

Suurmuuntajan vaihdon esisuunnittelu

Markus Oja

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2013

ALKUSANAT

Haluan kiittää Pentti Alataloa ja Heimo Rantajärveä sekä koko sähköjakelun henkilöstöä opinnäytetyön aiheesta, avusta, opastuksesta ja edellisten kesien työharjoitteluista. Kiitos myös Antero Martimolle työn ohjaamisesta, sekä opiskelukavereilleni ja lähipiirille tuesta ja kannustuksesta opiskelun ja opinnäytetyön aikana.

Torniossa 12.12.2013

Markus Oja

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Markus Oja
Opinnäytetyön nimi:	Suurmuuntajan vaihdon esisuunnittelu
Sivuja (joista liitesivuja):	60 (10)
Päiväys:	12.12.2013
Opinnäytetyön ohjaaja:	Ins. Antero Martimo
Toimeksiantaja:	Outokumpu Stainless Oy / Tekniset palvelut / Sähkönjakelu
Valvoja:	Pentti Alatalo, vastaava mestari
Osastopäällikkö:	Heimo Rantajarvi, käytönjohtaja
<p>Työssä perehdyttiin Torniossa Outokummun terästehtaalla kahteen suurmuuntajaan, näiden eroavaisuuksiin sekä muihin muuntajan vaihdon mahdollisiin haasteisiin. Esi-suunnittelun tavoitteena on välttää ongelmia vaihdon tullessa ajankohtaiseksi.</p> <p>Muuntajien on vastattava toisiaan tarpeeksi tarkasti sähköisiltä ominaisuuksiltaan, eivätkä ylä- ja alajänniteliittimien sijainnit ja rakenne saa poiketa suuresti toisistaan. Muuntajan ja muuntajabunkkerin leveys, korkeus ja syvyys on huomioitava.</p> <p>Suurin osa opinnäytetyön käytännön toteutuksesta oli muuntajien ohjaus- ja suojaus-piirikaavioihin liittyvää. Nykyisten piirustusten paikkansapitävyys tarkistettiin sil-mämääräisesti. Komponenttien ja piirikaavioiden eroavaisuudet tutkittiin, ja suunniteltiin alustavat kuvat muuntajan vaihdon jälkeiseen tilanteeseen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin tarkistettua nykyiset piirikaaviot, sekä tehtyä alustavat kuvat muutoksen jälkeisestä tilanteesta. Selvitettiin myös suojaus- ja eristysvaatimusten asetteluun vaadittavia muutoksia, ja tehtiin oikosulkuvirtojen arviointiin soveltuva Excel-laskentataulukko.</p>	
Asiasanat: muuntajat, energiansiirto, kytkinlaitokset, sähkönjakelu.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Electrical Engineering
Author:	Markus Oja
Thesis title:	Preliminary Planning of a Large Power Transformer Change
Pages (of which appendixes):	60 (10)
Date:	12 December 2013
Thesis instructor:	Antero Martimo, BSc
Company:	Outokumpu Stainless Oy / Technical Services / Electrical Distribution
Supervisor from Company:	Pentti Alatalo, Site Engineer
Head of Department:	Heimo Rantajärvi, Operations Supervisor
<p>The purpose of this thesis was to examine two large power transformers at Outokumpu steel plant located in Tornio. The differences of these transformers were surveyed as well as other possible challenges hindering the relocation of the transformers. The objective of this preliminary planning was to avoid problems when the transformer change becomes imminent.</p> <p>Electrical specifications of the transformers may not differ too much from each other. The locations and structure of high- and low voltage connectors must be similar. Attention must be paid also to the width, height and depth of both the transformer and the transformer bunker.</p> <p>The project focused mainly on the control- and protection circuit diagrams of the transformers. The validity of the existing diagrams was visually inspected. Also new circuit diagrams for the post-change situation were sketched on the basis of the existing diagrams and the differences of the components in transformers.</p> <p>As the result of this thesis the existing circuit diagrams were revised, and the drafts for the new situation were sketched. The changes needed in parameters for protection relays were also briefly studied. An Excel spreadsheet for estimation of short-circuit currents was also made.</p>	
Keywords: transformers, energy transfer, substations, electrical distribution.	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
ABSTRACT	5
SISÄLLYS	6
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 YLEISTIETOA YRITYKSESTÄ.....	10
2.1 Outokummun Tornion tehtaat	11
2.2 Tehdasalueen sähkönjakeluverkko.....	13
2.3 Työn aiheena olevat muuntajat	14
3 SÄHKÖASEMA	17
3.1 Muuntaja	18
3.2 Käämikytin	20
3.3 Loistehon kompensointi	20
4 SUOJAUS	23
4.1 Suojareleet.....	23
4.1.1 Ylivirtasuojaus	25
4.1.2 Differentiaalisuojaus.....	26
4.1.3 Maasulkusuojaus.....	27
4.1.4 Yli- ja alijännitesuojaus	29
4.2 Muut suojat	30
4.2.1 Ylipaineventtiili eli tankkisuoja.....	30
4.2.2 Kaasurele	30
4.2.3 Lämpötilan mittaus	31
4.3 Ylivirtasuojauksen laskenta	32
4.3.1 Kolmivaiheinen oikosulku.....	35
4.3.2 Kaksivaiheinen oikosulku.....	36
4.3.3 Vikavirtojen arviointi ja releasettelujen muutokset.....	37
5 KAAPELIT JA PÄÄTTEET.....	40
6 MUUNTAJAN VAIHTO.....	43
6.1 Muuntajakuormien jakaminen	43
6.2 Muuntajien siirtäminen	46
6.3 Muutokset muuntajaan T7.....	47
6.4 Ohjaus ja suojaus	48

7 POHDINTA	49
LÄHTEET	50
LIITTEET	51

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ABB	teollisuuskonserni
GIS	kaasueristeinen kytkinlaitos
IEC	kansainvälinen sähkötekniinen standardoimisjärjestö
IGBT	hilaeristetty bipolaaritransistori
Inoxum	ruostumatonta terästä valmistava yhtiö
kV	kilovoltti
MVA	megavoltiampeeri
MVAr	megavari
RAP	valssaus-, hehkutus- ja peittäuslinja
STATCOM	staattinen synkronikompensaattori
SVC-light	ABB:n tuotenimi STATCOM:ille
T1, T2...	muuntajapositionit
TCR	tyristoriohjattu reaktori
TWh	terawattitunti
VSC	jännitelähdesuuntaaja

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on Outokumpu Tornio Worksin sähkönjakelulle tehty esisuunnittelu muuntajan vaihdosta. Suurmuuntaja, jonka vaihtoa opinnäytetyössä käsitellään, syöttää terässulaton 2-linjan valokaariuunin muuntajaa. Muuntaja joudutaan jossain vaiheessa huoltamaan joko vikaantumisen takia tai ennakkohuoltona vikaantumisen estämiseksi. Muuntajan huolto suoritetaan todennäköisesti muuntajatehtaalla, ja perusteellinen huolto voi kestää useita viikkoja.

Uunissa sulatetaan valokaarella teräksen valmistamisessa pääraaka-aineena käytettävä romuteräs ja muut raaka-aineet. Eri prosessivaiheiden jälkeen sula valetaan aihioiksi. Kuumavalssaamalla näistä aihioista valssataan teräsnauharullia, jotka jatkokäsitellään kylmävalssaamalla asiakkaan toiveiden mukaan. Koska terässulaton valokaariuuni on tehtaan tuotantoketjun alkupäässä, on sen yllättävällä ja pitkällä seisokilla vaikutuksia myös muihin prosesseihin.

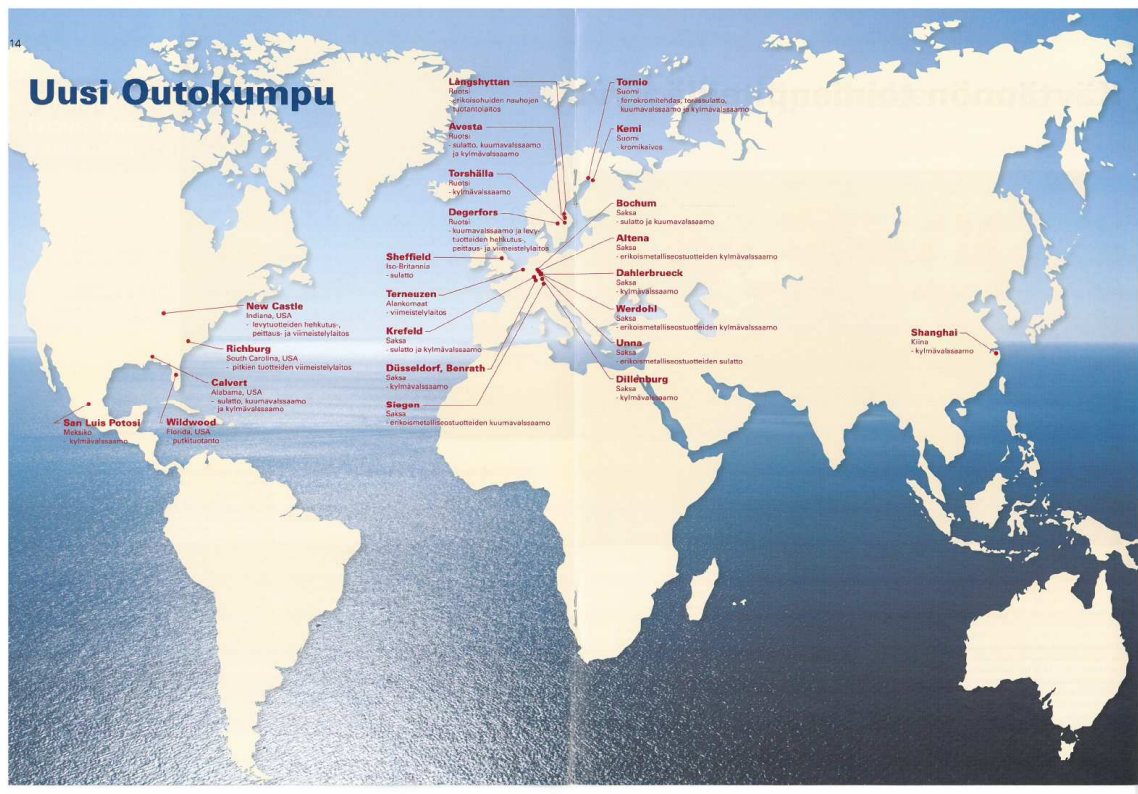
Muuntajan syöttämä kojeisto on tehdasalueella ainoa jonka jännite on 33 kV, joten varasyöttöä ei muuntajan vikaantumistilanteessa saada muualta. Rikkoutumiseen on kuitenkin varauduttu hankkimalla yksi muuntaja, jonka kytkentä voidaan vaihtaa 110/21 kV:sta 110/33 kV:iin. Varamuuntaja täytyy myös siirtää nykyisen muuntajan tilalle ja nimellisteho nostaa jäädytystä tehostamalla. Huollon jälkeen muuntajat palautetaan alkuperäisille paikoilleen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä alustavia selvityksiä muuntajan vaihdon suorittamiseksi. Työssä tarkastellaan muuntajiin liittyvät suojaukset ja ohjaukset, sekä mahdolliset esteet muuntajien siirtämiselle, esimerkiksi muuntajien ulkoiset mitat ja kisko-levyydet.

2 YLEISTIETOA YRITYKSESTÄ

Vuonna 2011 Outokummun myynti oli hieman yli 5 miljardia euroa, ruostumatonta terästä toimitettiin 1391 tonnia ja työntekijöitä yrityksellä oli 8253. Outokummun päätuotteet ovat kuuma- ja kylmävälssatut nauhat ja levyt, valssauslevyt, harkot, aihiot, langat ja tangot, sekä putkituotteet. Vuonna 2011 Outokumpu tuotti 22 % Euroopan ruostumattomasta teräksestä ja 5 % koko maailman ruostumattomasta teräksestä. Kuussa 1 Outokummun toimipisteet Inoxum-kaupan jälkeen. (Outokumpu 2012a, hakupäivä 29.9.2012)

Vuonna 2012 solmitun Inoxum-kaupan myötä Outokummusta tuli maailman johtava ruostumattoman teräksen valmistaja, markkinaosuuden noustessa vuoden 2011 5 %:stä 12 %:een. Kaupan myötä Outokummulla on tuotantolaitoksia muun muassa Iso-Britanniassa, Kiinassa, Meksikossa, Ruotsissa, Saksassa, Suomessa ja Yhdysvalloissa. (Outokumpu 2013a, hakupäivä 21.7.2013)

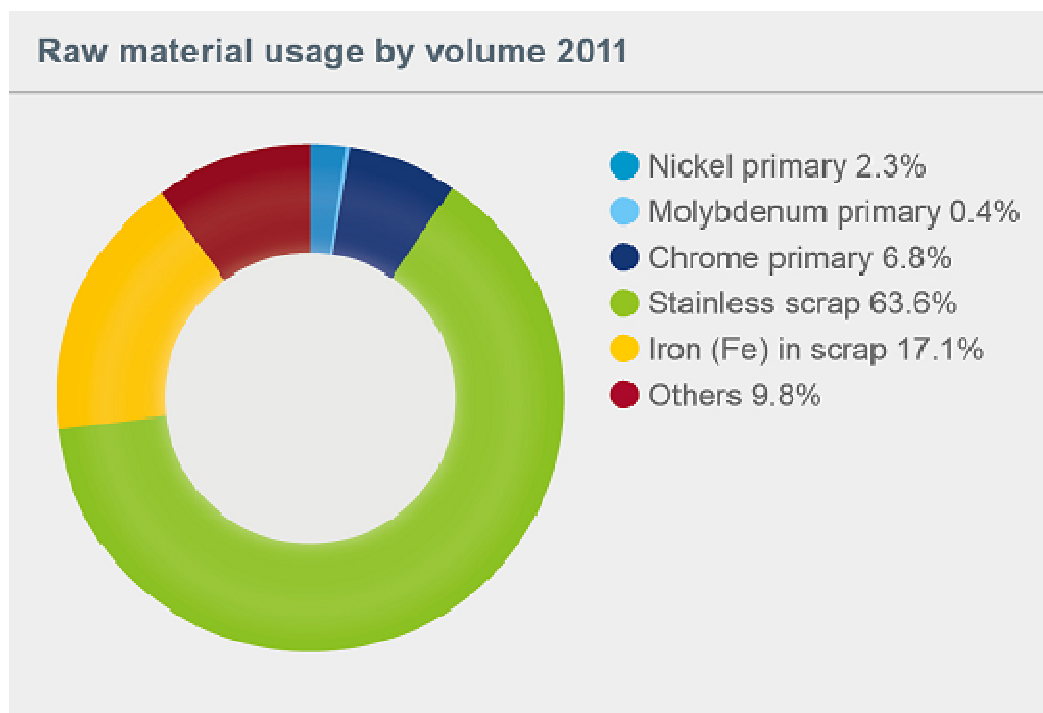


Kuva 1. Outokummun toimipisteet (Kromi & Teräs 1/2013, 14-15).

2.1 Outokumpun Tornion tehtaat

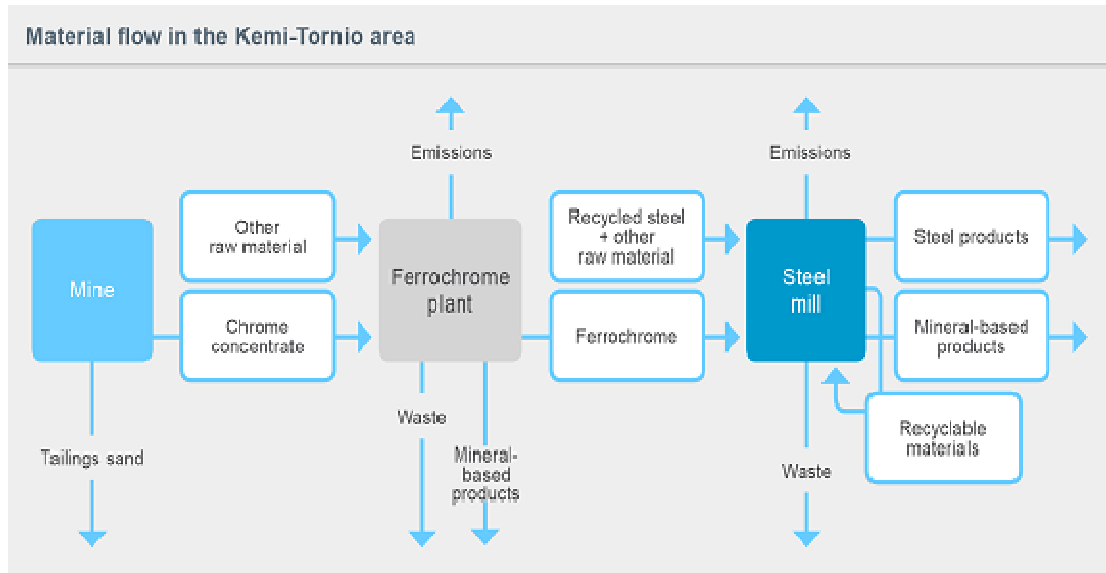
Kemissä Elijärven kaivoksella louhitaan yhtä Outokumpu Tornio Worksin ruostumattoman teräksen valmistukseen käytettävää pääraaka-ainetta, kromimalmia. Louhitusta ja murskatusta kromimalmista erotetaan sivukivi, jolla täytetään tyhjiä louhittuja tunneleita. Elijärven kaivokselta kromimalmirikaste kuljetetaan kuorma-autoilla Outokumpu Tornio Worksin tehtaalle Röyttään, jossa rikaste jauhetaan pelleteiksi. Pelletit sulatetaan ferrokromisulaton valokaariuuneissa ferrokromisulaksi, josta osa kuljetetaan suoraan sulana terässulatolle, ja osa valetaan, jäähdytetään ja murskataan. Osa tästä ferrokromista menee myyntiin, ja osa käytetään terässulatolla.

Satamasta kuljetetaan terässulaton romupihuille toinen ruostumattoman teräksen pääraaka-aine, eli romuteräs. Romuteräs ja tarvittavat lisäaineet sulatetaan terässulatossa valokaariuuneissa, jonka jälkeen terässulaa analysoidaan ja siihen tehdään tarvittavia lisäyksiä senkka-asemalla. Kuvassa 2 on teräksen valmistukseen käytetyt raaka-aineosuudet vuonna 2011. (Outokumpu 2012b, hakupäivä 29.9.2012)



Kuva 2. Raaka-aineiden käyttö Stainless -yksikössä 2011 (Outokumpu 2012a, hakupäivä 29.9.2012).

Jotta sulasta saadaan teräsnauhaa, se valetaan jatkuvavalukoneilla aihioiksi. Nämä ahiot jatkavat matkaansa kuumavalssaamolle, jossa niitä valssataan edestakaisin rullavalssaisissa, ja lopulta linjan toisesta päästä saadaan ulos teräsnauharullia. Kuvassa 3 kuvataan materiaalien kulkemista Outokummun Kemi-Tornio alueen tuotantolaitoksissa. (Outokumpu 2012b, hakupäivä 29.9.2012)



Kuva 3. Kaavio Tornio Worksin tuotantoprosessista (Outokumpu 2012a, hakupäivä 29.9.2012).

