

Santeri Vuorio

PIENJÄNNITEVERKON SELEKTIIVISYYSTARKASTELU
NESTE OYJ NAANTALIN JALOSTAMOLLA

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2015

PIENJÄNNITEVERKON SELEKTIIVISYYSTARKASTELU NESTE OYJ
NAANTALIN JALOSTAMOLLA

Vuorio, Santeri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2015
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri
Sivumäärä: 66
Liitteitä: 1 (128 sivua)

Asiasanat: selektiivisyys, selektiivisyystarkastelu, relesuojaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selektiivisyystarkastelu Neste Oyj Naantalin jalostamolla. Työssä tarkasteltiin jakelumuntajien ylä- ja alajännitepuolten relesuojausten sekä muuntajien syöttämien kojeistojen suurimpien sulakkeiden välistä selektiivisyyttä. Työn tarkoituksena oli kartoittaa pienjänniteverkon suojausten selektiivisyyden nykytila, ja sen tuloksista koottiin koko jalostamon pienjänniteverkon kattava tutkimusraportti mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten. Lisäksi esitettiin ratkaisuja löydettyjen epäselektiivisyyksien korjaamiseksi.

Tutkimusraportti on tarkoitettu yhtiön omaan käyttöön, ja se on siksi jätetty pois tästä versiosta.

Opinnäytetyön teoriaosassa on käsitelty oikosulkuja, suojalaitteita, relesuojaustekniikkaa ja selektiivisyyden teoriaa.

SELECTIVITY ANALYSIS OF LOW VOLTAGE NETWORK AT NESTE CORPORATION NAANTALI REFINERY

Vuorio, Santeri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

September 2015

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 66

Appendices: 1 (128 pages)

Keywords: selectivity, selectivity analysis, relay protection

The purpose of this thesis was to do a selectivity analysis to Neste Corporation Naantali refinery's low voltage network. The work has been done as individual inspections between the distribution transformers' primary and secondary circuits' relay protections and the biggest fuses of the switchgears that transformers supply. The aim of the thesis was to chart the present situation of the low voltage network protections from the viewpoint of selectivity and based on the results the whole low voltage network's research report was created. In addition to selectivity analysis the solutions for some unselective cases were presented.

The research report has been left out from this version of thesis for confidential reasons.

In the thesis also short-circuit, circuit breakers, relay protection and the theory of selectivity were dealt with.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NESTE OYJ	7
2.1	Naantalin jalostamo	7
3	OIKOSULKU.....	9
3.1	Yleistä.....	9
3.2	Oikosulkuvirta.....	10
3.3	Oikosulkusuureet	11
3.4	Oikosulkuvirran rajoittaminen.....	17
4	SUOJALAITTEET.....	18
4.1	Sulakkeet ja varokkeet	18
4.1.1	Sulakkeiden käyttöluokat ja katkaisukyky	19
4.2	Katkaisijat	21
4.2.1	Katkaisutapahtuma	23
5	RELESUOJAUS	24
5.1	Tavoitteet ja periaatteet.....	24
5.2	Releiden toimintaperiaatteet	25
5.2.1	Sähkömekaaniset releet	25
5.2.2	Staattiset releet.....	26
5.2.3	Numeeriset releet.....	27
5.3	Reletyyppiä	28
5.3.1	Virtareleet	28
5.3.2	Ali- ja ylijännitereleet.....	29
5.3.3	Suunta- ja tehoreleet.....	29
5.3.4	Epäsymmetriareleet.....	30
5.3.5	Vertoreleet	30
5.4	Mittamuuntajat.....	31
5.4.1	Yleistä mittamuuntajista.....	31
5.4.2	Jännitemuuntajat.....	31
5.4.3	Virtamuuntajat.....	32
6	SELEKTIIVINEN SUOJAUS JA SELEKTIIVISYYSTARKASTELU.....	35
6.1	Määritelmät ja toteuttamistavat.....	35
6.2	Aikaselektiivinen suojaus	37
6.3	Aika- ja virtaselektiivinen suojaus.....	38
6.4	Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus.....	38
6.5	Lukitussuojaus	38
6.6	Differentiaalisuojaus	39
6.7	Selektiivisyystarkastelu.....	39

7	SELEKTIIVISYYSTARKASTELU NAANTALIN JALOSTAMOLLA.....	40
7.1	Selektiivisyystarkastelun toteuttaminen.....	40
7.2	Parannusehdotukset.....	43
7.3	Tapaus 1: Muuntamo M002, kojeisto F08.....	44
7.4	Tapaus 2: Kytkinlaitos KL03, kojeisto F01	51
7.5	Tapaus 3: Muuntamo M003, kojeisto F01	58
8	YHTEENVETO	64
	LÄHTEET	65
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Eräs sähköverkon suojauksen olennainen osa on sen toiminnan selektiivisyys. Usein selektiivisyys tai sen puute ilmenee vasta vikatilanteessa. Sähköverkon suojauksen selektiivisyyden puute saattaa johtua esimerkiksi ylimitoitetusta suojalaitteesta ja sen toimimattomuudesta vikatilanteessa. Tämän seurauksena toisen, väärän suojalaitteen toiminta saattaa johtaa tarpeettomaan ja pitkäänkin sähkökatkokseen. Suojauksen selektiivisyyteen on mahdollista vaikuttaa suunnitteluvaiheessa tehtävillä selektiivisyystarkasteluilla. Myöhemmän vaiheen selektiivisyystarkastelut ovat myös hyödyllisiä, sillä aikojen saatossa sähköverkon laitteet ja kuormitukset muuttuvat sekä niiden myötä myös verkon suojalaitteet ja sen seurauksena selektiivisyys muuttuvat. Selektiivisyystarkastelun avulla voidaan varmistaa sähköverkon oikea ja turvallinen toiminta ja tarvittaessa sen pohjalta voidaan tehdä muutokset, jotka parantavat verkoon liittyjän toimintavarmuutta.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan jakelumuuntajien ylä- ja alajännitepuolten välisen ylivirta- ja oikosulkusuojauksen selektiivisyyttä Neste Oyj Naantalın jalostamolla. Tarkasteltava suojausalue ulottui jakelumuuntajien yläjännitepuolten katkaisijoilta niiden syöttämien kojeistojen suurimmille sulakkeille. Työn tarkoituksena oli kartoittaa sähköverkon nykytilaa suojauksen selektiivisyyden näkökulmasta.

Työn tuloksena saatiin aikaan tutkimusraportti koko jalostamon pienjänniteverkon suojauksen tilasta mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten. Lisäksi jalostamolta valittiin kolme löydettyä epäselektiivisyyttä, joiden korjaamiseksi esitettiin erilaisia parannusehdotuksia. Selektiivisyystarkastelun tuloksia ja parannusehdotuksia tullaan hyödyntämään jalostamon seisokissa vuonna 2017.

Selektiivisyystarkastelun tutkimusraportti on tarkoitettu yhtiön omaan käyttöön ja se on siksi, lukuun ottamatta kolmea tapausta, jätetty julkaisematta työn tässä versiossa.

2 NESTE OYJ

”Neste Oil Oyj tytäryrityksineen on korkealaatuisiin liikennepolttoaineisiin keskittyvä jalostus- ja markkinointiyritys. Konsernin jalostamot ja muut tuotantolaitokset, yhdessä Suomessa ja Baltian alueella sijaitsevan liikenneasemaverkoston ja muiden vähittäismyyntipisteiden kanssa, tuottavat kotimaisille ja vientimarkkinoille bensiniä, dieselöljyä, lentokone- ja laivapolttoaineita, lämmitysöljyä sekä raskasta polttoöljyä, perusöljyä, voiteluaineita, liikennepolttoaineiden komponentteja, liuottimia, nestekaasua, bitumia sekä uusiutuvaa NExBTL-dieseliä, joka perustuu Neste Oilissa kehitettyyn teknologiaan. Neste Oililla on myös raakaöljyn ja muiden syöttöaineiden tuontia ja öljytuotteiden kuljetuksia hoitavia raakaöljy- ja tuotetankkereita. Neste Oil on johtava ympäristöä vähemmän kuormittavien öljytuotteiden jalostaja.”

(Neste Oil, vuosikertomus 2013, 219.)

”Neste Oilin perinteiset öljynjalostamot sijaitsevat Porvoossa ja Naantalissa. Lisäksi yhtiöllä on kaksi uusiutuvan dieselin jalostamo, jotka sijaitsevat Singaporessa ja Rotterdamissa Hollannissa. Myös Porvoon jalostamolla valmistetaan uusiutuvaa dieseliä.” (Neste Oil, vuosikertomus 2013, 46.)

Neste Oililla on omien jalostamoidensa lisäksi yhteisomistuksessa oleva perusöljylaitos Bahrainissa, josta yhtiö omistaa 45 %. Laitos tuottaa laadukkaita voiteluaineiden valmistuksessa käytettäviä VHVI (Very High Viscosity Index) Group III -luokan perusöljyjä. Neste Oil omistaa myös 49,99 % nafteenisiä öljyjä ja bitumia tuottavasta Nynas AB:sta, jolla on tuotantoa Euroopassa sekä Pohjois- ja Etelä-Amerikassa.” (Neste Oil, vuosikertomus 2013, 47.)

2.1 Naantalın jalostamo

”Neste Oilin Naantalın jalostamo on erikoistuotteiden, kuten liuottimien ja bitumien valmistukseen keskittyvä jalostamo. Sen jalostuskapasiteetti on noin 3 miljoonaa tonnia vuodessa. Vuonna 2013 Naantalın jalostamon keskimääräinen käyttöaste oli 78 % (67 %) ja tuotanto 2,1 miljoonaa tonnia (1,9 milj.).” (Neste Oil, vuosikertomus 2013, 47.)



Kuva 1. Naantalin jalostamo (Neste portaali, Brändipankki)



Kuva 2. Naantalin jalostamo (Neste portaali, Brändipankki)

3 OIKOSULKU

3.1 Yleistä

Oikosulkuvirroilla ja niiden hallinnalla on keskeinen merkitys suunniteltaessa sähkönjakeluverkon oikosulkusuojausta ja verkon turvallista käyttöä sekä mitoitettaessa laitteita. Verkon eri komponentit ja osat on mitoitettava kestävästi oikosulun aiheuttamat dynaamiset ja termiset rasitukset. Sen vuoksi on tiedettävä oikosulkuvirran suuruus verkon eri osissa ja tilanteissa. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.1, 1.)

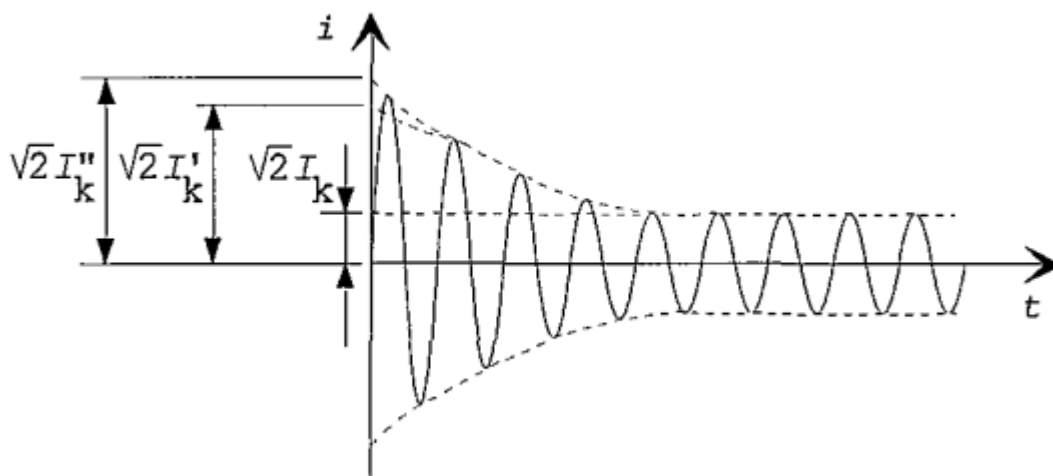
Erityisesti teollisuuslaitoksissa, joissa pinta-alallisesti suhteellisen pienillä alueilla ja lyhyillä etäisyyksillä siirretään suuria tehoja ja sähkönjakeluverkkoon on liitetty useita muuntajia, generaattoreita ja paljon pyöriviä sähkömoottoreita pyrkivät oikosulkuvirrat nousemaan suuriksi. Teollisuuden sähkönjakeluverkoissa oikosulkuvirrat tulisi kuitenkin pitää hallittavina vaurioiden ja tuotannon keskeytysten välttämiseksi. Oikosulkujen aiheuttajia voivat eristyksen vanheneminen ja mekaaninen heikkenemisen lisäksi olla asennusvirheet, valokaaret, virheelliset käyttötoimenpiteet ja ilkivalta. (Huotari & Partanen, 1998, 1.)

Suojauksen kannalta haasteita asettavat vaatimukset siitä, että, sen tulisi olla turvallista, selektiivistä ja keskeytysten välttämiseksi verkon tulisi olla hyvin toimintavarma. Verkkoa mitoitettaessa tulisi lisäksi huomioida tulevaisuuden investoinnit ja kehitystarpeet.

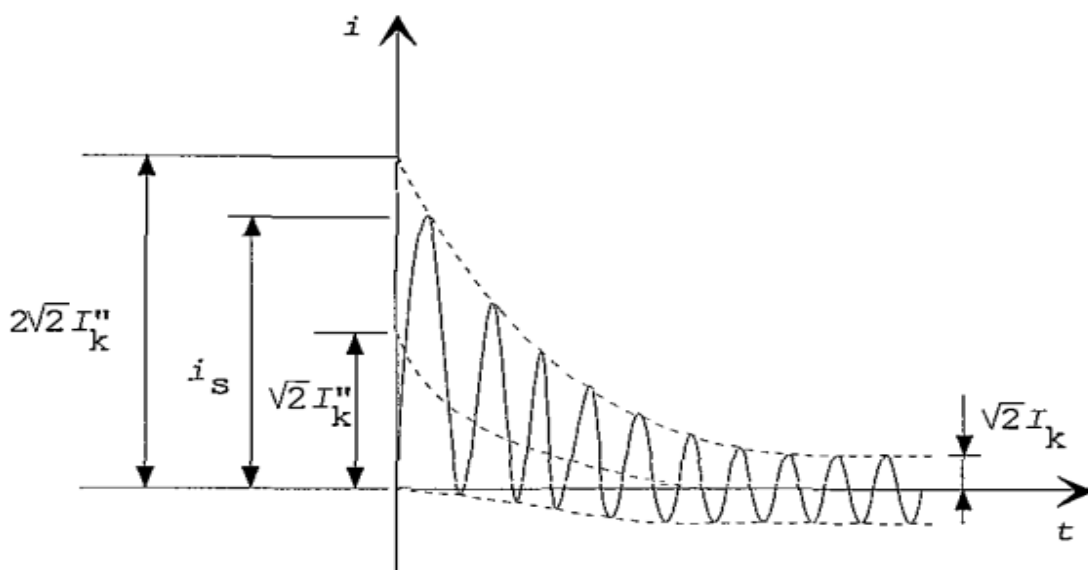
3.2 Oikosulkuvirta

3-vaihejärjestelmän vioista vaikein on vastukseton 3-vaiheinen oikosulku. Oikosulkuvirta on tällaisissa tapauksissa usein 10 – 40-kertainen nimelliseen kuormitusvirtaan nähden ja saavuttaa suurimman arvonsa noin 10mS:n päästä alkuhetkestä. Oikosulkuvirta on muutosilmiö, joka ei koskaan saavuta staattisen tilan arvoa, sillä suo-jalaitteet- ja automatiikka pyrkivät katkaisemaan sen mahdollisimman nopeasti.

Oikosulkuvirta ei ole puhdasta vaihtovirtaa vaan sisältää tasa- ja vaihtovirtakomponentit. Tasavirtakomponentin suuruus riippuu oikosulun syntyhetkestä ja vaimenemisnopeus piirin resistanssin R ja reaktanssin X suhteesta R/X . (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.1, 1; Elovaara & Laiho, 1988, 74.)



Kuva 3. Symmetrinen ja tasavirtakomponentiton oikosulkuvirta. (Huotari & Partanen, 1998, 4.)



Kuva 4. Epäsymmetrinen oikosulkupiirin R/X suhteen mukaan vaimenevan tasavirtakomponentin sisältämä oikosulkuvirta. (Huotari & Partanen, 1998, 4.)

3.3 Oikosulkusuureet

Oikosulkuvirralla on erilaisia suureita, jotka on määritelty eri ajan hetkille oikosulun syntyhetkestä lähtien.

Oikosulkusuureita ovat:

- Alkuoikosulkuvirta I''_k

Alkuoikosulkuvirta on oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvo oikosulun syntyhetkellä. Arvoa käytetään muiden oikosulkusuureiden määrittämisessä, sellaisenaan sen perusteella ei mitoiteta suojausta. (Huotari & Partanen, 1998, 23.)

- Sysäysoikosulkuvirta i_s

Sysäysoikosulkuvirrasta käytetään usein nimitystä dynaaminen oikosulkuvirta. Sysäysoikosulkuvirta määritellään suurimpana mahdollisena oikosulkuvirran hetkellisarvona. Oikosulkuvirran hetkellisarvo on suurimmillaan noin 10 millisekunnin kuluttua oikosulun alkuhetkestä. Sysäysoikosulkuvirran perusteella voidaan mitoittaa laitteiden mekaaninen kestoisuus ja arvon laskemisessa voidaan käyttää kaavaa:

$$i_s = \kappa \sqrt{2} I''_k$$

missä

I''_k = alkuoikosulkuvirran tehollisarvo

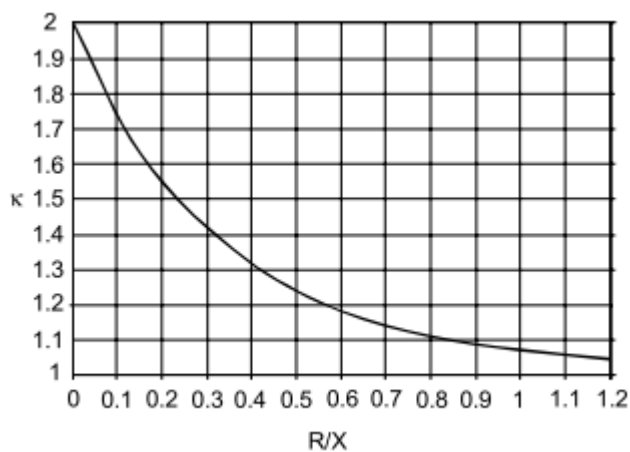
κ = sysäyskerroin. (Huotari & Partanen, 1998, 23-24.)

