

Topias Ruohola

20 KV KYTKINASEMAN ESISUUNNITELMA

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2016

20 KV KYTKINASEMAN ESISUUNNITELMA

Ruohola, Topias
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2016
Ohjaaja: Laine, Kari
Sivumäärä: 54
Liitteitä: 2

Asiasanat: kytkinasema, suojarele, keskijännite

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä esisuunnitelma Ristolan kytkinaseman uusimisesta. Ristolan kytkinasema on otettu käyttöön Köyliön-Säkylän Sähkö Oy:ssä vuonna 1993. Hankinta hetkellä kytkinasemalla oli ikää jo lähes 30 vuotta, joten se alkaa olla käyttöikänsä päässä.

Esisuunnittelu sisältää vikavirtojen laskennat joiden perusteella kytkinlaitos mitoitettiin. Esisuunnittelun pohjalta pyydettiin hinta-arviot kytkinlaitoksen uusimisesta. Lisäksi työssä selvitettiin nykyisten vuonna 1995 uusittujen suojareleiden käytön kannattavuutta uudessa kytkinasemassa. Suojareleiden toteutukselle annettiin kolme eri vaihtoehtoa ja niiden väliltä piti selvittää uuden kytkinaseman tarpeisiin sopiva vaihtoehto. Tämän hetkisten suunnitelmien mukaan Ristolan kytkinasema tullaan uusimaan vuoden 2018 aikana.

20 KV SWITCHING SUBSTATION PRELIMINARY PLANNING

Ruohola, Topias

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical engineering

December 2016

Supervisor: Laine, Kari

Number of pages: 54

Appendices: 2

Keywords: switching substation, protective relay, medium voltage

The purpose of this thesis was to make preliminary planning for new switching substation of Ristola. The commissioning of Ristola switching substation took place during the year 1993 in Köyliön-Säkylän Sähkö Oy. When Köyliön-Säkylän Sähkö Oy bought the Ristola switching substation it was almost 30 years old. So, it has become to the end of its life cycle.

Preliminary planning includes calculations of fault currents and costs of the switching substation. The cost estimation was created based on the preliminary planning. In addition, the opportunities to utilize current protective relays which have been installed in 1995 were examined. Three options for implementation of protective relays were also examined to find out the best option. According to the current plans the switching substation will be renewed during the year 2018.

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 8 |
| 2 | VIKAVIRRAT | 9 |
| 2.1 | Oikosulku..... | 9 |
| 2.1.1 | Symmetrinen- ja epäsymmetrinen oikosulku | 9 |
| 2.1.2 | Oikosulkuvirran laskeminen..... | 11 |
| 2.2 | Maasulku..... | 13 |
| 2.2.1 | Maasulkuvirran laskeminen..... | 14 |
| 3 | KESKIJÄNNITEKYTKINASEMA | 18 |
| 3.1 | Kojeisto | 18 |
| 3.1.1 | Kokoojakisko | 18 |
| 3.2 | Kytkinlaitteet..... | 19 |
| 3.2.1 | Katkaisija | 20 |
| 3.2.2 | Erotin | 21 |
| 3.3 | Mittamuuntajat | 22 |
| 3.3.1 | Virtamuuntaja | 22 |
| 3.3.2 | Jännitemuuntaja..... | 23 |
| 3.4 | Sähköasema-automaatio | 24 |
| 3.4.1 | Sähköaseman paikallisautomaatiojärjestelmä | 24 |
| 4 | SUOJAUSJÄRJESTELMÄ | 26 |
| 4.1 | Suojarele | 26 |
| 4.1.1 | Suojareleen toiminta..... | 26 |
| 4.1.2 | Oikosulkusuojaus | 27 |
| 4.1.3 | Maasulkusuojaus | 27 |
| 4.1.4 | Jälleenkytkentä | 28 |
| 4.2 | Relesuojausjärjestelmän yleisperiaatteet | 28 |
| 5 | NYKYTILANTEEN KUVAUS..... | 30 |
| 5.1 | Johdonsuojarele..... | 30 |
| 5.2 | Virtamuuntaja | 32 |
| 5.3 | Jännitemuuntaja | 33 |
| 5.4 | Katkaisija | 34 |
| 5.5 | Erotin..... | 35 |
| 5.6 | Kokoojakiskojärjestelmä..... | 35 |
| 6 | RELESUOJAUKSEN TOTEUTUS..... | 36 |
| 6.1 | Hinta-arvio | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7 | KYTKINLAITOKSEN MITOITUS/LASKENTA..... | 39 |
| 7.1 | Oikosulkuvirran laskenta | 39 |
| 7.1.1 | KytKentätilanne 1..... | 40 |
| 7.1.2 | KytKentätilanne 2..... | 42 |
| 7.1.3 | KytKentätilanne 3..... | 44 |
| 7.1.4 | Dynaaminen oikosulkukestoisuus | 46 |
| 7.1.5 | Terminen oikosulkukestoisuus | 47 |
| 7.2 | Maasulkuvirran laskenta | 47 |
| 8 | BUDJETTIARVION KYSELY | 51 |
| 9 | YHTEENVETO | 52 |
| | LÄHTEET..... | 53 |
| | LIITTEET | |

KÄYTETYT MERKIT

| | |
|------------|--|
| I_t | Tasavirtaosa |
| I_k | Oikosulkuvirta |
| I_k' | Muutosoikosulkuvirta |
| I_k'' | Alkuoikosulkuvirta |
| i_s | Sysäysoikosulkuvirta |
| X | Reaktanssi |
| R | Resistanssi |
| Z | Impedanssi |
| c | Jännitekerroin |
| U_v | Vaihejännite |
| Z_k'' | Alkuoikosulkureaktanssi |
| Z_f | Vikaimpedanssi |
| S_k | Oikosulkuteho |
| I_e | Maasulkuvirta |
| C_0 | Verkon yhden vaiheen kapasitanssi |
| U | Verkon pääjännite |
| ω | Kulmataajuus |
| ℓ | Pituus |
| V | Voltti, jännitteen yksikkö |
| A | Ampeeri, virran yksikkö |
| f | Taajuus |
| I_{ef} | Vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta |
| R_f | Vikaresistanssi |
| $\sum I_v$ | Vaihevirtojen summavirta |
| I_{ej} | Johdon syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa |
| U_0 | Nollajännite |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| Ω | Ohmi, resistanssin yksikkö |
| U_n | Nimellisjännite |

| | |
|---------|---------------------------|
| I_n | Nimellisvirta |
| f_n | Nimellistaajuus |
| Z_m | Muuntajan impedanssi |
| Z_k'' | Muutosoikosulkuimpedanssi |
| S_k | Oikosulkuteho |
| S_k' | Muutosoikosulku |
| S_k'' | Alkuoikosulkuteho |
| kA | Kiloampeeri |
| MVA | Megavoltiampeeri |
| kV | Kilovoltti |
| τ | Jäähtymisaikavakio |
| KSS Oy | Köyliön-Säkylän Sähkö Oy |

1 JOHDANTO

Köyliön-Säkylän Sähkö Oy on vuonna 1922 perustettu energiayhtiö. Köyliön-Säkylän Sähkö Oy toimii sähköjakelussa Köyliön, Säkylän ja Euran Kauttuan alueella. Köyliön-Säkylän Sähkö Oy tarjoaa sähkön lisäksi kaukolämpöön liittyviä palveluita Säkylän alueella.

Opinnäytetyössäni käsitellään Köyliön-Säkylän Sähkö Oy:n sähköverkkoon kuuluvan Köyliön Ristolassa sijaitsevan 20kV:n kytkinaseman esisuunnitelman laatimista. Ristolän kytkinaseman kojeiston toiminta on epävarmaa ja käyttöikä alkaa olla lopussa. Kytkinasema on otettu käyttöön Köyliön-Säkylän Sähkö Oy:ssä vuonna 1993 mutta hankintahetkellä sillä oli ikää jo lähes 30 vuotta.

Työn ensisijainen tavoite on laatia esisuunnitelma kytkinaseman uusimisesta. Esisuunnitelman pohjalta pyydetään budjetti-arvio ulkopuoliselta yritykseltä kytkinaseman toteuttamiseksi. Esisuunnitelma sisältää vikavirtojen laskennan, joiden avulla kytkinlaitos mitoitetaan.

Lisäksi työssä tutkitaan eri vaihtoehtoja vuonna 1995 uusittujen johdonsuojareleiden sijoittamisesta ja mahdollisuuksista käyttää niitä uudessa kytkinasemassa. Eri toteuttamistavoista pyydetään budjetti-arviot kustannuserojen selvittämiseksi.

2 VIKAVIRRAT

2.1 Oikosulku

Oikosulku on tilanne, jossa verkon kaksi tai kolme eri potentiaalissa olevaa jännitteellistä osaa on yhteydessä toisiinsa. Oikosulussa näiden välinen impedanssi on hyvin pieni. Oikosululle on tyypillistä, että virta on suuri mutta jännite vikakohtassa pieni. Oikosulku on yksivaiheinen, jos vaihejohdin on yhteydessä maahan ja monivaiheinen, jos kaksi tai kolme vaihetta ovat yhteydessä toisiinsa.

Oikosulkuvirran suuruus riippuu impedanssien suuruudesta, vikavirta on sitä pienempi mitä kauempana vikapaikka on sähköä tuottavista generaattoreista. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkölaboratorion opetusmateriaali. Oikosulku)

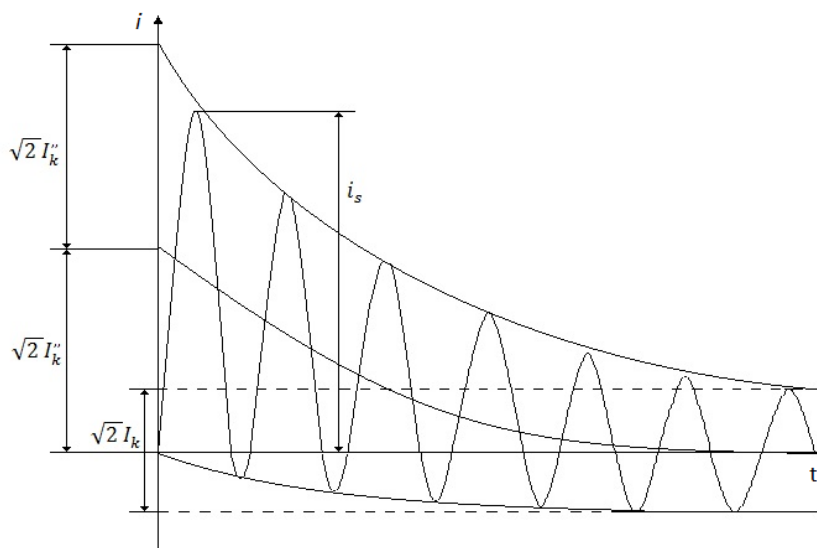
2.1.1 Symmetrinen- ja epäsymmetrinen oikosulku

Verkossa esiintyy symmetrisiä ja epäsymmetrisiä oikosulkuja. Symmetrinen oikosulku tarkoittaa, että vian vaikutukset kohdistuvat samanlaisina jokaiselle vaiheelle. Suurimman vikavirran aiheuttaa vastukseton 3-vaiheinen oikosulku, joka on nimelliseen kuormitusvirtaan verrattuna usein suuruudeltaan noin 10-40 kertainen. Yleisimmin kolmivaiheisen oikosulun aiheuttaa salamanisku, josta syntyy 3-vaiheinen maa-oikosulku. (Elovaara & Haarla. 2011, 170)

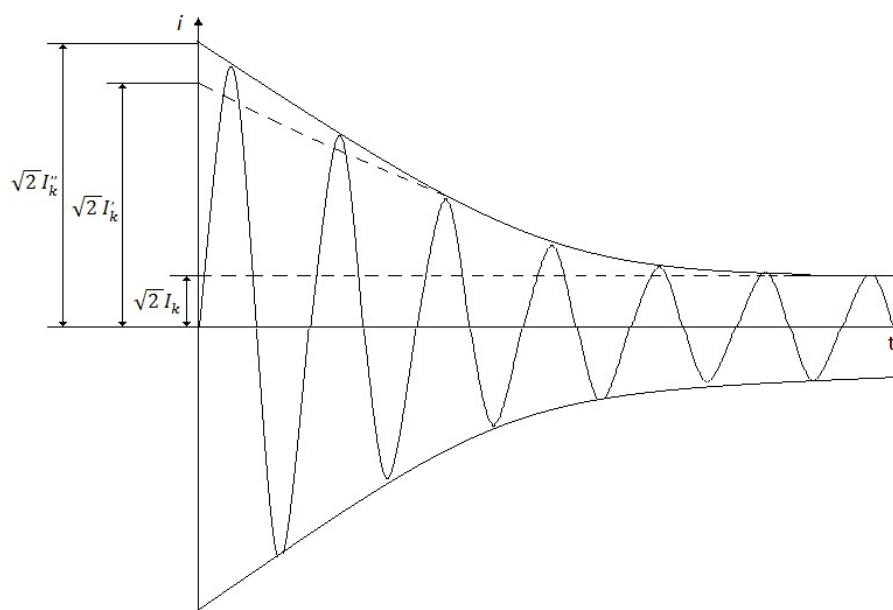
Tavallisimmat verkossa esiintyvät epäsymmetriset oikosulut ovat 1-vaiheinen oikosulku, eli vaiheen ja maan välillä tapahtuva maasulku sekä kahden vaiheen välillä tapahtuva oikosulku, eli 2-vaiheinen oikosulku. 1-vaiheisen oikosulun aiheuttaa yleensä avojohdolle kaatunut puu tai salaman isku. Kaksivaiheisen oikosulun voi aiheuttaa tuuli, joka heilauttaa kaksi vaihejohdinta yhteen. (Elovaara & Haarla. 2011, 177)