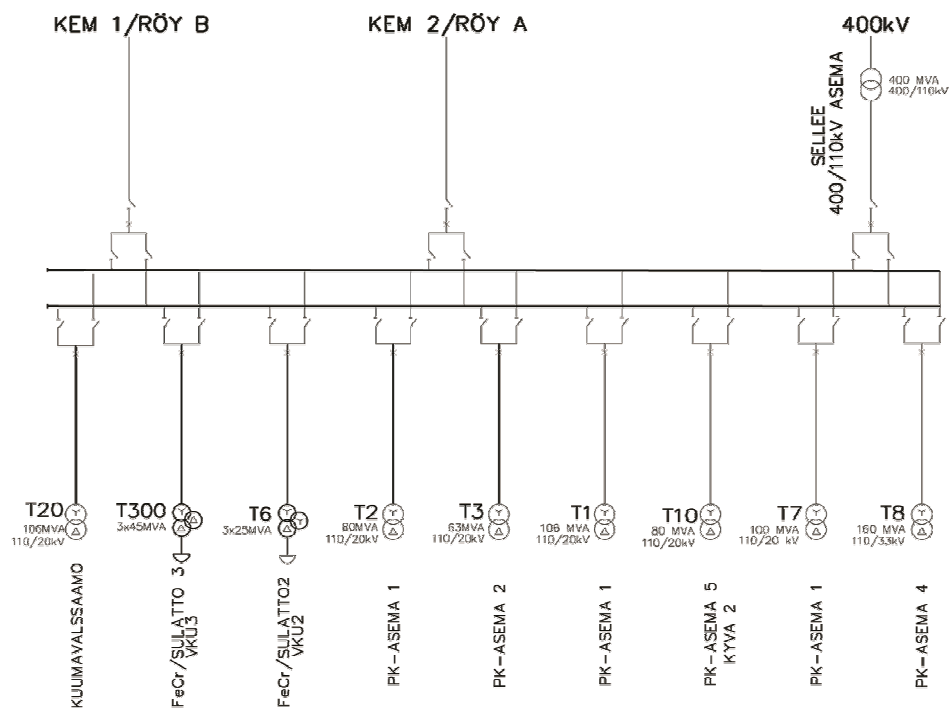
Osa kuumavalssatuista rullista lähtee maailmalle suoraan sellaisenaan, mutta suurin osa jatkaa matkaansa kylmävalssaukseen. Kylmävalssaamo 2 eli RAP-linja sisältää samat linjat kuin kylmävalssaamo 1, mutta RAPilla kaikki käsittelyvaiheet ovat yhtenäisenä linjana, jolloin toisesta päästä linjalle syötettävät kuumavalssatut teräsnauhat tulevat ulos valmiina kylmävalssattuna tuotteena. (Outokumpu 2012b, hakupäivä 29.9.2012)

Kylmävalssaamalla nauhalle suoritetaan hehkutus ja peittäus, jonka jälkeen nauhan väri on vaihtunut mustasta kiiltävän hopeaksi. Nauhaa valssataan muilla linjoilla vielä oikean paksuuden ja leveyden sekä tasomaisuuden saavuttamiseksi, jonka jälkeen nauha käy uudelleen hehkutus- ja peittäuslinjan ennen matkaansa leikkaukseen oikeaan mittaan. (Outokumpu 2012b, hakupäivä 29.9.2012)

2.2 Tehdasalueen sähkönjakeluverkko

Vaikka Outokummun Tornion tehtailla käytetään nykyaikaisia ja energiatehokkaita tuotantomenetelmiä, on tehdasalueen sähköntarve suuri. Energiaa kuluu varsinkin terässlaton ja ferrokromisulaton valokaariuuneissa, joissa raaka-aineet sulatetaan sähköllä. Vuosina 2011 ja 2012 tehdasalueen vuotuinen sähkönkulutus oli n. 2 terawattituntia (TWh). Vuoden 2011 vuosikertomuksessa arvioitiin Ferrokromisulatto 3:n tuotannon käynnistymisen myötä vuotuisen energiankulutuksen nousevan noin 3,3 TWh:iin. (Outokumpu 2012a, hakupäivä 29.9.2012, Outokumpu 2013b, hakupäivä 24.7.2013)

Outokummun Tornion tehdasalueelle sähkö siirretään Keminmaan Lammaskoskelta kahdella 110 kV-linjalla ja yhdellä 400 kV-linjalla. 110 kV-linjat tulevat suoraan avolinjana Keminmaasta pääkytkinasema 3:n viereen pääteportaaleille ja sieltä maanalaisilla kaapeleilla kojeistoon. 400 kV-avojohto kytkeytyy tehdasalueella sijaitsevaan Selleen sähköaseman muuntajaan, josta se jatkuu 110 kV-avojohtona pääkytkinasema 3:n seinällä oleviin päätteisiin. Pääkytkinasema 3 on kaasueristeinen 110 kV kaksikiskokojeisto. Kuvassa 4 on yksinkertaistettu kaavio tehdasalueen 110 kV -verkosta.



Kuva 4. Yksinkertaistettu kuva tehdasalueen 110 kV jakelusta.

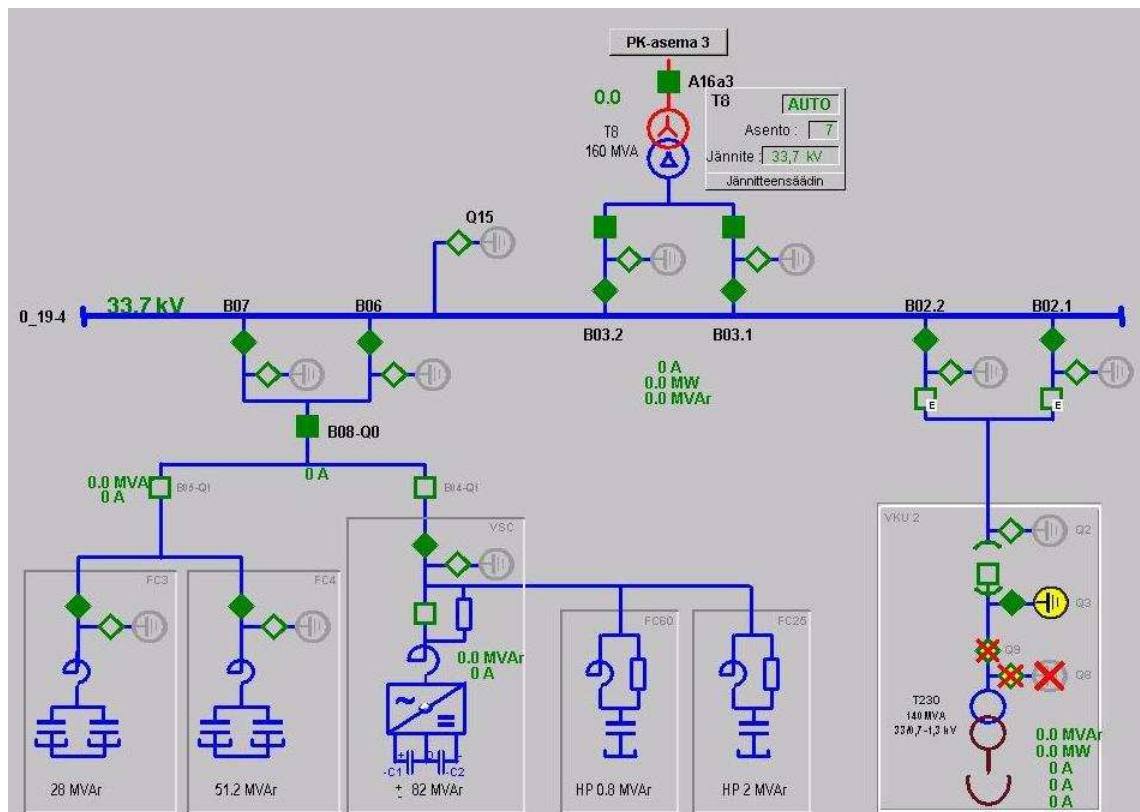
Ferrokromisulattojen uusimmat valokaariuunit saavat syöttönsä suoraan 110 kV verkkoon kytketyistä uunimuuntajista T300 ja T6. Myös osa päämuuntajista syöttää vain valokaariuuneja ja niiden kompensointia uunien aiheuttamien yliaaltojen ja virran säilyttymisen vuoksi. Esimerkkinä tästä on tässä työssä käsiteltävä muuntaja T8, jonka toisiojännitekin poikkeaa tehdasalueen yleisestä jakeluverkon jännitteestä.

Muiden laitosten sähkönjakelu on toteutettu 20 kV-kojeistojen kautta osastojen muuntajille. Sähköverkkoa valvotaan kaukokäyttösovelluksen avulla. Järjestelmän katkaisijoiden tilatiedot, sekä muun muassa jännitteet ja virrat nähdään suoraan pääkytkinaseman valvomosta, ja kytkentämuutokset voidaan tehdä suurilta osin valvomosta. Suurjänniteverkon suojaukseen tehdasalueella käytetään enimmäkseen moderneja numeerisia suojareleitä, joiden asetuksia voidaan muuttaa suoraan valvomosta. Viestintäyhteydet kojeistojen ja valvomon välillä on toteutettu valokaapeloinnilla.

2.3 Työn aiheena olevat muuntajat

Tehtaan ainoaa 33 kV-kojeistoa syöttää muuntaja T8. Muuntajan T8 nimellisjännitteet ovat $110 (\pm 9 \cdot 1,67 \%) / 33$ kV, ja nimellisteho 160 MVA. Yläjännitepuolelta muuntaja kytkeytyy kaapeleilla kaasueristeiseen kytkinlaitokseen. Liitteessä 1 on tarkempi jakelukaavio.

Muuntajan alajännitepuolelle 33 kV-kojeistoon kytkeytyy tehtaan terässulaton 2-linjan valokaariuunin uunimuuntaja sekä kompensointilaitteisto. Kuvassa 5 on ote kaukokäyttöjärjestelmän näkymästä. Kuvan tilanteessa uunimuuntajalla tehtiin huoltotoimenpiteitä. Uunimuuntajan teho on 140 MVA, ja kompensointilaitteistolla tuotetaan 0-164 MVA_r kapasitiivista loistehoa. (ABB 2003, hakupäivä 17.9.2012)



Kuva 5. Kaukokäyttöjärjestelmän näkymä pääkytkinasema 4:sta (intranet).

Muuntajan T8 vikaantuessa tai suunnitellun huollon aikana 33 kV-kojeistoa ei voida syöttää muuta kautta. Tilanteeseen on varauduttu hankkimalla muuntaja, jota voidaan pienillä muutoksilla käyttää T8:n varamuuntajana. Muuntajien nimellisarvoja on esitetty taulukossa 1. Kyseinen muuntaja, T7, syöttää tällä hetkellä eri laitosten 20 kV-jakeluverkkoja. Muuntajan muuntosuhde on 110/21 kV, mutta kyseisessä muuntajassa se voidaan vaihtaa 110/33 kV:iin. Myös muuntajan teho saadaan nostettua T8:n tehoa vastaavaan 160 MVA:han. Korvauskäytön aikana muuntajan T7 kuormat jaetaan muille muuntajille. Muuntajan muuntosuhteen ja nimellistehon noston lisäksi joudutaan tekemään muutoksia myös releasetteluihin.

Taulukko 1. Muuntajien vertailua.

	Muuntaja T8	Muuntaja T7 _(33 kV)	Muuntaja T7 _(21 kV)
Muuntajan kytkentäryhmä	YNd11	YNd11	YNd11
Muuntajan nimellisjännite, yläpuoli	110 kV	110 kV	110 kV
Muuntajan nimellisjännite, alapuoli	33 kV	33 kV	21 kV
Nimellisteho	160 MVA	160 MVA	100 MVA
Oikosulkuimpedanssi, käämikytkin keskiasennossa	8,1 %	18,9 %	12,7 %
Oikosulkuresistanssi, käämikytkin keskiasennossa	0,14 %	0,29 %	0,19 %
Kokonaismassa	189600 kg	154200 kg	145900 kg
Radiaattorit	8 kpl	16 kpl	8 kpl
Tuulettimet	4 kpl	8 kpl	4 kpl
Öljyn määrä	39000 kg	35700 kg	33600 kg
Käämikytkin	±9x1,67 %	±9x1,67 %	±9x1,67 %

Muuntaja T8 on terässulaton 2-linjan tuotannon kannalta kriittinen. Suunnittelemalla muuntajan vaihto etukäteen voidaan välttyä jännitekatkoa pidentäviltä yllätyksiltä ja siten vaikuttaa myös linjan tuotantomenetyksiin. Mikäli muuntajan huollon ajankohta suunnitellaan etukäteen, voidaan seisokin aikana tehdä muitakin huoltotöitä, jolloin muuntajan vaihtoon kuluva aika ei suoraan määrää tuotantokeskeytyksen pituutta.

3 SÄHKÖASEMA

Sähköasemat ovat sähkönsiirtoverkon solmukohtia, joissa jännitettä muutetaan tai kytkentöjä voidaan suorittaa. Sähköasemia voidaan kutsua myös muuntoasemiksi, kytkinlaitoksiksi tai kytkinasemiksi rakenteesta tai käyttötarkoituksesta riippuen. Usein sähköasema koostuu suurjännitekytkinlaitoksesta, yhdestä tai useammasta päämuuntajasta, keskijännitekytkinlaitoksesta ja apusähköjärjestelmästä (Lakervi & Partanen, 2008, 119).

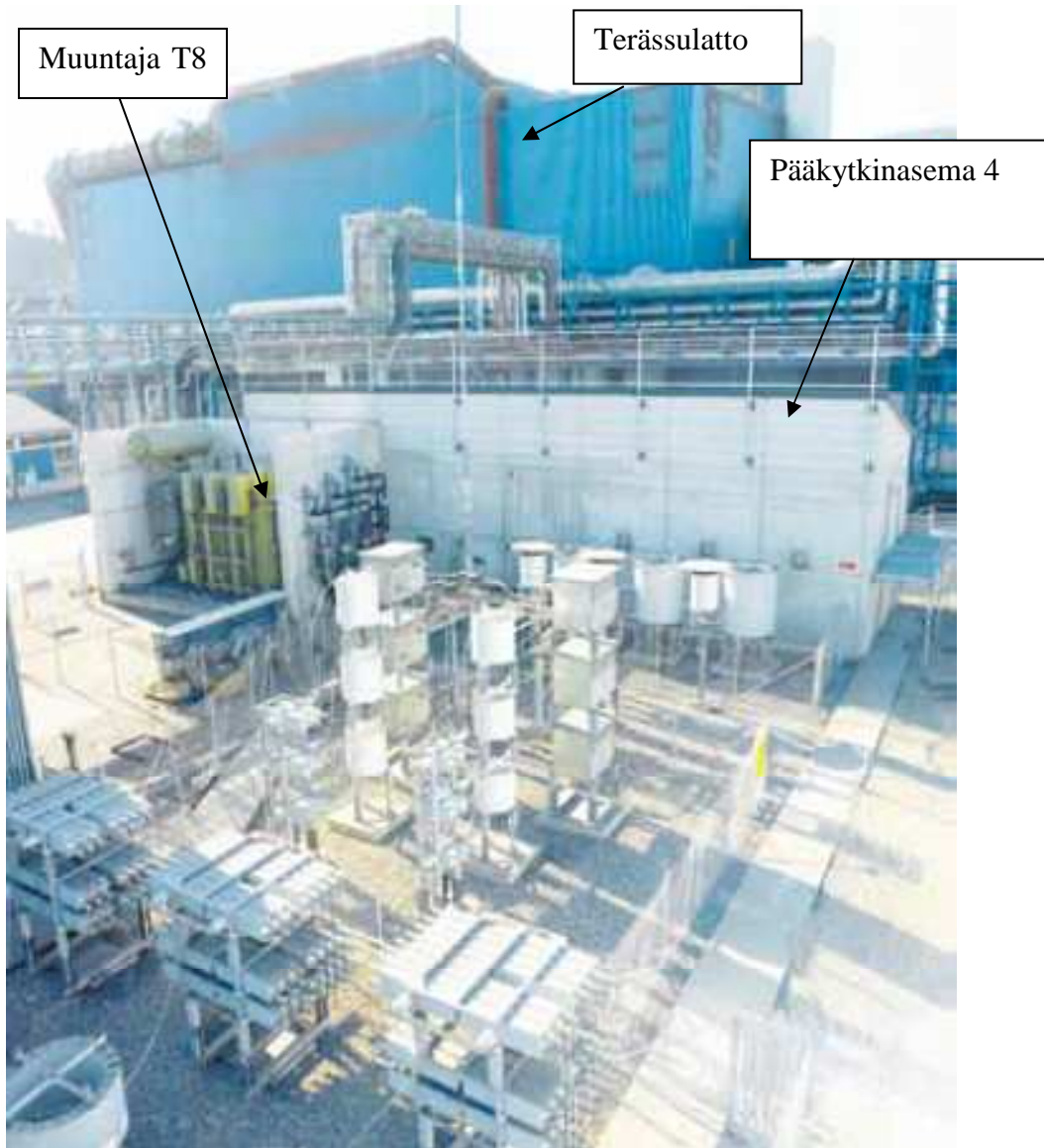
Ulkokytkinlaitokset koostuvat köysi- tai putkirakenteisista kokoojakiskoista, joihin liitytään ilmajohdoilla. Ulkokytkinlaitoksia käytetään yleensä 110 kV ja sitä suuremmilla jännitteillä, mutta muun muassa paljon pienemmän tilantarpeen vuoksi käytetään paljon myös sisätiloihin sijoitettuja kaasueristeisiä kytkinlaitoksia (GIS). Pienemmillä jännitteillä laitokset ovat useimmiten ilma- tai kaasueristeisiä kojeistoja.

Kojeistot koostuvat yleensä kiskostosta ja kennoista. Keskijännitekojeiston kennoissa käytetään usein ulosvedettävää katkaisijaa. Ulosvedettävällä katkaisijalla saadaan erotusväli ja katkaisija voidaan vaihtaa nopeasti huoltotilanteessa. Katkaisijalla kytketään ja katkaistaan kuorma- ja vikavirta. Kennoissa voi olla myös maadoituserotin tai maadoituspalloit lähdon maadoittamista varten. Kennossa oleva suojarole mittaa kennon virtaa ja jännitettä kennossa olevien mittamuuntajien avulla (jännitteen mittaus yleensä kojeistokohtaisesti mittauskentässä) ja ohjaa katkaisijaa. Kuvassa 6 on esimerkki keskijännitekojeiston kennosta.



Kuva 6. Siemens NXAIR-kojeiston kenno (Siemens, 2012a, hakupäivä 18.9.2012).

Kuvasta 7 saadaan yleiskuvaus opinnäytetyön alueesta. Taustalla on terässulatto, jonka 2-linjan valokaariuunia vaihdettava muuntaja syöttää. SVC-light -kompensoinnin kiinteät kompensointiparistot ovat ulkona, ja säätyvä kompensointi ja ohjauslaitteet pääkytkinaseman 4 sisätiloissa. Työssä käsiteltävä muuntaja T8 näkyy kuvassa, muuntajan syöttämä 33 kV-kojeisto on sisällä.

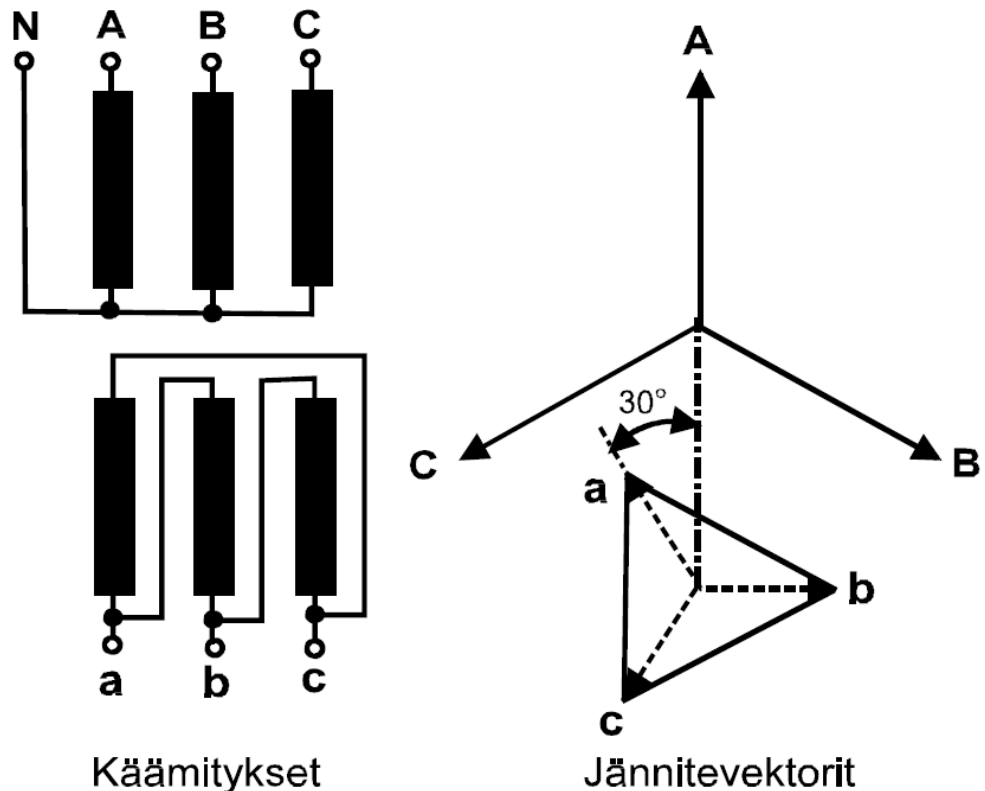


Kuva 7. Yleiskuva opinnäytetyön aiheesta (alkuperäinen kuva ABB, 2003, hakupäivä 17.9.2012).