Sysäyskerroin on sidoksissa oikosulkupiirin R/X suhteeseen.

Sysäyskerroin voidaan määrittää kuvaajasta tai kaavasta:

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

(Huotari & Partanen, 1998, 24.)



Kuva 5. Sysäyskerroimen κ riippuvuus oikosulkuvirtapiirin resistanssin ja reaktanssin suhteesta. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.2.2, 8.)

- Pysyvän tilan oikosulkuvirta I_k

Pysyvän tilan oikosulkuvirta saavutetaan, kun kaikki muutosilmiöt ovat vaimentuneet. Toisin kuin alkuoikosulkuvirralla, pysyvän tilan oikosulkuvirralla ei voida laskea tarkkaa arvoa, koska se riippuu esimerkiksi tahtikoneiden magnetoinnin säädöistä ja magnetointitavoista, muuntajien ja generaattorien jännitteensäädöistä sekä sähköverkon kytkentätilanteiden mahdollisista muutoksista oikosulun aikana. Verkon oikosulkukestoisuuden selvittämiseksi on tunnettava suurin mahdollinen pysyvän tilan oikosulkuvirta. Verkon oikosulkuuojat toimivat yleensä ennen kuin oikosulkuvirta saavuttaa pysyvän tilan. Tahtikoneiden suurin mahdollinen pysyvän tilan oikosulkuvirta saadaan lasketta kaavalla:

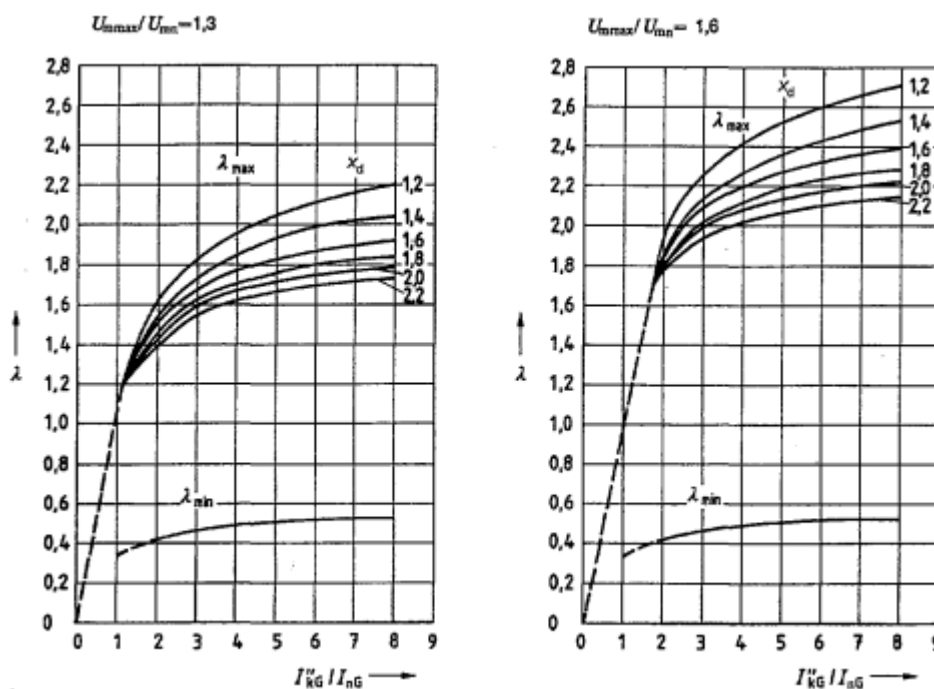
$$I_{kmax} = \lambda_{max} I_n$$

missä

λ_{max} = suurinta mahdollista magnetointia vastaava kerroin,

I_n = koneen nimellisvirta. (Huotari & Partanen, 1998, 25.)

Kerroin λ_{max} saadaan tahtigeneraattoreille määritetyistä käyrästä.



Kuva 6. U_{mmax} / U_{mn} tarkoittaa suurimman mahdollisen magnetointijännitteen suhdetta nimellismagnetointijännitteeseen. x_d merkitsee tahtireaktanssin kyllästyneen tilan arvoa ja I''_{kG} / I_{nG} generaattorin syöttämän alkuoikosulkuvirran suhdetta nimellisvirtaan. (Huotari & Partanen, 1998, 26.)

- Katkaisuvirta I_a

Katkaisuvirta on oikosulkuvirran vaihtokomponentin tehollisarvo katkaisijan koskettimien avaushetkellä. Katkaisukerroin μ huomioi oikosulkuvirran vähenemisen katkaisuviiveen t_{min} aikana.

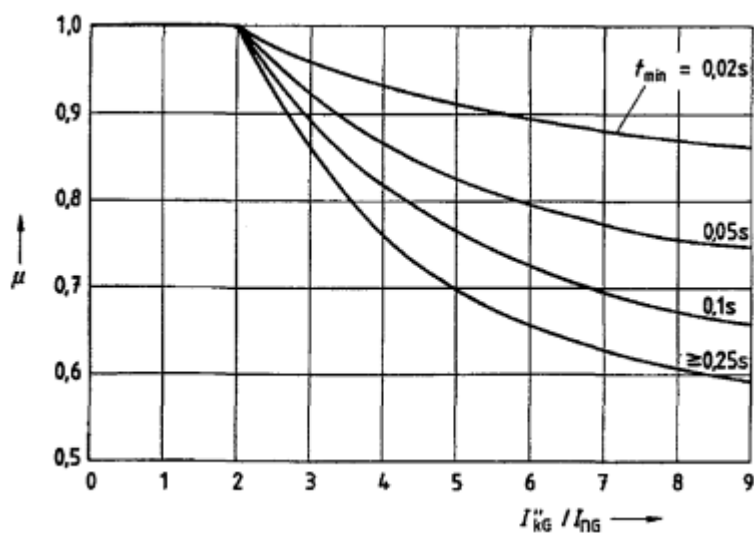
$$I_s = \mu I''_k$$

missä

μ = katkaisukerroin

Katkaisukerroin μ riippuu katkaisuviiveestä t_{min} ja tahtigeneraattorin syöttämän alkuoikosulkuvirran I''_{kG} ja tahtigeneraattorin nimellisvirran I_{nG} suhteesta I''_{kG}/I_{nG} . (Huotari & Partanen, 1998, 26-27.)

Tahtikoneille se voidaan määrittää esimerkiksi käyrästä.



Kuva 7. Katkaisukertoimen μ määrittäminen. t_{min} on katkaisuviive ja I''_{kG}/I_{nG} generaattorin syöttämän alkuoikosulkuvirran suhde nimellisvirtaan. (Huotari & Partanen, 1998, 27.)

- Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta I_{th}

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta on laskennallisesti alkuoikosulkuvirran tehollisarvosta I''_k se keskimääräinen tehollinen oikosulkuvirta I_{th} , joka saa yhdessä sekunnissa aikaan johtimessa saman lämpömäärän kuin todellinen oikosulkuvirta. Sen perusteella mitoitetaan sähköverkon komponenttien terminen oikosulkukestoisuus.

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla:

$$I_{th} = I''_k \sqrt{(m + n)t_k}$$

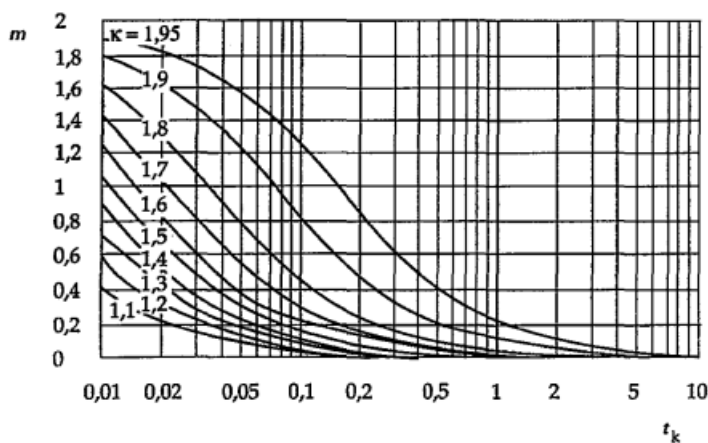
missä

m = tasavirtatekijä

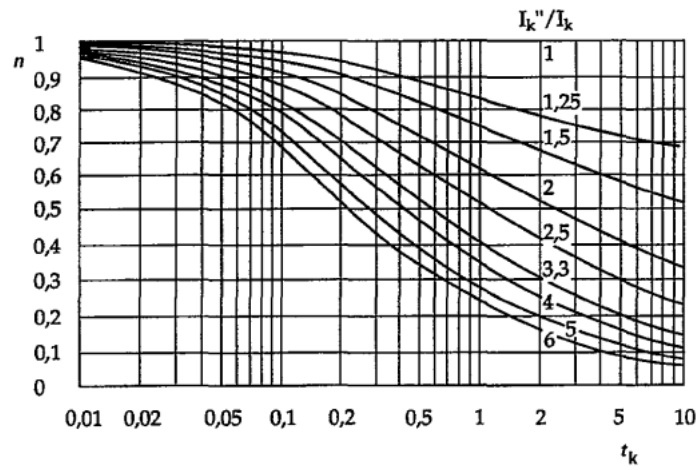
n = vaihtovirtatekijä

t_k = vian kesto aika. (Huotari & Partanen, 1998, 29.)

Tasa- ja vaihtovirtatekijät voidaan määrittää käyrästä:



Kuva 8. Tasavirtatekijän m määrittäminen sysäyskerrointa κ ja oikosulun kesto-aikaa t_k hyödyntäen. (Huotari & Partanen, 1998, 30.)



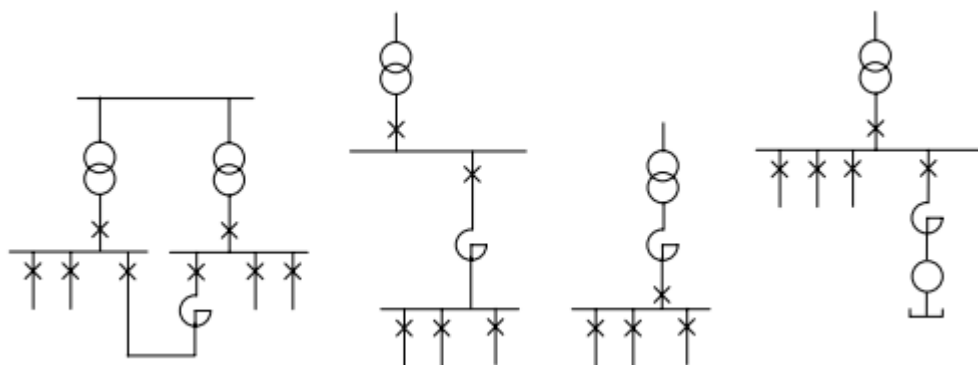
Kuva 9. Vaihtovirtatekijän n määrittäminen oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhdetta I_k''/I_k ja oikosulun kestoaikaa t_k hyödyntäen. (Huotari & Partanen, 1998, 30.)

3.4 Oikosulkuvirran rajoittaminen

Oikosulkuvirran rajoittamiseen on useita keinoja. Niistä yksi on oikosulkuvirran pienentäminen, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi kasvattamalla muuntajien ja generaattoreiden suhteellisia oikosulkuimpedansseja, pienentämällä niiden nimellistehoja, välttämällä rinnakkaissyöttöjä ja nostamalla jännitetasoa.

Oikosulkuvirtaa voidaan rajoittaa myös muutamilla komponenteilla. Niitä ovat:

- Perinteinen sulake, joka soveltuu hyvän virranrajoituskykynsä johdosta erityisesti suojalaitteeksi pienjännitteelle. Keskijännitteellä niitä voidaan käyttää jakelumuuntajien ja moottoreiden suojana.
- Kuristin eli kela, yksinkertainen ja luotettava komponentti, jolla saadaan kasvatettua oikosulkuimpedanssia. Pienentyneen oikosulkuvirran käänttöpuolena ovat kuitenkin kasvaneet tehohäviöt, niistä aiheutuneet kustannukset ja virranrajoituskyvyn rajallisuus. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.3, 10-11.)



Kuva 10. Erilaisia kuristimen käyttötapoja. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.3.3, 11.)

- I_S - rajoitin, komponentti, joka koostuu räjähdyspanoksilla toimivista hyvin nopeatoimisista kytkimistä ja niiden rinnalla olevista sulakkeista. Oikosulussa virran nousunopeuden di/dt ollessa suuri, kytkimet avautuvat noin 0,1 millisekunnissa. Kytkimien avautumisen seurauksena syntyvän valokaaren vuoksi virta siirtyykin kulkemaan sulakkeen läpi. Palaessaan sulake rajoittaa virtaa tehokkaasti. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.3, 11.)

4 SUOJALAITTEET

4.1 Sulakkeet ja varokkeet

Sulakkeet ovat virtapiirin suojalaitteita, jotka sisältävät kvartsihiekan ympäröimän metallilangan- tai liuskan, joka sulaa tai katkeaa ylikuormitustilanteessa. Kvartsihiekkä sammuttaa langan katkeamisen seurauksen syntyvän valokaaren sekä absorboi langan palaessa syntyneitä kaasuja. Sulakkeen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa langan muodolla ja materiaalilla. Sulakkeet ovat kertakäyttöisiä eikä niitä voi korjata. Sulakkeen keksijä on Thomas Alva Edison. (Mörsky, 1992, 381.)

Rakennusten sähköverkoissa käytetään pääasiassa pienille virroille soveltuvia tulpasulakkeita. Sähkö- ja teollisuuslaitoksissa käytetään kahvasulakkeita ja suurjännitteellä, esimerkiksi muuntajan ensiöpuolen suojana tai teollisuuden suurjännitemootorin suojana käytetään putkisulakkeita. (Mörsky, 1992, 381.)

Sulakkeet ovat osa varokkeita, joiden avulla ne kytketään virtapiiriin. Varokkeet sisältävät sulakkeet, varokealustan ja varokekannen tai –kahvan.

Tyypillisiä varokkeita ovat:

- tulppavaroke, joka koostuu varokepohjasta, pohjakoskettimesta, varokekannesta ja sulakkeesta
- kahvavaroke, joka koostuu asennusalustasta ja kahvasulakkeesta
- kytkinvaroke, joka koostuu kytkimellisestä asennusalustasta ja kahvasulakkeesta
- varokekytkin, ”uuniluukkukytkin”, joka kytkee kahvasulakkeet virtapiiriin
- varoke-erotin, joka koostuu asennusalustasta, saranoidusta sulakeosasta ja kahvasulakkeista. (Mäkinen, Kallio & Tantarimäki, 2009, 109-111.)

4.1.1 Sulakkeiden käyttöluokat ja katkaisukyky

Sulakkeet on jaettu katkaisualueensa ja käyttökohteensa perusteella eri käyttöluokkiin, jotka ilmaistaan kahdella kirjaimella. (Mörsky, 1992, 388.)

