



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Harri Rauhala

LASKENTATYÖKALU
VOIMALAITOSYMPÄRISTÖÖN

Tekniikka ja liikenne
2011

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB Oy:n Voimantuotannon järjestelmät -yksikölle. Opinnäytetyö tehtiin osana Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen yksikön sähkötekniikan koulutusohjelmaa.

Opinnäytetyön valvojana toimi ABB:n puolesta Sami Kivioja ja ohjaajana Vaasan ammattikorkeakoulusta tekniikan lisensiaatti, yliopettaja Kari Jokinen.

Haluan kiittää kaikkia opinnäytetyöni tekemisessä auttaneita henkilöitä. Erityskiitokset kuuluvat Kari Jokiselle ja Sami Kiviojalle opinnäytetyöni ohjaamisesta.

Vaasa 11.5.2011

Harri Rauhala

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Harri Rauhala
Opinnäytetyön nimi	Laskentatyökalu voimalaitosympäristöön
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	74+ 22 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli hankkia ABB voimantuotannon järjestelmät - yksikölle soveltuva laskentatyökalu. Laskentatyökalulle asetetut vaatimukset olivat, että sen tuli olla mahdollisimman yksinkertainen ja kaikkien helposti käytettävissä. Tähän saakka laskentatyökaluina olivat toimineet Excel-taulukko-ohjelmalla tehdyt laskentapohjat. Ongelman oli, että kaikilla suunnittelijoilla ei ollut tiedossa mitä Excel-laskentapohjia oli käytettävissä eikä niiden laskentatarkkuudesta ollut tietoa.

Opinnäytetyössä kartoitettiin, mitä laskentaominaisuuksia suunnittelijat tarvitsivat työssään ja samalla kerättiin niiden laskentaan tehdyt Excel-laskentapohjat. Kartoituksessa saatiin selville, että laskentatyökalun tuli laskea seuraavat ominaisuudet: virtamuuntajien taakka, sekä oikosulkuvirrat pien- ja keskijännitteellä. Kartoituksessa saadut Excel-laskentapohjat katsottiin olevan edelleen toimivia, joten päädyttiin parantamaan nykyisiä Excel-laskentapohjia ja kokoamaan niistä laskentatyökalu.

Virtamuuntajien laskentaan tarkoitettu Excel-laskentapohja oli suoraan käyttökelpoinen, joten siihen ei tarvinnut tehdä suuria parannuksia. Laskentapohjalle tehtiin kuitenkin käyttöohjeet, jotta jokainen pystyisi käyttämään sitä.

Oikosulkuvirtojen laskentaan tarkoitettujen Excel-laskentapohjien laskentamenetelmä oli hyvin likimääräinen ja niillä laskettava verkko oli suhteellisen pieni. Tämän seurauksena laskentapohjissa käytetty laskentamenetelmä muutettiin tarkemmaksi, jonka laskentatarkkuus tarkistettiin sitten EDSA-verkostolaskentaohjelmistolla. Laskentapohjilla laskettavan verkon laajuutta kasvatettiin, jotta niitä voitaisiin käyttää mahdollisimman monipuolisissa verkoissa. Oikosulkuvirtojen laskentaan tarkoitetuille laskentapohjille tehtiin myös käyttöohjeet.

Avainsanat oikosulkulaskenta, virtamuuntajien ominaisuudet, Excel-laskentapohja, laskentatyökalu.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Harri Rauhala
Title	Calculation Tool for Power Plant Environment
Year	2011
Language	Finnish
Pages	72+ 22 Appendices
Name of Supervisor	Kari Jokinen

The purpose of this thesis was to find a calculation tool which would be suitable for ABB Power Systems Unit. The requirements for the calculation tool were that it had to be as simple as possible and easy to use. Nowadays the Power Systems Unit uses calculation bases made with the Excel-software. The problem was that all designers did not know what calculation bases were available and they did not know how accurate those bases were.

In my thesis it was determined what calculation features do designers need in their work. We also collected calculation bases which were made to calculate these features. We found out that designers need following calculation features in their work: features of current transformers, short-circuit current in low voltage and medium voltage. The calculation bases, which were collected, were still useful, so we decided just to improve them.

The calculation base which was designed to calculate the features of current transformers features was useful so it was not necessary to do big improvements. However, user instructions were drawn up as well, so that anyone could use the calculation base.

The calculation bases which were designed to calculate short-circuit current had to be improved a bit more. The calculation method was not accurate and the calculated network was also relatively small. The calculation method was changed to be more exact. The calculated accuracy was checked with the EDSA-calculationsoftware. We also expanded the network in the calculation bases so that they can be used in various networks. There were also made instructions for use for these calculation bases.

Keywords	Short-circuit calculation, current transformer features, Excel- calculation base, calculation tool.
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	14
2	ABB OY	15
	2.1 ABB yleisesti	15
	2.2 ABB organisaatio	15
	2.3 ABB voimantuotannon järjestelmät -yksikkö.....	16
3	SÄHKÖNTUOTANTO.....	17
	3.1 Vesivoimalaitokset.....	18
	3.2 Vesivoimalaitostyypit	19
	3.3 Turbiinit	21
	3.3.1 Francis-turbiinit.....	21
	3.3.2 Kaplan-turbiinit	22
	3.3.3 Pelton-turbiinit	23
	3.4 Generaattorit	24
	3.5 Vesivoimalaitoksien sähköjärjestelmä.....	25
	3.5.1 Omakäyttöjärjestelmä	27
	3.5.2 Tasasähköjärjestelmä	28
	3.5.3 Valvonta- ja suojausjärjestelmä	28
4	VERKOSTOLASKENNAN TARVE.....	30
	4.1 Oikosukulaskenta	31
	4.1.1 Alkuoikosulkuvirta I_k	33
	4.1.2 Sysäysoikosulkuvirta i_s	33
	4.1.3 Pysyvän tilan oikosulkuvirta I_k	35
	4.1.4 Terminen oikosulkukestoisuus I_{th}	37
	4.1.5 IEC:n standardoimat laitteiden mitoitusvirrat.....	39
	4.1.6 Oikosulkuvirran laskeminen Thevenin menetelmällä.....	39
	4.1.7 Oikosulkupiirin komponenttien tarkastelu.....	40
	4.1.8 Oikosukulaskenta ominaisoikosulkutehoilla.....	43

5	VIRTAMUUNTAJIEN OMINAISUUDET	45
5.1	Nimellisvirrat	46
5.2	Nimellistaakat	46
5.3	Tarkkuusluokat	47
5.4	Tarkkuusrajakerroin	48
6	OIKOSULKULASKELMIEN PÄÄKAAVIOT	50
6.1	Omakäyttöjärjestelmien pääkaaviot	50
6.2	Keskijänniteverkon pääkaavio	51
7	OIKOSULKULASKELMAT EXCEL-TAULUKOILLA JA TULOSTEN VERTAILU	52
7.1	Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja	52
7.1.1	Omakäyttöjärjestelmän 1 laskentatapa 1	53
7.1.2	Omakäyttöjärjestelmän 1 laskentatapa 2	55
7.2	Omakäyttöjärjestelmän 2 Excel-laskentapohja	57
7.2.1	Omakäyttöjärjestelmän 2 laskentatapa 1	57
7.2.2	Omakäyttöjärjestelmän 2 laskentatapa 2	58
7.3	Omakäyttöjärjestelmien laskentatulosten vertailu	59
7.4	Omakäyttöjärjestelmän laskentaan käyttöön otettavat laskentapohjat	61
7.5	Keskijännitejärjestelmän Excel-laskentapohja ja vertailu	62
7.5.1	Keskijännitejärjestelmän Excel-laskentapohja	63
7.5.2	Keskijännitejärjestelmän vertailulaskelma	65
8	VIRTAMUUNTAJAN EXCEL-LASKENTAPOHJA	69
8.1	Kaapelitaakan laskenta	69
8.2	Todellisen tarkkuusrajakertoimen laskenta	69
8.3	Tarkkuusrajavirran laskenta	70
9	YHTEENVETO	71

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

KÄSITTEET JA LYHENTEET

MUSD	Miljoonaa Yhdysvaltain dollaria
MV	Medium Voltage, keskijännite
MW	Megawatti
kV	Kilovoltti
rpm	Revolutions per minute, Pyörimisnopeus
IEC	International Electrotechnical Commission
I_k	Pysyvän tilan oikosulkuvirta
I_k''	Alkuoikosulkuvirta
i_p	Sysäysoikosulkuvirta
i_s	Sysäysoikosulkuvirta
I_{th}	Terminen oikosulkuvirta
κ	Sysäyskerroin
R	Resistanssi
X	Reaktanssi
Z	Impedanssi
$\cos \phi$	Tehokerroin
r_k	Suhteellinen oikosulkuresistanssi
x_k	Suhteellinen oikosulkureaktanssi
z_k	Suhteellinen oikosulkuimpedanssi

KUVALUETTELO

Kuva 1. Voimantuotannon järjestelmät -yksikön toimialueet. /17/.....	16
Kuva 2. Sähkönhankinta Suomessa vuonna 2009./2/.....	17
Kuva 3. Vesivoimalaitoksen toimintaperiaate./4/	19
Kuva 4. Francis-turbiinin poikkileikkaus. /14/.....	22
Kuva 5. Kaplan-turbiinin periaatteellinen rakenne. /16/	23
Kuva 6. Pelton-turbiinin periaatteellinen toiminta. /15/.....	24
Kuva 7. Pääkaavio käytettäessä epätahtigeneraattoria. /6/.....	26
Kuva 8. Pääkaavio käytettäessä tahtigeneraattoria.....	27
Kuva 9. Oikosulkuvirran käyrämuoto generaattorin lähiviassa. /10/.....	32
Kuva 10. Sysäyskerroin oikosulkupiirin R/X funktiona. /10/.....	34
Kuva 11. λ_{\max} selvittäminen umpinapageneraattorin tapauksessa. /11/.....	36
Kuva 12. λ_{\max} selvittäminen avonapageneraattorin tapauksessa. /11/.....	37
Kuva 13. Tasavirtatekijä m määrittäminen. /10/	38
Kuva 14. Vaihtovirtakomponentin n määrittäminen. /10/.....	38
Kuva 15. Oikosulkuvirran laskeminen Thevenin periaatteella. /10/.....	40
Kuva 16. Virtamuuntaja, jossa erilliset mittaus- ja suojaussydämet./13/.....	45
Kuva 17. Sysäyskertoimen sijainti laskentakaavassa.....	54
Kuva 18. Kaapelintaakanlaskenta.	69
Kuva 19. Todellisen tarkkuusrajakertoimen laskentakaava.	70

Kuva 20. Tarkkuusrajavirran laskentakaava.	70
--	----

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. IEC- standardin mukainen jännitekerroin./9/	32
Taulukko 2. Tyypillisimmät sysäyskertoimet pienjännitteellä. /10/.....	35
Taulukko 3. IEC:n määrittelemät virtakestoisuudet /13/.....	39
Taulukko 4. Mittausmuuntajien tarkkuusluokat. /13/.....	47
Taulukko 5. Suojamuuntajien tarkkuusluokat. /13/.....	48
Taulukko 6. Pienimmät oikosulkuvirrat laskentatavalla 1.	54
Taulukko 7. Laskentatavalla 1 saadut alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat.....	55
Taulukko 8. Laskentatavalla 2 saadut pienimmät oikosulkuvirrat.	56
Taulukko 9. Laskentatavalla 2 saadut alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat.....	57
Taulukko 10. Pienimmät oikosulkuvirrat vikapisteissä.....	58
Taulukko 11. Laskentatavan 2 laskemat pienimmät oikosulkuvirrat.	59
Taulukko 12. Omakäyttöjärjestelmän 1 laskentatapojen vertailu.....	60
Taulukko 13. Omakäyttöjärjestelmän 2 laskentatapojen vertailu.....	60
Taulukko 14. Keski-jännitekojeistossa esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.	64
Taulukko 15. Generaattorin 1 lähellä esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.	64
Taulukko 16. Generaattorin 2 lähellä esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.	65
Taulukko 17. Generaattorin 3 lähellä esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.	65
Taulukko 18. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu keski-jännitekojeistolla tapahtuvassa oikosulussa.....	66

Taulukko 19. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu generaattorilla 1 tapahtuvassa oikosulussa..... 66

Taulukko 20. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu generaattorilla 2 tapahtuvassa oikosulussa..... 66

Taulukko 21. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu generaattorilla 3 tapahtuvassa oikosulussa..... 67

LIITELUETTELO

LIITE 1. Omakäyttöjärjestelmän 1 pääkaavio

LIITE 2. Omakäyttöjärjestelmän 2 pääkaavio

LIITE 3. Keskijännitejärjestelmän pääkaavio

LIITE 4. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 1

LIITE 5. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 1

LIITE 6. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 1

LIITE 7. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 1

LIITE 8. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 2

LIITE 9. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 2

LIITE 10. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 2

LIITE 11. Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja laskentatavalla 2

LIITE 12. Omakäyttöjärjestelmän 2 Excel-laskentapohja laskentatavalla 1

LIITE 13. Omakäyttöjärjestelmän 2 Excel-laskentapohja laskentatavalla 2

LIITE 14. Keskijännitejärjestelmän Excel-laskentapohja

LIITE 15. Virtamuuntajien Excel-laskentapohja

LIITE 16. Omakäyttöjärjestelmän 2 Excel-laskentapohja laskentatavalla 2

LIITE 17. Omakäyttöjärjestelmän 2 Excel-laskentapohja laskentatavalla 2

LIITE 18. Pienjännitekaapeleiden likimääräiset vastusarvot

LIITE 19. Omakäyttöjärjestelmän 1 EDSA laskentaverkko

LIITE 20. Omakäyttöjärjestelmän 2 EDSA laskentaverkko

LIITE 21. Keskijännitejärjestelmän EDSA laskentaverkko

LIITE 22. EDSA -verkostolaskentaohjelmistolla saadut laskentatulokset

1 JOHDANTO

Optimaalisen sähköjärjestelmän löytämisen kannalta on tärkeää, että järjestelmä on suunniteltu oikein. Oikeanlaisella suunnittelulla saavutetaan luotettava ja turvallinen sähköjärjestelmä. Huonosti suunniteltu sähköjärjestelmä aiheuttaa useasti turhia rahallisia kustannuksia.

Tällöin astuvat kysymykseen sähköjärjestelmän mitoituksen tarkoitetut tietokonesovellukset. Tietokonesovellukset nopeuttavat ja parantavat sähköjärjestelmän mitoituksen luotettavuutta. Tietokonesovelluksen avulla suunnittelijoiden ei tarvitse suorittaa monimutkaisia laskutoimituksia käsin, sillä tietokone hoitaa tämän suunnittelijan puolesta. Tietokonesovelluksesta huolimatta suunnittelijalla tulee olla käsitys siitä, mitä lasketaan ja mitä laskentatuloksen pitäisi suunnilleen olla. Mikäli suunnittelija erehtyy luottamaan laskentasovelluksiin sokeana, voi seurauksena jälleen olla huonosti mitoitettu järjestelmä, koska ei ymmärretä laskennassa syntyvää virhettä.

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB:n voimantuotannon järjestelmät -yksikköön. Päättötöyön tarkoituksena oli selvittää ja hankkia laskentatyökalu, joka sopisi parhaiten suunnittelijoiden päivittäiseen käyttöön. Työssä tuli myös selvittää laskentatyökalulta toivotut laskentaominaisuudet, joita suunnittelijat tarvitsevat työssään.

2 ABB OY

2.1 ABB yleisesti

ABB Oy aloitti toimintansa tammikuussa 1988, jolloin ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Boveria yhdistyivät. Alkuajoista ABB on kasvanut yhdeksi maailman johtavimmaksi Sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymäksi. Nykyisin ABB:llä on toimintaa yli 100 maassa ja Suomessa sillä on toimintaa yli 40 paikkakunnalla. Maailmanlaajuisesti ABB työllisti vuonna 2009 n. 117 000 henkilöä, jotka työskentelevät erilaisissa tuotannollisissa sekä suunnitteluun ja myyntiin liittyvissä tehtävissä. ABB:n liikevaihto vuonna 2009 oli 31 795 MUSD.
/1/

2.2 ABB organisaatio

ABB Oy:n pääliiketoiminta jakautuu viiteen eri osa-alueeseen: automaatiotuotteet, prosessiautomaatio, sähkövoimajärjestelmät, sähkövoimatuotteet ja robotit. Suomessa ABB:n organisaatio seuraavasti:

Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio

- Drivers
- MV Drivers
- sähkökoneet
- Motors
- Robotit.

Pienjännitetuotteet

- pienjännitekojeet
- pienjännitejärjestelmät
- asennustuotteet.

Prosessiautomaatio

- prosessiteollisuus

- Marine
- Turboahditimet.

Sähkövoimajärjestelmät

- sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmät
- voimantuotannon järjestelmät.

Sähkövoimatuotteet

- sähköjakeluautomaatio
- keskijännitekojeet ja kojeistot
- muuntajat. /1/

2.3 ABB voimantuotannon järjestelmät -yksikkö

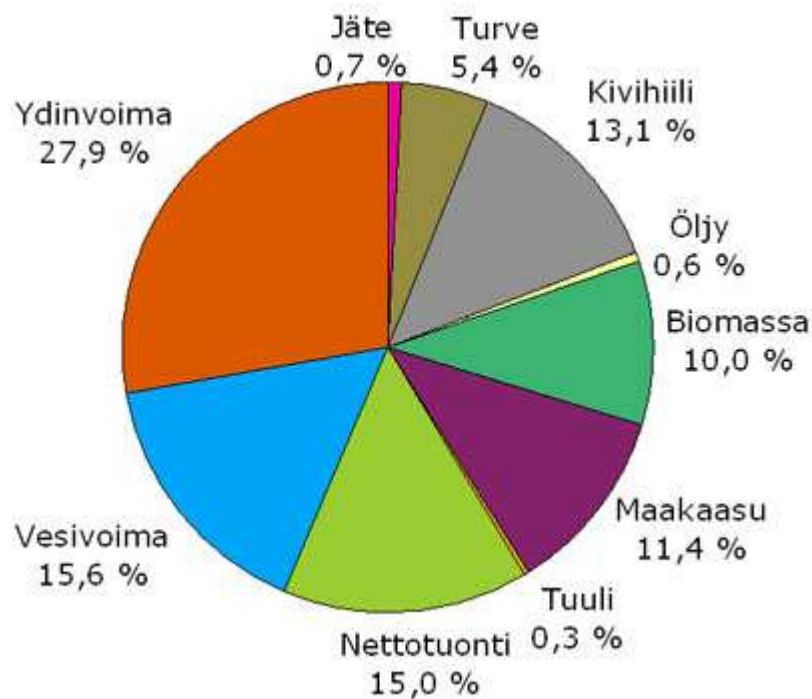
ABB:n voimantuotannon järjestelmät -yksikkö tarjoaa sähköistys- ja automaattioratkaisuja vesi- ja lämpövoimalaitoksiin sekä kaasu- ja dieselvoimalaitoksiin. Yksikkö tarjoaa palveluina myös projektien hoitoon, käyttöönottoon, koulutukseen ja varaosapalveluihin. Suomen voimantuotannon järjestelmät -yksikkö sijaitsee Vaasassa, joka kuuluu osaksi sähkövoimajärjestelmät -divisioonaa. ABB:llä on maailman laajuisesti yli 40 alueellista/paikallista voimantuotannon järjestelmät -yksikköä. Vaasassa sijaitsevan yksikön toiminta-alueisiin kuuluvat pohjoiset alueet ja kuvassa 1 on näytetty pohjoiset toiminta-alueet tummansinisellä. /17/



Kuva 1. Voimantuotannon järjestelmät -yksikön toimialueet. /17/

3 SÄHKÖNTUOTANTO

Suomessa sähkö tuotetaan monipuolisesti ja sen tuottamiseen käytetään useita eri energialähteitä. Tärkeimpinä energiantuotannon muotoina pidetään ydinvoimaa, vesivoimaa, kivihiiltä, maakaasua, puunpoltto sekä turvetta. Kuvassa 2 on kuvattu Suomen energiantuotanto vuonna 2009. /2/



Kuva 2. Sähkönhankinta Suomessa vuonna 2009./2/

Ongelmat sähköntuotannossa johtuvat pääosin siitä, että sähköenergiaa ei voida varastoida. Sähköjärjestelmässä pitää olla joka hetki tasapaino kulutuksen ja tuotannon välillä. Tämän seurauksena voimalaitoksien on tuotettava joka hetki se sähköteho, jonka kulutus vaatii. /3/

Suomen voimalaitokset voidaan jakaa kahdentyyppisiin voimalaitoksiin: peruskuorma voimalaitoksiin ja lyhytaikaisiin huippukuorma voimalaitoksiin. Tämän tyyppisten voimalaitoksien keskeiset erot ovat tuotantokustannuksissa ja voimalaitoksien toiminta-ajoissa. Peruskuormituksen tuotantoon tarkoitettujen voimalaitosten perustamisinvestointi on suuri, mutta polttoaine sähköntuottamiseen on halpaa. Peruskuormitusajoon tarkoitettujen voimalaitokset

ovat toiminnassa suurimman osan vuodesta. Lyhytaikaisiin huippukuormituslaitteisiin tarkoitettujen voimalaitoksien perustamiskustannukset ovat alhaiset, mutta polttoaine sähkötuottamiseen on kallista. Huippukuormituslaitokset taas ovat suurimman osan vuodesta pois tuotannosta ja niitä käytetään vain lyhytaikaisissa sähkön kuormituspiikeissä. Sähkön tuotantojärjestelmä on kannattavaa rakennettu niin, että edellä mainittuja voimalaitostyyppisiä on käytössä oikeassa suhteessa. Sähköntuotantoon tarkoitettut voimalaitokset voidaan jakaa seuraavanlaisiin tyyppisiin: /3/

Vesivoimalaitokset

- jokivoimalaitokset
- pumppuvoimalaitokset

Lämpövoimalaitokset

- lauhdevoimalaitokset
- vastapainevoimalaitokset
- ydinvoimalaitokset
- kaasuturbiini voimalaitokset
- kombivoimalaitokset

Muut voimalaitokset

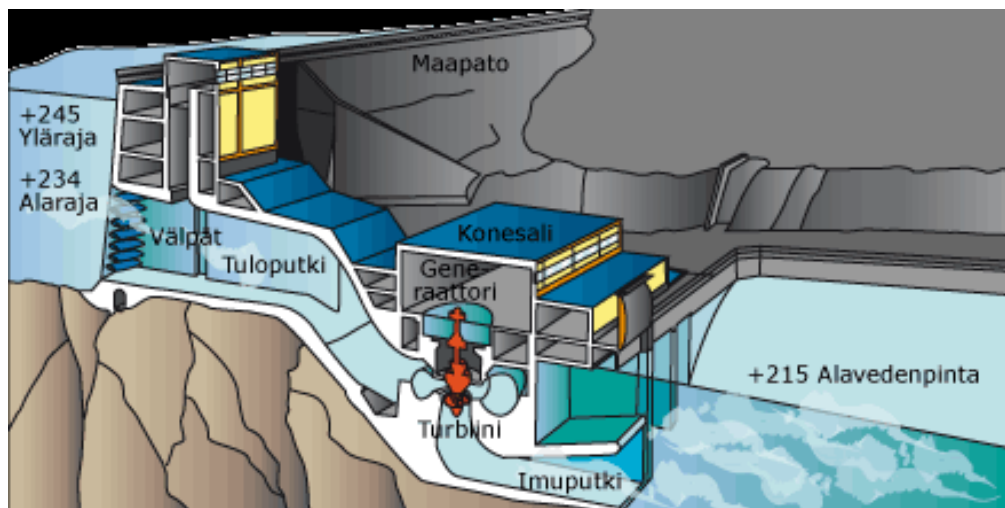
- tuulivoimalaitokset
- aurinkovoimalaitokset.

3.1 Vesivoimalaitokset

Vesivoima on yksi merkittävimmistä uusiutuvista energialähteistä Suomessa. Kuvasta 2 näkee vesivoiman osuuden sähköntuotannosta Suomessa. Suomessa on n. 200 vesivoimalaitosta, joiden kokonaisteho on lähes 3000 MW. Vesivoimalla on niin hyviä kuin huonojakin puolia. Hyvinä puolina voidaan pitää sitä, että vettä voidaan varastoida sähköntuotantoa varten varastoaltaisiin ja käyttää sitten, kun sähkönkulutuksessa ilmenee kulutushuippuja. Vesivoimalla mahdollistetaan myös erinomainen säädettävyys, joka ei ole muilla tuotantotavoilla niin yksinkertaista.

Vesivoiman heikkoutena voidaan kuitenkin pitää sitä, että se on kovin riippuvainen sääolosuhteista, koska vähäsateisina vuosina varastoitu veden määrä on vähäistä. /2/

Kaikkien vesivoimalaitosten periaatteellinen toiminta on hyvin samantapainen. Niissä vesi varastoidaan varastoaltaisiin padon yläpuolelle ja se valutetaan voimalaitoksen kautta padon alapuolelle. Putoavan veden energia hyödynnetään turbiinin pyörittämiseen, mikä taas pyörittää generaattoria. Generaattorin pyörimisen seurauksena syntyy sähköä. Kuvassa 3 on näytetty vesivoimalaitoksen toimintaperiaate. /4/



Kuva 3. Vesivoimalaitoksen toimintaperiaate./4/

3.2 Vesivoimalaitostyytit

Vesivoimalaitokset voidaan jaotella seuraavien kriteerien mukaan:

- säännöstelyn ja käyttötavan
- rakenteellisen ratkaisun
- putouskorkeuden
- tehon.

Säännöstelyn ja käyttötavan mukaan jaotellessa vesivoimalaitokset voidaan jakaa viiteen eri ryhmään: jokivoimalaitos, säännöstelyvoimalaitos, pumppuvoimalaitos, vuorovesivoimalaitos ja aaltovesivoimalaitos.

Jokivoimalaitoksien tuotanto on hyvin riippuvainen joen virtauksesta. Huolimatta siitä, että jokivoimalaitoksilla on omat patoaltaat käytössä, voidaan niiden avulla tehdä vain lyhytaikaista säätöä. Säännöstelyvoimalaitoksella voidaan säädellä tuotantoa hyvin paljon vuodenajasta riippumatta, koska voimalaitosten yhteyteen on rakennettu suuri säännöstelyallas. Pumppuvoimalaitokset hyödyntävät ydinvoimaloiden ja lämpövoimaloiden peruskuormitusta. Sähköenergian ollessa edullista, pumppuvoimalaitokset pumppaavat vettä yläaltaaseen, josta se käytetään huippukuormituksen aikana. Vuorovesivoimalaitoksia voidaan rakentaa alueille, joissa esiintyy suurta vuorovesivaihtelua. Vuorovesivoimalaitokset ovat monesti padottuja lahtia. Vuorovesivoimalaitos tuottaa sähkön niin altaan tyhjäntyessä kuin täyttyessäkin. Aaltovoimassa hyödynnetään meriveden aaltojen liike-energiaa.

Rakennustavan perusteella vesivoimalaitokset voidaan jakaa kolmeen ryhmään: patolaitokset, paineputkilaitokset ja tunnelilaitokset. Patolaitokset voidaan rakentaa jokiuomassa tai kanavissa olevien patojen yhteyteen. Paineputkilaitokset voidaan rakentaa padon taakse tai eteen. Paineputkilaitoksia on monesti rakennettu vuoristoihin. Tunnelilaitokset on useimmiten rakennettu kallioiden sisälle. Suomen käytetyin rakennusratkaisu on patolaitos, mutta Ruotsissa ja Norjassa tunnelilaitokset ovat hyvin yleisiä.

Vesivoimalaitokset voidaan jakaa myös putouskorkeuden mukaan. Tämä jaottelu perustuu eri turbiinien toiminta-alueisiin. Matalan pudotuskorkeuden vesivoimalaitoksissa pudotuskorkeus on n. 50 m. Suuren pudotuksen vesivoimalaitoksista puhutaan, kun pudotuskorkeudet ovat yli 300 m:ä. Suomessa vesivoimalaitoksien tyypillinen pudotuskorkeus vaihtelee välillä 10 - 25 m:ä.

