

Jari Kekki

Maasulkuvirran kompensointi saaristoalueiden kj-verkoissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

26.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Jari Kekki Maasulkuvirran kompensointi saaristoalueiden kj-verkoissa
Sivumäärä Aika	39 sivua + 1 liite 26.5.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkö
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Sampsa Kupari
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin maasulkuvirtoja Caruna Sähkönsiirto Oy:n Lounais-Suomen rannikko- ja saaristoalueiden keskijänniteverkossa. Aluksi insinööriyössä esiteltiin Sähkönsiirtoyhtiö Carunan verkkoalueet.</p> <p>Insinööriyössä perehdyttiin erilaisiin maasulkuihin kuten yksi- ja kaksivaiheinen maasulkuun, turvallisuusmääräyksiin sekä maasulkuvirran muodostumiseen. Työssä esiteltiin laskutavat, joilla maasulkuvirtoja pystytään laskemaan eri vikaresistansseilla. Esiteltiin erilaisia vaihtoehtoja maasulkuvirtojen ja niistä aiheutuvien keskeytyksien vähentämiseen. Perehdyttiin aika- ja pikajälleenkytkentöihin.</p> <p>Keskijänniteverkon maasulkuvirtoja sekä kosketusjännitteitä simuloitiin Trimble NIS-verkkotietojärjestelmällä. Saatuja kosketusjännitteitä verrattiin sähköturvallisuusmääräyksestä sekä standardeista laskettuihin arvoihin. Työssä esiteltiin myös käsite nimeltä varausvirta ja sen vaikutus keskijänniteverkossa.</p> <p>Työssä esiteltiin tapoja mitata kosketusjännitteet muuntopiiristä. Lopputuloksena esiteltiin erilaisia ratkaisuja maasulkuvirran vähentämiseksi. Esiteltiin myös kustannuslaskelma uudelle kaukokäyttöautomaatiota sisältävälle maakaapelilähdölle.</p> <p>Lopuksi esiteltiin ratkaisuja maasulkuvirtojen kompensointiin.</p>	
Avainsanat	maasulkuvirta, kosketusjännite, varausvirta

Author(s) Title	Jari Kekki Earth fault compensation in rural MV networks
Number of Pages Date	39 pages + 1 appendices 26 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electric Power Engineering
Instructors	Sampsa Kupari, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final study was to analyze the earth faults currents in rural 20 kV networks.</p> <p>In this study introduced the network areas of network company Caruna. Explained different kinds fault situations such as: one and two phase earth faults. Also introduced theory of earth faults and calculation methods. Presented in variety ways how to reduce breakage caused by earth faults.</p> <p>Earth fault currents and contact voltage simulated in network information system Trimble NIS. The Results compared to the calculated value of the standard. Also presented phenomenon called charging current and how it effect in 20 kV networks.</p> <p>In this final study also introduce how to measure the touch voltages in low voltage network. Also introduced costs of new 20 kV feeder and different solutions for to reduce the earth fault currents.</p>	
Keywords	earth fault current, touch voltage, charging current

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maasulku	2
3	Maadoitustavat ja maasulkuvirran rajoitus	4
3.1	Maasta erotettu verkko	5
3.2	Sammutettu verkko	5
3.3	Maadoitettu verkko	6
3.4	Kompensointi	7
3.4.1	Keskitetty kompensointi	8
3.4.2	Hajautettu kompensointi	8
3.5	Verkon saneeraus	9
3.6	Johtokatuja raivaus	10
3.7	Suunnattu- ja suuntaamaton maasulkuvirran suojaus	11
3.8	Pika- ja aikajälleenkytkennät	13
3.9	Kompensoinnin kustannukset	14
4	Maasulkuvirtojen laskenta	15
4.1	Likiarvokaavat	17
5	Turvallisuusmääräykset	17
5.1	SFS 6001 Suurjänniteasennukset	18
5.2	StM sähköturvallisuusmääräykset	22
6	Maadoituselektrodin maadoitusresistanssin määrittäminen	24
6.1	Maadoitusresistanssin mittaus	25
6.2	Käännepistemenetelmä	26
6.3	Vollti-ampeerimenetelmä	28
7	Carunan keskijänniteverkko	28

7.1	Kompensointi	30
7.2	Normaalikytkentätilanne	31
7.3	Varasyöttötilanteet	33
7.4	Maadoitusimpedanssit	36
8	Johtopäätökset	38
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Maasulkulaskennan tulokset normaalissa kytkentätilanteessa	

Lyhenteet

GOG *Goefficient Of Grounding*. Maadoituskerroin

kj keskijännite

pj pienjännite

SFS Suomen standardoimisliitto

StM Sähköturvallisuusmääräykset

PAS Päälystetty avojohto

BLL Ks. PAS

1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan maasulkuvirtojen vaikutuksia Carunan Lounais-Suomen verkkoalueen saaristoalueen keskijänniteverkossa. Carunan Sähkön siirrosta Etelä- ja Lounais-Suomessa, Satakunnassa, Pohjanmaalla sekä Koillismaalla vastaa Caruna Oy. Espoossa, Kauniaisissa, Kirkkonummella sekä Joensuussa sähkön siirrosta vastaa Caruna Espoo Oy (kuva 1).