Ensimmäinen kirjain viittaa katkaisualueeseen:

g = kokoaluesuoja, soveltuu ylivirta- ja oikosulkusuojaukseen, (general purpose fuses)

a = osa-aluesuoja, soveltuu vain oikosulkusuojaukseen, (accompanied fuses)

Toinen kirjain tarkoittaa käyttöluokkaa:

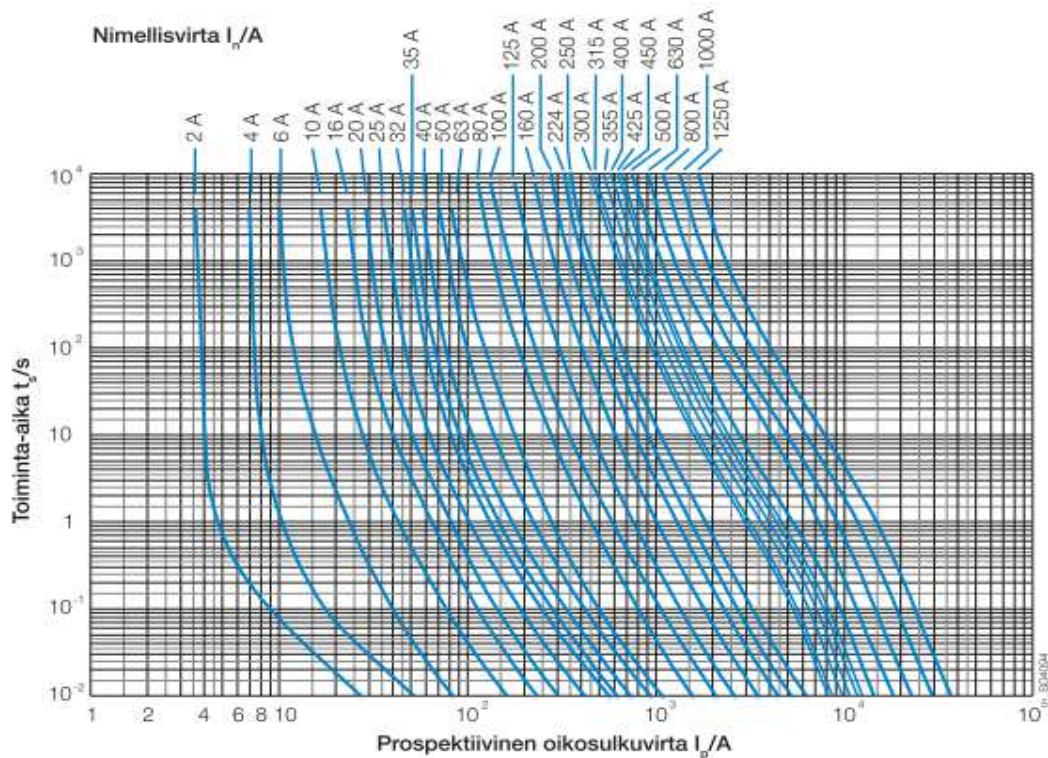
G = yleiskäyttö ja kaapeli- sekä johdinsuojaus, (general applications)

M = moottoripiirien oikosulkusuojaus, (motor circuits)

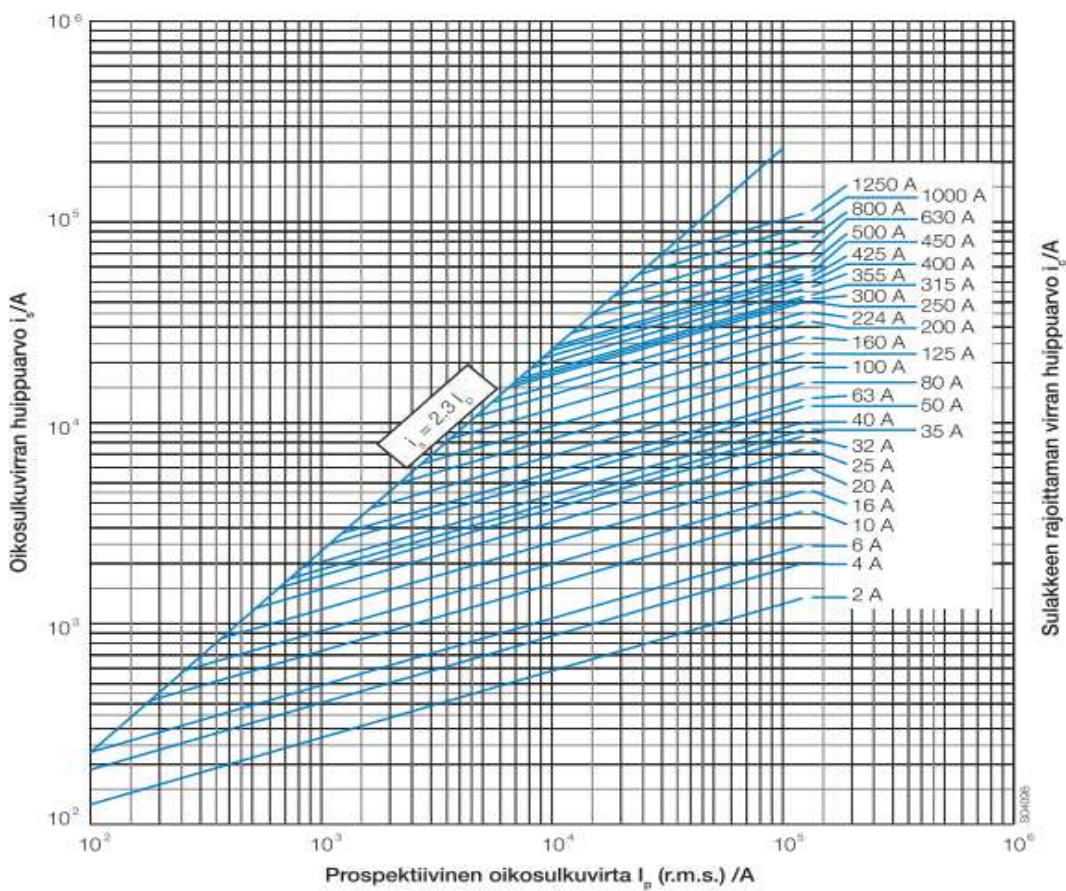
R = puolijohdesuojaukseen, (rectifiers). (Mörsky, 1992, 388.)

Sulakkeen nimelliskatkaisukyvyllä tarkoitetaan suurinta virtaa, jonka se kykenee katkaisemaan. Katkaisukykyyn vaikuttavat langan muotoilu ja täyteaineen koostumus. (Mörsky, 1992, 382; Mäkinen, Kallio & Tantarimäki, 2009, 110.)

Tulppasulakkeilla virran katkaisukyky on suurimmillaan 50kA, kahvasulakkeilla 120kA ja suurjännitesulakkeilla 100kA. Sulakkeet toimivat saadessaan tarvitsemansa sulamisenergian. Sulakkeen sulamiseen ja valokaareen tarvittava energia voidaan määrittää rajakuormaintegraali- eli jouleintegraalikäyrältä. Mitä nopeammin sulamisenergia syntyy, sitä nopeammin sulake toimii. Suurilla ylivirroilla sulake toimii nopeasti ja rajoittaa virtaa tehokkaasti. (Mörsky, 1992, 384-387; Mäkinen, Kallio & Tantarimäki, 2009, 109-110.)



Kuva 11. gG kahvasulakkeiden virta-aikakäyrä (ABB, kahvasulakkeet 2..1600, 25).



Kuva 12. gG kahvasulakkeiden virranrajoitus (ABB, kahvasulakkeet 2..1600, 32).

4.2 Katkaisijat

Katkaisijat ovat kojeita, joiden tarkoituksena on avata ja sulkea virtapiiri. Ne kuuluvat virtapiiriin sulakkeettomaan järjestelmään. Katkaisijoilla suojataan sähköjakeleussa ja teollisuudessa suurjännitemuuntajia ja –kojeistoja, keskuksia sekä yksittäisiä laitteita. Tyypillisesti katkaisijat toimivat eli avautuvat suojareleen ohjaamina ylikuormitustilanteissa kuten oikosulussa. Katkaisijat kestävät moninkertaisesti nimellisvirtaansa suuremman virran ja niille onkin ominaista se, että ne kykenevät avaamaan ja sulkemaan oikosulkupiiriin vaurioitumatta. (Elovaara & Laiho, 1988, 245.)

Katkaisijat jaotellaan eri tyyppeihin katkaisukammion väliaineen mukaan. Erilaisia katkaisijatyyppejä ovat:

- ilmakatkaisijat
- SF₆ katkaisijat
- tyhjökatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat

(Elovaara & Laiho, 1988, 250.)

Teollisuudessa on yleistä, että pienjännitekatkaisijat ovat ilmakatkaisijoita. Näin on myös Naantalın jalostamolla.

Ilmakatkaisijoita on mahdollista kauko-ohjata ja ne kestävät runsaasti käyttökertoja. Ilmakatkaisijan katkaisukärjet ovat vapaassa normaalipaineisessa ilmassa. Usein ne sisältävät ensin avautuvat pääkoskettimet sekä pääkoskettimien jälkeen avautuvat valokaarikoskettimet. Valokaarikoskettimet on tarkoitettu katkaisuvalokaaren sammuttamiseen, ja ne säästävät pääkoskettimia valokaaren aiheuttamilta mekaanisilta vaurioilta. Ilmakatkaisijoita voidaan varustaa myös magneettisella puhalluksella. Magneettisessa puhalluksessa hyödynnetään katkaistavan virran aiheuttamaa magneettikenttää. Magneettikentän avulla valokaari ohjataan levyrakenteiseen sammuskammioon jossa se pitenee, jäähtyy ja sammuu. Ilmakatkaisijoita on kolme eri tyyppiä, kiinteää, ulos-otettavaa ja ulosvedettävää. (Elovaara & Laiho, 1988, 252-253; ST 53.45 2015, 5-6.)

Keskijännitekatkaisijoina Naantalin jalostamolla käytetään pääasiassa SF₆- ja tyhjökatkaisijoita.

SF₆-katkaisijoissa katkaisuvalokaaren sammuttamiseen käytetään SF₆ eli rikkiheksafluoridikaasua. Katkaisijan etuina voidaan pitää muun muassa suurta valokaaren jäähdytyskykyä, palamattomuutta sekä suurta katkaisutehoa. SF₆-katkaisijan jousiohjaimia voidaan ohjata moottori- tai käsiviritteisesti, yli 100kV:n jännitteillä käytetään yleisesti hydraulisia tai pneumaattisia ohjaimia. Keskijännitteelle on kehitetty katkaisijoita, joissa valokaaren sammuttamiseen vaadittava energia kehitetään pyörittämällä valokaarta katkaistavan virran aiheuttaman magneettikentän avulla. Samalla valokaaren aiheuttama paineennousu saa aikaan SF₆-kaasun virtauksen ja valokaaren sammumisen. Kaasun virtaus voidaan toteuttaa myös katkaisijan liikkuvaan koskettimeen yhdistetyllä mäntä-sylinteri-järjestelmällä, jossa katkaisijan avausliikkeen aikana kiinteä mäntä aiheuttaa liikkuvan sylinterin avulla paine-eron ja kaasun virtauksen. (Elovaara & Laiho, 1988, 259-260.)

Tyhjökatkaisijat ovat rakenteeltaan varsin yksinkertaisia, ne sisältävät tyhjösäiliöön sijoitetut liikkuvat ja kiinteät koskettimet. Katkaisijan avausliikkeen aikana koskettimet loittonevat toisistaan ja kosketinpinnoista höyrystyneeseen metallipilveen palamaan jäänyt katkaisuvalokaari sammuu virran nollakohdassa tapahtuvan höyryn tiivistymisen seurauksena. Kytäkseen johtamaan nimellis- ja oikosulkuvirtoja lämpenemättä liikaa tarvitsevat sen koskettimet jatkuvan ulkoisen puristusvoiman. Syntyvä lämpö siirretään ympäristöön liittimien välityksellä. Suurilla virroilla katkaisutapahtumaa tehostetaan liikkuvissa ja kiinteissä koskettimissa olevien urien avulla. Urat aikaansaavat valokaarta pyörittävän magneettikentän. (Elovaara & Laiho, 1988, 260-261.)

4.2.1 Katkaisutapahtuma

Katkaisijan katkaisutapahtumalle on tyypillistä, että virta ei katkea samantien katkaisijan koskettimien avauduttua vaan avaustapahtuma saa aikaan valokaaren, jonka kautta virtapiiri pysyy edelleen suljettuna. Valokaaren synnyn avaushetkellä aiheuttaa koskettimien kosketuspinnosta sulava metalli, joka jää sulaksi metallisillaksi koskettimien väliin. Metallin höyrystyessä ja ympäröivän väliaineen ionisoituessa syntyy johtava kaasuplasma, valokaarikanava, jota pitkin virta kulkee. Valokaaren kestoaika vaikuttaa katkaisun aikana syntyvään energiaan, katkaisutyöhön, joka on pidettävä katkaisijan vaurioitumisen estämiseksi ja katkaisun onnistumiseksi pienenä. (Elovaara & Laiho, 1988, 246.)

Suurella virralla hyvänä johteena toimiva valokaari mahdollistaa koskettimien avautumisen riittävän etäälle toisistaan kestääkseen valokaaren sammumisen jälkeisen jännitteen. Vaihtovirtakatkaisijoiden katkaisu perustuu virran nollakohtien hyödyntämiseen. Virran nollakohdassa, valokaarta samaan aikaan sopivalla väliaineella jäähdyttäen sekä sitä pidentäen, valokaaren vastus kasvaa nopeasti, ja se muuttuu johteesta eristeeksi, jonka seurauksena virta katkeaa. (Elovaara & Laiho, 1988, 246.)

5 RELESUOJAUS

5.1 Tavoitteet ja periaatteet

Sähköverkoissa esiintyy useita erilaisia vikatilanteita, kuten oikosulkuja, maasulkuja, ylikuormituksia, ylijännitteitä, alijännitteitä ja johdinkatkoksia. Vikatilanteita varten sähköasemiin, voimalaitoksiin ja kytkinlaitoksiin asennetaan suojalaitteita, joista oman osansa muodostavat mittalaitteiden tapaiset laitteet, releet. Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja tyypillisesti asetteluarvonsa ylitettyään välittävät ohjauskäskyn katkaisijoille, jotka avautuvat irrottaen viallisen sähköverkon osan terveestä sähköverkosta (Mörsky, 1992, 15).

Relesuojauksen toiminnalta vaaditaan seuraavaa:

- Suojauksen tulisi olla selektiivinen, jotta vian sattuessa mahdollisimman suuri osa verkosta säilyisi käytettävänä ja vikaantunut verkon osa saadaan erotettua terveestä.
 - Suojauksen tulisi toimia riittävän nopeasti ja herkästi, että mahdolliset vaara- ja häiriötilanteet sekä haitat jäisivät vähäisiksi, myös verkon stabiilisuuden tulee säilyä kaikissa tilanteissa.
 - Sen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
 - Suojauksen tulee olla käyttövarma ja yksinkertainen.
 - Suojauksen käytettävyyden on oltava hyvä.
 - Suojaus on pystyttävä koestamaan käyttöpaikalla.
 - Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan järkevä
- (Mörsky, 1992, 15.)

Suojareleistä ja niiden ohjaamista katkaisijoista muodostuu suoja-alueita. Suoja-alueita voivat olla esimerkiksi johdot, muuntajat, moottorit ja generaattorit. Suoja-alueista pyritään saamaan selektiiviset. Selektiivisyys tarkoittaa ominaisuutta, jonka avulla rele havaitsee vian suoja-alueellaan, mutta ei toimi vian ollessa suoja-alueen ulkopuolella tai jos vikaa ei ole. Vikaantumisen varalta suojausta täydennetään usein varasuojauksella. Relesuojauksen päätehtävänä on vikojen havaitseminen sekä vika-alueiden rajaaminen mahdollisimman pieneksi. Tietyillä releillä kuten ylikuormitus-releillä, epäsymmetriareleillä, muuntajan kaasusuojalla pyritään ennakoimaan mahdollisen vian syntyminen. Relesuojausta kehitetään vikojen ennakoivan torjumisen suuntaan. (Mörsky, 1992, 15-16.)

5.2 Releiden toimintaperiaatteet

Suojareleet voidaan jakaa toteutuksensa mukaan kahteen ryhmään, sähkömekaanisiin ja staattisiin eli elektronisiin suojaareisiin (Elovaara & Laiho, 1988, 391).

5.2.1 Sähkömekaaniset releet

Aluksi suojareleet olivat suojattavaan virtapiiriin suoraan kytkettäviä ensioreleitä ja virran ylittäessä asetellun arvon ne vapauttivat mekaanisesti katkaisijan laukaisujoukon (Mörsky, 1992, 21).

Sähkömekaanisten releiden toimintahidastus toteutetaan kellokoneistolla. Ensioresuojauksen toimintatarkkuus on suurillakin ylivirroilla hyvä, koska mittamuuntajavirheitä ei ole. Sen sijaan asettelutarkkuus voi olla huono. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 10.4, 14.)

Mittamuuntajien toisiopiiriin kytkettävillä toisioreleillä saavutetaan parempi tekninen tulos ja käytettävyys kuin ensioreleillä. Toisin kuin ensioreleitä, toisioreleiden koestaminen on mahdollista käytön aikanakin. Sähkömekaaniset releet ottavat kaiken toimintaan tarvitsemansa energian mittamuuntajista aiheuttaen niille suurehkon taakan. Tämä heikentää virtamuuntajien toistokykyä erityisesti vikavirran sisältäessä

tasavirtakomponentin. Suuresta taakastaan johtuen mekaaniset releet eivät kuitenkaan ole kovin herkkiä ulkoisille häiriöille. (Mörsky, 1992, 22.)

Mekaanisten releiden toiminta perustuu tehollisarvoa mittaavaan koneistoon. Mekaanisille releille on tunnusomaista niiden liikkuvien osien hitaus eikä tehollisarvoon perustuvilla mittausmenetelmillä voida toiminnan nopeuttamiseksi mitata vaihtosuureiden hetkellisarvoja. On myös mahdollista, että vikavirrassa oleva tasavirtakomponentti aiheuttaa mekaanisen releen havahtumisen asetteluarvoa pienemmällä virralla, joka saattaa johtaa suojauksen epäselektiiviseen toimintaan. Mekaanisten releiden asettelutarkkuus on joihinkin suojauksiin huono ja ne on vaikea asetella riittävän herkiksi. Mekaaninen rele sisältää on paljon liikkuvia ja huoltoa vaativia osia. Oikea-aikaisella huollolla relettä voidaan pitää suhteellisen toimintavarmana. (Mörsky, 1992, 21- 23.)

5.2.2 Staattiset releet

Staattiset releet ottavat apuenergiansa erillisestä apusähkölähteestä, eivätkä lukuun ottamatta apureleitä sisällä liikkuvia osia. Apusähkölähteen ansiosta mittamuuntajan kuormitus on vähäistä, tyypillisesti 0,5 VA, nimellisvirralla 5A. (Mörsky, 1992, 23; ABB:n TTT-käsikirja, 10.4, 14.)

Staattinen rele liitetään sovitusmuuntajalla, jonka avulla virta- ja jännitesuuret muutetaan elektroniikalle sopiviksi mittamuuntajan toisiopiiriin. Sovitusmuuntaja toimii elektroniikan suojana ylivirtojen ja -jännitteiden muodostamilta termisiä ja dynaamisia rasituksia vastaan. (Mörsky, 1992, 21- 23.)

Staattisissa releissä mittaustietojen käsittely ja hidastusten muodostus tapahtuu elektroniikkapiireissä. Releiden etuina voidaan pitää suurta toimintanopeutta sekä toiminta-arvojen tarkkuutta, asettelujen pysyvyyttä ja tarkkaa toiminta-aikaa myös pienillä toiminta-arvon ylityksillä. (ABB:n TTT-käsikirja 10.4, 14.)

5.2.3 Numeeriset releet

Ensimmäisen sukupolven prosessori- tai numeeriset releet ilmestyivät markkinoille 1980-luvun alkupuolella. Prosessorireleet syrjäyttivät aiemman staattisten suojaareleiden toteutustekniikan. Releisiin oli yhdistetty suojauskohteen eri suojaustoimintoja kuten oikosulku- ja maasulkusuojat, ne sisälsivät itsevalvontaa ja niistä saatiin kosketintietoja. (Mörsky, 1992, 25- 26.)