Tehon perusteella vesivoimalaitokset voidaan jakaa mini-, pien-, ja suurvesivoimalaitoksiin. Minivesivoimaloiden tuottama teho on alle 1 MW. Pienvesivoimaloiden tuottama teho vaihtelee 1-10 MW välillä. Suurvesivoimaloiden teho on yli 10 MW. /5/

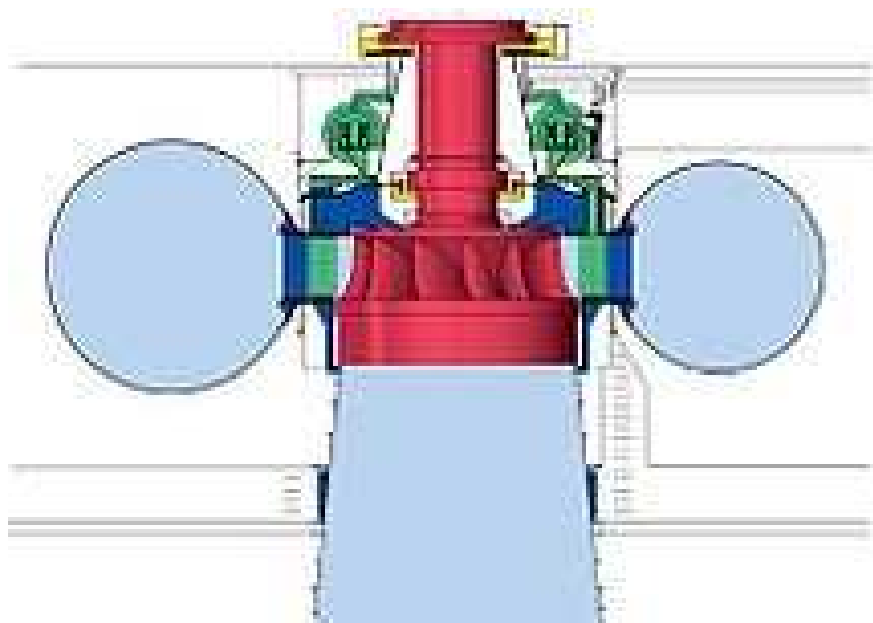
3.3 Turbiinit

Turbiinien avulla veteen varastoitu energia muutetaan pyörimisliikkeeksi. Vesivoimalaitoksissa käytetyimmät turbiinityypit ovat Pelton, Francis ja Kaplan. Suomessa käytetyt turbiinityypit ovat Francis ja Kaplan. Turbiinityypit voidaan jakaa kahteen kategoriaan: reaktioturbiineihin ja aktioturbiineihin. Reaktioturbiineihin kuuluvat Francis- ja Kaplan-turbiinit. Reaktioturbiineina käytetyt turbiinit voidaan jakaa kahteen ryhmään: aksiaaliturpiineihin ja radiaaliturpiineihin. Niiden ero muodostuu siitä, että radiaaliturpiinissa virtaus suuntautuu juoksupyörään säteittäisenä ja aksiaaliturpiinissa akselinsuuntaisesti. Reaktioturbiineille on ominaista, että vain osa veteen varastoidusta energiasta muutetaan pyörimisliikkeeksi. Tämän seurauksena juoksupyörän on oltava kokonaan veden peitossa, koska juoksupyörään halutaan muodostaa paine-ero eli rakoylipaine. Tästä johtuen Francis ja Kaplan turbiineja voidaan kutsua täysturbiineiksi. Aktioturbiineille on ominaista, että kaikki veteen varastoitu energia otetaan käyttöön. Aktioturbiineihin kuuluu Pelton – turbiini. Aktioturbiineissa vesi suihkutetaan suuttimien avulla turbiinin siipiin, joka saa aikaan turbiinin pyörimisen. /5/ /6/

3.3.1 Francis-turbiinit

Maailmanlaajuisesti käytetyin turbiinityyppi on Francis-turbiini ja Suomessakin se on ollut yleisin turbiinityyppi. Francis-turbiinin toiminta-alue yltää n. 700 m pudotuskorkeuteen ja 1000 MW tehoihin. Suomessa Francis-turbiineja käytetään lähinnä pienissä vesivoimalaitoksissa, joiden teho on alle 10 MW ja pudotuskorkeus 15...20 m:ä. Rakenteeltaan Francis-turbiinit ovat joko pysty- tai vaaka-akselisia ja ovat kokonaan veden ympäröimiä. Toiminnaltaan Francis-turbiini on hyvin samantapainen kuin keskipakoispumppu, mutta toiminta on vain päinvastainen. Vesi johdetaan Francis-turbiiniin spiraalin muotoista reittiä pitkin, mikä saa virtauksen lievään pyörreliikkeeseen. Pyörreliikkeen seurauksena virtauksen nopeus alkaa kiihtyä. Veden tullessa turbiinin kiinteisiin johdesiipiin pyörreliike voimistuu entisestään. Johdesiivet on rakennettu säädettäviksi, jotta niiden avulla voidaan säätää virtauksen määrää. Veden tulesa juoksupyörälle

ulkokehältä se muuttaa veden sisältämän energian vääntömomentiksi. Juoksupyörällä vesi kulkeutuu kohti kehän keskiosaa, josta se johdetaan imuputkea pitkin pois. Kuvassa 4 on esitetty Francis- turbiinin rakenne. /7/6/



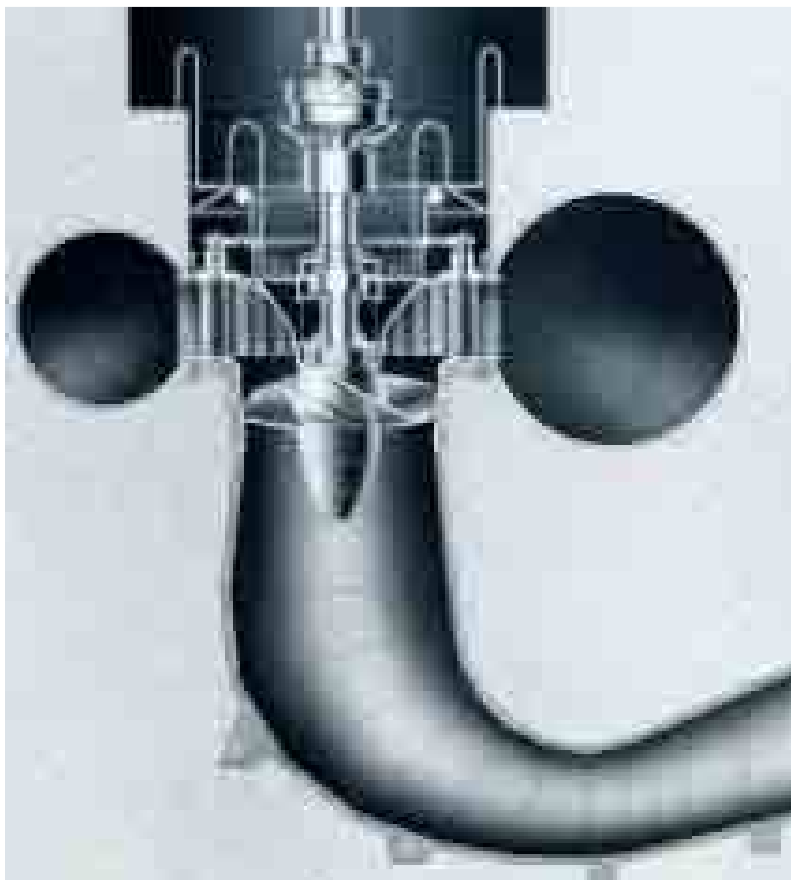
Kuva 4. Francis-turbiinin poikkileikkaus. /14/

Francis-turbiinien hyötysuhde suurilla koneilla on luokkaa 93...95 %, mutta Suomessa vastaavilla pienemmillä koneilla päästään vain 89...92 % hyötysuhteeseen. Paras mahdollinen hyötysuhde saavutetaan n. 80...90 % syötöllä. /6/

3.3.2 Kaplan-turbiinit

Kaplan-turbiini on Suomen käytetyin turbiinityyppi. Kaplan-turbiinin toiminta-alue ylettää 5...50 m pudotuskorkeuteen ja 10...500 m^3/s tilavuusvirtaukseen. Rakenteeltaan Kaplan-turbiini voidaan tehdä hyvin samanlaiseksi kuin Francis-turbiini. Tällöin johdesiivet ja staattori-siivet ovat samanlaiset molemmissa ja eroa on vain roottorissa. Kaplan-turbiinien juoksupyörä muistuttaa hyvin paljon veneen potkuria. Kaplan-turbiini toimii aksiaaliturbiinina. Kaplan-turbiinin toiminta perustuu potkurin läpi virtaavan veden aikaansaamaan vääntömomenttiin. Kaplan-turbiinin johtosiivet ovat säädettävät ja niiden avulla pyritään säätämään veden

virtausta ja määrää. Säädettävyyden ansiosta turbiinilla saavutetaan suuri käyttöalue. Kuvassa 5 on esitetty Kaplan-turbiinin rakenne. /8/6/



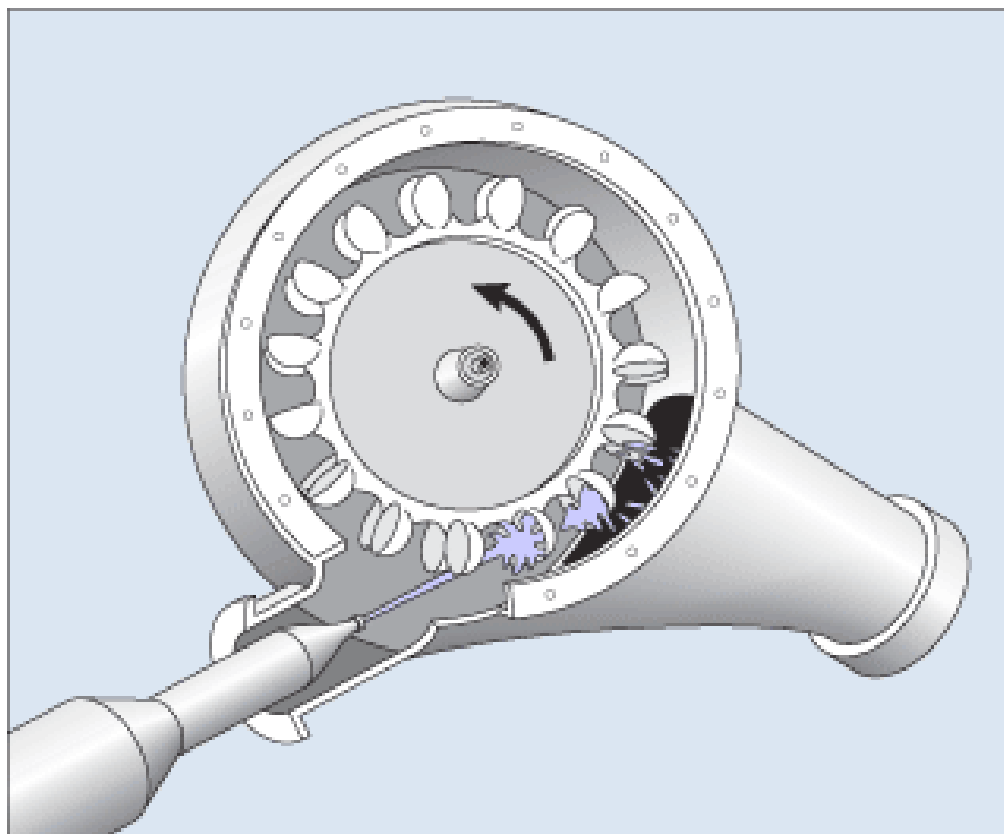
Kuva 5. Kaplan-turbiinin periaatteellinen rakenne. /16/

Kaplan-turbiinin hyötysuhde vaihtelee välillä 91...95 %. Tämä hyötysuhde saavutetaan jo 60...80 % syötöllä. Koneen hyötysuhde pysyy hyvänä, vaikka veden putouskorkeuden vaihtelu olisi suuri. /6/

3.3.3 Pelton-turbiinit

Pelton-turbiinit soveltuvat erityisesti vesivoimalaitoksiin, joissa putouskorkeus on suuri (usein satoja metrejä) ja veden virtaus on heikkoa. Tämän ansiosta Pelton-turbiini soveltuu hyvin vuoristojen vesivarojen hyödyntämiseen. Suomessa Pelton-turbiineja ei käytetä, koska putouskorkeudet ovat niin pieniä. Toiminnaltaan Pelton-turbiini on aivan kuin pyörivä ratas, jolla siivet ovat tavallisista poiketen kuppimaiset. Turbiinin toiminta perustuu siihen, että vesi suihkutetaan yhdestä tai useammasta suuttimesta turbiinin siipiin. Rataan eli

roottorin pyörimisnopeus suunnitellaan sitten, että vesi jättää kaiken liike-energian roottoriin. Vesi poistuu roottorista roiskuen tai tippuen alla olevaan poistoaukkoon. Tämän seurauksena veden sisältämä energia muutetaan vääntömomentiksi. Pelton-turbiinin hyötysuhde on n. 85 %. Kuvassa 6 on esitetty Pelton-turbiinin toimintaperiaate ja rakenne. /8/



Kuva 6. Pelton-turbiinin periaatteellinen toiminta. /15/

3.4 Generaattorit

Vesivoimaloiden kokojen vaihteluväli on satojen megawattien tehoista aina muutaman kilowatin tehoisiin mikrovesivoilaitoksiin, joten vesivoimalaitosten rakenneratkaisutkin vaihtelevat hyvin paljon enemmän kuin muissa voimalaitostyypeissä.

Alle 1 MW vesivoimalaitoksissa käytetään yleensä epätahtigeneraattoreita (oikosulkumoottoreita), joiden nimellisjännite on alle 1000 V. Oikosulkumoottorit ovat turbiinin ryntäysnopeutta vastaavaksi vahvistettuja oikosulkumoottoreita.

Oikosulkumoottorin käytöllä saavutetaan niin etuja kuin haittojakin. Etuina oikosulkumoottorin käytössä ovat sen kestävä ja yksinkertainen rakenne. Oikosulkumoottorin käytön haittana ovat sen rajoitetut säätöominaisuudet ja magnetointitehon kompensointitarve.

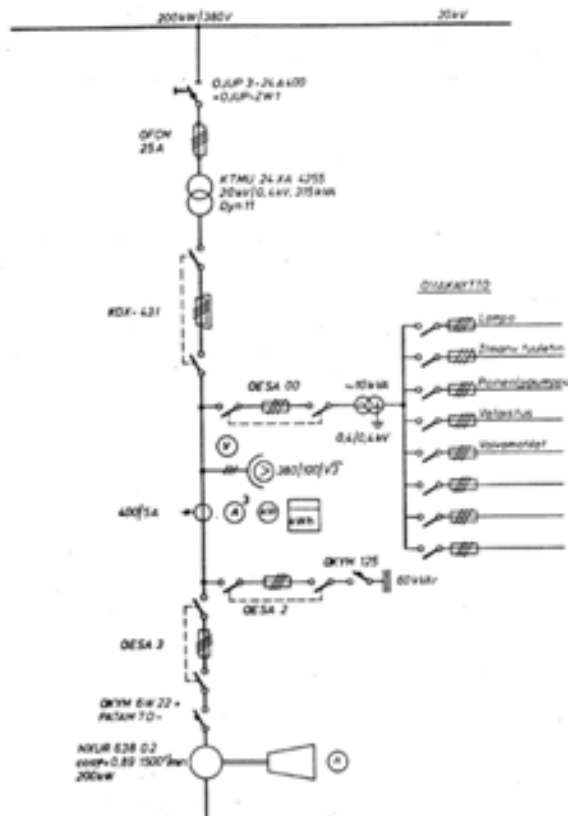
Vesivoimalaitoksien tehon ollessa yli 1 MW tai haluttaessa saavuttaa generaattorien parempi säädettävyys, käytetään avonaparakenteisia tahtigeneraattoreita. Tahtigeneraattorit toimivat normaalisti 6 kV – 20 kV nimellisjännitteellä. Pysty akselinen generaattori kytketään suoraan turbiinin akseliin ja pyörimisnopeus on yleensä alle 400 rpm.

Generaattoreiden rakennetta voidaan yksinkertaistaa noin 15 MW yksikkötehoihin asti. Tällöin generaattorin ja turbiinin välille asennetaan vaihde, joka nostaa generaattorin pyörimisnopeuden 750 rpm tai 1000 rpm. Tämän ansioista vesivoimageneraattoreina voidaan käyttää vakiorakenteisia vaaka-akselisia dieselgeneraattoreita.

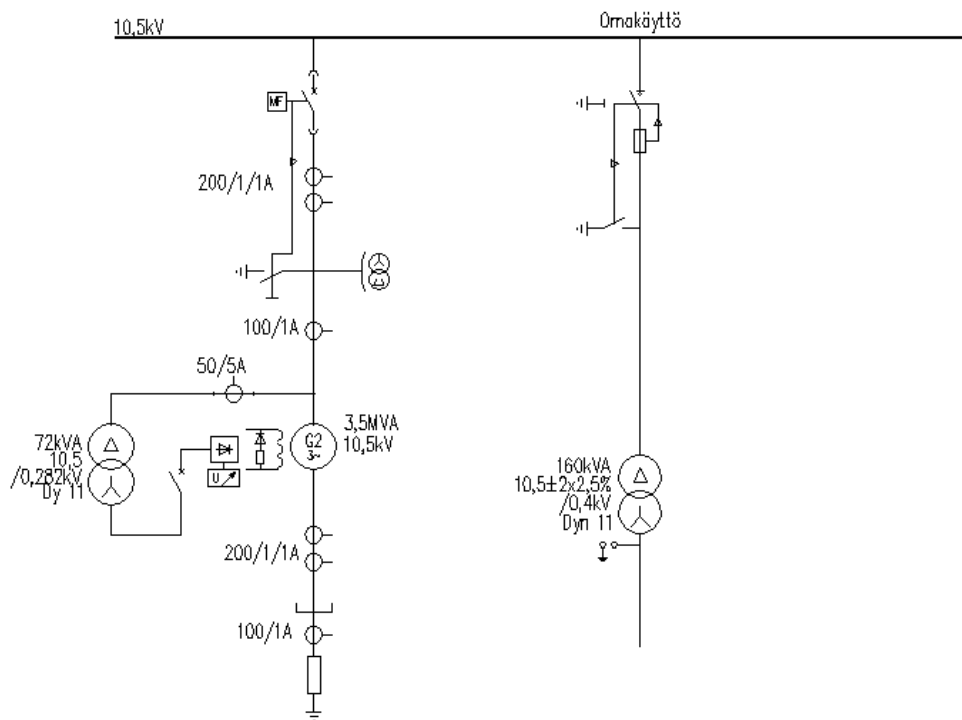
Generaattorien pitkän käyttöiän takia ne on hyvä varustaa kunnonvalvontajärjestelmällä. Kunnonvalvontajärjestelmä valvoo generaattorin ja turbiinin tärinää, generaattorin ilmaväliä ja lämpötilaa. Järjestelmään kuuluu anturit, mittauslaitteet ja laitteet signaalin käsittelyyn ja – tallennukseen. Laitteiden avulla voidaan hitaasti kehittyvät viat ennakoida ja havaita äkilliset viat mahdollisimman nopeasti. /9/

3.5 Vesivoimalaitoksien sähköjärjestelmä

Vesivoimalaitoksien sähköjärjestelmään valittavien kytkimien ja laitteiden valinta pohjautuu vaihtoehtojen väliseen teknis-taloudelliseen vertailuun. Vertailussa tulisi ottaa huomioon hankintahinta, hyötysuhteet, käytettävyys, käyttö- ja huoltokustannukset, laajennusmahdollisuudet ja lähtökohtatilanne. Kuvasta 7 voi nähdä epätahtigeneraattorilla ja kuvasta 8 tahtigeneraattorilla toteutetun vesivoimalaitoksen pääkaaviot. /6/



Kuva 7. Pääkaavio käytettäessä epätahtigeneraattoria. /6/



Kuva 8. Pääkaavio käytettäessä tahtigeneraattoria.

3.5.1 Omakäyttöjärjestelmä

Vesivoimalaitoksien omakäyttöjärjestelmä on rakennettu pieneksi ja sen tehon tarve on vähäistä. Omakäyttöjärjestelmää syötetään pääsääntöisesti vesivoimalaitoksen kokoojakiskosta. Omakäyttöjärjestelmä koostuu suurimmalta osin normaalista talosähköistyksestä, erilaisista pumpuista, paineilmakompressoreista ja tasasuuntaajien tarvitsemasta tehosta. /9/

Omakäyttöjärjestelmän syöttöpisteen valintaan vaikuttavat monet tekijät. Syötettäessä omakäyttöjärjestelmää suoraan generaattorin navoista tulisi varmistaa, että laitoksen seistessä on käytettävissä vaihtoehtoinen syöttötie omakäyttöjärjestelmälle. Omakäyttöjärjestelmän sähkön saanti voidaan myös hoitaa suoraan jakeluverkosta. Tällöin omakäyttöjärjestelmä kytketään suoraan jakeluverkkoon erillisellä apumuuntajalla. Apumuuntajan käytöllä varmistetaan omakäyttöjärjestelmän toiminta, vaikka generaattorit eivät pyöri. /6/

3.5.2 Tasasähköjärjestelmä

Miehittämättömän vesivoimalaitoksen toiminnan edellytyksenä on tasasähköjärjestelmän luotettavuus. Vesivoimalaitoksen tasasähköjärjestelmä rakentuu varaajasta, akuista, jakelujärjestelmästä ja suojausyksiköistä. Tasasähköjärjestelmän tarkoitus on syöttää laitoksen turvallisen käytön tarvitsemat suojaus- ja ohjausjärjestelmät, joten siltä odotetaan korkeaa luotettavuutta. Tasasähköjärjestelmän tärkeimmät perusteet ovat riittävä kapasiteetti, selkeä perusrakenne, hyvä suojaus vikoja ja häiriöitä vastaan, selektiivinen oikosulkusuojaus, toimintakyvyn luotettava valvonta ja säännönmukainen huolto. /9/6/

Tasajännitejärjestelmän jännitetasoksi valitaan joko 110 V tai 48 V. 48 V jännitetaso on erittäin käyttökelpoinen kahden akun järjestelmässä. Tällöin toinen akuista syöttää kaukokäyttöjärjestelmää, jolla varmennetaan laitoksen suojauksia ja hälytyksiä. /6/

3.5.3 Valvonta- ja suojausjärjestelmä

Ylä- ja alavedenpinnan korkeuden mittaamiseen on mahdollista käyttää uimurijärjestelmää. Uimurijärjestelmän käyttäminen vaatii uimurikaivoja ja niiden eristämistä ja lämmittämistä. Vedenpinnan korkeuden mittaamiseen voidaan käyttää myös paine- ja paine-eroantureita. Paineantureita käytettäessä tulee huomioida, että ilmanpaineen vaihtelut eliminoidaan. Pinnankorkeusantureina käytetään myös akustisia ja kapasitiivisiä antureita. Ylävedenpinnan korkeuden tietäminen on tarpeellista tehonsäädön ohjaamiseen, tulvaluukkujen ohjaamiseen ja mahdollisten hälytyksien saamiseen liian korkeasta vedenpinnasta. Alavedenpinnan korkeuden tietämistä käytetään lähinnä siihen, että ilmaistaan mahdolliset tukokset alakanavassa. Vesivoimalaitoksen väljän paine-eron mittaaminen on tarpeellista. Paine-eron avulla voidaan muodostaa hälytystieto väljän puhdistustarpeesta tai käynnistää automatisoitu puhdistusjärjestelmä. /6/

Vesivoimalaitoksen suojausjärjestelmä on rakennettu siten, että relesuojaus toimii yhdessä ohjausjärjestelmän kanssa. Käytettävät suojareleet voidaan karkeasti

jakaa kahdentyyppisiin suojiin: eristysvikoja tarkkaileviin oiko- ja maasulkusuojiin sekä voimalaitoksen käyttöä valvoviin suojiin. Eristysvikoja valvovan suojareleen tärkeimmät suojattavat komponentit ovat generaattorit ja muuntajat. Voimalaitoksen käyttöä valvovien suojareiden tarkoitus on suojata laitoksen komponentteja ulkopuolisilta vioilta ja häiriöiltä.

Vesivoimalaitokset ovat useimmiten miehittämättömiä ja kaukokäytettyjä, jonka seurauksena laitokselle asetetaan suuret käytettävyyksivaatimukset. Vaatimusten seurauksena vesivoimalaitoksien ohjaus- ja suojausjärjestelmien odotetaan olevan erittäin toimintavarmoja ja luotettavia. Vaatimusten ollessa erittäin kovia, vesivoimalaitoksien sähköjärjestelmässä on syytä pyrkiä kahdentamaan järjestelmä, jotta yhden komponentin tai laitteiston vikaantuminen ei vaikuttaisi koko voimalaitoksen toimintaan. /9/

4 VERKOSTOLASKENNAN TARVE

Verkostolaskenta-ohjelmiston tarve ja siltä vaaditut laskentaominaisuudet pyrittiin kartoittamaan kyselylomakkeiden ja haastatteluiden avulla. Samalla selvitettiin, kuinka verkostolaskenta tällä hetkellä tehdään. Haastatteluihin ja kyselylomakkeisiin kerättiin tiedot kaikilta suunnittelijoilta, joille ohjelmistosta olisi hyötyä. Saatujen tulosten pohjalta kävi ilmi, että automaatio suunnittelijoilla ei ollut tarvetta laskentaohjelmistoille. Ainoastaan sähkösuunnittelijat kokivat ohjelmiston tarpeelliseksi. Haastatteluissa ilmeni myös, että suurelle verkostolaskenta-ohjelmistolle ei ollut tarvetta, vaan ohjelmiston tulisi olla mahdollisimman kevyt ja yksinkertainen suunnittelijoiden jokapäiväiseen käyttöön. Laskentaohjelmiston toivottiin pystyvän laskemaan kolmivaiheiset oikosulkuvirrat, suojareleiden asettelut ja virtamuuntajien taakat. Tähän asti kyseisten tietojen laskenta oli suoritettu Excel-ohjelmiston avulla. Haastatteluilla ja kyselylomakkeilla saatujen tietojen perusteella päädyttiin siihen lopputulokseen, että tällä hetkellä ei ole kannattavaa hankkia laskentaohjelmistoa. Kartoituksessa saatujen Excel-pohjien todettiin olevan toimivia haluttujen tietojen laskemiseen, joten päätettiin tehdä saaduista laskentapohjista pienen laskentatyökalun suunnittelijoille. Kartoituksessa saadut Excel-laskentapohjat eivät olleet suoraan käyttökelpoisia, vaan niitä tuli hieman parannella ja muokata, jotta niiden käyttäminen olisi mahdollista myös tulevaisuudessa. Excel-laskentapohjat päätettiin toteuttaa pienjänniteverkon ja keskijänniteverkon oikosulkuvirtojen laskentaan. Aikaisemmin oikosulkulaskelmat oli suoritettu likimääräisillä laskentakaavoilla, joten tavoitteena oli tehdä laskentapohjat joilla saavutettaisiin parempi laskentatarkkuus. Virtamuuntaja Excel-laskentapohja oli valmiiksi käyttökelpoinen, mutta laskentapohja haluttiin kuitenkin tarkistaa laskentakaavojen osalta. Suojareleiden asetteluiden laskentaa ei löytynyt suoranaista laskentapohjaa. Kartoituksessa löytyi kuitenkin suojareleille tarkoitettu Excel-pohja, johon pystyttään keräämään suorareleelle tallennetut parametrit. Excel-pohja onkin käyttökelpoinen esimerkiksi loppudokumentoinnin yhteydessä, sillä sen avulla voidaan hyvin dokumentoida suojareleiden parametrit. Huomattavaa on kuitenkin, että kyseinen Excel-pohjan on tehty pääosin REG670

suojareleen asetteluiden tallentamiseen. Excel-pohjaa voidaan kuitenkin soveltaa muiden 600-sarjan suojareleiden asetteluiden tallentamiseen niiden suojausfunktioidenosalta, mitkä löytyvät muista suojarelemalleista. Tämä johtuu siitä, kun suojareleiden suojausfunktioiden-kirjastot poikkeavat toisistaan, mutta samojen suojausfunktioiden asettelu kirjastot ovat samanlaisia.

4.1 Oikosukulaskenta

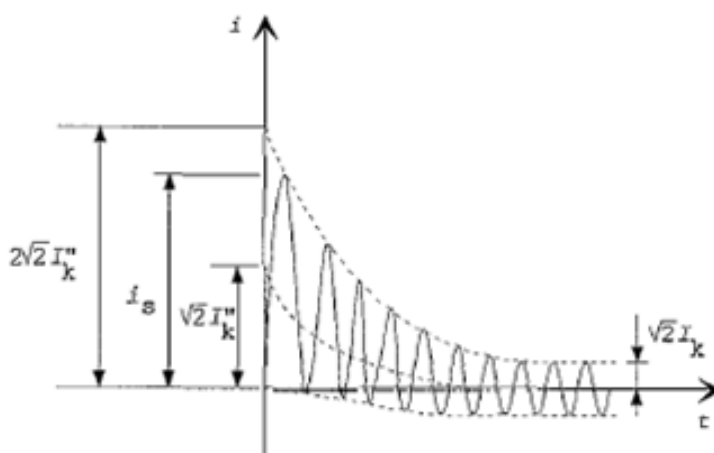
Sähköjärjestelmän laitteiden mitoituksessa, oikosulkusuojauksen suunnittelussa ja turvallisen käytön suunnittelussa on tiedettävä oikosulkuvirrat eri osissa sähköjärjestelmää ja eri kytkentätilanteissa. Sähköjärjestelmään valittavien komponenttien tulee kestää oikosulun aiheuttamat dynaamiset ja termiset rasitukset. /9/

Oikosulkuvirtojen vaikutuksia kolmivaihejärjestelmässä käsitellään IEC-standardissa 60909-1 ja 60851-1. Standardissa 60909-1 on ohjeita ja yhtälöitä oikosulkuvirtojen laskemiseen sähköverkon eri kytkentätilanteissa. Standardissa 60851-1 käsitellään laskentamenetelmiä, joilla otetaan huomioon oikosulkuvirtojen termisiä vaikutuksia ja voimavaikutuksia. IEC-standardissa käytetään jonkin verran likimääräistä laskentatapaa joidenkin impedanssiarvojen määrittämiseen (esim. generaattoreiden, generaattori-muuntaja-yhdistelmien ja voimalaitoslaitteiden impedanssit). IEC-standardissa 60909-1 oikosulkuvirtojen laskennassa käytetään jännitekerrointa c . Jännitekerroin c , voidaan lukea taulukosta 1. IEC laskutavoissa käytetään jännitearvon U sijaan arvoa cU . Kyseinen laskentamenetelmä ottaa huomioon mm. käämikytkimen vaikutuksen oikosulkuvirtaan ja sen, että IEC:n laskentatavassa ei oteta huomioon verkon kapasitansseja ja kuormia. /10/

Taulukko 1. IEC- standardin mukainen jännitekerroin./9/

Nimellisjännite U_n	Maksimioikosulkuvirta C_{max}	Minimioikosulkuvirta 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

Oikosulkuvirrassa voi esiintyä vaimeneva tasavirtakomponentti, jonka suuruus on riippuvainen oikosulkuilanteen syntymishetkestä ja vaimenemisnopeus on riippuvainen piirin R/X-suhteesta. Oikosulkuvirrassa esiintyy myös vaihtokomponentti, jossa voi esiintyä vaimeneva osa. Vian alkuhetkellä oikosulkuvirrassa esiintyy alkuoikosulkuvirta I_k'' , mikä on symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo. Generaattoreiden lähellä tapahtuvassa viassa alkuoikosulkuvirran suuruus on riippuvainen generaattoreiden reaktansseista. Oikosulkuilanteen aikana generaattoreiden reaktanssit kasvavat, jonka seurauksena alkuoikosulkuvirta vaimenee pysyvän tilan arvoon I_k . Oikosulkuvirran ensimmäistä huippuarvoa kutsutaan sysäisoikosulkuvirraksi i_p tai i_s . Kuvassa 9 on kuvattu kuinka oikosulkuvirta käyttäytyy vian aikana./9/

**Kuva 9.** Oikosulkuvirran käyrämuoto generaattorin lähiviassa. /10/

4.1.1 Alkuoikosulkuvirta I_k''

Alkuoikosulkuvirran arvolla kuvataan oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvoa oikosulun syntyhetkellä. Alkuoikosulkuvirran avulla määritetään muita oikosulkuvirran suureita, eikä sitä tulisi sellaisenaan käyttää mitoituksessa. Mitoitettaessa alkuoikosulkuvirran perusteella johtaisi, esimerkiksi teollisuusverkoissa turhaan ylimitoittamiseen, koska oikosulkuvirratt vaimenevat nopeasti.