3.1 Muuntaja

Muuntajan tehtävänä on muuttaa vaihtosähköverkon jännitettä ja saada aikaan galvaaninen erotus. Muuntajan kytkentäryhmästä riippuen muuntaja muuttaa yleensä myös jän-

nitteen vaihekulmaa. (Elovaara & Haarla 2011b, 141). Kuvassa 8 nähdään vaihekulman muuttuminen YNd11-kytkennässä.



Kuva 8. YNd11 -kytkentäinen muuntaja (ABB 2000, luku 11, sivu 3).

Muuntajan kytkentäryhmää kuvataan kirjain- ja numeroyhdistelmällä, jossa numero kuvaa kytkennästä aiheutuvaa vaihesiirtoa. Tunnusluku on se kellon tuntiviisarin asento, johon alajännitepuolen vaihejännitevektori osoittaa kun yläjännitteen saman vaiheen vektori osoittaa kellon asentoa 12. (ABB 2000, luku 11, sivu 2)

Ensimmäinen kirjain kuvaa yläjännitepuolen kytkentää, ja se ilmoitetaan isolla kirjaimella. Alajännitepuolen kytkentää kuvaava kirjain on pieni. Kirjaimet ovat Y tähtikytkennälle, D kolmiokytkennälle ja Z hakatähtikytkennälle. Muuntajan kannella oleville liittimille tuotu tähtipiste ilmoitetaan ylä- tai alajännitekytkentää kuvaavan kirjaimen jäljessä olevalla N- tai n-kirjaimella. (ABB 2000, luku 11, sivu 2)

Opinnäytetyössä käsiteltävien muuntajien kytkentäryhmä YNd11:

Y = yläjännitekäämit tähtikytkennässä

N = yläjännitepuolen tähtipiste tuotu muuntajan kannelle

d = alajännitekäämit kolmiokytkennässä

11 = alajännitepuolen jännite 30 astetta jäljessä yläjännitepuolta.

(ABB 2000, luku 11, sivu 2)

3.2 Käämikytkin

Muuntosuhdetta voidaan suurmuuntajilla yleensä säätää käämikytkimellä kuormituksen aikana. Yleensä käämikytkimellä säädetään ensiön johdinkierrosten määrää muun muassa ensiön pienemmän virran vuoksi (Elovaara & Haarla 2011b, 146). Esimerkiksi opinnäytetyön kohteena olevissa muuntajissa säätöportaita on yhdeksän molempiin suuntiin ja yksi askel muuttaa muuntosuhdetta 1,67 % alkuperäisestä.

Jännitteensäätäjä säätää käämikytkimen avulla toisiojännitettä automaattisesti normaaliajossa. Käämikytkintä voidaan ohjata myös kaukokäytöstä tai paikan päältä. Tarvittaessa häiriötilanteessa käämikytkintä voidaan myös ohjata mekaanisesti veivillä. Käämikytkintä säädettäessä asennosta toiseen uusi kontakti kytkeytyy aina ennen vanhan avautumista, joten kipinöintiä ei tapahdu.

Jakelumuuntajissa toisiojännite säädetään väliottokytkimellä. Väliottokytkimen rakenne poikkeaa käämikytkimen rakenteesta, ja sen asentoa vaihdetaan käsin jännitteettömänä. Asennon vaihtaminen jännitteellisenä voi aiheuttaa kipinöintiä ja muuntajan tuhoutumisen. Väliottokytkin sijaitsee myös yleensä lähellä jännitteisiä osia. Kuivamuuntajissa jännitteen säätäminen tapahtuu kytkentäliuskojen avulla.

3.3 Loistehon kompensointi

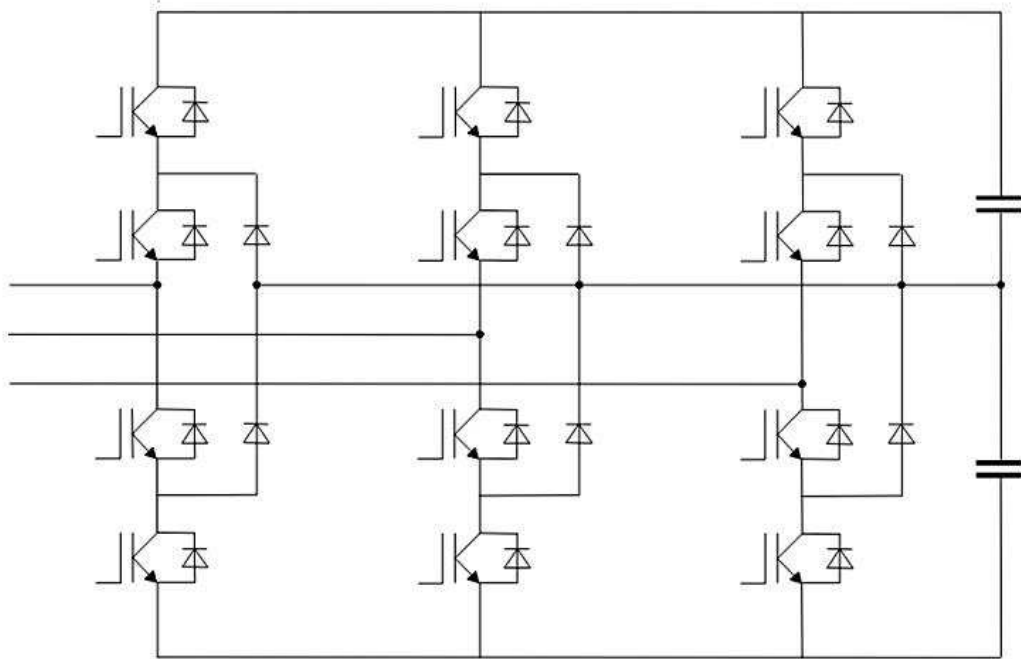
Monet kuormat aiheuttavat heilahtelevaa loistehoa, joka ilman kompensointia kuormittaisi muuntajaa ja taustaverkkoa aiheuttaen häviöitä ja kuormitettavuuden pienenemistä. Kondensaattoreilla ja keloilla toteutetuilla imupiireillä pyritään myös poistamaan haitalliset yliaallot verkosta. Kiinteällä, ilman säätöä olevalla kompensoinnilla voidaan kompensoida tasaista loistehokuormaa, mutta kuorman vaihdellessa loistehoa kompensoidaan liikaa tai liian vähän. Keskijänniteverkossa hitaampaan vaihteluun voidaan käyttää myös kiinteitä kompensointiparistoja, josta kytketään katkaisijoilla tarpeen mukaan osia käyttöön.

Kuorman muuttuessa nopeasti voidaan keskijänniteverkossa käyttää staattisen loistehon kompensattoreita eli SVC-laitteita (static variable compensator). SVC-laitteistot koos-

tuvat rinnankytketyistä kondensaattori- ja reaktoripaketeista (kelat). Tyristoreilla voidaan säätää kompensoitavaa tehoa. Sekä kondensaattorit että kelat voivat olla tyristoriohjattuja, mutta usein vain reaktoreja ohjataan eli käytössä on TCR-kompensointi (thyristor controlled reactor). (Elovaara & Haarla 2011a, 337)

Vielä tarkempaan ja verkkojännitteestä riippumattomaan säätöön päästään STATCOM-laitteistoilla (static synchronous compensator). STATCOM eroaa perinteisestä SVC-laitteistosta siten, että siinä on käytössä jännitelähdesuuntaajat eli VSC:t (voltage source converter). (Elovaara & Haarla 2011a, 339)

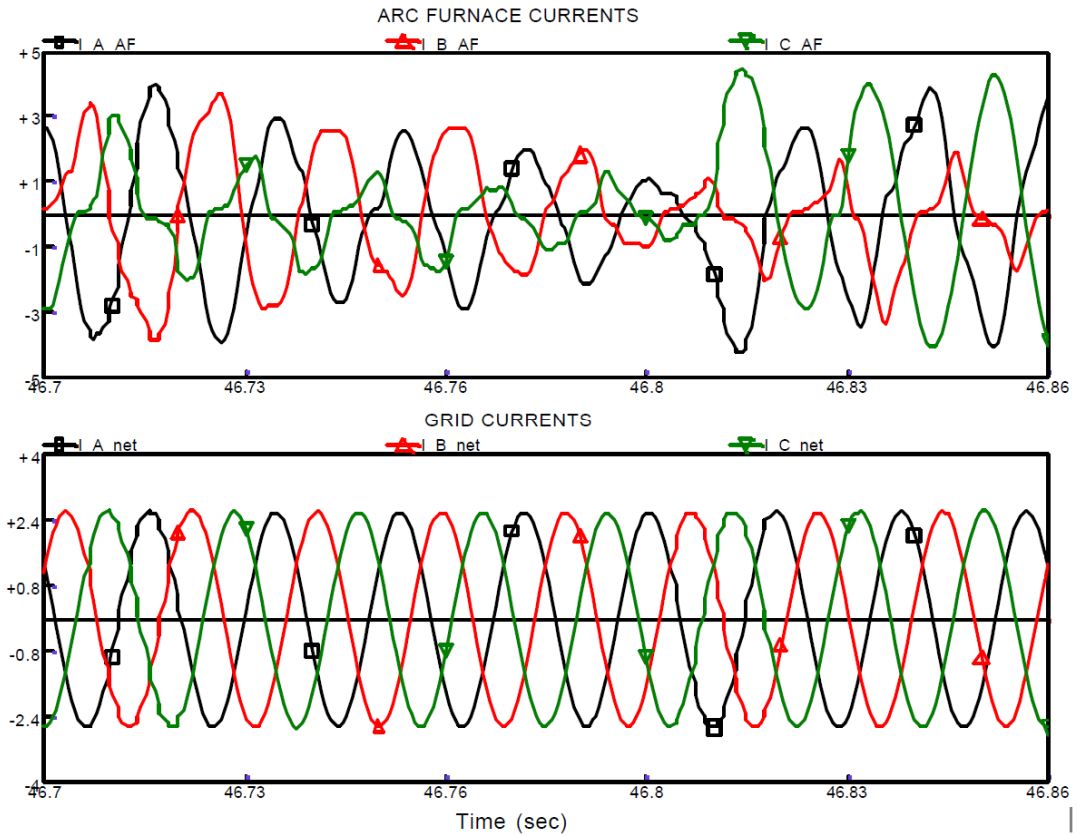
Jännitelähdesuuntaajan rakennetta on kuvattu kuvassa 9. Vaihtojännite suunnataan IGBT:illä tasajännitteeksi kondensaattoreille. Tasajännitteellä on käytössä kolme jännitetasoa, U_+ , U_0 ja U_- . Ohjaamalla transistoreita saadaan syötettyä verkkoon kuorman ottamalle loisteholle vastakkaista loistehoa, jolloin muuntajan läpi kulkee pelkkä pätöteho.



Kuva 9. VSC-laitteen periaatekaavio (Grünbaum & Halvarsson & Wilk-Wilczynski, 1999, sivu 16, hakupäivä 8.11.2012).

Kompensoinnin vaikutusta verkon virtoihin opinnäytetyössä käsiteltävässä kojeistossa on esitetty kuvassa 10. Opinnäytetyöhön liittyvä kompensointilaitteisto on STATCOM-

tyyppinen, ABB:n valmistama SVC-light. Kompensoinnin säätöalue on 0-164 MVar ja kompensointi kytkeytyy suoraan 33 kV-kojeistoon. Ylempi kuvaaja näyttää uunin ottamaa virtaa ja alempi verkosta otettua virtaa. Havaitaan ylemmän kuvaajan virtojen olevan hyvin yliaaltopitoista ja säröytynyttä, mutta verkosta otettu virta on lähes puhdasta siniaaltoa. (ABB, 2003)



Kuva 10. Uunin ja verkon virrat (Grünbaum & Gustafsson & Hasler & Larsson & Lahtinen 2004, sivu 6, hakupäivä 17.9.2012).

4 SUOJAUS

Muuntajaa suojataan suojureleillä ja muuntajasuojilla (muun muassa kaasurele), jotka muuntajan vikaantuessa hälyttävät tai laukaisevat muuntajan pois verkosta vahinkojen minimoimiseksi. Suojareleen suojalohkot mittaavat virran ja jännitteen muutoksia, mutta muuntajasuojat reagoivat oikosulun tai vikaantumisen aiheuttamiin fysikaalisiin muutoksiin, kuten lämpötilan nousuun, paineiskuun ja kaasunmuodostumiseen.

Suurmuuntajissa halutaan usein varmistaa yläjännitepuolen laukeaminen laukaisupiirin kahdennuksella. Samaa katkaisijaa ohjataan tällöin kahdella eri laukaisukelalla, joiden laukaisupiirit ovat kahdennettuja aina apusähköjärjestelmään asti. Kahdennuksella varmistetaan, ettei yksittäisen komponentin vikaantuminen saa järjestelmää suojauksettomaan tilaan. Apusähköjärjestelmä, jolla ohjaukset ja suojureleiden sähkönsyöttö on toteutettu, on yleensä akkuvarmennettu tasasähköjärjestelmä.

Hälytyksistä ja havahtumisista saadaan käytönvalvonnan tapahtumalokiin aikaleimatut ilmoitukset, joiden avulla vianhakua voidaan helpottaa. Toisilla komponenteilla hälytys- tai havahtumisraja voi myös olla alempana kuin laukaisuraja, jotta esimerkiksi ylläampemisen vuoksi ehditään kuormaa pienentää.

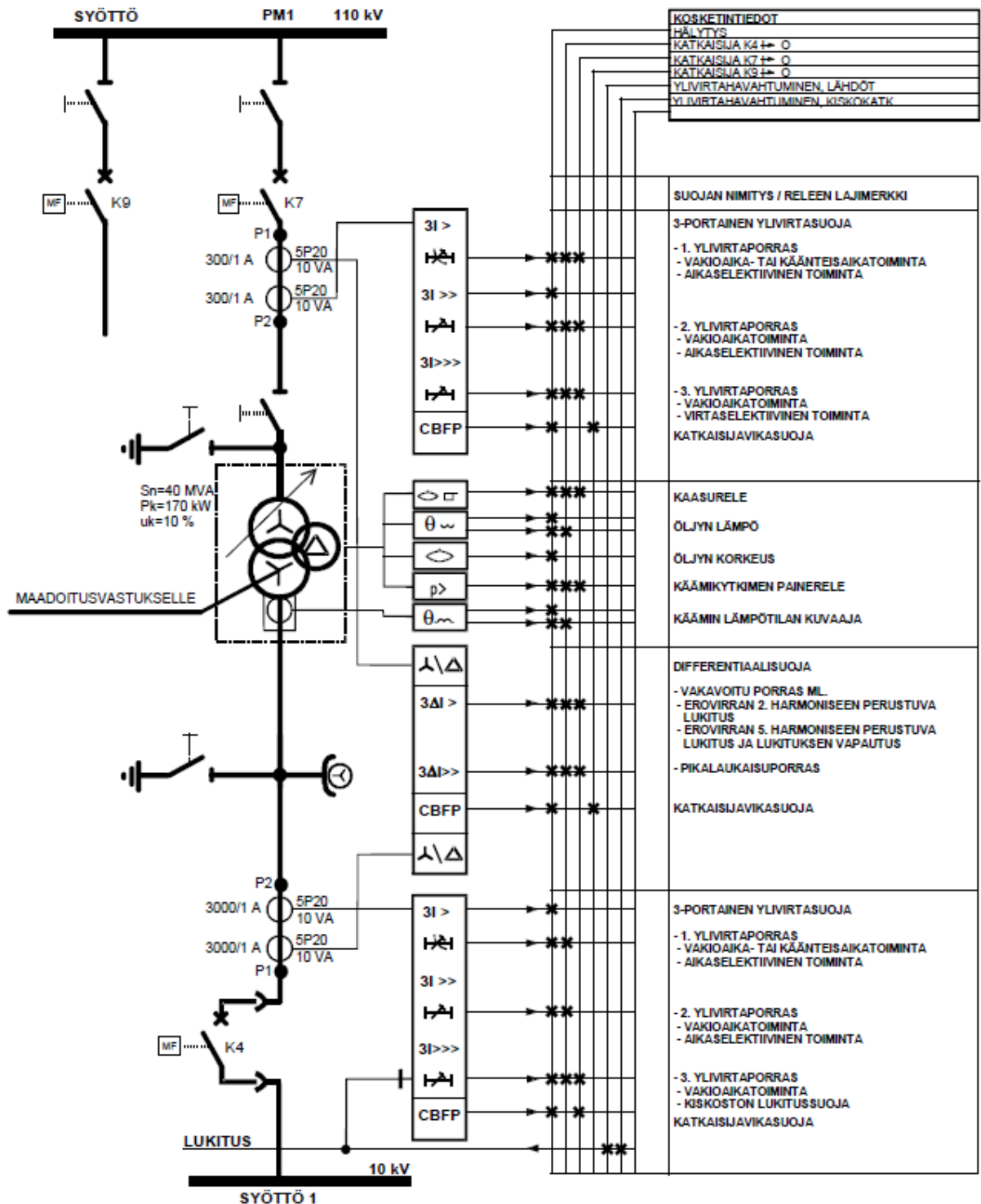
4.1 Suojareleet

Suojareleistä muuntajien suojaukseen käytetään varsinkin differentiaalisuojaa, joka toimii erittäin nopeasti mitaten muuntajan ylä- ja alajännitepuolen virtaeroa. Differentiaalisuojan suojausalue on myös absoluuttisesti selektiivinen. Muuntajien suojana käytetään lisäksi myös ylivirta- ylijännite-, alijännite- ja maasulkusuojia.

Suojareleet sijaitsevat keskijännitekennojen toisiotilassa ja ohjaavat katkaisijoiden laukaisu- ja kiinniohjauskeloja. Kuvassa 11 on esimerkki päämuuntajan suojauskaaviosta. Suojareleet ohjaavat ensisijaisesti oman kennonsa katkaisijaa, mutta vaikuttavat myös edeltävään suojureleeseen ja katkaisijaan. Esimerkiksi momenttilaukaisun havahtuminen lukitsee syöttösuunnassa edeltävän katkaisijan selektiivisyyden varmistamiseksi, ja katkaisijavikasuojaus aiheuttaa syöttösuunnassa edeltävän katkaisijan laukeamisen mikäli virta ei katkea asetellussa ajassa.

Nykyaikaiset numeeriset suojarieleet ovat mikroprosessoripohjaisia, ja sisältävät usein useita suojalohkoja. Esimerkiksi työssä käsiteltävien suojarieleen suojalohkoista käytössä ovat:

- differentiaalisuojaus
- ylivirtasuojaus
- katkaisijavikasuojaus
- alijännitesuojaus
- ylijännitesuojaus.



Kuva 11. Esimerkki muuntajan suojauksesta (ABB 2000, luku 7, sivu 45).

Virta- ja jännitemuuntajien valinta vaikuttaa oleellisesti suojauksen toimintaan. Tässä työssä niihin ei kuitenkaan perehdytty, sillä nimellisvirrat tai mittamuuntajat eivät muuntajanvaihdon yhteydessä muutu. Numeerisilla suojareleillä virta- ja jännitemuuntajien tekniset tiedot, kuten muuntosuhde, parametroidaan yleensä suoraan releeseen.