Oikosulkupiirin impedanssi on pääasiassa induktiivista reaktanssia, joten siinä kulkeva virta on lähes puhdasta induktiivista loisvirtaa. Kuvassa 1 on esitetty epäsymmetrisen oikosulkuvirran luonne. Kuvasta voidaan nähdä, että oikosulkuvirralla on vaihtovirtakomponentin lisäksi tasavirtaosa I_1 , joka vaimenee verkon ominaisuuksista johtuvan

aikavakion mukaan. Tasavirtakomponentin suuruus on riippuvainen vian syntyhetkestä, jos virta olisi huippuarvossaan, olisi tasavirtakomponentti suurimmillaan. Jos tasavirtakomponentti $I_t = 0$, oikosulku on symmetrinen (kuva 2). I_k'' tarkoittaa alkuoikosulkuvirtaa, I_k' muutosoikosulkuvirtaa ja i_s sysäyoikosulkuvirtaa. Oikosulkuvirta saavuttaa jatkuvan tilan arvon I_k kun alku- ja muutosoikosulkuvirta sekä tasavirtakomponentti ovat vaimentuneet pois. (Elovaara & Haarla. 2011, 171)



Kuva 1. Epäsymmetrinen oikosulkuvirta. (Elovaara & Haarla. 2011, 171)



Kuva 2. Symmetrinen oikosulkuvirta. (Elovaara & Haarla. 2011, 171)

2.1.2 Oikosulkuvirran laskeminen

Oikosulkuvirta voidaan laskea Thevenin menetelmällä tai oikosulkutehojen avulla. Thevenin menetelmä on tarkempi ja se antaa myös oikosulkuvirran vaihekulman. Oikosulkutehojen avulla laskeminen on yksinkertaisempaa ja se antaa useimmiten riittävän tarkan arvon, jonka tarkkuus on yleensä alle 10% luokkaa. Tämän laskutavan avulla ei saada selvitettyä oikosulkuvirran vaihekulmaa. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkölaboratorion opetusmateriaali. Oikosulku)

Oikosulkuvirran suurin hetkellisarvo on sysäysoikosulkuvirta i_s , joka esiintyy vian alkamisesta noin yhden puolijakson kuluttua. Sysäysoikosulkuvirran suuruus määrää laitteiston dynaamisen kestävyuden, eli sen perusteella mitoitetaan laitteiston mekaaninen kestävyys. Sysäysoikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla 1, jossa kerroin K riippuu resistanssin R ja reaktanssin X suhteesta.

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

missä,

I_k'' = alkuoikosulkuvirta

$$K = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3\frac{R}{X}}$$

(Elovaara & Haarla. 2011, 174)

Alkuoikosulkuvirta I_k'' on vian alkuhetkellä oleva oikosulkuvirran arvo. Se saadaan, kun sijoitetaan kaavaan pyörivien koneiden reaktansseiksi niiden alkureaktanssit:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_v}{Z_k'' + Z_f} \quad (2)$$

missä

c = taulukon IEC 60909- mukainen jännitekerroin

U_v = vaihejännite ennen vikaa

Z_k'' = alkuoikosulkuimpedanssi

Z_f = vikaimpedanssi

(Elovaara & Haarla. 2011, 175)

Alkuoikosulkuvirta vaimenee muutosoikosulkuvirtaan aikavakiolla T_d'' , joka on kestoltaan noin 0,1 s. Laskettaessa muutosoikosulkuvirtaa I_k on koneiden reaktansseiksi sijoitettava niiden muutosreaktanssi X_d' . Pysyvän tilan oikosulkuvirta-arvoon muutosoikosulkuvirta vaimenee aikavakiolla T_d' , joka on noin 3-6 s. Katkaisijoiden poistaessa vikaa verkosta, joutuvat ne yleensä katkaisemaan I_k' suuruisia virtoja. Muutosoikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla:

$$I_k' = \frac{c \cdot U_v}{Z_k' + Z_f} \quad (3)$$

(Elovaara & Haarla. 2011, 175)

Pysyvän tilan oikosulkuvirtaa laskettaessa on tahtikoneiden reaktansseiksi sijoitettava niiden pitkittäiset reaktanssit X_d . Pysyvän tilan oikosulkuvirta saavutetaan ainoastaan jakeluverkoissa, koska kantaverkossa suojaus toimii ajassa 0,1-0,5 s. Pysyvän tilan oikosulkuvirta on komponenttien ja johdinten lämpenemisen määräävä tekijä. Pysyvän tilan oikosulkuvirta I_k saadaan laskettua kaavalla:

$$I_k = \frac{c \cdot U_v}{Z_k + Z_f} \quad (4)$$

(Elovaara & Haarla. 2011, 175-176)

Terminen rasitus tarkoittaa oikosulkuvirran aiheuttamaa lämpenemistä laitteille. Se on riippuvainen oikosulkuvirran kestoajasta. Termien oikosulkuvirta saadaan kaavalla:

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{(m + n) \cdot t/s} \quad (5)$$

missä,

I_k'' = alkuoikosulkuvirta

m = tasavirtakomponentin huomioonottavakerroin

n = vaihtovirtakomponentin huomioonottavakerroin

t/s = oikosulun kesto aika sekunteina

Tasavirtatekijän m ja vaihtovirtatekijän n määrittämiseen on olemassa käyrästöjä, josta kertoimet saadaan katsottua. Alle 110 kV Sähkönjakeluverkossa voidaan käyttää $m + n = 1$. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkölaboratorion opetusmateriaali. Oikosulku)

Verkon oikosulkuteho on oikosulun aikana kuluva näennäisteho. Kun tiedetään oikosulkuvirta ja nimellisjännite, saadaan se laskettua kaavalla:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k \quad (6)$$

(Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkölaboratorion opetusmateriaali. Oikosulku)

2.2 Maasulku

Maasululla tarkoitetaan eristysvikaa, joka tapahtuu käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maan kanssa johtavassa yhteydessä olevan osan välillä. Maasulku voi olla yksi- tai monivaiheinen. Jos viat tapahtuvat eri kohdissa järjestelmää, on kyseessä kaksois- tai kolmoismaasulku. Jos monivaiheiset maasulut ovat samassa kohtaa järjestelmää, on kyseessä maaosikosulku. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkölaboratorion opetusmateriaali. Maasulku)

Maasulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkeutuu maasulkutapauksessa maahan tai maadoitus- tai suojajohtimeen. Maasulkuvirran suuruus on riippumaton vikapaikan ja verkon syöttöpisteen etäisyydestä. Maasulkuvirran suuruuden käytännössä määrää viikaimpedanssi ja maasulussa oleva verkon laajuus. (Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkölaboratorion opetusmateriaali. Maasulku)

Yleisin vika keskijänniteverkossa on 1-vaiheinen maasulku avojohdossa, jonka aiheuttajana on salamanisku. Suurjänniteverkoissa salamanisku suoraan vaihejohtimelle on harvinainen, koska niissä on käytössä ukkosenjohdattimia. Salaman iskut ukkosenjohdattimeen ei aina aiheuta vikaa. Jos eristystaso ukkosenjohdattimen ja vaihejohtimen välillä ei riitä, niiden välille syntyy valokaari. Vika voi levitä kaksi- tai kolmivaiheiseksi maasuluksi, koska salamaniskun vika syntyy takaiskuna vaihejohtimeen pylväsjalasta, joka on yhteydessä ukkosenjohdattimiin. (Elovaara & Haarla. 2011, 339)

Suomessa käytetään keskijänniteverkon maadoitustapana tähtipisteestään maasta erotettua verkkoa tai ns. sammutettua verkkoa. Sammutetussa verkossa kytketään verkon tähtipisteeseen induktanssi, joka on reaktanssi arvoltaan suurin piirtein vastaava verkon johtojen maakapasitanssien muodostaman reaktanssin kanssa. Maasta erotetun keskijänniteverkon käytön keskeisin syy on huonoista maadoitusolosuhteista johtuva kosketusjänniteongelma. Useimmiten maasulku johtuu vaihejohtimen valokaaresta tai sen kosketuksesta suojamaadoitettuun osaan. Tässä tapauksessa aiheutuvan kosketusjännitteen suuruus riippuu maasulkuvirrasta ja suojamaadoituksen resistanssista. Standardi SFS 6001 asettaa tietyt vaatimukset kosketusjännitteen suuruudelle. (Lakervi & Partanen. 2008, 182-183)

Maasta erotetussa verkossa verkon vaihejännitteet ovat symmetrisiä maahan nähden eli niiden summa on nolla. Maakapasitanssien kautta kulkeva osa verkon varausvirroista muodostaa vastaavasti symmetrisen järjestelmän. Maasulku tilanteessa terveiden vaiheiden vaihejännitteet kasvavat maahan nähden. Vaihejännitteiden epäsymmetriasta johtuen varausvirtojen summa eroaa nolasta ja tämä osa varausvirtaa kulkee maahan vikapaikan kautta muodostaen maasulkuvirran. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8, 1)

2.2.1 Maasulkuvirran laskeminen

Maasulkuvirran itseisarvon suuruus suorassa maasulussa eli maasulussa jossa ei ole vikaresistanssia saadaan laskettua kaavalla:

$$I_e = \sqrt{3}\omega C_0 U \quad (7)$$

missä,

C_0 = verkon yhden vaiheen kapasitanssi

ω = kulmataajuus eli $2\pi f$, missä f = taajuus.

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8, 1)

Kaapeleille löytyy myös valmiiksi laskettuja taulukoita, joissa on eri kaapeleille ilmoitettu maasulkuvirran suuruus pituusyksikköä kohden.

Avojohtoverkoille saadaan laskettua maasulkuvirta riittävän tarkasti kaavalla:

$$I_e = \frac{U \cdot \ell}{300} \quad (8)$$

missä,

U = verkon pääjännite [kV]

ℓ = galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituus [km].

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8, 1)

Kokonaismaasulkuvirta vastuksettomassa maasulussa saadaan, kun lasketaan ennen mainituilla kaavoilla avojohtojen ja kaapeleiden virtojen summa.

Maasulkuvirta pienenee vikaresistanssin vaikutuksesta ja pienentynyt arvo saadaan laskettua alla olevalla kaavalla, kun tunnetaan maasulkuvirta suorassa maasulussa.

$$I_{ef} = \frac{I_e}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} I_e R_f}{U}\right)^2}} \quad (9)$$

missä,

R_f = vikaresistanssi

I_e = maasulkuvirta suorassa maasulussa

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8, 2)

Edellä olevien kaavojen avulla saadaan laskettua vikapaikan virta eli viallisesta vaiheesta maahan menevä virta. Maasulussa olevan johdon syöttävän pään vaihevirtojen summavirta ei sisällä johdon omien maakapasitanssien kautta kulkevaa osaa maasulkuvirrasta eli terveiden lähtöjen johdot syöttävät maasulkuvirtaa vikaantuneeseen lähtöön. Vaihevirtojen summavirta eli terveiden lähtöjen syöttämä maasulkuvirta saadaan kaavalla:

$$\Sigma I_v = \frac{I_e - I_{ej}}{I_e} I_{ef} \quad (10)$$

missä,

I_e = verkon kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa

I_{ej} = johdon syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa

I_{ef} = vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8, 4)

Tähtipisteen potentiaali poikkeaa maan potentiaalista maasulkuvirran aiheuttaman jännite-epäsymmetrian vaikutuksesta. Tätä kutsutaan nollajännitteeksi. Nollajännite koostuu suorassa maasulussa vaihejännitteen suuruiseksi ja vikavastuksen kautta tapahtuvassa maasulussa nollajännitteen arvo saadaan kaavalla:

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3}I_e R_f}{U}\right)^2}} \quad (11)$$

missä,

I_e = tarkasteluhetkellä koko galvaanisesti yhteen kytketyn verkon maasulkuvirta suorassa maasulussa

R_f = vikaresistanssi

U_v = verkon vaihejännite

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8, 5)

Kaksoismaasulussa, kun molemmat vikaresistanssit ovat saman suuruiset, saadaan nollajännitteen arvo laskettua kaavalla:

$$U_0 = \frac{1 \cdot U_v}{\sqrt{\left(\frac{R_f \cdot I_e \cdot \sqrt{3}}{U}\right)^2 + 4}} \quad (12)$$

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8, 6)

Nollajännitteen arvo ilmoitetaan prosenteissa ja se saadaan kaavalla:

$$\frac{U_0}{U_v} \cdot 100\% \quad (13)$$

missä,

U_0 = nollajännite

U_v = vaihejännite

(Satakunnan ammattikorkeakoulun [www-sivut](#) 2016)

3 KESKIJÄNNITEKYTKINASEMA

Kytkinasema on jakeluverkon kohta, jossa voidaan muuttaa verkon kytkentätiloja. Kytkinasema eroaa sähköasemasta siten, että sieltä puuttuu 110/20 kV kytkinkenttä sekä päämuuntaja jonka avulla 110 kV:n jännite muunnetaan 20 kV:n tasolle. Kytkinasemien avulla saadaan rajattua jakeluverkon osia pienempiin suojattaviin alueisiin ja saadaan parannettua sähkönjakelun varmuutta sekä vian sattuessa sähkönjakelun keskeytys ei kohdistu niin laajalle alueelle. Kytkinlaitos koostuu kojeistosta, omakäyttö ja tasasähköjärjestelmästä sekä sähköasema-automaatiosta. (Lakervi & Partanen. 2008, 119; Elovaara & Haarla. 2011, 117)

3.1 Kojeisto

Kojeisto on rakennekokonaisuus, joka sisältää tarvittavat suojaus, -ohjaus, -kytkentä ja valvontalaitteet. Kojeistot voidaan jakaa avorakenteisiin ja koteloituihin. Avorakenteinen kojeisto tarkoittaa ilmaeristeistä kojeistojärjestelmää joka on rakennettu ulos sekä sisälle kennoasennuksena tehtyä kojeistoa jonka kojeryhmät ovat erotettu toisistaan väliseinillä. Avorakenteisten kojeistojen tilalle ovat tulleet koteloidut kojeistot. Ne voivat olla ilmaeristeisiä tai SF6-eristettyä. SF6-eristetyn kojeiston suurimpana etuna ilmaeristeiseen on sen suuri tilansäästö.

