via switching power supply type SNT2

Tolerance: according to specification of switching power supply

Rated frequency: according to specification of switching power supply

Rated consumption: 2VA (1.5W)

Duty cycle: 100%

Reset time: 85ms

Residual ripple of DC: -

Drop-out voltage: >30% of supply voltage

Overvoltage category: III (In accordance with IEC 60664-1)

Rated surge voltage: 4kV

6. Output circuit

2 potential free change over contacts

Rated voltage: 250V a.c.

Switching capacity: 750VA (3A / 250V a.c.)

If the distance between the devices is less than 5mm!

Switching capacity: 1250VA (5A / 250V a.c.)

If the distance between the devices is greater than 5mm!

Fusing: 5A fast acting

Mechanical life: 20 x 10⁶ operations

Electrical life: 2 x 10⁶ operations

at 1000VA resistive load

max. 60/min at 100VA resistive load

max. 6/min at 1000VA resistive load

(In accordance with IEC 60947-5-1)

III (In accordance with IEC 60664-1)

Rated surge voltage: 4kV

7. Measuring circuit

Fusing:

max. 20A (In accordance with UL 508)

Frequency monitoring

Measured variable: frequency of phase L1

Measurement input:

50Hz

terminal N-L1

Switching threshold:

Max:

50.2, 50.3, 50.5, 51.0, 51.5, 52.0, 52.5, 53.0Hz

Min:

47.0, 47.5, 48.0, 48.5, 49.0, 49.5, 49.7, 49.8Hz

Voltage monitoring

Measured variable: a.c. Sinus

Measured input:

230V a.c.

terminals N-L1, N-L2, N-L3

Overload capacity:

230V a.c.

440V a.c.

Input resistance:

3N- 400/230V

1MΩ

Switching threshold U_{ic}:

Max:

105, 107.5, 110, 112.5, 115, 117.5, 120, 122.5,

72.5, 75, 77.5, 80, 82.5, 85, 87.5, 90, 92.5,

95% of U_n

G2PM400VFA02 50Hz

Technical data

10 minutes average:	OFF, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 120% of U_N
<i>Off-grid operation</i>	
Measured variable:	a.c. Sinus
Measured input:	terminals N-L1-L2-L3
Overload capacity:	3N~ 400/230V
Input resistance:	3N~ 600/346V
Switching threshold U_g :	1M Ω
Max:	105, 107.5, 110, 112.5, 115, 117.5, 120, 122.5, 125, 127,5% of U_N
Min:	72.5, 75, 77.5, 80, 82.5, 85, 87.5, 90, 92.5, 95% of U_N
Overvoltage category:	III (in accordance with IEC 60664-1)
Rated surge voltage:	4kV
8. Accuracy	
Base accuracy:	$\leq 2\%$
Adjustment accuracy:	-
Repetition accuracy:	$\leq 1\%$
Voltage influence:	-
Temperature influence:	$\leq 0.05\% / ^\circ\text{C}$ $\leq 0.001\text{Hz} / ^\circ\text{C}$
9. Ambient conditions	
Ambient temperature:	-25 to +55°C (in accordance with IEC 60068-1) -25 to +40°C (in accordance with UL 508)
Storage temperature:	-25 to +70°C
Transport temperature:	-25 to +70°C
Relative humidity:	15% to 85% (in accordance with IEC 60721-3-3 class 3K3)
Pollution degree:	3 (in accordance with IEC 60664-1)
Vibration resistance:	10 bis 55Hz 0.35mm (in accordance with IEC 60068-2-6)
Shock resistance:	15g 11ms (in accordance with IEC 60068-2-27)

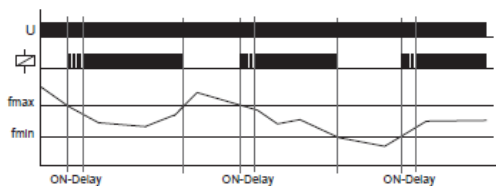
Functions

If a failure already exists when the device is activated, the output relay R remains in the OFF position and the red LEDs $U_{Failure}$, $f_{Failure}$, U_{Loss} of mains illuminate. The monitoring of frequency and voltage works parallel. In addition, the voltage quality is measured too.