4.1.1 Ylivirtasuojaus

Ylivirtareleet suojaavat muuntajaa ylikuormitukselta ja oikosuluilta. Suurmuuntajissa käytetään yleensä vakioaikaylivirtasuojauksia. (Elovaara & Haarla 2011b, 380; Mörsky 1992, 190)

Vakioaikaylivirtasuojauksessa käytetään usein kahta eri virta- ja aika-asettelua, I> ja I>>. I> havahtuu pienemmästä virrasta mutta vaatii pitemmän vika-ajan ennen laukaisua. Muuntajaa syöttävän johtolähdön ylivirtasuojan ensimmäinen porras, I>, suojaa sekä kaapelia että muuntajaa ylikuormitukselta, sekä toimii varasuojana muuntajan alajännitepuolen ja kiskoston vioissa. I>-suojausasettelun määrää lähdön perässä olevien komponenttien ylikuormitettavuus. (Mörsky 1992, 35,190-191; Siemens 2012a)

Suuremmalla virralla I>> eli ns. momenttilaukaisu havahtuu ja toimii nopeasti. I>>-laukaisun tulee toimia muuntajan yläjännitepuolen vioissa suojaen kaapelia ja muuntajan yläjännitekäämiä. Yleensä momenttilaukaisun havahtumisella lukitaan ylemmän portaan releen toiminta suojauksen selektiivisyyden varmistamiseksi. (Mörsky 1992, 35,190-191; Siemens 2012a)

Yläjännitepuolen I>>-suojaus ei tule havahtua alajännitepuolen oikosulusta, mutta pienimmällä mahdollisella yläjännitepuolen oikosulkuvirralla sen tulee toimia. Suojauksen laukaisuajan maksimiarvon määrää komponenttien terminen oikosulkukestoisuus. Toisaalta minimiarvon valintaan vaikuttaa muiden suojausketjun muiden releiden aika-asettelut eli suojauksen aikaselektiivisyys. (Huotari & Partanen 1998, 36)

Usein teollisuusverkossa kaapeleiden vaikutus oikosulkuimpedanssiin on vähäinen, jolloin virta-asetteluilla ei selektiivisyyttä saada varmistettua. Siksi on syytä käyttää erilaisia aika-asetteluja tai ylemmän portaan lukitsemista jännitekatkon rajaamiseksi mahdollisimman pienelle alueelle. Tulee kuitenkin huomioida termisten rasitusten kasvaminen mikäli aikaviivettä lisätään runsaasti. (Huotari & Partanen 1998, 31)

Muuntajan ottamaa virtapiikkiä jännitteen kytkentähetkellä kutsutaan kytkentävirtasysäykseksi. Virran suuruus riippuu muuntajan rautasydämen remanenssista eli jännösvuosta sekä kytkentähetken jännitteistä. Virta saattaa ylittää moninkertaisesti muuntajan nimellisvirran. Kyseessä ei ole kuitenkaan vika, joten suojauksen ei tule tilanteessa toimia. Laukaisun välttämiseksi kytkentävirtasysäys pyritään havaitsemaan ja lukitsemaan $I >$ laukaisu virtasysäyksen ajaksi. $I >>$ laukaisua ei lukita kytkentävirtasysäyksestä. (Elovaara & Haarla 2011b, 153; Mörsky 1992, 35,190-191; Siemens 2012a)

Kytkentävirtasysäyksen havaitsemiseen käytetään usein toista harmonista yliaaltoja eli 100 Hz taajuista virtaa (Elovaara & Haarla 2011b, 154). Moderneissa suojarleissä voidaan asettaa haluttu toisen harmonisen osuus kokonaisvirrasta, ja kytkentävirtasysäystä käytetään estämään turhat laukaisut differentiaali- ja ylivirtasuojauksissa.

4.1.2 Differentiaalisuojaus

Suurmuuntajan pääsuojana käytetään usein differentiaalireleitä. Johtoyhteyksiä suojattaessa johdon molemmissa päissä virta on normaalitilanteessa yhtä suuri ja välille ”katoava” virta kertoo viasta. Muuntajaa suojattaessa täytyy tietysti huomioida muuntajan muuntosuhteen sekä muun muassa tyhjäkäyntihäviöiden vaikutus virtoihin.

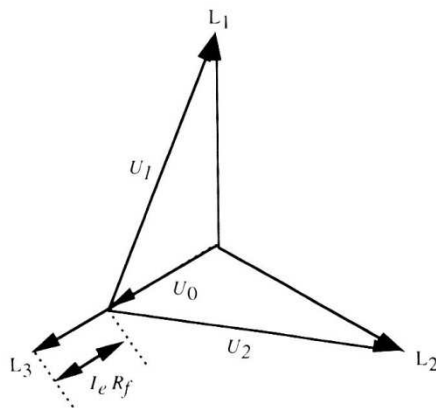
Muuntajan tyhjäkäyntivirta määrää erovirran asettelun, tyypillisesti asetteluna käytetään 40 % muuntajan nimellisvirrasta (Elovaara & Haarla 2011b, 380). Lisäksi huomioon on otettava ylijännitteen ja muun muassa käämikytkimen asennon vaikutus muuntajan tyhjäkäyntivirran suuruuteen. Differentiaalireleelle johdotetaan suojattavan kohteen kummallakin puolella olevien virtamuuntajien virrat. Virtamuuntajien ollessa kaukana toisistaan voidaan moderneilla releillä käyttää myös releparia, jolloin releiden välinen viestiyhteys hoidetaan esimerkiksi optisella yhteydellä.

Differentiaalisuojaus on absoluuttisesti selektiivinen, eli suojaa vain suojausalueen sisällä tapahtuvilta vioilta. Se on erittäin nopea varsinkin suurissa virtaeroissa. Toisen portaan, $I_d >>$,toiminta on erittäin nopea, ja suurivirtaisten oikosulkujen kesto aika ja siten komponenttien terminen rasitus saadaan minimoitua. Ensimmäisen portaan $I_d >$ toiminta taas havaitsee muuntajan sisällä tapahtuvat vauriot ennen ylivirtasuojan toimimista. Muuntajia suojattaessa differentiaalireleiden laukaisun 1. porras ($I_d >$) lukitaan

yleensä kytkentävirtasysäyksen havaitsemisesta virheellisten laukaisujen vähentämiseksi.

4.1.3 Maasulkusuojaus

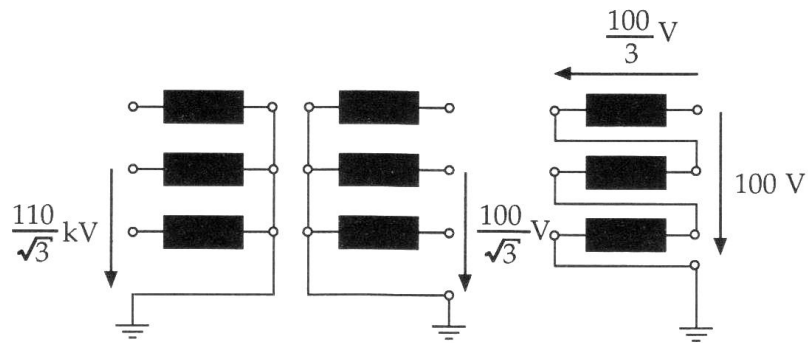
Maasulussa maasta erotetun verkon vaihe on suoraan tai vikaimpedanssin kautta yhteydessä maahan. Maasulkuvirta on yleensä kuormitusvirtaa pienempi, eikä sinällään estä verkon käyttämistä. Maasulkupaikalla maassa tai rakenteissa kulkevat virrat ja niiden aiheuttama askeljännite voivat olla hengenvaarallisia. Määräykset sallivat verkon käyttämisen maasulkutilanteessa, jos voidaan varmistaa, ettei maasulkupaikka aiheuta vaaraa hengelle tai omaisuudelle. Maasulun aikana terveiden vaiheiden jännite-ero maapotentiaaliin kasvaa kuten kuvasta 12 ilmenee. (Elovaara & Haarla 2011a, 210)



Kuva 12. Jännitteet maasulkutilanteessa (Aura & Tonteri, 1993, 165).

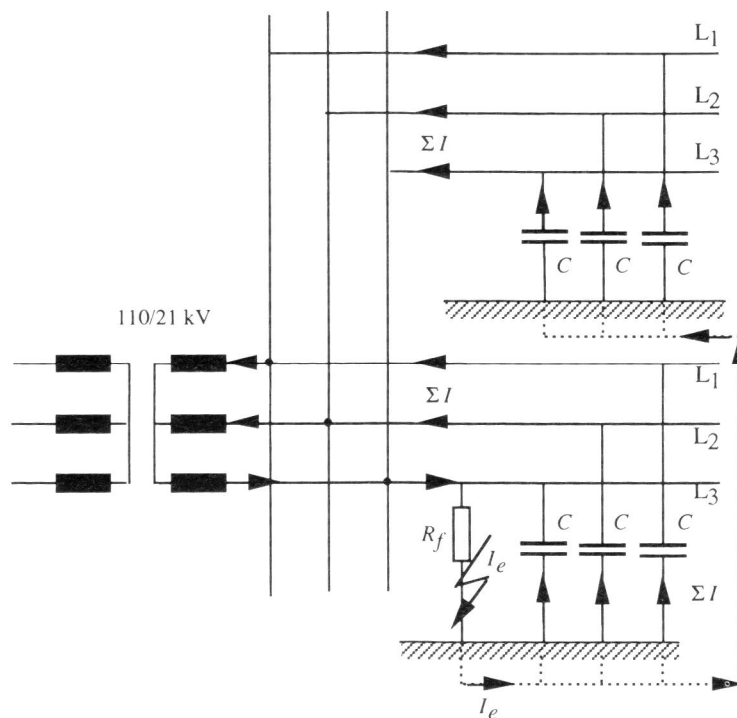
Maasulkusuojaus toteutetaan maasulun vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen kohoamiseen perustuvalla relesuojauksella. Vaihevirtojen epäsymmetria voidaan laskea vaihevirroista tai käyttää kaapelivirtamuuntajaa, joka mittaa kaapelissa kulkevien virtojen summaa. Tähtipistejännite saadaan mitattua avokolmiokytkentäisellä jännitemuuntajalla. Yleensä jännitemuuntaja mitoitetetaan siten, että avokolmion jännite on vikavastuksettomassa maasulussa 100 V. (Lakervi & Partanen, 2008, 190-191)

Kuvassa 13 on kuvattu 110 kV jännitemuuntaja. Vasemmanpuoleiset käämit kytketään 110 kV jännitteeseen. Keskimmäisistä liittimistä saadaan mittausta ja suojausta varten 100 V jännite ja oikeanpuoleista avokolmiokäämitystä käytetään maasulkujännitteen mittaamiseen.



Kuva 13. Jännitemuuntaja (Mörsky 1992, 87).

Verkon nolaimpedanssi muodostuu maasta erotetussa verkossa vain maakapasitansseista kuvan 14 mukaisesti. Maasulkuvirta on yleensä kuormitusvirtaa pienempi. Määräykset sallivat verkon käyttämisen maasulkutilanteessa, jos voidaan varmistaa, ettei maasulkupaikka aiheuta vaaraa hengelle tai omaisuudelle. (Elovaara & Haarla 2011a, 210)



Kuva 14. Maasulku (Aura & Tonteri, 1993, 163).

Verkon maasulkuvirta I_f kulkee vikaresistanssin R_f kautta maahan. Virta palaa vaihejohtojen maakapasitanssin kautta päämuuntajan käämitykseen. Vaihejohtojen impedanssi rajoittaa maasulkuvirtaa. (Lakervi & Partanen, 2008, 183-184)

Kaapeleiden maakapasitanssit ja impedanssit selviävät valmistajan antamista arvoista. Maasulkuvirta voidaan laskea kaavalla 1 (Lakervi & Partanen, 2008, 195):

$$I_f = \frac{3\omega C}{\sqrt{1+(3\omega CR_f)^2}} U_v \quad (1)$$

jossa I_f on maasulkuvirta,

C on vaihekohtainen maakapasitanssi,

R_f on vikaresistanssi,

U_v on viallisen vaiheen jännite ennen vikaa ja

ω on verkon kulmanopeus ($2 \cdot \pi \cdot \text{taajuus}$)

4.1.4 Yli- ja alijännitesuojaus

Ylijännitesuojauksella varmistetaan, ettei ylijännite vioita verkon komponentteja. Tärkein yksittäinen suojattava komponentti on useimmiten muuntaja. Ylijännitteet voidaan jakaa pientaajuisiin ylijännitteisiin ja transienttiylijännitteisiin. Pientaajuiset ylijännitteet aiheutuvat verkkojen vika- ja resonanssitilanteista. Niitä voi syntyä esimerkiksi maasulun, kuorman äkillisen poiskytkemisen tai kompensoinnin aiheuttamana. Värähtelytaajuus on yleensä verkon taajuus tai sen yli- tai aliharmoninen kerrannainen. Pientaajuisilta ylijännitteiltä verkkoa suojataan suojareleillä. (Elovaara & Haarla 2011b, 11-13,29-31)

Suojareleen havahtumiseen ja katkaisijan laukeamiseen kuluva aika on lyhyimmilläänkin kymmeniä millisekunteja. Nopeus ei riitä estämään jännitepiikkejä, mutta suojareleiden avulla voidaan laukaista vikaantunut osa verkosta pois. Jännitteen ylittäessä asetellun ylijänniterajan tai vastaavasti alittaessa alijänniterajan suoja havahtuu. Mikäli tilanne kestää yli asetellun ajan, rele lähettää laukaisukäskyn katkaisijalle. (Aura & Tonteri, 1993, 171)

Transienttiylijännitteet aiheutuvat yleensä kytkentäilmiöistä tai ilmastollisista syistä, ja ovat lyhyitä, maksimissaan millisekuntien luokkaa olevia pulsseja. Transienttiylijännitteitä varten käytetään ylijännitesuojia, jotka suurmuuntajilla ovat yleensä venttiilisuojia. (Elovaara & Haarla 2011b, 11-13,29-31)

Yleisin suurmuuntajien ylijännitesuojaukseen käytetty komponentti on venttiilisuoja. Ylijännitesuoja päästää normaalitilanteessa lävitseen pientä vuotovirtaa, mutta jännitteen noustessa yli suojan nimellisarvon johtaa jännitepiikin maapotentiaaliin eli aiheuttaa maasulun. (Aro & Elovaara & Karttunen & Nousiainen & Palva 2011, 333,335)

Ylijännitesuoja sijoitetaan niin lähelle muuntajaa kuin mahdollista, mieluiten muuntajan ja katkaisijan väliin. Ylijännitesuojaa käytetään myös maadoittamattomassa tähtikytkenässä suojaamaan kannelle tuotua tähtipistettä ylijännitteeltä. (Aura & Tonteri 1993, 233-234)

Valokaariuuni heikentää verkon jännitteen laatua suuresti, koska on kuormana epäsymmetrinen ja aiheuttaa virta- ja jännitepiikkejä. Pientaajuiset yli- ja alijännitteet ovat parillisia ja parittomia harmonisella tai epäharmonisella taajuudella esiintyviä häiriöitä. Nopeasti säätävällä kompensoinnilla, kuten työssä käytettävällä STATCOMilla, voidaan vaikuttaa pientaajuisiin yli- ja alijännitteisiin.

4.2 Muut suojat

4.2.1 Ylipaineventtiili eli tankkisuoja

Muuntajasäiliötä ja käämikytöntä suojataan vikaantumisessa syntyvän ylipaineen aiheuttamalta räjähdykseltä ylipaineventtiileillä. Ylipaineventtiileissä voidaan käyttää apukoskettimia varmistamaan muuntajan laukeaminen nopeasti pois verkosta. (Elovaara & Haarla 2011b, 379)

Ylipaineventtiilillä pyritään minimoimaan paineiskusta aiheutuvat vauriot muuntajan sisäisiin osiin päästämällä paineen ulos. Venttiili toimii vasta muuntajan jo vikaannuttua, mutta venttiilillä voidaan vaikuttaa huollon hintaan ja keston. Venttiili voi myös toimia tilanteessa, jossa muuntajan ulkopuolisesta viasta johtuen muuntajan läpi kulkee yhtäkkiä suuri virta, joka aiheuttaa muuntajan sisällä paineiskun. Tällaisessa tilanteessa ylipaineventtiili voi estää muuntajan vikaantumisen.

4.2.2 Kaasurele

Muuntajan sisäisiä vikoja ei välttämättä havaita alkuvaiheessa suojareleillä. Kaasureleillä voidaan havaita muuntajan alkava vikaantuminen ja huoltaa muuntaja ennen vaka-

vampia vaurioita. Kaasureleellä saadaan minimoitua vaurioita myös pahoissa eristevoissa sillä se toimii nopeasti.

Kaasurele on sijoitettu muuntajasäiliön ja paisuntasäiliön väliin. Normaalitylanteessa releessä on öljyä, joka muuntajan lämmön vaihdellessa kulkee muuntajan ja paisuntasäiliön välillä. Muuntajan sisällä tapahtuva kipinäointi aiheuttaa kaasua, joka nousee releeseen. Mikäli kaasun muodostuminen on hidasta eli kaasua kertyy releeseen verkkaisesti, tulee hälytys. Tällainen tilanne voi aiheutua esimerkiksi muuntajahuollon jälkeen, kun öljyssä olevat kuplat nousevat pintaan. (Mörsky 1992, 202)

Kaasun määrän lisääntyessä releessä, tai muutoksen ollessa äkillinen, laukaisukosketin toimii ja muuntaja laukeaa pois verkosta. Pahoissa eristevoissa muuntajaöljy laajenee ja kaasuuntuu nopeasti, ja öljy syöksyy paisuntasäiliöön. Mikäli hälytys ja laukaisu tulevat samanaikaisesti, on syytä olettaa muuntajan olevan vikaantunut vakavasti. (Mörsky 1992, 202)

4.2.3 Lämpötilan mittaus

Muuntajaöljyn lämpötilaa mitataan ylikuormituksen ja vikaantumisen havaitsemiseksi. Jos muuntajan kuormituksen vaihtelu on nopeaa ja suurta, muuntajaöljyn lämpötila ei ehdi nousta yhtä nopeasti kuin muuntajan käämien lämpötila. Tämän vuoksi käytetään usein öljyn lämmön mittauksen lisäksi käämin lämpötilan kuvaajaa.

Nykyään käämin lämpötila on mahdollista mitata suoraan optisilla menetelmillä. Yleisesti on kuitenkin käytössä menetelmä, jossa muuntajan käämin lämpötilaa seurataan öljyn lämpötilan ja käämivirran avulla. Anturi mittaa muuntajan öljyn lämpötilaa, ja mittaria lämmitetään sopivasti valitun, muuntajaan asennetun käämivirtaa mittaavan virtamuuntajan toisioon kytketyllä lämmitysvastuksella. (Mörsky 1992, 199; Elovaara & Haarla 2011b, 379)

Lämpötilasta saadaan yleensä analoginen osoitus ja kosketintiedot, joiden lämpötilat ovat aseteltavissa. Voidaan käyttää esimerkiksi kahta hälytysrajaa, joista ensimmäinen ilmoittaa muuntajan normaalilämpötilan ylittymisestä, ja toinen kriittisen lämmön saavuttamisesta. Laukaisuun käytetään kahta samaan lämpötilaan aseteltua kosketinta lau-

kaisupiirien kahdennuksen vuoksi. Öljyn ja käämin kriittiset lämpötilat ovat muuntaja- ja öljykohtaisia.

4.3 Ylivirtasuojauksen laskenta

Suojareleiden asettelun tarkastamiseksi on tarpeen laskea, miten verkon ominaisuudet muuttuvat, kun muuntaja vaihdetaan. Laskettavan verkon sähköiset ominaisuudet on selvitettävä laskentaa varten, samoin taustaverkon syöttämä vikavirta. Myös verkon komponenttien dynaaminen ja terminen kesto on huomioitava. Vikavirtojen laskentaan käytetään yleensä IEC 60909 -mukaista Theveninin menetelmää. Mikäli taustaverkon impedanssia ei ole annettu suoraan, se voidaan selvittää oikosulkuvirran perusteella kaavalla 2. (IEC 60909-0)

$$Z_k = \frac{cU}{\sqrt{3}I_k} \quad (2)$$

jossa Z_k on taustaverkon impedanssi,

c on oikosulkuvirran laskennassa käytettävä kerroin (IEC 60909),

U on vikapaikan nimellisjännite ja

I_k on oikosulkuvirta.