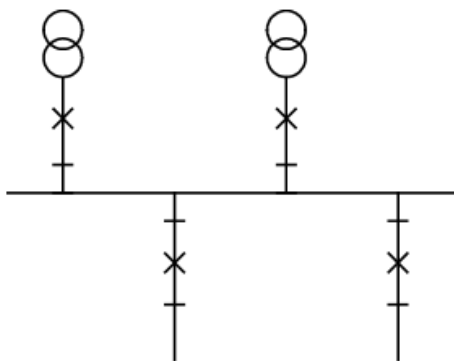
1970-luvulta lähtien sähkönjakelujärjestelmissä käytettävät kojeistot ovat usein ns. vaunukatkaisijakojeistoja. Vedettäessä katkaisijavaunu ulos, syntyy kiskojen välille ilmapäli ja näin ollen ei tarvita katkaisijaa ympäröiviä erottimia. (Elovaara & Haarla. 2011, 117,199-120,124)

3.1.1 Kokoojakisko

Kokoojakiskojen tehtävänä kytkinlaitoksessa on mahdollistaa erilaisten tehonsiirtorakenteiden vaatimat kytkentäratkaisut. Kokoojakiskostoa kutsutaan nimellä pääkisko, kun liittyminen tapahtuu katkaisijalla ja apukisko, kun siihen liitytään pelkästään erottimella. Kiskojärjestelmän valitsemisessa pitää ottaa monta asiaa huomioon kuten:

- kytkinlaitokseen liitettävät johdot ja muuntajat
- tilanvaraus tulevaisuudessa asennettaville johdoille tai muuntajille
- huolto- ja korjaustöiden suorittamiselle mahdollisuus
- ryhmittelymahdollisuus kuormituksille
- aseman käytettävyys ja luotettavuus
- yksinkertaisuus
- kiskovian haitallinen vaikutus
- rakenteellinen toteutus, kustannukset ja tarvittava tila. (Elovaara & Haarla. 2011, 102)

Yksinkertaisimmillaan kokoojakisko voidaan toteuttaa yksikiskojärjestelmällä (kuva 3). Se on hankintahinnaltaan edullinen ja se mahdollistaa yksinkertaisen suojausautomaatiikan. Se soveltuu parhaiten käyttöön, kun siinä olevilla lähdöillä on olemassa varayhteys muualta, koska muuten vika kiskossa tai katkaisijassa aiheuttaisi käyttökeskeytyksen. Tämä kiskostojärjestelmä on yleisesti käytössä keskijännite kytkinasemissa. Kiskostojärjestelmiä on saatavilla useita erilaisia eri käyttökohteiden vaatimusten mukaan.



Kuva 3. Yksikiskojärjestelmä (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 13, 1)

3.2 Kytkinlaitteet

Kytkinlaitteiden tehtävänä on muuttaa tarvittaessa verkon kytkentätilaa ja sähköenergian kulkureittiä verkossa. Ominaista kytkinlaitteilla on, että niillä on normaalitila ja toimintatila. Normaalitilassa niiden tulee johtaa kuormitusvirrat luotettavasti ilman suuria yllämpenemisiä ja häviöitä. Keskijänniteverkon tärkeimmät kytkinlaitteet ovat:

- katkaisijat, joiden on pystyttävä katkaisemaan suurimmatkin virrat
- erottimet, joiden on pystyttävä pitämään kaksi verkon osaa sähköisesti erillään toisistaan
- kytkimet, joilla voidaan katkaista vain kuormitusvirta
- kuormaerottimet, jotka toimivat erottimena sekä kytkimenä. (Elovaara & Haarla. 2011, 161–162)

3.2.1 Katkaisija

Katkaisijan tärkein tehtävä on erottaa viallinen verkon osa muusta verkosta ilman että se vaurioituu virran vaikutuksesta. Katkaisijaa voidaan ohjata käsin tai automaattisesti. Normaalisti katkaisijatoiminto tarkoittaa avautumista ylivirran vaikutuksesta jonka johdonsuojarele tunnistaa ja antaa laukaisukäskyn katkaisijan ohjainlaitteelle. Se voi myös mennä kiinni automaattisesti jälleenkytkentäreleen ohjauskäskystä. Katkaisijan on kyettävä avautumaan ja sulkeutumaan suurimmankin oikosulkuvirran vaikutuksesta ilman, että koskettimet vaurioituvat. (Elovaara & Haarla. 2011, 162-163)

Katkaisijan valinnassa huomioon otettavia asioita ovat:

- nimellisjännite U_N , joka määräytyy suurimman käyttöjännitteen mukaan,
- nimellivirta I_N , joka määräytyy suurimman jatkuvan virran mukaan,
- suurin oikosulkuvirta, joka määrää virrankatkaisukyvyyn,
- oikosulkuvirran kestoaika,
- kytkentätiheys,
- käyttöjännitteen taajuus ja
- mekaaniset mitat

(Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut 2016)

Katkaisijat ryhmitellään käytetyn sammutusväliaineen mukaan, jonka avulla sammutetaan katkaisutapahtuman seurauksesta koskettimien välille syntynyt valokaari. Katkaisijat ryhmitellään seuraavasti:

- ilmakatkaisijat,
- paineilmakatkaisijat,

- vähäöljykatkaisijat,
- öljykatkaisijat,
- tyhjiökatkaisijat ja
- SF6-*katkaisijat*

(Elovaara & Haarla. 2011, 168-169)

Näistä yleisimmin käytetyt ovat vähäöljy-, tyhjiö- ja SF6-*katkaisijat*. Vielä toistaiseksi käytössä on paljon vähäöljykatkaisijoita, mutta tulevaisuudessa ne tullaan korvaamaan täysin SF6- ja tyhjiökatkaisijoilla. Tyhjiökatkaisijoita valmistetaan vain keskijännitteelle. Parhaiten ne soveltuvat käyttöön jossa vaaditaan suurta katkaisutiheyttä ja n. 20 kA katkaisukykyä. Tyhjiökatkaisijasta tekee kilpailukykyisen sen huoltovapaus. SF6-*katkaisijat* soveltuvat lähes kaikenlaisiin käyttötarkoituksiin. Niiden etuna on vähäinen huollon tarve ja lisäksi vähäinen tilantarve. (Elovaara & Haarla. 2011, 170)

3.2.2 Erotin

Erottimen tehtävänä on muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin välille. Avausvälin on oltava näkyvä tai erottimessa on oltava luotettava mekaaninen asennonosoitin. Erottimen avausvälin on oltava myös jännitelujuudeltaan suurempi kuin muun ympäröivän eristyksen. Erottimen on kyettävä johtamaan kiinni-asennossa kuormitus ja oikosulkuvirrat ongelmitta. (Elovaara & Haarla. 2011, 190)

Tavallinen erotin ei sovellu kuormitetun virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen. Pylväserottimet varustetaan kuitenkin usein katkaisupiiskoiksi kutsutuilla apukoskettimillä, jotka mahdollistavat tyypillisesti n. 15-25 A virran katkaisun. On olemassa myös kuormaerottimia, jotka ovat ns. katkaisijan ja erottimen välimuoto. Kuormaerottimen avulla voidaan katkaista jopa erottimen nimellisvirran suuruinen virta. (Elovaara & Haarla. 2011, 191, 193)

Erottimet voivat olla kauko-ohjattuja tai käsin ohjattavia. Kauko-ohjattavia erottimia on mahdollisuus ohjata myös käsin. Kauko-ohjattujen erottimien avulla saadaan lyhennettyä vioista aiheutuvien keskeytysten pituutta. Kauko-ohjauksen avulla erottimen tila saadaan muutettua muutamassa minuutissa, kun taas käsin ohjatusti siihen

saattaa mennä kymmeniä minutteja. (Elovaara & Haarla. 2011, 190; Lakervi & Partanen. 2008, 151)

3.3 Mittamuuntajat

Virta- ja jännitemuuntajat ovat mittamuuntajia jotka ovat tarkoitettu jännitteen tai virran mittaukseen. Mittamuuntajien pääasialliset tehtävät ovat:

- mittauspiirin erottaminen galvaanisesti suurjännitteisestä päävirtapiiristä
- mitta-alan muuttaminen ja mahdollistaa myös samalla mitta- ja suojalaitteiden standardointi tiettyihin mittausarvoihin
- mittareiden suojaus ylikuormitukselta
- mahdollistaa mittareiden ja releiden sijoittaminen etäälle varsinaisesta mittauspaikasta. (Elovaara & Haarla. 2011, 198)

3.3.1 Virtamuuntaja

Virtamuuntajat ovat kojeita jotka koostuvat rautasydämeistä ja sen ympärillä olevista ensiö- ja toisiokäämistä. Virtamuuntajat jaetaan käyttötarkoitustensa mukaan suojaustehtäviin tai mittaustehtäviin tarkoitettuihin virtamuuntajiin. Samaa virtamuuntajaa on mahdollista käyttää myös molempiin käyttötarkoituksiin. Tällöin virtamuuntajalla on mittausydän ja suojaussydän. Molemmilla sydämillä on omat toisiokäämit mutta niillä on yhteinen ensiökäämi. (Leena Korpisen www-sivut 2016)

Tärkeimmät teknilliset arvot virtamuuntajaa valitessa ovat:

- terminen virrankestoisuus I_{th}
- dynaaminen virrankestoisuus I_{dyn}
- mitoitusensiövirta I_{pn}
- mitoitustoisiovirta I_{sn}
- mitoitustaakka S_n ,
- tarkkuusluokka

- mittarivarmuuskerroin F_s (mittaussyhdän) ja tarkkuusrajakerroin F_a (suojausyhän). (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 10, 1)

Yleisimmin ensiö- ja mitoitusiovirralle käytettyjä arvoja ovat 10 – 15 - 20 – 30 – 50 – 75 A sekä näiden kymmenkerrannaiset. Mitoitusiovirta on yleisimmin 5 A. Mitoitustaakalla tarkoitetaan toisiopiirin impedanssia ja sen tehokerrointa. Mitoitustaakka ilmoitetaan näennäistehona. Mitoitusarvot vaihtelevat 2,5-30 VA välillä. Tarkkuusluokat määrittävät virtamuuntajan virta- ja kulmavirheen. Mittausvirtamuuntajan tarkkuusluokat ovat 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3 tai 5. Suojausvirtamuuntajan tarkkuusluokat ovat 5P tai 10P. Mittarivarmuuskertoimen arvot ovat yleensä 5 tai 10. Tarkkuusrajakertoimien standardiarvot ovat 5 – 10 – 15 – 20 tai 30.

