

Jarno Kantonen

TUTKIMUS VARAVOIMAKONEEN KÄYTÖSTÄ SÄHKÖVERKON
TUKEMISESSA

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2014



TUTKIMUS VARAVOIMAKONEEN KÄYTÖSTÄ SÄHKÖVERKON TUKEMISESSA

Kantonen, Jarno
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2014
Ohjaaja: Nieminen, Esko
Sivumäärä: 29
Liitteitä: 7 kpl

Asiasanat: sähköverkot, varavoima, generaattorit

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä selvitys Tampereen Sähköverkko Oy:n omistaman 900 kVA:n hinattavan dieselgeneraattorin soveltuvuudesta Teiskon alueen sähköverkon häntien varasyöttöjärjestelmänä vikatilanteita varten.

Tutkimus tehtiin, koska Tampereen Sähköverkko Oy:n edustajat olivat jo pari vuotta pohtineet alueen varasyötön mahdollisuutta vikatilanteessa, mutta yrityksellä ei ole ollut resursseja käytettävissä itse selvityksen tekemiseen.

Työssä otettiin selvää mahdollisista ongelmista kyseisen varavoimakoneen käytössä ja tutkittiin kaikenlaisia tekijöitä, joita pitäisi ottaa huomioon edellä mainitussa tilanteessa. Tarvittavien suureiden laskemisen tukena hyödynnettiin Tekla NIS – verkkotietojärjestelmää, jonka antamia tuloksia verrattiin käsin laskettuihin arvoihin.

Työn seurauksena on selvitetty, että kyseisen varavoimakoneen käyttö on sähköteknisesti mahdollista. Itse toteutus vaatii kuitenkin vielä suunnittelua käytön, ohjeistuksen ja asennuksien suhteen.

STUDY ON A BACKUP GENERATOR SUPPORTING AN ELECTRIC GRID

Kantonen, Jarno

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

May 2014

Supervisor: Nieminen, Esko

Number of pages: 29

Appendices: 7

Keywords: electricity, backup, generators

The purpose of this thesis was to study the suitability of a 900 kVA towable diesel generator, owned by Tampereen Sähköverkko Oy as a backup power supply system in Teisko area.

The study was conducted because the representatives of Tampereen Sähköverkko Oy had been considering about the possibility of using the aforementioned backup generator in the area for a couple years already, but they did not possess the resources available to fund such a study.

All kinds of possible problems were studied for the implementation of the backup generator. Different factors and variables which should be taken into account were also studied. Tekla Network Information System (NIS) was utilized to support the necessary calculations which were then compared to the results from hand calculation.

As a result of this thesis, it has been determined that it is electrotechnically possible to use the backup generator. However, the implementation will still require planning in regard to its usage, instructions and installations.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	LÄHTÖKOHDAT.....	7
2.1	Tampereen Sähköverkko Oy /1/	7
2.2	Varavoimakone	8
2.2.1	Yleistä varavoimakoneista.....	9
2.2.2	Dieselmoottori	9
2.2.3	Generaattori	9
2.3	Kohde.....	10
2.3	Muuntajat	11
3	TYÖN TAVOITTEET	11
4	TOTEUTTAMINEN	12
4.1	Työn aloitus	12
4.2	Käyttötilanne.....	12
4.3	Oikosulkuvirrat	13
4.3.1	Théveninin menetelmä	14
4.4	Maasulkuvirta	19
4.5	Keskijänniteverkon suojaukset	20
4.6	Tekla NIS	21
4.6.1	Varavoimakoneen kattama alue	22
4.7	Sähkön laatu.....	24
5	TULOKSET	26
6	YHTEENVETO	26
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni toimeksiantajana oli Tampereen Sähköverkko Oy. Heiltä saamani toimeksiannon tavoitteena oli selvittää heidän jo valmiiksi omistaman, näennäisteholtaan noin 900 kVA:n hinattavan dieselgeneraattorin soveltuvuus varavoimakoneena Teiskon alueen sähköverkon tukemiseen jakelukatkoksien varalle.

Työssä tutkittiin onko kyseisen varageneraattorin käyttäminen kohteessa edes mahdollista - ja mitä asioita pitäisi huomioida, jos näin tehtäisiin. Työssä käsitellään oikosulku- ja maasulkuvirran tutkiminen suojausten toimimisen kannalta sekä pienettä keskijänniteverkossa. Lisäksi työssä tutkitaan sitä, kuinka suuri alue varavoimakoneella pystyttäisiin kattamaan ja myös hieman sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä.

Sain tietää aiheesta muutaman eri yhteyshenkilön kautta ja sen jälkeen keskustelin aiheesta Tampereen Sähköverkko Oy:n suunnittelupäällikkö Kari Tappuran kanssa. Yhteyshenkilönäni toimi kuitenkin Tampereen Sähköverkko Oy:n sähkömestari, diplomi-insinööri Jouni Vanhanarkaus.

Kun sain esittelyn aiheesta, en ollut ensin varma, olisiko tämä paras aihe minulle. Se tuntui melko vaikealta ja vieraalta, mutta sain ohjaavalta opettajaltani rohkaisun - että tämä on kyllä hyvä opinnäytetyön aihe ja että vaikeimmistakin ongelmista kyllä selvittäään.

Tulevaisuuden työurani kannalta oli varmasti järkevää valita tämä aihe – työn haastavuus ja monimutkaisuus on epäilemättä vain hyödyksi oman kokemuksen ja kehityksen kannalta.

Haluan kiittää lämpimästi Tampereen Sähköverkko Oy:n edustajia ystävällisestä ilmapiiristä ja erityisesti Jouni Vanhanarkautta, joka järjesti minulle tarvittavat apuvälineet työskentelyyn sekä paljon neuvoja. Kiitokset myös ohjaavalle opettajalleni Esko Niemiselle sähköpostin kautta annetuista neuvoista ja vastauksista kysymyksiini.

2 LÄHTÖKOHDAT

2.1 Tampereen Sähköverkko Oy /1/

Tampereen Sähköverkko Oy toimii jakeluverkon haltijana pääosin Tampereen alueella. Se vastaa alueen sähköverkon suunnittelusta, rakennuttamisesta, kunnossapidosta ja käytöstä.



Kuva 1. Tampereen Sähköverkko Oy:n logo. /1/

Tampereen Sähköverkko Oy aloitti toimintansa vuonna 2005 sähkön siirtoyhtiönä Tampereen Sähkölaitoksen (joka aloitti toimintansa vuonna 1888 Suomen ensimmäisenä kunnallisena sähkölaitoksena) entisellä jakelualueella.

Vuoden 2009 alussa Tampereen Sähköverkko Oy liitettiin konserniin, joka syntyi kun Tampereen Sähkölaitos yhtiöitettiin. Uudet tytäryhtiöt Tampereen Energiantuotanto Oy, Tampereen Sähkömyynti Oy sekä Tampereen Kaukolämpö Oy syntyivät tällöin. Konserniin liitettiin myös Tampereen Vera Oy.

Taulukko 1. Tampereen Sähköverkko Oy:n tunnuslukuja vuodelta 2013. /1/

Sähkön kokonaiskulutus	1,8 TWh
Huipputeho	324 MW
Sähköasemia	13 kpl
Muuntamoita	1 463 kpl
Sähköverkkoa	3 652 km
Maakaapelointiaste	62 %
Asiakkaita	140 224
Henkilöstö	51

2.2 Varavoimakone

Kyseinen noin 900 kVA:n hinattava dieselgeneraattori tilattiin varavoimakoneeksi Voimalaite Service Oy:ltä vuoden 2006 lopussa, ja se on ollut lähes päivittäisessä käytössä pääosin huoltotöiden yhteydessä. Varavoimakoneen omistus on kuulunut Tampereen Sähköverkko Oy:lle, mutta sen hallinnointi, käyttö ja huolto on tehty Tampereen Vera Oy:n toimesta.



Kuva 2. Varavoimakoneena toimiva hinattava dieselgeneraattori.



Kuva 3. Varavoimakoneen kilpiarvot.