Muuttujan c arvo riippuu laskettavan vikakohdan jännitteestä ja siitä, lasketaanko maksimi- vai minimioikosulkuvirtaa taulukon 2 mukaisesti. Yli 1 kV-nimellisjännitteisessä verkossa minimioikosulkuvirtaa laskettaessa $c = 1,0$ ja maksimioikosulkuvirtaa laskettaessa $c = 1,1$. (IEC 60909-0)

Taulukko 2. Kertoimen c valinta. (IEC 60909-0).

Nominal voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of	
	maximum short-circuit currents $c_{\max}^{1)}$	minimum short-circuit currents c_{\min}
Low voltage 100 V to 1 000 V (IEC 60038, table I)	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Medium voltage >1 kV to 35 kV (IEC 60038, table III)	1,10	1,00
High voltage ²⁾ >35 kV (IEC 60038, table IV)		
¹⁾ $c_{\max}U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems. ²⁾ If no nominal voltage is defined $c_{\max}U_n = U_m$ or $c_{\min}U_n = 0.90 \times U_m$ should be applied. ³⁾ For low-voltage systems with a tolerance of +6 %, for example systems renamed from 380 V to 400 V. ⁴⁾ For low-voltage systems with a tolerance of +10 %.		

Mikäli oikosulkuvirran kulmaa ei tunneta laskettaessa oikosulkuimpedanssia yli 35 kV avojohtoverkolla, voidaan impedanssi jakaa resistanssiin ja reaktanssiin seuraavilla kaavoilla (3,4). (Huotari & Partanen 1998, 16)

$$X_{kv} = 0,995Z_{kv} \quad (3)$$

jossa X_{kv} on reaktanssi ja
 Z_{kv} on impedanssi.

$$R_{kv} = 0,1X_{kv} \quad (4)$$

jossa R_{kv} on syöttävän verkon resistanssi.

Suurmuuntajille oikosulkuimpedanssi ja -resistanssi annetaan usein kilpiarvoina. Reaktanssin voi laskea kaavasta 5 (Huotari & Partanen 1998, 18).

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (5)$$

jossa X_k on muuntajan oikosulkureaktanssi,
 Z_k on muuntajan oikosulkuimpedanssi ja
 R_k on muuntajan oikosulkuresistanssi.

Impedanssien, reaktanssien ja resistanssien redusointi muuntajan yli jänniteportaasta toiseen voidaan suorittaa kaavalla 6. (Elovaara & Haarla 2011a, 135)

$$\bar{Z}'_2 = \left(\frac{U_{1R}}{U_{2R}}\right)^2 \bar{Z}_2 \quad (6)$$

jossa \bar{Z}'_2 on alajännitepuolen impedanssi yläjännitepuolelta nähtynä,
 U_{1R} on ensiön nimellisjännite,
 U_{2R} on toisiosion nimellisjännite ja
 \bar{Z}_2 on alajännitepuolen impedanssi.

Kaavalla 7 saadaan muuntajan reaktanssi laskettua ominaisreaktanssin perusteella. Vastaavasti voidaan laskea myös impedanssi ja resistanssi. (Lakervi & Partanen 2008, 26)

$$X_k = u_x \frac{U_N^2}{S_N} \quad (7)$$

jossa u_k on suhteellinen oikosulkuimpedanssi,
 U_N on nimellisjännite (ensiö- tai toisiosjännite) ja
 S_N on muuntajan nimellisteho.

Kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit saadaan yleensä valmistajien taulukoista. Laskentaan voidaan käyttää kaavaa 8. (Huotari & Partanen 1998, 20)

$$\bar{Z}_j = (r + jx)l \quad (8)$$

jossa \bar{Z} on impedanssi vektorimuodossa,
 r on kaapelin tasavirtaresistanssi (+20 °C) pituusyksikköä kohti,
 j on imaginäärikomponentin kerroin,
 x on kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohti ja
 l on kaapeliyhteyden pituus.

Mikäli halutaan tietää tarkemmin johtimen vaihtovirtaresistanssi halutussa lämpötilassa sekä virran ahdon aiheuttama lisäresistanssi, voidaan se laskea kaavalla 9. (Huotari & Partanen 1998, 21)

$$R = [1 + \alpha_{20}(v - 20 \text{ °C})](R_{20} + \Delta R) \quad (9)$$

jossa α_{20} on resistanssin lämpötilakerroin,

v on lämpötila, jossa resistanssi halutaan laskea,

R_{20} on tasavirtaresistanssi +20 °C:ssa ja

ΔR on lisäresistanssi, joka ottaa huomioon virran ahdon aiheuttamat lisähäviöt.

4.3.1 Kolmivaiheinen oikosulku

Suurimman vikavirran 3-vaiheverkossa aiheuttaa vastukseton 3-vaiheinen oikosulku. Suojauksen on havaittava vika nopeasti, ja erotettava verkon vikaantunut osa. Maksimioikosulkuvirran tehollisarvoja laskettaessa käytetään termejä I_k , I_k' ja I_k'' . (Elovaara & Haarla 2011a, 170,174)

Laitteiden mekaaniseen mitoitukseen vaikuttaa alku- eli sysäysoikosulkuvirta I_k'' . Virran laskennassa tulee ottaa huomioon vikapaikkaan vaikuttavien pyörivien koneiden alkureaktanssit X_d'' . (Elovaara & Haarla 2011a, 175)

Suurin mahdollinen hetkellisarvo saadaan kaavan 10 avulla. Sysäyskerroin saadaan määritettyä kaavalla 11. (Huotari & Partanen 1998, 23-24)

$$i_s = \kappa\sqrt{2} * I_k'' \quad (10)$$

jossa i_s on alkuoikosulkuvirran arvo ja

I_k'' on oikosulkuvirran alkuarvo ja κ on sysäyskerroin.

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{\frac{-3R}{X}} \quad (11)$$

jossa R on oikosulkupiirin resistanssi ja

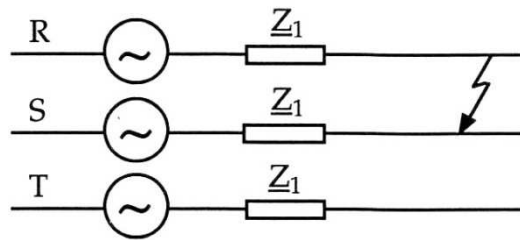
X oikosulkupiirin reaktanssi.

Muutosoikosulkuvirta I_k' määrää suojareleiden asettelua ja kuvaa myös virtaa, jonka katkaisija joutuu katkaisemaan. Pyörievien koneiden reaktansseina käytetään muutosreaktansseja X_d' . (Elovaara & Haarla 2011a, 175)

Pysyvä oikosulkuvirta I_k kuvaa johtimia ja komponentteja lämmittävää vaikutusta. Oikosulku ei yleensä ehdi saavuttaa tätä tilaa. Tahtikoneiden reaktansseina käytetään pitkittäisiä tahtireaktansseja X_d . (Elovaara & Haarla 2011a, 175,176)

4.3.2 Kaksivaiheinen oikosulku

Maasta erotetussa järjestelmässä 1-vaiheisia oikosulkuja ei ole. Suojausten asettelun kannalta merkittävä on pienin oletettavissa oleva 2-vaiheinen oikosulku, jonka suojausten tulee pystyä erottamaan normaalista kytkentä- tai ylikuormitustilanteesta. Kaksivaiheisen oikosulun malli on kuvassa 15.



Kuva 15. Kaksivaiheinen oikosulku (Mörsky 1992,62).

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan yleensä symmetrisen kolmivaiheisen vikavirran avulla kaavaa 12 käyttämällä (Huotari & Partanen 1998, 11). Mikäli ei tunneta erikseen verkon myötä- ja vastakomponentteja, voidaan niiden yleensä olettaa olevan samansuuruiset. I_k'' -arvoa eli alkuoikosulkuvirtaa laskettaessa ne ovatkin aina samansuuruiset, mutta I_k' ja I_k -arvoilla eli muutosoikosulkuvirralla ja jatkuvan tilan oikosulkuvirralla impedansseissa on eroa erityisesti jos samassa jänniteportaassa on suuria pyöriviä sähkökoneita.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}} * I_{k3} \quad (12)$$

jossa I_{k2} on 2-vaiheinen oikosulkuvirta,

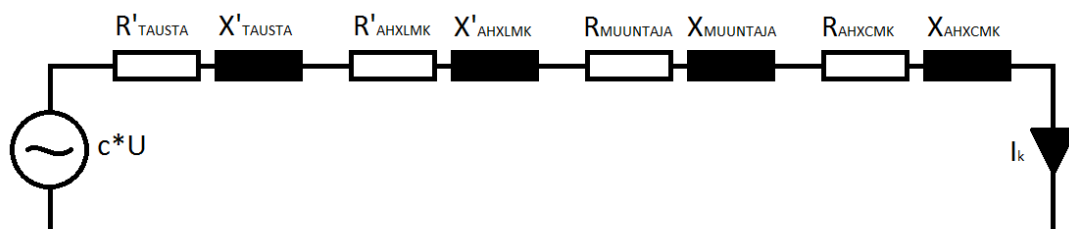
I_{k3} on 3-vaiheinen oikosulkuvirta,

Z_1 on oikosulkupiirin vastaimpedanssi ja

Z_2 on oikosulkupiirin myötäimpedanssi.

4.3.3 Vikavirtojen arviointi ja releasettelujen muutokset

Minimioikosulkuvirran arviointia varten sähköverkosta voidaan tehdä Theveninin menetelmän mukainen sijaiskytkentä kuvan 16 mukaisesti.



Kuva 16. Theveninin menetelmän mukainen sijaiskytkentä.

Lasketaan muuntajan yläjännitepuolen napaoskulosulun kaksivaiheinen minimioikosulkuvirta kaavalla 13:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{cU}{\sqrt{3} * (Z_{SELLEE} + Z_{AHXLMK})} \quad (13)$$

jossa I_{k2} on 2-vaiheinen oikosulkuvirta,

c on oikosulkuvirran laskennassa käytettävä kerroin (IEC 60909),

U on vikapaikan nimellisjännite,

Z_{SELLEE} on taustaverkon impedanssi ja

Z_{AHXLMK} on 110 kV kaapelien impedanssi.

Saadaan arvoksi saadaan 5,5 kA, josta Theveninin menetelmän epätarkkuuden 5 % vähennyksellä saadaan 5,228 kA. 110 kV:n suojarieheen $I \gg$ asettelu on oltava alle tämän.

Redusoimalla Z_{SELLEE} ja Z_{AHXLMK} muuntajan muuntosuhteen yli 33 kV-tasoon ja lisäämällä muuntajan sekä rinnankytkettyjen AHXCMK-kaapeleiden impedanssit vaihekohtaisten kaapeleiden määrällä jaettuna, saadaan kojeiston pisimmän johtolähdön minimioikosulkuvirta laskettua kaavalla 14:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{cU}{\sqrt{3} * (Z'_{SELLEE} + Z'_{AHXLMK} + Z_{T7} + Z_{AHXCMK})} \quad (14)$$

jossa I_{k2} on 2-vaiheinen oikosulkuvirta,

c on oikosulkuvirran laskennassa käytettävä kerroin (IEC 60909),

U on vikapaikan nimellisjännite,
 Z'_{SELLEE} on taustaverkon impedanssi redusoituna,
 Z'_{AHXLMK} on 110 kV kaapelien impedanssi redusoituna,
 Z_{T7} on muuntajan oikosulkuimpedanssi ja
 Z_{AHXCMK} on 33 kV kaapelien impedanssi.

Muuntajan impedanssina käytetään impedanssia käämikytkimen ollessa keskiasennossaan. Kaapelin resistanssin laskentaan eri lähteissä on mainittu eri lämpötiloja, esimerkiksi Lakervi & Partanen mainitsevat kirjassaan "Sähkönjakelutekniikka" 20 kV johdoille käytettävän 40 °C:een lämpötilaa. Toisaalta Huotari & Partanen käyttävät opeusmonisteessaan "Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen" 50 °C lämpötilaa. Standardi IEC 60909-0 määrittää minimioikosulkuvirran laskennassa käytettäväksi johtimien lämpötilaksi niiden lämpötilan oikosulun jälkeen.

Kaapeleiden johtimien lämpötilan arviointi laskemalla menee monimutkaiseksi. Kokeilemalla voidaan havaita, ettei työssä tarvittavissa laskelmissa lämpötilan vaihtamisella ole juurikaan merkitystä minimioikosulkuvirtaan. Laskennassa huomioitavilla kaapeleilla valmistajan antama jatkuva käyttölämpötila on 90 °C, joten minimioikosulkuvirtaa laskettaessa kaapeleiden resistanssina on käytetty 90 °C vaihtovirtaresistanssia (Pirelli 2001, Prysmian 2007). Arvoksi saadaan nykyisellä muuntajalla 11,37 kA ja varamuuntajalla 7,56 kA. 5 %:n epätarkkuus huomioituna arvoiksi saadaan siten 10,80 kA ja 7,18 kA.

Minimioikosulkuvirtojen laskenta vaihe vaiheelta on taulukoituna muuntajalle T8 liitteessä 2 ja muuntajalle T7 liitteessä 3. Liitteessä 7 on laskettu muuntajan T8 minimioikosulkuvirta Excel-laskentataulukon avulla. Muuntajan T7 minimioikosulkuvirta T8:n paikalle siirrettynä on laskettu liitteessä 8. Kaapeleiden sekä laskentatarkkuuden arvioimiseksi, sekä likimääräisen arvioinnin helpottamiseksi, on liitteessä 9 muuntajan vaihdon jälkeinen tilanne taustaverkon minimioikosulkuimpedanssin ja muuntajan oikosulkuimpedanssin perusteella laskettuna. Liitteessä 10 muuntajan vaihdon jälkeisen tilanteen laskemiseen on käytetty vain minimioikosulkuvirtaa ja muuntajan oikosulkuimpedanssia.

Laskelmista voidaan havaita, ettei kaapeleiden impedansseilla ole tässä tapauksessa käytännössä ollenkaan vaikutusta suojausten asetteluun. Virta-asetteluilla ei suojausten

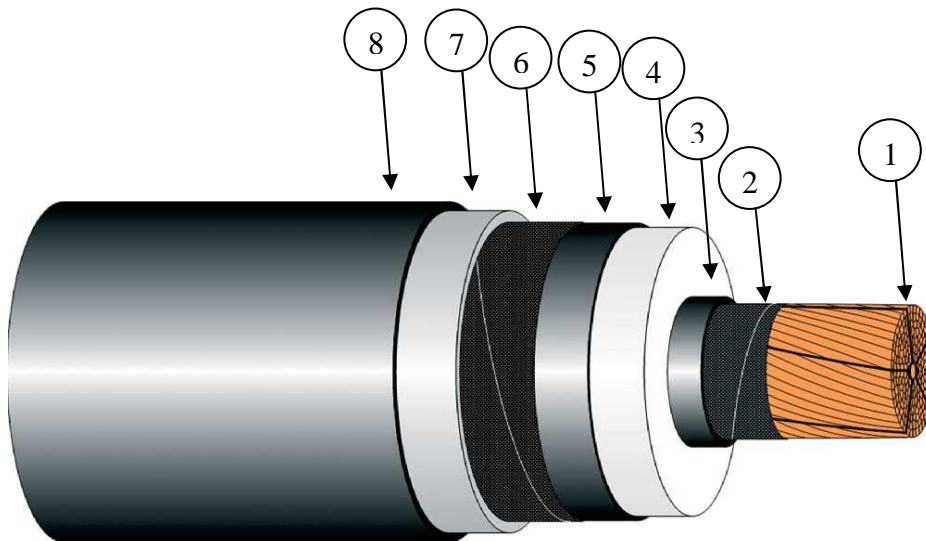
selektiivisyyttä voida varmistaa, joten selektiivisyyden saavuttamiseksi voidaan käyttää eri laukaisuaikoja tai ylemmän portaan lukitsemista.

Selektiivisyyden huomioiminen ei varsinaisesti ole tässä tapauksessa oleellista, sillä ainoa "asiakas" koko kyseisen 110 kV-lähdön perässä on uunimuuntaja. Kytkinaseman kompensoinnin tai muuntajan laukeaminen verkosta aiheuttaa myös uunin alasajon, joten suojauksen selektiivisyydellä ei saavuteta hyötyä pääkytkinasema 4:llä. Selektiivisyyden varmistaminen laukaisuaikoja viivästäväällä lisäisi komponenttien rasitusta vika-tapausten kestoajan pidentyessä.

5 KAAPELIT JA PÄÄTTEET

Suurjännitekaapeleissa varsinaisena virtatienä on alumiinista tai kuparista valmistettu johdin (kuva 17). Eristemateriaalina on nykyisin yleensä muovimateriaalista tai öljykylästeisestä paperista valmistettu paksu eristys, jonka tarkoituksena on pitää eristää johdin hohtosuojasta ja kosketussuojasta. Eristeen täytyy antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus, mutta kyetä samalla siirtämään häviölämpö pois johtimesta. (Aura & Tonteri 1993, 140; Elovaara & Haarla, 2011b, 308)

Mekaanisilta rasituksilta kaapelia suojataan metallisella kosketussuojalla ja muovivaipalla. Metallinen kosketussuoja toimii vikavirtojen kulkutienä, häiriösuojana ja varmistaa että kaapelin rikkoontuessa ulkoisen vian vuoksi saadaan aina ensin myös kulkutie maasulkuvirrälle. (Aura & Tonteri 1993, 140)



Kuva 17. HXLMK -tyyppinen kaapeli, (Prysmian 2007).