Alkuoikosulkuvirran suuruuteen vaikuttaa vikapaikkaa edeltävän verkon komponenttien impedanssit. Verkossa olevat tahti- epätahtikoneet pyrkivät kasvattamaan alkuoikosulkuvirran suuruutta vikapaikassa, johtuen magneettikenttään varastoidusta energiasta. Epätahtikoneet voivat syöttää oikosulkuvirtaa vikapisteeseen 3...5 jakson ajan ennen kuin magneettikentän energia on vähentynyt. Pyörivissä koneissa tapahtuvat sisäiset impedanssien muutokset vaikuttavat oikosulkuvirran suuruuden vaimenemiseen. /11/

4.1.2 Sysäysoikosulkuvirta i_s

Sysäysoikosulkuvirta kuvaa suurinta mahdollista oikosulkuvirran hetkellisarvoa. Oikosulkuvirran suurin huippu saavutetaan normaalisti noin 10 ms kohdalla oikosulun syntymisestä. Sysäysoikosulkuvirran arvoa käytetään sähköjärjestelmän komponenttien mitoittamiseen. Sen avulla pyritään mitoittamaan komponentti siten, että se kestää oikosulkuvirran voimavaikutuksia. Sysäysoikosulkuvirran arvo voidaan laskea kaavalla 1. /10/

$$i_s = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (1)$$

jossa

i_s = sysäysoikosulkuvirta

κ = sysäyskerroin

I_k'' = alkuoikosulkuvirta

Sysäyskerroin κ on riippuvainen oikosulkupiirin resistanssin ja reaktanssin suhteesta. Sysäyskerroimen arvo voidaan laskea kaavalla 2.

$$\kappa = 1,02 \cdot 0,98e^{\frac{-3R}{X}} \quad (2)$$

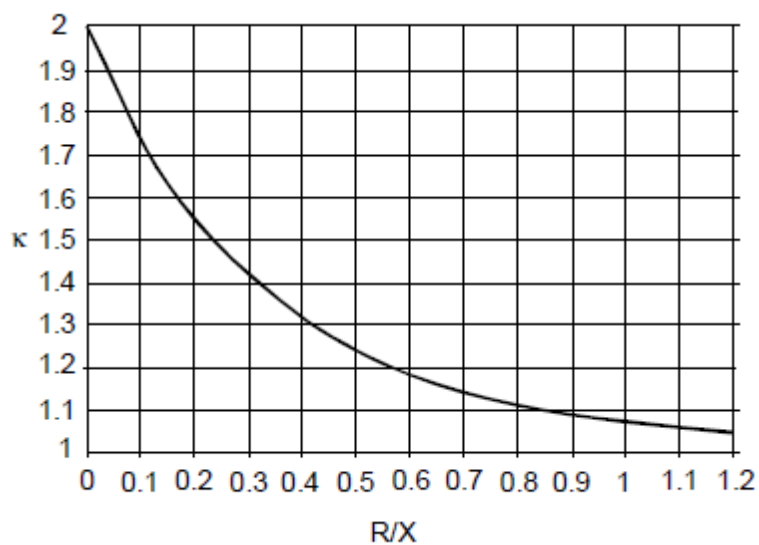
jossa

R = resistanssin arvo

X = reaktanssin arvo

κ = sysäyskerroin

Sysäyskerroin voidaan myös määrittää kuvasta 10 jossa sysäyskerroin on piirretty R/X suhteen funktiona.



Kuva 10. Sysäyskerroin oikosulkupiirin R/X funktiona. /10/

Mikäli oikosulkupiirin R/X suhdetta ei tiedetä, suurjännitteellä voidaan käyttää sysäyskerroimen arvona 1,8 ja pienjännitteellä voidaan sysäyskerroimien arvot lukea taulukosta 2.

Taulukko 2. Tyypillisimmät sysäyskertoimet pienjännitteellä. /10/

I_k^n / kA	κ	$\cos\varphi$
≤ 10	1,2	0,5
≤ 20	1,4	0,3
≤ 50	1,5	0,25
> 50	1,6	0,2

Mikäli oikosulkupiirissä on useita oikosulkuvirtaa syöttäviä lähteitä ja eivät ole riippuvaisia toisistaan, vikakohdassa syntyvä kokonaisuikosulkuvirta on jokaisen lähteen sysäysoikosulkuvirran summa. Kokonaisuikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 3. /10/

$$i_s = i_{s1} + i_{s2} + \dots + i_{sn} \quad (3)$$

jossa

i_s = kokonaissysäysoikosulkuvirta

$i_{s1}, i_{s2}, \dots, i_{sn}$ = lähteiden sysäysoikosulkuvirta

4.1.3 Pysyvän tilan oikosulkuvirta I_k

Pysyvän tilan oikosulkuvirta on saavutettu sitten, kun kaikki muutosilmiöt ovat vaimentuneet virrasta. Pysyvän tilan oikosulkuvirralla on hyvin vaikeaa laskea tarkkaa arvoa. Tämä johtuu siitä, että pysyvän tilan oikosulkuvirta on riippuvainen mm. tahtikoneiden magnetointitavasta ja -säädöstä, verkon kytkentätilan muutoksista vian aikana sekä generaattorien ja muuntajien jännitteensäädöstä. Sähköjärjestelmän oikosulkukestoisuuden tarkistamiseen riittää yleensä tieto suurimmasta esiintyvistä pysyvän tilan oikosulkuvirrasta. Pienimmän mahdollisen pysyvän tilan oikosulkuvirran tietäminen ei ole mitoituksen kannalta tarpeellista, koska yleensä oikosulkusuojat ehtivät toimia ennen kuin pysyvän tilan arvo saavutetaan. Sähköjärjestelmässä olevien tahtikoneiden suurimman pysyvän tilan oikosulkuvirta I_{kmax} on mahdollista laskea kaavalla 4.

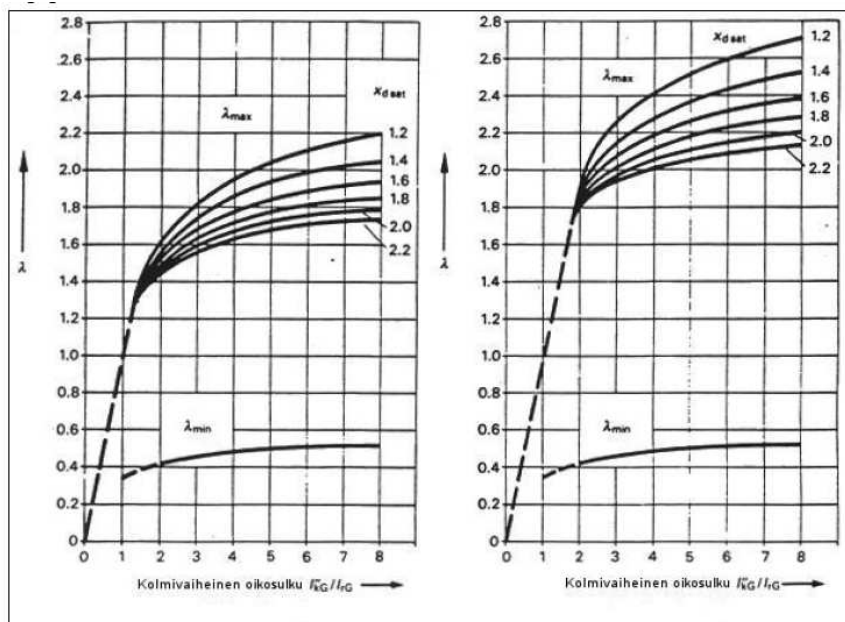
$$I_{kmax} = \lambda_{max} \cdot I_n \quad (4)$$

jossa

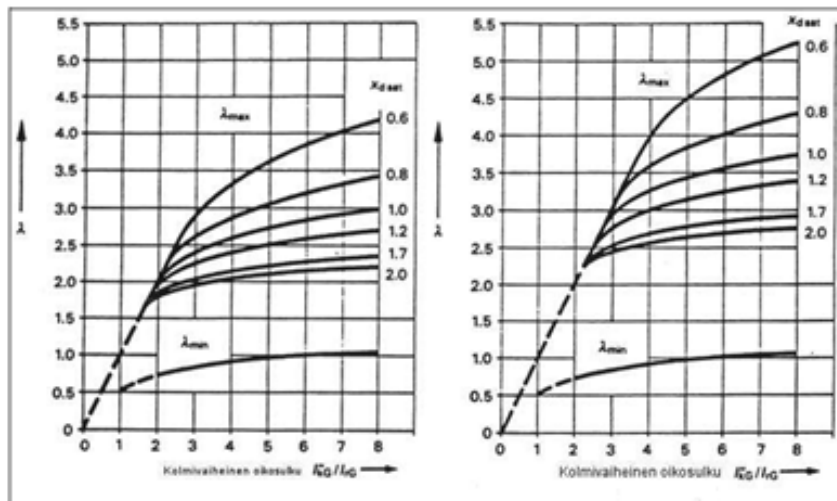
λ_{max} = suurinta magnetointia vastaava kerroin

I_n = laitteen nimellisvirta

Suurin mahdollinen magnetointikerroin on mahdollista selvittää kuvista 11 ja 12. Kuvissa 11 ja 12 x_d kuvastaa kyllästyneen tahtireaktanssin arvoa ja I_{kG}/I_{nG} kuvastaa generaattorin alkuoikosulkuvirran suhdetta nimellisvirtaan. Kuvasta 11 saatavaa kerrointa voidaan hyödyntää umpinapatahtikoneille ja kuvasta 12 saatava kerroin sopii puolestaan avonapakoneille. Kuvan 11 vasemmanpuoleiset käyrät toimivat silloin, kun suurimman magnetointijännitteen suhde nimelliseen on 1,3 ja oikeanpuoleiset käyrät, silloin kun niiden suhde on 1,6. Kuvan 12 vasemmanpuoleinen käyrästä on toimiva kun, avonapakoneen suurimman magnetointijännitteen suhde nimelliseen on 1,6 ja oikeanpuoleiset käyrästä ovat käyttökelpoisia silloin, kun niiden suhde on 2,0. /10/11/



Kuva 11. λ_{max} selvittäminen umpinapageneraattorin tapauksessa. /11/



Kuva 12. λ_{\max} selvittäminen avonapageneraattorin tapauksessa. /11/

4.1.4 Terminen oikosulkukestoisuus I_{th}

Sähköjärjestelmässä olevat laitteet tulee mitoittaa kestäämään oikosulkuvirran termisiä vaikutuksia. Oikosulkuvirran arvo muuttuu yleensä oikosulun aikana, etenkin lähellä generaattoria tapahtuvissa oikosuluissa. Tämän seurauksena pyritään määrittämään ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta, jotta pystyttäisiin arvioimaan todellisen oikosulkuvirran aiheuttamaa lämpömäärää. Terminen oikosulkuvirran I_{th} kestoisuus ilmoitetaan yleensä 1s pituiselle jaksolle, mutta huomattava on, että käytössä on muitakin arvoja. Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 5. /10

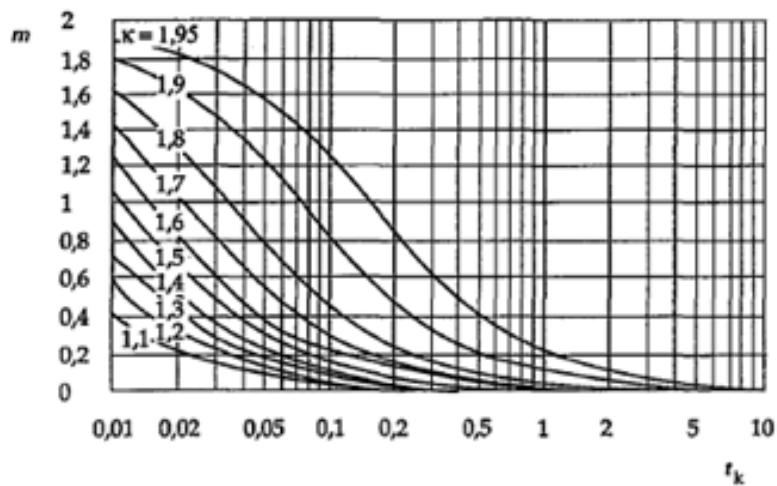
$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{(m + n)} \quad (5)$$

jossa

m = tasavirtatekijä

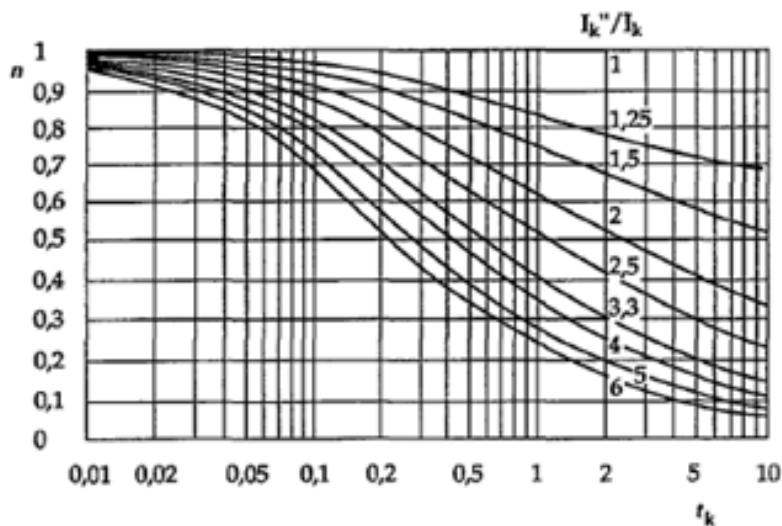
n = vaihtovirtatekijä

Tasavirtatekijän m avulla halutaan kaavassa huomioida oikosulkuvirran tasavirtatekijän pieneneminen. Tasavirtatekijän arvo on riippuvainen oikosulkuvirran sysäyskertoimesta ja oikosulkutilanteen kestoajasta. Tasavirtatekijän m arvo saadaan kuvasta 13. /10/



Kuva 13. Tasavirtatekijä m määrittäminen. /10/

Oikosulkuvirrassa esiintyvän vaihtovirtakomponentin vaimeneminen huomioidaan kaavassa 5 kertoimella n . Vaihtovirtakomponentti on riippuvainen alkuoikosulkuvirran ja pysyvän tilan oikosulkuvirran suhteesta I_k''/I_k ja oikosulkuvirran kestoajasta. Vaihtovirtakomponentti voidaan määrittää kuvan 14 avulla. /10/



Kuva 14. Vaihtovirtakomponentin n määrittäminen. /10/

Oikosulkupiirin laitteiden termistä tarkastelua tehtäessä on huomioitava, että oikosulkuvirta rasittaa laitteita hyvin harvoin koestuksen pohjana olevan ajan, esimerkiksi 1 s. Oikosulkupiirin laitteiden termistä virtakestoisuutta voidaan

tarkastella yhtälöllä 6. Oikosulkupiirin laitteet kestävät termiset rasitukset silloin, kun epäyhtälö 6 on voimassa. /13/

$$I_{th} \leq I_{thn} \cdot \sqrt{\frac{t_N}{t}} \quad (6)$$

joissa

I_{thn} = laitteen nimellinen termien oikosulkukestoisuus

t_N = nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava aika

4.1.5 IEC:n standardoimat laitteiden mitoitusvirrat

IEC on standardoinut laitteiden mitoittamiseen tietyjä virran arvoja. Taulukossa 3 on esitetty laitteiden standardin mukaiset mitoitusvirrat. Taulukossa 3 termisen kesto- ja oikosulkuvirran huippuarvon suhde on n. 2,5 ja arvo vastaa likimäärin kaavassa 1 sysäyskertoimen κ arvoa 1,8. Taulukossa 3 I_{thr} kuvastaa 1 s termistä oikosulkuvirtaa ja i_p kuvastaa oikosulkuvirran huippuarvoa. /13/

Taulukko 3. IEC:n määrittelemät virtakestoisuudet /13/

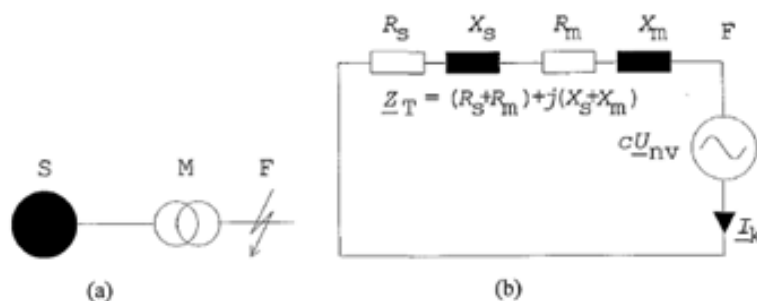
I_{thr}/kA	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0
i_p/kA	12,5	16,0	20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0	125,0	160,0	200,0	250,0

Huomioitavaa on, että useasti mitoitus tapahtuu alkuoikosulkuvirran perusteella. Voimalaitosverkoissa 1 s:n oikosulkuvirta yhtälöllä (5) laskettaessa on huomattavasti pienempi kuin alkuoikosulkuvirta I_k . Tämän seurauksena rajoittavaksi tekijäksi jää sysäysvirran määräämä dynaaminen kestoisuus. Hyvin useasti mitoitus tapahtuu siten, että verrataan laskettua alkuoikosulkuvirtaa kojeiston 1 s:n virta-arvoon. Mitoituksen tapahtuessa taulukko 3 mukaan, niin käytännössä myös laitteen dynaaminen virtakestoisuus toteutuu.

4.1.6 Oikosulkuvirran laskeminen Thevenin menetelmällä

Thevenin laskentamenetelmässä kolmivaihejärjestelmä muutetaan thevenin yksivaiheiseksi sijaiskytkennäksi. Sijaiskytkennässä oikosulkupiirin kaikki komponentit ja lähteet muutetaan oikosulkuimpedansseiksi ja vikapaikkaan

sijoitetaan ns. ekvivalenttinen jännitelähde cU_n . Kuvassa 15 on yksinkertainen malli jossa verkosta on tehty thevenin yksivaiheinen sijaiskytkentä./9/



Kuva 15. Oikosulkuvirran laskeminen Thevenin periaatteella. /10/

Kuvan 15 kohdassa (a) on tutkittava verkko, jossa tapahtuu oikosulku muuntajan takana pisteessä F. S kuvastaa verkkoa, josta teho syötetään muuntajan kautta vikapisteeseen. Kuvan 15 kohdassa (b) on muodostettu thevenin sijaiskytkentä (a) kohdan tilanteesta. Piirissä R_s kuvastaa syöttävän verkon resistanssia ja X_s kuvastaa verkon reaktanssia. R_m ja X_m kuvastavat muuntajan resistanssia ja reaktanssia. Z_T on Thevenin impedanssi, joka lasketaan oikosulkupiirin resistansseista ja reaktansseista. Pisteessä F oikosulkuvirran laskeminen onnistuu kaavalla 7. /10/

$$I_k = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_T} \quad (7)$$

jossa

c = jännitekerroin (taulukko 1)

U_n = verkon nimellisjännite

Z_T = Thevenin oikosulkuimpedanssi, redusoituna vikapisteen jännitetasoon

4.1.7 Oikosulkupiirin komponenttien tarkastelu

Käytettäessä Thevenin laskentamenetelmää oikosulkuvirtojen laskemiseen niin, oikosulkupiirin komponentteja tulee pystyä kuvaamaan riittävän tarkkoilla matemaattisilla malleilla.

Sähköverkossa oikosulkuvirtaa syöttäviä komponentteja ovat verkko, tahtikoneet, ja epätahtimoottorit. Oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttaa eniten verkon ja generaattoreiden syöttämät oikosulkuvirrat. Tahti- ja epätahtimoottoreiden syöttämä oikosulkuvirta tulisi ottaa huomioon kun määritetään sysäysoikosulkuvirtaa. Oikosulkuvirtaa rajoittaviksi komponenteiksi luetaan muuntajat, kuristimet, kaapelit ja kiskot. Seuraavassa käsitellään kuinka edellä mainittuja komponentteja kuvataan matemattisesti. /10/

Syöttävästä verkosta tulisi tietää laskentaa varten joko alkuoikosulkuvirta tai alkuoikosulkuteho. Näiden tietojen avulla voidaan laskea verkon impedanssi kaavalla 8.

$$Z_{kv} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{kv}''} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{kv}''} \quad (8)$$

jossa

U_n = verkon nimellispääjännite

S_{kv}'' = verkon näennäinen alkuoikosulkuteho

I_{kv}'' = verkon alkuoikosulkuvirta

c = taulukon 1 mukainen jännitekerroin

Syöttävän verkon ollessa avojohtoverkkoa ja pääjännite yli 35 kV, niin voidaan olettaa likikmääräisesti, että verkon impedanssin koostuu pelkästään reaktanssista eli $Z_{kv} = X_{kv}$.

Tahtikoneiden alkureaktanssi voidaan laskea yhtälöllä 9.

$$X_G'' = \frac{x_d''}{100\%} \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \quad (9)$$

jossa

x_d'' = suhteellinen alkureaktanssi

U_{rG} = nimellispääjännite

S_{rG} = nimellinäennäisteho

Kaksikämmimmuuntajien oikosulkusuureet voidaan laskea kilpiarvojen perusteella. Kaavan 10 avulla voidaan määrittää muuntajan oikosulkuimpedanssi, kaavan 12 avulla lasketaan oikosulkureaktanssi ja kaavalla 11 oikosulkuresistanssi. Laskennoissa suurten muuntajien impedanssi voidaan olettaa koostuvan pelkästään oikosulkureaktanssista, koska resistanssin osuus on pieni, joten sen aiheuttamalla laskentavirheellä ei ole merkitystä. Resistanssin vaikutus tulee kuitenkin ottaa huomioon silloin kun määritetään sysäisoikosulkuvirtaa. /10/

$$Z_k = \frac{z_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (10)$$

$$R_k = \frac{r_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{P_{kn}}{3 \cdot I_n^2} \quad (11)$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (12)$$

joissa

Z_k = muuntajan oikosulkuimpedanssi

R_k = muuntajan oikosulkuresistanssi

X_k = muuntajan oikosulkureaktanssi

U_n = muuntajan pääjännite

I_n = muuntajan nimellisvirta

S_n = muuntajan näennäisteho

P_{kn} = muuntajan nimelliskuormitushäviöt

z_k = muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi

r_k = muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi

Kaapelien vaikutus oikosulkuvirran suuruuteen on verrannollinen niiden pituuteen. Usein keskijänniteverkoissa kaapelien pituudet ovat lyhyitä, joten niiden vaikutus oikosulkupiirin impedanssin suuruuteen on vähäistä. Pienjännitteellä kaapeliosuuksien pituudet saattavat olla hyvinkin pitkiä, joten niiden huomioiminen oikosulkuvirran laskennoissa on erityisen tärkeää. Sähköverkossa olevien kaapelien resistanssit ja reaktanssit ovat saatavissa

valmistajalta. Valmistajat ilmoittavat arvot pituusyksikköä kohden, joten kaapelin impedanssi voidaan laskea yhtälöllä 13. /10/

$$Z_j = l \cdot (r \cdot jx) \quad (13)$$

jossa

r = kaapelin resistanssi pituusyksikköä kohti

x = kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohti

l = kaapelin pituus

4.1.8 Oikosulkulaskenta ominaisoikosulkutehoilla

Yksinkertaisin ja helpoin keino määrittää verkossa esiintyvät oikosulkuvirrat on käyttää ominaisoikosulkuteholaskentaa. Ominaisoikosulkutehoilla laskeminen on järkevää silloin, kun riittää likimääräinen tulos oikosulkuvirroista. Ominaisoikosulkutehon käsitteellä pyritään kuvastamaan oikosuluntehoa kun oletetaan, että vikapaikassa vaikuttaa samanaikaisesti nimellisjännite ja täysi oikosulkuvirta. Oikosulkupiirissä olevan komponentin jälkeistä oikosulkutehoa voidaan kuvastaa ominaisoikosulkuteholla, mikäli piirin muut komponentit eivät rajoita sitä. Ominaisoikosulkutehojen avulla voidaan hyvin yksinkertaisesti määrittää alkuoikosulkuvirta I_k'' . Laskettaessa oikosulkuvirtaa ominaisoikosulkutehoilla, laskennoissa huomioidaan ainoastaan reaktanssit. Resistanssien poisjättämisestä seuraa se, että sysäyskertoimen määrittäminen on epätarkempaa. Sysäyskertoimen suuruusluokka voidaan kuitenkin arvioida sähköjärjestelmän tärkeimpien komponenttien R/X suhteesta. Verkossa olevien muuntajien ja generaattoreiden tuottama ominaisoikosulkuteho voidaan laskea kaavoilla 14 ja 15. /9/

$$S_{kp} = \frac{U_n^2}{Z_k} \quad (14)$$

$$S_{kp} = \frac{S_n}{Z_k} \sim \frac{S_n}{Z_d} \quad (15)$$

joissa

S_{kp} = komponentin tuottama ominaisoikosulkuteho

U_n = komponentin nimellispääjännite

Z_k = komponentin oikosulkuimpedanssi per vaihe

z_k = komponentin suhteellinen oikosulkuimpedanssi

z_d = generaattorin suhteellinen tahtireaktanssi

Mikäli piirissä on paljon rinnan kytkettyjä laitteita ja jokainen niistä tuottaa ominaisoikosulkutehoa, vikapisteessä oleva kokonaisuikosulkuteho voidaan laskea kaavalla 16. Laitteiden ollessa sarjassa niiden tuottama kokonaisuikosulkuteho voidaan laskea kaavalla 17. /9/

$$S_k = S_{k1} + S_{k2} + \dots + S_{kn} \quad (16)$$

$$\frac{1}{S_k} = \frac{1}{S_{k1}} + \frac{1}{S_{k2}} + \dots + \frac{1}{S_{kn}} \quad (17)$$

joissa

S_k = komponenttien tuottama kokonaisuikosulkuteho

S_{kn} = komponentin tuottama ominaisoikosulkuteho

Ominaisoikosulkutehojen ollessa tiedossa, niiden aiheuttama oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 18.

$$I_k = \frac{1,1 \cdot S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (18)$$

jossa

I_k = oikosulkuvirran arvo

S_k = komponenttien tuottama kokonaisuikosulkuteho

U_n = vikapaikan nimellispääjännite /10/

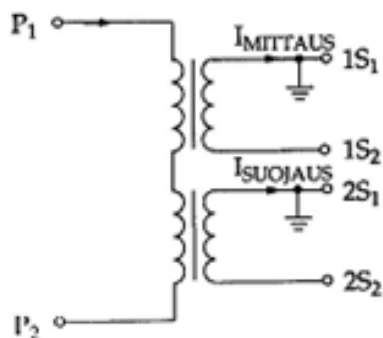
5 VIRTAMUUNTAJIEN OMINAISUUDET

Mittamuuntajat ovat erikoisrakenteisia muuntajia, joiden tehtävänä on virran ja jännitteen mittaaminen. Mittamuuntajien käytöllä pyritään saavuttamaan seuraavia hyötyjä:

- voidaan erottaa mittauspiiri galvaanisesti suurjännitteisestä pääpiiristä
- voidaan standardoida mittaus- ja suojalaitteita tietyille mitoitusarvoille
- voidaan suojata mittalaitteita
- voidaan mahdollistaa mittalaitteiden ja releiden sijoittaminen kauemmaksi mittauspaikasta.

Mittamuuntajien ominaisuuksia voidaan tutkia käyttäen tavallisen muuntajan sijaiskytkentää. Mittamuuntajien käytössä on kuitenkin muistettava, että virtamuuntajien toisiokäämi on oikosuljettu ja jännitemuuntajien toisiokäämi on tyhjäkäynnissä. Mittamuuntajien on pystyttävä mittaamaan virta ja jännite normaalikäytössä mahdollisimman virheettömästi. Täysin virheettömään mittaukseen ei ole vielä päästy, sillä tyhjäkäyntivirta ja käämitysten hajaimpedanssit aiheuttavat jonkin verran virhettä mittaustuloksiin./12/

Virtamuuntajat voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan kahteen luokkaan: mittamuuntajiin ja suojamuuntajiin. Samassa virtamuuntajassa voi olla useita mittaussydämiä, mikäli samaa virtamuuntajaa käytetään sekä mittaus- että suojaustarkoitukseen. Kuvassa 16 on esitetty virtamuuntaja, jossa on erikseen mittaussydän ja suojaussydän./12/



Kuva 16. Virtamuuntaja, jossa erilliset mittaus- ja suojaussydämet./13/

5.1 Nimellisvirrat

Virtamuuntajien ensiö- ja toisiovirroille on standardoitu nimellisarvoja. Käytetyimmät nimellisensiövirrat ovat 10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 ja 75 A sekä niiden kymmenkerrannaiset. Mitoitettaessa ensiövirtaa tulisi välttää turhaa ylimitoitusta, koska se voi aiheuttaa ongelmia mittarien ja releiden herkkyyden kanssa.

Virtamuuntajien tavallisimmat nimellistoisiovirrat ovat 1 A, 2 A ja 5 A. Suosituimmat arvot ovat kuitenkin 1 A ja 5 A. Yleisesti lyhyillä mittausetäisyyksillä on käytetty arvoa 5 A. Syynä tähän on se, että pienillä toisiovirran arvoilla on suuret toisiopuolen käyttötaajuudet ylijännitteet oikosulkutilanteissa. Toisiopiirin ollessa pitkä, käytetyin toisionimellisvirta on 1 A. Mikäli käytettäisiin 5 A:n toisiovirtaa, niin pitkällä etäisyyksillä, toisiokaapelien kuluttama teho nousee tarpeettoman suureksi. /13/

5.2 Nimellistaakat

Puhuttaessa virtamuuntajien nimellistaakasta tarkoitetaan toisiopuolen liittimien välissä olevan kokonaisimpedanssin kuluttamaa tehoa. Virtamuuntajien taakka ilmaistaan yhtälön 14 mukaisesti näennäistehona. Virtamuuntajan toisiopuoleen voidaan liittää ainoastaan valmistajan ilmoittama taakka. Standardoidut nimellistaakan arvot ovat 2,5 - 5,0 - 10 - 15 - 30 - 45 ja 60 VA. Virtamuuntajat pysyvät vielä nimellistaakallaan tarkkuusluokassaan, jolloin virtavirhe ei kasva sallittua suuremmaksi. Virtamuuntajien taakka voidaan laskea kaavalla 19. /12/

$$S_r = Z_R \cdot I_{SR}^2 \quad (19)$$

jossa

S_r = virtamuuntajan taakka

Z_R = virtamuuntajan mitoitusimpedanssi

I_{SR} = virtamuuntajan toision mitoitusvirta

5.3 Tarkkuusluokat

Mittaus- ja suojaustarkoitukseen tarkoitetuille virtamuuntajille on määritelty tarkkuusluokat. Tarkkuusluokat ilmoitetaan taulukoissa numeroarvoina. Tarkkuusluokka antaa suurimman mahdollisen virtavirheen suuruuden, joka muodostuu virran mittauksen aikana.