Varavoimakoneen tarkemmat tekniset tiedot löytyvät liitteestä 1. Kyseisessä liitteessä sekä kuvassa 3 ilmoitettu jatkuvateho [Prime Power (PRP)] tarkoittaa tehoa silloin, kun konetta käytetään jatkuvasti muuttuvan sähköisen kuorman syöttämisessä. Varavoimateho [Emergency Standby Power (ESP)] taas tarkoittaa tilannetta, jossa konetta käytetään syöttämään vaihtelevaa sähköistä kuormaa sähkökatkoksen ajaksi. Nämä käsitteet ovat mm. standardin ISO 8528 määrittämien mukaisia. (Liite 4)

2.2.1 Yleistä varavoimakoneista

Varavoimageneraattori on ulkoisella mekaanisella voimanlähteellä toimiva sähkönlähde. Generaattori voi saada käyttövoimansa traktorin voimausotosta tai sillä voi olla oma kiinteä moottori. Näille voidaan käyttää yleistä nimitystä aggregaatti. Voimanlähde on yleensä hieman yli 5 kVA:n aggregaateissa bensiinimoottori ja sitä isommissa dieselmoottori. Aggregaatti voidaan liittää kiinteään laitteistoon joko pistokytkimellä, puolikiinteästi tai kiinteästi. /2/

2.2.2 Dieselmoottori

Moottorina toimii Cumminsin valmistama nelitahtinen, kuusisynterinen turboahdettu dieselkäyttöinen moottori. Sen polttoainetankin tilavuus 1000 litraa, joka riittää noin 6-10 tunnin varavoimakäyttöön. (Liitteet 3 ja 4)

2.2.3 Generaattori

Generaattorina on Newage-Stamfordin valmistama, n. 910 kVA:n erikseen kestopagneetilla magnetoitu tahtigeneraattori. Generaattori on varustettu ylijännitesuojalla sekä automaattisella jännitteensäätäjällä, joka lisäksi suojelee generaattoria vikatilanteen aiheuttamalta ylimagnetoinnilta. Generaattorin jännitteenalenema muutostilassa on noin 15 %. (Liite 2)

2.3 Kohde

Teisko oli Tampereen pohjoiseen suuralueeseen kuuluva alle viiden tuhannen asukkaan entinen kunta. Se liitettiin Tampereen kaupunkiin taloussyistä vuoden 1972 alussa. Teiskon alueella sijaitsee nykyään Kämmenniemen, Polson, Terälahden sekä Velaatan kaupunginosat. Alueesta käytetään kuitenkin vielä nykyään yleisnimitystä Teisko. /3/

Mahdollisen jakelukatkoksen sattuessa Teiskon alueella, varavoimageneraattori suunniteltiin sijoitettavaksi Ukonjärven kytkemölle, joka sijaitsee kuvassa 4 olevan punaisen pallon osoittamassa kohdassa.



Kuva 4. Teiskon kunnan rajat vuonna 1938. /4/



Kuva 5: Ukonjärven kytkemö.

Kuva 6: Ukonjärven kytkemö sisältä.

2.3 Muuntajat

Varavoimakoneen yhteydessä on generaattorimuuntaja, jonka kautta voidaan syöttää sähköä keskijänniteverkkoon. Taulukossa 2 on tämän lisäksi listattu kaksi alueella sijaitsevaa jakokeskusmuuntajaa, joita on käytetty oikosulkuvirtojen laskemisessa.

Taulukko 2. Muuntajien kilpiarvot.

	Generaattorimuuntaja	M1538	M1539
Mitoitusteho	800 kVA	50 kVA	30 kVA
Un1	20 kV	20,5 kV	20 kV
Un2	400 V	410 V	400 V
Kytkentäryhmä	Dyn11	Dyn11	Yzn11
Kuormitushäviöt	7500 W	885 W	780 W
Oikosulkuresistanssi	0,938 %	1,77 %	2,6 %
Oikosulkuimpedanssi	6 %	4,2 %	4 %
Tyhjäkäyntihäviöt	1900 W	140 W	140 W

3 TYÖN TAVOITTEET

Tavoitteena tutkimuksessa on jo mainittu selvitys varavoimakoneen soveltumisesta Teiskon alueen vikatilanteen varasyötöksi. Nykyisellä laitteistolla on toistaiseksi pystytty takaamaan riittävä sähkön laatu ja katkottomuus kyseisellä alueella, mutta vikatilanteessa seurauksena voisi olla pitkä sähkökatkos tai ainakin sähkön säännöstelyä alueen asukkaille.

Työn tarkoituksena oli tutkia varavoimakoneen käytön mahdollisuus sähköteknisestä näkökulmasta. Tämä rakentaisi pohjan lisäsuunnitteluille, jotka toimeenpantaessa mahdollistaisivat varasähkönjakelun alueella tapahtuvan pitkän sähkökatkon tai säännöstelyn sijaan.

4 TOTEUTTAMINEN

4.1 Työn aloitus

Työn hyväksytyäni joulukuussa 2013, kävin toimeksiantajan toimistolla ja sain tarvittavan lähdemateriaalin ja perehdytyksen työn aloittamiseksi. Nämä sisälsivät mm. karttoja alueesta, tietoja varavoimakoneesta, muuntajista sekä alueen keski- ja pienjänniteverkon rakenteesta ja ominaisuuksista.

Tämän jälkeen otimme ensimmäiseksi tavoitteeksi laskea ja selvittää yhden esimerkkikohteen luona tapahtuvan oikosulun virran arvot ja suojausten toimiminen varavoimakonetta käytettäessä.

Huomasin pian, että tämän ensimmäisen askeleenkin selvittäminen tuntui aluksi erittäin hankalalta, koska en ollut varma mitä kaikkia seikkoja tässä vaiheessa pitää jo ottaa huomioon. Otetaanko jännitteenalenema ja ilman lämpötila huomioon? Entä virran kuormitus-, vuoto- ja koronahäviöt? Miten virrat käyttäytyvät muuntajien eri kytkentätavoissa? Kaikkien näiden asioiden miettiminen teki ajatusten kasassa pitämisen vaikeaksi.

4.2 Käyttötilanne

Vikatilanteen sattuessa Teiskon alueella varavoimakone hinattaisiin paikan päälle ja sen syöttö liitettäisiin kiinni Teiskon sähköasemalta kytkemölle tulevan syötön tilalle. Varavoimakone on varustettu esilämmittimellä, joten sen pitäisi käynnistyä lämpötilasta riippumatta n. 4-10 sekunnissa ja saavuttaa kokonaiskäyntitehonsa noin minuutissa.

Koska varavoimakonetta käytettäessä kulutuspuolen potentiaalitietoa ei pystytä mittaamaan, tahdistuksen käyttö ei tässä tapauksessa ole mahdollista (tahdistus tarkoittaa menettelyä, jossa saarekkeena toimivan vaihtosähkölähteen

tahdistussuureet sovitetaan niin lähelle vertailuverkon sähkön ominaisuuksia, että saareke voidaan kytkeä vertailuverkon rinnalle /5/). Varavoimakone toimisi tällöin itsenäisesti saarekekäytössä, eikä se olisi missään vaiheessa varsinaisen sähköverkon kanssa rinnan.

Jos varavoimakone kytkettäisiin sähköverkon kanssa rinnan ilman oikeaa tahdistusta, seuraus olisi melko vaarallinen mm. seuraavista syistä: /5/

- suuri oikosulkuvirta kytkentäkohdassa
- suuri mekaaninen rasitusisku koneikossa
- suuri ylijännitepiikki generaattorin napapyörässä

Kun varavoimakone kytketään syöttämään verkkoa saarekkeena, on huomioitava seuraavanlaisia jännitteen laatuun vaikuttavia tekijöitä, joita syntyy alkuhetkellä kuorman tyypistä riippuen:

- askelmaiset kuormitusmuutokset
- moottoreiden käynnistymiset
- muuntajien kytkentävirtasysäykset
- erilaiset lataus- ja varausvirrat jännitteen palauduttua

Nämä tekijät sekä jaksottaisten käyttöjen aiheuttamat jännite- ja taajuusvaihtelut tulee ottaa huomioon varavoimakoneen syöttämän verkon mitoittamisessa ja kuormitusten ryhmittelyssä. /5/

4.3 Oikosulkuvirrat

Tässä työssä tutkitaan oikosulkuvirtaa lähinnä suojausten toimimisen kannalta. Koska varavoimageneraattoria käytettäessä ei saavuteta yhtä suuria oikosulkuvirtoja kuin normaalin verkkosyötön aikana, voidaan olettaa, että laitteiden ja johtojen dynaamisia ja termisiä oikosulkukestoisuuksia ei ylitetä.

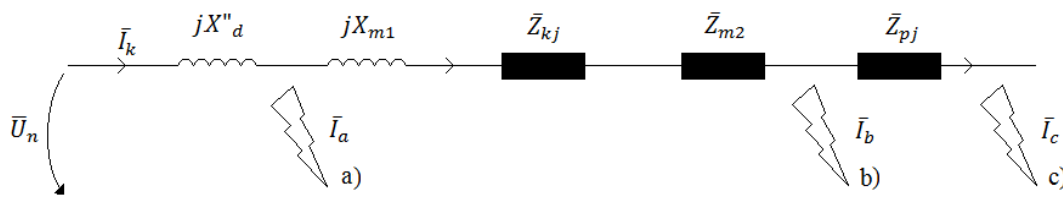
Päädyimme toimeksiantajan avustuksella käyttämään loppujen lopuksi melko yksinkertaisia oikosulkulaskujen kaavoja. Hän tutustutti minut myös suhdelaskentaan (englanniksi ”per-unit system”), joka on kätevä tapa käyttää etenkin silloin, kun laskuihin sisältyy muuntajia. Esimerkiksi generaattorin datalehdessä (Liite 2) olevat reaktanssien arvot on annettu suhteellisarvoina. Opiskelin aiheesta lisää itsenäisesti.