Toisen sukupolven releissä kosketintietojen lisäksi tietoa voidaan siirtää kahteen suuntaan. Releeltä pystytään lukemaan tila-, mittaus-, ja asetteluarvoja sekä rele vastaanottaa ohjaus- ja asettelutietoja. Releen monipuolisuudesta johtuen puhutaan kenoterminaalista. (Mörsky, 1992, 25- 26.)

Suojausteknisesti ongelmia esiintyy vikasuureen erottamisessa normaaleista käyttösuureista. Esimerkiksi muuntajan kytkentäsysäysvirta on ilmestyessään nimellisvirtaan verrattuna moninkertainen ja epäsymmetrisyydestään johtuen oikosulkuvirran kaltainen. Tällainen virtasysäys saattaa aiheuttaa releen aiheettoman havahtumisen. (Mörsky, 1992, 27.)

Prossessorireleissä käytetään huipusta huippuun mittaustapaa. Rele mittaa positiivisen ja negatiivisen puolijakson huippuarvon suuruudet ja laskee näistä keskiarvon. Vähintään kahden jakson täytyy ylittää asetteluarvo ennen releen havahtumista, mikäli vikavirta ylittää kaksinkertaisen asetteluarvon havahtuu rele välittömästi.

(Mörsky, 1992, 25- 28.)

Numeeriset releet ovat asetteluarvoiltaan monipuolisia ja niiden toimintatarkkuus ja pitkän ajan stabiilisuus ovat hyvät. Releiden itsevalvontaa voidaan pitää merkittävimpänä ominaisuutena. Lisäksi releessä olevilla loogisilla toiminnoilla voidaan sopeuttaa rele erilaisiin käyttötilanteisiin. Esimerkiksi pikalaukaisuarvo voidaan kaksinkertaistaa moottoria käynnistäessä. Releessä olevalta näytöltä voidaan lukea mittaussuureiden arvoja. Häiriötilanteiden mittaussarvot tallentuvat muistiin, josta ne saadaan selville vikatilanteita selvitetessä (ABB:n TTT-käsikirja 10.4, 15; Mörsky, 1992, 33.)

5.3 Reletyyppejä

5.3.1 Virtareleet

Virtareleitä on olemassa useita eri tyyppisiä ja jokaisella on oma toimintatapansa. (Mörsky, 1992, 35.)

Vakioaikarele

Vakioaikareleessä voidaan virran lisäksi asetella virtaa vastaava aika jona rele laukaisee. Vakioaikatoiminto on riippumaton ylivirran suuruudesta, laukaisu tapahtuu aina asetellun ajan kuluttua kun virta on ylittänyt asetellun arvon. (Mörsky, 1992, 35.)

Käänteisaikarele

Käänteisaikareleessä toiminta-aika riippuu virran suuruudesta. Laukaisu tapahtuu sitä nopeammin mitä enemmän virta ylittää releen asetteluarvon. Nykyaikaisiin releisiin on mahdollista valita erilaisia, eri jyrkkyyksillä toimivia laukaisukäyriä. (Mörsky, 1992, 35.)

Lämpörele

Lämpöreleellä eli ylikuormitusreleellä selvitetään ylikuormitukselta suojatun kohteen lämpötila. Sitä käytetään pääasiassa moottorien suojauksessa.

Sähkömekaanisilla lämpöreleillä toiminta perustuu kuormitusvirran aiheuttaman lämmön matkimiseen. (Mörsky, 1992, 37.)

Sähkömekaaninen ylikuormitusrele koostuu bimetallisesta lämpölaukaisijasta. Moottorin kuormitusvirta kulkee bimetallin ympärille kiedotussa langassa. Langan lämmetessä bimetalli taipuu ja koskettaa releen apukoskettimien jousimekanismia saaden aikaan releen laukaisun. Releissä on kolme erillistä, itsenäisesti toimivaa bimetalielementtiä, yksi jokaiselle vaiheelle ja ne ovat kompensoituja ympäristön muutoksia vastaan. Elektronisilla lämpöreleillä toiminta perustuu moottorin virran mittaukseen. Suurilla virroilla on mahdollista käyttää virtamuuntajan ja lämpöreleen yhdistelmää. (Mäkinen, Kallio & Tantarimäki 2009, 95-96.)

5.3.2 Ali- ja ylijännitereleet

Alijänniterele toimii silloin, kun jännite alittaa releen asetteluarvon. Alijännitereleitä käytetään tyypillisesti erottamaan suuret moottorit verkosta, kun jännite poistuu tai laskee niin paljon, että moottori saattaisi pysähtyä. Jos jännitteen palatessa moottori olisi kytkettynä verkkoon, syntyisi oikosulun kaltainen suuri sysäysvirta. Moottorien ohjaamiseen käytettävissä kontakteissa alijännitelaukaisu on rakenteellisesti olemassa, sillä kontaktorit päästävät jännitteen poistuessa tai laskiessa tarpeeksi. Alijännitereleissä voidaan asettaa toimintajännite ja hidastusaika. Myös kontakteihin on saatavilla erillisiä hidastimia. (Mörsky, 1992, 38-39.)

Ylijänniterele toimii silloin, kun jännite ylittää releen asetteluarvon. Ylijännitereleitä käytetään havaitsemaan maasulkuja ja tahtigeneraattorien yhteydessä estämään vaarallinen jännitteen nousu. (Mörsky, 1992, 39.)

5.3.3 Suunta- ja tehoreleet

Suunta- ja tehoreleiden toiminta perustuu suojattavan kohteen jännitteen ja virran hetkellisarvojen sekä näistä johdettujen tehojen mittaukseen. Mitatuista virrasta ja jännitteestä muodostetaan niiden väliseen vaihekulmaan verrannolliset suureet. Releessä on kaksi toimintasuuntaa, myötä- ja vastasuunta, jotka voidaan valita asetuilla. Vian suunnan määrittämiseen on useita eri tapoja. Eräs perinteinen tapa on määrittää suunta vaihekohtaisesti vertaamalla kunkin viiallisen vaiheen virran osoittimen kahden muun vaiheen välisen pääjännitteen osoittimeen. Esimerkiksi voidaan verrata vaihevirran osoittimen \bar{I}_{L1} suuntaa ns. vastakkaisen pääjännitteen \bar{U}_{23} osoittimen suuntaan. Rele laukaisee jos yksikin vaihekohtaisista vertailuista osoittaa vian olevan asettelusta riippuen joko myötä- tai vastasuunnassa. Suuntareleitä käytetään silmukkaverkkojen ylivirta- ja oikosulkusuojina. (Mörsky, 1992, 40; ABB:n TTT-käsikirja, 7.5.3, 28.)

Tehorelettä, esimerkiksi takatehorelettä käytetään generaattorin ja sitä pyörittävän voimakoneen suojauksessa estämään generaattorin käyminen moottorina. Rele mittaa suojattavan kohteen, esim. generaattorin verkosta ottaman pätötehon hetkellisarvoa. (Mörsky, 1992, 40-41.)

5.3.4 Epäsymmetriareleet

Epäsymmetriareleitä käytetään estämään kolmivaihejärjestelmän kuormituksen tuleminen epäsymmetriseksi eli vinoksi. Kuormitusvirta tulee epäsymmetriseksi kun siihen ilmestyy myötäkomponentin lisäksi vastakomponentti. Epäsymmetrinen virta saa aikaan jännitehäviöitä, joka aiheuttaa myös jännitteeseen vastakomponentin ja epäsymmetrian. Virran vastakomponentti aiheuttaa pyörivissä koneissa päävuota vastaan pyörivän magneettivuon, josta seuraa mm. pyörintää vastustava vääntömomentti.

Tärkeät koneet voidaan suojata virta- ja jännite-epäsymmetrioilta vinokuormitus-suojilla. Vinokuormitussuojaus perustuu erikoiskytkentöihin, joiden avulla pelkistetään vastakomponentti kolmivaihejärjestelmän virroista ja jännitteistä. (Mörsky, 1992, 41-42.)

5.3.5 Vertoreleet

Vertoreleitä käytetään esimerkiksi muuntajien ja generaattorien suojauksessa. Rele mittaa suojattavan kohteen erovirtaa. Erovirran mittaukseen perustuvaa differentiaalisojausta käytetään esimerkiksi generaattorien, muuntajien ja kiskostojen suojauksessa. (Mörsky, 1992, 47-48.)

5.4 Mittamuuntajat

5.4.1 Yleistä mittamuuntajista

Virran tai jännitteen mittaukseen tarkoitettuja erikoisrakenteisia muuntajia kutsutaan mittamuuntajiksi. Niitä käytetään mittaus- ja suojaustekniikassa muuntamaan jännitteet ja virrat sopiviksi releille ja mittareille. Mittamuuntajien avulla mittauspiiri saadaan erotettua päävirtapiiristä ja mittalaitteet sijoitettua kauaksikin mittauspaikasta. Mittamuuntajia on kahdentyyppisiä, jännitettä muuntavia jännitemuuntajia ja virtaa muuntavia virtamuuntajia. (Mörsky, 1992, 85; Aura & Tonteri, 2009, 293.)

5.4.2 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajien tehtävänä on muuntaa ensiön jännite sopivaksi mittareille mittaus-tarkoitukseen ja releille suojaustarkoitukseen. (Mörsky, 1992, 86; Aura & Tonteri, 2009, 294.)

Käytännössä jännitemuuntajan rakenteeseen kuuluu vain yksi rautasydän. Rautasydämellä on yhteinen käämitys sekä ensiössä, että usein myös toisiossa. Yhteinen toisiokäämi toimii sekä mittaus- että suojauskääminä johon jännitemittarit ja –releet kytketään rinnan. Toisiopiirin yksi piste ja kaikki kosketeltavat osat on maadoitettava toisioon siirtyvien vaarallisten ylijännitteiden estämiseksi. Toisiopiiriä ei myös koskaan saa oikosulkea. (Mörsky, 1992, 86-87.)

Mittamuuntaja on tarkimmillaan nimellistaakan ollessa $0,60...0,65 * S_n$, taakan ja nimellistaakan suhteen pienentyessä tarkkuus huononee. Sen vuoksi nimellistaakkaa valitessa on vältettävä turhaa ylimitoittamista. Jännitemuuntajan taakan ollessa paljon nimellistaakkaa pienempi aiheutuu positiivinen mittavirhe, jännitemuuntajan nähdessä jännite todellista suurempana. Jännitemuuntajan tarkkuutta voidaan parantaa kytkeällä toisioliittimiin vastus lisätaakaksi. Jännitevirhe aiheutuu jännitemuuntajien ja mittareiden tai releiden välisissä johtimissa ja toisiopuolen suojauksessa käytettävässä johdonsuojakatkaisijassa syntyvistä jännitehäviöistä. Jännitemuuntajil-

le on asetettu tietyt tarkkuusluokat. Tarkkuusluokissa määritellään jännite- ja kulmavirheiden rajat. (Mörsky, 1992, 86-93.)

”Jännitevirhe on toisiojännitteen ja toisioon redusoidun ensiöjännitteen suuruuksien prosentuaalinen ero” (Mörsky, 1992, 90).

$$f_u = \frac{u_2 - u_1}{u_1} * 100\%$$

”Kulmavirhe on toisio- ja ensiöjännitteen välinen kulmaero” (Mörsky, 1992, 90).

$$\delta_u = \arg(u_2) - \arg(u_1)$$

5.4.3 Virtamuuntajat

Virran vaihtelusta johtuen sen mittaaminen on vaikeampaa kuin jännitteen, vaihtelu vikavirtojen ja normaalien virtojen välillä voi olla kymmen- tai jopa satakertainen sekä vikavirroissa esiintyvä tasavirtakomponentti aiheuttaa ongelmia. Toisin kuin jännitemuuntajassa, virtamuuntajassa on yhden sydämen ja yhteisen toisiokäämityksen sijaan kaksi sydäntä ja kaksi toisiokäämitystä mittaus- ja suojaustarkoituksiin kumpaankin omansa. (Mörsky, 1992, 101.)

Virtamuuntajille on asetettu tarkkuusluokat, joissa määritellään virta- ja kulmavirheiden rajat. Käytössä olevan virtamuuntajan toisiopiiri on pidettävä oikosuljettuna. Toisiopiirin ollessa avattuna koko ensiövirta magnetoi sydäntä, joka kyllästyy nopeasti. Tällöin toisioliittimien välinen jännite voi nousta vaarallisen suureksi, jopa kymmeneen kilovolttiin. Toisiopiirin avaamista varten liittimet on oikosuljettava. Samoin kuin jännitemuuntajassakin, myös virtamuuntajassa toisiopiirin yksi piste ja kaikki kosketeltavat osat on maadoitettava. (Mörsky, 1992, 103.)

Virtamuuntajan virtavirhe johtuu magnetoimisvirrasta, jonka suuruus riippuu mitattavasta virrasta ja virtamuuntajan toisiotaakasta. Virtamuuntajan toistokykyä heikentää tyhjäkäyntivirta, joka aiheuttaa sen ettei ensiövirta toistu tarkasti toisiopuolelle. (Mörsky, 1992, 102.)

“Virtavirhe on toisiovirran ja toisiopuolelle redusoidun ensiövirran itseisarvojen erotus. Se ilmaistaan tavallisesti prosentuaalisena arvona f_i .” (Mörsky, 1992, 102.)

$$f_i = \frac{I_2 - I_1}{I_1} * 100\%$$

”Kulmavirhe δ_i on virtojen I_2 ja I_1 välinen vaihekulmaero, joka määritellään positiiviseksi, kun toisiovirta on ensiövirtaa edellä” (Mörsky, 1992, 102).

$$\delta_i = \arg(I_2) - \arg(I_1)$$

Virtamuuntajan ensiövirta on valittava kuormitusvirran kannalta riittäväksi ja vältettävä sen ylimitoittamista. Ylimitoitettu ensiövirta tekee suojaareleen asettelusta vaikeaa. Toision nimellisvirtoina käytetään virta-arvoja 1A, 2A ja 5A. Se mikä virta-arvo valitaan, riippuu toisiopiirin pituudesta. (Mörsky, 1992, 105-106.)

Toisiopiirin ollessa lyhyt, käytetään toisiovirtana viittä ampeeria, johtuen toisipuolen ylijännitteistä, jotka muodostuvat ongelmaksi yhdellä ja kahdella ampeerilla. Toisipuolen käyttöaajuinen ylijännite oikosulun aikana ja toisioon siirtyvät syöksyjännitteet, johon vaikuttaa myös muuntosuhde, kasvavat verrannollisesti toisiovirran pienenemiseen. Toisiopiirin ollessa pitkä, käytetään toisiovirtana yhtä tai kahta ampeeria, sillä viidellä ampeerilla toisiokaapeliin kuluttama teho kasvaa kohtuuttoman suureksi, joka joudutaan huomioimaan nimellistehon valinnassa. (Mörsky, 1992, 105-106.)

Samoin kuin jännitemuuntajan nimellistaakkaa valitessa myös virtamuuntajalla pätevät samat säännöt. Ylimoittamista on pyrittävä välttämään, sillä se heikentää virtamuuntajan mittaustarkkuutta. Tarkkuusluokassa pysytään normaalisti taakan vaihdella 25...100% S_n , virtamuuntaja on tarkimmillaan noin 75% taakalla. (Mörsky, 1992, 108.)

Virtamuuntajien magnetoimiskäyrä ei ole suora, joten virhe vaihtelee. Magnetoimiskäyrässä on käännepiste, virran kasvaessa kohti käännepistettä virhe pienenee. Käännepisteessä virtamuuntaja alkaa kyllästyä ja virhe alkaa kasvaa virran edelleen kasvaessa. Virtamuuntaja saattaa kyllästyä suuren symmetrisen, tasakomponentittoman, ensiön ylivirran, oikosulkuvirran, vaikutuksesta tai ensiövirran tasakomponentin vaikutuksesta. (Mörsky, 1992, 113-115.)

Magnetoimisvirran suuruus riippuu ensiövirran tasakomponentin aikavakiosta T_1 , joka riippuu vikavirtaa vastaan tulevasta induktanssista ja resistanssista, toisiopiiriin aikavakiosta T_2 , joka riippuu esimerkiksi virtamuuntajan fyysisestä koosta ja toisiotaakasta sekä virtamuuntajan sydämen remanenssivuosta. Virtamuuntajan magnetointivirta vaihtelee symmetrisesti ensiövirran ollessa symmetristä vaihtovirtaa. Toisiojännite kasvaa verrannollisesti ensiövirran kasvuun kunnes toisiojännitteen saavuttaessa käännejännitteen, voimistuu virtamuuntajan kyllästyminen. Kyllästyminen on voimakkaampaa tasakomponentillisellä jännitteellä kuin käyttötaajuisella. Tasakomponentillisen ensiövirran vaikutuksesta virtamuuntaja kyllästyy ja myös toisiovirtaan muodostuu tasakomponentti. Ensiöstä toisiovirtaan heijastuva tasakomponentti vääristää mittausta. Magnetointivirta- ja vuo kasvavat pienenevän tasajännitteen kanssa ajan funktiona. Mikäli rauta ei kyllästy ennen tasakomponentin häviämistä, säilyttää virtamuuntaja muuntokykynsä. Jos rauta ehtii kyllästyään täydellisesti, virtamuuntajan tyhjäkäyntihaaran induktanssi pienenee pahimmassa skenaariossa niin paljon, että taakkaan ei mene ollenkaan virtaa. (Mörsky, 1992, 113-115.)

Tällaisessa tapauksessa saattaa virtapiirissä olla täysi oikosulku päällä mutta virtamuuntaja ei havaitse sitä eikä rele ohjaa katkaisijaa auki.