Kuva 1. Carunan verkkoalueet [1.]

Carunalla on n. 640 000 asiakasta sekä sähköverkkoa 79 000 km. Caruna muodostui vuoden 2013 tammikuussa alkaneen selvitystyön tuloksena: Fortum Sähkön siirto Oy:stä ja Fortum Espoo Distribution Oy:stä, koska Fortum oli vuoden 2013 tammikuussa alkaneen selvitystyön tuloksena.

Carunan historia alkaa vuodesta 1912, paikasta Karuna Lounais-Suomesta. Carunan omistaa Suomi Power Networks Oy. Suomi Power Networksin osakkaita ovat suomalaiset eläkevakuutusyhtiön Elo (7,5 %) ja Keva (12,5 %) sekä kansainväliset infrastruktuurisijoittaja First State Investments (40 %) sekä Borealis Infrastructure (40 %).

Carunan Lounais-Suomen saaristoalueen keskijänniteverkko koostuu ilmajohdoista, vesistö- sekä maakaapeleista. Suurin osa ilmajohdoista on avojohtoa, loput päällystettyjä PAS- tai BLL-johtoja. Maakaapeloitua keskijänniteverkkoa on vain keskusta-alueilla.

Insinööri työ on ajankohtainen, koska tarkasteltavan verkkoalueen keskijänniteverkon pituus kasvaa vuosittain 10 - 20 km. Tästä seuraa maasulkuvirtojen kasvu. Keskijänniteverkon pituuden kasvuun vaikuttavat mm. viranomaisten vaatimukset sähkön toimintusvarmuuden nostamisesta.

Työssä kartoitetaan Lounais-Suomen saaristoalueen keskijänniteverkon normaalin- ja korvauskytkentätilanteen maasulkuvirrat kompensoituna ja kompensoimattomana. Lisäksi käydään läpi nykyisen maasulkusuojausten toimintaa ja pohditaan, miten maasulkusuojausta voitaisiin kehittää.

Työssä tutustutaan maasulkuvirtojen laskentaan, standardeihin. Lopuksi esitetään ratkaisuja maasulkuvirtojen kompensointiin.

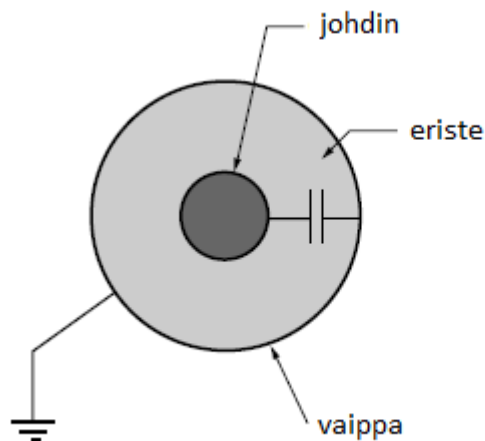
2 Maasulku

Maasulku syntyy, kun jännitteinen johdin koskettaa maapotentiaalia suoraan tai valokaaren kautta. Yleisin valokaaren aiheuttaja on salamanisku johtimeen tai johdinta koskettava puun oksa. Maakaapelissa maasulun voi aiheuttaa kaapelin päässyt kosteus, joka ajan kuluessa heikentää kaapelin eristyksiä. Kosteuden lisäksi kaapelin eristeesseen kohdistunut isku voi myös ajan kuluessa aiheuttaa maasulun. Maasulku on myös keskijänniteverkoissa eniten keskeytyksiä aiheuttava vika.

Taulukko 1. Ilma-, maa ja vesistökaapelien maasulkuvirtoja (A/km) [3; 4.]

poikkipinta mm ²	kaapelityyppi		
	AHXAMK-W AHXAMK-WP AHXAMK-WM AHXAMKPJ-W	AXLJ	PYLKVJ AHPLKPJJ APYAKMM
50	1,8	1,7	2,5
70			2,8
95	2,3	2,3	3,2
150	2,6	2,7	3,7
185			4,0
240	3,2	3,2	4,5

Maasulkuvirta vaihtelee kaapelityypeittäin. Avojohtoilla se on pienempi, koska johdin on kosketuksissa ympäristön kanssa. Eristetyillä johdoilla ja kaapeleilla maasulkuvirta on suurempi, kuten taulukosta 1 voidaan havaita. Tämä johtuu johtimen ympärillä olevasta eristekerroksesta ja sen ominaisuuksista.