4.3.1 Théveninin menetelmä

Théveninin menetelmä soveltuu ominaisoikosulkutehooon perustuvaa menetelmää tarkempaan oikosulkuvirtojen laskemiseen, jossa saadaan selville myös vaihekulmat. Théveninin teoreeman nojalla kaikki komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ns. ekvivalenttisella jännitelähteellä. /6/

Laskelmien tarkoituksena on selvittää pienin mahdollinen oikosulkuvirran arvo suojausten toimimisen varmistamiseksi. Lisäksi selvitetään suurin mahdollinen oikosulkuvirran arvo johtojen kuormitettavuuden kestävyuden tarkistamiseksi.

Työssä laskettiin kolmivaiheinen oikosulkuvirta erään kaukana sijaitsevan esimerkkikohteen luona. Kartasta mitattiin johtojen pituudet ja tehtiin sijaiskytkentä muuntajapiiristä oikosulkulaskuja varten. Sijaiskytkennässä muuntajapiiri on esitetty yksinkertaistetulla tavalla, jossa muuntajien ja johtojen reaktanssit ja impedanssit on esitetty vastaavasti keloina sekä vastuksina.



Kuva 7. Varavoimakoneen syöttämän verkon sijaiskytkentä oikosulkulaskentaa varten.

Siirtoverkkolaskelmat tulee tehdä osoitinlaskentana, sillä jännitteiden itseisarvojen lisäksi merkitystä on myös jännitteiden välisellä kulmalla. /7/

”Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa valitaan verkon kytkentätilanne vastaamaan minimiä. Jännitekerroin c valitaan kyseisen jänniteportaan maksimia vastaavaksi. Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa lisäksi oletetaan moottorit seisoviksi ja johtimille käytetään suurinta käyttölämpötilaa vastaavaa resistanssia.” /6/

Taulukko 3. Standardin IEC 60909- mukainen jännitekerroin c . /6/

Nimellisjännite U_n	Maksimioiko- sulkuvirta C_{max}	Minimioiko- sulkuvirta C_{min}
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	1.00 1.05	0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

Generaattorin muutostilan aikavakio τ'_d on 185 millisekuntia (Liite 2), joten suojarleet (esitetty kappaleessa 4.3) toimivat ennen kuin muutostilaan päästään. Oikosulkulaskuissa käytetään tämän vuoksi alkutilan arvoja. Alkutilan aikavakio τ''_d on 25 ms.

Generaattorin pitkittäisen tahtireaktanssin alkuarvo X''_d saadaan laskettua seuraavalla kaavalla, jossa x''_d on generaattorin datalehtisestä (Liite 2) saatu suhteellinen alkureaktanssin arvo, U_n on generaattorin nimellisjännite ja S_n on generaattorin nimellinen pätöteho.

$$X''_d = x''_d \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = 0,16 \cdot \frac{(231 \text{ V})^2}{910 \text{ kVA}} = 9,38 \text{ m}\Omega$$

Lasketaan alkuoikosulkuvirta vaihekulmineen oikosulkupisteessä a), joka on heti generaattorin jälkeen ja ennen muuntajaa. Kyseisessä kohdassa halutaan selvittää

laitteiden ja johtojen oikosulkukestoisuus, joten kaavassa käytetään taulukon 3 mukaista maksimioikosulkuvirran kerrointa c_{max} .

$$\bar{I}_a = \frac{c_{max} \cdot \bar{U}_n^2}{jX''_d} = \frac{1,10 \cdot 231 \text{ V} \angle 0^\circ}{j9,38 \text{ m}\Omega} = 27,09 \text{ kA} \angle -90^\circ$$

Generaattorimuuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi x_k saadaan laskettua seuraavalla kaavalla, jossa z_k on muuntajan tiedoista saatu suhteellinen oikosulkuimpedanssi ja r_k suhteellinen oikosulkuresistanssi.

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{(6,0 \%)^2 - (0,938 \%)^2} = 5,93 \%$$

Lasketaan generaattorimuuntajan reaktanssi jX_{m1} .

$$jX_{m1} = x_k \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = j0,06 \cdot \frac{(400 \text{ V})^2}{800 \text{ kVA}} = j12 \text{ m}\Omega$$

Lasketaan jakelumuuntajan M1539 suhteellinen oikosulkureaktanssi x_k .

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{(4,0 \%)^2 - (2,6 \%)^2} = 3,04 \%$$

Lasketaan jakelumuuntajan nimellinen impedanssi.

$$Z_n = \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{(400 \text{ V})^2}{30 \text{ kVA}} = 5,33 \Omega$$

Lasketaan jakelumuuntajan oikosulkuresistanssi R_k , oikosulkureaktanssi X_k ja näistä saatu oikosulkuimpedanssin kulmamuoto \bar{Z}_{m2} .

$$R_k = r_k \times Z_n = 2,6\% \cdot 5,33 \Omega = 139 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = x_k \times Z_n = 3,04 \% \cdot 5,33 \Omega = 162 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{m2} = R_k + jX_k = 139 \text{ m}\Omega + j162 \text{ m}\Omega = 213 \text{ m}\Omega \angle 49,5^\circ$$

Lasketaan keskijännitejohtojen impedanssi kulmamuodossa. Määritelty kyseisten johtojen ominaisuuksista (Liite 5) ja kartasta mittaamalla saaduista pituuksista.

$$\bar{Z}_{kj} = R_{kj} + jX_{kj} = (1,79 + j1,32)\Omega = 2,22 \Omega \angle 36,4^\circ$$

Lasketaan generaattorimuuntajan muuntosuhde μ redusointia varten.

$$\mu = \frac{U_{n1}}{U_{n2}} = \frac{20 \text{ kV}}{0,4 \text{ kV}} = 50$$

Redusoidaan aiemmin saatu keskijännitejohtojen impedanssi muuntajan 400 voltin toisiopuoleen.

$$\bar{Z}'_{kj} = \frac{\bar{Z}_{kj}}{\mu^2} = \frac{2,22 \Omega \angle 36,4^\circ}{50^2} = 0,89 \text{ m}\Omega \angle 36,4^\circ$$

Lasketaan pienjännitejohtojen impedanssi vaihekulmineen. Määritelty kyseisten johtojen ominaisuuksista (Liite 5) ja kartasta mittaamalla saaduista pituuksista.

$$\bar{Z}_{pj} = R_{pj} + jX_{pj} = (0,539 + j0,0679)\Omega = 543 \text{ m}\Omega \angle 7,2^\circ$$

Lasketaan kokonaisimpedanssi vaihekulmineen pisteessä b).

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{kokb} &= jX_d'' + jX_{m1} + \bar{Z}'_{kj} + \bar{Z}_{m2} \\ &= (j9,38 + j12,0 + 0,89 \angle 36,4^\circ + 213 \angle 49,5^\circ) \text{ m}\Omega \\ &= 230,5 \text{ m}\Omega \angle 52,9^\circ \end{aligned}$$

Lasketaan oikosulkuvirta vaihekulmineen pisteessä b), joka on heti jakelumuuntajan jälkeen. Koska tässä kohdassa halutaan selvittää suojausten toimiminen, käytetään laskussa taulukon 3 mukaista minimioikosulkuvirran kerrointa c_{\min} .

$$\bar{I}_b = \frac{c_{\min} \cdot \bar{U}_n}{\bar{Z}_{kokb}} = \frac{1,00 \cdot 231 \text{ V} \angle 0^\circ}{230,5 \text{ m}\Omega \angle 52,9^\circ} = 1,05 \text{ kA} \angle -52,9^\circ$$

Lasketaan sijaiskytkennän kokonaisimpedanssi vaihekulmineen.

$$\bar{Z}_{kok} = \bar{Z}_{kokb} + \bar{Z}_{pj} = 230,5 \text{ m}\Omega \angle 52,9^\circ + 543 \text{ m}\Omega \angle 7,2^\circ = 723,3 \text{ m}\Omega \angle 20,4^\circ$$

Lasketaan oikosulkuvirta vaihekulmineen pisteessä c), joka on sijaiskytkennän loppupäässä. Käytännössä tämä on esim. asiakkaan luona tapahtuvan oikosulun virta.

$$\bar{I}_c = \frac{c_{min} \cdot \bar{U}_n}{\bar{Z}_{kok}} = \frac{1,00 \cdot 231 \text{ V} \angle 0^\circ}{723,3 \text{ m}\Omega \angle 20,4^\circ} = 335 \text{ A} \angle -20,4^\circ$$

Verkkotietojärjestelmän (Tekla NIS) laskenta antaa samansuuruisen arvon oikosulkuvirralle pisteessä b) (Kuva 8), joten voidaan olettaa, että varavoimakonetta käytettäessä pienjänniteverkon suojaus toimii kuten normaalissa sähköverkon syötössä.

T U L O K S E T P J - L Ä H D Ö I L L E (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)							
Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Jakokeskus/ Rinn.lähtö	Sulake (A)	Ik3max (A)	Ik1min (A)	A (%)	B (%)
0954-30	0954-30		0	1078	1379		0
01	Jokiniemt kaakko ja Jokin etelä	M1539-PK	63	1078	290		
01A	Jokiniementie kaakko	M1539-PK	63	1078	290		
01B	jokiniemi	M1539-PK	63	1078	416		

Kuva 8. Tekla NIS –ohjelman laskennasta saadut oikosulkuvirrat.