Window function WIN_F (Frequency):

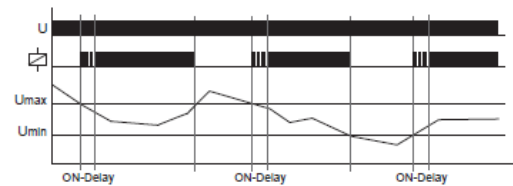
When the supply voltage U is applied, the output relay R switches into the ON position after the set interval of the tripping delay (ON-Delay) has expired and if the frequency is within the adjusted window. As soon as the frequency leaves the acceptance region, the output relay R switches into the OFF position.

The output relay R switches into the ON position again (yellow LED illuminated), after the frequency re-enters the acceptance region and the tripping delay (ON-Delay) has expired.

**Window function WIN_V (Voltage):**

When the supply voltage U is applied, the output relay R switches into the ON position after the set interval of the tripping delay (ON-Delay) has expired and if the voltage is within the adjusted window. As soon as the voltage leaves the acceptance region, the output relay R switches into the OFF position.

The output relay R switches into the ON position again after the voltage reenters the acceptance region and the tripping delay (ON-Delay) has expired.

**10 minutes average**

The 10 minute average value is used for monitoring the voltage quality. The floating average over 10 minutes will be measured for each input phase. The output relay R switches into the OFF position if the floating average is exceeded. The output relay R switches into the ON position again after the floating average re-enters the acceptance region and the tripping delay (ON-Delay) has expired.



MEASURING TRANSDUCERS FOR FREQUENCY

F-MU

General information	This operating manual is included with the equipment as standard. It contains the information required for correct usage. It is aimed at trained personnel and specialist staff who are familiar with the assembly, installation and commissioning of the product described here. If additional information is required, further details can be requested by the address given below.
Conformity	This equipment conforms to the requirements of the Directive from the Council of the European Community on the harmonisation of the member states regarding electromagnetic compatibility, EMC Directive 2004/108/EC, as well as Low Voltage Directive 2006/95/EC.
Application	The measuring transducers F-MU serve to convert a frequency into a load-independent direct-current and direct-voltage signal.
Function	The frequency to be measured gets via a voltage transformer which serves for the galvanic separation over a filter to a microcontroller. The direct voltage gained in this way will be converted into an impressed direct current and an impressed direct voltage. Both outputs are no-load resistant and short-circuit proof. Any connection between both outputs will be inadmissible. The separated auxiliary voltage will be required for "live-zero" and in case of considerable fluctuations in the rated voltage as well as in frequency ranges starting from zero.

Technical data

Input	Input quantity	frequency
	Rated values	partial range: 45-55 Hz, 48-52 Hz, 55-65 Hz, 360-440 Hz or 380-420 Hz complete range: 0-100 Hz, 0-500 Hz or 0-1000 Hz (separated aux.)
	Rated voltage	100 V, 110 V, 230 V, 400 V or 500 V +/- 20 % 2-50 V, 25-250 V or 75-690 V (separated aux.)
	Own consumption	2,5-5 VA, 1-1,5 VA in case of separated auxiliary voltage
	Overload permanent	1,2-fold
	Surge overload	2-fold, 1 sec.
Output	Output quantities	Load independent direct current and direct voltage
	Double-output	0-20mA/0-500 Ohm of load and 0-10V max. load 10 mA or 4-20mA/0-500 Ohm of load and 2-10V max. load 10 mA (aux. required)
	Option	- frequency module - a value of 0 - 5 Hz up to 0 - 10 kHz o „Open-collector“ NPN, max. 30V 100 mA loadable, impulse/break 50/50 % o Square wave signal 5V, max. 10 mA loadable, impulse/break 50/50 %
Dynamic system behaviour	Accuracy	+/- 0,5 %
	Temperature range	-15°C up to <u>±20°C up to +30°C</u> up to +55 °C
	Temperature influence	< 0,1 % at 10 K
	Influence of aux.	none
	Load influence	none
	External magnetic field influence	none (up to 400 A/m)
	Residual ripple	< 30 mV _r
	Response time	< 300 ms
	No-load voltage	max. 24 V
	Current limitation	max. 2-fold in case of saturation
	Testing voltage (working voltage up to 300V)	4 kV between input and output, input and aux., output and aux.
	Testing voltage (working voltage up to 600V)	4 kV between output and aux., 5,2 kV between input and output aux. 230 VAC and 110 VAC: 4 kV between input and aux. aux. 24 VDC, 6-30 V AC/DC and 36-265 V AC/DC: 5,2 kV between aux. and input
Adjustment	After taking off the plexiglass cover it is possible to adjust with the potentiometer which is named "SPAN" the final value and with the potentiometer which is named "ZERO" the zero-point (only on partial range).	