Mittausmuuntajille tarkkuusluokka määritellään virta-, kulma- sekä yhdistetyinvirheen avulla. Varsinkin laskutusmittauksessa tarkkuusluokan tulee olla hyvä, joten tällöin yleisesti käytetään virtamuuntajia, joiden tarkkuusluokka on alle 0,5. Virtamuuntajia, joiden tarkkuusluokka on yli 0,5, käytetään virran ja tehon mittaukseen. Taulukossa 4 on esitetty mittausmuuntajien tarkkuusluokat ja niille sallitut virheet /13/

Taulukko 4. Mittausmuuntajien tarkkuusluokat. /13/

Tarkkuusluokka	Virtavirhe (%) virralla I/I_N						Kulmavirhe (°) virralla I/I_N				
	0,01	0,05	0,20	0,50	1,00	1,20	0,01	0,05	0,20	1,00	1,20
0,1		0,4	0,2		0,1	0,1	15	8	5	5	
0,2		0,75	0,35		0,2	0,2	30	15	10	10	
0,2S	0,75	0,35	0,2		0,2	0,2	30	15	10	10	
0,5		1,5	0,75		0,5	0,5	90	45	30	30	
0,5S	1,5	0,75	0,5		0,5	0,5	90	45	30	30	
1,0		3,0	1,5		1,0	1,0	180	90	60	60	
3,0				3,0		3,0					
5,0				5,0		5,0					

Suojaukseen tarkoitetuille virtamuuntajille on kaksi tarkkuusluokkaa, 5P ja 10P. Suojausmuuntajien valinta riippuu relesuojausratkaisuista, käytetyistä suojarleistä sekä releiden mittausperiaatteesta. Jotkut valmistajat edellyttävät, että tarkkuusluokka on 5P, jotta virtamuuntaja ja rele voivat toimia yhdessä. Tarkkuusluokka 5P sopii keskijännitteelle, kun sydämet niissä on suljettuja. Suurjännitteillä käytetään tarkkuusluokan 10P virtamuuntajia, koska niiden sydämessä on ilmarako ja tarkkuusluokan 5P kulmavirhevaatimuksien täyttäminen olisi vaikeaa. Suojavirtamuuntajien merkinnöissä, esimerkiksi 5P, 5

tarkoittaa yhdistettyä virhettä ja P, että kyseinen virtamuuntaja on varustettu suojaussydämellä. Taulukossa 5 on esitetty suojavirtamuuntajien tarkkuusluokat./13/

Taulukko 5. Suojamuuntajien tarkkuusluokat. /13/

Tarkkuusluokka	Virta- virhe %	Kulmavirhe minuuttia	Yhdistetty virhe %
5P	1	60	5
10P	3	-	10

5.4 Tarkkuusrajakerroin

Suojavirtamuuntajan täytyy (puhtaalla vaihtovirralla) pysyä tarkkuusluokassaan (5P tai 10P) tarkkuusrajakertoimen ja nimellisvirran tulon mukaiseen rajaan asti. Tarkkuusrajakertoimella tarkoitetaan virtamuuntajan tarkkuusrajavirran ja nimellisen ensiövirran suhdetta. Tarkkuusrajavirralla pyritään kuvastamaan sitä ensiövirran tehollisarvoa, jolla yhdistetty virhe esim. tarkkuusluokassa 5P on korkeintaan 5 %:a. Virtamuuntajan tarkkuusrajakerroin on ilmoitettu puhtaalla vaihtovirralla. Mikäli virrassa esiintyy tasakomponentti, suurentaa se mittausvirhettä helposti virtamuuntajan tarkkuusluokkaa suuremmaksi. Tämän seurauksena joudutaan monesti valitsemaan virtamuuntaja, jolla on suurempi tarkkuusrajakerroin. Virtamuuntajien tarkkuusrajakertoimelle nimellistaakalla on standardoitu seuraavat arvot: 5, 10, 15, 20, 30. Virtamuuntajan tarkkuusrajakertoimeen vaikuttaa myös toisiopiirin taakka, mikäli se eroaa nimellistaakasta. Toisiopiirin taakan kasvaessa suuremmaksi kuin nimellistaakka, virtamuuntajan tarkkuusrajakerroin pienenee. Toisiopiirin taakan ollessa pienempi kuin nimellistaakka, virtamuuntajan tarkkuusrajakertoimen arvo nousee. Kuitenkin on tilanteita, jolloin virtamuuntajien taakka poikkeaa nimellistaakasta. Tämän seurauksena virtamuuntajan todellinen tarkkuusrajakerroin muuttuu. Tällaisissa tilanteissa todellinen tarkkuusrajakerroin voidaan laskea kaavalla 20./13/

$$n = n_N \cdot \left| \frac{S_i + S_N}{S_i + S_2} \right| \quad (20)$$

jossa

n = tarkkuusrajakerroin nimellistaakasta poikkeavalla taakalla

n_N = nimellistaakkaa vastaava tarkkuusrajakerroin

S_i = virtamuuntajan sisätaakka

S_N = virtamuuntajan nimellistaakka

S_2 = virtamuuntajan todellinen taakka

6 OIKOSULKULASKELMIEN PÄÄKAAVIOT

6.1 Omakäyttöjärjestelmien pääkaaviot

Liitteessä 1 on esimerkki vesivoimalaitoksen omakäyttöjärjestelmän pääkaavio, jonka pohjalta lähdettiin rakentamaan myös Excel-laskentapohjaa. Omakäyttöjärjestelmää syötetään kahdella rinnakkain kytketyllä muuntajalla. Muuntajaa CT1 syötetään vesivoimalaitoksen omasta 10 kV kojeistosta ja CT2 on kytketty 20 kV sähkönjakeluverkkoon. Muuntajat syöttävät pääkeskusta CA1, mutta eivät samanaikaisesti. Normaalisti omakäyttöjärjestelmän syöttö tapahtuu muuntajan CT1 kautta, mutta esimerkiksi generaattoreiden huoltojen yhteydessä omakäyttöjärjestelmää voidaan syöttää muuntajan CT2 kautta. Pääkeskuksesta syötetään generaattoreiden moottorikeskuksia DA1, DA2 ja pumppukeskusta DA4. Tämän lisäksi pääkeskuksesta syötetään jakokeskusta ORB, josta edelleen syötetään luukkukeskuksia 1RB, 2RB ja 3RB.

Liitteessä 2 on esitetty toinen esimerkki vesivoimalaitoksen omakäyttöjärjestelmän pääkaavio, jonka pohjalta rakennettiin myös Excel-laskentapohja. Omakäyttöjärjestelmää syötetään yhdellä muuntajalla PT11, joka on kytketty 20 kV kojeistoon. Muuntaja PT11 syöttää 400 V omakäyttökeskusta OKK1, joka sijaitsee kytkinasemarakennuksessa. Omakäyttökeskuksesta syötetään talosähköistyksen pääkeskusta CA. Pääkeskus CA syöttää patoluukkukeskusta.

6.2 Keskijänniteverkon pääkaavio

Liitteessä 3 on näytettynä esimerkki vesivoimalaitoksen keskijännitejärjestelmä, josta rakennettiin käyttökelpoinen Excel-laskentapohja. Laskentapohjassa oikosulkuvirrat tuli laskea jokaisen generaattorin lähelle ja keskijännitekojeiston kokoojakiskoon. Järjestelmässä oli kolme generaattoria, jotka oli liitetty step-up muuntajien kautta vesivoimalaitoksen keskijännitekojeistoon. Generaattoreiden nimellisjännitteet olivat 5.25 kV tai 6.6 kV ja keskijännitekojeiston nimellisjännite oli 66 kV. Keskijännitekojeisto oli yhdistetty vesivoimalaitoksesta ulos lähtevään kaapeliin.

7 OIKOSULKULASKELMAT EXCEL-TAULUKOILLA JA TULOSTEN VERTAILU

7.1 Omakäyttöjärjestelmän 1 Excel-laskentapohja

Ensimmäinen omakäyttöjärjestelmän oikosulkulaskelmapohja toteutettiin liitteessä 1 olevalle omakäyttöjärjestelmälle. Omakäyttöjärjestelmä soveltui hyvin laskentapohjaksi, koska se oli suhteellisen laaja järjestelmä. Tämän ansiosta laskentapohjaa voidaan käyttää myös muiden omakäyttöjärjestelmien laskemiseen tulevaisuudessa. Omakäyttöjärjestelmä koostui 8 keskuksista, joihin jokaiseen tuli laskea kolmivaiheiset oikosulkuvirrat, kun verkon kytkentätilanne aiheutti suurimman ja pienimmän kolmivaiheisen oikosulkuvirran.

Alkutietoina järjestelmästä oli tiedossa muuntajien alajännitepuolen pienimmät ja suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat sekä käytetyt kaapelit. Alajännitepuolen kolmivaiheoikosulkuvirran arvot oli ilmoitettu verkon kytkentätilanteiden mukaan. Pienimmän kolmivaiheoikosulkuvirran avulla pyrittiin tarkistamaan suojauksen toimivuus kaikkialla järjestelmässä, kun verkon syöttämä oikosulkuvirta oli pieni. Suurimman kolmivaiheoikosulkuvirran avulla pyrittiin varmistamaan, että järjestelmän laitteet kestäisivät oikosulkuvirran aiheuttamat voimat. Oikosulkupiirin laskennassa tuli selvittää muuntajien CT1 ja CT2 kautta syötetyt kolmivaiheoikosulkuvirrat, joten Excel-laskentoja tuli 4 kappaletta.

Laskenta toteutettiin Thevenin laskentamenetelmällä. Laskennoissa syöttävän verkon impedanssi oletettiin täysin reaktiiviseksi, koska tarkempia tietoja verkon reaktanssista ja resistanssista ei ollut. Omakäyttöjärjestelmä laskettiin vertailu vuoksi kahdella eri tavalla, jolla haluttiin selvittää, mikä laskentatapa antaa tarkimman laskentatuloksen. Ensimmäisessä laskentatavassa laskettiin oikosulkupiirin komponenttien impedanssit suoraan yhteen, josta muodostui oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi. Toisessa laskentatavassa laskettiin oikosulkupiirissä olevien komponenttien resistanssi ja reaktanssi erikseen yhteen, josta sitten muodostettiin oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi.

7.1.1 Omakäyttöjärjestelmän 1 laskentatapa 1

Liitteissä 4 - 7 on esitetty laskentatavalle 1 tehdyt Excel-laskentapohjat. Kyseisissä laskennoissa oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi määritettiin laskemalla aritmeettisesti yhteen vikapiirin komponenttien impedanssit. Tällöin muodostuu virhettä laskentaan erityisesti, jos eri komponenttien R/X-suhde poikkeaa paljon toisistaan. Impedanssien aritmeettisen yhteenlaskun periaate on esitetty yhtälössä 21.

$$Z_{kok} = Z_1 + Z_2 + Z_3 \dots Z_n \quad (21)$$

Liitteissä 4 ja 5 on näytetty Excel-laskentapohjat, joiden avulla voidaan laskea pienimmät esiintyvät kolmivaiheoikosulkuvirrat. Syöttävän verkon kytkentätilanteesta johtuva pienin kolmivaiheinoikosulkuvirta saatiin alkutiedoista. Muuntajan CT1-alajännitepuolella pienin kolmivaiheinen oikosulkuvirta 12654 A ja muuntajan CT2-alajännitepuolella 6350 A. Tämän tiedon lisäksi ohjelmaan tuli syöttää kaikkien kaapeleiden tiedot ja käytetyt jännitetasot.

Edellisten tietojen avulla ohjelma kykeni laskemaan pienimmät kolmivaiheiset oikosulkuvirrat pisteisiin B, C, D, E, F, G, H ja I. Taulukossa 6 on näytetty Excel-laskentapohjan laskemat pienimmät oikosulkuvirrat. Taulukon 6 kohdassa a) oikosulkuvirrat on syötetty muuntajan CT2 kautta ja kohdassa b) muuntajan CT1 kautta.

Taulukko 6. Pienimmät oikosulkuvirrat laskentatavalla 1.

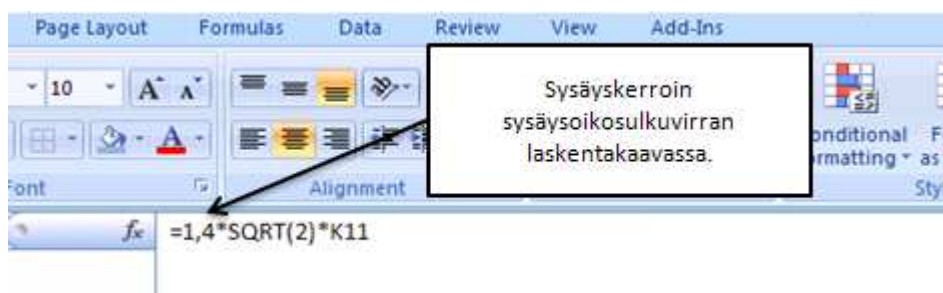
A	Ik = 6350 A
B	Ik = 5710 A
C	Ik = 4902 A
D	Ik = 4681 A
E	Ik = 4838 A
F	Ik = 3154 A
G	Ik = 2526 A
H	Ik = 2526 A
I	Ik = 2526 A

6 a)

A	Ik = 12654 A
B	Ik = 11787 A
C	Ik = 8796 A
D	Ik = 8110 A
E	Ik = 8593 A
F	Ik = 4410 A
G	Ik = 3272 A
H	Ik = 3272 A
I	Ik = 3272 A

6 b)

Liitteissä 6 ja 7 on näytetty Excel-laskentapohjat, joiden avulla voidaan laskea alkuoikosulkuvirrat I_k ja sysäysoikosulkuvirrat i_p . Alkuoikosulkuvirran avulla laskentapohja pystyy laskemaan sysäysoikosulkuvirrat vikapisteisiin. Sysäysoikosulkuvirtaa laskettaessa tulee muistaa tarkistaa sysäyskertoimen arvo laskentakaavassa. Laskentakaavassa sysäyskertoimen arvona voi käyttää tyypillisiä sysäyskertoimenarvoja, mikäli ei ole tiedossa tarkkaa resistanssin ja reaktanssin suhdetta. Kuvassa 17 on näytetty, missä kohtaa kaavaa sysäyskertoimen arvo otetaan huomioon. Sysäyskertoimen tyypillisimmät arvot voidaan lukea taulukosta 2, mikäli tiedetään oikosulkupiirin tarkka resistanssin ja reaktanssin suhde, voidaan sysäyskerroin voidaan lukea kuvasta 10. Tulee kuitenkin muistaa, että taulukon 2 arvot ovat likimääräisiä, joten ne ovat vain suuntaa antavia.

**Kuva 17.** Sysäyskertoimen sijainti laskentakaavassa.

Laskettaessa suurimpia esiintyviä kolmivaiheisia oikosulkuvirtoja, laskentapohjaan tulee syöttää seuraavat tiedot: pisteen A alkuoikosulkuvirta, kaapelitiedot ja jännitetasot. Syöttävän verkon aiheuttama suurin kolmivaiheinen alkuoikosulkuvirta oli muuntajan CT1 alajännitepuolella 12970 A ja muuntajan CT2 alajännitepuolella 6569 A. Taulukossa 7 on esitetty laskentapohjilla saadut alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat vikapisteissä. Taulukon 7 osassa a) oikosulkuvirrat syötetään muuntajan CT2 kautta ja osassa b) oikosulkuvirrat syötetään muuntajan CT1 kautta.

Taulukko 7. Laskentatavalla 1 saadut alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat.

3~Oikosulkuvirrat			
Alkuoikosulkuvirta		Sysäysoikosulkuvirta	
A	$I_{k^-} = 6569 \text{ A}$	-->	$i_p = 11148 \text{ A}$
B	$I_{k^-} = 5945 \text{ A}$	-->	$i_p = 10089 \text{ A}$
C	$I_{k^-} = 5146 \text{ A}$	-->	$i_p = 8734 \text{ A}$
D	$I_{k^-} = 4926 \text{ A}$	-->	$i_p = 8359 \text{ A}$
E	$I_{k^-} = 5083 \text{ A}$	-->	$i_p = 8626 \text{ A}$
F	$I_{k^-} = 3371 \text{ A}$	-->	$i_p = 5721 \text{ A}$
G	$I_{k^-} = 2718 \text{ A}$	-->	$i_p = 4612 \text{ A}$
H	$I_{k^-} = 2718 \text{ A}$	-->	$i_p = 4612 \text{ A}$
I	$I_{k^-} = 2718 \text{ A}$	-->	$i_p = 4612 \text{ A}$

7 a)

3~ Oikosulkuvirrat			
Alkuoikosulkuvirta		Sysäysoikosulkuvirta	
A	$I_{k^-} = 12970 \text{ A}$	-->	$i_p = 25679 \text{ A}$
B	$I_{k^-} = 12142 \text{ A}$	-->	$i_p = 24040 \text{ A}$
C	$I_{k^-} = 9220 \text{ A}$	-->	$i_p = 15646 \text{ A}$
D	$I_{k^-} = 8535 \text{ A}$	-->	$i_p = 14484 \text{ A}$
E	$I_{k^-} = 9017 \text{ A}$	-->	$i_p = 15303 \text{ A}$
F	$I_{k^-} = 4744 \text{ A}$	-->	$i_p = 8051 \text{ A}$
G	$I_{k^-} = 3545 \text{ A}$	-->	$i_p = 6015 \text{ A}$
H	$I_{k^-} = 3545 \text{ A}$	-->	$i_p = 6015 \text{ A}$
I	$I_{k^-} = 3545 \text{ A}$	-->	$i_p = 6015 \text{ A}$

7 b)

7.1.2 Omakäyttöjärjestelmän 1 laskentatapa 2

Omakäyttöjärjestelmä haluttiin laskea myös toisella laskentatavalla, jossa oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi muodostettiin oikosulkupiirin resistansseista ja reaktansseista. Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssin muodostamisen periaate on esitetty yhtälössä 22.

$$Z_{kok} = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3 \dots R_n)^2 + (X_1 + X_2 + X_3 \dots X_n)^2} \quad (22)$$

Liitteissä 8 - 11 on esitetty laskentatavalla 2 toteutetut Excel-laskentapohjat. Laskentatavassa käytettiin samoja alkutietoja kuin laskentatavassa 1. Muutoksia laskentapohjiin piti tehdä vain laskentakaavoihin, jotta ne muodostaisivat oikosulkupiirin kokonaisimpedanssin resistansseista ja reaktansseista.

Liitteissä 8 ja 9 on esitetty laskentatavalla 2 toteutetut laskentapohjat, joiden avulla voidaan laskea pienimmät kolmivaiheiset oikosulkuvirrat. Taulukossa 8 on esitetty laskentatavalla 2 saadut pienimmät oikosulkuvirrat vikapisteissä. Taulukon 8 kohdassa a) oikosulkuvirrat syötetään muuntajan CT2 kautta ja kohdassa b) muuntajan CT1 kautta.

Taulukko 8. Laskentatavalla 2 saadut pienimmät oikosulkuvirrat.

3~Oikosulkuvirrat:		3~Oikosulkuvirrat:	
A	Ik = 6350 A	A	Ik = 12654 A
B	Ik = 5982 A	B	Ik = 11350 A
C	Ik = 5486 A	C	Ik = 9611 A
D	Ik = 5318 A	D	Ik = 9047 A
E	Ik = 5559 A	E	Ik = 9793 A
F	Ik = 3970 A	F	Ik = 5314 A
G	Ik = 3153 A	G	Ik = 3830 A
H	Ik = 3153 A	H	Ik = 3830 A
I	Ik = 3153 A	I	Ik = 3830 A

8 a) 8 b)

Liitteissä 10 ja 11 on laskentatavalla 2 toteutetut laskentapohjat, joiden avulla voidaan laskea suurimmat alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat. Taulukossa 9 on esitetty laskentatavalla 2 saadut alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat. Sysäyskertoimen arvona käytettiin tässä laskennassa taulukossa 2 olevia tyypillisiä arvoja. Taulukon 9 kohdassa a) oikosulkuvirrat syötetään muuntajan CT1 kautta ja kohdassa b) on muuntajan CT2 kautta.

Taulukko 9. Laskentatavalla 2 saadut alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat.

3~ Oikosulkuvirrat			
	Alkuoikosulkuvirta		Sysäysoikosulkuvirta
A	$I_{k^-} = 12970 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 25679 \text{ A}$
B	$I_{k^-} = 11723 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 23210 \text{ A}$
C	$I_{k^-} = 10052 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 17060 \text{ A}$
D	$I_{k^-} = 9504 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 16129 \text{ A}$
E	$I_{k^-} = 10242 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 20277 \text{ A}$
F	$I_{k^-} = 5750 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 9758 \text{ A}$
G	$I_{k^-} = 4179 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 7093 \text{ A}$
H	$I_{k^-} = 4179 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 7093 \text{ A}$
I	$I_{k^-} = 4179 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 7093 \text{ A}$

9 a)

3~ Oikosulkuvirrat			
	Alkuoikosulkuvirta		Sysäysoikosulkuvirta
A	$I_{k^-} = 6569 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 13006 \text{ A}$
B	$I_{k^-} = 6213 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 12301 \text{ A}$
C	$I_{k^-} = 5733 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 9729 \text{ A}$
D	$I_{k^-} = 5570 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 9453 \text{ A}$
E	$I_{k^-} = 5807 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 11498 \text{ A}$
F	$I_{k^-} = 4242 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 7199 \text{ A}$
G	$I_{k^-} = 3404 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 5777 \text{ A}$
H	$I_{k^-} = 3404 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 5777 \text{ A}$
I	$I_{k^-} = 3404 \text{ A}$	\rightarrow	$ip = 5777 \text{ A}$

9 b)

7.2 Omakäyttöjärjestelmän 2 Excel-laskentapohja

Toisen omakäyttöjärjestelmän laskelmapohja toteutettiin liitteessä 2 olevalle omakäyttöjärjestelmälle. Alkutietoina järjestelmästä oli muuntajan yläjännitepuolen pienin kolmivaiheinen oikosulkuvirta pisteessä A, muuntajan tiedot, jännitetasot ja kaapelien tiedot. Omakäyttöjärjestelmä soveltuivat käytettäväksi laskentapohjana, koska siinä jouduttiin oikosulkupiirin resistanssien ja reaktanssien arvot redusoimaan muuntajan yläjännitepuolelta alajännitepuolelle. Järjestelmästä laskettiin vain pienin kolmivaiheinen oikosulkuvirta kolmelle alakeskukselle ja pisimmän ryhmäjohton loppuun. Laskelmassa oletettiin, että syöttävän verkon impedanssi on täysin reaktiivinen, koska verkosta ei ollut tarkempaa tietoa.

7.2.1 Omakäyttöjärjestelmän 2 laskentatapa 1

Liitteessä 12 on esitetty laskentatavalla 1 toteutettu Excel-laskentapohja, jonka avulla voidaan laskea pienimmät kolmivaiheiset oikosulkuvirrat. Laskentapohjassa oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi muodostettiin käyttäen yhtälön 21 periaatetta eli impedanssit laskettiin aritmeettisesti yhteen. Laskennoissa muuntajan, PT11 yläjännitepuolen jännite oli 21 kV ja alajännitepuolen jännite 0,4 kV. Muuntajan PT11 nimellisteho oli 200 kVA, suhteellinen oikosulkuimpedanssi oli 4 % ja suhteellinen oikosulkuresistanssi 1,08

%. Muuntajan yläjännitepuolella pisteessä A esiintyvä pienin kolmivaiheinen oikosulkuvirta oli 7500 A. Pisteessä A oikosulkuvirta saatiin omakäyttöjärjestelmän alkutiedoista, mutta oikosulkuvirran arvo olisi myös mahdollista saada keskijännitteelle tarkoitettusta laskentapohjasta.

Edellä mainittujen tietojen jälkeen laskentapohja pystyi laskemaan pienimmät oikosulkuvirrat vikapisteisiin. Taulukossa 10 on esitetty laskentatavalla 1 saadut pienimmät oikosulkuvirrat vikapisteissä.

Taulukko 10. Pienimmät oikosulkuvirrat vikapisteissä.

3~Oikosulkuvirrat:			
A	Ik = 7500 A		
B	Ik = 7452 A		
C	Ik = 6732 A		
D	Ik = 6108 A		
E	Ik = 4456 A		
F	Ik = 1428 A		
G	Ik = 204 A		

7.2.2 Omakäyttöjärjestelmän 2 laskentatapa 2

Omakäyttöjärjestelmä haluttiin laskea myös tässäkin tapauksessa toisella laskentatavalla. Liitteessä 13 on esitetty laskentatavalle 2 toteutettu Excel-laskentapohja. Erona ensimmäiseen laskentatapaan, tässä laskentatavassa piti syöttää laskentapohjalle kaikkien komponenttien resistanssit ja reaktanssit erikseen sekä tämän lisäksi muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi. Muuntajasta ei yleensä ilmoiteta suhteellista oikosulkuresistanssia vaan alkutietoina ilmoitetaan suhteellinen oikosulkuimpedanssi ja kuormitushäviöt. Suhteellinen oikosulkuresistanssi voidaan kuitenkin laskea yhtälöllä 23, kun tiedetään muuntajan kuormitushäviöt ja näennäisteho.

$$r_k = \frac{P_k}{S_n} \cdot 100 \% \quad (23)$$

jossa

r_k = muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi

P_k = muuntajan kuormitushäviöt

S_n = muuntajan näennäisteho

Laskentatavassa 2 oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi muodostettiin käyttäen yhtälön 22 periaatetta. Edellä mainittujen tietojen jälkeen laskentapohja pystyi laskemaan pienimmät oikosulkuvirrat. Taulukossa 11 on esitetty laskentatavalla 2 saadut tulokset.

Taulukko 11. Laskentatavan 2 lasketut pienimmät oikosulkuvirrat.

3~Oikosulkuvirrat:			
A	$I_k = 7500 \text{ A}$		
B	$I_k = 7487 \text{ A}$		
C	$I_k = 6737 \text{ A}$		
D	$I_k = 6331 \text{ A}$		
E	$I_k = 4927 \text{ A}$		
F	$I_k = 2256 \text{ A}$		
G	$I_k = 209 \text{ A}$		

7.3 Omakäyttöjärjestelmien laskentatulosten vertailu

Vertailulaskelma tehtiin kohtien 7.1.1 ja 7.1.2 omakäyttöjärjestelmille EDSA-verkostolaskentaohjelmistolla. Vertailulaskelma suoritettiin EDSAlla, koska sen avulla pystyttiin määrittämään tarkat oikosulkuvirran arvot kaikkialle omakäyttöjärjestelmässä. Vertailulaskelman avulla haluttiin selvittää edellisten kohtien laskennan tarkkuutta. Taulukossa 12 on esitetty EDSAlla saadut laskentatulokset kohdan 7.1.1 omakäyttöjärjestelmälle, kun oikosulkuvirta syötetään muuntajan CT1 kautta. Taulukon 12 EDSA-laskennassa käytettiin 5 % korkeampaa jännitetasoa, koska tällöin laskentatulokset olivat suoraan vertailukelpoisia. Eli yhtälön 7 kerroin c on 1,05. Tämän seurauksena virrat ovat 5 % suuremmat, joilloin tilanne vastaa pahinta mahdollista tapausta mitoituksen

kannalta. Taulukossa 12 on esitetty myös laskentatapojen 1 ja 2 laskentatulokset sekä niiden prosentuaalinen ero EDSA -ohjelman tuloksista. Taulukossa 13 on esitetty EDSA- ohjelman laskentatulokset kohdan 7.1.2 omakäyttöjärjestelmälle. Tauluon 13 EDSA-laskennoissa käytettiin taas 5 % pienempää jännitetasoa, koska tällöin laskentatuloksia voidaan verrata suoraan toisiinsa. Kyseinen tilanne vastasi yhtälössä 7 tilannetta jossa kerroin c on 0,95.