Myös pisteessä c) saatu 335 A virta on selkeästi riittävä asiakkaiden luona olevien 63 A suojausten laukaisemiseksi. Lisäksi laitteiden ja johtojen kestoisuuden kannalta huomattiin, että pisteessä a) saatu 27,09 kA ei ylitä normaalin verkkosyötön oikosulkuvirtoja.

Koska kolmivaiheisen oikosulun lasketut arvot ovat lähellä verkkotietojärjestelmän antamia normaalin sähköverkkosyötön oikosulkuvirtojen arvoja, voidaan olettaa, että arvot ovat riittäviä myös yksi- tai kaksivaiheisessa oikosulussa. Lisäksi verkkotietojärjestelmän laskemat normaalitilan oikosulkuvirrat eivät poikkea merkittävästi tässä lasketun varasyöttötilanteen oikosulkuvirroista, joten suojausten oletetaan toimivan muissakin kohteissa.

4.4 Maasulkuvirta

Teiskon sähköasemalla on käytössä päämuuntajan tähtipisteen ja maan välille kytketty sammutuskuristin, jolla alueen kapasitiivinen maasulkuvirta kompensoidaan (sammutettu verkko). Mutta koska varavoimakonetta käytettäisiin saarekkeena, se ei ole yhteydessä sähköasemalla sijaitsevaan sammutuskuristimeen, jolloin kyseessä on maasta erotettu verkko. Maasulkuvirta riippuu suoraan varavoimakoneen syöttämän verkon laajuudesta.

Verkon maasulkuvirran suuruus on käytännöllisesti katsoen riippumaton siitä, missä kohdassa verkkoa maasulku tapahtuu. Avojohtoilla voidaan käyttää seuraavaa likiarvokaavaa maasulkuvirran suuruuden arvioimiseksi. Yhtälö antaa arvon käytännössä täysin riittävällä tarkkuudella. /8/

$$I_e \approx \frac{U}{\text{kV}} \cdot \frac{l}{\text{km}} \text{ A} \approx \frac{20 \text{ kV} \cdot 35 \text{ km}}{300} \approx 2,33 \text{ A}$$

missä U on pääjännite ja l on kolmivaihejohtojen muodostaman galvaanisesti yhtenäisen verkon kokonaispituus /8/. Tekla NIS -ohjelmasta saatu huippukuormalla lasketun verkon laajuus oli 26,3 km, joten tässä on käytetty reilusti laajennettua arviota.

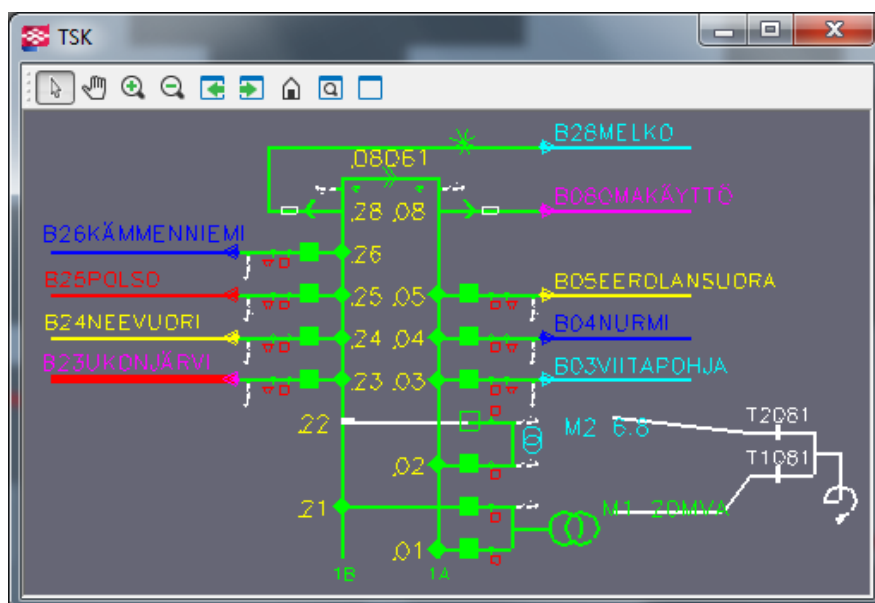
Yhtälö vastaa maakapasitanssin arvoa $C_0 = 6,13 \text{ nF/km}$ vaihetta kohti ja sisältää myös muuntajien maakapasitanssit /8/. Teiskon alueella yleisin ilmajohto on päällystetty avojohto PAS 70, jonka maakapasitanssi on 5 nF/km (Liite 5), joka on lähellä likiarvokaavan käyttämää lukua.

Tuloksesta voidaan todeta, että koska PAS 70 ilmajohtolla on erityisen pieni maakapasitanssi, merkittävän suurta maasulkuvirtaa ei tilanteessa syntyisi. Pieni maasulkuvirta asettaa kuitenkin haasteita maasulkusuojauksen toteutukselle. Maasulkusuojaus voitaisiin toteuttaa esim. laukaisevalla nolajännitesuojauksella.

4.5 Keskijänniteverkon suojaukset

Oiko- tai maasulun tapahduttua on vikaantunut verkon osa erotettava muusta järjestelmästä, jotta se ei aiheuta vaaraa eikä oikosulkuvirta tuhoa laitteita. /9/

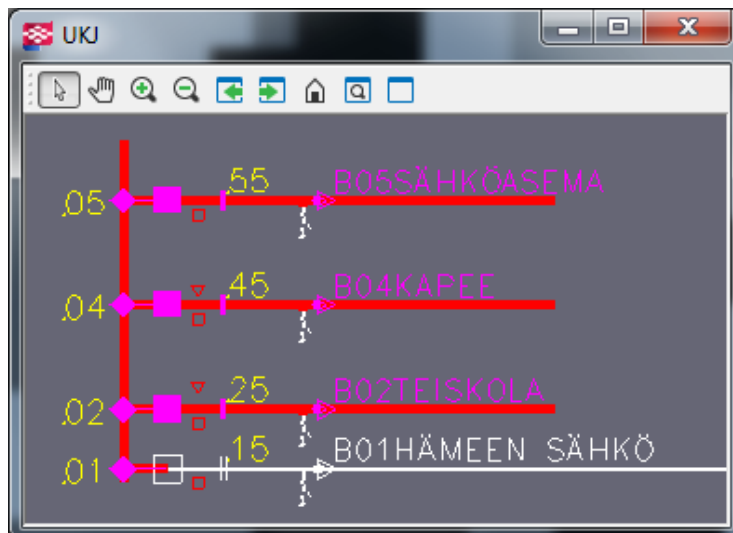
Teiskon keskijänniteverkon suojaus on toteutettu sähköasemalla ja kytkemöillä sijaitsevilla releillä. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty, minkä suuruisille virran arvoille pikalaukaisu (momenttiporras) $I_{>>}$ ja aikalaukaisu (hidastettu porras) $I_{>}$ on asetettu tapahtumaan.



Kuva 9. Teiskon sähköaseman lähdöt.

Taulukko 4. Teiskon sähköaseman relesetukset.

Lähtö	Ylivirta				Huomioitavaa
	$I_{>}$	$t_{>}$	$I_{>>}$	$t_{>>}$	
B21 Muuntaja 1	500 A	1,2 s	1000 A	0,15 s	Pääsyöttökenno
B22 Muuntaja 2	250 A	0,7 s	500 A	0,15 s	Varasyöttökenno
B23 Ukonjärvi	225 A	0,5 s	1500 A	0,2 s	
	Maasulku				
	$I_0 >$	$t_0 >$	$I_0 \gg$	$t_0 \gg$	
B23 Ukonjärvi	4,9 A	0,5 s			



Kuva 10. Ukonjärven kytkemön lähdöt.

Taulukko 5. Ukonjärven kytkemön relesetukset.

Lähtö	Ylivirta			
	I>	t>	I>>	t>>
B05 Sähköasema	120 A	2 s		
B02 Teiskola	150 A	0,8 s		
Maasulku				
	I ₀ >	t ₀ >	I ₀ >>	t ₀ >>
B02 Teiskola	5 A	0,7 s		

Keskijänniteverkkoja syöttävien sähköasemien kaikki kennot ovat releistettyjä. Sen sijaan itse keskijänniteverkossa välikatkaisijoita tai kytkemöitä on vähän. /10/

4.6 Tekla NIS

Tekla Oyj on vuonna 1966 perustettu suomalainen ohjelmistoyritys. Teklasta tuli osa Trimble –konsernia vuoden 2011 heinäkuussa ja tämän vuoksi verkkotietojärjestelmä Tekla NIS (alkuperäiseltä nimeltään Tekla Xpower) on nykyisin nimeltään Trimble NIS /11/. Tässä työssä käytetty ohjelma on kuitenkin Tekla NIS, joten työssä käytetään vielä tätä vanhaa nimitystä.