6 SELEKTIIVINEN SUOJAUS JA SELEKTIIVISYYSTARKASTELU

6.1 Määritelmät ja toteuttamistavat

Selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että pelkästään lähimpänä vikakohtaa oleva sähkönsyöttösuunnan puoleinen suojalaite toimii. Näin saadaan erotettua yksittäinen vika ja rajattua mahdollisimman pieni osa verkkoa jännitteettömäksi.

Epäselektiivisyydellä tarkoitetaan suojauksen virhetoimintaa. Vikatilanteessa saattaa toimia monta eri suojalaitetta samaan aikaan tai vikakohtaan nähden täysin väärä suojalaite. Suojattava järjestelmä jaetaan erilaisiin suoja-alueisiin, joita ovat muun muassa muuntajat, johdot ja laitteet. Suojaus on aukoton kun vierekkäiset suoja-alueet peittävät osittain toisensa. Pelkästään oman suoja-alueensa vioissa toimiva suoja on absoluuttisesti selektiivinen. Aikaselektiivisyydellä tarkoitetaan aikaporras-tukseen perustuvaa selektiivisyyttä ja vastaavasti virtaselektiivisyydessä porrastetaan virta-arvoja (Mörsky, 1992, 15-16; ST 53.13 2008, 2.)

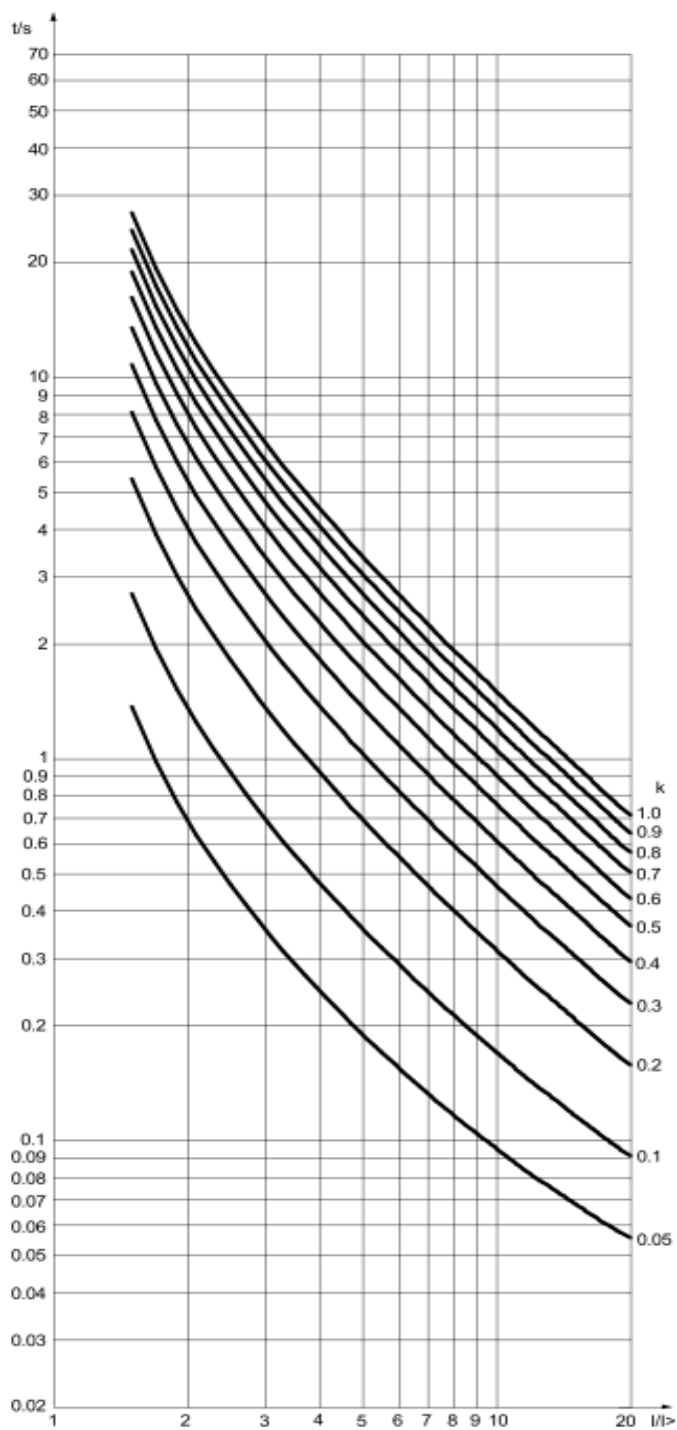
Suunniteltaessa selektiivisen suojauksen toteuttamistapaa on kiinnitettävä huomiota suojauksen toimintanopeuteen. Suojauksen toimintanopeudella on vaikutusta oikosulun aiheuttamiin vahinkoihin. Nopeuttamalla toiminta-aikaa vältetään oikosulun aiheuttamat vaaratekijät ja lievennetään verkon termisiä rasituksia sekä vian aikaisen jännitekuopan kestoa. Suojauksen nopea toiminta ehkäisee myös varsinaisen oikosulun ja jännitekuopan poistumisen jälkeisiä, oikosulun kaltaisia kuormitussysäyksiä. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5, 21.)

Suojaus voidaan toteuttaa ylivirtareleillä käyttämällä vakioaika- tai käänteisaikatoimintoa. Vakioaikatoiminnolla laukaisuaika ei riipu mitatun virran suuruudesta vaan rele laukaisee aina tietyn ajan kuluttua kun asetettu virta-arvo ylittyy. Käänteisaikatoiminnolla rele toimii pienillä ja keskisuurilla oikosulkuvirroilla sitä nopeammin mitä enemmän mitattu virta ylittää asetetun virta-arvon. Suurilla virroilla toiminta on vakioaikaista. Käänteisaikatoiminto muistuttaa laukaisukäyrältään sulakkeen sulamiskäyrää (ST 53.13 2008, 2; ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5, 21).

IEC standardi on määrittänyt neljä erilaista käänteisaikatoimintalaukaisukäyrää:

- Normal inverse
- Long time inverse
- Very inverse
- Extremely inverse

(ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5, 21-22).



Kuva 13. Very inverse laukaisukäyrä (ABB SPCJ 3C3 käyttöohje, 2002, 15).

Käyrien laukaisuajat sekunteina saadaan kaavasta:

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha-1}}$$

missä,

k = aseteltava aikakerroin

I = vaihevirran arvo

I> = virta-asettelu

α, β = toimintakäyräkohtaiset vakiot. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5.1, 22.)

Selektiivinen suojaus voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Tapoja ovat muun muassa:

- Aikaselektiivinen suojaus
- Aika- ja virtaselektiivinen suojaus
- Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus
- Lukitussuojaus
- Differentiaalisuojaus

(ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5, 21.)

6.2 Aikaselektiivinen suojaus

Aikaselektiivisessä suojauksessa sarjassa olevien suojalaitteiden toiminta-ajat porrastetaan eli hidastetaan toisiinsa nähden koko vikavirta-alueella riittävän erisuuriksi. Tällä tarkoitetaan sitä, että lähimpänä verkon syöttöpistettä olevan suojalaitteen toiminta-aika on pisin ja syöttöpisteestä kauimpana olevan lyhyin. Toiminta-ajat on pyrittävä pitämään hallittavina eivätkä syöttöpisteen läheisten suojalaitteiden toiminta-ajat saa kasvaa liian suuriksi. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5.1, 23; ST 53.13, 2008, 2.)

6.3 Aika- ja virtaselektiivinen suojaus

Jos suojalaitteita on sarjassa useita, ei toiminta-aikoja pystytä porrastamaan loputtomasti vaan aikaporrastuksen lisäksi on otettava käyttöön eri vikavirtatasoihin perustuva porrastus. Oikosulkuteho ja sitä kautta myös vikavirta ovat suurimmillaan verkonsyöttöpisteen lähellä ja heikkenevät mitä kauemmaksi syöttöpisteestä mennään. Tämä sähköverkon ominaisuus voidaan ottaa hyötykäyttöön suojiensa asettelussa ja porrastaa ne toimimaan erisuuruisilla vikavirroilla. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5.1, 23; ST 53.13, 2008, 2-3.)

6.4 Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus

Erityisesti jakeluverkkotasolla ja rengasverkoissa, joissa on useita sähkölähteitä, tarvitaan tietoa siitä, että onko vikapaikka ennen vai jälkeen suojalaitetta. Lisäksi suojausten toiminta-ajat ovat erisuuruiset riippuen siitä missä osassa verkkoa vika tapahtuu. Tällöin käytetään aikaporrastuksen lisäksi myös suunnan määrittystä. Suuntaselektiivistä suojausta voidaan käyttää myös pienjännitteellä. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5.1, 28; ST 53.13, 2008, 3.)

6.5 Lukitussuojaus

Peräkkäisten katkaisijoiden selektiivisyyttä voidaan parantaa käyttämällä lukitussuojausta. Toiminta perustuu siihen, että lukitusketjussa alempana oleva katkaisija lähettää havahtuessaan tiedon ylemmälle katkaisijalle pysyä kiinni tai hidastaa toimintaansa. Alempi katkaisija suorittaa itse suojaustoimenpiteen ja avautuu. Periaate soveltuu hyvin kiskostojen suojaukseen säteittäisissä verkoissa (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5.1, 32; ST 53.13, 2008, 3.)

6.6 Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojausta voidaan käyttää sähköverkon kaikkien komponenttien eli muuntajien, koneiden, kiskostojen ja johtojen suojauksessa. Suojaus mittaa suojattavan kohteen erovirtaa eli sekä tulevia että lähteviä vaihevirtoja ja vertaa niitä toisiinsa. Jos virrat poikkeavat toisistaan enemmän kuin asetellun arvon verran niin tapahtuu laukaisu. Suoja toimii ainoastaan virran mittausten välisellä alueella tapahtuvissa vioissa ja on näin ollen absoluuttisesti selektiivinen. (ABB:n TTT-käsikirja, 2000, 7.5, 33.)

6.7 Selektiivisyystarkastelu

Selektiivisyystarkastelulla tarkoitetaan suojausketjussa sarjassa olevien suojalaitteiden toiminta-aikakäyrien esittämistä samassa virta-aikakoordinaatistossa. Mikäli toiminta-aikakäyrät leikkaavat toisensa jollakin kohdalla koordinaatistoa, on kyseessä suojauksen epäselektiivisyys, kun käyrät eivät leikkaa toisiaan on suojaus selektiivinen ja toimii oikein. Toiminta-aikakäyrästä käytetään myös nimitystä laukaisukäyrä. Eri jännitetasoilla olevien suojalaitteiden toiminta-aikakäyrät redusoidaan tarkasteltavaan jännitetasoon, sillä ne eivät sellaisinaan ole keskenään vertailukelpoisia. Suojalaitteiden toiminta-aikakäyrien lisäksi koordinaatistossa voidaan esittää myös esimerkiksi muuntajan kytkentävirtasysäys sekä oikosulkuvirta. Tunnetuilla katkaisijavalmistajilla on ilmaisohjelmia, joilla suojalaitteiden välinen selektiivisyys voidaan tarkastaa. Ohjelmat sisältävät kyseisen valmistajan katkaisijat ja niitä ohjaavien suojareleiden sekä yleisimpien sulakkeiden toiminta-aikakäyrät. Ohjelmat soveltuvat hyvin pienjännitesuojalaitteiden selektiivisyyden tarkasteluun mutta keskijännitesuojalaitteiden tarkasteluun heikommin. Keskijännitepuolella joudutaan laukaisukäyrät usein määrittämään alusta lähtien itse. Lisäksi tietyn valmistajan ohjelmalla voidaan tarkastella vain kyseisen valmistajan tuotteiden selektiivisyyttä. (ST 53.13 2008, 6.)

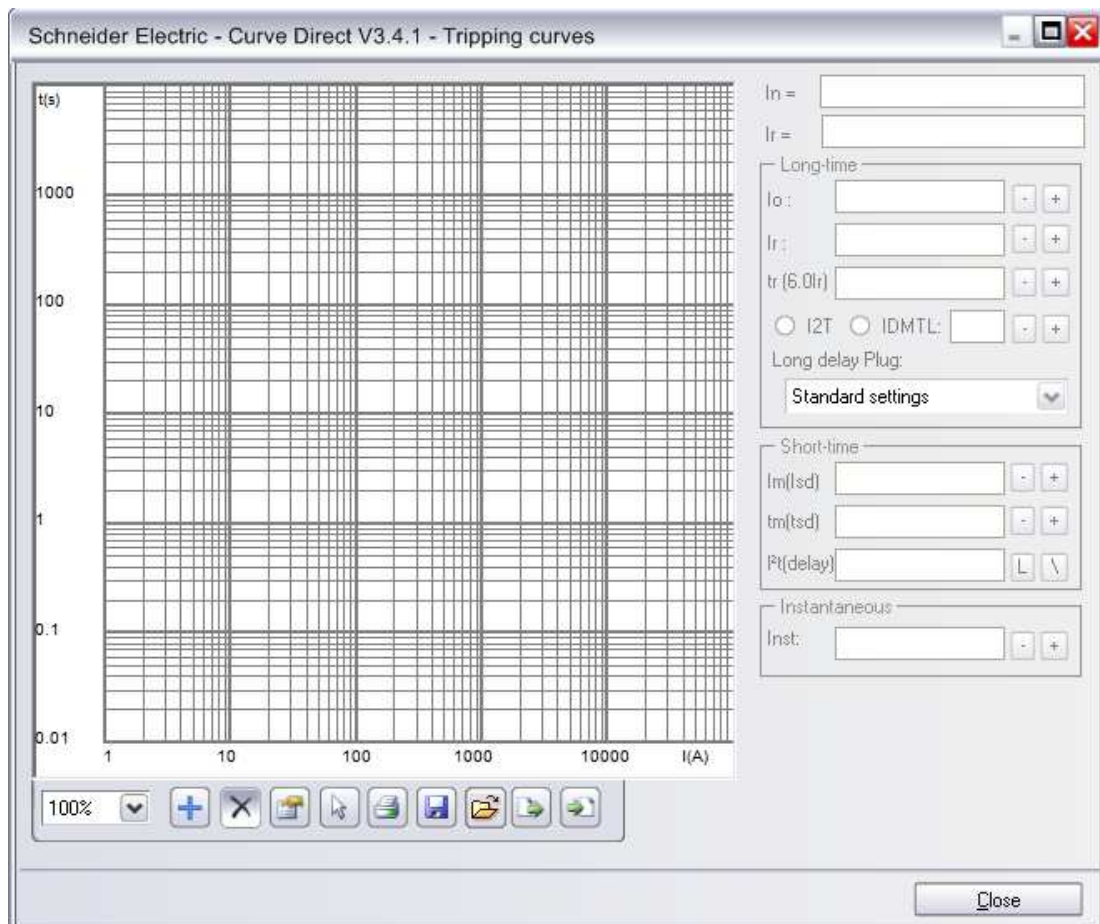
7 SELEKTIIVISYYSTARKASTELU NAANTALIN JALOSTAMOLLA

7.1 Selektiivisyystarkastelun toteuttaminen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selektiivisyystarkastelu Neste Oyj Naantalin jalostamon pienjänniteverkkoon. Tarkasteluun valittiin 38 keskijännitejakelumuuntajaa ja 37 pienjännitekojeistoa jalostamon alueelta, osassa tarkasteltavissa kohteissa oli käytössä muuntajien rinnansyöttö. Työn idea ja taustat liittyvät siihen, että vuosikymmenten kuluessa, laitteiden muuttuessa ja kuormitusten kasvaessa on pienjänniteverkkoon otettu käyttöön entistä suurempia sulakkeita suhteessa jakelumuuntajien näennäistehoihin. Työn aikana ilmenikin muutamia keski- ja pienjännitesuojalaitteiden välisiä epäselektiivisyyksiä. Näihin epäselektiivisyyksiin on esitetty parannusehdotuksia myöhempänä tässä opinnäytetyössä.

Jalostamon sähköverkko koostuu 110kV/6kV päämuuntajista, vastuksella maadoitettusta 6kV keskijänniteverkosta sekä 0,4kV pienjänniteverkosta. Selektiivisyystarkastelu voidaan tehdä eri jännitetasoilla ja eri verkon osiin. Tässä työssä jännitetasoksi valittiin 0,4kV ja tarkasteltavaksi suojausketjuksi muuntajan ylä- ja alapuolen katkaisijat sekä pienjännitekojeiston suurin sulake.