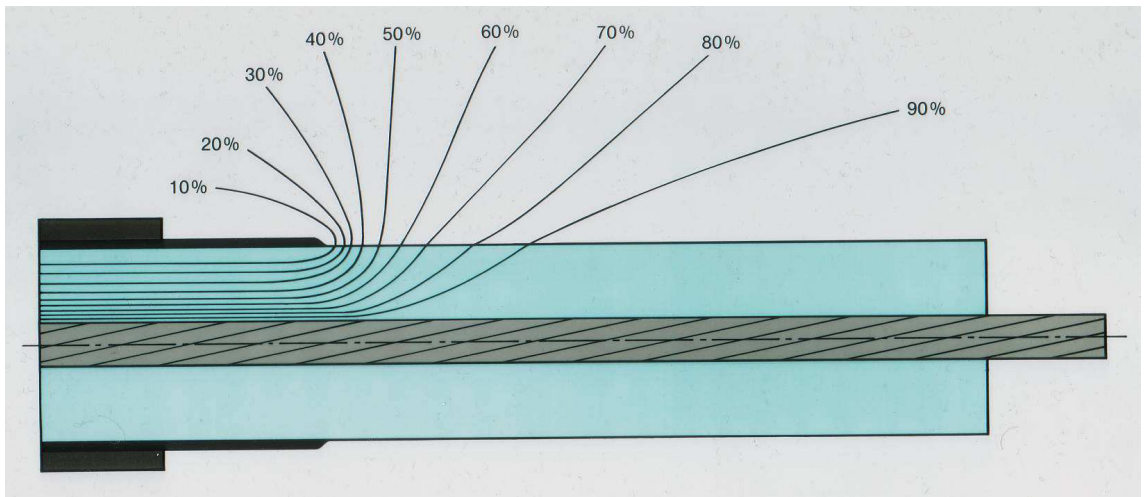
- 1= johdin
- 2= puolijohtava paisuvaisnauha
- 3= puolijohtava johdinsuoja
- 4= johdineriste
- 5= puolijohtava hohtosuoja
- 6= puolijohtava paisuvaisnauha
- 7= kosketussuoja
- 8= muovivaippa

Eristeen molemmilla puolilla olevien puolijohtavien kerrosten (johdinsuojan ja hohotosuojan) tarkoituksena on estää eristekerroksessa mahdollisesti olevien pienten onteloiden aiheuttama osittaispurkaus. Puolijohdekerroksilla pyritään tasaamaan johtimien pinnan epätasaisuudesta johtuvia kentänvoimakkuushuippuja, jotka erityisesti muovikaapeleilla ovat johdineristeelle vahingollisia. Johdinsuojan täytyy myös kyetä siirtämään lämpö johtimesta johdineristykseen. Osittaispurkaukset "syövät" eristekerrosta, ja ajan myötä aiheuttavat läpilyönnin. Puolijohtavilla kerroksilla saadaan johtimien pintojen epätasaisuudesta johtuvat kentänvoimakkuuspiikit minimoitua, ja siten estettyä eristeen vikaantumisen. Eristeen ja metallisen johtimen väliin jäävät ilmakuplat halutaan myös minimoida. (Aro ym. 2011, 150-151; Aura & Tonteri 1993, 140; Elovaara & Haarla, 2011b, 308)

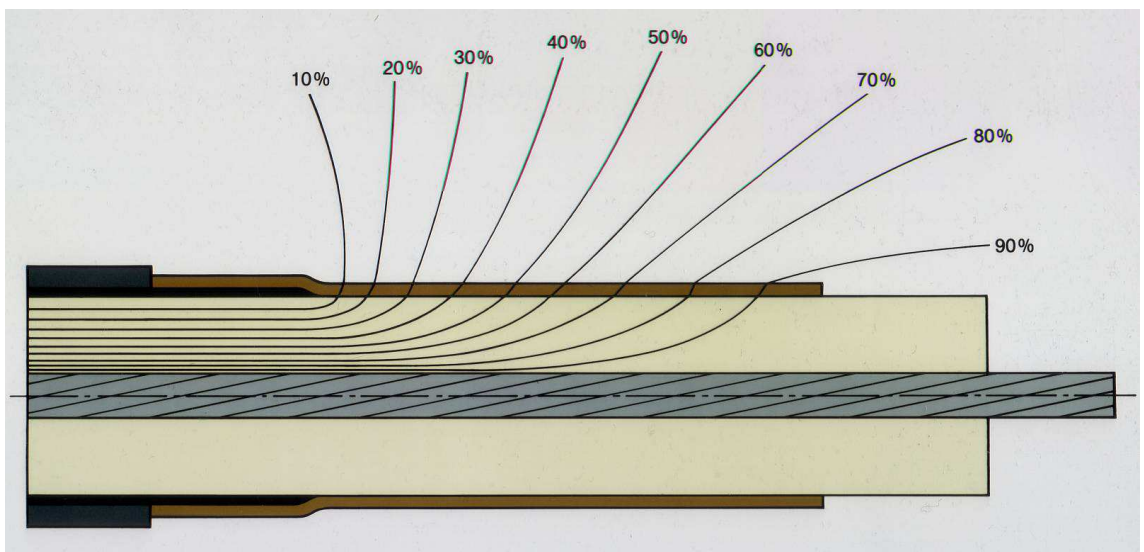
Kaapelin päättyessä esimerkiksi kiskostoon jännitteellinen johdin jatkaa kaapelipäätteen läpi ja maadoitettu kosketussuoja päättyy. Kentänvoimakkuuden jakauma muuttuu ja syntyy paikallisia kentänvoimakkuushuippuja. Tämän vuoksi suurjännitekaapeleilla käytetään erilaisia tekniikoita kentänvoimakkuuden tasaamiseksi. (Aro ym. 154)

Läpivientieristimissä ongelma on periaatteeltaan sama, mutta käytännön menetelmät kentänohjauksessa hieman erilaiset. Käytettävä päätetyyppi riippuu taloudellisten seikkojen ohella nimellisjännitteestä ja virran yliaalloista.

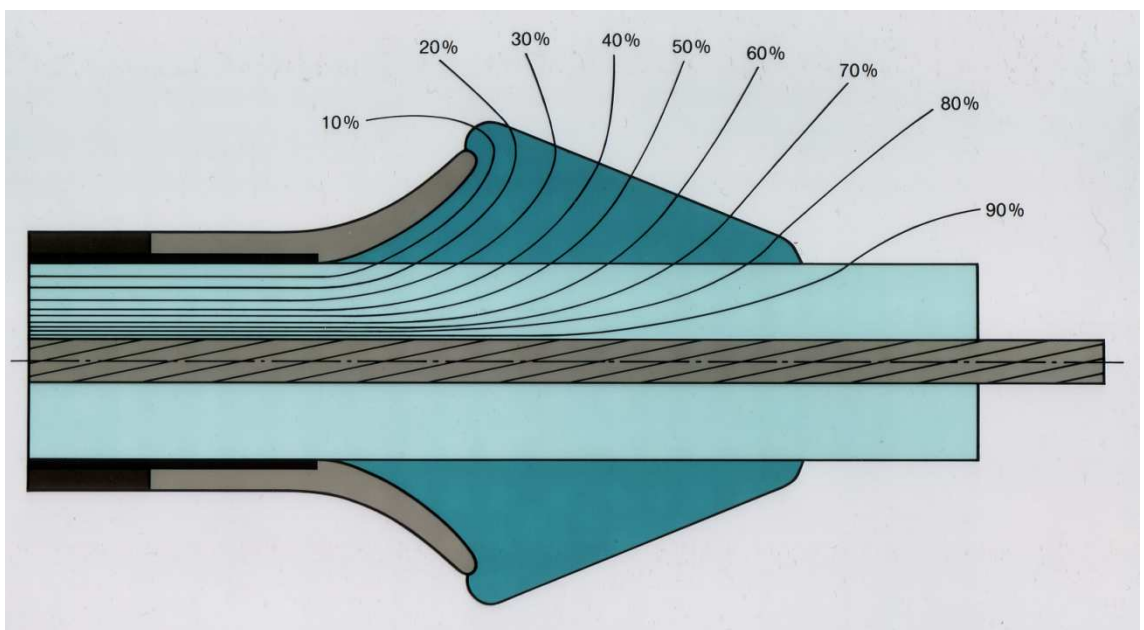
Kentänvoimakkuuden jakautumiseen voidaan vaikuttaa päätteen geometrialla, permittiviteeteillä tai resistiiviskapasitiivisella ohjauksella. Kuvassa 18 on kuvattu kentänvoimakkuutta kuoritussa kaapelissa. Kuvassa 19 nähdään esimerkki kentänohjauksen toteuttamisesta resistiiviskapasitiivisella ohjauksella. Havaitaan jännite-eron tasaantuvan selkeästi alkuperäiseen verrattuna. Geometrisestä päätteestä on esimerkki kuvassa 20.



Kuva 18. Kaapelin kentänvoimakkuus ilman ohjausta (Honka 2012).



Kuva 19. Resistiiiviskapasiivinen ohjaus (Honka 2012).



Kuva 20. Geometrinen ohjaus (Honka 2012).

6 MUUNTAJAN VAIHTO

Ennen muuntajan vaihdon aloitusta täytyy muuntajan T7 syöttämät kuormat siirtää muille päämuuntajille, jotta muuntaja voidaan erottaa verkosta. Kuormitusten jakoa on käsitelty otsikossa 6.1. Muuntaja erotetaan, maadoitetaan ja apu-, suojaus- ja ohjauslaitteet tehdään jännitteettömiksi muuntajan irrotusta varten. Muuntajien T7 ja T8 päävirtapiirin kaapelit puretaan sivuun ja päätteet suojataan. Apulaitekaappien kaapeloinnit puretaan nipuille muuntajabunkkerin reunaan. Muuntajasta T8 irrotetaan muuntajaan T7 tarvittavat radiaattorit ja tuulettimet sekä muut mahdollisesti siirtoa vaikeuttavat osat otsikon 6.3 mukaisesti. Muuntajien siirtämisestä kerrotaan kappaleessa 6.2.

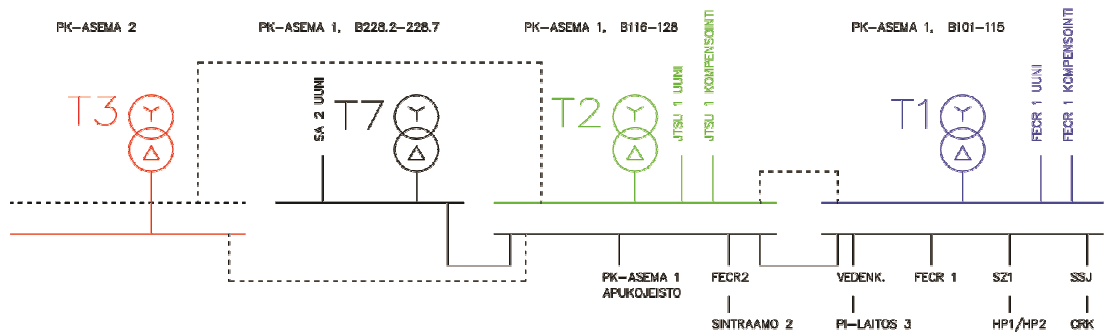
6.1 Muuntajakuormien jakaminen

Varsinaista kytkentäsuunnitelmaa ei työssä ole tehty, sillä vaihtoehtoja on tälläkin hetkellä useita ja verkko voi muuttua ennen huoltoa. Käytettävä kytkentävaihtoehto riippuu oleellisesti myös silloisesta tehtaan tuotantolinjojen ja 110 kV siirtolinjojen kuormituksesta. Opinnäytetyössä on kuitenkin pyritty tarkastelemaan tämänhetkisiä mahdollisuuksia ja eri syöttöreittien kuormitettavuuksia.

Muuntajan T8 osalta ei tällä hetkellä ole kuin yksi kytkentävaihtoehto, kuten liitteestä 1 voi havaita. Muuntaja T7 syöttää tehdasalueella monia eri 20 kV-kojeistoja. Siirtojen ja muuntajan T8 huollon ajan nämä kuormat täytyy syöttää muilla päämuuntajilla. Tavallista 20 kV-jakelua hoitaa normaalitilanteessa 4 muuntajaa:

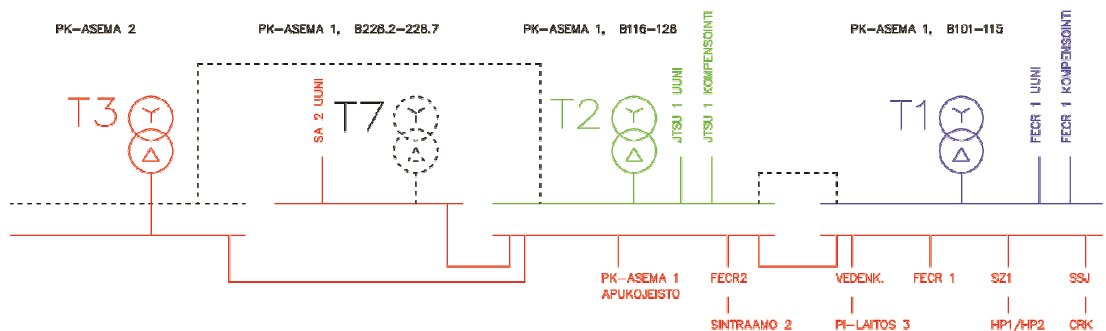
- T7 Pääkytkinasema 1:llä
- T3 Pääkytkinasema 2:lla
- T10 Kylmävalssaamolla
- T20 Kuumavalssaamolla.

Kuvassa 21 on kuvattu pääkytkinasemien 1 ja 2 kojeistojen kytkentää muuntajan T7 ollessa käytössä.



Kuva 21. Normaalitilanne.

Muuntajan T7 ollessa poissa käytöstä on eräs mahdollisuus syöttää kaikki T7:n kuormat muuntajalla T3 kuvan 22 mukaisesti. Muuntajan T3 kuormitus voi kuitenkin nousta liian suureksi, jolloin mahdollisuuksien mukaan voidaan harkita joidenkin kuormien siirtämistä kylmävalssaamon ja kuumavalssaamon päämuuntajille.

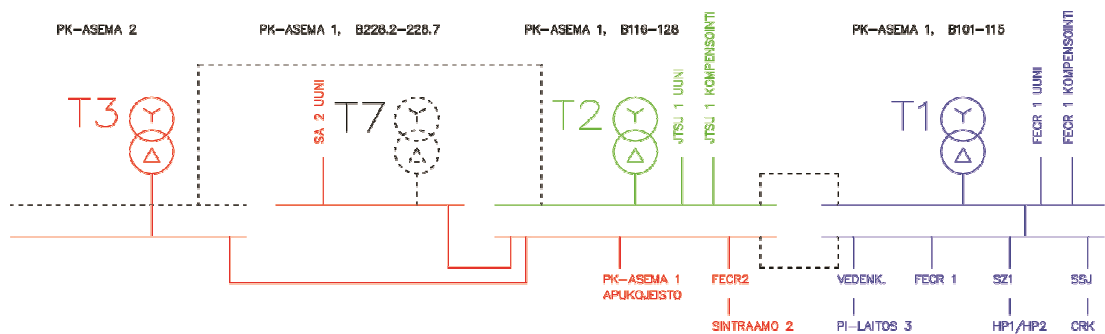


Kuva 22. Kuormien syöttö T3:lla.

Kuumavalssaamolla muuntajalle T20 on mahdollista siirtää muuntajalla T7 olevia kuormia, mutta valssaamisessa syntyvät kuormituspiikit voivat aiheuttaa ongelmia kuormituksen kasvaessa. Kylmävalssaamolla ongelma on vastaavanlainen. Muuntajalle T10 on mahdollista siirtää kuormia, mutta jakeluketjun alkupäässä virrat voivat kasvaa kuormitushuipuissa liian suuriksi ja mikäli useammalla tuotantolinjalla valssaus käyn-

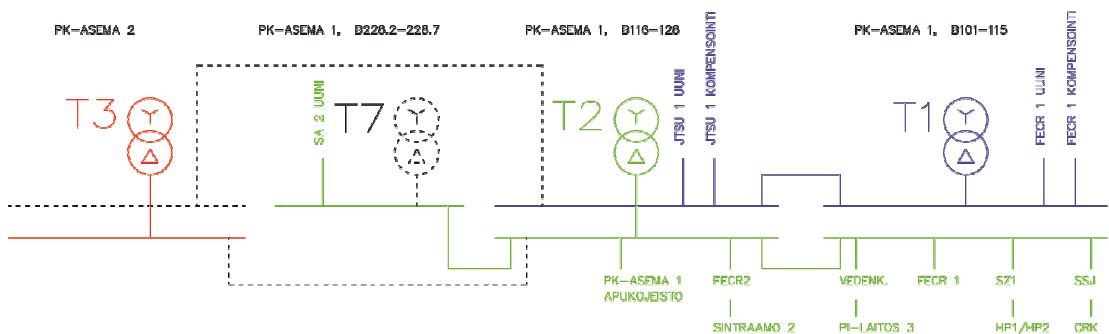
nistyy yhtä aikaa. Myös kompensoinnit asettavat rajoitteita muuntajien T10 ja T20 käytölle korvaustilanteessa.

Valokaariuunit aiheuttavat verkkoon häiriöitä, joten normaalitilanteessa vain kompensointilaitteistot ovat kytkettyinä uunimuuntajien rinnalle. T1 syöttää normaalitilanteessa ferrokromisulatto 1:n valokaariuunia, jonka kuormitus pysyy sulaton toimiessa täydellä teholla melko tasaisena ja jännitehäiriöt vähäisinä. Tässä tilanteessa voitaisiin toisena vaihtoehtona käyttää muuntajaa T1 syöttämään osaa muuntajan T7 kuormasta kuvan 23 mukaisesti. Mahdollista on myös syöttää koko T7:n kuorma muuntajalla T1.



Kuva 23. Kuormien syöttö T1:llä ja T3:lla.

Mikäli halutaan edelleen pitää muuntajan T7 syöttämät kuormat omalla päämuuntajalla, voidaan kolmantena vaihtoehtona käyttää kuormien syöttämiseen muuntajaa T2. Tällöin muuntajalla T1 syötettäisiin ferrokromisulatto 1:n ja terässulatto 1:n uuneja. Kuvassa 24 on esitettyä tämä kytkentämahdollisuus.



Kuva 24. Kuormien syöttö T2:lla.

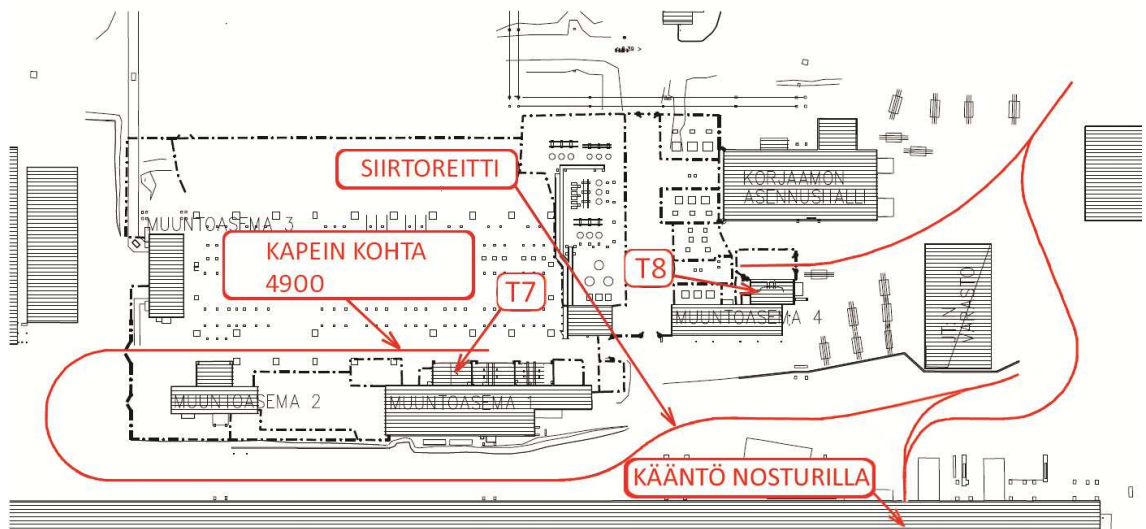
6.2 Muuntajien siirtäminen

Muuntajien siirron suorittaa ulkopuolinen kuljetusyritys, joka tekee myös varsinaiset siirto- ja nostosuunnitelmat. Omat vaatimuksensa siirtokalustolle asettaa muuntajan T7 yläpuolella olevat kattorakenteet, ja on syytä miettiä voisiko bunkkeriin tehdä rakenteellisia muutoksia sen ollessa tyhjiällä. Todennäköisesti siirtomenetelmänä tulee olemaan muuntajan nostaminen ylös hydraulisen nostokaluston avulla, ja veto kiskoja pitkin huoltokäytävälle. Tämän jälkeen se täytyy tunkata uudelleen ylös pukeille, jotta siirtokiskot saadaan pois ja lavetti peruutettua alle.

Muuntajan T7 edessä olevan huoltokäytävän pintamateriaalina on sora, ja reitillä on kaapelikanavia, joissa on syytä käyttää ylimääräisiä metallilevyjä jotta kanavia suojaavat betonikannet eivät murre. Huoltokäytävä on itäpäästä, portin korkeudelta kapeimmillaan 4,8 m ja ylempää putkisillan korkeudelta 4,6 m, joten muuntajaa ei saada siirrettyä ilman muutoksia rakenteisiin tai muuntajan osien irrottamista.

Mikäli muuntaja T7 kuljetetaan huoltokäytävää pitkin länteen, on reitin leveys kapeimmillaan noin 5 m, jolloin muuntaja juuri ja juuri mahtuisi käytävälle, mutta siirtäminen voi käytännössä olla haastavaa. Ahtaimmalta kohdalta voitaisiin myös mahdollisesti purkaa tiellä olevaa aitaa väliaikaisesti. Muuntajan takapuolen radiaattorit irrottamalla ongelmia siirrossa tätä kautta tuskin tulisi, mutta radiaattoreiden irrottaminen ja takaisin asentaminen lisää siirrossa kuluvaa aikaa.

Kuvassa 25 on muuntajan T7 siirtoreitti muuntajan T8 bunkkerille.



Kuva 25. Hahmotelma siirtoreitistä.

Mikäli vaihdossa käytetään yhtä siirtolavettia, on vaihto syytä aloittaa siirtämällä muuntaja T8 pois bunkkeristaan. Jos muuntaja kuljetetaan pois tehdasalueelta samalla lavetilla, se voidaan siirtää väliaikaisesti esimerkiksi terässulatolle ja nostaa, mahdollisesti panostusnosturilla, pois lavetilta, jotta muuntaja T7 saadaan siirrettyä. Muuntajasta T8 tulee irrottaa ne radiaattorit ja tuulettimet, jotka tarvitaan toiseen muuntajaan.