(Elovaara & Haarla. 2011, 200-204; ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 10, 1-3)

3.3.2 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntajat jaetaan käyttötarkoitustensa mukaan kahteen ryhmään kuten virtamuuntajat, suojaukseen ja mittaukseen. Jännitemuuntaja on rakenneperiaatteeltaan hyvin samanlainen kuin tehomuuntaja. Jännitemuuntajan pääasiallinen tehtävä on muuntaa ensiöpuolen jännite sopivaksi toisiopuolen kojeille. Jännitemuuntajien tärkeimmät teknilliset arvot ovat:

- mitoitusensiöjännite U_{pn}
- mitoitusiojännite U_{sn}
- mitoitustaakka S_n
- tarkkuusluokka

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 10, 7; Leena Korpisen www-sivut)

Mitoitusensiöjännite ilmoitetaan pääjännitteenä, jos ensiökäämi kytketään vaiheiden väliin. Kun ensiökäämi kytketään vaiheen ja tähtipisteen tai maan ja tähtipisteen väliin, ilmoitetaan se vaihejännitteenä. Mitoitusiojännitteenä Suomessa yleisimmin käytetään 100 V, kun ensiökäämi on kytketty joko kahden vaiheen välille tai maan ja tähtipisteen välille. Jos taas ensiökäämi kytketään vaiheen ja maan välille, mitoitusiojännitteensä arvoksi suositellaan $100 \cdot \sqrt{3}$ V. Jännitemuuntajien tarkkuusluokat ovat

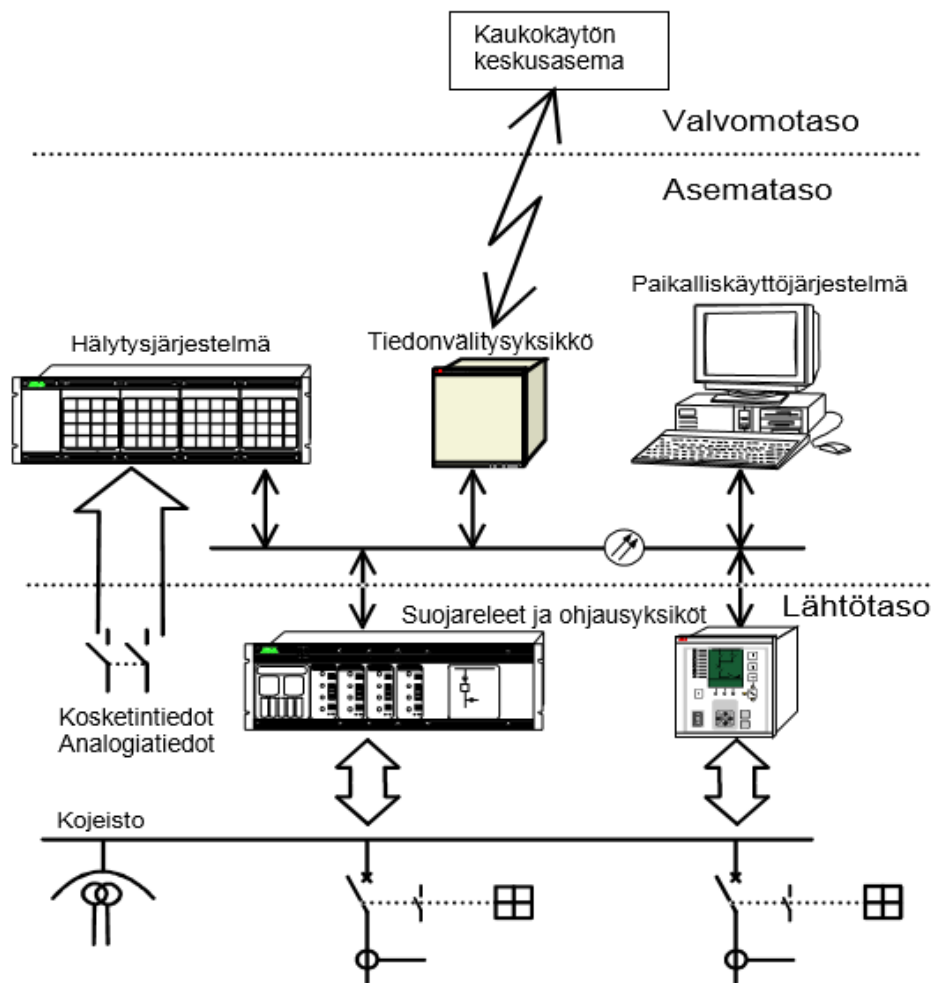
0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3. Tarkkuusluokka määräytyy jännite- ja kulmavirheen mukaan. (Elovaara & Haarla. 2011, 215-217; ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 10, 7-8)

3.4 Sähköasema-automaatio

Verkon käyttö ja valvonta perustuvat suureksi osaksi sähköaseman paikallisautomaatioon (SA, Substation Automation) ja kaukokäyttöön (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition). Paikallisautomaation avulla toteutetaan paikalliset ylläpitotoiminnot, kuten jännitteen säätö sekä tapahtuma- ja hälytyskäsittely. Kaukokäytön avulla voidaan kauko-ohjata sähköaseman eri laitteita kuten erottimia ja katkaisijoita sekä suorittamaan erilaisia mittauksia johtolähdöistä ja kiskoista. Näin ollen kaukokäytön avulla voidaan parantaa sähkön toimitusvarmuutta ja lyhentämään häiriöiden kestoja sekä säästämään henkilöstökuluissa. (Elovaara & Haarla. 2011, 385; ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 15, 5)

3.4.1 Sähköaseman paikallisautomaatiojärjestelmä

Sähköaseman paikallisautomaatiojärjestelmä voidaan jakaa kahteen tasoon, alempaan eli johtotasoon ja ylempään eli asematasoon. Lähtötasoon sisältyvät lähtökohtaiset suojareleet ja ohjausyksiköt. Suojareleissä ja ohjausyksiköissä on kommunikaatioväyläliityntä, jonka avulla ne liitetään yhteiseen kommunikaatioväylään. Suojareleisiin tarvitaan usein väyläliityntämoduuli, jonka avulla ne saadaan liitettyä haluttuun valokuituoptiseen väylään, kuten SPA tai IEC61850. Suojareleet ja ohjausyksiköt siirtävät mittaus-, asennonosoitus-, asettelu ja parametointi yms. tiedot kommunikaatioväylän avulla tiedonvälityksikölle. Tiedonvälityksikkö siirtää tiedot valvomon kaukokäytön keskusasemalle langattomasti esimerkiksi radiolinkin avulla. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 15, 5, 9)



Kuva 4. Sähköaseman paikallisautomaatiojärjestelmä. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 15, 11)

4 SUOJAUSJÄRJESTELMÄ

Suojausjärjestelmä koostuu suojareleiden, mittamuuntajien, katkaisijoiden ja tiedon-
siirtojärjestelmän muodostamalla kokonaisuudella. Suojauksen tarkoitus on standar-
din SFS-IEC 60050–448 mukaan havaita viat tai epänormaaliolosuhteet voimajärjes-
telmässä ja ratkaista sekä saada loppumaan ne. Suojauksen on erotettava oiko- tai maa-
sulun tapahduttua verkon vikaantunut osa muusta järjestelmästä, ettei se aiheuta vaaraa
eikä oikosulkuvirran vaikutus tuhoa laitteita. Tehonsiirto voi jatkua normaalisti verkon
muissa osissa, kun vikaantunut osa on erotettu muusta verkosta. (Elovaara & Haarla.
2011, 335-336)

4.1 Suojarele

Suojarele on mittaava rele, joka huolehtii verkon suojauksesta mittamuuntajien ja kat-
kaisijoiden kanssa muodostavalla kokonaisuudella. Suojareleitä oli aiemmin useita eri-
laisia eri kohteille tarkoitettuja. Nykyaikaisiin mikroprosessoripohjaisiin eli digitaali-
sesti toimiviin releisiin on konfiguroitu useita eri suojaustoimintoja. Ne muodostavat
suojauksen ja ohjausyksikön kanssa yhteisen terminaalin joita kutsutaan kennotermi-
naaleiksi.

4.1.1 Suojareleen toiminta

Suojarele toimii mittaamalla mittamuuntajan avulla eri suureiden muutoksia ja näiden
perusteella suojarele havahtuu, toimii ja palautuu. Rele pysyy normaalissa tilassa, kun-
nes jokin sen tarkkailema suure poikkeaa releelle asetelluista arvoista. Tällöin rele ha-
vahtuu. Kun rele on ollut tarpeeksi kauan havahtuneena, se antaa katkaisijalle laukai-
sukäskyn ja lähettää hälytyksen. Jos releen tarkkailema suure palautuu aseteltujen ar-
vojen sisälle havahtumisaikana tai releen toimittua, rele palautuu. Toiminta-ajaksi kut-
sutaan vian alkamisesta hälytykseen tai laukaisuun kuluva aikaa. Releen toiminta-
aikaa voidaan halutessa pidentää lisäämällä asettamalla releelle hidastus. Palautu-
misajaksi kutsutaan aikaa, mikä kuluu releen tarkkaileman suureen pienenemisestä
alle asetellun arvon releen palautumiseen saakka. Vian erotusajalla tarkoitetaan vian

alkamisen ja vikapaikan verkosta erottamiseen kuluva aika. (Elovaara & Haarla. 2011, 344)

4.1.2 Oikosulkusuojaus

Tavoitteena oikosulkusuojauksella on ehkäistä oikosulkuvirran aiheuttamat vahingot laitteille ja johdoille sekä erottaa vikaantunut lähtö muusta verkosta riittävän nopeasti. Suojauksen toisena tavoitteena on ehkäistä myös vikatilanteessa henkilövahingot käyttäjille sekä ulkopuolisille. (Lakervi & Partanen. 2008, 176)

Säteittäisessä verkossa oikosulkusuojana käytetään ylivirtarelettä. Ylivirtarele toimii heti kun verkossa esiintyvä virta ylittää sille asetellun virta-arvon. Nykyaikaisissa ylivirtareleissä on vähintään kaksi suojaporrasta, joista toinen voidaan asettaa toimimaan vakioaika- tai käänteisaikahidasteisesti ja toinen vakioaikahidasteisesti. Käänteisaikahidasteisesti rele katkaisee suurivirtaiset viat nopeammin kuin pienivirtaiset viat. (Elovaara & Haarla. 2011, 346; ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 10, 17)

Silmukoidussa verkossa vikavirta voi tulla mistä suunnasta tahansa, joten ei ole järkevintä käyttää ylivirtarelettä, koska se ei havaitse vikavirran suuntaa. Ylivirtarelettä voidaan kuitenkin käyttää silmukoidussa verkossa varasuojana. Silmukoidun verkon suojaukseen soveltuu paremmin distanssirele, joka havaitsee vian suunnan ja etäisyyden. Distanssireleen toiminta perustuu impedanssin laskemiseen virran ja jännitteen avulla. Vian suunnan distanssirele päätelee virran ja jännitteen vaihesiirtokulman perusteella. Distanssireleen etuna on myös, että sitä voidaan käyttää silmukoidussa verkossa ilman viestiyhteyttä, toisin kuin ylivirtarelettä. (Elovaara & Haarla. 2011, 346-348)

4.1.3 Maasulkusuojaus

Maasulkusuojana silmukoiduissa ja sammutetuissa verkoissa käytetään suunnattuja maasulkureleitä, jotka tunnistavat maasulkuvirran suunnan. Silmukoidussa verkossa maasulkuvirta on joskus niin pieni, ettei päästä selektiiviseen laukaisuun. Tällöin verk-

koa voidaan käyttää 1-vaiheisen vian aika ja suunnattu maasulkurele antaa vain hälytyksen. Maasulkusuojana voidaan käyttää nollavirtaa eli vaiheiden summavirtaa mitaamaan asetettua ylivirtarelettä. Tällöin ylivirtarele ei havaitse vian suuntaa, joten se laukaisee suojattavassa kohteessa ja muissa kohteissa olevat viat, jos vain vikavirta on tarpeeksi suuri. Distanssirelettä ei voida käyttää ainoana maasulkusuojana, koska se ei täytä Suomessa aseteltuja vaatimuksia. Distanssirele havaitsee suurivirtaiset maasulut vain noin 20Ω saakka ja Suomessa on ollut vaatimuksena, että suuruudeltaan 500Ω vikaresistanssin maasulut on pystyttävä laukaisemaan. (Elovaara & Haarla. 2011, 340-341; ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 10, 17)

4.1.4 Jälleenkytkentä

Avojohtoverkoissa käytetään relesuojauksen täydentämiseen jälleenkytkentäautomaatiikkaa. Vian sattuessa suojarele antaa katkaisijalle avaus- ja jälleenkytkentäreleelle toimintakäskyn. Toimintakäskyn saatuaan jälleenkytkentärele ohjaa lyhyen jännitteettömän ajan jälkeen katkaisijan takaisin kiinni. Yleensä valokaariviat poistuvat tämän lyhyen jännitteettömän ajan jälkeen ja näin se vähentää huomattavasti vian aiheuttamaa häiriövaikutusta. Jälleenkytkentärele voi olla erillinen rele tai se voi olla integroituna johonkin suojareleeseen. Nykyaikaisissa kennoterminaaleissa on integroituna jälleenkytkentätoiminto. PJK eli pikajälleenkytkentä tehdään lyhyen ajan jälkeen. Tähän vaikuttaa katkaisijan toiminta-aika sekä valokaaren vaikutuksesta ionisoituneen ilman palautumisaika. Tyypillisesti pikajälleenkytkennän jännitteetön aika on noin 0,2-0,4 s. AJK eli aikajälleenkytkentä tehdään, jos vika ei poistu PJK:lla. Aikajälleenkytkennän jännitteetön aika on noin minuutin luokkaa. (Elovaara & Haarla. 2011, 356, 372-373)