Taulukko 12. Omakäyttöjärjestelmän 1 laskentatapojen vertailu.

vikapiste	EDSA		Laskentatapa 1				Laskentatapa 2			
	I_k''/A	i_s/A	I_k''/A	ero %	i_s/A	ero %	I_k''/A	ero %	i_s/A	ero %
A	12970	32860	12970	0,00	25679	-21,85	12970	0,00	25679	-21,85
B	11615	28181	12142	4,54	24040	-14,69	11723	0,93	23210	-17,64
C	9959	20753	9220	-7,42	15646	-24,61	10052	0,93	17060	-17,80
D	9475	19123	8535	-9,92	14484	-24,26	9504	0,31	16129	-15,66
E	10225	21012	9017	-11,81	15303	-27,17	10242	0,17	20277	-3,50
F	5060	8533	4744	-6,25	8051	-5,65	5160	1,98	9758	14,36
G	4207	7040	3545	-15,74	6015	-14,56	4179	-0,67	7093	0,75
H	4207	7040	3545	-15,74	6015	-14,56	4179	-0,67	7093	0,75
I	4207	7040	3545	-15,74	6015	-14,56	4179	-0,67	7093	0,75

Taulukko 13. Omakäyttöjärjestelmän 2 laskentatapojen vertailu.

vikapiste	EDSA	Laskentatapa 1		Laskentatapa 2	
	I_k/A	I_k/A	ero %	I_k/A	ero %
A	7500	7500	0,00	7500	0,00
B	7478	7452	-0,35	7487	0,12
C	6709	6732	0,34	6737	0,42
D	6361	6108	-3,98	6331	-0,47
E	4884	4456	-8,76	4927	0,88
F	2231	1428	-35,99	2256	1,12
G	214	204	-4,67	209	-2,34

Tutkittaessa kohtien taulukossa 12 ja 13 laskentatapojen 1 ja 2 tuloksia huomaa, että laskentatapojen tulokset poikkeavat toisistaan huomattavasti. Vertailtaessa kohdan taulukossa 12 ja 13 laskentatuloksia voidaan päätellä, että oikosulkupiirin kokonaisimpedanssin laskentatapa vaikuttaa oikosulkuvirran suuruuteen, koska oikosulkuvirtojen laskentatulokset eroavat toisistaan. Verrattaessa taulukossa 12 ja 13 laskentatapojen 1 ja 2 tuloksia kohdan EDSA- laskentaohjelmistolla saatuihin tuloksiin, voidaan päätellä, että tarkimmat laskentatulokset saavutetaan

molemmissa kohdissa laskentatavalla 2. Laskentatavan 1 tuloksista huomataan, että mitä pidemmäksi kaapelit oikosulkupiirissä kasvavat, sitä enemmän laskentatulokset eroavat EDSA -ohjelmiston tuloksista. Tämä johtui siitä, että komponentin impedanssiarvo on vektorisuure, jolla on tietty kulma ja pituus ja impedanssin arvo muodostuu resistanssista ja reaktanssista, jotka on laskettu yhteen neliöllisesti. Mikäli lasketaan impedanssivektoreita itseisarvoina yhteen, ei huomioida osatekijöiden vaikutuksia. Tämän seurauksen, verkoissa joissa oikosulkupiiri kaapelien pituudet ovat pitkiä, laskentavirheet kasvavat.

Taulukon 12 ja 13 laskentatavan 2 tuloksista huomataan, etteivät tulokset eroa merkittävästi kohdan EDSA -laskentatuloksista. Tämän johtuu siitä, että kyseisessä laskentatavassa muodostetaan kokonaisimpedanssi laskemalla resistanssit ja reaktanssit erikseen yhteen. Tämän laskentatavan ansioista laskentatuloksen tarkkuus ei ole riippuvainen kaapelien pituuksista.

Verrattaessa taulukossa 12 laskentatavoilla 1 ja 2 saatuja sysäysoikosulkuvirtoja EDSA -ohjelmiston tuloksiin huomataan, että tuloksissa esiintyy jopa 27 % eroavaisuutta Laskentatavojen 1 ja 2 sysäysoikosulkuvirtojen tuloksista huomataan, että mitä kauempana oikosulku tapahtuu, sitä pienempi on laskentavirhe. Laskentavirheet aiheutuvat siitä, että laskentapohjien laskentakaavoissa käytetään kokemusperäisiä sysäyskertoimia. Käytettäessä kokemusperäisiä sysäyskertoimia, ei huomioida oikosulkupiirin todellista resistanssin ja reaktanssin suhdetta, josta sysäyskerroin tulisi määrittää. Laskentatavojen 1 ja 2 sysäysoikosulkuvirtojen tuloksista huomataan, että laskentatavalla 2 saavutetaan kuitenkin parempi laskentatarkkuus. Laskentatavassa 1 sysäyskerroimen prosentuaalinen ero on pienimmillään n. 6 %:a kun taas laskentatavassa 2 se on pienimmillään n. 1 %:n.

7.4 Omakäyttöjärjestelmän laskentaan käyttöönotettavat laskentapohjat

Käyttöönotettaviksi laskentapohjiksi ei voitu valita kaikkia laskentapohjia, koska muuten laskentapohjien valikoimasta tulisi liian suuri. Tehdyistä laskentapohjista valittiin käyttöön parhaiten soveltuvat laskentapohjat, joiden avulla pystyttiin laskemaan suurin ja pieni kolmivaiheinen oikosulkuvirta. Käyttöönotettaville

laskentapohjille asetettiin vaatimukseksi, että niissä oleva verkko tulisi olla suhteellisen laaja. Tämän avulla laskentapohjan soveltaminen muihin järjestelmiin olisi helpompaa.

Kohdassa 7.1.1 tehdyistä laskentapohjista parhaiten käyttöön soveltui liitteissä 8 ja 10 olevat pohjat. Laskentapohjat soveltuivat suoraan käytettäväksi, koska niillä voitiin laskea tarvittavat oikosulkuvirran arvot ja niiden verkko oli suhteellisen laaja. Excel-laskentapohjiin ei tarvinnut tehdä muutoksia, koska ne täyttivät valmiiksi laskentapohjan käyttöönotolle asetetut vaatimukset.

Kohdassa 7.1.2 tehdyistä laskentapohjista käyttöönotettavaksi soveltui liitteessä 13 oleva pohja. Laskentapohjaa jouduttiin hieman parantelemaan, jotta se täyttäisi laskentapohjalle asetetut vaatimukset. Ensimmäiseksi liitteessä 13 olevaa omakäyttöjärjestelmää piti laajentaa, jotta se soveltuisi käytettäväksi. Liitteessä 16 on esitetty laskentapohja, jossa on laajennettu omakäyttöjärjestelmä. Liitteen 16 laskentapohjaa voitiin käyttää vain pienimmänkolmivaihe oikosulkuvirran laskentaan. Tämän takia kyseisestä laskentapohjasta piti tehdä laskentapohja, jolla voitiin laskea suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat. Tällöin ei kuitenkaan tarvinnut tehdä muita muutoksia kuin muuttaa c:n arvo $0,95 \rightarrow 1,05$ ja lisätä yksi sarake johon laskettiin sysäyoikosulkuvirta. Liitteessä 17 on esitetty laskentapohja, jolla voidaan laskea suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat.

Laskentapohjien käytön yhteydessä huomattiin, että kaapeleiden resistanssin ja reaktanssin arvojen hankkiminen oli hidasta. Tällöin haluttiin selvittää, oliko kaapeleiden resistanssiarvoja olemassa taulukoituna. Tutkinnassa löydettiin, että D1-2009 käsikirjassa oli taulukoituna valmiiksi pienjännitekaapeleiden likimääräisiä vastusarvoja. Liitteessä 18 on esitetty taulukko, johon on taulukoitu kaapeleiden likimääräiset vastusarvot. Tarkempia tietoja halutessa, vastusarvot tulisi tarkistaa kaapeleiden valmistajalta.

7.5 Keskiännitejärjestelmän Excel-laskentapohja ja vertailu

Aikaisemmin keskiänniteverkon oikosulkuvirtoja oli laskettu ominaisoikosulkutehoilla. Laskettaessa ominaisoikosulkutehoilla ei huomioida

kaapelien vaikutusta oikosulkuvirran suuruuteen, jonka seurauksena laskentatulokseen syntyy virhettä. Tämän takia pyrittiin tekemään keskijänniteverkon laskentapohja, jossa käytettäisiin Thevenin laskentamenetelmää. Käytettäessä Thevenin laskentamenetelmä saavutetaan parempi laskentatarkkuus, koska siinä voidaan huomioida kaapelien vaikutus oikosulkuvirran suuruuteen.

7.5.1 Keskijännitejärjestelmän Excel-laskentapohja

Laskentapohja keskijännitejärjestelmälle toteutettiin liitteessä 3 olevalle verkolle. Kyseinen verkko soveltui hyvin laskentapohjaksi, koska normaalisti suunniteltu vesivoimalaitoksien keskijännitejärjestelmä koostui kahdesta generaattorista ja toteutettu laskentapohja koostui 3 generaattorista. Tämän ansioista laskentapohjaa voidaan käyttää myös 1 ja 2 generaattorin järjestelmän laskentaan. Sovellettaessa Excel-laskentapohjaa 1 tai 2 generaattorin järjestelmälle, tulee tällöin poisjätettävien generaattorien tehoksi laittaa laskentapohjassa 0 MVA.

Laskentapohjassa järjestelmän laskenta toteutettiin Thevenin laskentamenetelmällä, kuitenkin laskentaa jouduttiin muokkaamaan siten, että lasketaan komponenttien impedansseja aritmeettisesti yhteen, kuten yhtälössä 21. Kohdissa 7.1.1 ja 7.1.2 käytetyn saman laskentatavan tulosten perusteella olikin odotettavissa, että laskupohjan tuloksissa ilmenisi pientä laskentavirhettä. Virheellä ei kuitenkaan todellisuudessa pitäisi olla suurta merkitystä, koska kaapelietäisyydet ovat useimmiten lyhyitä ja järjestelmän komponentit ovat lähes pelkästään reaktiivisia. Laskentapohjassa ei muodostettu oikosulkupiirin kokonaisimpedanssia laskemalla erikseen yhteen resistanssit ja reaktanssit, kuten yhtälössä 22, vaikka kyseisellä laskentatavalla olisikin saavutettu parempi laskentatarkkuus. Tämä johtui siitä, että tarkemman laskentatavan tekeminen Excel-ohjelmalle olisi ollut todella monimutkaista.

Liitteessä 14 on esitetty keskijännitejärjestelmän laskentaan toteutettu Excel-laskentapohja. Laskentaa varten komponenttien tiedot syötettiin Excel-laskentapohjan tummennettuihin kohtiin. Generaattoreista piti kertoa niiden nimellistehot, nimellisjännitteet ja suhteellinen alkureaktanssi. Muuntajista

laskentapohjan tummennettuihin kohtiin syötettiin niiden nimellisteho, ensiö- ja toisiojännite, nimellinen ensiövirta, suhteellinen oikosulkuimpedanssi ja kuormitushäviöt. Kaapeleista laskentapohjan tummennettuihin kohtiin syötettiin niiden tyypit, pituudet sekä käytetyn kaapelityypin resistanssi ja reaktanssi. Alkutietoina verkosta piti tietää jännitetaso ja oikosulkuteho keskijännitekojeistolla.

Edellä mainittujen tietojen syöttämisen jälkeen laskentapohja kykeni laskemaan kolmivaiheiset alkuoikosulkuvirrat ja sysäysoikosulkuvirrat pisteisiin A, B, C ja D. Sysäyskertoimen laskentakaavoissa käytettiin kokemusperäistä sysäyskertoimen arvoa, mikä oli laskentapohjassa 1,8. Taulukoissa 14 - 17 on esitetty Excel-laskentapohjalla saadut tulokset. Taulukoissa on pyritty laskemaan oikosulkuvirrat vikapisteeseen eri kytkentätilanteiden mukaan. Taulukoiden ensimmäisessä sarakkeessa kuvataan eri kytkentätilanteita, joista näkyy mitkä lähteet syöttävät oikosulkuvirtaa vikapisteeseen. Kytkentätilannesarakkeen merkintä Inet+G2+G3 tarkoittaa sitä, että oikosulkuvirtaa vikapisteeseen syöttävät verkko, generaattori 2 ja generaattori 3

Taulukko 14. Keskijännitekojeistossa esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.

OIKOSULKUVIR RAT PISTEESSÄ A					
Kyt kentät ilanne	Ik"			is	
Inet min	7,95	kA	-->	20,24	kA
Inet max	9,62	kA	-->	24,49	kA
Inet+G1	9,89	kA	-->	25,17	kA
Inet+G2	10,00	kA	-->	25,46	kA
Inet+G3	10,00	kA	-->	25,46	kA
Inet+G1+G2	10,27	kA	-->	26,13	kA
Inet+G1+G3	10,27	kA	-->	26,13	kA
Inet+G2+G3	10,38	kA	-->	26,43	kA
Inet+G1+G2+G3	10,65	kA	-->	27,10	kA

Taulukko 15. Generaattorin 1 lähellä esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.

OIKOSULKUVIR RAT PISTEESSÄ B					
Kyt kentät ilanne	Ik"			is	
Inet	6,41	kA	-->	16,31	kA
Inet+G1	10,69	kA	-->	27,20	kA
Inet+G2	6,42	kA	-->	16,35	kA
Inet+G3	6,42	kA	-->	16,35	kA
Inet+G1+G2	10,70	kA	-->	27,24	kA
Inet+G1+G3	10,70	kA	-->	27,24	kA
Inet+G2+G3	6,44	kA	-->	16,39	kA
Inet+G1+G2+G3	10,72	kA	-->	27,28	kA

Taulukko 16. Generaattorin 2 lähellä esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.

OIKOSULKUVIRRAT PISTEESSÄ C					
Kytkeätilanne	Ik ^m			is	
Inet	10,80	kA	-->	27,50	kA
Inet+G1	10,83	kA	-->	27,57	kA
Inet+G2	18,83	kA	-->	47,93	kA
Inet+G3	10,84	kA	-->	27,59	kA
Inet+G1+G2	18,85	kA	-->	47,99	kA
Inet+G1+G3	10,86	kA	-->	27,66	kA
Inet+G2+G3	18,86	kA	-->	48,02	kA
Inet+G1+G2+G3	18,89	kA	-->	48,08	kA

Taulukko 17. Generaattorin 3 lähellä esiintyvät alkuoikosulkuvirrat.

OIKOSULKUVIRRAT PISTEESSÄ D					
Kytkeätilanne	Ik ^m			is	
Inet	10,80	kA	-->	27,50	kA
Inet+G1	10,83	kA	-->	27,57	kA
Inet+G2	10,84	kA	-->	27,59	kA
Inet+G3	18,83	kA	-->	47,93	kA
Inet+G1+G2	10,86	kA	-->	27,66	kA
Inet+G1+G3	18,85	kA	-->	47,99	kA
Inet+G2+G3	18,86	kA	-->	48,02	kA
Inet+G1+G2+G3	18,89	kA	-->	48,08	kA

7.5.2 Keskijännitejärjestelmän vertailulaskelma

Kun Excel-laskentapohjalla oli laskettu keskijänniteverkko, haluttiin suorittaa vertailulaskelma samalle järjestelmälle. Vertailulaskelma tuli tehdä verkostolaskentaohjelmistolla, sillä sen avulla oli mahdollista saada erittäin tarkkoja oikosulkuvirran arvoja vikapisteisiin. Vertailulaskelma keskijännitejärjestelmälle tehtiin EDSA- laskentaohjelmistolla. EDSA-laskennassa käytettiin 10 % korkeampaa jännitetasoa, jonka avulla laskentatulokset ovat vertailukelpoisia. Tällöin laskentatilanne vastaa Excel-laskennan tilannetta, missä yhtälön 7 kerroin c on 1,1. Vertailulaskelman avulla pyrittiin selvittämään Excel-laskentapohjan tulosten tarkkuus ja oikeellisuus. Taulukoissa 18 - 21 on esitetty EDSA- laskentaohjelmiston laskentatulokset sekä Excel-laskentapohjien laskentatulokset. Taulukoihin on laskettu Excel-laskentapohjan tulosten prosentuaalinen ero EDSA -ohjelmiston tuloksiin.

Taulukko 18. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu keskijännitekojeistolla tapahtuvassa oikosulussa.

Kytkentätilanne	EDSA		Excel-laskentapohja			
	I_k^{**}/A	is/A	I_k^{**}/A	ero %	is/A	ero %
Inet	9621	24376	9620	-0,01 %	24490	0,47 %
Inet+G1	9897	25186	9890	-0,07 %	25170	-0,06 %
Inet+G2	10020	25539	10000	-0,20 %	25460	-0,31 %
Inet+G3	10020	25539	10000	-0,20 %	25460	-0,31 %
Inet+G1+G2	10296	26351	10270	-0,25 %	26130	-0,84 %
Inet+G1+G3	10296	26351	10270	-0,25 %	26130	-0,84 %
Inet+G2+G3	10419	26704	10380	-0,37 %	26430	-1,03 %
Inet+G1+G2+G3	10695	27519	10650	-0,42 %	27100	-1,52 %

Taulukko 19. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu generaattorilla 1 tapahtuvassa oikosulussa.

Kytkentätilanne	EDSA		Excel-laskentapohja			
	I_k^{**}/A	is/A	I_k^{**}/A	ero %	is/A	ero %
Inet	6448	18237	6410	-0,59 %	16310	-10,57 %
Inet+G1	11299	31959	10690	-5,39 %	27200	-14,89 %
Inet+G2	6432	18193	6420	-0,19 %	16350	-10,13 %
Inet+G3	6432	18193	6420	-0,19 %	16350	-10,13 %
Inet+G1+G2	11327	28571	10700	-5,54 %	27240	-4,66 %
Inet+G1+G3	11316	32006	10700	-5,44 %	27240	-14,89 %
Inet+G2+G3	6448	18237	6440	-0,12 %	16390	-10,13 %
Inet+G1+G2+G3	11343	32082	10720	-5,49 %	27280	-14,97 %

Taulukko 20. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu generaattorilla 2 tapahtuvassa oikosulussa.

Kytkentätilanne	EDSA		Excel-laskentapohja			
	I_k^{**}/A	is/A	I_k^{**}/A	ero %	is/A	ero %
Inet	10819	30142	10800	-0,18 %	27500	-8,77 %
Inet+G1	10846	30237	10830	-0,15 %	27570	-8,82 %
Inet+G2	19870	56201	18830	-5,23 %	47930	-14,72 %
Inet+G3	10940	30527	10840	-0,91 %	27590	-9,62 %
Inet+G1+G2	19855	56158	18850	-5,06 %	47990	-14,54 %
Inet+G1+G3	10882	30364	10860	-0,20 %	27660	-8,91 %
Inet+G2+G3	19908	56308	18860	-5,26 %	48020	-14,72 %
Inet+G1+G2+G3	19932	56377	18890	-5,23 %	48080	-14,72 %

Taulukko 21. Alkuoikosulkuvirtojen ja sysäysoikosulkuvirtojen vertailu generaattorilla 3 tapahtuvassa oikosulussa.

Kytkeätilanne	EDSA		Excel-laskentapohja			
	I_k^{**}/A	is/A	I_k^{**}/A	ero %	is/A	ero %
Inet	10819	30141	10800	-0,18 %	27500	-8,76 %
Inet+G1	10846	30237	10830	-0,15 %	27570	-8,82 %
Inet+G2	10857	30276	10840	-0,16 %	27590	-8,87 %
Inet+G3	19829	56084	18830	-5,04 %	47930	-14,54 %
Inet+G1+G2	10882	30364	10860	-0,20 %	27660	-8,91 %
Inet+G1+G3	19896	56275	18850	-5,26 %	47990	-14,72 %
Inet+G2+G3	19908	56308	18860	-5,26 %	48020	-14,72 %
Inet+G1+G2+G3	19932	56377	18890	-5,23 %	48080	-14,72 %

Verrattaessa Excel-laskentapohjalla saatuja laskentatuloksia EDSA- ohjelmalla saatuihin laskentatuloksiin, huomattiin laskentatulosten olevan hyvin lähellä toisiaan. Suurimmat laskentavirheet esiintyivät tilanteissa, joissa generaattori syötti oikosulkuvirtaa omassa navassa tapahtuvassa oikosulussa. Laskentavirhe oli alkuoikosulkuvirran osalta isoimmillaan n. 5 % ja sysäysoikosulkuvirran osalta n. 15 %. Laskentatuloksista voidaan päätellä, että Excel-laskentapohjalla saavutetaan suhteellisen luotettavat laskentatulokset. Syy miksi sysäysoikosulkuvirran laskentavirhe vaihteli 1 % ja 15 välillä johtui, siitä kun sysäysoikosulkuvirran laskentakaavassa käytettiin likimääräistä sysäyskerrointa.

EDSA- laskentaohjelmiston ja Excel-laskentapohjan avulla haluttiin selvittää käytettyjen kaapelien suurin sallittu pituus, jonka jälkeen alkuoikosulkuvirran laskenta virhe kasvaisi 10 %:iin. Ensimmäiseksi pyrittiin määrittämään keskijännitekojeiston kokoojakiskolla sattuvassa oikosulussa generaattori ja muuntajan sekä muuntajan ja kokoojakiskon välisten kaapelin suurin sallittu pituus, jolloin laskentavirhe pysyisi alle 10 %:ssa. Kokeilussa kaapelien pituuksia nostettiin aina 10 km asti ja huomattiin, että missään vaiheessa laskennanvirhe ei kasvanut yli 10 %:iin. Toiseksi tuli selvittää käytettyjen kaapelien suurin sallittu pituus kun oikosulku tapahtui generaattorin navoilla. Kokeilussa huomattiin, että generaattorin navoilla sattuvassa oikosulussa vain vioittuneen generaattorin ja muuntajan välinen kaapeli aiheutti laskentaan huomattavaa virhettä. Generaattorin

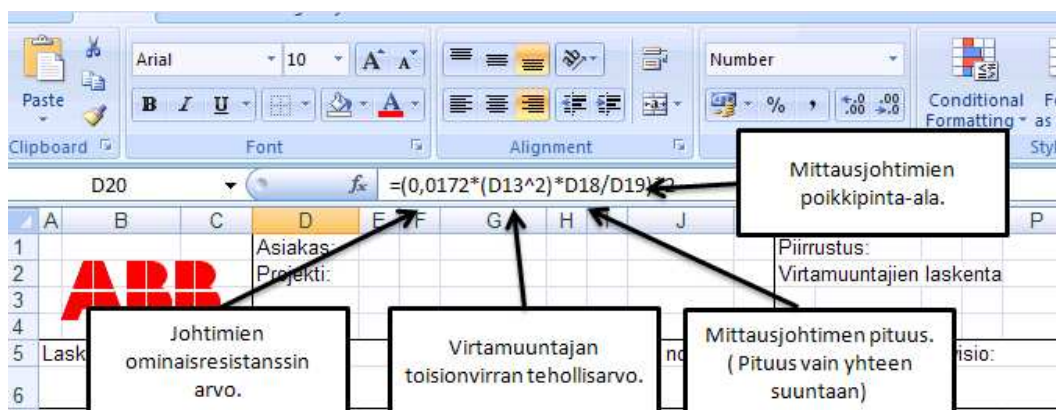
ja muuntajan väliselle kaapelille saatiin sallituksi pituudeksi 1 km, jonka jälkeen laskentavirhe oli n. 10 %:a.

8 VIRTAMUUNTAJAN EXCEL-LASKENTAPOHJA

Tässä käsitellään niitä ominaisuuksia virtamuuntajasta joita voidaan laskentapohjalla laskea. Tämän lisäksi ohjeistetaan mitä tietoja laskenta tarvitsee. Virtamuuntajien laskentaan tarkoitettulla Excel-laskentapohjalla voidaan laskea seuraavat tiedot: toisiopiirin mittausjohtimien aiheuttama taakka, todellinen tarkkuusrajakerroin ja tarkkuusrajavirta. Liitteessä 15 on näytetty virtamuuntajien laskentaan tarkoitettu Excel-laskentapohja.

8.1 Kaapelitaakan laskenta

Kaapelista aiheutuva taakka virtamuuntajalle on monesti huomattavan suuri, joten on tärkeää pystyä laskemaan kaapelin taakka etukäteen. Laskettaessa kaapelin taakkaa, laskentapohjaan tulee syöttää virtamuuntajan toisiovirta, kaapelin pituus ja poikkipinta-ala. Tulee kuitenkin huomata, että kaapelitaakan laskentakaavaan on valmiiksi lisätty johdinmateriaalin ominaisresistanssi. Johdinmateriaalin poiketessa kuparista, tulee laskentakaavaan muuttaa ominaisresistanssin arvo. Kuvassa 18 on näytettynä kaapelitaakan laskentakaavan sisältö.

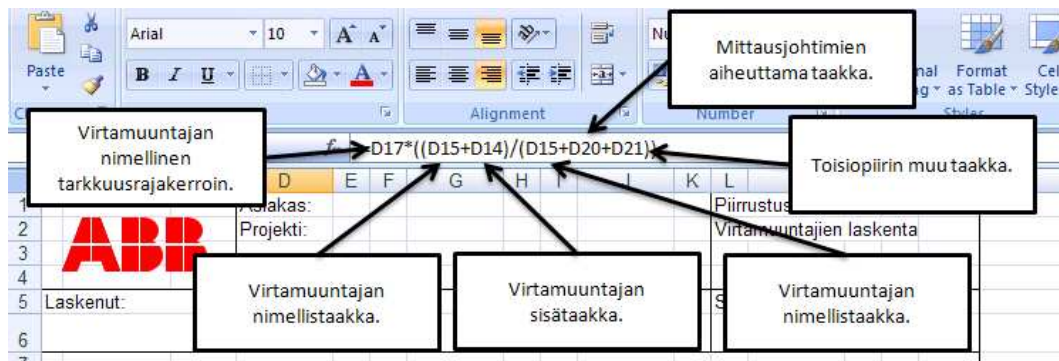


Kuva 18. Kaapelitaakanlaskenta.

8.2 Todellisen tarkkuusrajakertoimen laskenta

Todellisen tarkkuusrajakertoimen laskemiseen tarvitaan seuraavat tiedot: kaapelitaakka, tarkkuusrajakerroin, nimellistaakka, sisätaakka ja muu taakka. Kaapelitaakan tiedon laskentakaavaan saa edellisen kohdan laskennasta, joten kaapelitaakka tulee olla laskettuna ennen kuin lasketaan todellinen

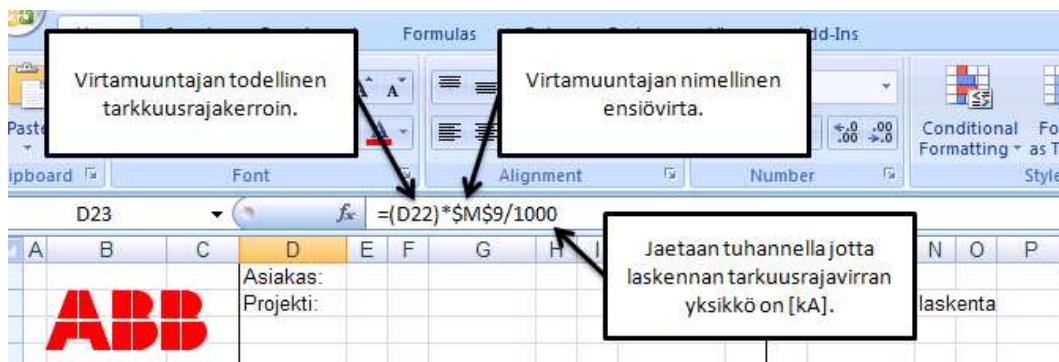
tarkkuusrajakerroin. Tarkkuusrajakerroin ja nimellistaakkatiedot saadaan virtamuuntajan tiedoista. Virtamuuntajan sisätaakka saadaan myös valmistajalta. Virtamuuntajan muuksi taakaksi tulee ilmoittaa esimerkiksi mittareiden ja liitoksien aiheuttama taakka. Kuvassa 19 on kerrottuna, mistä osista todellisen tarkkuusrajakerroimen laskenta koostuu.



Kuva 19. Todellisen tarkkuusrajakerroimen laskentakaava.

8.3 Tarkkuusrajavirran laskenta

Laskettaessa tarkkuusrajavirtaa virtamuuntajalle, laskentapohja tarvitsee seuraavat tiedot laskentaa varten: todellinen tarkkuusrajavirta ja ensiövirta. Tarkkuusrajavirran laskennan tulos pyrkii kuvastamaan sitä ensiövirran arvoa, jonka virtamuuntaja pystyy vielä toistamaan siten, että yhdistetty virhe ei kasva liian suureksi. Kuvassa 20 on kerrottu mistä virtamuuntajan tarkkuusrajavirran laskenta koostuu. Kyseisen laskentakaavan tuloksen yksikkö on [kA].



Kuva 20. Tarkkuusrajavirran laskentakaava.

9 YHTEENVETO

Päättötyössä haluttiin saada aikaiseksi laskentatyökalu, joka soveltuisi suunnittelijoiden käytettäväksi. Laskentatyökalun haluttiin olevan mahdollisimman kevyt ja yksinkertainen käyttää.

Työ aloitettiin kartoittamalla, mitä laskentaominaisuuksia suunnittelijat tarvitsevat työssään. Kartoituksessa suunnittelijat kokivat tarpeellisiksi kolmivaiheoikosulkuvirtojen laskennan, virtamuuntajien taakan laskennan ja releasetteluiden laskennan. Kartoituksessa saatiin selville, että nykyisin laskennat suoritettiin Excel-laskentapohjilla. Kartoituksessa saatujen Excel-laskentapohjien katsottiin olevan käyttökelpoisia. Tämän seurauksena päädyttiin parantelemaan nykyisiä Excel-laskentapohjia sekä tekemään niille käyttöohjeet. Releasetteluiden laskentaa varten ei löytynyt toimivaa laskentapohjaa, joten päädyttiin siihen lopputulokseen, että jätämme releasetteluiden laskennan päättötyön ulkopuolelle.

Virtamuuntajien taakan laskentaan tarkoitettu Excel-laskentapohja soveltui suoraan käytettäväksi, koska sen avulla voitiin laskea kaikki tarpeelliset ominaisuudet. Virtamuuntajien laskentaan tarkoitettulla Excel-laskentapohjalla pystyttiin laskemaan seuraavat ominaisuudet: kaapelien aiheuttama taakka, todellinen tarkkuusrajakerroin ja tarkkuusrajavirta. Ainut korjaus laskentapohjaan jouduttiin tekemään tarkkuusrajavirran laskentakaavaan, koska siinä oli pientä virheellisyttä.

Omakäyttöjärjestelmän oikosulkuvirtojen laskentapohjat toteutettiin kahden erilaisen järjestelmän pohjalta. Ensimmäisessä järjestelmässä alkutietona oli oikosulkuvirta omakäyttömuuntajan alajännitepuolen navoilla ja toisessa järjestelmässä alkutietona oli oikosulkuvirta omakäyttömuuntajan yläjännitepuolella. Molemmista järjestelmistä tehtiin Excel-laskentapohjat, joiden avulla voitiin laskea pienin ja suurin oikosulkuvirta. Excel-laskentapohjat toteutettiin kahdella erilaisella laskentamenetelmällä ja tarkistuslaskelma suoritettiin EDSA -verkostolaskentaohjelmistolla. Ensimmäisessä laskentamenetelmässä oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi muodostettiin summaamalla komponenttien impedanssit aritmeettisesti yhteen. Toisessa

laskentamenetelmässä oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi muodostettiin summaamalla komponenttien resistanssit ja reaktanssit neliöllisesti yhteen. Tarkin laskentatulo saavutettiin molemmissa järjestelmissä laskentatavalla 2. Käytettäessä laskentatapaa 2, saavutettiin laskentatarkkuus jonka virheprosentti oli alkuoikosulkuvirran osalta vain n. 1,5 % kun taas laskentatavassa 1 vastaava luku oli n. 10 %. Laskentatavan 1 heikkoutena oli myös, että laskentatarkkuus heikkeni huomattavasti kun kaapelien pituudet kasvoivat. Lopputuloksena saatiin 4 laskentapohjaa omakäyttöjärjestelmän laskentaan, jotka ovat liitteissä 8, 9, 16 ja 17.