Muuntajien kuljetuspainon pienentämiseksi voidaan muuntajaöljyä joutua vähentämään. Jotta muuntajaan ei pääse kosteutta, täytyy poistettu öljy korvata tyypellä tai kuivalla teollisuusilmalla. Öljyä on muuntajissa kymmeniä tonneja, joten mikäli öljyn poistamiseen päädytään, täytyy varata riittävästi puhdasta ja kuivaa säiliökapasiteettia.

6.3 Muutokset muuntajaan T7

Muuntaja T7 on normaalikäytössä 110/21 kV muuntajana. Muuntosuhteen vaihtamista varten muuntajan T7 kannella on 3 huoltoluukkuja, joista kunkin vaiheen muuntosuhde muutetaan kytkentäliuskojen avulla. Muuntaja T7 on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Muuntaja T7 bunkkerissaan (intranet).

21 kV käytössä muuntajan nimellisteho on 100 MVA, edellyttäen 8 radiaattoria ja 4 tuuletinta. 33 kV käytössä, 16 radiaattorilla ja 8 tuulettimella muuntajan nimellisteho on 160 MVA. Nämä 8 radiaattoria ja 4 tuuletinta on irrotettava muuntajasta T8. Mikäli muuntaja T8 vaurioituu niin pahasti, ettei kyseisiä osia voida käyttää T7:ssä, niitä joudutaan hankkimaan lisää.

6.4 Ohjaus ja suojaus

Muuntajien T7 ja T8 komponentit ovat lähestulkoon identtisiä, samoin jännitteensäätäjät. Joitain pieniä eroavaisuuksia johdotuksessa kuitenkin löytyy. Muuntajan T7 nykyinen johdotus on liitteessä 4, muuntajan T8 nykyinen johdotus liitteessä 5 ja muuntaja T7 siirrettynä T8:n paikalle liitteessä 6. Taulukot on laadittu kytkinaseman mappien ja WebDohan eli intranetin dokumenttitietokannan perusteella, ja niihin on tehty korjauksia silmämääräisesti tehtyjen tarkistusten ja punakynäkuvien perusteella.

Muuntajasuojista laukaisevina ovat öljyn lämpötila, käämin lämpötilan kuvaaja, kaasurele, käämikytkimen painerele sekä ylipaineventtiilien mikrokytkimet. Muuntajien käämikytkimen öljynsuodattimen paine on aiemmin ollut laukaisevana, mutta se on muutettu hälyttäväksi.

Muuntajissa on yli 30 tonnia muuntajaöljyä, joten paloturvallisuuden vuoksi käytössä on sprinklerijärjestelmä. Sprinklerin laukeaminen aiheuttaa muuntajan hätäseislaukaisun. Hätäseis-painike on myös muuntajabunkkerissa olevassa ohjauskotelossa, josta näkee myös erottimien ja maadoituserottimien asennot.

7 POHDINTA

Tavoitteena oli perehtyä Outokummun terästehtaan kahden suurmuuntajan eroavaisuuksiin sekä muuntajan vaihdon yhteydessä todennäköisiin haasteisiin.

Muuntajien ohjaus-, suojaus- ja apulaitepiirikaaviot tarkastettiin ja havaitut muutokset vietiin "punakynäversioihin". Näiden perusteella tehtiin alustavat kuvat myös muuntajan vaihdon jälkeiseen tilanteeseen. Muuntajan vaihdon vaikutuksia sähköverkon impedansseihin ja vikavirtoihin tarkasteltiin, ja tehtiin laskentataulukko minimioikosulkuvirran likimääräistä arviointia varten. Kaikkiin työhön alun perin suunniteltuihin osaluaisiin ei perehdytty. Toisaalta esimerkiksi vikavirtalaskentoja käsiteltiin suunniteltua enemmän.

Edellisten kesien työharjoitteluissa olin jo ehtinyt tutustua työn aiheena olleisiin muuntajiin ja kojeistoihin, mutta työssä perehdyin niiden ominaisuuksiin tarkemmin. Suojareiden ja muuntajasuojien toiminnasta ja niiden koestuksesta olin myös saanut aiemmin käytännön kokemusta, mutta opinnäytetyön aikana ehdin perehtymään myös niiden tekniisiin ominaisuuksiin ja toimintaperiaatteisiin. Myös kaapeleiden ja päätteiden rakenteista ja kentänohjauksista sain paljon uutta tietoa, ja perehdyin teoriatasolla myös erilaisten säädettävien loistehon kompensointilaitteistojen toimintaan.

Muuntajan vaihdossa kuluvan ajan minimoimiseksi on jatkossa syytä tarkistaa, voidaanko huoltokäytävään tehtävillä muutoksilla välttää radiaattoreiden irrottaminen. Mahdollisesti siirrossa tarvittavien varaosien saatavuuden selvittäminen, ja joidenkin osien hankkiminen etukäteen varastoon tulee myös kyseeseen. Vaihdon sujuvuuden varmistaisi tarkat ohjeistukset muuntosuhteen vaihdosta ja muuntajan käyttöönotosta sekä suunnitelma sprinklerijärjestelmään tarvittavista toimenpiteistä.

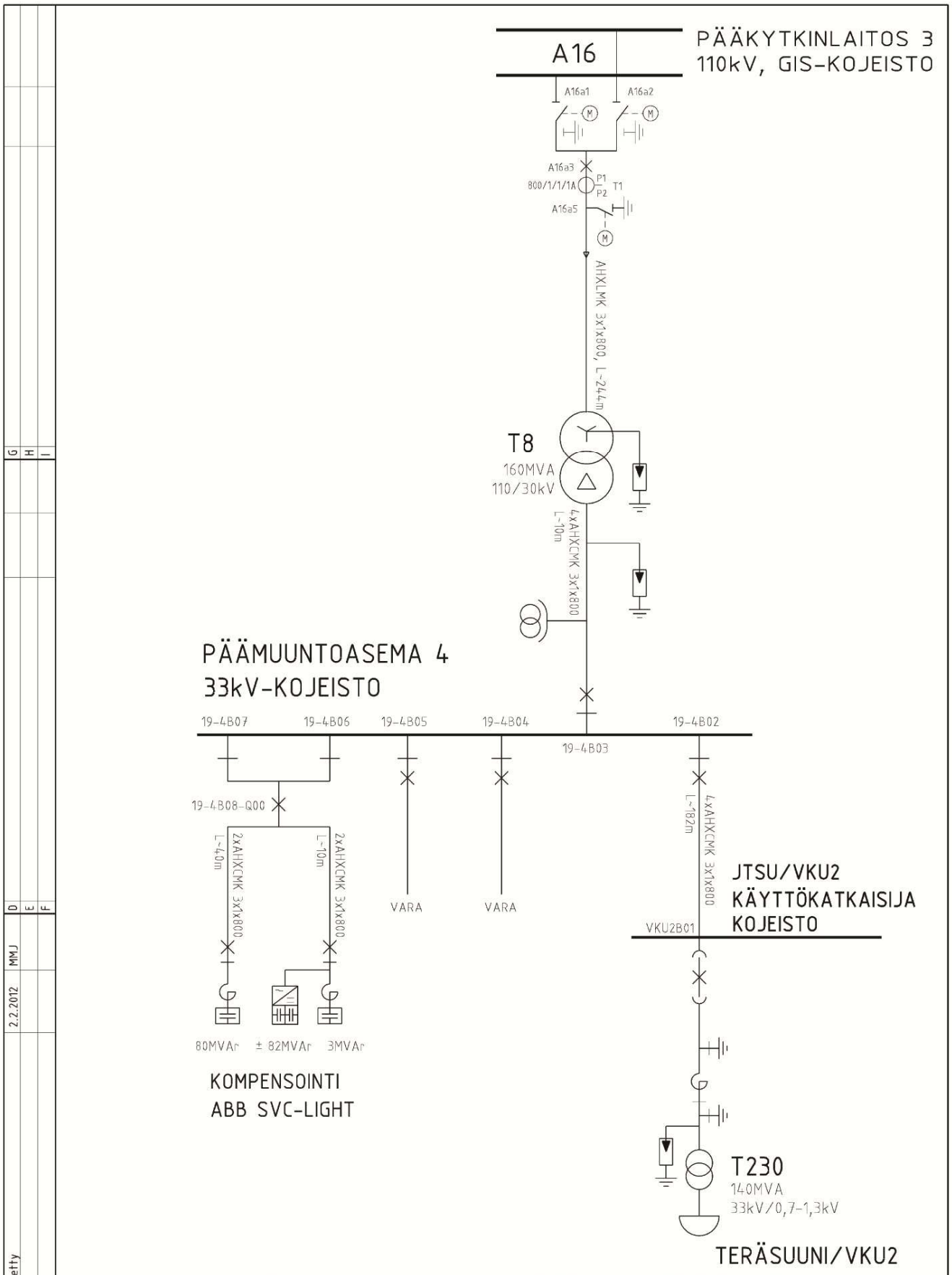
LÄHTEET

- ABB, 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa: Suomalaiset ABB-yhtiöt.
- ABB, 2003. SVC Light: a powerful flicker mitigator. Hakupäivä 17.9.2012
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/e463705c26c5b4ebc12571ea00278998/\\$file/a02-0199%20e%20lr.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/e463705c26c5b4ebc12571ea00278998/$file/a02-0199%20e%20lr.pdf)>
- Aro, Martti & Elovaara, Jarmo & Karttunen, Matti & Nousiainen, Kirsi & Palva, Veikko, 2011. Suurjännitetekniikka. Helsinki: Otatieto.
- Aura, Lauri & Tonteri, Antti 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY
- Grünbaum, R. & Gustafsson, T. & Hasler, J-P. & Larsson, T. & Lahtinen M., 2004. STATCOM for safeguarding of power quality in feeding grid in conjunction with steel plant expansion. Hakupäivä 17.9.2012.
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/f015d039fa7c88b8c1256fda0049c26f/\\$file/Cigre2004_AvestaPolarit_4.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/f015d039fa7c88b8c1256fda0049c26f/$file/Cigre2004_AvestaPolarit_4.pdf)>
- Grünbaum, Rolf & Halvarsson, Bruno & Wilk-Wilczynski, Aleksander, 1999. FACTS and HVDC light for power system interconnections. Hakupäivä 8.11.2012.
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/366bf5807c309805c1256fda0049c26c/\\$file/powdelfact.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/366bf5807c309805c1256fda0049c26c/$file/powdelfact.pdf)>
- Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011a. Sähköverkot I. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011b. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.
- Honka, Jukka 2012. Luentokalvot kurssilta Tyco Electronics 20kV kaapelivarusteet.
- Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Opetusmoniste 3. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- Kromi & Teräs, 1/2013, 14-15.
- Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- Mörsky, Jorma 1992. Relesuojaustekniikka. Espoo: Otatieto.
- Outokumpu, 2012a. Outokumpu Annual Report 2011. Hakupäivä 29.9.2012
<http://ar2011.outokumpu.com/files/outokumpu2011/pdf/Annual_Report.pdf>
- Outokumpu, 2012b. Animaatio tuotantoprosessista. Hakupäivä 29.9.2012.
<http://www.outokumpu.com/FlashDocuments/Animation/FI_Sustainability/index.html>
- Outokumpu, 2013a. Annual Report 2012 - Our operating environment. Hakupäivä 21.7.2013.
<<http://reports.outokumpu.com/en/2012/business/our-operating-environment>>
- Outokumpu, 2013b. Annual Report 2012 – Energy efficiency. Hakupäivä 24.7.2013<<http://reports.outokumpu.com/en/2012/sustainability/our-impact-on-the-environment/energy-efficiency>>
- Pirelli, 2001. Cable Specification. (intranet)
- Prysmian, 2007. High Voltage Cables. Hakupäivä 26.9.2012
<http://www.prysmian.fi/export/sites/prysmian-fi/FI/attach/pdf/Powercables/HV_Cables_Brochure_2007.pdf>
- Siemens, 2012a. SIPROTEC Catalog SIP-E6, 7SJ62. Hakupäivä 18.9.2012
<http://siemens.siprotec.de/download_neu/devices/1_General/Catalog_SIP-E6/05_Overcurrent_Protection/7SJ62_Catalog_SIP_E6.pdf>
- Siemens, 2012b. SIPROTEC Catalog SIP-E6, 7SD61. Hakupäivä 8.10.2012
<http://siemens.siprotec.de/download_neu/devices/1_General/Catalog_SIP-E6/07_Line_Differential_Protection/7SD61_Catalog_SIP_E6.pdf>

LIITTEET

- Liite 1. 33 kV yleiskaavio
- Liite 2. Minimioikosulkuvirrat T8:lla (käsini)
- Liite 3. Minimioikosulkuvirrat T7:lla (käsini)
- Liite 4. Johdotustaulukko, T7 20 kV
- Liite 5. Johdotustaulukko, T8 33 kV
- Liite 6. Johdotustaulukko, T7 33 kV
- Liite 7. Laskenta Excel-tilukolla, T8
- Liite 8. Laskenta Excel-tilukolla, T7
- Liite 9. Likimääräisempi arviointi taustaverkon impedanssilla, T7
- Liite 10. Likimääräisempi arviointi taustaverkon minimioikosulkuvirralla, T7

Liite 1, 33 kV yleiskaavio.



A	Kaavio päivitetty	B	C	D	E	F	MMJ	2.2.2012	TOIMITAJA	HYVÄKSYNYT	PW	MAPPI/VÄLILEHTI	POSITIO	
											TARKASTANUT	M1169 / 04	S-0-110kV	
											TEHNYT	KORVAA	SUHDE	TOIMITTAJAN NUMERO
											AIP	LIITTYY REF. 3404162.dgn	LEHTI	PIIRUSTUSNUMERO
B	TEHDAS/OSASTO	SÄHKÖNJAKELU/33kV	33kV SÄHKÖNJAKELU YLEISKAAVIO PÄÄMUUNTOASEMA 4	21.1.2004	3427463 - 3	REVISIO	A							

Liite 2, Minimioikosulkuvirrat T8:lla (käsin).

Fingridin antamat impedanssit Selleen 110kV-tasoon				
Ik' max	8,3 kA	(	0,3 + j	8,65)
Ik' min	6,8 kA	(	1,8 + j	9,8)
Josta voidaan 2-vaiheisen minimioikosulkuvirran arvoksi arvioida				
AHXLMMK 3x 1x800 kaapelia	0,244 km			
impedanssiksi saadaan				
Käytetään AC-resistanssin 90C arvoa (johtimen suurin jatkuva käyttölämpötila)				
	Zj110	(	0,013664 + j	0,02759575)
Yhteensä	Ztot1	(	1,813664 + j	9,82759575)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		110 kV	
	Ik3vmin		6,354953	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		5,503551	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			5,228373	kA
110kV:n I>> asettelun oltava alle tämän				
Muuntajan T8 takaa "näkyvä" minimioikosulku				
Käämikytkin asennossa 10				
	Zt	(	0,105875 + j	6,12470996)
Yhteensä	Zajpuoli	(	1,919539 + j	15,9523057)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		110 kV	
	Ik3vmin		3,952638	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		3,423085	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			3,25193	kA
110kV:n I> asettelun oltava alle tämän				
33kV-kojeiston minimioikosulku				
Redusoidaan 110kV puolen Ztot1				
	Z'tot1	(	0,16323 + j	0,88448362)
Käämikytkin asennossa 10				
	Zt	(	0,009529 + j	0,5512239)
Kaapelia n. 10m, 4x3x800 , josta saadaan				
0,01 km		(	0,00056 + j	0,00097389)
kerrotaan 1/4, koska 4 kaapelia		(	0,00014 + j	0,00024347)
yhteensä	Ztot2	(	0,172899 + j	1,43595099)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		33 kV	
	Ik3vmin		13,1731	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		11,40824	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			10,83783	kA
33kV:n syöttökentän I>> asettelujen oltava alle tämän				
VKU2-käyttökaisijalle minimioikosulku				
	Ztot2	(	0,172899 + j	1,43595099)
Kaapelia n. 180m, 4x3x800 , josta saadaan				
0,18 km		(	0,01008 + j	0,01753009)
kerrotaan 1/4, koska 4 kaapelia		(	0,00252 + j	0,00438252)
yhteensä	Ztot3	(	0,175419 + j	1,44033351)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		33 kV	
	Ik3vmin		13,13085	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		11,37165	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			10,80307	kA
33kV:n uunikentän I>> asettelujen oltava alle tämän				

Liite 3, Minimioikosulkuvirrat T7:lla (käsin).

Fingridin antamat impedanssit Selleen 110kV-tasoon				
Ik' max	8,3 kA	(	0,3 + j	8,65)
Ik' min	6,8 kA	(	1,8 + j	9,8)
Josta voidaan 2-vaiheisen minimioikosulkuvirran arvoksi arvioida				
AHXLMMK 3x 1x800 kaapelia	0,244 km			
impedanssiksi saadaan				
Käytetään AC-resistanssin 90C arvoa (johtimen suurin jatkuva käyttölämpötila)				
	Zj110	(	0,013664 + j	0,02759575)
Yhteensä	Ztot1	(	1,813664 + j	9,82759575)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		110 kV	
	Ik3vmin		6,354953	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		5,503551	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			5,228373	kA
110kV:n l>> asettelun oltava alle tämän				
Muuntajan T7 takaa "näkyvä" minimioikosulku				
Käämikytin asennossa 10				
	Zt	(	0,219313 + j	14,2914423)
Yhteensä	Zajpuoli	(	2,032977 + j	24,1190381)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		110 kV	
	Ik3vmin		2,623824	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		2,272299	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			2,158684	kA
110kV:n l> asettelun oltava alle tämän				
33kV-kojeiston minimioikosulku				
Redusoidaan 110kV puolen Ztot1 (kaava 12)				
	Z'tot1	(	0,16323 + j	0,88448362)
Käämikytin asennossa 10				
	Zt	(	0,019738 + j	1,28622981)
Kaapelia n. 10m, 4x3x800 , josta saadaan				
0,01 km		(	0,00056 + j	0,00097389)
kerrotaan 1/4, koska 4 kaapelia		(	0,00014 + j	0,00024347)
yhteensä	Ztot2	(	0,183108 + j	2,1709569)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		33 kV	
	Ik3vmin		8,74506	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		7,573444	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			7,194772	kA
33kV:n syöttökentän l>> asettelujen oltava alle tämän				
VKU2-käyttökaisijalle minimioikosulku				
	Ztot2	(	0,183108 + j	2,1709569)
Kaapelia n. 180m, 4x3x800 , josta saadaan				
0,18 km		(	0,01008 + j	0,01753009)
kerrotaan 1/4, koska 4 kaapelia		(	0,00252 + j	0,00438252)
yhteensä	Ztot3	(	0,185628 + j	2,17533942)
Josta Ik 3v min				
	c		1	
	U		33 kV	
	Ik3vmin		8,726715	kA
Josta Ik 2v min				
Oletetaan Z1=Z2	Ik2vmin		7,557557	kA
Theveninin epätarkkuus 5%			7,179679	kA
33kV:n uunikentän l>> asettelujen oltava alle tämän				

Liite 4, Johdotustaulukko, T7 20 kV.