4.2 Relesuojausjärjestelmän yleisperiaatteet

Relesuojausjärjestelmä on hyvin toteutettuna selektiivinen, nopea, luotettava ja herkästi toimiva. Relesuojausjärjestelmän on myös toimittava poikkeuksellisissa käyttötilanteissa. Selektiivisyydellä tarkoitetaan, että kytketään verkosta pois vain vikaantunut lähtö. Näin saadaan rajattua pois vain vikaantunut verkon osa ja pystytään minimoimaan sähkönkäyttäjille aiheutunut haitta. Selektiivisyys tarkoittaa myös sitä, että

jokainen verkon osa on suojattu jollakin suojareleellä. Suojauksen luotettavuuden takaamiseksi on jokaisen suojattavan lähdön kuuluttava vähintään kahden eri releen suojausalueeseen. Varasuojaus voidaan tehdä kahdella erillisellä pääsuojauksella tai varasuojana voidaan käyttää toisen releen hidastettua porrasta. (Elovaara & Haarla. 2011, 342)

Suojauksen oikean toiminnan varmistamiseksi käytetään releiden asetteluissa seuraavia yleisperiaatteita. Kun releen halutaan lähettävän katkaisijalle laukaisukäskyn, kerrotaan tiedetty suure 0,8, tai muulla ykköstä pienemmällä luvulla. Tai kun taas halutaan, että rele ei laukaise, kerrotaan tiedetty suure 1,2 tai muulla ykköstä suuremmalla luvulla. Avojohtoverkossa johtojen ylikuormitus on harvinaista, koska ilmaan asennetuilla avojohtimilla on hyvä lämmönluovutuskyky. Asetteluarvoksi valitaan usein sellainen arvo, että rele toimii noin kaksinkertaisella kuormitusvirralla. Asetteluarvoa valitessa on otettava huomioon, että rele toimii myös johdon loppupäässä tapahtuvassa kaksivaiheissa oikosulussa. Kaapeliverkossa havahtumisen on tapahduttava viimeistään kaapelin virrankestoisuuden tullessa vastaan. (Elovaara & Haarla. 2011, 343; Lakervi & Partanen. 2008, 176)

Sähköaseman johtolähtöjen alkupäässä tapahtuvissa oikosuluissa virta voi kasvaa todella suureksi ja niiden oikosulkukestoisuuden ylittyminen voidaan varmistaa hetkellislaukaisulla. Se myös pitää syvien jännitekuoppien kestoajat lyhyinä. Hetkellislaukaisulle asetteluarvoksi asetetaan yleensä muutama kiloampeeri. Sähköaseman pääkatkaisijoissa käytetään myös hetkellislaukaisua varmistamaan nopea poiskytkentä kiskosto-oikosuluissa. Keski-jänniteverkon vioissa pääkatkaisijan hetkellislaukaisun toimimisen estää keski-jännitelähdön releen havahtuminen, joka lukitsee pääkatkaisijan hetkellislaukaisun.

Johdoilla saattaa olla myös syöttävän sähköaseman lisäksi muuallakin katkaisijoita. Tällaisen välikatkaisijan toiminnan takaamiseksi sen takana sattuvassa oikosulussa toteutetaan ylivirtareleen aikaselektiivisyyttä käyttäen. Eli välikatkaisijaa ohjaavaan releeseen asetetaan lyhyempi laukaisuaika kuin syöttävän sähköaseman kennon katkaisijaa ohjaavalla releellä on. (Lakervi & Partanen. 2008, 176-177)

5 NYKYTILANTEEN KUVAUS

Köyliön-Säkylän Sähkö Oy on hankkinut Ristolan 20kV:n kytkinaseman käytettynä vuonna 1993. Kytkinaseman kojeisto on rakennettu 1970 luvulla. Kytkinasemassa on kahdeksan lähtöä, joista seitsemän on käytössä. Kojeisto on tyypiltään avorakenteinen mutta johdonsuojareleet, kaukokäyttöjärjestelmä, akusto ja tasasähköjärjestelmä on asennettu avokojeiston vieressä sijaitsevaan rakennukseen. Alempana on kerrottu lyhyesti Ristolan kytkinaseman tämän hetkisistä komponenteista.



Kuva 4. Ristolan 20kV:n kytkinasema

5.1 Johdonsuojarele

Ristolan kytkinasemaan on vaihdettu vuonna 1995 ABB:n valmistamat SPACOM-tuoteperheeseen kuuluvat numeraaliset SPAA 341 C johdonsuojareleet. Suojareleiden käyttöikäksi on yleisesti määritelty 40 vuotta, joten käyttöikä on jäljellä vielä noin 20 vuotta.

SPAA 341 C johdonsuojarele on tarkoitettu maasta erotettujen säteisverkkojen, sammutettujen ja osittain maadoitettujen verkkojen suojaukseen. Se sisältää yhdistetyn ylivirta- ja maasulkumoduulin SPCJ 4D28, Suunnatun/suuntaamattoman maasulkumoduulin SPCS 2D26 ja Jälleenkytkentäyksikön SPCT 5D54. (ABB. SPAA 341 C. 2005, 3)

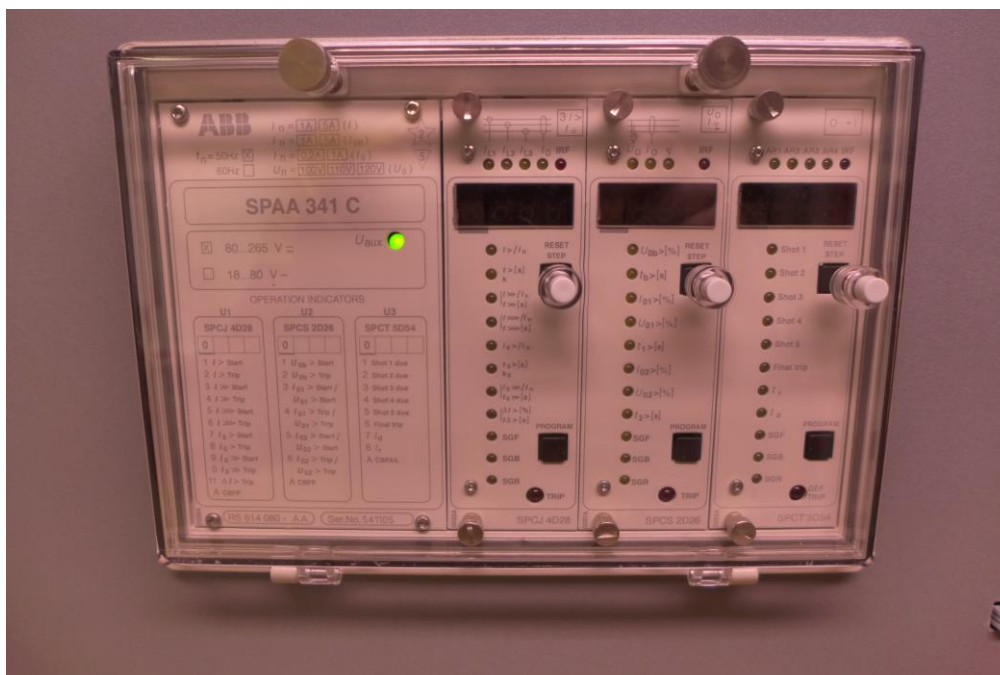
Yhdistetty ylivirta- ja maasulkumoduuli SPCJ 4D28 sisältää neljä suojausyksikköä: ylivirta-, maasulku-, vaihekatkossuoja- ja katkaisijavikasuojayksikön. Kolmivaiheisessa ylivirtayksikössä on kolme ylivirtaporrasta: $I>$, $I>>$ ja $I>>>$. Porras $I>$ toimii vakio- tai käänteisaikaisesti ja portaat $I>>$ ja $I>>>$ toimivat vakioaikaisesti. Vaihekatkossuojayksikkö mittaa vaihevirtojen välistä epäsymmetriaa ja toimii vakioaikaisesti. Suuntaamattomassa maasulkusuojassa on kaksi suojaporrasta, alempi porras $I_0>$ ja ylempi porras $I_0>>$. Alempi porras on aseteltavissa vakioaika- tai käänteisaikatoimintaiseksi ja ylempi porras $I_0>>$ on vakioaikatoimintainen. (ABB. SPAA 341 C. 2005, 3-4)

Suunnattu/suuntaamaton maasulkumoduuli SPCS 2D26 sisältää kaksi suojausyksikköä, maasulkuyksikön ja katkaisijavirtayksikön. Maasulkuyksikkö mittaa nollavirtaa ja nollajännitettä ja sitä voidaan käyttää suunnattuna tai suuntaamattomana. Suunnattuna se voi mitata vikavirran lisäksi myös vian suunnan avuksi käyttäen nollavirran ja nollajännitteen vaihekulmaa. Maasulkuyksikössä on kaksi suojaporrasta, alempi porras $I_{01}>$ ja ylempi porras $I_{02}>$. Molemmat portaat, $I_{01}>$ ja $I_{02}>$ ovat vakioaikatoimintaisia. Maasulkuyksikköä voidaan käyttää myös vakioaikatoimintaisena nollajännitesuojana jolloin se mittaa vain nollajännitettä. Tällöin maasulkuyksiköllä on kolme suojaporrasta, $U_{0b}>$, $U_{01}>$ ja $U_{02}>$. (ABB. SPAA 341 C. 2005, 4)

Jälleenkytkentäyksiköllä SPCT 5D54 on monipuoliset toiminnot. Se voi käynnistyä suojausmoduulien SPCJ 4D28 ja SPCS 2D26 havahtumis- tai laukaisusignaaleista tai sitä voidaan ohjata ulkoisesti ohjaussignaaleilla. Jälleenkytkentämoduulissa on myös jälleenkytkentöjen tietoja tallentavia laskureita ja katkaisijan kunnonvalvontatoiminto joka hälyttää, kun katkaisija on huollon tarpeessa. (ABB. SPAA 341 C. 2005, 4)

Johdonsuojarele SPAA 341 C on mahdollista liittää kuituoptiseen SPA-väylään erillisen väyläliitäntä moduulin SPA-ZC 21 tai SPA-ZC 17 välityksellä, joka kytketään releen takapaneelissa olevaan sarjaporttiin. (ABB. SPAA 341 C. 2005, 4)

Ristolan kytkinaseman johdonsuojareleitä ei ole kytketty SPA-väylään. Releiden etäkäyttö tapahtuu GSM-verkon kautta.



Kuva 5. Johdonsuojarele SPAA 341 C

5.2 Virtamuuntaja

Virtamuuntajat ovat Strömbergin valmistamat KOTU 24D 18. Kyseisissä virtamuuntajissa on kaksi sydäntä, mittaus- ja suojaussydän. Virtamuuntajat ovat kytkettäviä kahdelle ensiövirralle, joten niiden mitoitusensiovirta on 100-200 A. Mitoitustoisiovirta molempien sydänten toisiokäämissä on 5 A. Suojaussydämen tarkkuusluokka on 10P ja mitoitustaakka 30 VA. Mittaussydämen tarkkuusluokka on 0,5 ja mitoitustaakka 15 VA.



Kuva 6. Virtamuuntaja KOTU 24D 18

5.3 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntaja on Strömbergin KSEU 20. Jännitemuuntajan ensiökäämi on kytketty vaiheen ja tähtipisteen väliin, joten mitoitusjännite on $20000:\sqrt{3}$ V. Toisiokäämin mitoitusjännite on $100:\sqrt{3}$ V. Mitoitusteho on 100: 3 VA.



Kuva 7. Jännitemuuntaja KSEU 20

5.4 Katkaisija

Katkaisijat ovat Strömbergin valmistamat OSAR 24 T1 vähäöljykatkaisijat. Katkaisijat ovat valmistettu vuosina 1967–1977, joten ne ovat jo käyttöikänsä päässä ja niiden varaosien saanti on hankalaa. Katkaisijaa ohjaa ohjainlaite UJT 3, joka on varustettu 110 V tasajännitteellä toimivalla viritysmoottorilla. Katkaisijoiden tekniset tiedot:

- Nimellisjännite U_n 20/24kV
- nimellisvirta I_n 400A.
- Symmetrinen katkaisuteho katkaisijalla on 24kV:lla 250MVA ja 12kV:lla 150MVA.
- Terminen I_k kestoisuus 1s ajan on 15kA.



Kuva 8. Katkaisija Strömberg OSAR 24 T1

5.5 Erotin

Erottimet ovat Strömbergin valmistamat OJUK 2-24 A400.

Tekniset tiedot:

- nimellisjännite U_n 20kV
- nimellisvirta I_n on 250A,
- terminen I_k virrankestoisuus 5kA
- dynaaminen I_k kestoisuus 13kA

5.6 Kokoojakiskojärjestelmä

Kokoojakisko on tyypiltään kisko-apukisko järjestelmä. Kiskostossa on erottimet jokaisen katkaisijan edessä ja takana ja lisäksi katkaisijoiden ohituserottimet. Liitteessä 2 on kuva kytkinaseman pääkaaviosta.