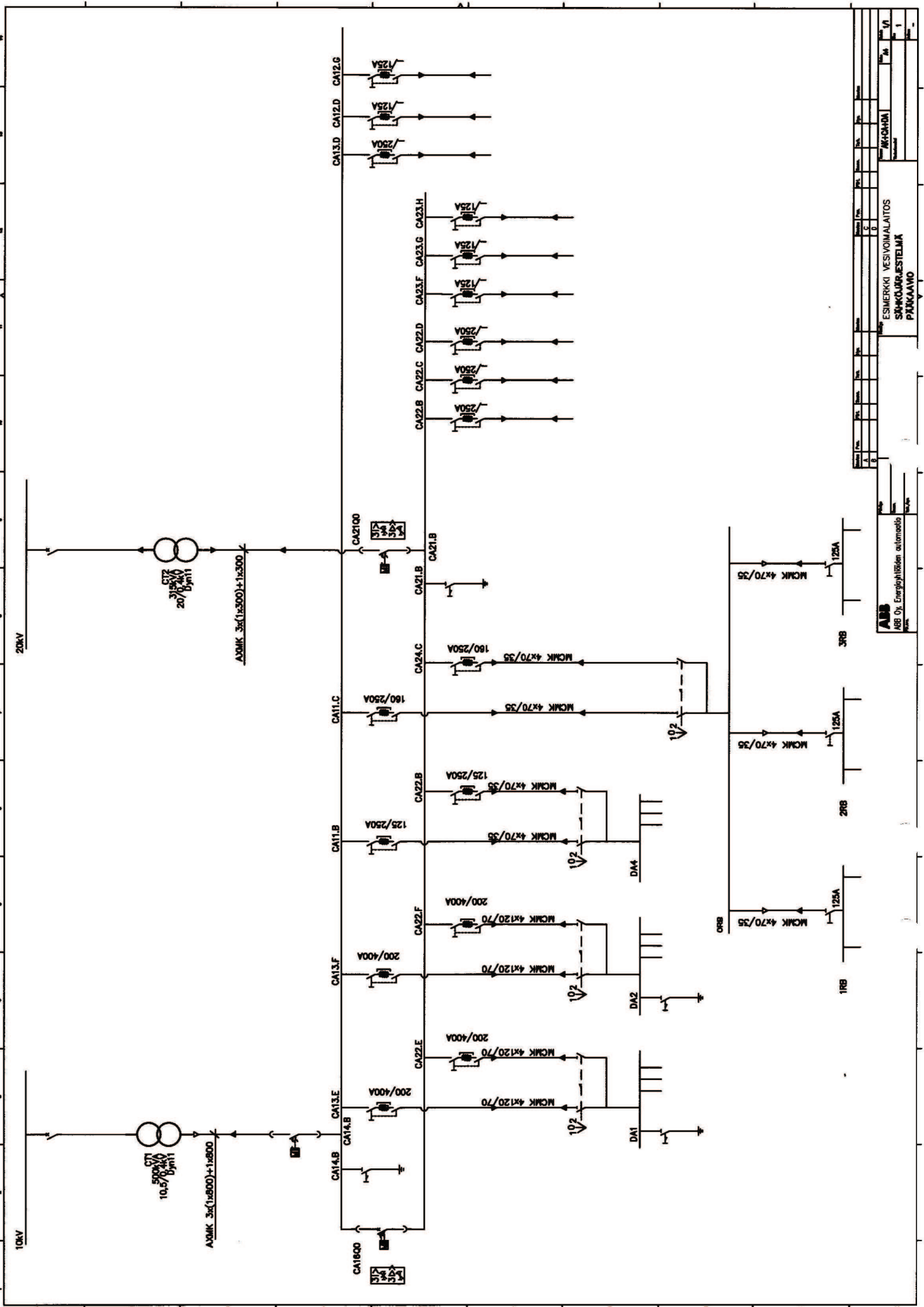
Keskijännitejärjestelmän alku- ja sysäysoikosulkuvirtojen laskentaan varten päädyttiin tekemään laskentapohja, mikä koostui kolmesta generaattorista. Tämän seurauksena laskentapohjaan voidaan soveltaa myös järjestelmiin, joissa on vain yksi tai kaksi generaattoria. Kartoituksessa saatu Excel-laskentapohja keskijännitejärjestelmän oikosulkuvirtojen laskentaan, oli toteutettu ominaisoikosulkutehoilla. Kyseinen laskentamenetelmä on kuitenkin hyvin karkea laskentamenetelmä, koska siinä ei voida huomioida esimerkiksi kaapelien vaikutusta oikosulkuvirran suuruuteen. Tämän seurauksena päädyttiin toteuttamaan Excel-laskentapohjan käyttäen Thevenin laskentamenetelmää. Thevenin laskentamenetelmällä toteutetulla laskentapohjalla saavutettiin laskentatarkkuus jonka suurin laskentavirhe oli vain n. 5 % ja sekin esiintyi vain tietyissä kytkentätilanteissa. Sysäysoikosulkuvirtojen osalta laskentatarkkuus vaihteli 1 % ja 15 % välillä.

Laskentapohjat eivät vaadi erillistä käyttöönottokoulutusta, koska niiden käyttäminen onnistuu käyttöohjeiden avulla. Laskentapohjat on tehty mahdollisimman yksikertaisiksi, jotta kuka tahansa pystyisi käyttämään niitä. Käyttöönottoa varten olisi hyvä luoda porttaaliin kansio, mistä laskentapohjat olisivat kaikkien saatavilla. Tämän jälkeen laskentapohjista olisi hyvä tiedottaa suunnittelijoille, että Excel-laskentapohjat olisivat saatavilla porttaalissa. Laskentapohjien kieli olisi hyvä vaihtaa jossain vaiheessa englanniksi, jotta myös Norjassa oleva yksikkö pystyisi käyttämään niitä.

Lähdeluettelo

- /9/ ABB Oy, 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita –käsikirja.
- /17/ ABB Oy 2010, Voimantuotannon järjestelmät -yksikön Power point -esitys.
- /1/ ABB Oy, kotisivut.[Viitattu 12.12.2010] Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.abb.fi/> >.
- /13/ Jarmo Elovaara & Liisa Haarala 2011. Sähköverkot 2. Otatieto.
- /3/ Elovaara, Jorma 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet. Otatieto
- /2/ Energiateollisuus, kotisivut. [viitattu 4.1.2011] Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.energia.fi/> >.
- /15/ Energy savers, kotisivut. [Viitattu 21.1.2011] Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.energysavers.gov> >.
- /10/ Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Opetusmateriaali.
- /6/ Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO, Vesivoimalaitokset. Insinööritieto Oy 1978, Julkaisu 45-78.
- /5/ Järvelä, Juha 2008. 14 Vesirakennus. Opetusmateriaali. Helsingin teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. [Viitattu 15.1.2010] Saatavilla WWW-muodossa: <URL: <http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/Yhd-12.1020/Luento12.pdf> >.

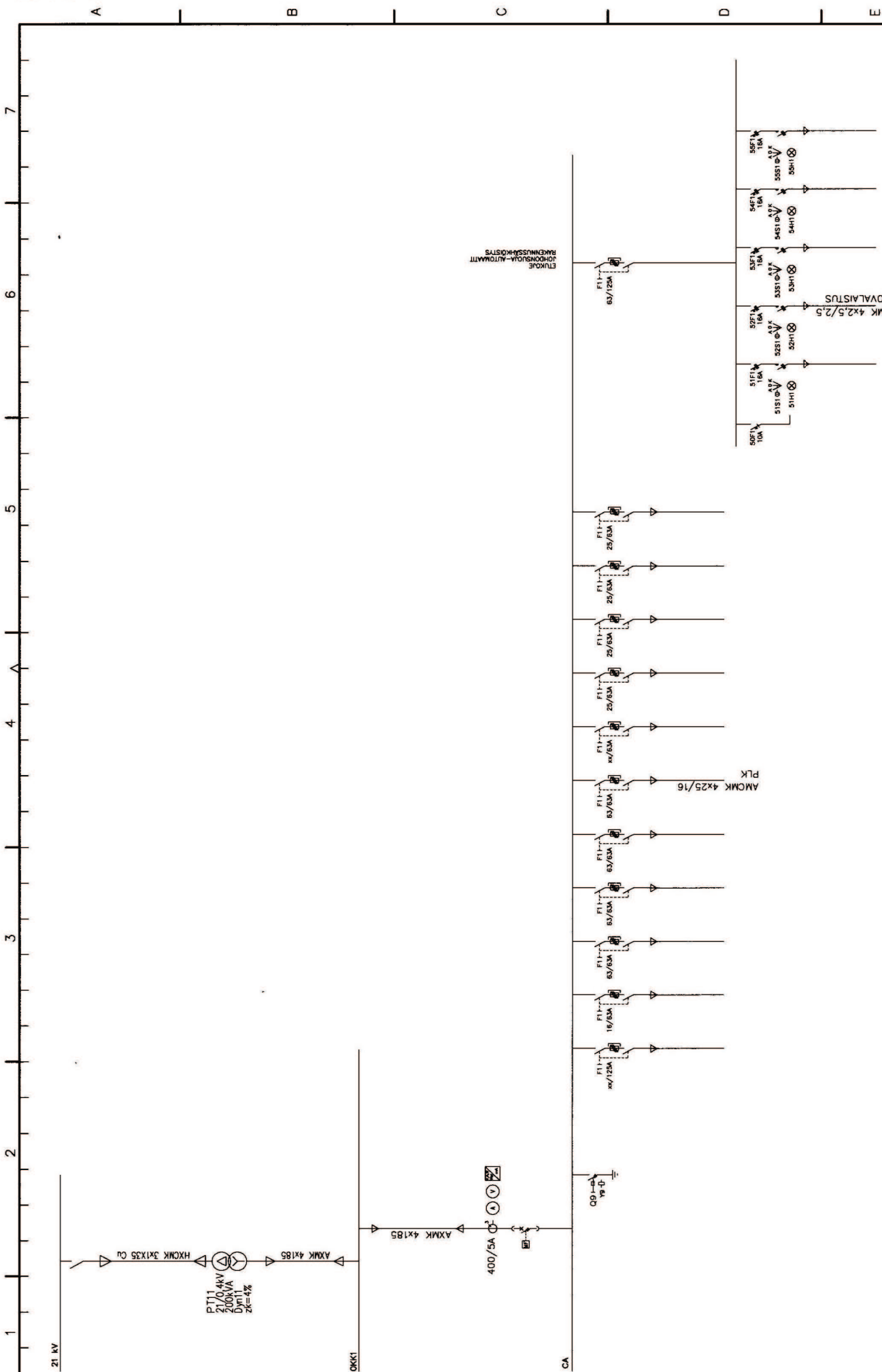
- /4/ Kemijoki Oy, kotisivut. [Viitattu 10.1.2011] Saatavilla www-muodossa:<URL:<http://www.kemijoki.fi/Kemijoki/kemijokiwww.nsf/sp2?open&cid=Content32B79&navnf=Sis%C3%A4lt%C3%B6\Vesivoima&navnfa=o>>.
- /7/ Kinttula, Matti 2008. Diplomityö. Pienvesivoiman elvytys, käyttöönotto ja kannattavuus. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka.
- /12/ Mörsky, Jorma 1992. Relesuojaustekniikka. Otatieto.
- /11/ Salminen Petri 2009. Diplomityö. Teollisuussähköverkon mallintaminen ja vikavirtatarkastelut. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma.
- /16/ Toshiba, kotisivut. [Viitattu 25.3.2011] Saatavilla www-muodossa:<URL:http://www3.toshiba.co.jp/power/english/hydro/products/equipment/index01_2.htm>.
- /8/ Uusiutuva Energia, 2010. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Opetusmateriaali.
- /14/ Wikipedia. [Viitattu 25.3.2011] Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://fi.wikipedia.org/wiki/Francis-turbiini>>.



No.	Pää	Mitt.	Käyt.		Suoj.	Pää	Mitt.	Käyt.	Suoj.	Käyt.
			A	B						
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

ESIMERKKI VESIVOIMALAITOS
SAHKOURJESTELMÄ
PANKKAANO

ABB
ABB Oy, Energymääräisten automaattien
Suomen Osasto



Perustuu	Summitteili	Piirustus	
	Häyöisy	ABB Oy Voimanluotannon Järjestelmät	
	Yhtiö nimi	Muuutos	
		Lehti	
		LehtiB	



Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Pienin oikosulkuvirta

Laskenut:

Päiväys:

Osasto:

Projekti no:

Sivu:

Revisio:

Unet = 10 kV

Sknet: 8,77 MVA
Zknet: 0,01734 Ω

CT1
S = 500 kVA
10,5/0,4 kV
Dyn11

AXMK
3x(1x800)+(1x800)
l= 25 m
z= 0,051 Ω/km
Z(Ω)= 0,001275

3~Oikosulkuvirrat:

A	Ik = 12654 A
B	Ik = 11787 A
C	Ik = 8796 A
D	Ik = 8110 A
E	Ik = 8593 A
F	Ik = 4410 A
G	Ik = 3272 A
H	Ik = 3272 A
I	Ik = 3272 A

U = 0,4kV
CA1

MCMK
4x120/70
l= 30 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00633

MCMK
4x120/70
l= 40 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00844

MCMK
4x70/35
l= 20 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,00692

MCMK
4x70/35
l= 90 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,03114

DA1

DA2

DA4

ORB

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

G

H

I

1RD

2RD

3RD



Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Pienin oikosulkuvirta

Laskenut:
-

Päiväys:
-

Osasto:
-

Projekti no:
-

Sivu:
-

Revisio:
-

Unet = 20 kV

Sknet: 4,40 MVA
Zknet: 0,03455 Ω

CT2
315 kVA
20/0,4 kV
Dyn11

AXMK
3x(1x300)+(1x300)
l= 25 m
z= 0,155 Ω/km
Z(Ω)= 0,003875

3~Oikosulkuvirrat:

A	Ik = 6350 A
B	Ik = 5710 A
C	Ik = 4902 A
D	Ik = 4681 A
E	Ik = 4838 A
F	Ik = 3154 A
G	Ik = 2526 A
H	Ik = 2526 A
I	Ik = 2526 A

U = 0,4kV
CA1

MCMK
4x120/70
l= 30 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00633

MCMK
4x120/70
l= 40 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00844

MCMK
4x70/35
l= 20 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,00692

MCMK
4x70/35
l= 90 m
z= 0,35 Ω/km
Z(Ω)= 0,03114

DA1

DA2

DA4

ORB

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,35 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

G

H

I

1RD

2RD

3RD



Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Suurin oikosulkuvirta

Laskenut:
-

Päiväys:
-

Osasto:
-

Projekti no:
-

Sivu:
-

Revisio:
-

Unet = 10 kV

Sknet: 8,99 MVA
Zknet: 0,0187 Ω

CT1
500 kVA
10,5/0,4 kV
Dyn11

AXMK
3x(1x800)+(1x800)
l= 25 m
z= 0,051 Ω/km
Z(Ω)= 0,001275

3~ Oikosulkuvirrat		
	Alkuoikosulkuvirta	Sysäyoikosulkuvirta
A	$I_k'' = 12970 \text{ A}$	--> $i_p = 25679 \text{ A}$
B	$I_k'' = 12142 \text{ A}$	--> $i_p = 24040 \text{ A}$
C	$I_k'' = 9220 \text{ A}$	--> $i_p = 15646 \text{ A}$
D	$I_k'' = 8535 \text{ A}$	--> $i_p = 14484 \text{ A}$
E	$I_k'' = 9017 \text{ A}$	--> $i_p = 15303 \text{ A}$
F	$I_k'' = 4744 \text{ A}$	--> $i_p = 8051 \text{ A}$
G	$I_k'' = 3545 \text{ A}$	--> $i_p = 6015 \text{ A}$
H	$I_k'' = 3545 \text{ A}$	--> $i_p = 6015 \text{ A}$
I	$I_k'' = 3545 \text{ A}$	--> $i_p = 6015 \text{ A}$

U = 0,4kV
CA1

MCMK
4x120/70
l= 30 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00633

MCMK
4x120/70
l= 40 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00844

MCMK
4x70/35
l= 20 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,00692

MCMK
4x70/35
l= 90 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,03114

DA1

DA2

DA4

ORB

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

1RD

2RD

3RD



Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Suurin oikosulkuvirta

Laskenut:
-

Päiväys:
-

Osasto:
-

Projekti no:
-

Sivu:
-

Revisio:
-

Unet = 20 kV

Sknet: 4,55 MVA
Zknet: 0,03691 Ω

CT2
315 kVA
20/0,4 kV
Dyn11

AXMK
3x(1x300)+(1x300)
l= 25 m
z= 0,155 Ω/km
Z(Ω)= 0,003875

3~Oikosulkuvirrat:

	Alkuoikosulkuvirta	Sysäyoikosulkuvirta
A	$I_k'' = 6569 \text{ A}$	--> $i_p = 11148 \text{ A}$
B	$I_k'' = 5945 \text{ A}$	--> $i_p = 10089 \text{ A}$
C	$I_k'' = 5146 \text{ A}$	--> $i_p = 8734 \text{ A}$
D	$I_k'' = 4926 \text{ A}$	--> $i_p = 8359 \text{ A}$
E	$I_k'' = 5083 \text{ A}$	--> $i_p = 8626 \text{ A}$
F	$I_k'' = 3371 \text{ A}$	--> $i_p = 5721 \text{ A}$
G	$I_k'' = 2718 \text{ A}$	--> $i_p = 4612 \text{ A}$
H	$I_k'' = 2718 \text{ A}$	--> $i_p = 4612 \text{ A}$
I	$I_k'' = 2718 \text{ A}$	--> $i_p = 4612 \text{ A}$

U = 0,4kV
CA1

MCMK
4x120/70
l= 30 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00633

MCMK
4x120/70
l= 40 m
z= 0,211 Ω/km
Z(Ω)= 0,00844

MCMK
4x70/35
l= 20 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,00692

MCMK
4x70/35
l= 90 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,03114

DA1

DA2

DA4

ORB

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

MCMK
4x70/35
l= 50 m
z= 0,346 Ω/km
Z(Ω)= 0,0173

1RD

2RD

3RD



Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Pienin oikosulkuvirta

Laskenut:	Päiväys:	Osasto:	Projekti no:	Sivu:	Revisio:
-	-	-	-	-	-

Unet = 10 kV

Sknet: 8,77 MVA
Zknet: 0,0173 Ω

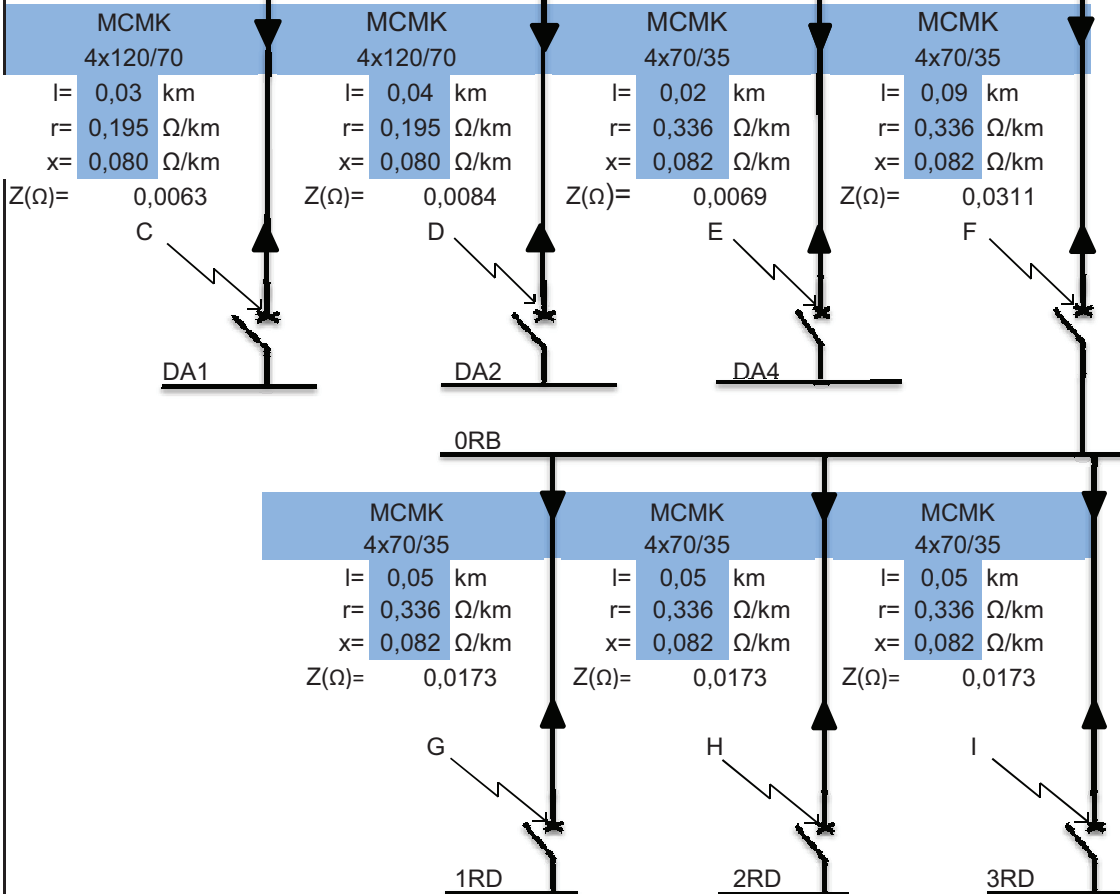
CT1
S = 500 kVA
10,5/0,4 kV
Dyn11

AXMK
3x(1x800)+(1x800)
l= 0,025 km
r= 0,051 Ω/km
x= 0,078 Ω/km
Z(Ω)= 0,0023

3~Oikosulkuvirrat:

A	Ik = 12654 A
B	Ik = 11350 A
C	Ik = 9611 A
D	Ik = 9047 A
E	Ik = 9793 A
F	Ik = 5314 A
G	Ik = 3830 A
H	Ik = 3830 A
I	Ik = 3830 A

U = 0,4kV
CA1





Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Pienin oikosulkuvirta

Laskenut:
-

Päiväys:
-

Osasto:
-

Projekti no:
-

Sivu:
-

Revisio:
-

Unet = 20 kV

Sknet: 4,40 MVA
Zknet: 0,0346 Ω

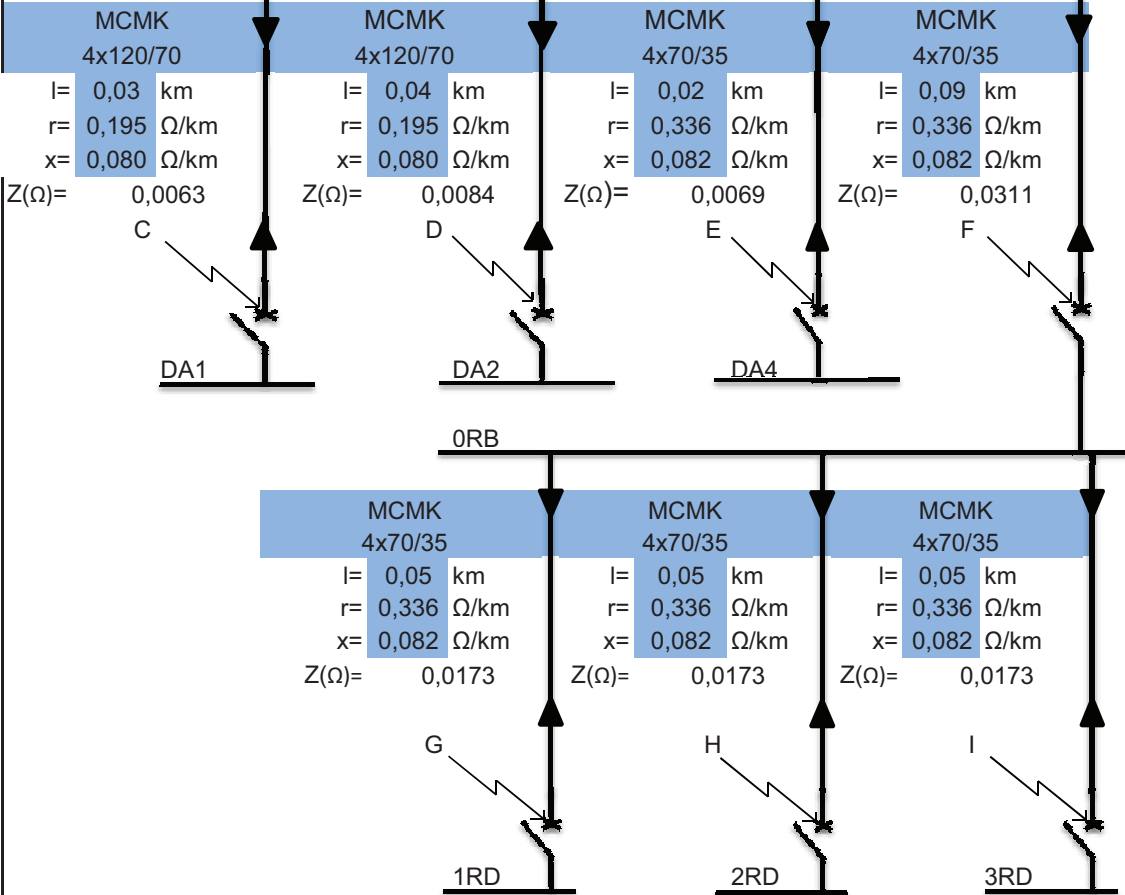
CT2
S = 315 kVA
10,5/0,4 kV
Dyn11

AXMK
3x(1x300)+(1x300)
l= 0,025 km
r= 0,133 Ω/km
x= 0,079 Ω/km
Z(Ω)= 0,0039

3~Oikosulkuvirrat:

A	Ik = 6350 A
B	Ik = 5982 A
C	Ik = 5486 A
D	Ik = 5318 A
E	Ik = 5559 A
F	Ik = 3970 A
G	Ik = 3153 A
H	Ik = 3153 A
I	Ik = 3153 A

U = 0,4kV
CA1





Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Suurin oikosulkuvirta

Laskenut:
-

Päiväys:
-

Osasto:
-

Projekti no:
-

Sivu:
-

Revisio:
-

Unet = 10 kV

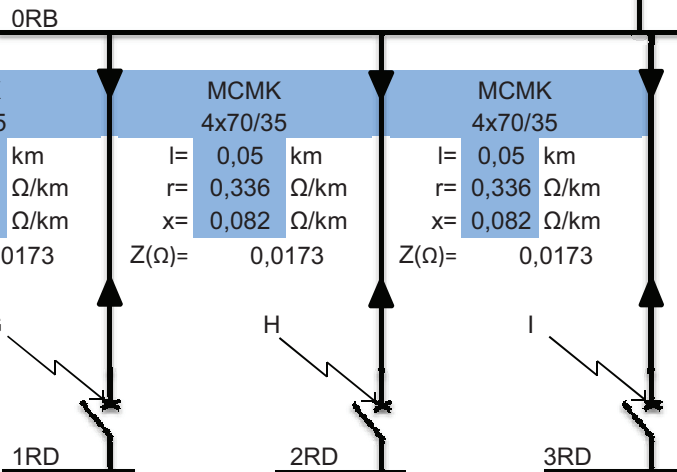
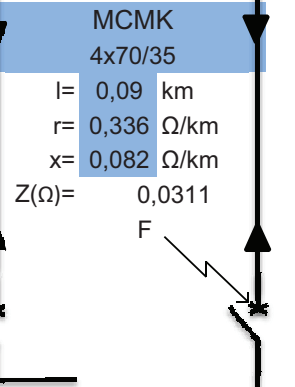
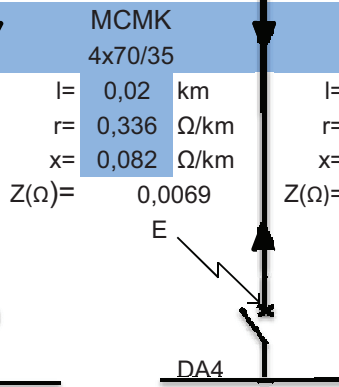
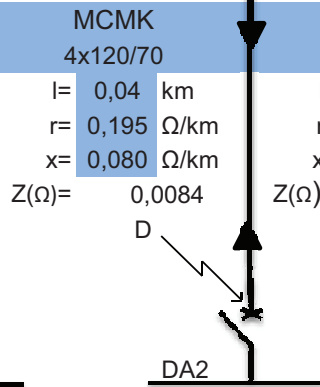
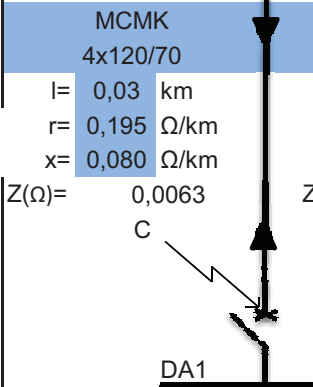
Sknet: 8,99 MVA
Zknet: 0,0187 Ω

CT1
500 kVA
10,5/0,4 kV
Dyn11

AXMK
3x(1x800)+(1x800)
l= 0,025 km
r= 0,051 Ω/km
x= 0,078 Ω/km
Z(Ω)= 0,0023

3~ Oikosulkuvirrat		
	Alkuoikosulkuvirta	Sysäyoikosulkuvirta
A	$I_k'' = 12970 \text{ A}$	--> $i_p = 25679 \text{ A}$
B	$I_k'' = 11723 \text{ A}$	--> $i_p = 23210 \text{ A}$
C	$I_k'' = 10052 \text{ A}$	--> $i_p = 17060 \text{ A}$
D	$I_k'' = 9504 \text{ A}$	--> $i_p = 16129 \text{ A}$
E	$I_k'' = 10242 \text{ A}$	--> $i_p = 20277 \text{ A}$
F	$I_k'' = 5750 \text{ A}$	--> $i_p = 9758 \text{ A}$
G	$I_k'' = 4179 \text{ A}$	--> $i_p = 7093 \text{ A}$
H	$I_k'' = 4179 \text{ A}$	--> $i_p = 7093 \text{ A}$
I	$I_k'' = 4179 \text{ A}$	--> $i_p = 7093 \text{ A}$