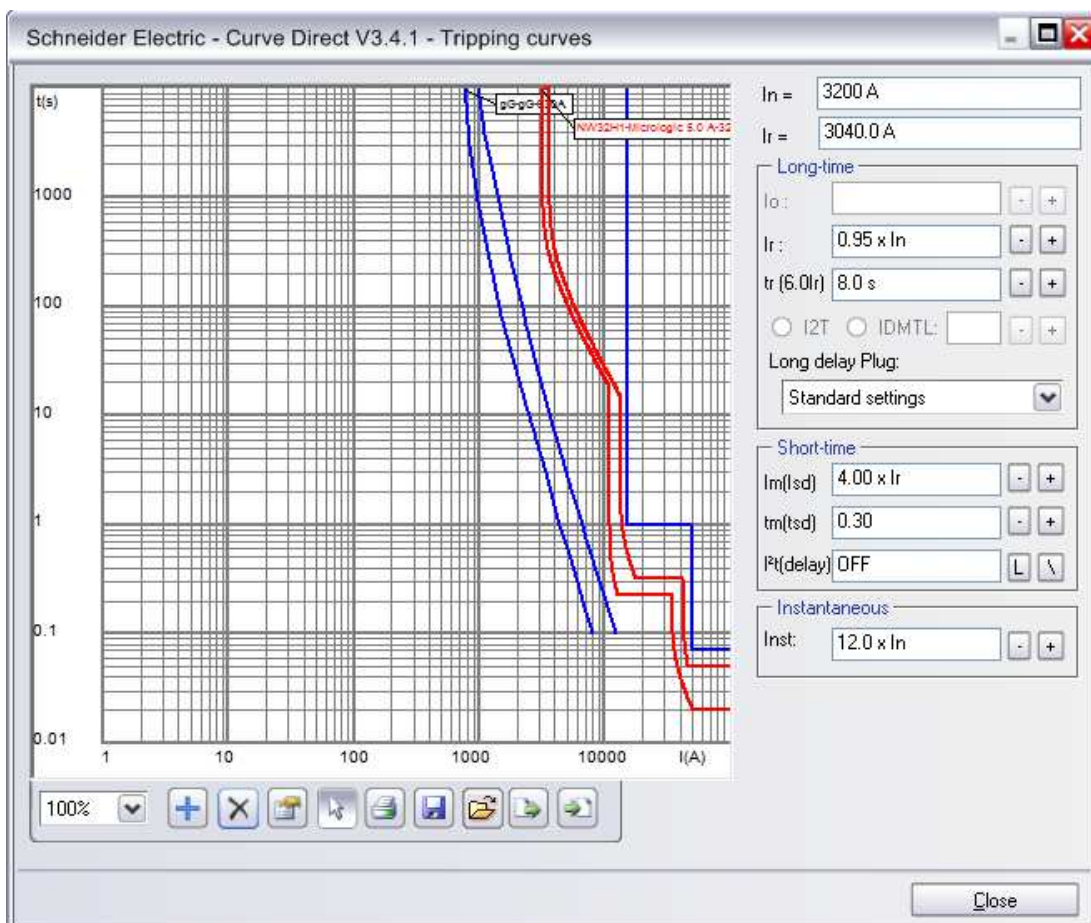
Työn aloitin selvittämällä millä ohjelmalla tarkastelun tekisin. Jalostamolla on käytössä Schneider Electricin pienjännitekatkaisijoita, joten kyseisen valmistajan vaihtoehdot olivat joko Ecodial tai Curve Direct. Lähdin liikkeelle Ecodialilla mutta huomasin pian, että se ei ollutkaan paras ratkaisu juuri tähän työhön, sillä siinä ei voinut mallintaa pelkkiä laukaisukäyriä vaan ohjelmaan oli rakennettava koko tarkasteltavan sähköverkon osa. Vaihdoin ohjelmaa Curve Directiin, jossa taas esitetään pelkästään suojalaitteiden laukaisukäyriä. Kaupallisten katkaisijoiden lisäksi ohjelmaan pystyy myös itse määrittämään laukaisukäyriä. Tätä ominaisuutta käytin mallintaessani keskijännitekatkaisijoiden vakioaikaisia laukaisukäyriä ja suurjännitesulakkeiden laukaisukäyriä. Käänteisaikaisia keskijännitekatkaisijoiden laukaisukäyriä piirtäessani hyödynsin taulukkolaskentaohjelmaa.



Kuva 14. Ohjelman aloitusnäky

Seuraavaksi selvitin jalostamon pien- ja keskijännitekatkaisijoiden nykyhetken asetteluarvot, jakelumuuntajien tekniset tiedot sekä hain kojeistojen pääkaavioista niiden suurimmat sulakkeet ja laitteet, joita ne syöttävät. Selvitetyt tiedot taulukoin. Tarkastelun jännitetasoksi valittiin pienjännite (0,4kV), joten keskijännitekatkaisijoiden (6kV) asetellut virta-arvojen osalta oli redusoitava pienjännitteelle.

Saatuani nykyhetken tiedot taulukoitua, aloin syöttämään niitä ohjelmaan. Määritettyäni laukaisukäyrät tulostin sähköiseen muotoon ohjelman antaman dokumentin, joka sisälsi suojalaitteiden laukaisukäyrät ja pienjännitekatkaisijan asetellut.



Kuva 15. Pienjännitesulakkeen ja -katkaisijan sekä vakioaikaisen keskijännitekatkaisijan laukaisukäyrät.

Tarkasteluun valittujen kohteiden mallintamisen jälkeen oli aika perehtyä kuvien sisältöön ja tulkita niiden sisältämä tieto. Käydessäni kuvia läpi laadin samalla tekstidokumentin, jossa selvitetään mitkä suojalaitteet on tarkasteltu sekä onko ilmennyt epäselektiivisyyksiä. Tekstidokumentin ja laukaisukäyrien tueksi laadin myös jake-lukaaviomuotoisen piirustuksen tarkasteltavista suojalaitteista ja niiden suojaamista laitteista.

7.2 Parannusehdotukset

Seuraavaksi esitetään esimerkinomaisesti erilaisia parannusehdotuksia kolmeen löydettyyn epäselektiivisyyteen. Parannusehdotuksissa on pyritty saamaan koko suojausketjusta selektiivinen mutta käytännössä usein joudutaan tekemään jonkinlaisia kompromisseja pien- ja keskijännitekatkaisijoiden välisen selektiivisyyden suhteen. Parannusehdotuksissa suojalaitteiden laukaisukäyrät on esitetty 0,4kV tasossa, keskijännitekatkaisijoiden laukaisukäyrät redusoituna kyseiseen jännitetasoon.

Yhtä ainoa oikeaa tapaa selektiivisyyden toteuttamiseksi ei ole vaan suojauksen asettelu on yleensä tapauskohtainen. Näissä esimerkeissä on pyritty saamaan koko suojausalueesta selektiivinen. Pääpainona asetteluissa on kuitenkin ollut pien- ja keskijännitekatkaisijoiden ja pienjännitesulakkeen välinen selektiivisyys. Laukaisukäyrien lisäksi parannusehdotuksissa on esitetty myös esimerkin vuoksi arvio kojeiston suurimmasta oikosulkuvirrasta sekä muuntajan kytkentävirtasäyksestä.

7.3 Tapaus 1: Muuntamo M002, kojeisto F08

Valitaan lähempään tarkasteluun prosessialueen muuntamo M002 ja sen jakelumuuntaja DM002.08 sekä kojeiston F08 suurimman sulakkeen syöttämä laite.

Näissä asetteluesimerkeissä pienjännitesulakkeella pyritään suojaamaan pienjännitelaitte ja pienjännite- sekä keskijännitekatkaisijoilla jakelumuuntaja.

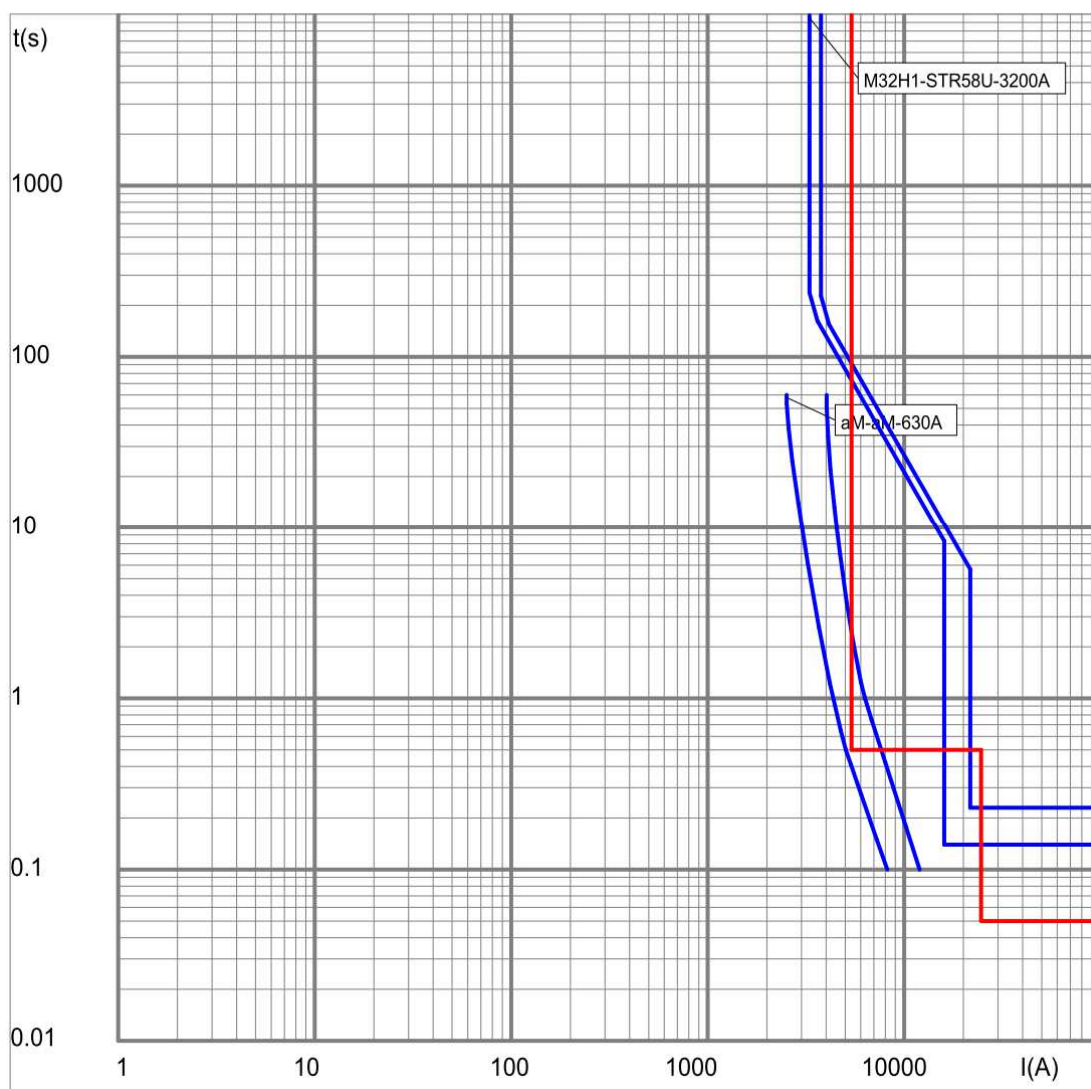
Jakelumuuntajan tekniset tiedot:

- $S_n = 2000\text{kVA}$
- $U_{1n}/U_{2n} = 6\text{kV}/0,4\text{kV}$
- $I_{1n}/I_{2n} = 192\text{A}/2880\text{A}$
- $z_k = 6,1\%$
- Dyn11



Kuva 16. Suojattava pienjännitelaitte: Suorakäyttöinen jäähdytysvesipumppu GA-4201CM. Oikosulkumoottorin nimellisteho: 250 kW.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



Kuva 17. Suojauksen epäselektiivinen lähtötilanne.

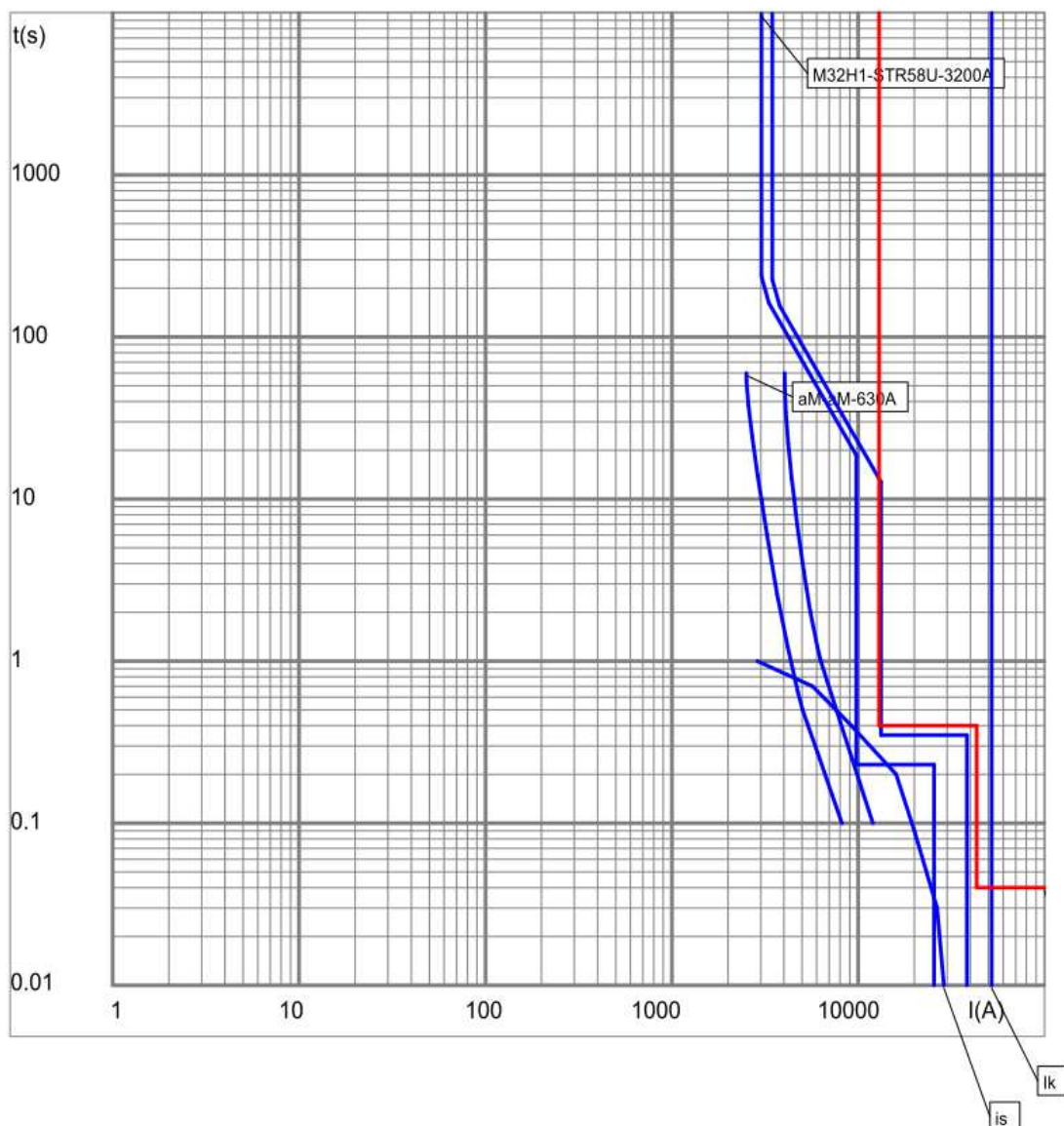
Kuvan suojalaitteet:

- aM-tyyppinen pienjännitekahvasulake
- Pienjänniteilmakatkaisija
- Vakioaikatoiminen SF₆ keskijännitekatkaisija, joka on esitetty punaisella värillä

Laukaisukäyrästä nähdään, että keskijännitekatkaisijan ylivirtaporras $I >$ leikkaa kahvasulakkeen laukaisukäyrää. Lisäksi havaitaan, että pien- ja keskijännitekatkaisijoiden laukaisukäyrät leikkaavat toisiaan ylivirta- sekä pikalaukaisualueella.

Suojaus toimii näissä kohdissa epäselektiivisesti. Epäselektiivisyyden korjaamisessa voidaan tässä tapauksessa hyödyntää virta- ja aikaselektiivisyyttä sekä käänteisaika-toimintoa.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



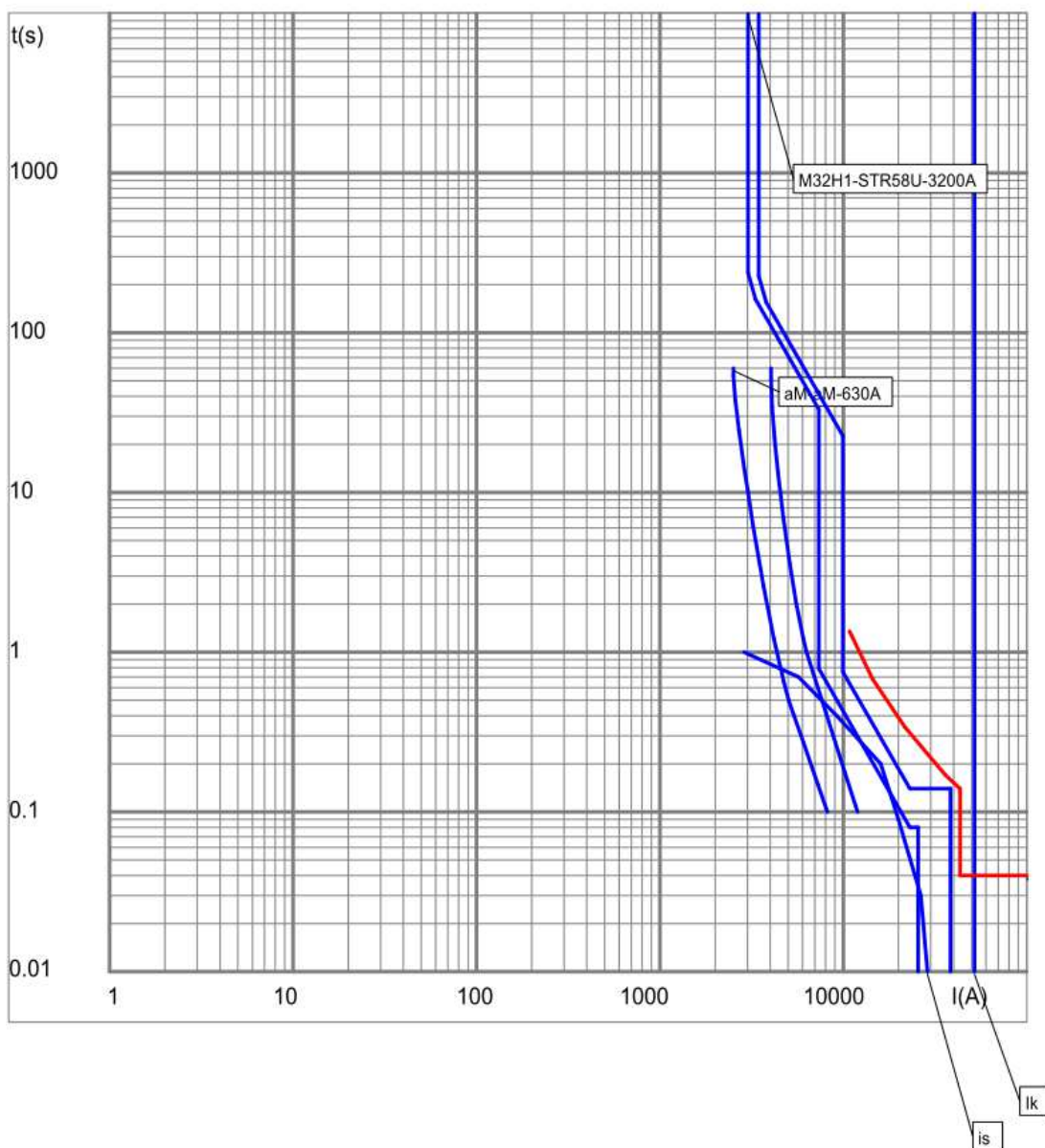
Kuva 18. Korjattu tilanne 1: Keskijännitekatkaisijassa on käytössä vakioaikatoiminto. I_k on oikosulkuvirran suurin arvo ja I_s on muuntajan kytkentävirtasysäys.