Muuntajan pienjännitekaapeloinnin johdotustaulukko				
T7 normaalikäyttö				
	Mistä	Kaapeli	Mihin	Syöttävä sulake/liitin
	T7-AK1	19-2290	K200.07.07.F2	
N	4	si	N	
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	1	mu	F2/L1	K200.07.07.F2
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	2	ru	F2/L2	K200.07.07.F2
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	3	va	F2/L3	K200.07.07.F2
PE	5	kevi	PE	
	T7-AK1	19B228.7-W4	B228.7	
Hälytysten +48V _{DC} (SACO)	30	1	X7:21	B228.7: X7:21
Lämpötilahälytys	31	2	X7:24	B228.7: X7:24
Kaasurelahälytys	43	3	X7:25	B228.7: X7:25
Muuntajan öljynpintah.	47	4	X7:26	B228.7: X7:26
Käämikytkimen öljynpintah.	51	5	X7:27	B228.7: X7:27
Suojakytin lauennut	151	6	X7:28	B228.7: X7:28
Muuntajasuoja lauennut	708	7	X7:29	B228.7: X7:29
Hälytysten +48V _{DC} (SACO)	56	8	X7:31	B228.7: X7:31
KK:n öljynsuodattimen paineh.	57	9	X7:32	B228.7: X7:32
	T7-AK1	19-3181	19OK05	
Laukaisu sprinkleristä	65	si	18	T7-AK1: F39 / -
Koskettimelle +110V _{DC}	64	ru	19	T7-AK1: F39 / +
	T7-AK1	19-2292	19TSK02.F11	
Syöttö 110V _{DC-}	710	si	F11 / -	19TSK02.F11
Syöttö 110V _{DC+}	700	mu	F11 / +	19TSK02.F11
	T7-AK1	19-2289	A15.RK5	
110kV 1. laukaisun +110V _{DC}	701	1	X2:2	A15.RK5: X2:2A
110kV 1. laukaisu	702	2	X2:5	A15.RK5: X2:5A
110kV 2. laukaisun +110V _{DC}	703	3	X4:2	A15.RK5: X4:2A
110kV 2. laukaisu	704	4	X4:5	A15.RK5: X4:5A
	T7-AK1	19B228.5-W6	B228.5	
20kV laukaisun +110V _{DC}	705	1	X2:3	B228.5: X2:3A
20kV laukaisu	706	2	X2:41	B228.5: X2:41A
	T7-AK2	19-2279	K200.0707.F1	
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:1	1	F1/L1	K200.0707.F1
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:2	2	F1/L2	K200.0707.F2
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:3	3	F1/L3	K200.0707.F3
N	X1:N	4	N	
PE	X1:PE	kevi	PE	
	T7-AK2	19-2278	K200.0707.F8	
N	X3:3	si	N	
230V _{AC} KK:n ohjaukselle	X3:1	mu	F8	K200.0707.F8
PE	PE	kevi	PE	
	T7-AK2	0-19OK03-W1	0-19OK03	
230V _{AC} asennon etäohjaukselle	X3:4	1	119	K200.0707.F8
Asennon nosto (230V _{AC})	X3:5	2	121	K200.0707.F8
Asennon lasku (230V _{AC})	X3:6	3	122	K200.0707.F8
Asennonosoitus	X5:1	4	123	K200.0707.F8
Asennonosoitus	X5:2	5	124	K200.0707.F8
Asennonosoitus	X5:3	6	125	K200.0707.F8
230 V _{AC} jännitteensäätäjälle	X4:7	7	129	K200.0707.F8
N jännitteensäätäjälle	X2:4	8	130	
Käämikytkin käy (230V _{AC})	X4:8	9	131	K200.0707.F8
Koskettimelle +48V _{DC} (SACO)	X4:13	10	132	B228.7: X7:21
KK:n moottorisuojak. lauennut	X4:15	11	133	B228.7: X7:28

Liite 5, Johdotustaulukko, T8 33 kV.

Muuntajan pienjännitekaapeloinnin johdotustaulukko				
T8 normaalikäyttö				
	Mistä	Kaapeli	Mihin	Syöttävä sulake/liitin
	T8-AK1	19-2288	19V201-0202.F7	
N	4	si	N	
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	1	mu	F7/L1	19V201-0202.F7
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	2	ru	F7/L2	19V201-0202.F7
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	3	va	F7/L3	19V201-0202.F7
PE	5	kevi	PE	
	T8-AK1	19-4B07-W3	19-4B07	
Hälytysten +48V _{DC} (SACO)	30	1	X30:423	19-4B07: X30:423A
Lämpötilahälytys	31	2	X30:411	19-4B07: X30:411A
Kaasurelahälytys	39	3	X30:412	19-4B07: X30:412A
Muuntajan öljypintah.	43	4	X30:413	19-4B07: X30:413A
Käämikytkimen öljypintah.	47	5	X30:414	19-4B07: X30:414A
Suojakytkin lauennut	151	6	X30:415	19-4B07: X30:415A
Muuntajasuoja lauennut	706	7	X30:416	19-4B07: X30:416A
	T8-AK1	19-2286	0-19KK401	
Öljyn lämmön mittaus -	59	1	X2:201	0-19KK401: X2:201
Öljyn lämmön mittaus AI	58	2	E1:AI:1	0-19KK401: E1:AI:1
Käämin lämmön mittaus -	61	3		
Käämin lämmön mittaus AI	60	4		
	T8-AK1	19-2291	19-4TSK01.F17	
Syöttö 110V _{DC-}	709	si	F17 / -	19-4TSK01.F17
Syöttö 110V _{DC+}	700	mu	F17 / +	19-4TSK01.F17
	T8-AK1	19-2287	A16.RK6	
110kV 1. laukaisun +110V _{DC}	701	1	X2:2	A16.RK6: X2:2A
110kV 1. laukaisu	702	2	X2:5	A16.RK6: X2:5A
110kV 2. laukaisun +110V _{DC}	703	3	X4:2	A16.RK6: X4:2A
110kV 2. laukaisu	704	4	X4:5	A16.RK6: X4:5A
	T8-AK2	19-2273	19V201-0202.F8	
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:1	1	F8/L1	19V201-0202.F8
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:2	2	F8/L2	19V201-0202.F8
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:3	3	F8/L3	19V201-0202.F8
N	X1:N	4	N	
PE	X1:PE	kevi	PE	
	T8-AK2	19-2272	19V201-0202.F12.1	
N	X3:3	si	N	
230V _{AC} KK:n ohjaukselle	X3:1	mu	F12/L1	19V201-0202.F12.1
PE	PE	kevi	PE	
	T8-AK2	0-19OK401-W1	19OK401	
230V _{AC} asennon etäohjaukselle	X3:4	1	119	19V201-0202.F12.1
Asennon nosto (230V _{AC})	X3:5	2	121	19V201-0202.F12.1
Asennon lasku (230V _{AC})	X3:6	3	122	19V201-0202.F12.1
Asennonosoitus	X5:1	4	123	19V201-0202.F12.1
Asennonosoitus	X5:2	5	124	19V201-0202.F12.1
Asennonosoitus	X5:3	6	125	19V201-0202.F12.1
230 V _{AC} jännitteensäätäjälle	X4:7	7	129	19V201-0202.F12.1
N jännitteensäätäjälle	X2:4	8	130	
Käämikytkin käy (230V _{AC})	X4:8	9	131	19V201-0202.F12.1
Koskettimelle +48V _{DC} (SACO)	X4:13	10	132	19-4B07: X30:423A
KK:n moottorisuojak. lauennut	X4:15	11	133	19-4B07: X30:415A

Liite 6, Johdotustaulukko, T7 33 kV.

Muuntajan pienjännitekaapeloinnin johdotustaulukko				
T7 normaalikäyttö				
	Mistä	Kaapeli	Mihin	Syöttävä sulake/liitin
	T7-AK1	19-2290	K200.07.07.F2	
N	4	si	N	
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	1	mu	F2/L1	K200.07.07.F2
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	2	ru	F2/L2	K200.07.07.F2
Muuntajakotelon 400V _{AC} syöttö	3	va	F2/L3	K200.07.07.F2
PE	5	kevi	PE	
	T7-AK1	19B228.7-W4	B228.7	
Hälytysten +48V _{DC} (SACO)	30	1	X7:21	B228.7: X7:21
Lämpötilahälytys	31	2	X7:24	B228.7: X7:24
Kaasurelahälytys	43	3	X7:25	B228.7: X7:25
Muuntajan öljynpintah.	47	4	X7:26	B228.7: X7:26
Käämikytkimen öljynpintah.	51	5	X7:27	B228.7: X7:27
Suojakytin lauennut	151	6	X7:28	B228.7: X7:28
Muuntajasuoja lauennut	708	7	X7:29	B228.7: X7:29
Hälytysten +48V _{DC} (SACO)	56	8	X7:31	B228.7: X7:31
KK:n öljynsuodattimen paineh.	57	9	X7:32	B228.7: X7:32
	T7-AK1	19-3181	19OK05	
Laukaisu sprinkleristä	65	si	18	T7-AK1: F39 / -
Koskettimelle +110V _{DC}	64	ru	19	T7-AK1: F39 / +
	T7-AK1	19-2292	19TSK02.F11	
Syöttö 110V _{DC-}	710	si	F11 / -	19TSK02.F11
Syöttö 110V _{DC+}	700	mu	F11 / +	19TSK02.F11
	T7-AK1	19-2289	A15.RK5	
110kV 1. laukaisun +110V _{DC}	701	1	X2:2	A15.RK5: X2:2A
110kV 1. laukaisu	702	2	X2:5	A15.RK5: X2:5A
110kV 2. laukaisun +110V _{DC}	703	3	X4:2	A15.RK5: X4:2A
110kV 2. laukaisu	704	4	X4:5	A15.RK5: X4:5A
	T7-AK1	19B228.5-W6	B228.5	
20kV laukaisun +110V _{DC}	705	1	X2:3	B228.5: X2:3A
20kV laukaisu	706	2	X2:41	B228.5: X2:41A
	T7-AK2	19-2279	K200.0707.F1	
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:1	1	F1/L1	K200.0707.F1
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:2	2	F1/L2	K200.0707.F2
Käämikytkimen 400V _{AC} syöttö	X1:3	3	F1/L3	K200.0707.F3
N	X1:N	4	N	
PE	X1:PE	kevi	PE	
	T7-AK2	19-2278	K200.0707.F8	
N	X3:3	si	N	
230V _{AC} KK:n ohjaukselle	X3:1	mu	F8	K200.0707.F8
PE	PE	kevi	PE	
	T7-AK2	0-19OK03-W1	0-19OK03	
230V _{AC} asennon etäohjaukselle	X3:4	1	119	K200.0707.F8
Asennon nosto (230V _{AC})	X3:5	2	121	K200.0707.F8
Asennon lasku (230V _{AC})	X3:6	3	122	K200.0707.F8
Asennonosoitus	X5:1	4	123	K200.0707.F8
Asennonosoitus	X5:2	5	124	K200.0707.F8
Asennonosoitus	X5:3	6	125	K200.0707.F8
230 V _{AC} jännitteensäätäjälle	X4:7	7	129	K200.0707.F8
N jännitteensäätäjälle	X2:4	8	130	
Käämikytkin käy (230V _{AC})	X4:8	9	131	K200.0707.F8
Koskettimelle +48V _{DC} (SACO)	X4:13	10	132	B228.7: X7:21
KK:n moottorisuojak. lauennut	X4:15	11	133	B228.7: X7:28

Liite 7, Laskenta Excel-taulukolla, T8.

Minimioikosulkuvirran arviointi

Taulukon salasanana: lukko

Taustaverkko

Zk

$$(1,8 + j 9,8) \Omega$$

$$Z_{k\ 110} = (1,80 + j 9,80) \Omega$$

$$(Z_{k\ 33} = (0,16 + j 0,88) \Omega)$$

$$110\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 5,24\text{ kA}$$

$$(33\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 17,48\text{ kA })$$

Kaapeli taustaverkko - muuntaja

AC-resistanssi

$$0,056\text{ ohm/km}$$

Induktanssi kolmiossa

$$0,36\text{ mH/km}$$

Pituus

$$244\text{ m}$$

Impedanssi

$$(0,0137 + j 0,0276) \Omega$$

$$Z_{k\ 110} = (1,81 + j 9,83) \Omega$$

$$(Z_{k\ 33} = (0,16 + j 0,88) \Omega)$$

$$110\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 5,23\text{ kA}$$

$$(33\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 17,43\text{ kA })$$

Muuntaja

Käämitytkin keskiasennossa

Zk

$$8,1\%$$

Rk

$$0,14\%$$

Xk

$$8,0988\%$$

Muuntajan nimellisteho

$$160\text{ MVA}$$

Impedanssi

$$(0,1059 + j 6,1247) \Omega$$

110 kV

33 kV

Kaapeli muuntaja - kojeisto

AC-resistanssi

$$0,056\text{ ohm/km}$$

Induktanssi kolmiossa

$$0,31\text{ mH/km}$$

Pituus

$$10\text{ m}$$

Rinnankytkettyjä kaapeleita

$$4$$

Impedanssi

$$(0,0001 + j 0,0002) \Omega$$

$$(Z_{k\ 110} = (1,92 + j 15,95) \Omega)$$

$$Z_{k\ 33} = (0,17 + j 1,44) \Omega$$

$$(110\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 3,25\text{ kA })$$

$$33\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 10,84\text{ kA })$$

$$(Z_{k\ 110} = (1,92 + j 15,96) \Omega)$$

$$Z_{k\ 33} = (0,17 + j 1,44) \Omega$$

$$(110\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 3,25\text{ kA })$$

$$33\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 10,84\text{ kA })$$

Kaapeli kojeisto - vikapaikka

AC-resistanssi

$$0,056\text{ ohm/km}$$

Induktanssi kolmiossa

$$0,31\text{ mH/km}$$

Pituus

$$180\text{ m}$$

Rinnankytkettyjä kaapeleita

$$4$$

impedanssi

$$(0,0025 + j 0,0044) \Omega$$

$$(Z_{k\ 110} = (1,95 + j 16,00) \Omega)$$

$$Z_{k\ 33} = (0,18 + j 1,44) \Omega$$

$$(110\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 3,24\text{ kA })$$

$$33\text{ kV } I_{k''\ 2v} = 10,80\text{ kA })$$

Taajuus

$$50\text{ Hz}$$

Yläpuolen jännite

$$110\text{ kV}$$

Alapuolen jännite

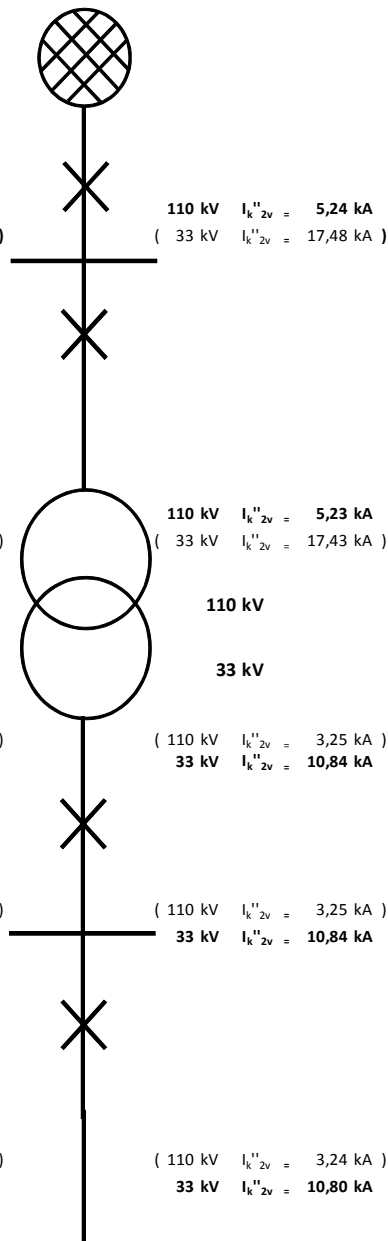
$$33\text{ kV}$$

c

$$1$$

Theveninin epätarkkuus

$$5\%$$



Liite 8, Laskenta Excel-taulukolla, T7.

Minimioikosulkuvirran arviointi

Taulukon salassana: lukko

Taustaverkko

Zk (1,8 + j 9,8) Ω

$$Z_{k\ 110} = (1,80 + j 9,80) \Omega$$

$$(Z_{k\ 33} = (0,16 + j 0,88) \Omega)$$

110 kV $I_{k''\ 2v} = 5,24$ kA

(33 kV $I_{k''\ 2v} = 17,48$ kA)

Kaapeli taustaverkko - muuntaja

AC-resistanssi	0,056	ohm/km
Induktanssi kolmiossa	0,36	mH/km
Pituus	244	m
Impedanssi	(0,0137 + j 0,0276)	Ω

$$Z_{k\ 110} = (1,81 + j 9,83) \Omega$$

$$(Z_{k\ 33} = (0,16 + j 0,88) \Omega)$$

110 kV $I_{k''\ 2v} = 5,23$ kA

(33 kV $I_{k''\ 2v} = 17,43$ kA)

Muuntaja

Käämityskin keskiasennossa

Zk	18,9	%
Rk	0,29	%
Xk	18,8978	%
Muuntajan nimellisteho	160	MVA
Impedanssi	(0,2193 + j 14,2914)	Ω

110 kV

33 kV

Kaapeli muuntaja - kojeisto

AC-resistanssi	0,056	ohm/km
Induktanssi kolmiossa	0,31	mH/km
Pituus	10	m
Rinnankytkettyjä kaapeleita	4	
Impedanssi	(0,0001 + j 0,0002)	Ω

$$(Z_{k\ 110} = (2,03 + j 24,12) \Omega)$$

$$Z_{k\ 33} = (0,18 + j 2,17) \Omega$$

(110 kV $I_{k''\ 2v} = 2,16$ kA)

33 kV $I_{k''\ 2v} = 7,20$ kA

Kaapeli kojeisto - vikapaikka

AC-resistanssi	0,056	ohm/km
Induktanssi kolmiossa	0,31	mH/km
Pituus	180	m
Rinnankytkettyjä kaapeleita	4	
impedanssi	(0,0025 + j 0,0044)	Ω

$$(Z_{k\ 110} = (2,06 + j 24,17) \Omega)$$

$$Z_{k\ 33} = (0,19 + j 2,18) \Omega$$

(110 kV $I_{k''\ 2v} = 2,15$ kA)

33 kV $I_{k''\ 2v} = 7,18$ kA

Taajuus

50 Hz

Yläpuolen jännite

110 kV

Alapuolen jännite

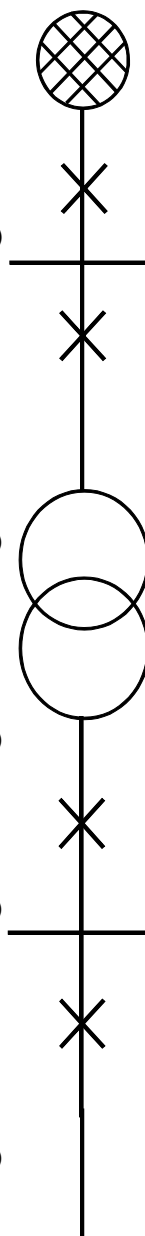
33 kV

c

1

Theveninin epätarkkuus

5 %



Muuntajan vaikutus minimoikosulkuvirtaan

Taulukon salasana: lukko

Taustaverkon impedanssin perusteella laskettuna

Taustaverkko

$Z_k = R_k + jX_k$

$(1,8 + j 9,8)$	Ω
-------------------	----------

Muuntaja

Käämikytkin keskiasennossa

Z_k

18,9	%
------	---

R_k

0,29	%
------	---

X_k

18,8978	%
---------	---

Muuntajan nimellisteho

160	MVA
-----	-----

Muuntajan oikosulkuimpedanssi

$(0,2193 + j 14,2914)$	Ω
--------------------------	----------

Taajuus

50	Hz
----	----

Yläpuolen jännite

110	kV
-----	----

Alapuolen jännite

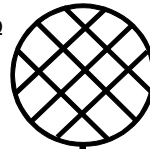
33	kV
----	----

c

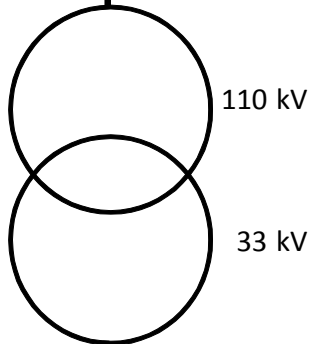
1	
---	--

Theveninin epätarkkuus

5	%
---	---



110 kV $I_{k''_{2v}} = 5,24$ kA
 (33 kV $I_{k''_{2v}} = 17,48$ kA)



(110 kV $I_{k''_{2v}} = 2,16$ kA)
 33 kV $I_{k''_{2v}} = 7,20$ kA

Muuntajan vaikutus minimoikosulkuvirtaan

Taulukon salasana: lukko

Taustaverkon minimivikavirran perusteella laskettuna

Taustaverkko

Minimivikavirta 3v

	6,8 kA
--	---------------

Muuntaja

Käämikytkin keskiasennossa

Zk	18,9	%
Rk	0,29	%
Xk	18,8978	%
Muuntajan nimellisteho	160	MVA
Muuntajan oikosulkuimpedanssi	(0,2193 + j14,2914)	Ω

Taajuus

	50	Hz
Yläpuolen jännite	110	kV
Alapuolen jännite	33	kV
c	1	
Theveninin epätarkkuus	5	%