U = 0,4kV
CA1





Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Suurin oikosulkuvirta

Laskenut:
-

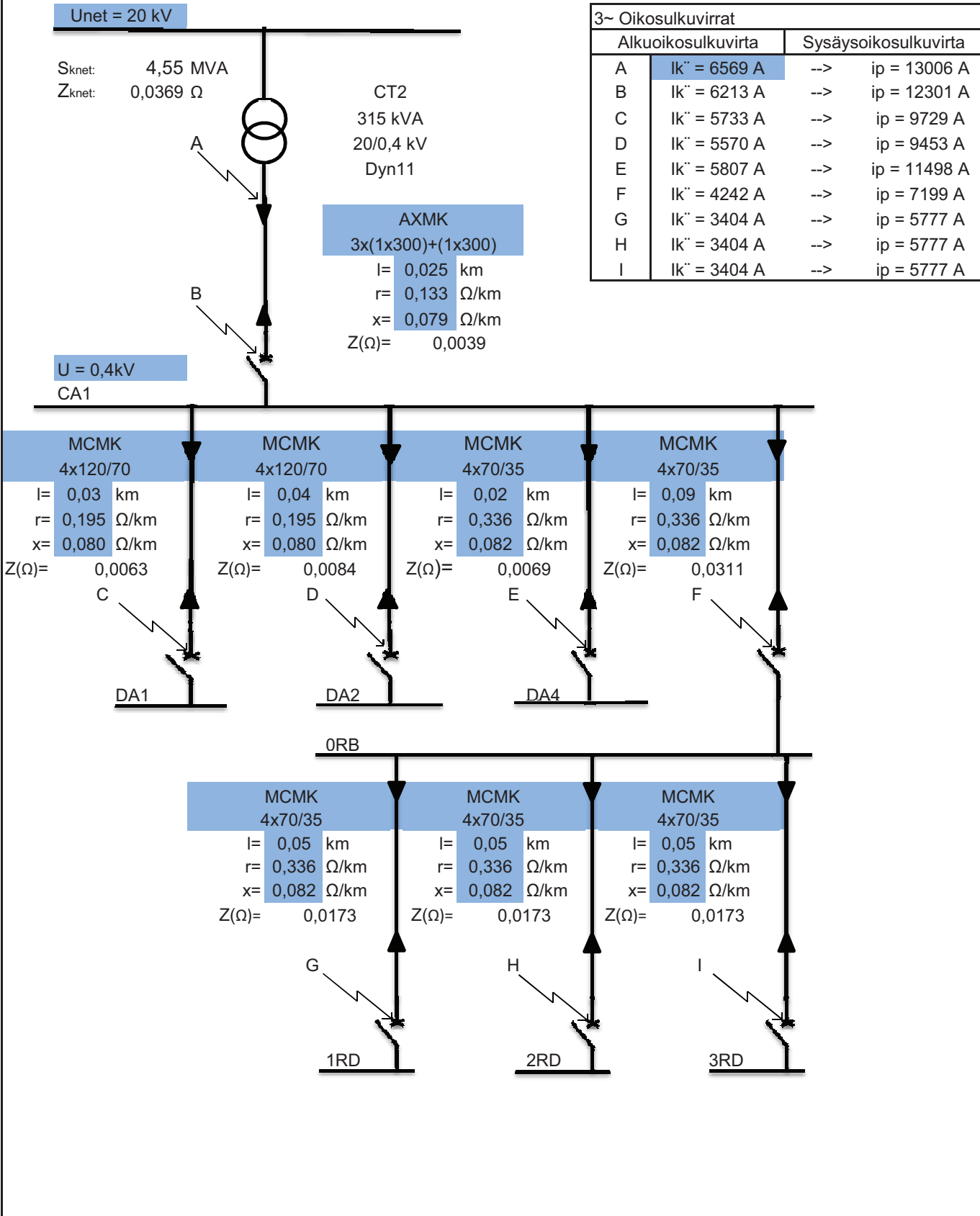
Päiväys:
-

Osasto:
-

Projekti no:
-

Sivu:
-

Revisio:
-

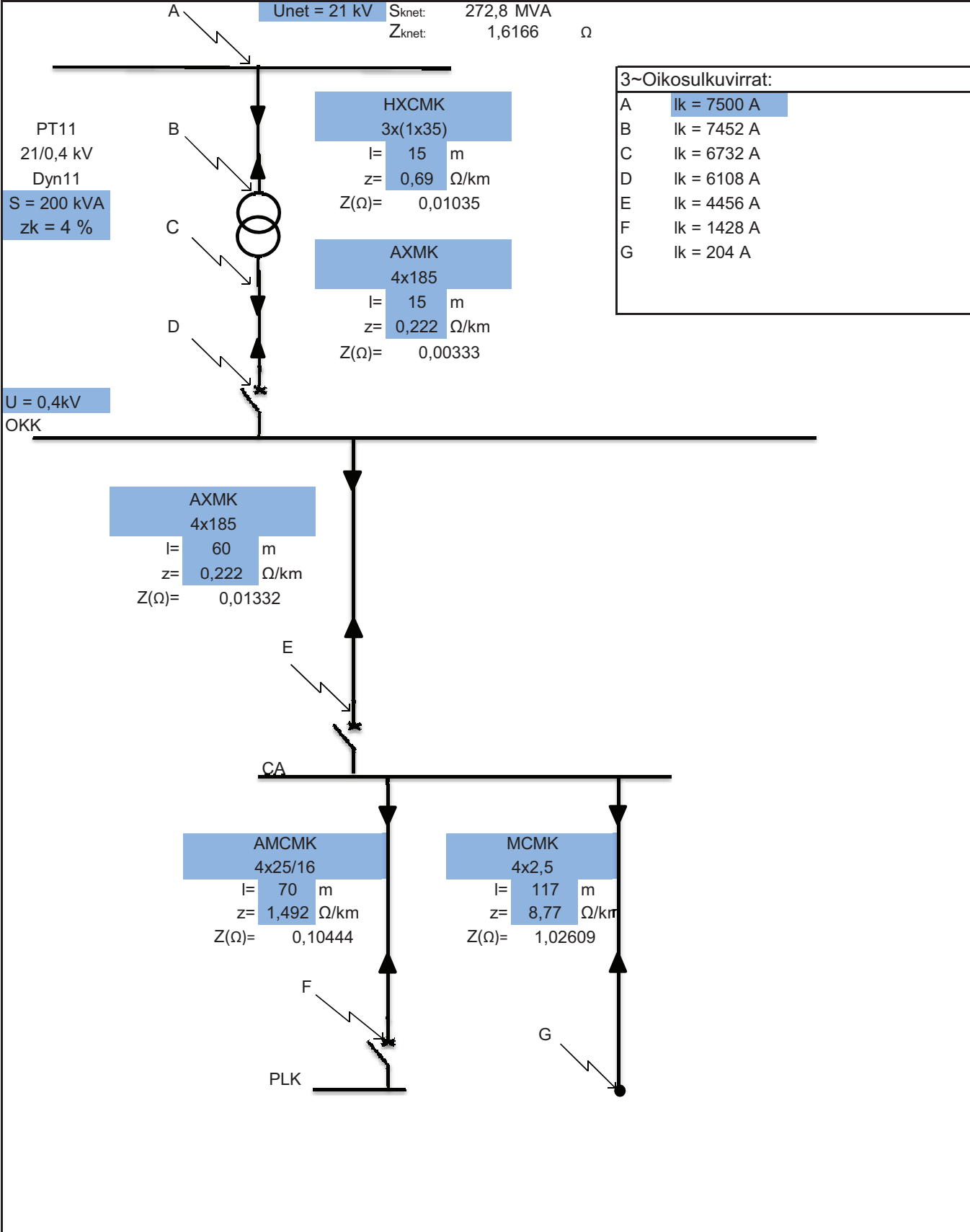




Asiakas:
 Projekti:

Piirustus:
 3~Oikosulkulaskelma
 Pienin oikosulkuvirta

Laskenut:	Päiväys:	Osasto:	Projekti no:	Sivu:	Revisio:
-	-	-	-	-	-





Asiakas:
Projekti:

Piirustus:
3~Oikosulkulaskelma
Pienin oikosulkuvirta

Laskenut:
-

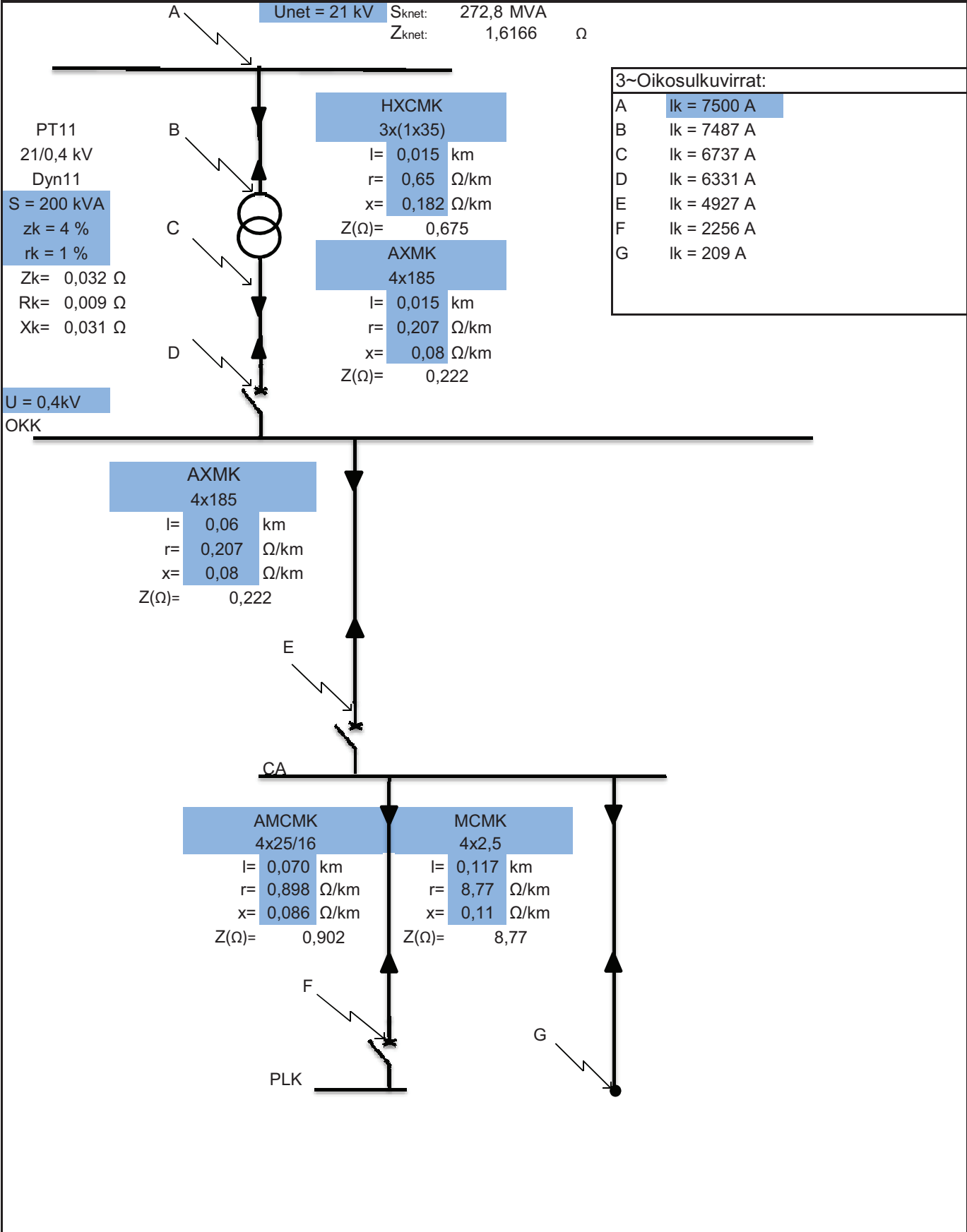
Päiväys:
-

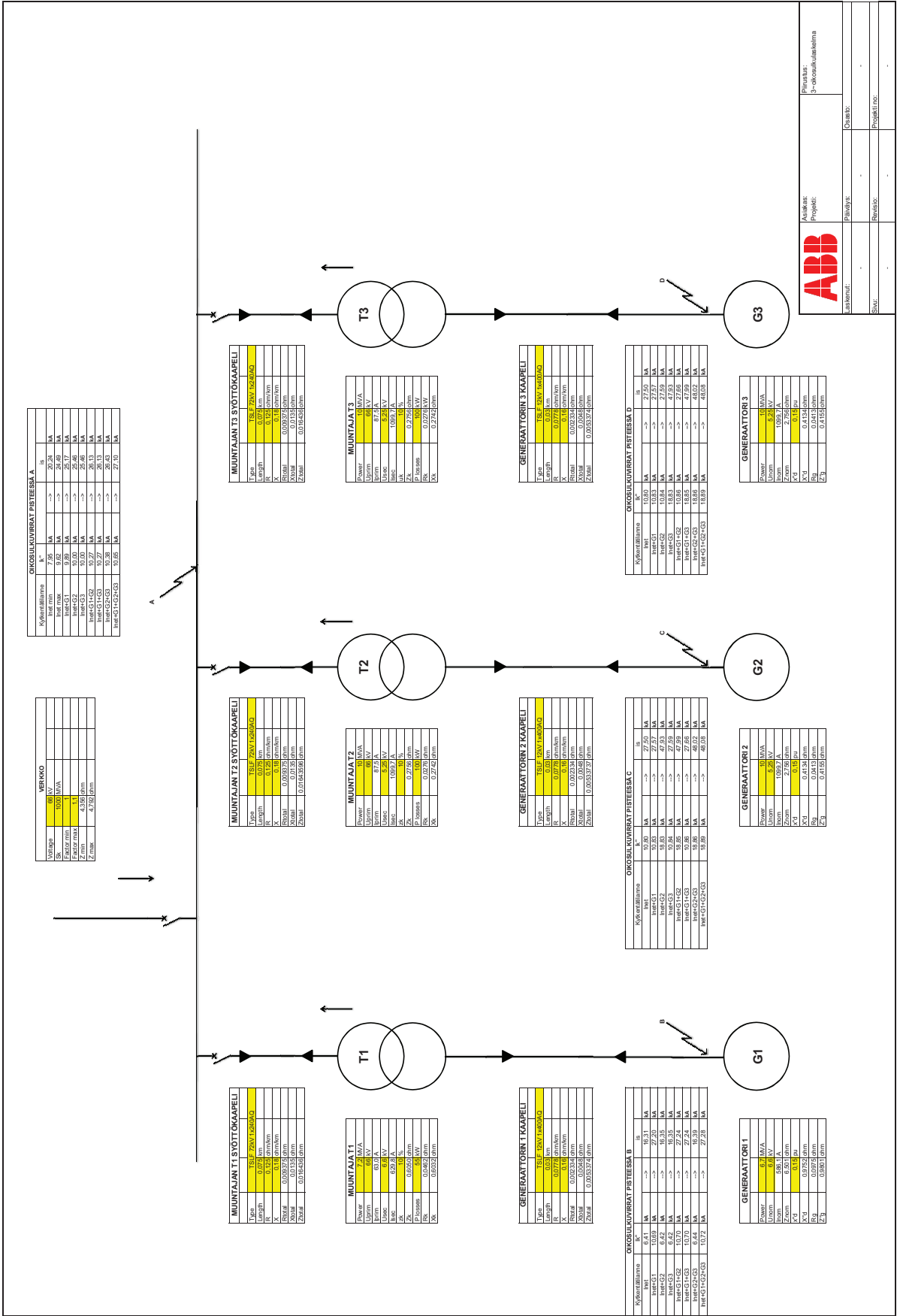
Osasto:


Projekti no:

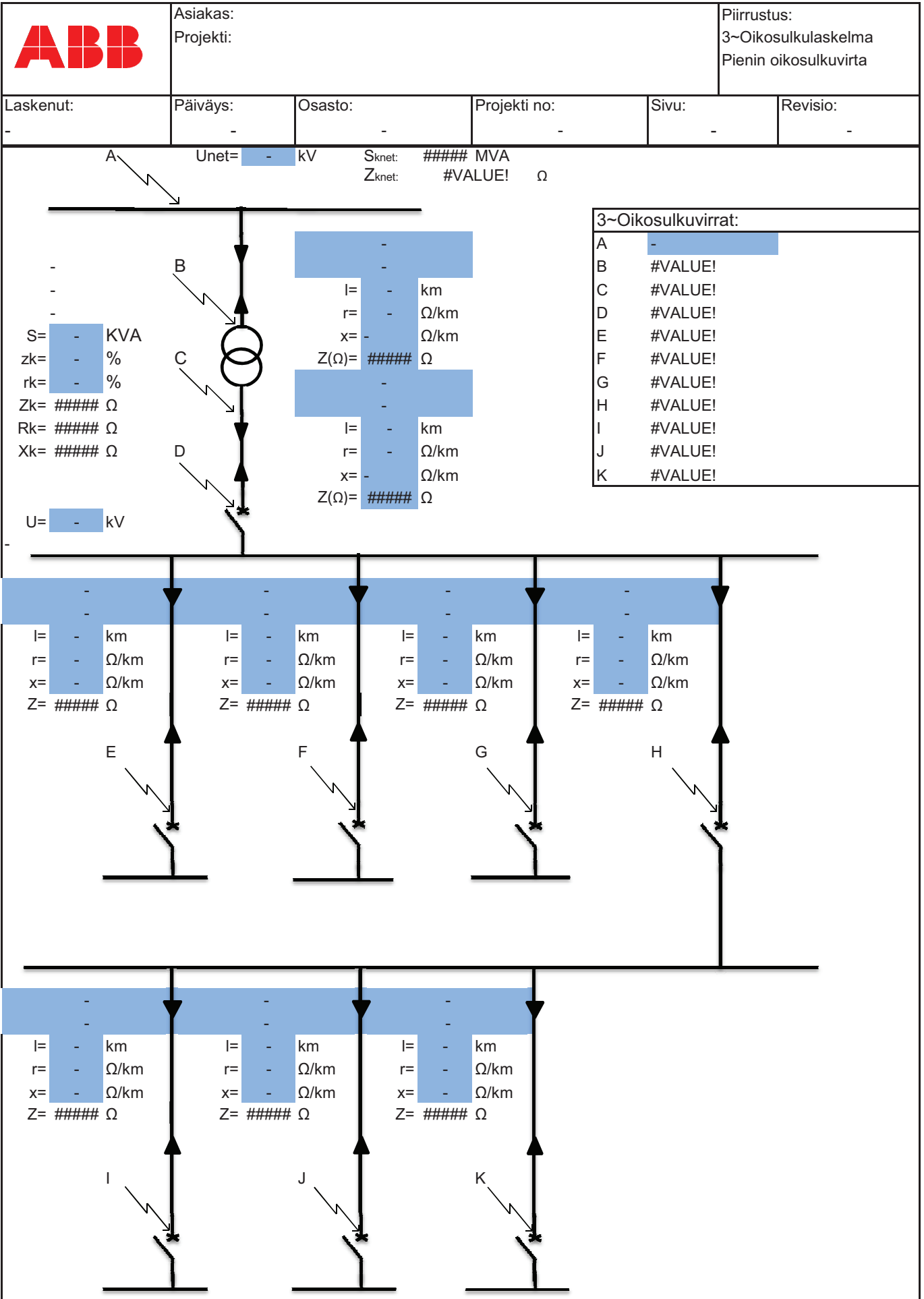
Sivu:
-

Revisio:
-





	Asiakas: Projekti:			Piirustus: Virtamuuntajien laskenta																																																																																																																																																																																																																																									
	Laskenut:	Päiväys:	Osasto:	Projekti no:	Sivu:	Revisio:																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">--</td> <td colspan="3"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Ensiövirta</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">A</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 1</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 2</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 3</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 4</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Käyttötarkoitus</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Toisiovirta</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> <td style="text-align: center;">A</td> </tr> <tr> <td>Nimellistaakka</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">VA</td> </tr> <tr> <td>Sisätaakka</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">VA</td> </tr> <tr> <td>Tarkkuusluokka</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td></td> <td style="text-align: center;">P</td> </tr> <tr> <td>Tarkkuusrajakerroin</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kaapelipituus</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td></td> <td style="text-align: center;">m</td> </tr> <tr> <td>Kaapeli poikkipinta</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td></td> <td style="text-align: center;">mm²</td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td>Kaapelitaakka</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> </tr> <tr> <td>Muu taakka</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">VA</td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td>Tod. Tarkkuusrajak.</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td></td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td>Tarkkuusrajavirta</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> </tr> </table> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">--</td> <td colspan="3"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Ensiövirta</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">A</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 1</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 2</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 3</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 4</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Käyttötarkoitus</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Toisiovirta</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> <td style="text-align: center;">A</td> </tr> <tr> <td>Nimellistaakka</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">VA</td> </tr> <tr> <td>Sisätaakka</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">VA</td> </tr> <tr> <td>Tarkkuusluokka</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td style="text-align: center;">P</td> <td></td> <td style="text-align: center;">P</td> </tr> <tr> <td>Tarkkuusrajakerroin</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kaapelipituus</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td style="text-align: center;">m</td> <td></td> <td style="text-align: center;">m</td> </tr> <tr> <td>Kaapeli poikkipinta</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td style="text-align: center;">mm²</td> <td></td> <td style="text-align: center;">mm²</td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td>Kaapelitaakka</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! VA</td> </tr> <tr> <td>Muu taakka</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">VA</td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td>Tod. Tarkkuusrajak.</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> <td></td> <td style="text-align: center;">#DIV/0!</td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td>Tarkkuusrajavirta</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">#DIV/0! kA</td> </tr> </table> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">--</td> <td colspan="3"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Ensiöjännite</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">V</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 1</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 2</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 3</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Toisio 4</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Toisiojännite</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> <td style="text-align: center;">V</td> </tr> <tr> <td>Nimellistaakka</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td style="text-align: center;">VA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">VA</td> </tr> <tr> <td>Tarkkuusluokka</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>								--				Ensiövirta	A		<u>Toisio 1</u>	<u>Toisio 2</u>	<u>Toisio 3</u>	<u>Toisio 4</u>			Käyttötarkoitus							Toisiovirta	A	A	A	A		A	Nimellistaakka	VA	VA	VA	VA		VA	Sisätaakka	VA	VA	VA	VA		VA	Tarkkuusluokka	P	P	P	P		P	Tarkkuusrajakerroin							Kaapelipituus	m	m	m	m		m	Kaapeli poikkipinta	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²		mm ²	Kaapelitaakka	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA		#DIV/0! VA	Muu taakka	VA	VA	VA	VA		VA	Tod. Tarkkuusrajak.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!	Tarkkuusrajavirta	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA		#DIV/0! kA		--				Ensiövirta	A		<u>Toisio 1</u>	<u>Toisio 2</u>	<u>Toisio 3</u>	<u>Toisio 4</u>			Käyttötarkoitus							Toisiovirta	A	A	A	A		A	Nimellistaakka	VA	VA	VA	VA		VA	Sisätaakka	VA	VA	VA	VA		VA	Tarkkuusluokka	P	P	P	P		P	Tarkkuusrajakerroin							Kaapelipituus	m	m	m	m		m	Kaapeli poikkipinta	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²		mm ²	Kaapelitaakka	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA		#DIV/0! VA	Muu taakka	VA	VA	VA	VA		VA	Tod. Tarkkuusrajak.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!	Tarkkuusrajavirta	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA		#DIV/0! kA		--				Ensiöjännite	V		<u>Toisio 1</u>	<u>Toisio 2</u>	<u>Toisio 3</u>	<u>Toisio 4</u>			Toisiojännite	V	V	V	V		V	Nimellistaakka	VA	VA	VA	VA		VA	Tarkkuusluokka						
	--				Ensiövirta	A																																																																																																																																																																																																																																							
	<u>Toisio 1</u>	<u>Toisio 2</u>	<u>Toisio 3</u>	<u>Toisio 4</u>																																																																																																																																																																																																																																									
Käyttötarkoitus																																																																																																																																																																																																																																													
Toisiovirta	A	A	A	A		A																																																																																																																																																																																																																																							
Nimellistaakka	VA	VA	VA	VA		VA																																																																																																																																																																																																																																							
Sisätaakka	VA	VA	VA	VA		VA																																																																																																																																																																																																																																							
Tarkkuusluokka	P	P	P	P		P																																																																																																																																																																																																																																							
Tarkkuusrajakerroin																																																																																																																																																																																																																																													
Kaapelipituus	m	m	m	m		m																																																																																																																																																																																																																																							
Kaapeli poikkipinta	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²		mm ²																																																																																																																																																																																																																																							
Kaapelitaakka	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA		#DIV/0! VA																																																																																																																																																																																																																																							
Muu taakka	VA	VA	VA	VA		VA																																																																																																																																																																																																																																							
Tod. Tarkkuusrajak.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!																																																																																																																																																																																																																																							
Tarkkuusrajavirta	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA		#DIV/0! kA																																																																																																																																																																																																																																							
	--				Ensiövirta	A																																																																																																																																																																																																																																							
	<u>Toisio 1</u>	<u>Toisio 2</u>	<u>Toisio 3</u>	<u>Toisio 4</u>																																																																																																																																																																																																																																									
Käyttötarkoitus																																																																																																																																																																																																																																													
Toisiovirta	A	A	A	A		A																																																																																																																																																																																																																																							
Nimellistaakka	VA	VA	VA	VA		VA																																																																																																																																																																																																																																							
Sisätaakka	VA	VA	VA	VA		VA																																																																																																																																																																																																																																							
Tarkkuusluokka	P	P	P	P		P																																																																																																																																																																																																																																							
Tarkkuusrajakerroin																																																																																																																																																																																																																																													
Kaapelipituus	m	m	m	m		m																																																																																																																																																																																																																																							
Kaapeli poikkipinta	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²		mm ²																																																																																																																																																																																																																																							
Kaapelitaakka	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA	#DIV/0! VA		#DIV/0! VA																																																																																																																																																																																																																																							
Muu taakka	VA	VA	VA	VA		VA																																																																																																																																																																																																																																							
Tod. Tarkkuusrajak.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!																																																																																																																																																																																																																																							
Tarkkuusrajavirta	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA	#DIV/0! kA		#DIV/0! kA																																																																																																																																																																																																																																							
	--				Ensiöjännite	V																																																																																																																																																																																																																																							
	<u>Toisio 1</u>	<u>Toisio 2</u>	<u>Toisio 3</u>	<u>Toisio 4</u>																																																																																																																																																																																																																																									
Toisiojännite	V	V	V	V		V																																																																																																																																																																																																																																							
Nimellistaakka	VA	VA	VA	VA		VA																																																																																																																																																																																																																																							
Tarkkuusluokka																																																																																																																																																																																																																																													