Korjaustoimenpiteet:

- Vaihdetaan keskijännitekatkaisijan virtamuuntaja muuntosuhteeltaan suuremmaksi.
- Nostetaan keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaan $I >$ virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaan $t >$ aika-asetteluarvoa.
- Nostetaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan $I >>$ virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan $t >>$ aika-asetteluarvoa.

- Asetellaan pienjännitekatkaisijan ylivirtasuojan muuntajan nimellisvirtaan.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan virta-asetteluarvoa.
- Nostetaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan aika-asetteluarvoa.
- Otetaan käyttöön pienjännitekatkaisijan pikalaukaisutoiminto.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



Kuva 19. Korjattu tilanne 2: Keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaassa on käytössä käänneisaikatoiminto. Ik on oikosulkuvirran suurin arvo ja is on muuntajan kytkentävirrasyö.

Korjaustoimenpiteet:

- Vaihetaan keskijännitekatkaisijan virtamuuntaja muuntosuhteeltaan suuremmaksi.
- Otetaan käyttöön keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaaseen $I >$ käänneisaikatoiminto. Toimintakäyrän jyrkkyydeksi valitaan Very inverse ja aikakertomiksi 0,05.
- Nostetaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan $I >>$ virta-asetteluarvoa.

- Lasketaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan $t_{>>}$ aika-asetteluarvoa.
- Asetellaan pienjännitekatkaisijan ylivirtasuojan muuntajan nimellisvirtaan.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkulaukaisun virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan aika-asetteluarvoa.
- Otetaan käyttöön pienjännitekatkaisijan käänteisaikatoiminto I_2t .
- Otetaan käyttöön pienjännitekatkaisijan pikalaukaisutoiminto.

7.4 Tapaus 2: Kytkinlaitos KL03, kojeisto F01

Valitaan lähempään tarkasteluun Tupavuoren säiliöalueen kytkinlaitos KL03 ja sen jakelumuuntaja DKL03.01 sekä kojeiston F01 suurimman sulakkeen syöttämä laite. Näissä asetteluesimerkeissä pienjännitesulakkeella pyritään suojaamaan pienjännite-laite ja pienjännite- sekä keskijännitekatkaisijoilla jakelumuuntaja.

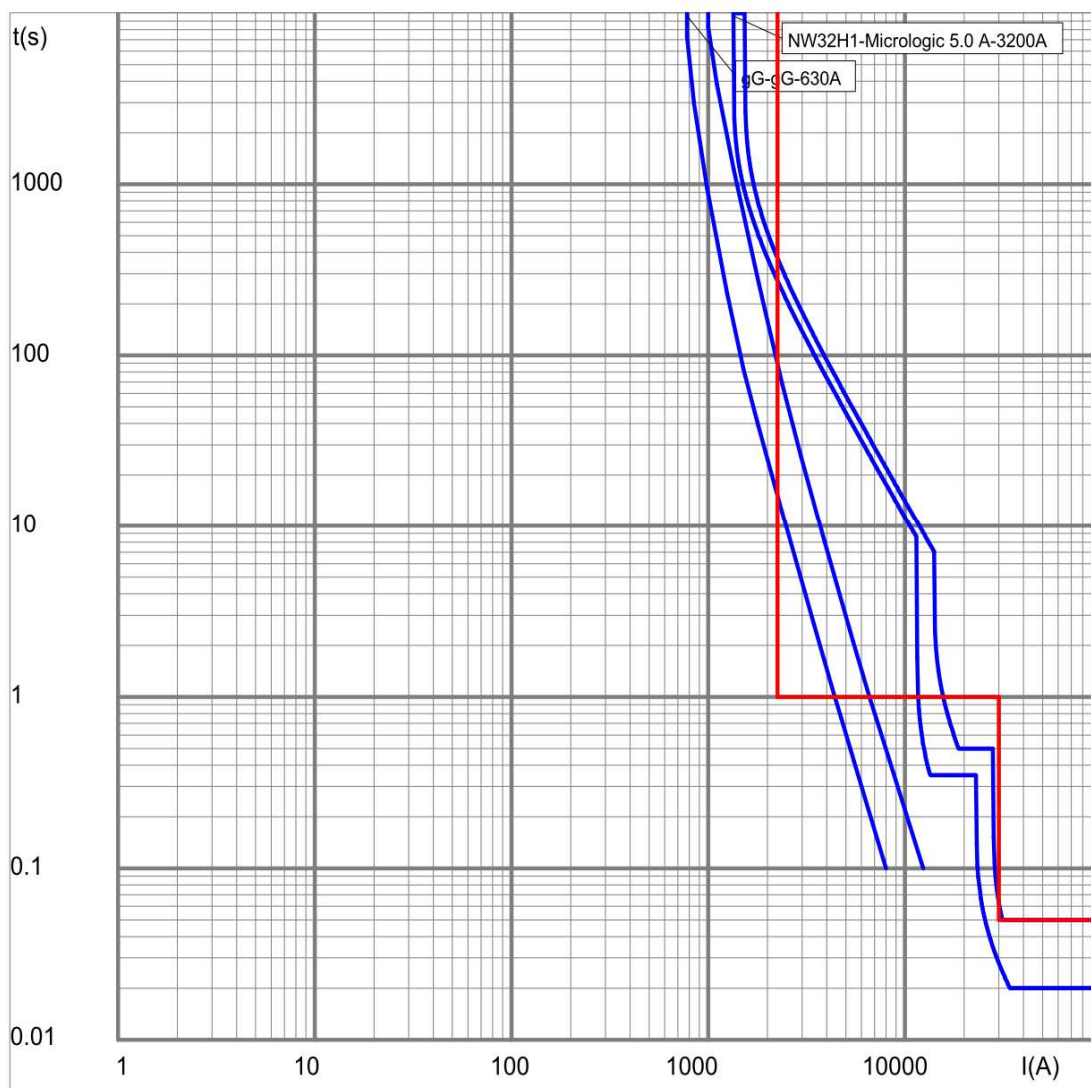
Jakelumuuntajan tekniset tiedot:

- $S_n = 1000\text{kVA}$
- $U_{1n}/U_{2n} = 6\text{kV}/0,4\text{kV}$
- $I_{1n}/I_{2n} = 96\text{A}/1440\text{A}$
- $z_k = 6\%$
- Dyn11



Kuva 20. Suojattava pienjännitelaitte: Taajuusmuuttajakäyttöinen raskaan polttoöljyn (POR) pumppu NGA-40 M. Oikosulkumoottorin nimellisteho: 200 kW.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



Kuva 21. Suojauksen epäselektiivinen lähtötilanne.

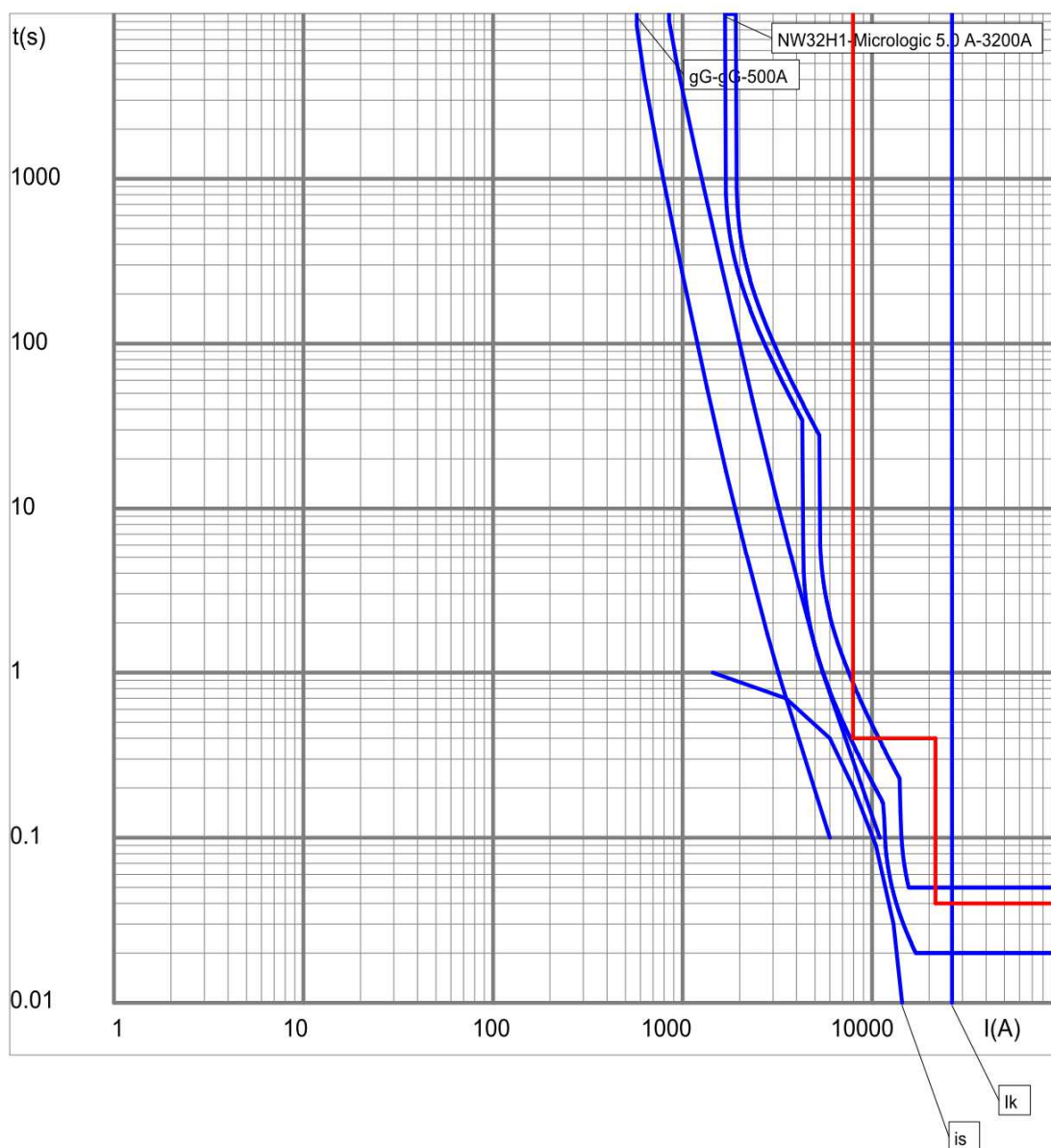
Kuvan suojalaitteet:

- gG-tyyppinen kahvasulake
- Pienjänniteilmakatkaisija
- Vakioaikatoiminen SF₆ keskijännitekatkaisija, joka on esitetty punaisella värillä

Laukaisukäyrästä nähdään, että keskijännitekatkaisijan ylivirtaporras I_D leikkaa kahvasulakkeen laukaisukäyrää. Lisäksi havaitaan, että pien- ja keskijännitekatkaisijoiden laukaisukäyrät leikkaavat toisiaan ylivirta- sekä oikosulkulaukaisualueella. Suojaus toimii näissä kohdissa epäselektiivisesti. Epäselektiivisyyden korjaami-

nessa voidaan tässä tapauksessa hyödyntää sulakkeen nimellisvirran pienentämistä, virta- ja aikaselektiivisyyttä sekä käänteisaikatoimintoa.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



Kuva 22. Korjattu tilanne 1: Keskijännitekatkaisijassa on käytössä vakioaikatoiminto. I_k on oikosulkuvirran suurin arvo ja I_s on muuntajan kytkentävirtasysäys.

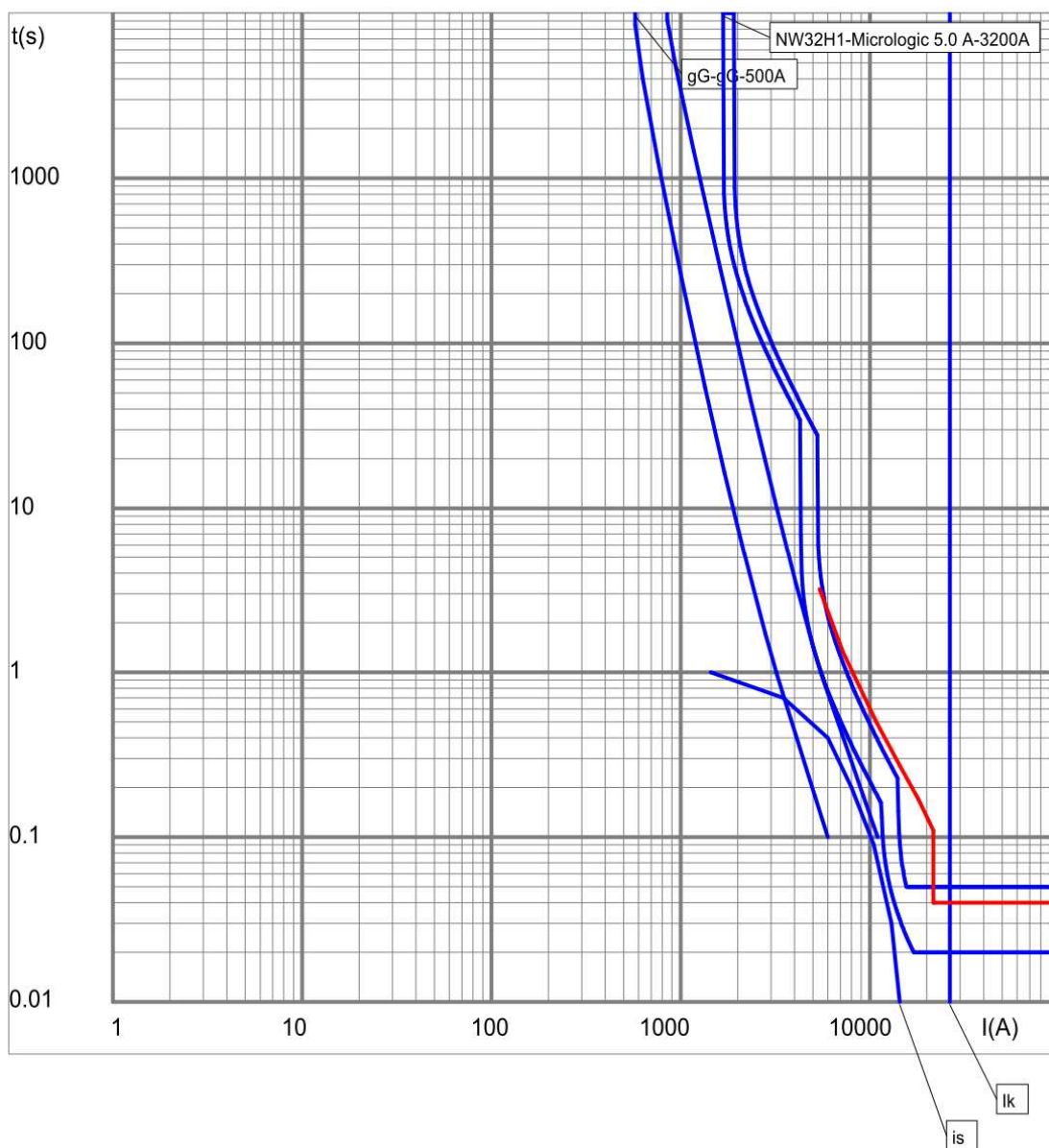
Korjaustoimenpiteet:

- Pienennetään kahvasulakkeen nimellisvirtaa.
- Nostetaan keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaan $I >$ virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaan $t >$ aika-asetteluarvoa.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan $I >>$ virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan $t >>$ aika-asetteluarvoa.
- Asetellaan pienjännitekatkaisijan ylivirtasuojan muuntajan nimellisvirtaan.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan virta-asetteluarvoa.

- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan aika-asetteluarvoa.
- Otetaan käyttöön pienjännitekatkaisijan käänteisaikatoiminto I_2t .
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan pikalaukaisutoiminnon virta-asetteluarvoa.

Täyttä katkaisijoiden välistä selektiivisyyttä ei saavuteta, sillä muuntajan suojaus asettaa keskijännitekatkaisijan ylivirta- ja oikosulkuasetteluille tietyt rajat.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



Kuva 23. Korjattu tilanne 2: Keskijännitekatkaisijassa on käytössä käänneisaikatoiminto. Ik on oikosulkuvirran suurin arvo ja Is on muuntajan kytkentävirtasysäys.

Korjaustoimenpiteet:

- Pienennetään kahvasulakkeen nimellisvirtaa.
- Otetaan käyttöön keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaaseen I \gg käänneisaikatoiminto. Toimintakäyrän jyrkkyydeksi valitaan Extremely inverse ja aikaker-toimeksi 0,05.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan I $\gg\gg$ virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan oikosulkuportaan t $\gg\gg$ aika-asetteluarvoa.

- Asetellaan pienjännitekatkaisijan ylivirtasuojan muuntajan nimellisvirtaan.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkulaukaisun virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkulaukaisun aika-asetteluarvoa.
- Otetaan käyttöön pienjännitekatkaisijan käänteisaikatoiminto I_{2t} .
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan pikalaukaisutoiminnon virta-asetteluarvoa.