6 RELESUOJAUKSEN TOTEUTUS

Ristolán kytkinasemaan on tehty suojareiden vaihto vuonna 1995, jolloin sinne asennettiin johdonsuojareleet SPAA 341 C. Kappaleessa 3 on kuvattu kyseisten suojareiden ominaisuuksia tarkemmin. Johdonsuojareleet on sijoitettu erilliseen rakennukseen ns. relehuoneeseen avorakenteisen kojeiston viereen. Johdonsuojareleet ovat asennettu kaappien oviin upottamalla. Rakennus, jossa johdonsuojareleet ovat, jätetään huolto-rakennukseksi.

Sain tehtäväkseni pohtia nykyisten johdonsuojareiden käytettävyyden kannattavuutta uudessa kytkinasemassa sekä selvittää kolmen eri toteutusvaihtoehdon väliltä kannattavin ratkaisu suojareleistykselle. Eri toteutusvaihtoehtojen kustannuserojen selvittämiseksi pyysin hinta-arviot jokaisesta toteutusvaihtoehdosta. Alla on esitetty johdonsuojareleiltä vaaditut minimi vaatimukset:

- suunnattu maasulkusuojaus
- ylikuormitus ja vikavirtasuojaus
- valokaarisuojaus
- pika- ja aikajälleenkytkentä

Lisäksi suojareiden välinen tiedonsiirto halutaan toteuttaa SPA-väylällä.

Ensimmäinen vaihtoehto on johdonsuojareiden SPAA 341C jättäminen nykyiseen paikkaan eli erilliseen rakennukseen uuden tulevan kytkinaseman viereen. Nykyisen ulkokojeiston ja relehuoneen välillä on kaapelikanava, jota voidaan hyödyntää releiden ja uuden kojeiston välisissä johdotuksissa. Koska kyseiset suojareleet eivät tue mittaustietojen välitystä tarvitaan uuteen kojeistoon kaksikämmiset mittamuuntajat yksikämmisten sijaan sekä kaukokäyttöä varten on asennettava välireleet.

Lisäksi jokaisen releen takapaneelissa olevaan RS485 sarjaporttiin on liitettävä SPA-ZC 17 tai SPA-ZC 21 väyläliitäntämoduuli jotta releet saadaan liitettyä SPA-väylään.



Kuva 9. Releiden nykyinen sijainti.

Toisena vaihtoehtona on, että johdonsuojareleet SPAA 341 C siirretään uuteen kytkinasemaan. Uuteen kojeistoon tehtäisiin aukot johdonsuojareleiden asennusta varten ja asennettaisiin kytkimet katkaisijoiden paikallishajausta varten sekä virtamittarit. Lisäksi tämä vaihtoehto vaatii kaikki samat toimenpiteet kuin vaihtoehto 1 mutta relehuoneen ja uuden kojeiston välisiltä johdotuksilta säästytään.

Kolmas vaihtoehto on, että uuteen kytkinasemaan asennetaan uudet REF 541 kennotermiinit. Syy miksi valittiin REF 541 on, että Säkylän asemalla on käytössä kyseiset suojareleet, joten niiden käytöstä on aikaisempaa kokemusta. REF 541 on varustettu graafisella käyttöliittymällä. Näytöllä esitetään tilatietoja kytkentätilanteesta, mittaus-tietoja kuten pätö- ja loisteho ja tehokerroin sekä tietoja ohjaushälytyksistä. Käyttöliittymän avulla saadaan ohjattua katkaisijoita, joten erillisiä ohjauskytkimiä ei tarvita.

Suojareleiden SPAA 341 C ja REF 541 oleellisimpien suojausominaisuuksien vertailumiseksi on tehty taulukko (Liite 1). Tehdyn vertailun perusteella selviää, että REF 541 on hieman monipuolisemmat suojausominaisuudet kuin SPAA 341 C. Suojarele SPAA 341 C kuitenkin täyttää Ristolän kytkinaseman suojauselta vaaditut ominaisuudet.

6.1 Hinta-arvio

Alla olevaan taulukkoon on listattu saadut hinta-arviot eri vaihtoehtoista.

Taulukko 1. Hinta-arviot

| Toteutus vaihtoehto | Hinta-arvio / € |
|---------------------|-----------------|
| 1 | 12500 |
| 2 | 2500 |
| 3 | 18000 |

Hinta-arvion perusteella selvisi, että selvästi edullisin vaihtoehto on siirtää SPAA 341 C johdonsuojareleet uuteen kojeistoon. Se on hinta-arvioltaan noin 70% pienempi kuin vaihtoehto 3. Ensimmäisen vaihtoehdon hinta-arvio on vain n. 30% pienempi verrattuna vaihtoehtoon 3. Ensimmäisen vaihtoehdon suuri kustannus johtuu enimmäkseen suojareleiden ja kojeiston välisistä johdotuksista.

7 KYTKINLAITOKSEN MITOITUS/LASKENTA

Vikatilanteiden analysoiminen on tärkeä osa sähköverkon suunnittelussa ja mitoittamisessa. Tärkeimmät kytkinaseman mitoittamiseen tarvittavat arvot ovat kaksi- ja kolmevaiheiset oikosulkuvirrat, dynaaminen- ja terminen oikosulkuvirta sekä maasulkuvirrat.

7.1 Oikosulkuvirran laskenta

Ristolán kytkinasemaa syötetään normaalissa tilanteessa Kiukaisten sähköasemalta. Kytkinasemaa voidaan syöttää myös Säkylän asemalta. Jos Ristolán kytkinasemaa syötetään Säkylán asemalta, on otettava huomioon, että Säkylán asemaa voidaan syöttää Harjavallasta tai Liedosta. Eli Ristolán kytkinaseman oikosulkuvirrat on laskettava kolmen eri kytkentätilanteen mukaan, jotta saadaan selvitettyä pienin ja suurin oikosulkuvirta.

Tiedustelin Carunalta 110 kV:n verkon syöttämiä oikosulkuvirtoja Säkylán asemalle ja sain heiltä seuraavat arvot, jotka ovat arviot, kun kantaverkossa on normaali maksimitilanne.

Syöttö Liedosta: $I_k = 2,0 \text{ kA}$

Syöttö Harjavallasta: $I_k = 3,1 \text{ kA}$

Carunan mukaan näiden arvojen laskennassa on käytetty lähtöarvona alkuoikosulkuvirta arvoja I_k'' Lietoon ja Harjavaltaan, ja ne ovat noin 10% suurempia kuin vastaavat perustilanteen muutosoikosulkuvirrat ko. pisteissä. Tämä ero pienenee kuitenkin Säkylään mennessä hyvin pieneksi, eli näitä kyseessä olevia arvoja voi pitää I_k' arvoina.

Kiukaisten asemalle tulevat oikosulkuvirrat tiedustelin Paneliankosken Voima Oy:lta ja sain heiltä seuraavat arvot:

Perustilanne v.2014:

$$I_k' = 6,7 \text{ kA} \quad Z_k' = (2,7 + j9,85) \Omega$$

Normaali maksimitilanne v.2014:

$$I_k'' = 7,4 \text{ kA} \quad Z_k'' = (2,3 + j9,0) \Omega$$

Valitsin oikosulkuvirtojen laskentaan vuoden 2014 perustilanteen arvon 6,7 kA.

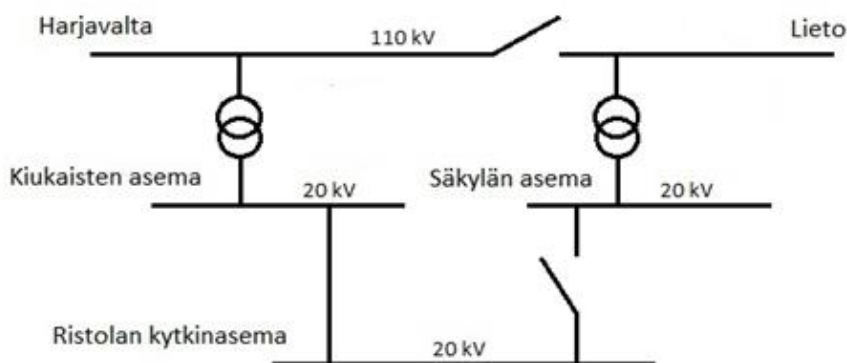
Taulukossa 2 on oikosulkuvirtojen laskentaan tarvittavat johdinten sähkötekniset arvot. Arvot on otettu DMS 600 NE verkkotietojärjestelmästä.

Taulukko 2. Johdinten sähkötekniset arvot

| Johdin | R mΩ/km | X mΩ/km | τ min | I _{max} , 1 s kA |
|--------------|------------|------------|----------|------------------------------|
| AHXAMK-W 150 | 0,216 | 0,124 | 50 | 14,1 |
| AHXCMK 120 | 0,256 | 0,121 | 65 | 11,4 |
| PAS 120 | 0,288 | 0,284 | 15 | 11 |

7.1.1 Kytkentätilanne 1

Kytkentätilanteessa 1 (kuva 10) Ristolan kytkinasemaa syötetään Kiukaisten asemalta. Ristolan kytkinasemaa syöttävässä lähdössä on 14180m PAS 120 ilmajohtoa, 850m AHXAMK-W 150 maakaapelia ja 115m AHXCMK 120 maakaapelia.



Kuva 10. Kytkentätilanne 1.

Kiukaisten aseman päämuuntajan sähkötekniset arvot:

$$S_N = 31,5 \text{ MVA}$$

$$U_{1N} = 110 \text{ kV}$$

$$U_{2N} = 20 \text{ kV}$$

$$Z_K = 10 \%$$

Ensiksi laskettiin 110 kV:n verkon syöttämä oikosulkuteho kaavalla 6.

$$S'_k = \sqrt{3} \cdot 110 \text{ kV} \cdot 6,7 \text{ kA} = 1276,5 \text{ MVA}$$

Seuraavaksi laskettiin 110 kV:n verkon impedanssi ja se redusoiitiin 21 kV tasoon.

$$Z_k = \frac{110^2}{1276,5} \left(\frac{21}{110} \right)^2 = 0,378 \Omega$$

Muuntajan osuus:

$$Z_m = \frac{12,6}{100} \cdot \frac{21^2}{31,5} = 1,76 \Omega$$

Oikosulkuimpedanssi Kiukaisten aseman kiskossa:

$$Z_a = 0 + j(0,378 + 1,76)\Omega = j2,14 \Omega$$

$$Z_a = 2,14 \Omega$$

Johdinten vaikutukset laskettiin kertomalla johdinten pituudet taulukossa 2 olevilla arvoilla. Resistanssi ja reaktanssi arvot ovat laskettuna alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3.

| Johdin | Pituus [km] | R [Ω] | X [Ω] |
|--------------|-------------|----------------|----------------|
| AHXAMK-W 150 | 0,850 | 0,184 | 0,105 |
| AHXCMK 120 | 0,115 | 0,029 | 0,014 |
| PAS 120 | 14,18 | 4,084 | 4,027 |
| | yht. | 4,297 | 4,146 |

Oikosulkuimpedanssi Ristolan kytkinasemalla:

$$Z_b = (4,297 + j4,146)\Omega + Z_a$$

$$Z_b = (4,297 + j4,146) + (j2,14) = 7,61 \Omega$$

$$Z_b = 7,61 \Omega$$

Kun tiedetään oikosulkuimpedanssit, niin voidaan laskea kolmivaiheiset oikosulkuvirrat kaavalla 3.

Kiukaisten asemalla:

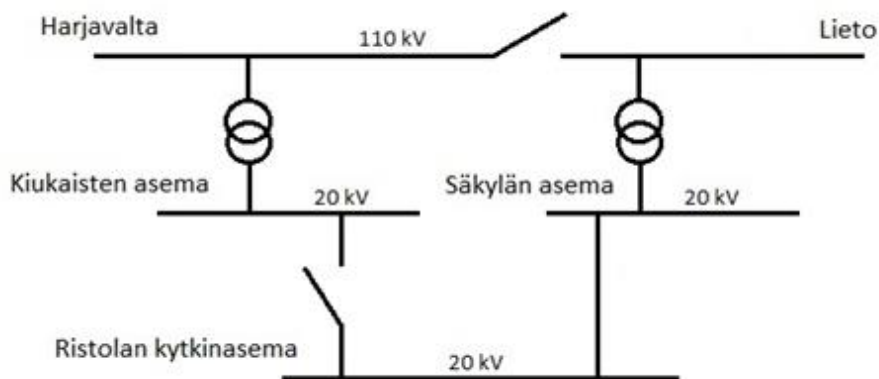
$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_a} = \frac{1,1 \cdot 21}{\sqrt{3} \cdot 2,14} = 6,25 \text{ kA}$$

Ristolan kytkinasemalla:

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_b} = \frac{1,1 \cdot 21}{\sqrt{3} \cdot 7,61} = 1,75 \text{ kA}$$

7.1.2 KytKentättilanne 2

KytKentättilanteessa 2 (kuva 11) Ristolan kytkinasemaa syötetään SäkyLän asemalta. SäkyLän asemaa puolestaan syötetään Liedosta. Ristolan kytkinasemaa syöttävässä lähdössä on 12165m PAS 120 ilmajohtoa, 836m AHXAMK-W 150 maakaapelia ja 170m AHXCMK 120 maakaapelia.