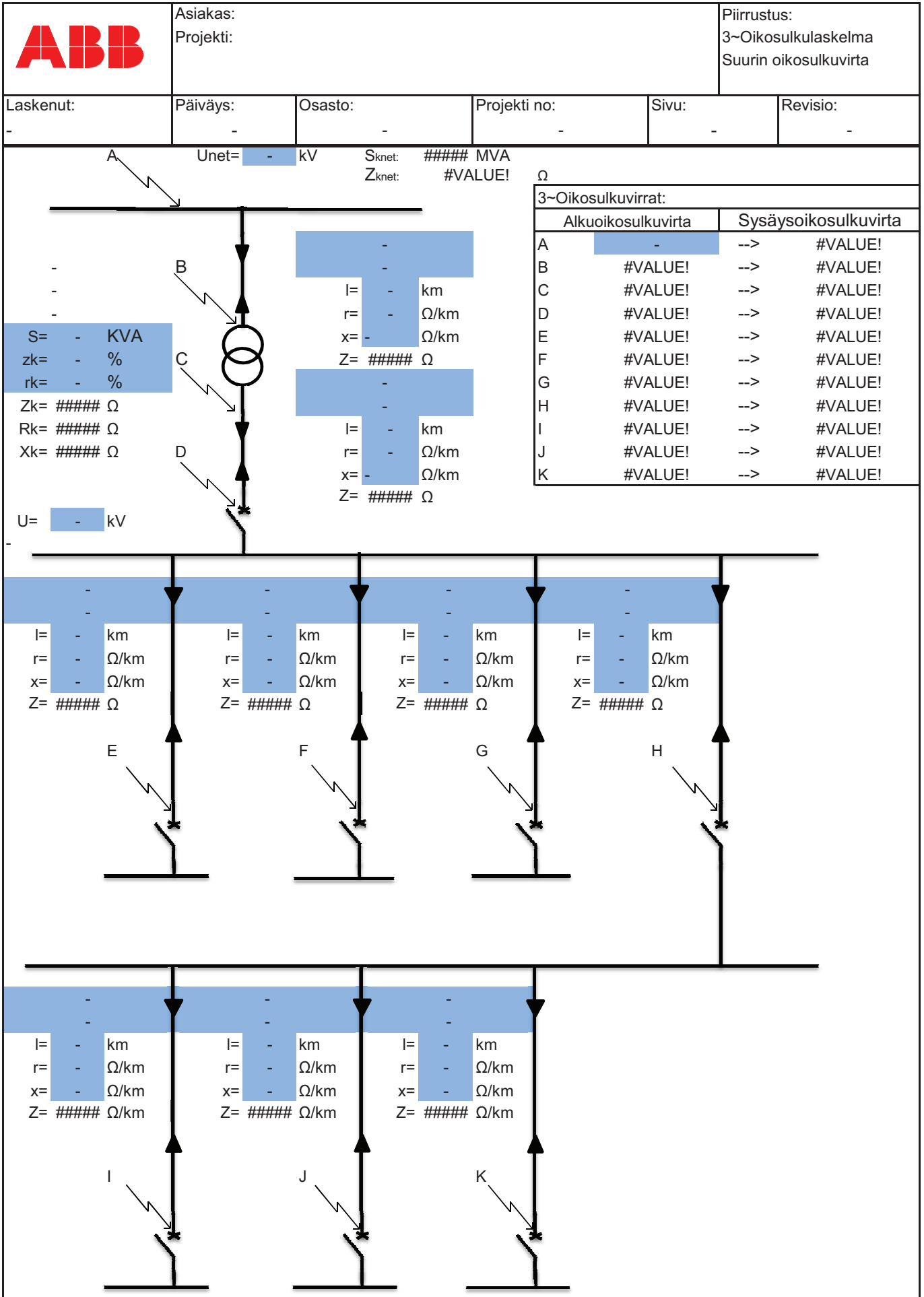
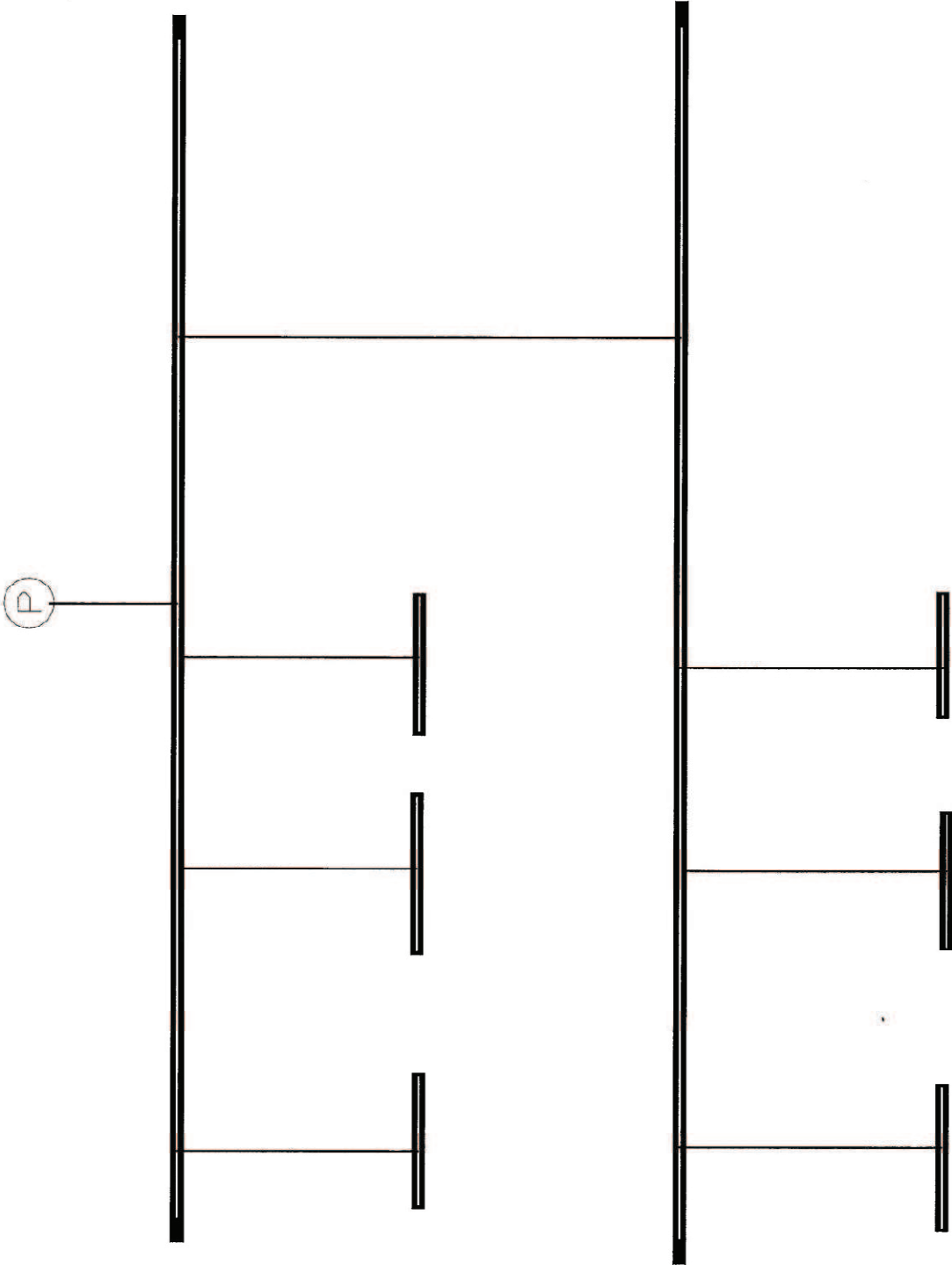
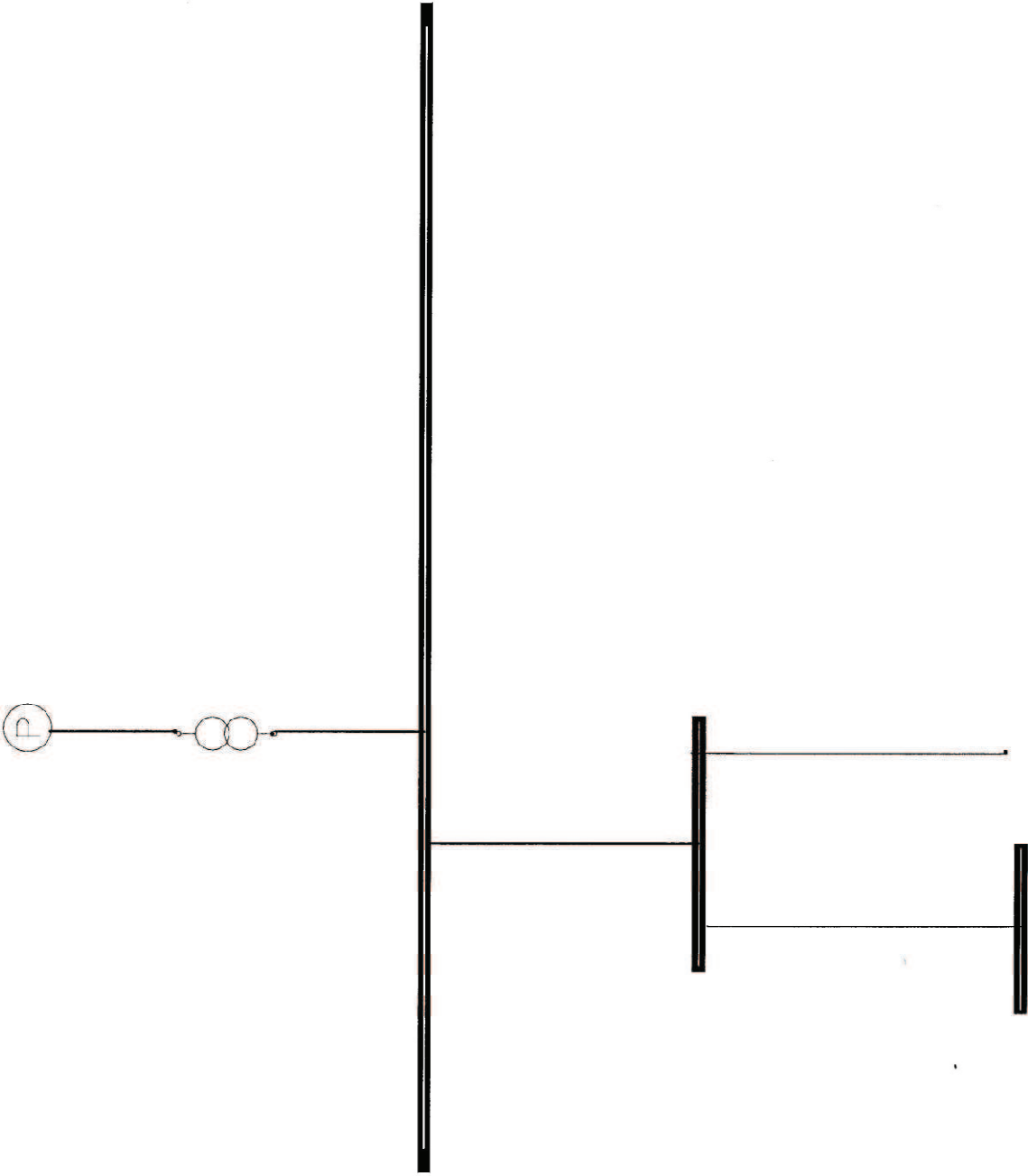


ABB Johtimien poikkipinta- ala A/mm ²	JOHTIMIEN VASTUSARVOT									
	Johtimien materiaali									
	Kupari					Alumiini				
	Resistanssi (R):	Reaktanssi (X):	Impedanssi (Z):	Resistanssi (R):	Reaktanssi (X):	Impedanssi (Z):	Resistanssi (R):	Reaktanssi (X):	Impedanssi (Z):	
4x1,5	1,62	0,11E	14,62	-	-	-	-	-	-	-
4x2,5	8,77	0,11	8,77	-	-	-	-	-	-	-
4x4	5,48	0,107	5,48	-	-	-	-	-	-	-
4x6	3,66	0,1	3,66	-	-	-	-	-	-	-
4x10	2,244	0,094	2,246	-	-	-	-	-	-	-
4x16	1,415	0,09	1,418	2,324	0,09	2,326	2,324	0,09	2,326	2,326
4x25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492	1,489	0,086	1,492	1,492
4x35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089	1,086	0,083	1,089	1,089
4x50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,8	0,796	0,083	0,8	0,8
4x70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557	0,551	0,082	0,557	0,557
4x95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406	0,398	0,082	0,406	0,406
4x120	0,195	0,08	0,211	0,316	0,08	0,326	0,316	0,08	0,326	0,326
4x150	0,155	0,08	0,174	0,258	0,08	0,27	0,258	0,08	0,27	0,27
4x185	0,125	0,08	0,148	0,207	0,08	0,222	0,207	0,08	0,222	0,222
4x240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,18	0,162	0,079	0,18	0,18
4x300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155	0,133	0,079	0,155	0,155

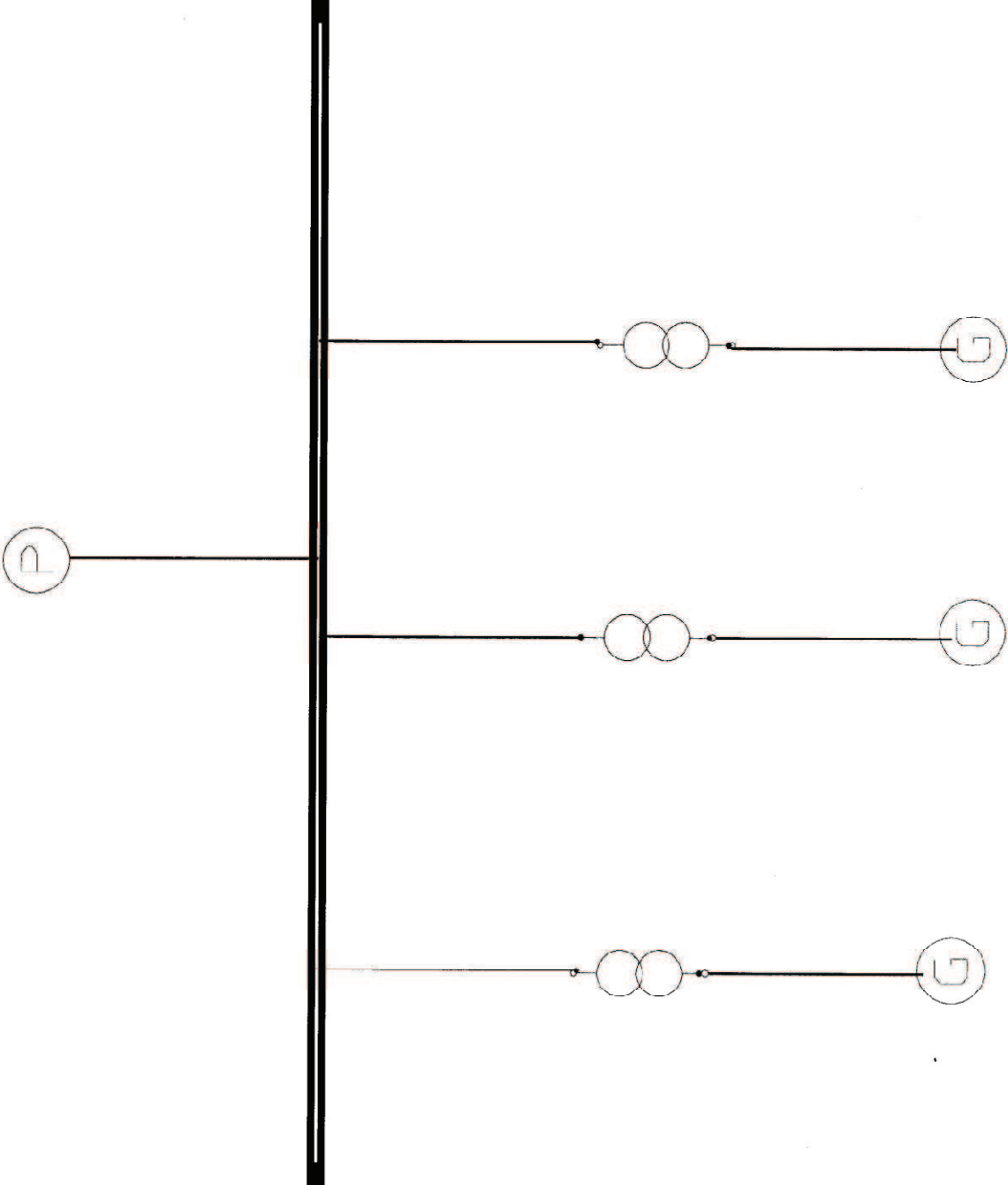
HUOMI! VASTUSARVOJEN YKSIKKÖ ON [Ω/KM]
VASTUSARVOT SOVELTUVAT KÄYTETTÄVÄKSI VAIN PIENJÄNNITEKAAPELEILLA



—



—



EDSA laskentatulokset:

Omakäyttäjärjestelmän laskentatulokset

1. Omakäyttäjärjestelmä $I_k = 12970$ A

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\PJ_LAS~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 01:34:11 Page 4
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 pienjännite oikosulkulaskelma
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
0RB	420	8533	0.739	5060	5060
1RD	420	7040	0.636	4207	4207
2RD	420	7040	0.636	4207	4207
3RD	420	7040	0.636	4207	4207
CA1	420	28181	4.104	11615	11615
DA1	420	20753	2.270	9959	9959
DA2	420	19126	2.015	9475	9475
DA4	420	21012	2.155	10225	10225
SUPPLY	420	32860	5.000	12970	12970

2. Omakäyttäjärjestelmä $I_k = 7500$ A

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA_redu\PJ_redu
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 01:06:45 Page 4
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 PJ Oikosulkulaskelma
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
CA	380	8968	1.366	4884	4884
OKK1	380	13182	2.223	6361	6361
PATOLUUK	380	3708	0.475	2231	2231
SUPPLY	19950	19002	5.000	7500	7500
T1_HV	19950	18826	4.852	7478	7478
T1_LV	380	15776	3.599	6709	6709
ULK	380	354	0.047	214	214

Keskijänniteverkon oikosulkulaskelma:**Oikosulkuvirrat keskijännitekojeiston kokoojakiskolla.****Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}**

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:43:39 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	0	0	0	0
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	24376	4.999	9621	9621
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	66000	0	0	0	0
T2_LU	5250	0	0	0	0
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	24377	5.000	9622	9622

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G1

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:45:02 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28528	16.25	10086	6417
G2	5250	0	0	0	0
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	25186	5.109	9897	9679
T1_HU	72600	25062	5.070	9864	9646
T1_LU	7260	31449	16.40	11119	7107
T2_HU	66000	0	0	0	0
T2_LU	5250	0	0	0	0
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	25188	5.110	9897	9680

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G2

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:46:46 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	50363	13.59	17806	10929
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	25539	5.148	10020	9707
T1_HV	66000	716	19.99	253	54
T1_LV	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HV	72600	25415	5.109	9987	9674
T2_LV	5775	55607	13.60	19660	12200
T3_HV	66000	1034	17.17	366	79
T3_LV	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	25540	5.149	10020	9708

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G3

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:47:46 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5250	50363	13.59	17806	10929
KESKUS	72600	25539	5.148	10020	9707
T1_HV	66000	716	19.99	253	54
T1_LV	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HV	66000	1034	17.17	366	79
T2_LV	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HV	72600	25415	5.109	9987	9674
T3_LV	5775	55607	13.60	19660	12200
VERKKO	72600	25540	5.149	10020	9708

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G2$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:48:43 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28571	16.34	10101	6420
G2	5250	50432	13.64	17830	10934
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	26351	5.255	10296	9765
T1_HU	72600	26215	5.212	10260	9731
T1_LU	7260	31498	16.50	11136	7111
T2_HU	72600	26219	5.213	10261	9732
T2_LU	5775	55685	13.65	19688	12206
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	26352	5.256	10296	9766

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:49:43 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28571	16.34	10101	6420
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5250	50432	13.64	17830	10934
KESKUS	72600	26351	5.255	10296	9765
T1_HU	72600	26215	5.212	10260	9731
T1_LU	7260	31498	16.50	11136	7111
T2_HU	66000	1034	17.17	366	79
T2_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HU	72600	26219	5.213	10261	9732
T3_LU	5775	55685	13.65	19688	12206
VERKKO	72600	26352	5.256	10296	9766

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G2+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:50:24 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaske lma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	50462	13.66	17841	10937
G3	5250	50462	13.66	17841	10937
KESKUS	72600	26704	5.293	10419	9793
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	72600	26569	5.250	10383	9759
T2_LU	5775	55719	13.67	19700	12209
T3_HU	72600	26569	5.250	10383	9759
T3_LU	5775	55719	13.67	19700	12209
VERKKO	72600	26706	5.294	10419	9794

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G2+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:51:17 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaske lma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28611	16.43	10115	6423
G2	5250	50526	13.70	17864	10942
G3	5250	50526	13.70	17864	10942
KESKUS	72600	27519	5.398	10695	9851
T1_HU	72600	27371	5.350	10656	9817
T1_LU	7260	31542	16.59	11152	7115
T2_HU	72600	27374	5.352	10657	9817
T2_LU	5775	55792	13.72	19725	12215
T3_HU	72600	27374	5.352	10657	9817
T3_LU	5775	55792	13.72	19725	12215
VERKKO	72600	27520	5.399	10695	9851

Oikosulku generaattorin 1 lähellä:

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:54:29 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	7260	18237	12.49	6448	6423
G2	5250	50462	13.66	17841	10937
G3	5250	50462	13.66	17841	10937
KESKUS	72600	26704	5.293	10419	9793
T1_HU	72600	26557	5.245	10380	9759
T1_LU	7260	18377	12.98	6497	6472
T2_HU	72600	26569	5.250	10383	9759
T2_LU	5775	55719	13.67	19700	12209
T3_HU	72600	26569	5.250	10383	9759
T3_LU	5775	55719	13.67	19700	12209
VERKKO	72600	26706	5.294	10419	9794

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G1

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:04:37 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	31959	15.61	11299	7630
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	22816	5.098	8970	8791
T1_HU	72600	22703	5.059	8939	8761
T1_LU	7260	26513	15.91	9374	6360
T2_HU	66000	1034	17.17	366	79
T2_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	25099	5.098	9867	9671

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G2

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 10:58:56 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	7260	18193	12.40	6432	6419
G2	5250	50363	13.59	17806	10929
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	25539	5.148	10020	9707
T1_HV	72600	25403	5.105	9984	9674
T1_LV	7260	18333	12.88	6482	6468
T2_HV	72600	25415	5.109	9987	9674
T2_LV	5775	55607	13.60	19660	12200
T3_HV	66000	1034	17.17	366	79
T3_LV	5250	22311	35.7	7888	1098
UERKKO	72600	25540	5.149	10020	9708

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G3

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:00:17 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	7260	18193	12.40	6432	6419
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5250	50363	13.59	17806	10929
KESKUS	72600	25539	5.148	10020	9707
T1_HV	72600	25403	5.105	9984	9674
T1_LV	7260	18333	12.88	6482	6468
T2_HV	66000	1034	17.17	366	79
T2_LV	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HV	72600	25415	5.109	9987	9674
T3_LV	5775	55607	13.60	19660	12200
UERKKO	72600	25540	5.149	10020	9708

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G2$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:03:23 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskeima
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	32038	15.79	11327	7645
G2	5250	56158	12.77	19855	12959
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	23762	5.232	9292	8857
T1_HV	72600	23640	5.189	9260	8826
T1_LV	7260	26561	16.05	9391	6363
T2_HV	72600	23643	5.190	9261	8826
T2_LV	5775	46747	12.98	16528	10906
T3_HV	66000	1034	17.17	366	79
T3_LV	5250	22311	35.7	7888	1098
UERRKO	72600	26140	5.233	10222	9743

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:07:29 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskeima
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	32006	15.70	11316	7634
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5250	56275	12.88	19896	13000
KESKUS	72600	23763	5.233	9293	8857
T1_HV	72600	23641	5.190	9260	8826
T1_LV	7260	26552	16.01	9388	6363
T2_HV	66000	1034	17.17	366	79
T2_LV	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HV	72600	23644	5.191	9261	8826
T3_LV	5775	46787	13.06	16542	10906
UERRKO	72600	26141	5.233	10222	9743

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G2+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:10:48 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	7260	18237	12.49	6448	6423
G2	5250	50462	13.66	17841	10937
G3	5250	50462	13.66	17841	10937
KESKUS	72600	26704	5.293	10419	9793
T1_HU	72600	26557	5.245	10380	9759
T1_LU	7260	18377	12.98	6497	6472
T2_HU	72600	26569	5.250	10383	9759
T2_LU	5775	55719	13.67	19700	12209
T3_HU	72600	26569	5.250	10383	9759
T3_LU	5775	55719	13.67	19700	12209
VERKKO	72600	26706	5.294	10419	9794

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G2+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:12:36 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	32082	15.87	11343	7648
G2	5250	56377	12.93	19932	13008
G3	5250	56377	12.93	19932	13008
KESKUS	72600	24714	5.365	9616	8922
T1_HU	72600	24582	5.318	9581	8891
T1_LU	7260	26598	16.13	9404	6365
T2_HU	72600	24585	5.319	9582	8891
T2_LU	5775	46874	13.12	16572	10913
T3_HU	72600	24585	5.319	9582	8891
T3_LU	5775	46874	13.12	16572	10913
VERKKO	72600	27187	5.366	10578	9815

Oikosulku generaattorin 2 lähellä:

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:18:09 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaske lma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5775	30141	8.656	10819	10819
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	24376	4.999	9621	9621
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	72600	24253	4.960	9588	9588
T2_LU	5775	30863	9.123	10999	10999
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	24377	5.000	9622	9622

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G1

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:19:04 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaske lma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28528	16.25	10086	6417
G2	5775	30237	8.700	10846	10825
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	25186	5.109	9897	9679
T1_HU	72600	25062	5.070	9864	9646
T1_LU	7260	31449	16.40	11119	7107
T2_HU	72600	25055	5.067	9862	9646
T2_LU	5775	30963	9.173	11026	11005
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	25188	5.110	9897	9680

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G2

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:22:30 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskeima
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	56201	12.84	19870	12995
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	23107	5.136	9070	8813
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	72600	22994	5.097	9040	8782
T2_LU	5775	46724	13.01	16519	10902
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	25419	5.137	9977	9694

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G3

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:23:38 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskeima
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5775	30527	8.758	10940	10915
G3	5250	50591	13.63	17887	11010
KESKUS	72600	27977	5.135	10982	10670
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	72600	27815	5.088	10939	10629
T2_LU	5775	31267	9.243	11123	11098
T3_HU	72600	27827	5.092	10942	10630
T3_LU	5775	55866	13.65	19752	12292
VERKKO	72600	27978	5.135	10983	10670

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G1+G2

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:51:28 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	32038	15.79	11327	7645
G2	5250	56158	12.77	19855	12959
G3	5250	22597	45.0	7989	1100
KESKUS	72600	23762	5.232	9292	8857
T1_HU	72600	23640	5.189	9260	8826
T1_LU	7260	26561	16.05	9391	6363
T2_HU	72600	23643	5.190	9261	8826
T2_LU	5775	46747	12.98	16528	10906
T3_HU	66000	1034	17.17	366	79
T3_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
VERKKO	72600	26140	5.233	10222	9743

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G1+G3

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:52:49 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28571	16.34	10101	6420
G2	5775	30364	8.754	10882	10833
G3	5250	50432	13.64	17830	10934
KESKUS	72600	26351	5.255	10296	9765
T1_HU	72600	26215	5.212	10260	9731
T1_LU	7260	31498	16.50	11136	7111
T2_HU	72600	26207	5.209	10258	9731
T2_LU	5775	31097	9.236	11064	11013
T3_HU	72600	26219	5.213	10261	9732
T3_LU	5775	55685	13.65	19688	12206
VERKKO	72600	26352	5.256	10296	9766

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G2+G3

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:54:25 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	56308	12.89	19908	13003
G3	5250	56308	12.89	19908	13003
KESKUS	72600	24055	5.270	9393	8878
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	72600	23933	5.227	9361	8848
T2_LU	5775	46815	13.07	16551	10909
T3_HU	72600	23933	5.227	9361	8848
T3_LU	5775	46815	13.07	16551	10909
VERKKO	72600	26462	5.271	10333	9766

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G1+G2+G3

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:55:19 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	32082	15.87	11343	7648
G2	5250	56377	12.93	19932	13008
G3	5250	56377	12.93	19932	13008
KESKUS	72600	24714	5.365	9616	8922
T1_HU	72600	24582	5.318	9581	8891
T1_LU	7260	26598	16.13	9404	6365
T2_HU	72600	24585	5.319	9582	8891
T2_LU	5775	46874	13.12	16572	10913
T3_HU	72600	24585	5.319	9582	8891
T3_LU	5775	46874	13.12	16572	10913
VERKKO	72600	27187	5.366	10578	9815

Oikosulku generaattorin 3 lähellä:

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:57:10 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5775	30141	8.656	10819	10819
KESKUS	72600	24376	4.999	9621	9621
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	66000	1034	17.17	366	79
T2_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HU	72600	24253	4.960	9588	9588
T3_LU	5775	30863	9.123	10999	10999
VERKKO	72600	24377	5.000	9622	9622

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G1

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 11:59:50 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28528	16.25	10086	6417
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5775	30237	8.700	10846	10825
KESKUS	72600	25186	5.109	9897	9679
T1_HU	72600	25062	5.070	9864	9646
T1_LU	7260	31449	16.40	11119	7107
T2_HU	66000	1034	17.17	366	79
T2_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HU	72600	25055	5.067	9862	9646
T3_LU	5775	30963	9.173	11026	11005
VERKKO	72600	25188	5.110	9897	9680

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G2

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 12:00:32 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	50363	13.59	17806	10929
G3	5775	30276	8.715	10857	10828
KESKUS	72600	25539	5.148	10020	9707
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	72600	25415	5.109	9987	9674
T2_LU	5775	55607	13.60	19660	12200
T3_HU	72600	25403	5.105	9984	9674
T3_LU	5775	31004	9.191	11038	11008
VERKKO	72600	25540	5.149	10020	9708

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: I_{net}+G3

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base kVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 12:01:57 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5250	56084	12.73	19829	12954
KESKUS	72600	23105	5.135	9070	8813
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	66000	1034	17.17	366	79
T2_LU	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HU	72600	22992	5.096	9039	8782
T3_LU	5775	46684	12.94	16505	10902
VERKKO	72600	25417	5.136	9977	9694

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G2$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 12:03:14 Page 5
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	28571	16.34	10101	6420
G2	5250	50432	13.64	17830	10934
G3	5775	30364	8.754	10882	10033
KESKUS	72600	26351	5.255	10296	9765
T1_HV	72600	26215	5.212	10260	9731
T1_LV	7260	31498	16.50	11136	7111
T2_HV	72600	26219	5.213	10261	9732
T2_LV	5775	55685	13.65	19688	12206
T3_HV	72600	26207	5.209	10258	9731
T3_LV	5775	31097	9.236	11064	11013
VERKKO	72600	26352	5.256	10296	9766

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 12:09:36 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	32006	15.70	11316	7634
G2	5250	22597	45.0	7989	1100
G3	5250	56275	12.88	19896	13000
KESKUS	72600	23763	5.233	9293	8857
T1_HV	72600	23641	5.190	9260	8826
T1_LV	7260	26552	16.01	9388	6363
T2_HV	66000	1034	17.17	366	79
T2_LV	5250	22311	35.7	7888	1098
T3_HV	72600	23644	5.191	9261	8826
T3_LV	5775	46787	13.06	16542	10906
VERKKO	72600	26141	5.233	10222	9743

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G2+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 12:08:32 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	12039	28.99	4256	586
G2	5250	56308	12.89	19908	13003
G3	5250	56308	12.89	19908	13003
KESKUS	72600	24055	5.270	9393	8878
T1_HU	66000	716	19.99	253	54
T1_LU	6600	11974	27.10	4233	586
T2_HU	72600	23933	5.227	9361	8848
T2_LU	5775	46815	13.07	16551	10909
T3_HU	72600	23933	5.227	9361	8848
T3_LU	5775	46815	13.07	16551	10909
VERKKO	72600	26462	5.271	10333	9766

Oikosulkuvirtaa syöttävät lähteet: $I_{net}+G1+G2+G3$

EDSA-Micro Corporation Copyright 1983-2001 3-Phase Short Circuit v2.97.06
 C:\TESA_yli_virta\KJ_OIKOSULKULASKELMA\OIKOSU~1
 Base KVA: 10000 Cyc/Sec: 50 Date: 05.10.20 Time: 12:07:20 Page 6
 Checked by: Date:

Harri Rauhala
 Oikosulkulaskelma
 ABB
 Scenario 1

Bus - Three Phase Bolted Fault - Amps - IEC 909

Bus Ident	Pre-Flt Voltage	SC Amps at the following Times			
		Ip-peak Asym	1/2-Cycle X/R	StdStat AC-Comp	AC-Comp
G1	6600	32082	15.87	11343	7648
G2	5250	56377	12.93	19932	13008
G3	5250	56377	12.93	19932	13008
KESKUS	72600	24714	5.365	9616	8922
T1_HU	72600	24582	5.318	9581	8891
T1_LU	7260	26598	16.13	9404	6365
T2_HU	72600	24585	5.319	9582	8891
T2_LU	5775	46874	13.12	16572	10913
T3_HU	72600	24585	5.319	9582	8891
T3_LU	5775	46874	13.12	16572	10913
VERKKO	72600	27187	5.366	10578	9815