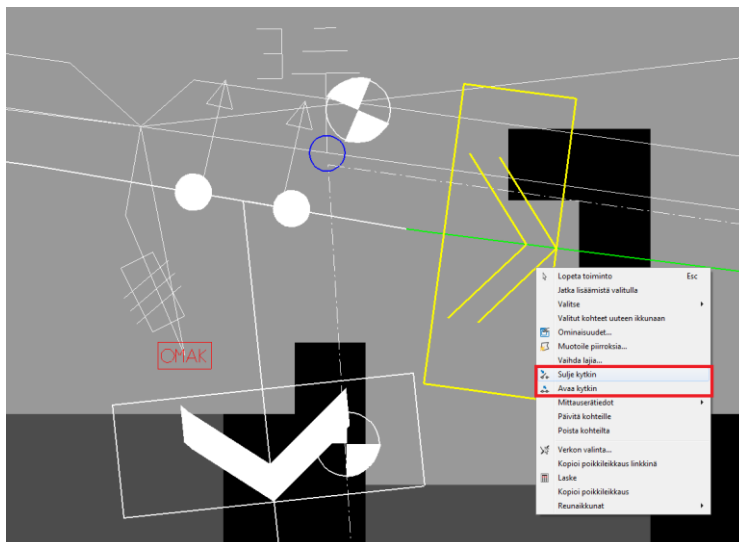
Tekla NIS on verkkotietojärjestelmä energia- ja vesihuoltoyritysten liiketoimintaan. Järjestelmä muodostuu älykkästä verkkomallista ja siihen integroiduista

paikkatietotoiminnallisuuksista. Verkkotopologia ja tuki kohteiden elinkaarelle ovat mallin sisäänrakennettuja ominaisuuksia. /11/

Tampereen Sähköverkko Oy käyttää kyseistä ohjelmaa verkkotieto- ja käytöntukijärjestelmänä. Tässä työssä ohjelmaa käytettiin tukemaan käsin laskemalla saatuja tuloksia sekä arvioimaan varavoimakoneen kattamaa aluetta.

4.6.1 Varavoimakoneen kattama alue

Tekla NIS –ohjelmaa käyttäen arvioitiin, kuinka suuri alue varavoimakoneella pystytään kattamaan. Varavoimakonetta ei pystytty simuloimaan ohjelmassa, mutta laskenta tehtiin käyttäen nykyistä sähkönsyöttöä Teiskon sähköasemalta. Sähköasemalta tulevan syöttölinjan varrelta irrotettiin muuntopiirejä avaamalla niiden erottimet (Kuva 11). Lisäksi arvioitiin, miltä etäisyydeltä avataan erottimet sähköverkon muissa haaroissa. Liitteessä 6 on esitettyä koko Teiskon alueen sähköverkko Tekla NIS –ohjelmassa.



Kuva 11. Erottimien avaaminen ja sulkeminen Tekla NIS -ohjelmassa.

Kun ensimmäinen alueen arviointi oli tehty, suoritettiin ohjelmassa laskenta ”Tehonjako – aikaväli” –laskentatapaa käyttäen. Pian kuitenkin huomattiin, että laskennan aikaväli määräytyy oletusasetuksena senhetkisen päivämäärän mukaan -

tätä ei haluttu käyttää, vaan edellisen vuoden kulutustiedoista selvitettiin ajankohta, jolloin kuormitus oli alueella suurin.

Tämän jälkeen kyseinen aikaväli syötettiin laskennan optioihin ja laskenta suoritettiin uudelleen. Saatu tehontarve oli tarpeettoman pieni tälle generaattorille, joten aluetta laajennettiin avaamalla hieman kauempina sijaitsevia erottimia.

Kun kyseisen lähdön maksimiteho (Pmax, kuva 12) oli noin 10 %:n sisällä varavoimakoneen syöttökapasiteetista, saatiin käsitys, millaisen alueen koneella pystyttäisiin kattamaan sähkönkulutuksen ollessa huipussaan. Tarkempi kuva saadusta alueen arviosta on liitteessä 7.

K J - T E H O N J A K O L A S K E N T A - M I T O I T U S												
L Ä H T Ö: B23UKONJÄRVI												
S Ä H K Ö A S E M A: TSK												
Muuntaja: TSK-M1 20MVA												
Mitoitusjännite (kV): 21.0												
Muuntajan mitoitusaste (MVA): 20												
KIRJASTO	:	TKS										
TILASTOLLINEN VARMUUS	:	85 % (1.037)										
KUORMITUKSEN KASVUKERROIN	:	1.00										
LASKENTAJÄNNITE	:	Syöttävältä muuntajalta										
LASKETUT TUNNIT	:	Koko vuorokausi										
Huipun käyttöaika (t): 3472												
Häviöhuipun käyttöaika (t): 1798												
Y H T E E N V E T O (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)												
Kohde	Tunnus	K-aste (%)	Umin (kV)	Uh (%)	Ph (kW)	Eh (MWh)	K(Ph) (€)	K(Eh) (€)	K(yht) (€)			
Verkko		13	20.37	1.11	7.21	12.96	0	454	454			
T U L O K S E T K J - L Ä H D Ö I L L E (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)												
Lähdön tunnus	Sähköaseman tunnus	Muuntajan tunnus	Unim (kV)	Ulas (kV)	Imax (A)	Pmax (kW)	Umin (kV)	Kul lkm	Energia (MWh)	A (%)	B (%)	C (%)
B23UKONJÄRVI	TSK	TSK-M1 20MVA	21.0	20.6	20	704	20.37	404	2444			
B02TEISKOLA	UKJ	TSK-M1 20MVA	21.0	20.6	6	221	20.35	127	641			
B04KAPEE	UKJ	TSK-M1 20MVA	21.0	20.6	8	287	20.33	126	1022			
B05SÄHKÖASEM	UKJ	TSK-M1 20MVA	21.0	20.6	14	487	20.37	253	1663			
JOHTOPITUUDET												
	Avo	Riippu	Maa	Vesi	PAS	Muu	Eimäär	Summa				
LÄHTÖ: B23UKONJÄRVI	26300	1107	136	416	5163	0	51	33173				
LÄHTÖ: B02TEISKOLA	8880	0	0	0	0	0	5	8885				
LÄHTÖ: B04KAPEE	12138	17	1920	0	1031	0	11	15117				
KOKO VERKKO:	47318	1124	2056	416	6194	0	67	57175				

Kuva 12. Tehonjaon mitoitus Tekla NIS –ohjelmassa.

Käytännössä kuitenkin varavoimakonetta käytettäessä sen kattama alue katsottaisiin senhetkisen tilanteen ja kulutuksen mukaan. Alue mitoitettaisiin ensiksi siten, että

varavoimakoneen kapasiteetti ylittäisi reilusti arvioinnin, ja tämän jälkeen muuntopiirejä voitaisiin yksitellen lisätä varavoimakoneen syöttöpiiriin. Esimerkiksi vikatilanteen sattuessa kesällä, kuormitus olisi paljon pienempi ja silloin varavoimakone pystyisi kattamaan huomattavasti laajemman alueen.

4.7 Sähkön laatu

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sähkön laatua varasyötön kannalta vain lyhyesti. Yksi tarkastelemisen arvoisista asioista on jännitteenalenema.

Tarkistetaan jännitteenalenema pisimmällä varavoimakoneen syöttämällä matkalla. Selvitetään ensiksi vaihekulma ja kuormitusvirran sinikomponentti varavoimakoneen generaattorista saatujen tietojen (Liite 2) perusteella:

$$\begin{aligned}\cos \varphi &= 0,8 \\ \cos^{-1}(0,8) &= 36,87 \\ \sin(36,87) &= 0,6\end{aligned}$$

Lasketaan verkon kuormitusvirta I jännitetasolla 20 kV:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{800 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV} \cdot \cos(36,87)} = 28,87 \text{ A}$$

Jakeluverkkolaskelmissa riittävän tarkat jännitteenalenema-arvot ΔU vaihejännitteelle saadaan likimääräisellä lausekkeella: /7/

$$\Delta U = I \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)$$

jossa:

I on kuormitusvirta [A]

l on johtimen pituus [km]

r on johtimen resistanssi [Ω]

x on johtimen reaktanssi [Ω] (kapasitiivisella kuormalla termin $x \cdot \sin \varphi$ etumerkki on negatiivinen)

$$\Delta U = 28,87 \text{ A} \cdot 10 \text{ km} \cdot (0,493 \Omega/\text{km} \cdot 0,8 + 0,302 \Omega/\text{km} \cdot 0,6) = 205,65 \text{ V}$$

Lasketaan suhteellinen jännitteenalenema Δu :

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_v} \cdot 100 \% = \frac{205,65 \text{ V}}{20 \text{ kV}/\sqrt{3}} \cdot 100 \% = 1,78 \%$$

Tässä tarkasteltiin jakeluverkonhaltijan jännitteenalenemia, jotka on määritelty standardissa SFS-EN 50160. Suunnittelun perusteena käytetään verkostosuositusta SA 5:94 (Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen), jossa keskijänniteverkon loppupäässä esiintyvien jännitteenalenemien suositus on määritelty 3-7 %. Tuloksesta nähdään, että jännitteenalenema pysyy pisimmälläkin matkalla hyvin standardin asettamien suositeltavien raja-arvojen alapuolella.