Kuva 11. Kytkentätilanne 2

Säskylän aseman päämuuntajan sähkötekniset arvot:

$$S_N = 25 \text{ MVA}$$

$$U_{1N} = 110 \text{ kV}$$

$$U_{2N} = 20 \text{ kV}$$

$$Z_K = 10 \%$$

Ensiksi laskettiin 110 kV:n verkon syöttämä oikosulkuteho kaavalla 6.

$$S'_k = \sqrt{3} \cdot 110 \text{ kV} \cdot 2,0 \text{ kA} = 381,1 \text{ MVA}$$

Seuraavaksi laskettiin 110 kV:n verkon impedanssi ja se redusoiitiin 20,5 kV tasoon.

$$Z_k = \frac{115^2}{381,1} \left(\frac{21}{110} \right)^2 = 1,26 \Omega$$

Muuntajan osuus:

$$Z_m = \frac{10}{100} \cdot \frac{21^2}{25} = 1,76 \Omega$$

Oikosulkuimpedanssi Säskylän aseman kiskossa:

$$Z_a = 0 + j(1,26 + 1,76)\Omega = j3,02 \Omega$$

$$Z_a = 3,02 \Omega$$

Johdinten vaikutukset laskettiin kertomalla johdinten pituudet taulukossa 2 olevilla arvoilla. Resistanssi ja reaktanssi arvot laskettua alla olevassa taulukossa 4.

Taulukko 4.

| Johdin | Pituus [km] | R [Ω] | X [Ω] |
|--------------|-------------|----------------|----------------|
| AHXAMK-W 150 | 0,836 | 0,181 | 0,104 |
| AHXCMK 120 | 0,170 | 0,044 | 0,021 |
| PAS 120 | 12,17 | 3,505 | 3,456 |
| | yht. | 3,729 | 3,581 |

Oikosulkuimpedanssi Ristolan kytkinasemalla:

$$Z_b = (3,73 + j3,58)\Omega + Z_a$$

$$Z_b = (3,73 + j3,58) + (j3,02) = 7,581 \Omega$$

$$Z_b = 7,581 \Omega$$

Kolmivaiheiset oikosulkuvirrat saatiin laskettua kaavalla 4.

Säkylän asemalla

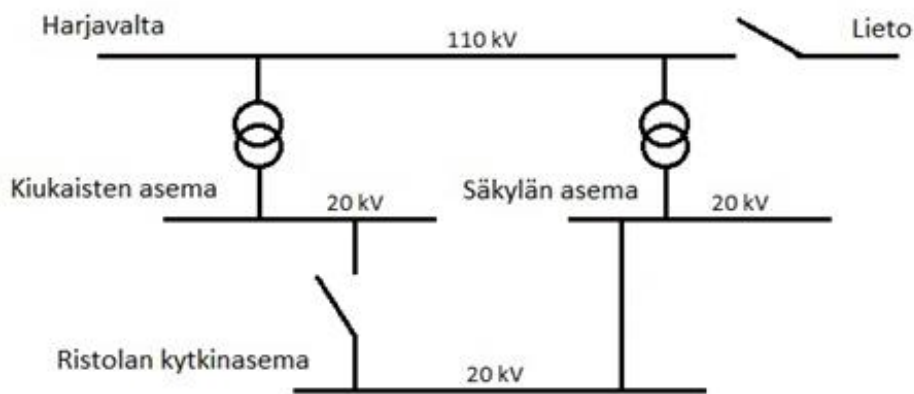
$$I_k = \frac{1,1 \cdot 21}{\sqrt{3} \cdot 3,02} = 4,42 \text{ kA}$$

Ristolan kytkinasemalla

$$I_k = \frac{1,1 \cdot 21}{\sqrt{3} \cdot 7,581} = 1,76 \text{ kA}$$

7.1.3 Kytkentätilanne 3

Kytkentätilanteessa 3 (kuva 12) Ristolan kytkinasemaa syötetään Säkylän asemalta. Säkylän asemaa puolestaan syötetään Harjavallasta.



Kuva 12. Kytentätilanne 3.

Ensiksi laskettiin 110 kV:n verkon syöttämä oikosulkuteho kaavalla 6.

$$S_k = \sqrt{3} \cdot 110 \text{ kV} \cdot 3,1 \text{ kA} = 590,6 \text{ MVA}$$

Seuraavaksi laskettiin 110 kV:n verkon impedanssi ja se redusoiitiin 21 kV tasoon.

$$Z_k = \frac{115^2}{590,6} \left(\frac{21}{110} \right)^2 = 0,82 \ \Omega$$

Muuntajan osuus:

$$Z_m = \frac{10}{100} \cdot \frac{21^2}{25} = 1,76 \ \Omega$$

Oikosulkuimpedanssi Säkylän aseman kiskossa:

$$Z_a = 0 + j(0,82 + 1,76)\Omega = j2,58 \ \Omega$$

$$Z_a = 2,58 \ \Omega$$

Johdinten arvoina käytetään täysin samoja kuin kytentätilanteessa 2.

$$X_j = 3,58 \ \Omega$$

$$R_j = 3,73 \ \Omega$$

Oikosulkuimpedanssi Ristolan kytkinasemalla:

$$Z_b = (3,73 + j3,58)\Omega + Z_a$$

$$Z_b = (3,73 + j3,58) + (j2,58) = 7,201 \Omega$$

$$Z_b = 7,201 \Omega$$

Oikosulkuvirta Säskylän asemalla:

$$I_k = \frac{1,1 \cdot 21}{\sqrt{3} \cdot 2,58} = 5,17 \text{ kA}$$

Oikosulkuvirta Ristolan kytkinasemalla:

$$I_k = \frac{1,1 \cdot 21}{\sqrt{3} \cdot 7,201} = 1,85 \text{ kA}$$

7.1.4 Dynaaminen oikosulkukestoisuus

Laitteiston dynaamisen kestävyuden määrää sysäysoikosulkuvirta. Sysäysoikosulkuvirran määrittämiseen käytetään sellaisen kytkentätilanteen mukaista oikosulkuvirtaa, jossa se on suurin. Valitaan suurimman oikosulkuvirran omaava kytkentätilanne eli kytkentätilanne 3, jonka oikosulkuvirta on 1,85 kA.

Sysäysoikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla 1.

$$1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,85 = 2,88 \text{ kA}$$

Jossa sysäyskerroin K:

$$K = 1,02 + 0,98 * e^{-3 \frac{R}{X}}$$

$$K = 1,02 + 0,98 * e^{-3 \frac{4,55}{5,34}}$$

$$K = 1,1$$

7.1.5 Terminen oikosulkukestoisuus

Terminen oikosulkukestoisuus saadaan laskettua kaavalla 5. Käytetään oikosulkuvirran kestoaikana 3 s.

$$I_{th} = 1,85 \cdot \sqrt{1 \cdot 3} = 3,2 \text{ kA}$$

Kaavan perusteella voidaan todeta, että mitä pidempi on oikosulun kesto aika, sitä suurempaa termisen oikosulkuvirran kesto vaaditaan laitteistolta.

7.2 Maasulkuvirran laskenta

Ristolan kytkinaseman maasulkuvirrat on laskettu tilanteen mukaan, jossa se on maasta erotettu. Normaalitilanteessa KSS Oy:n sähköverkko on sammutettu maasulkuvirran kompensointilaitteistojen avulla. Laskentahetkellä Ristolan kytkinasemaa syötetään Kiukaisten asemalta. Voitoisten lähdön aiheuttamaa maasulkuvirtaa ei oteta huomioon koska sitä syötetään laskentahetkellä Kiukaisten asemalta.

Ensiksi selvitettiin galvaanisesti yhteen kytketyn verkon johdintyytit ja pituudet. Alapuolella on tehty taulukko verkossa olevista johtojen pituuksista ja johdintyyteistä lähdöittäin.

Taulukko 5. Lähtöjen johtopituudet tyyteittäin.

| Lähtö | Johtopituus tyyteittäin / m | | | | | | | | | | Yht. | |
|-------------|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|---------------|--------------|-------------|-----------------|---------------|------|---------|
| | AHXAMK-W 3x150 | AHXAMK-W 3x120 | AHXAMK-W 3x95 | AHXAMK-W 3x50 | AXFXLJ 3x25 | SAMKA 3x70 | PAS 3x120 | PAS 3x70 | SPARROW 3x40 | RAVEN 3x63 | | BLL-T62 |
| Järvenpää | | | | | 330 | | 2394 | 692 | 262 | 4845 | | 8523 |
| Tuiskula | 828 | | 438 | | 114 | 287 | 2911 | 104 | 2412 | | | 7094 |
| Ketjutehdas | | 305 | 762 | | | | 578 | | | 93 | | 1738 |
| Kepola | 835 | | | 705 | | | 6608 | 67 | 954 | 879 | 484 | 10532 |
| Ilmiinjärvi | | 419 | 9 | | | | 2394 | | 676 | 8146 | | 11644 |

Kun tiedetään johdon pituus ja yhden vaiheen maakapasitanssi arvo, voidaan laskea johdon aiheuttama maasulkuvirta kaavalla 7, tai voidaan katsoa taulukosta valmiiksi laskettu maasulkuarvo. Taulukossa 6 on esitetty eri johtotyyteille valmiiksi laskettuja

maasulkuarvoja. PAS eli eristetylle ilmajohtolle ja avojohtoille on valittu sama maasulkuarvo poikkipinta-alasta riippumatta. Valmiiksi lasketut maasulkuarvot on katsottu ABB:n TTT-käsikirja 2000-07 taulukosta 8.2a ja 8.2b s. 2-3.

Taulukko 6. Johtojen ja kaapeleiden maasulkuarvoja [A/km]. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 8, 2-3)

| | |
|----------------|------|
| AHXAMK-W 3x150 | 2,60 |
| AHXAMK-W 3x120 | 2,40 |
| AHXAMK-W 3x95 | 2,30 |
| AHXAMK-W 3x50 | 1,80 |
| AXFXLJ 3x25 | 1,30 |
| SAMKA 3x70 | 2,30 |
| PAS 3x120 | 0,06 |
| PAS 3x70 | 0,06 |
| Avojohto | 0,06 |

Kaapelin tai johdon syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa saatiin kertomalla johdon pituus taulukossa olevalla maasulkuarvolla. Koko lähdön syöttämä maasulkuvirta saatiin, kun summattiin jokaisen lähdössä olevan kaapelin ja johdon syöttämä maasulkuvirta.

Taulukko 7. Lähtöjen syöttämät maasulkuvirrat suorassa maasulussa I_{ej} ja lähtöjen syöttämät maasulkuvirrat 500Ω vikaresistanssin kautta tapahtuvassa maasulussa $I_{ef500\Omega}$.

| Lähtö | I_{ej} [A] | $I_{ef500\Omega}$ [A] |
|-------------|----------------|-----------------------|
| Järvenpää | 0,92 | 0,92 |
| Tuiskula | 4,29 | 4,22 |
| Ketjutehdas | 2,52 | 2,50 |
| Kepola | 3,98 | 3,92 |
| Ilmiinjärvi | 1,70 | 1,69 |
| | Σ 13,41 | Σ 11,6 |

Taulukossa 3 on laskettu lähtöjen syöttämät maasulkuvirrat 500Ω vikavastuksen kautta syntyvässä maasulussa kaavalla 9.

Virta-asettelut laskettiin pahimman tilanteen mukaan, eli tilanteen, jossa tarkasteltavan lähdön kanssa on kytkettynä vain pienimmän maasulkuvirran omaava lähtö. Tässä tapauksessa se on Järvenpään lähtö ja sen syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa on 0,92 A.