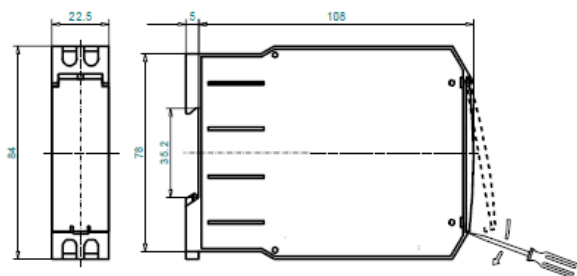
MÜLLER
ZIEGLER Electronic Group

MÜLLER + ZIEGLER GmbH & Co. KG, Industriestr. 23, D-91710 Gunzenhausen
Tel. +49 (0) 98 31.50 04 0, Fax +49 (0) 98 31.50 04 20
<http://www.mueller-ziegler.de>, e-mail: info@mueller-ziegler.de

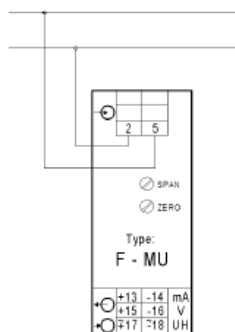
Liite 11. Tuulivoimalan käynnistämistä valvova taajuusmuunnin

2(2)

Regulations	EMC	DIN EN 61326
	Mechanical strength Electrical security	DIN EN 61010 part 1 DIN EN 61010 part 1 Housing all insulated, protection class II, at a working voltage up to 300V (network to neutral conductor) degree of pollution 2, overvoltage category CAT III at a working voltage up to 600V (network to neutral conductor) degree of pollution 2, overvoltage category CAT III
Auxiliary voltage	Accuracy, overload Separation Air gaps and creep distances System of protection Connection	DIN EN 60688 DIN EN 61010 part 1, 3,52 kV 50 Hz 10 sec. and 5,2 kV 50 Hz 10 sec. DIN EN 61010 part 1 DIN EN 60529 housing IP30, terminals IP20 DIN 43807
	Option	230 V AC \pm 20 %, 45-65 Hz, 2,5 VA only required in case of "live zero", rated values up to 0... Hz, rated voltage > 500 V and fluctuating rated voltage \pm 20 % <ul style="list-style-type: none"> 110 V AC \pm 20 %, 45-65 Hz, 2,5 VA 24 V DC, -15 % bis +25 %, 2 W, (EMC DIN EN 61326 class A) 6-30 V AC + DC or 36-265 V AC + DC, 2 VA, (EMC DIN EN 61326 class A)
Weight		190g
Dimensions		



Installation	Attachement	snap-on mounting according to DIN EN 50 022
	Electrical connection	threaded terminal end 4 mm ² max.
Connection		