Varavoimakoneikon tuottaman sähkönlaadun vaatimuksia eri kuormitustilanteissa käsitellään standardissa ISO 8528-5, jossa määritellään suorituskykyluokat G1-G4. Tavallisesti suositellaan käytettäväksi luokkaa G2, josta poiketen vaaditaan G3:n taso jännitteen ja taajuuden staattisen vakauden sekä asettumisajan osalta. Olennaisimmat vaatimukset luokissa G2 ja G3 ovat: /5/

Taulukko 6. Varavoimakoneikon suorituskykyluokat G2 ja G3. /5/

	G2	G3
taajuuden sallittu vaihteluväli vakiintuneessa syöttötilanteessa	± 1,5 %	± 0,5 %
taajuuden sallittu alenema äkillisessä kuorman lisäyksessä	- 10 %	- 7 %
taajuuden asettumisaika	< 5 s	< 3 s
jännitteen sallittu vaihteluväli vakiintuneessa syöttötilanteessa	± 2,5 %	± 1,0 %
jännitteen sallittu alenema äkillisessä kuorman lisäyksessä	- 20 %	- 15 %
jännitteen asettumisaika	< 6 s	< 4 s

5 TULOKSET

Laskelmien perusteella saadut tulokset viittaavat siihen, että varavoimakonetta käytettäessä oikosulkuvirrat ovat pienimmilläänkin riittävän suuria suojausten toimimisen kannalta.

Oikosulkuvirtojen tuloksia tarkasteltaessa, voidaan todeta, että varavoimakonetta käytettäessä ei ole odotettavissa poikkeavuutta suojausten toimintaan normaaliin sähköverkon käyttöön verrattuna. Tulokset osoittavat, että vikavirrat pysyvät vaadittujen arvojen sisällä. Myöskään maasulkuvirta ei aiheuta ongelmia normaaleissa vikatilanteissa. Maasulkusuojaus on toteutettavissa ainakin laukaisevalla nollajännitesuojauksella.

Varavoimakoneen kattama alue kulutuksen ollessa huipussaan on laskelmien perusteella arvioitu ja se on tarkemmin esitetty liitteessä 7.

6 YHTEENVETO

Työn pohjalta saatuna lopputuloksena voidaan todeta, että varavoimakoneen käytölle Teiskon alueen sähkönjakelun katkositilanteen sattuessa ei tämän tutkimuksen mukaan ole esteitä. Työssä keskityttiin pohtimaan mahdollisia asioita, jotka estäisivät kyseisen käytön.

Tässä tutkimuksessa ei ole käsitelty varavoimakoneen koekäyttöjä, tarkastuksia tai huoltoa. Tutkimuksessa käsiteltävien asioiden lisäksi on otettava huomioon muitakin sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä, kuten harmoniset yliaallot. Standardi SFS-EN 50160 määrittelee sähkön laatua sähköntoimitusehtojen kannalta. Lisäksi, jos varavoimakonetta haluttaisiin käyttää normaalin sähköverkon kanssa rinnan, täytyisi huomioida monia muitakin seikkoja, joista päällimmäisenä on tahdistus.

Tässä työssä ei ole myöskään tutkittu oikosulkujen aiheuttamia mekaanisia voimia, koska ne ovat normaalissa verkon käytössä oletettavasti vielä suurempia.

Suurimpana haasteena työssä oli selvittää varavoimakoneella katettavalla alueella kaikkien suojausten toimiminen mahdollisessa vikatilanteessa sekä muiden mahdollisten ongelmien pohdiskelu. Työtä tehdessäni kävin läpi kymmeniä eri kirjoja ja internetistä löytyviä lähteitä etsiessäni asioita, jotka mahdollisesti olisivat esteenä varavoimakoneen käytön toteuttamiselle.

En sisältänyt työhön kovinkaan paljoa taustateoriaa eri käsitteistä, koska ajattelin, että tämän työn tarkoitus ei niitä ole selittää – ne asiat on selitetty lähteinä sisältämässäni teoksissa todella yksityiskohtaisesti ja perusteellisesti. Kyseessä on melko monimutkaisia asioita, joten lyhyt tiivistelmä ei riitä niitä selittämään.

Aikataulussa pysyminen tuotti välillä vaikeuksia ja suunnitelmissa pysyminen ei aivan onnistunut. Työn kokonaisuutta tarkastellessani voin myöntää, että en ole siihen aivan tyytyväinen ja jos tekisin kaiken uudestaan, olisi aloittaessa ollut parempi lähteä pohtimalla pidempään sisällysluettelon rakennetta ja lähteä sen pohjalta miettimään, miten työn kokonaisuus ja kappalejako rakentuu loogisesti.

Työtä tehdessäni olen oppinut erittäin paljon uusia asioita ja myöskin kerrannut paljon vanhoja asioita, jotka ovat nyt paremmin muistissa. Tässä tutkimuksessa ei tule ilmi kaikkia tutkimiani asioita tai niiden lähteitä – huomasin myös usein hieman eksyneeni aiheesta hakiessani tietoa, mutta jatkoin silti lukemista koska asia oli mielenkiintoinen ja halusin oppia enemmän aiheesta.

LÄHTEET

- /1/ Tampereen Sähkölaitoksen www-sivut. 2014. Sähkön siirto ja liittymät. Viitattu 8.2.2014.
[<https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/Sivut/default.aspx>]
- /2/ ST-kortisto, ST 52.40. Siirrettävän, pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon. Laadittu 15.11.2012. Espoo:Sähköinfo Oy.
- /3/ Arajärvi, K. 1979. Teiskon satavuotinen kunnallishistoria 1865-1971. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- /4/ Tampereen kaupungin www-sivut. 2014. Aitolahden ja Teiskon kulttuuriympäristöselvitys. [PDF-dokumentti]
[http://www.tampere.fi/material/attachments/6N2PefuKK/TAKU_luonnos_luvut_1_5.pdf]
- /5/ Hakala, P., Hakanen, P., Kortelainen, T., Kousa, P., Laaksonen, M. & Nurmi, M. & Piippo, E. 2013. ST-Käsikirja 31. Varavoimalaitokset. Espoo: Sähköinfo Oy.
- /6/ ABB 2000. TTT-Käsikirja, Luku 7: Oikosulkusuojaus. 2000-07.
- /7/ ST-kortisto. ST 52.51.02. Sähkön laatu. Jännitteenaleneman minimoiminen. Laadittu 15.5.2006. Espoo: Sähköinfo Oy.
- /8/ Mörsky, J. 1993. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- /9/ Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.
- /10/ Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- /11/ Tekla Oyj:n www-sivut. 2014. Trimble NIS. Viitattu 8.5.2014.
[<http://www.tekla.com/fi/tuotteet/trimble-nis>]

LIITTEET

Liite 1. Valmistajan antamat tiedot varavoimakoneesta.

Liite 2. Generaattorin datalehti, sivu 3. HCI634H Technical Data Sheet, Stamford. Viitattu 8.4.2014. [PDF-dokumentti, Ei suoraa linkkiä],
[<https://www.cumminsgeneratortechnologies.com/en/download/datasheets/displayDownloadDatasheets.do>]

Liite 3. Moottorin datalehti, sivu 1. QSK23-G3 Specification Sheet, Younes Bros. 2012. Viitattu 9.5.2014. [PDF-dokumentti], [<http://www.younesbros.com/QSK23-G3.pdf>]

Liite 4. Moottorin datalehti, sivu 2.

Liite 5. 20 kV:n ilmajohtojen ominaisuuksia. Verkostosuositus SA 5:94. 1994. Keski-jänniteverkon sähköinen mitoittaminen. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Liite 6. Kuva Tampereen keskijänniteverkon kokonaisuudesta Tekla NIS-ohjelmassa.

Liite 7. Kuva varavoimakoneen kattamasta alueesta Tekla NIS-ohjelmassa.

LIITE 1

HINATTAVA DIESELGENERAATTORI**PÄÄARVOT**

Tyyppi		VL03-814C-KT
Teho	jatkuva:	814 kVA / 651 kW (ISO PRP)
	varavoima:	895 kVA / 716 kW
Jännite		400/230 V
Virta	jatkuva:	1175 A, cos phi 0,8
	max:	1292 A, cos phi 0,8
Taajuus		50 Hz
Kierrosluku		1500 rpm
Toim. No.		03.3076

MOOTTORI

Valmistaja		Cummins
Tyyppi		QSK 23 G3
No.		00314491
Teho	jatkuva	966 kW
	varavoima	1062 kW
Pyörimisnopeus		1500 rpm
Jäähdytinkenno		Bearward serial no M11857

GENERAATTORI:

Valmistaja		Newage-Stamford
Tyyppi		HCI 634 H
No.		0212891/001
Teho	jatkuva	910 kVA
	varavoima	1001 kVA

ALUSTA

Akselisto		GTB 14734TS/b=1450
Jousitus		Vääntöjouset
Jarrut		Paineilma
Vetosilmukka		50 mm, kiinteä
Renkaat		285/70 R19,5, 150 J
Vanteet		8,25- 19,5 OV. 6-P

MITAT

Pituus		8270 mm
Leveys		2550 mm
Korkeus		2920 mm
Kokonaispaino		12850 kg (sis. 1000 l polttoaineen ja kaapelit)
Aisapaino		600...1000 kg
Polttoainetankki		1000 l

TILAAJA:

Tampereen Verkkosähkö Oy VERA

VALMISTAJA / MYYJÄ / HUOLTO:

VOIMALAITE SERVICE OY
 Nuutisarankatu 10
 33900 TAMPERE, FINLAND
 tel. + 358 3 265 5000
 fax + 358 3 265 5005
 E-mail: vl@voimalaiteservice.com

TOIMITUSVUOSI

Maaliskuu 2007

Korin väri

Pantone 485C

LIITE 2

HCI634H**STAMFORD****WINDING 311 and 312**

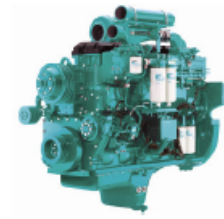
CONTROL SYSTEM	SEPARATELY EXCITED BY P.M.G.		
A.V.R.	MX321		
VOLTAGE REGULATION	± 0.5 %	With 4% ENGINE GOVERNING	
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	REFER TO SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVES (page 7)		

INSULATION SYSTEM	CLASS H							
PROTECTION	IP23							
RATED POWER FACTOR	0.8							
STATOR WINDING	DOUBLE LAYER LAP							
WINDING PITCH	TWO THIRDS							
WINDING LEADS	6 (Wdg 312) or 12 (Wdg 311)							
STATOR WDG. RESISTANCE	0.003 Ohms PER PHASE AT 22°C STAR CONNECTED							
ROTOR WDG. RESISTANCE	1.88 Ohms at 22°C							
EXCITER STATOR RESISTANCE	17 Ohms at 22°C							
EXCITER ROTOR RESISTANCE	0.079 Ohms PER PHASE AT 22°C							
R.F.I. SUPPRESSION	BS EN 61000-6-2 & BS EN 61000-6-4, VDE 0875G, VDE 0875N. refer to factory for others							
WAVEFORM DISTORTION	NO LOAD < 1.5% NON-DISTORTING BALANCED LINEAR LOAD < 5.0%							
MAXIMUM OVERSPEED	2250 Rev/Min							
BEARING DRIVE END	BALL. 6224 (ISO)							
BEARING NON-DRIVE END	BALL. 6317 (ISO)							
	1 BEARING				2 BEARING			
WEIGHT COMP. GENERATOR	2117 kg				2145 kg			
WEIGHT WOUND STATOR	1010 kg				1010 kg			
WEIGHT WOUND ROTOR	866 kg				821 kg			
WR ² INERTIA	20.0438 kgm ²				19.4965 kgm ²			
SHIPPING WEIGHTS in a crate	2173kg				2180kg			
PACKING CRATE SIZE	183 x 92 x 140(cm)				183 x 92 x 140(cm)			
	50 Hz				60 Hz			
TELEPHONE INTERFERENCE	THF<2%				TIF<50			
COOLING AIR	1.614 m ³ /sec 3420 cfm				1.961 m ³ /sec 4156 cfm			
VOLTAGE STAR	380/220	400/231	415/240	440/254	416/240	440/254	460/266	480/277
VOLTAGE PARALLEL STAR (*)	190/110	200/115	208/120	220/127	208/120	220/127	230/133	240/138
VOLTAGE DELTA	220	230	240	254	240	254	266	277
kVA BASE RATING FOR REACTANCE VALUES	910	910	910	875	1025	1063	1075	1125
X _d DIR. AXIS SYNCHRONOUS	2.99	2.70	2.51	2.15	3.37	3.13	2.89	2.78
X' _d DIR. AXIS TRANSIENT	0.25	0.23	0.21	0.18	0.29	0.27	0.25	0.24
X'' _d DIR. AXIS SUBTRANSIENT	0.18	0.16	0.15	0.13	0.19	0.18	0.17	0.16
X _q QUAD. AXIS REACTANCE	1.77	1.60	1.49	1.27	2.00	1.86	1.72	1.65
X'' _q QUAD. AXIS SUBTRANSIENT	0.19	0.17	0.16	0.14	0.22	0.20	0.19	0.18
X _L LEAKAGE REACTANCE	0.09	0.08	0.07	0.06	0.10	0.09	0.08	0.08
X ₂ NEGATIVE SEQUENCE	0.20	0.18	0.17	0.14	0.23	0.21	0.20	0.19
X ₀ ZERO SEQUENCE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
REACTANCES ARE SATURATED				VALUES ARE PER UNIT AT RATING AND VOLTAGE INDICATED				
T' _d TRANSIENT TIME CONST.	0.185							
T'' _d SUB-TRANSTIME CONST.	0.025							
T' _{do} O.C. FIELD TIME CONST.	2.44							
T _a ARMATURE TIME CONST.	0.04							
SHORT CIRCUIT RATIO	1/X _d							

(*) Parallel Star connection only available with Wdg 311

LIITE 3

QSK23-G3



> Specification sheet

Our energy working for you.™



Description

The QSK23 is an in-line 6 cylinder engine with a 23 litre displacement. This Quantum series utilizes sophisticated electronics and premium engineering to provide outstanding performance levels, reliability and versatility for Standby, Prime and Continuous Power applications.



This engine has been built to comply with CE certification.



This engine has been designed in facilities certified to ISO9001 and manufactured in facilities certified to ISO9001 or ISO9002.

Features

The QSK23 uses the Cummins High Pressure Injection (HPI) PT full authority electronic fuel system. The HPI PT fuel system is managed by a G-Drive Governor Control System (GCS) controller, which is provided for off-engine mounting in the genset control panel. The Quantum Control has a specific fuel system board to interface with the HPI-PT fuel system and provides an Engine Protection package giving greater customer flexibility and cost effective alternatives in the control design and the benefits of Full Authority electronic control

CTT (Cummins Turbo Technologies) HX82 turbo-charging utilizes exhaust energy with greater efficiency for improved emissions and fuel consumption.

Charge Air Cooling - QSK23 engine requires the use of an Air-to-Air heat exchanger or Charge-Air-Cooler (CAC) to reduce intake manifold temperature and to meet the lower emissions requirements

CoolPac Integrated Design - Products are supplied complete with cooling package and air cleaner kit for a complete power package. Each component has been specifically developed and rigorously tested for G-Drive products, ensuring high performance, durability and reliability.

Service and Support - G-Drive products are backed by an uncompromising level of technical support and after sales service, delivered through a world class service network

1500 rpm (50 Hz Ratings)

Gross Engine Output			Net Engine Output			Typical Generator Set Output					
Standby	Prime	Base	Standby	Prime	Base	Standby (ESP)		Prime (PRP)		Base (COP)	
kWm/BHP			kWm/BHP			kWe	kVA	kWe	kVA	kWe	kVA
768/1030	701/940	537/720	739/991	682/915	517/693	720	900	648	810	491	614

1800 rpm (60 Hz Ratings)

Gross Engine Output			Net Engine Output			Typical Generator Set Output					
Standby	Prime	Base	Standby	Prime	Base	Standby (ESP)		Prime (PRP)		Base (COP)	
kWm/BHP			kWm/BHP			kWe	kVA	kWe	kVA	kWe	kVA
895/1200	809/1085	652/875	857/1149	776/1041	621/833	800	1000	727	909	583	729

Our energy working for you.™

www.cumminsgdrive.com

©2009 | Cummins G-Drive Engines | Specifications Subject to Change Without Notice | Cummins is a registered trademark of Cummins Inc. (04/09) (GDSS133)



LIITE 4

General Engine Data

Type	4 cycle, Turbocharged
Bore mm	170
Stroke mm	170
Displacement Litre	23.1
Cylinder Block	Cast iron, 6 cylinder
Battery Charging Alternator	35A
Starting Voltage	24V
Fuel System	Direct injection Cummins HPI
Fuel Filter	Spin on fuel filters with water separator
Lube Oil Filter Type(s)	Spin on full flow filter
Lube Oil Capacity (l)	103
Flywheel Dimensions	SAE 0

Coolpac Performance Data

Cooling System Design	Air-air charge cooled	
Coolant Ratio	50% ethylene glycol; 50% water	
Coolant Capacity (l)	57	
Limiting Ambient Temp (°C)**	46.0 (50Hz)	50.5 (60Hz)
Fan Power (kWm)	17.3 (50Hz)	26.1 (60Hz)
Cooling System Air Flow (m ³ /s)**	14.7 (50Hz)	23.6 (60Hz)
Air Cleaner Type	Dry replaceable element with restriction indicator	

** @ 13 mm H₂O

Weight & Dimensions

Length	Width	Height	Weight (dry)
mm	mm	mm	kg
2885	1656	2029	3185

Fuel Consumption 1500 (50 Hz)

%	kWm	BHP	L/ph	US gal/ph
Standby Power				
100	768	1030	178	46.9
Prime Power				
100	701	940	161	42.5
75	526	705	121	32.0
50	351	470	85	22.4
25	175	235	46	12.2
Continuous Power				
100	537	720	125	33.1

Fuel Consumption 1800 (60 Hz)

%	kWm	BHP	L/ph	US gal/ph
Standby Power				
100	895	1200	212	56.1
Prime Power				
100	809	1085	189	49.8
75	607	814	139	36.7
50	405	543	97	25.7
25	202	271	56	14.7
Continuous Power				
100	653	875	149	39.4