Tuiskulan lähdön virta-asettelu, lähdöt tuiskula ja järvenpää kytkettynä:

$$I_e = (0,92 + 4,29) \text{ A} = 5,21 \text{ A}$$

$$I_{ef \text{ järvenpää,tuiskula}} = \frac{5,14 \text{ A}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 5,14 \text{ A}}{20 \cdot 10^3 \text{ V}} \cdot 500 \Omega\right)^2}} = 4,85 \text{ A}$$

$$I_r \text{ tuiskula} = \frac{(5,21 - 4,29) \text{ A}}{5,21 \text{ A}} \cdot 5,02 = 0,86 \text{ A}$$

Ketjutehtaan lähdön virta-asettelu, lähdöt ketjutehdas ja järvenpää kytkettynä:

$$I_e = (0,92 + 2,52) \text{ A} = 3,44 \text{ A}$$

$$I_{ef \text{ järvenpää,ketjutehdas}} = \frac{3,44 \text{ A}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 3,44 \text{ A}}{20 \cdot 10^3 \text{ V}} \cdot 500 \Omega\right)^2}} = 3,40 \text{ A}$$

$$I_r \text{ ketjutehdas} = \frac{(3,44 - 2,52) \text{ A}}{3,44 \text{ A}} \cdot 3,40 = 0,91 \text{ A}$$

Kepolan lähdön virta-asettelu, kepola ja järvenpää kytkettynä:

$$I_e = (0,92 + 3,98) \text{ A} = 4,90 \text{ A}$$

$$I_{ef \text{ järvenpää,kepola}} = \frac{4,90 \text{ A}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 4,90 \text{ A}}{20 \cdot 10^3 \text{ V}} \cdot 500 \Omega\right)^2}} = 4,60 \text{ A}$$

$$I_r \text{ kepola} = \frac{(3,44 - 2,52) \text{ A}}{3,44 \text{ A}} \cdot 3,40 = 0,86 \text{ A}$$

Ilmiinjärven lähdön virta-asettelu, ilmiinjärvi ja järvenpää kytkettynä:

$$I_e = (0,92 + 1,70) \text{ A} = 2,62 \text{ A}$$

$$I_{ef \text{ järvenpää,ilmiinjärvi}} = \frac{2,62 \text{ A}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 2,62 \text{ A}}{20 \cdot 10^3 \text{ V}} \cdot 500 \Omega\right)^2}} = 2,57 \text{ A}$$

$$I_r \text{ ilmiinjärvi} = \frac{(2,62 - 1,70) \text{ A}}{2,62 \text{ A}} \cdot 2,57 = 0,90 \text{ A}$$

Nollajännite on pienimmillään tilanteessa, jossa kaikki lähdöt ovat kytkettyinä. 500Ω vikaresistanssin kautta tapahtuvassa maasulussa saatiin laskettua kaavan 11 avulla:

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} + 13,41 A \cdot 500 \Omega}{20 \cdot 10^3 V} \right)^2}} = 9985,6 V$$

Nollajännite prosentteina saadaan kaavan 13 avulla:

$$\frac{U_0}{U_V} \cdot 100\% = \frac{9985,6 V}{\frac{20000}{\sqrt{3}}} = 86,5 \%$$

Kaksoismaasulussa nollajännite on pienimmillään tilanteessa, jossa molemmat vikaresistanssit ovat saman suuruiset. Nollajännite laskettiin maasulkutilanteen mukaan jossa molemmat vikaresistanssit ovat suuruudeltaan 500Ω . Arvo saatiin kaavan 12 avulla:

$$\frac{\frac{20 \cdot 10^3 V}{\sqrt{3}}}{\left(\frac{500 \Omega \cdot 13,41 A \cdot \sqrt{3}}{20 \cdot 10^3 V} \right)^2 + 4} = 5544,5 V = 48 \%$$

8 BUDJETTIARVION KYSELY

Rakennuksen ja laitteistojen vaatimukset aseteltiin laskemien ja KSS Oy:n vaatimusten mukaan. Hinta-arvio tiedusteltiin KSS Oy:n 2018 budjettia varten.

Suojaukselle asetetut vaatimukset:

- suunnattu maasulkusuojaus
- ylikuormitus ja oikosulkusuojaus
- valokaarisuojaus
- pika- ja aikajälleenkytkentä

Kojeistolle asetetut vaatimukset:

- ilmaeristeinen
- seitsemän lähtöä ja yksi varalähtö
- tyhjiö katkaisijat
- 1-kisko järjestelmä

Rakennukselle asetetut vaatimukset:

- omakäyttöosio
- puolilämmin tila
- kaapelitila

Kojeiston mitoitusarvot:

- | | |
|--|----------|
| • nimellisjännite U_n | 20/24 kV |
| • nimellisvirta I_n | 630 A |
| • terminen oikosulkukestoisuus I_{th} | 3,2 kA |
| • dynaaminen oikosulkukestoisuus I_{dyn} | 2,88 kA |

Kaapeliliitynnät kytkevät KSS Oy:n omat verkostoasentajat. Nykyisellä kytkinaseamalla osa lähdöistä lähtee PAS-ilmajohtoina. Kun johdot kytketään uudelle kytkinase-malle, on ne muutettava maakaapeleiksi seuraavalle pylvälle saakka. Kaivuutyön tee ulkopuolinen urakoitsija.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli määrittää uudelle kytkinasemalle tarvittavat ominaisuudet sekä mitoittamiseen tarvittavat arvot. Tarvittavien ominaisuuksien ja laskentatulosten perusteella saatiin tiedusteltua hinta-arvio uudesta kytkinasemasta vuoden 2018 budjettia varten. Lisäksi työssä oli tavoitteena selvittää suojareistykselle kannattavin ratkaisu kolmesta eri toteutusvaihtoehdosta. Hinta-arvion perusteella voidaan todeta, että jos suojareistys halutaan toteuttaa halvimmallalla vaihtoehdolla, kannattavin ratkaisu on siirtää nykyiset suojareleet uuteen kytkinasemaan. On kuitenkin huomioitava, että suojareistyksestä tuleva kustannus on vain pieni osa uuden kytkinaseman kokonaiskustannuksista (n. 5%). Suojareleet ovat yksi tärkeimmistä kytkinaseman komponenteista, joten mielestäni uusien suojareleiden valinta voisi olla varteen otettava vaihtoehto.

Työn aikana opin paljon uutta kytkinaseman eri komponenteista ja laitteistoista. Huomasin kytkinaseman komponenttien ja laitteistojen muodostavan kokonaisuuden, jossa niiden kaikkien toiminnot liittyvät toisiinsa. Aihe oli melko laaja sekä sopivan haastava. Tietämykseni kytkinasemista ennen työtä oli vähäistä, joten aihe oli juuri sopiva sekä liittyi omaan alaani hyvin. Lisäksi tiedonhakutaitoni omaan alaan liittyvissä asioissa ovat parantuneet. Pystyn tulevaisuudessa varmasti hyödyntämään oppimiani asioita.

Kiitos Köyliön-Säkylän Sähkö Oy:lle sopivan haastavasta ja kiinnostavasta opinnäytetyön aiheesta.

LÄHTEET

Elovaara, J & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2 - Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Gaudeamus Helsinki University Press: Otatieto.

Elovaara, J & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1 – Järjestelmätekniikka ja Sähköverkon laskenta. Gaudeamus Helsinki University Press: Otatieto.

Lakervi, E & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Gaudeamus Helsinki University Press: Otatieto.

ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07. Helsinki: ABB Oy. Viitattu 1.9.2016.

<http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/>

ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, luku 7. Helsinki: ABB Oy. Viitattu 1.9.2016.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf

ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, luku 8. Helsinki: ABB Oy. Viitattu 10.9.2016.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08_0_Maasulkusuojaus.pdf

ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, luku 10. Helsinki: ABB Oy. Viitattu 15.10.2016.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/10_1_Mittaus-%20ohjaus-%20ja%20suojalaitteet.pdf

ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, luku 13. Helsinki: ABB Oy. Viitattu 1.9.2016.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf

ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, luku 14. Helsinki: ABB Oy. Viitattu 25.9.2016.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/15_S%84hk%94njakeluverkon%20automaatio.pdf

ABB Oy, Johdonsuojarele SPAA 341 C, ostajan opas. Viitattu 6.9.2016. [https://library.e.abb.com/pub-](https://library.e.abb.com/pub-lic/34260882b39761dec12571e700400daf/SPAA341C_tob_755724_FIb.pdf)

[lic/34260882b39761dec12571e700400daf/SPAA341C_tob_755724_FIb.pdf](https://library.e.abb.com/pub-lic/34260882b39761dec12571e700400daf/SPAA341C_tob_755724_FIb.pdf)

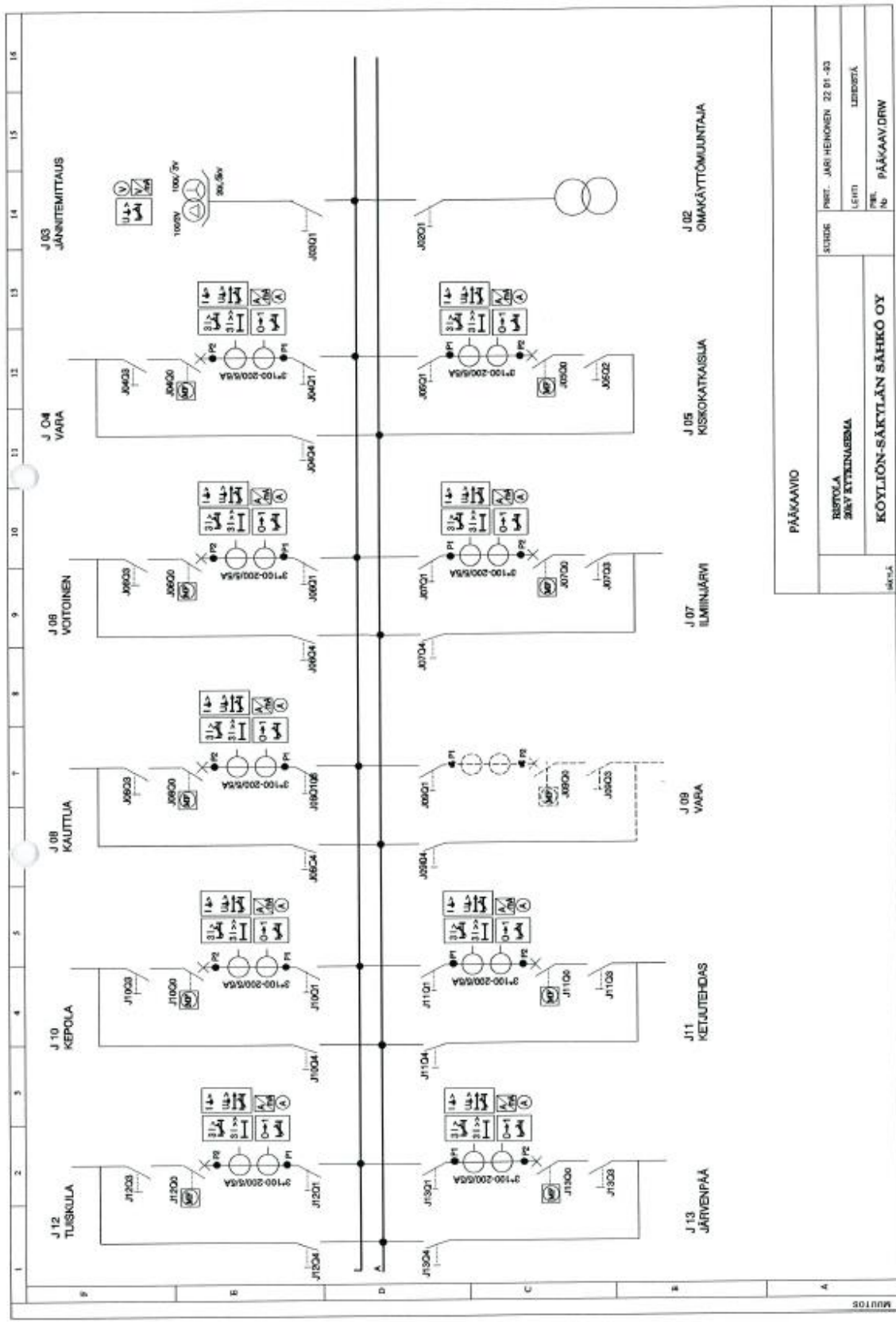
[lic/34260882b39761dec12571e700400daf/SPAA341C_tob_755724_FIb.pdf](https://library.e.abb.com/pub-lic/34260882b39761dec12571e700400daf/SPAA341C_tob_755724_FIb.pdf)

Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkölaboration opetusmateriaali.

Leena Korpisen www-sivut. Viitattu 25.9.2016. <http://www.leenakorpinen.fi/>

| Johdonsuojarele | SPAA 341 C | REF 541 |
|---------------------------------|------------|---------|
| Ylivirtasuojaus: | | |
| Suuntaamaton alempi porras I> | x | x |
| Suuntaamaton ylempi porras I>> | x | x |
| Suuntaamaton ylempi porras I>>> | x | x |
| Suunnattu alempi porras I> | | x |
| Suunnattu ylempi porras I>> | | x |
| Suunnattu ylempi porras I>>> | | x |
| | | |
| Maasulkusuojaus: | | |
| Suuntaamaton karkea asettelu | x | x |
| Suunnattu herkkä asettelu | | x |
| Suunnattu Karkea asettelu | | x |
| Suunnattu alempi porras Io> | x | x |
| Suunnattu ylempi porras Io>> | x | x |
| Suunnattu hetkellisporras Io>>> | | x |
| | | |
| Kolmivaiheinen ylijännitesuoja | | x |
| Kolmivaiheinen alijännitesuoja | | x |
| Nollajännitesuoja | x | x |
| Taajuussuoja | | x |
| Vaihekatkossuoja | x | x |
| | | |
| Muita ominaisuuksia: | | |
| SPA-sarjaliikenneväylä | x | x |
| IEC61850-sarjaliikenneväylä | | x |
| Graafinen käyttöliittymä | | x |

LIITE 2



| | |
|--------------------------|---|
| PÄÄKAAVIO | |
| RISTOLA SÄHKÖKÄTKÄÄMÄ | PIK. JARI HEIKONEN 22 01 - 03 LEHTI LIIHONEN PIK. N. PÄÄKAAVI/DRW |

MUUTOS