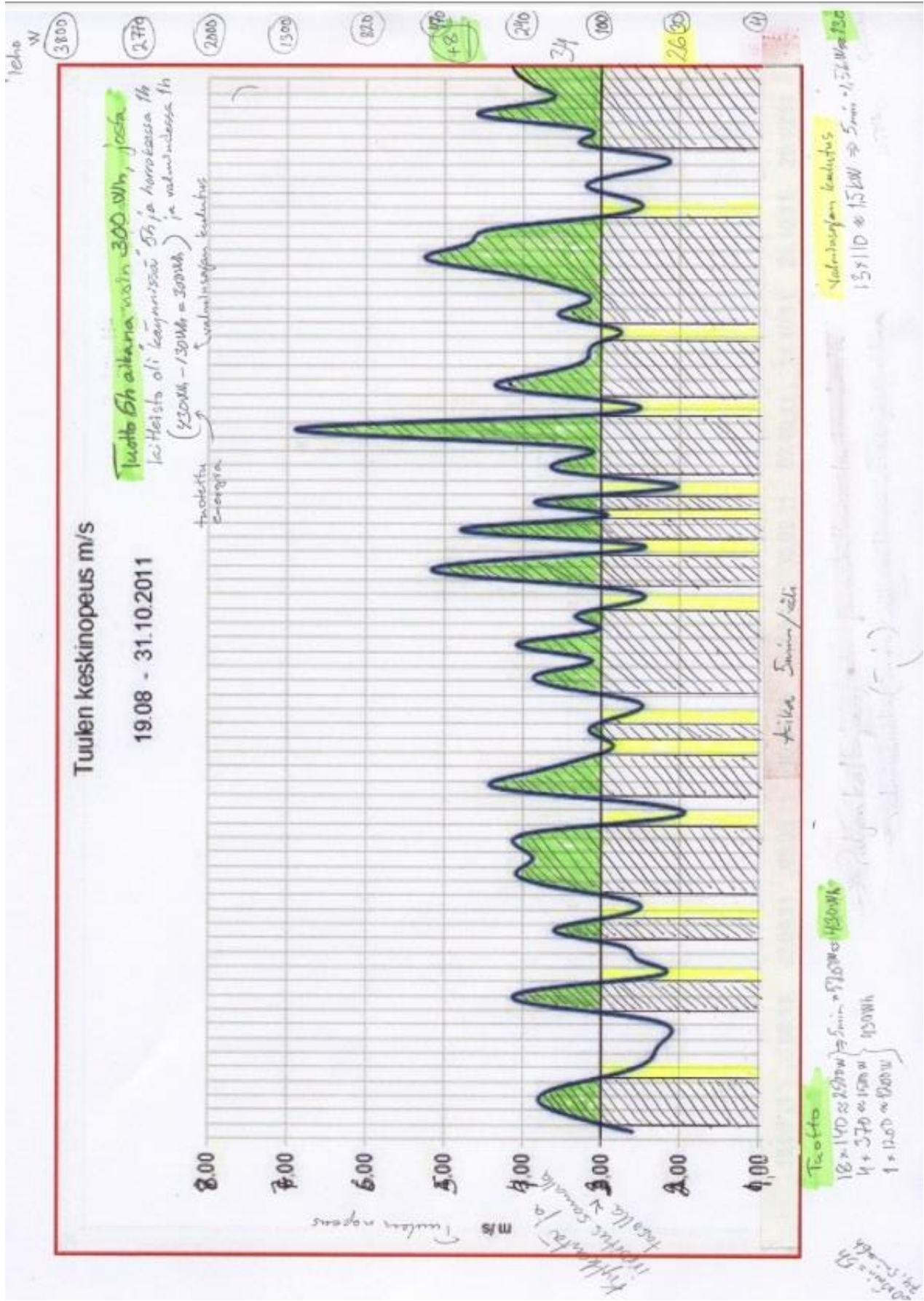
Transducers with frequency module have no further outputs.
At the clamps +13 and -14 the frequency output is available.

Warning!	Before starting any work on or in a device, it must be disconnected from the mains or switched to a voltage-free state.
Maintenance	The device is maintenance-free when used correctly.
Caution!	Servicing or maintenance work must only be carried out by trained specialist personnel.

**MÜLLER
ZIEGLER** 

MÜLLER + ZIEGLER GmbH & Co. KG, Industriestr. 23, D-91710 Gunzenhausen

Liite 12. Tuulenopeuskäyrä 3 m/s



Liite 13. Tuulenopeuskäyrä 4 m/s