Cummins G-Drive Engines

Asia Pacific
10 Toh Guan Road
#07-01
TT International Tradepark
Singapore 608838
Phone 65 6417 2388
Fax 65 6417 2399

Europe, CIS, Middle East and Africa
Manston Park Columbus Ave
Manston Ramsgate
Kent CT12 5BF, UK
Phone 44 1843 255000
Fax 44 1843 255902

Latin America
Rua Jati, 310, Cumbica
Guarulhos, SP 07180-900
Brazil
Phone 55 11 2186 4552
Fax 55 11 2186 4729

Mexico
Cummins S. de R.L. de C.V.
Eje 122 No. 200 Zona Industrial
San Luis Potosí, S.L.P. 78090
Mexico
Phone 52 444 870 6700
Fax 52 444 870 6811

North America
1400 73rd Avenue N.E.
Minneapolis, MN 55432
USA
Phone 1 763 574 5000
USA Toll-free 1 877 769 7669
Fax 1 763 574 5298

Our energy working for you.™

www.cumminsgdrive.com

©2009 | Cummins G-Drive Engines | Specifications Subject to Change Without Notice | Cummins is a registered trademark of Cummins Inc. (04/09) (GDS133)



Ratings Definitions

Emergency Standby Power (ESP):

Applicable for supplying power to varying electrical load for the duration of power interruption of a reliable utility source. Emergency Standby Power (ESP) is in accordance with ISO 8528. Fuel Stop power in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 and BS 5514.

Limited-Time Running Power (LTP):

Applicable for supplying power to a constant electrical load for limited hours. Limited-Time Running Power (LTP) is in accordance with ISO 8528.

Prime Power (PRP):

Applicable for supplying power to varying electrical load for unlimited hours. Prime Power (PRP) is in accordance with ISO 8528. Ten percent overload capability is available in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 and BS 5514.

Base Load (Continuous) Power (COP):

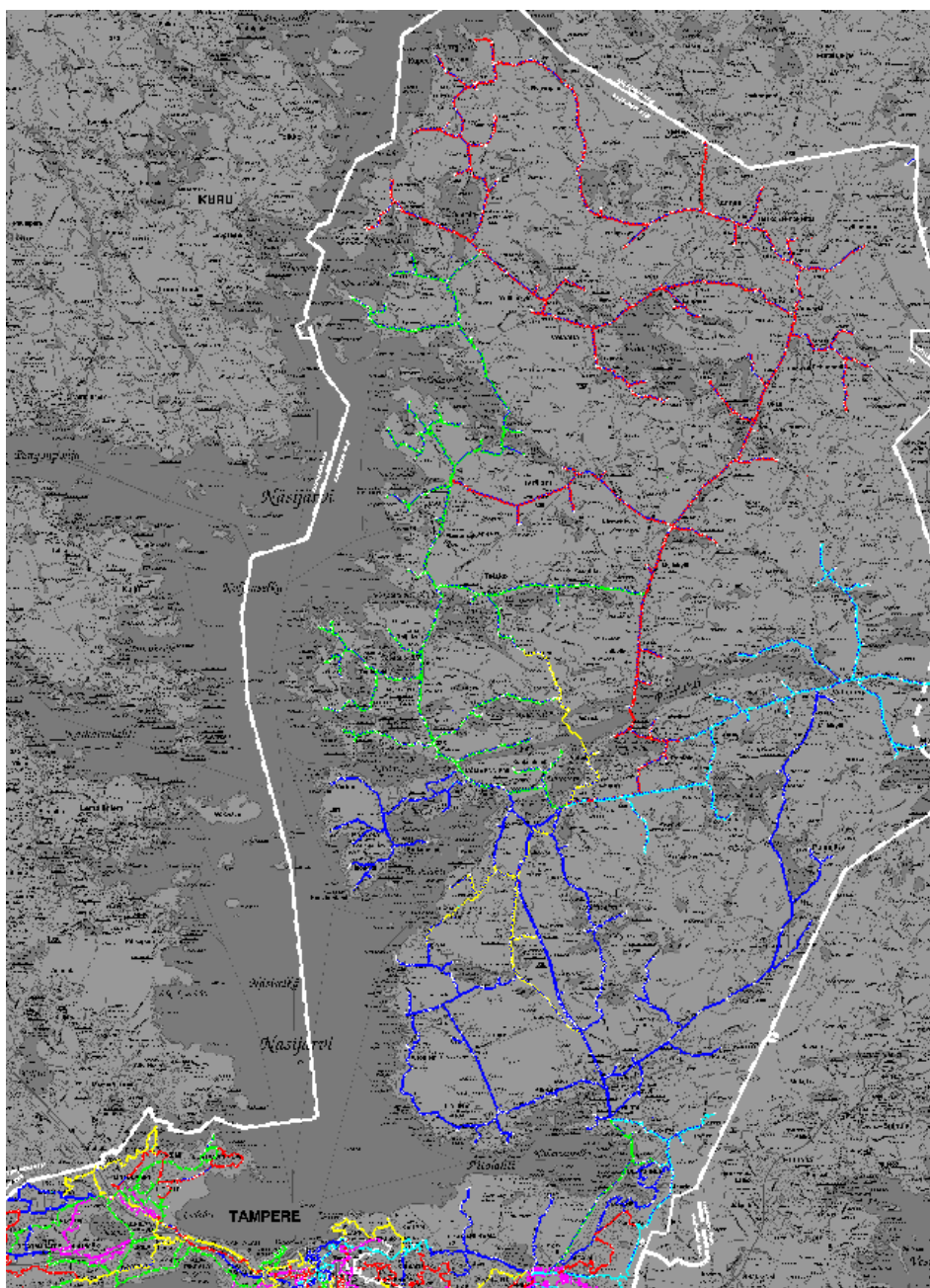
Applicable for supplying power continuously to a constant electrical load for unlimited hours. Continuous Power (COP) in accordance with ISO 8528, ISO 3046, AS 2789, DIN6271 and BS 5514.

LIITE 5

Johdin	Vaiheresistanssi (DC)		Vaihe-reaktanssi	Maakapasitanssi	Käyttökapasitanssi	Suurin sallittu kuormitusvirta	Suurin sallittu 1 s oikosulkuvirta		Jäähtymisaikavakio
	Rv						Xv	Cm	
	+20 °C 1)	+40 °C 2)	Ω/ km	Ω/ km	μF/km	μF/km	A	T1-liittimet	T2-liittimet
PAS 35	0,986	1,065	0,324	0,005	0,011	200	-	3,2	7
PAS 50	0,720	0,778	0,312	0,005	0,012	245	-	4,3	8
PAS 70	0,493	0,533	0,302	0,005	0,012	310	-	6,4	10
PAS 95	0,363	0,392	0,292	0,005	0,013	370	-	8,6	13
PAS 120	0,288	0,311	0,284	0,005	0,013	430	-	11	15
PAS 150	0,236	0,255	0,277	0,005	0,013	485	-	13,5	18
PAS 185	0,188	0,203	0,270	0,005	0,014	560	-	17	20
20 kV RIIPPUJOHDOT									
SAMKA 3x70	0,446	0,482	0,140	0,21	0,21	180	5	5	42
SAMKA 3x120	0,256	0,277	0,130	0,25	0,25	250	8,5	8,5	60
SAMKA 3x185	0,168	0,182	0,120	0,30	0,30	310	13	13	65
SAMI 3x67	0,428	0,462	0,272	-	-	250	6	6	20
SAMI 3x107	0,268	0,290	0,257	-	-	378	9,7	9,7	20
SAXKA 3x70	0,446	0,482	0,140	0,18	0,18	235	5,7	6,7	42
SAXKA 3x120	0,256	0,277	0,130	0,23	0,23	330	9,8	11,4	60
SAXKA 3x185	0,168	0,182	0,120	0,26	0,26	425	15	17,5	65
AHMCMKK 3x16	1,89	2,04	0,147	0,12	0,12	60	0,94	0,94	18
AHMCMKK 3x25	1,21	1,31	0,135	0,14	0,14	78	1,46	1,46	20
AHMCMKK 3x35	0,867	0,937	0,129	0,15	0,15	96	2,05	2,05	25
AHMCMKK 3x50	0,608	0,657	0,119	0,17	0,17	117	2,9	2,9	30
AHMCMKK 3x70	0,435	0,470	0,116	0,18	0,18	144	4,1	4,1	35
AHMCMKK 3x95	0,322	0,348	0,110	0,20	0,20	171	5,6	5,6	55

- 1) +20°C johdinlämpötilan johdinresistanssia käytetään jännitteenaleneman määrittämisessä.
- 2) +40°C johdinlämpötilan johdinresistanssia käytetään oikosulkuvirtojen määrittämisessä.
- 3) Arvot on määritetty 8 m pylväspituudella ja taso-orrella, jonka vaiheväli on 1100 mm. PAS-johdoilla vaiheväli on 400 mm.
- 4) Laskettu kokemusperäisen yhtälön maasulkuvirran arvosta.
- 5) Ympäristön lämpötila +20°C, johtimen +80°C (kuparijohtimella +70°C).

LIITE 6



LIITE 7