7.5 Tapaus 3: Muuntamo M003, kojeisto F01

Valitaan lähempään tarkasteluun jakeluterminaalien muuntamo M003 ja sen jakelumuuntaja DM003.01 sekä kojeiston F01 suurimman sulakkeen syöttämä laite.

Näissä asetteluesimerkeissä pienjännitesulakkeella pyritään suojaamaan pienjännitelaitteita ja pienjännite- sekä keskijännitekatkaisijoita jakelumuuntajasta.

Jakelumuuntajan tekniset tiedot:

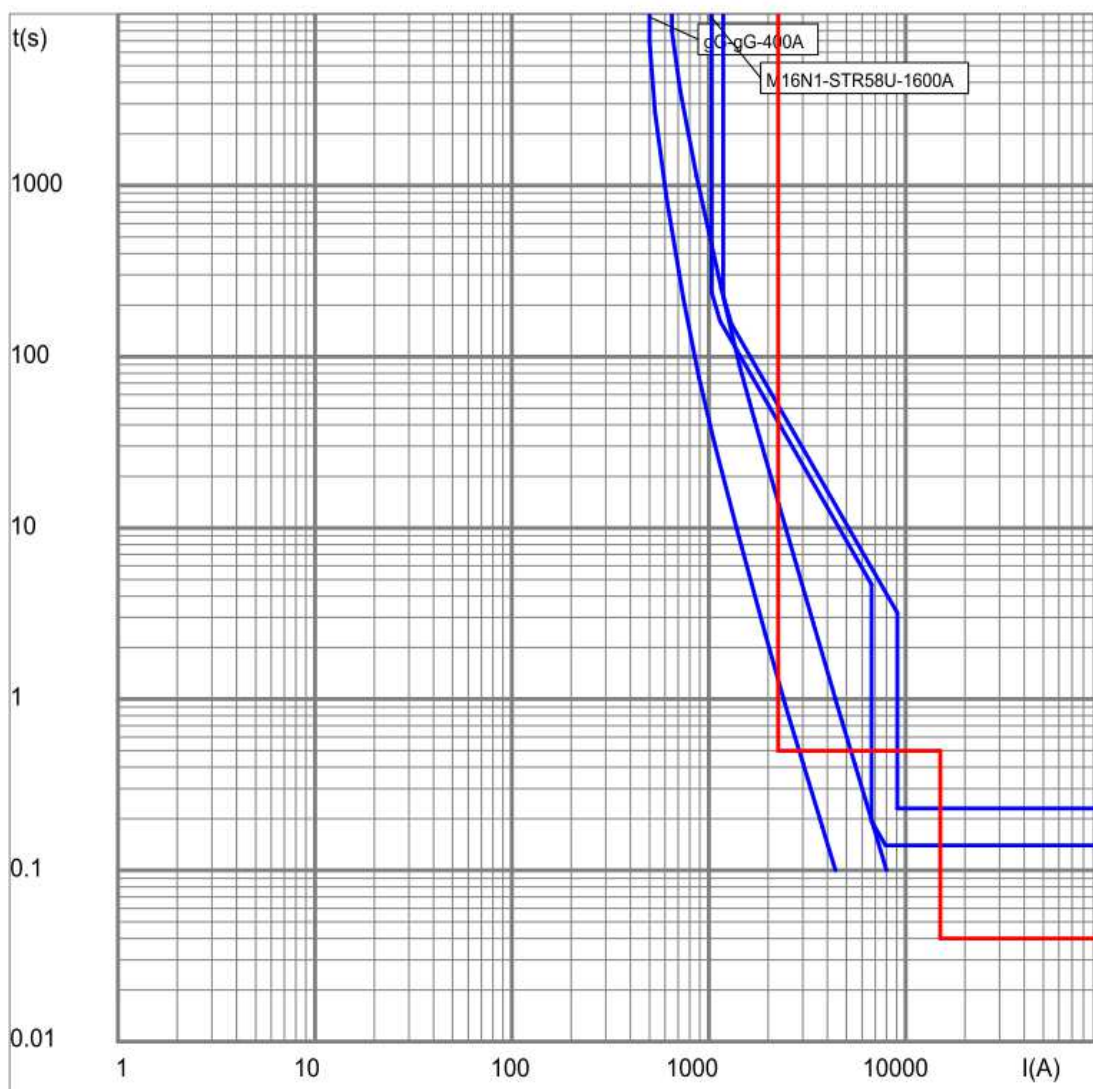
- $S_n = 800\text{kVA}$
- $U_{1n}/U_{2n} = 6\text{kV}/0,4\text{kV}$
- $I_{1n}/I_{2n} = 77\text{A}/1155\text{A}$
- $z_k = 4,7\%$
- Dyn11



Kuva 24. Suojattava pienjännitelaitte: Taajuusmuuttajakäyttöinen raskaan kaasukondensaatin junapurkupumppu YGA-157SM.

Oikosulkumoottorin nimellisteho: 110 kW.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



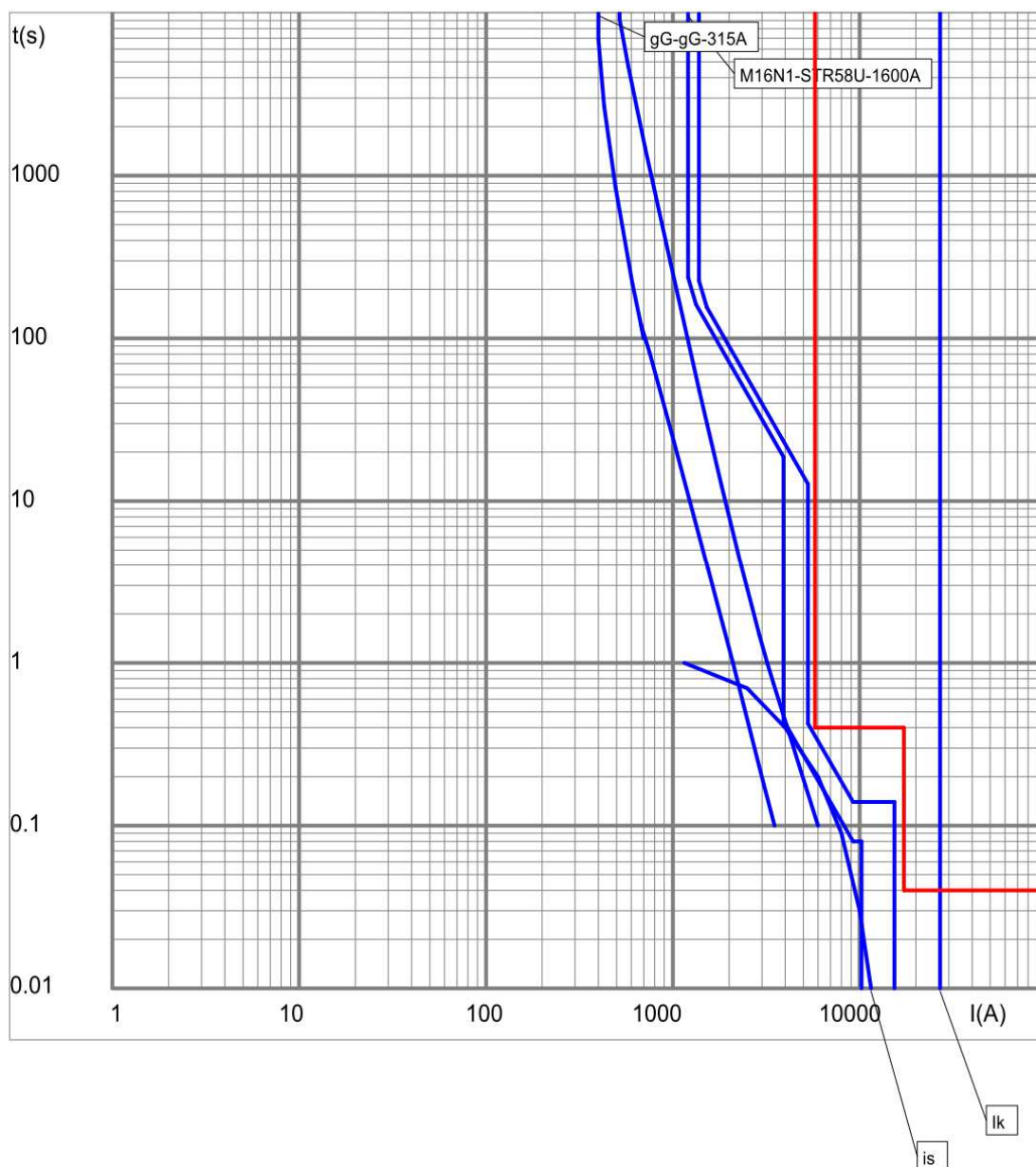
Kuva 25. Suojauksen epäselektiivinen lähtötilanne.

Kuvan suojalaitteet:

- gG-tyyppinen kahvasulake
- Pienjänniteilmakatkaisija
- Vakioaikatoiminen SF₆ keskijännitekatkaisija, joka on esitetty punaisella värillä

Laukaisukäyrästä nähdään, että sekä pien- että keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaat leikkaavat kahvasulakkeen laukaisukäyrää. Lisäksi havaitaan, että pien- ja keskijännitekatkaisijoiden laukaisukäyrät leikkaavat toisiaan ylivirta- sekä pikalaukaisualueella. Epäselektiivisyyden korjaamisessa voidaan tässä tapauksessa hyödyntää sulakkeen nimellisvirran pienentämistä, virta- ja aikaselektiivisyyttä sekä käänteisai- katoimintoa.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



Kuva 26. Korjattu tilanne 1: Keskijännitekatkaisijassa on käytössä vakioaikatoiminto.

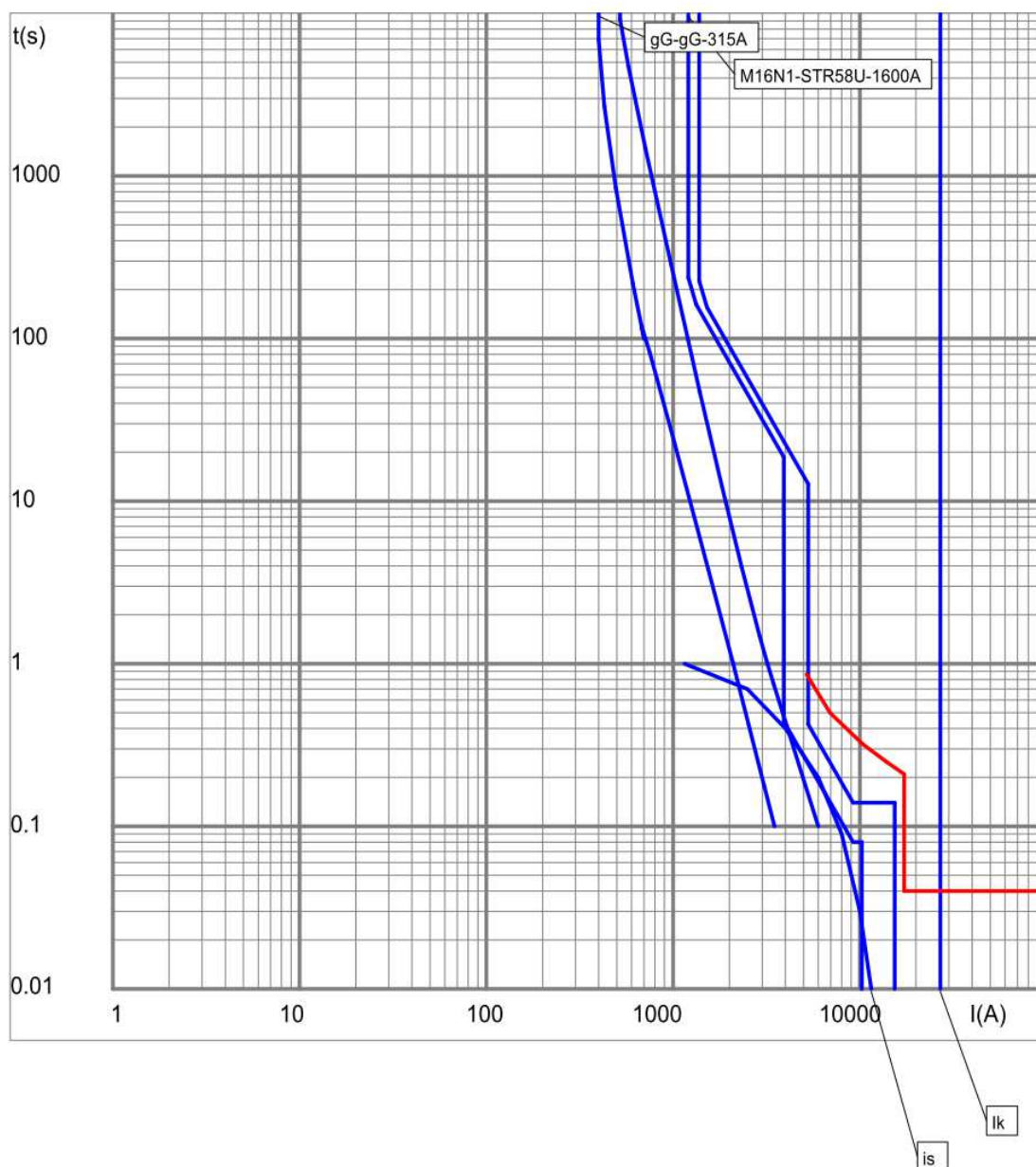
I_k on oikosulkuvirran suurin arvo ja I_s on muuntajan kytkentävirtasäys.

Korjaustoimenpiteet:

- Pienennetään kahvasulakkeen nimellisvirtaa.
- Vaihdetaan keskijännitekatkaisijan virtamuuntaja muuntosuhteeltaan suuremmaksi.
- Nostetaan keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaan $I >$ virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaan $t >$ aika-asetteluarvoa.
- Asetellaan pienjännitekatkaisijan ylivirtasuojaa muuntajan nimellisvirtaan.

- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkusuojan aika-asetteluarvoa.
- Otetaan käyttöön pienjännitekatkaisijan pikalaukaisutoiminto.

Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Tripping curves



Kuva 27. Korjattu tilanne 2: Keskijännitekatkaisijassa on käytössä käänneisaikatoiminto. I_k on oikosulkuvirran suurin arvo ja I_s on muuntajan kytkentävirrasysäys.

Korjaustoimenpiteet:

- Pienennetään kahvasulakkeen nimellisvirtaa.
- Vaihdetaan keskijännitekatkaisijan virtamuuntaja muuntosuhteeltaan suuremmaksi.
- Otetaan käyttöön keskijännitekatkaisijan ylivirtaportaaseen $I >$ käänneisaikatoiminto. Toimintakäyrän jyrkkyydeksi valitaan Normal inverse ja aikaker-toimeksi 0,05.
- Asetellaan pienjännitekatkaisijan ylivirtasuojan muuntajan nimellisvirtaan.

- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkulaukaisun virta-asetteluarvoa.
- Lasketaan pienjännitekatkaisijan oikosulkulaukaisun aika-asetteluarvoa.
- Otetaan käyttöön pienjännitekatkaisijan pikalaukaisutoiminto.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selektiivisyystarkastelu Neste Oyj Naantalın jalostamon pienjänniteverkkoon. Työ sisälsi erilaisia vaiheita kuten sopivan tarkasteluohjelman etsimistä, lähtötietojen selvittämistä, suojauksen nykytilan mallintamista, mallinnusten dokumentointia ja tulkitsemista sekä parannusehdotusten laatimista. Työn tiimoilta olin yhteydessä eri yrityksiin suojausteknisiin asioihin liittyvissä kysymyksissä. Yrityksiltä saamani neuvot edesauttoivat työn tekemistä ja korjausehdotusten laatimista. Työn aikana opin ymmärtämään paremmin sähkönjakelua ja relesuojauksen asettelua sekä hakemaan tietoa.

Työn tuloksena saatiin aikaan laaja raportti jalostamon pienjänniteverkon selektiivisyyden nykytilasta, jonka pohjalta suojausta on hyvä lähteä kehittämään.

Kokonaisuutena opinnäytetyö oli opettavainen ja mielenkiintoinen.

Jälkipohdintana ja jatkotoimenpiteenä voisi perehtyä syvemmin suojausten asettelu-
jen raja-arvoihin esimerkiksi muuntajan suojauksen osalta. Työn tarkastelualue rajattiin verkon normaalin käyttötilanteen aikaisen selektiivisyyden tarkasteluksi. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin varayhteydet ja varavoimaverkko, joten tarkastelua voisi laajentaa myös näille verkon osa-alueille.

Voin pitää opinnäytetyötä onnistuneena, sillä tavoitteisiin päästiin, opinnäytetyön tilaaja hyväksyi tarkastelun tulokset ja korjausehdotukset sekä sähköverkon nykytilasta saatiin paljon uutta hyödyllistä tietoa.

LÄHTEET

ABB pienjännitekojeet OF1FI 11-09, kahvasulakkeet 2...1600A gG- ja aM –tyypit. Viitattu 1.7.2015.

<https://library.e.abb.com/public/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1SCC317002C1801.pdf>

ABB SPCJ 3C3. 1998. Ylivirtarelemoduuli, käyttöohje ja tekninen selostus.

ABB:n TTT-käsikirja, 2000-07

Aura L. & Tonteri A. J. 2009 Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOYpro Oy

Elovaara J. & Laiho Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Valopaino Oy

Huotari K. & Partanen J. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Opetusmoniste 3. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Sähkötekniikan laitos, sähkötekniikan osasto.

Mäkinen M. J.J. & Kallio R. & Tantarimäki R. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Mörsky J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Karisto Oy

Neste Portaali, Brändipankki

Neste Oil vuosikertomus 2013. Viitattu 24.6.2015. <http://2013.nesteoil.fi/>

ST 53.13. Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys. 2008. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo.

ST 53.45. Sulakkeeton suojaus. 2015. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo.

Selektiivisyystarkastelun tutkimusraportti

Sisältää 128 sivua

Salattu