Kuva 2. Maakaapeli muodostaa kapasitanssin [5.]

Yksivaiheisen maasulun lisäksi on myös kaksivaiheinen maasulku: Nimensä mukaisesti maasulun aikana kaksi vaihetta on yhteydessä maapotentiaaliin. Kaksivaiheisen maasulun voi aiheuttaa joskus yksivaiheisen maasulun aiheuttamat ylijännitteet. Yksivaiheisen maasulun aikana voi syntyä toinen maasulku muualla verkossa. Tätä maasulkua kutsutaan kaksoisviaksi. Tällöin uusi maasulku syntyy vaiheeseen, joka on ollut ehjänä vian ilmestymiseen saakka. [3; 4; 5; 6; 7.]

3 Maadoitustavat ja maasulkuvirran rajoitus

Suomessa keskijänniteverkot ovat kompensoimattomia tai impedanssin kautta maadoitettuja. Impedanssin kautta maadoitettu ja kompensoimaton verkko kuuluvat ryhmään ei tehollisesti maadoitettu. Lisäksi on maadoitettu verkko, joka kuuluu tehollisesti maadoitettuihin verkkoihin. Tehollisesti maadoitetussa verkossa on vielä kaksi alaryhmää: tehollinen ja erittäin tehollinen.

Ei tehollinen ja tehollisesti maadoitettu verkko määritetään maadoituskertoimella COG (Coefficient Of Grounding). Maadoituskertoimen ollessa alle 80 % verkko on ei-tehollisesti maadoitettu. Jos kerroin on yli 80 %, verkko on tehollisesti maadoitettu. Maadoituskerroin lasketaan yhtälöllä 1

$$COG = \frac{E_{LG}}{E_{LL}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

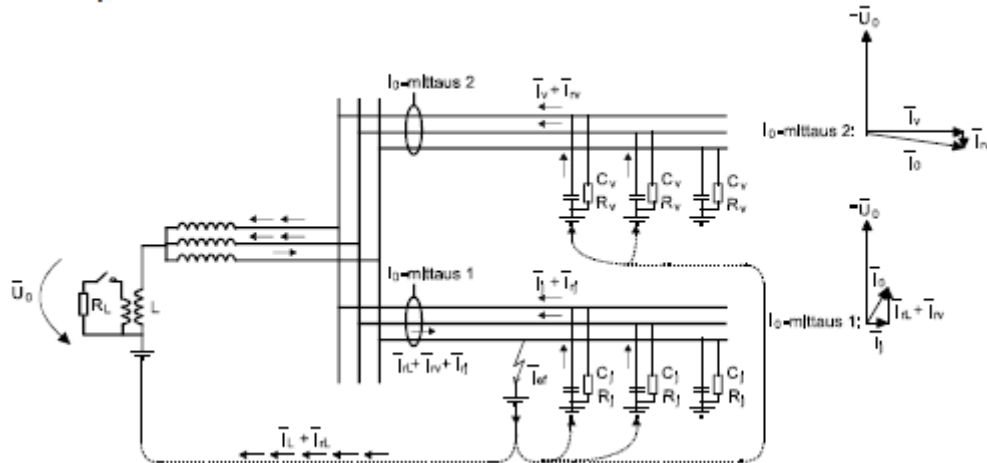
jossa, E_{LG} on kunnossa olevan vaiheen jännitteen suurin tehollisarvo maasulun aikana. E_{LL} on vikapaikan pääjännite ilman vikaa.

Taulukko 2. Maadoitustapojen tunnuslukuja [8.]

Maadoitusluokat ja menetelmät				Vikavirta %	Transienttinen vaihejännite
	X_0/X_1	R_0/X_1	R_0/X_0		
Tehollisesti maadoitettu					
Tehollinen	0-3	0-1		> 60	≤ 2
Erittäin tehollinen	0-1	0-0,1		> 95	< 1,5
Ei-tehollisesti maadoitettu					
1. Induktanssi					
Pieni	3-10	0-1		> 25	< 2,3
Suuri	>10		< 2	< 25	≤ 2,73
2. Resistanssi					
Pieni	0-10		≥ 2	< 25	< 2,5
Suuri		> 100	≤ (-1)	< 1	≤ 2,73
3. Induktanssi ja resistanssi	> 10		> 2	< 10	≤ 2,73
4. Kompensoitu				< 1	≤ 2,73
5. Kompensoimaton					
ryhmä A	-∞ -40			< 8	≤ 3
ryhmä B	-40 - 0			> 8	> 3

Taulukossa 2 on esitetty tunnuslukuja eri maadoitusryhmien välillä. Taulukon avulla täsmentyy tarkka maadoitustapa. Lisäksi nähdään eri maadoitustapojen vaikutuksia

R_f = vikaresistanssi

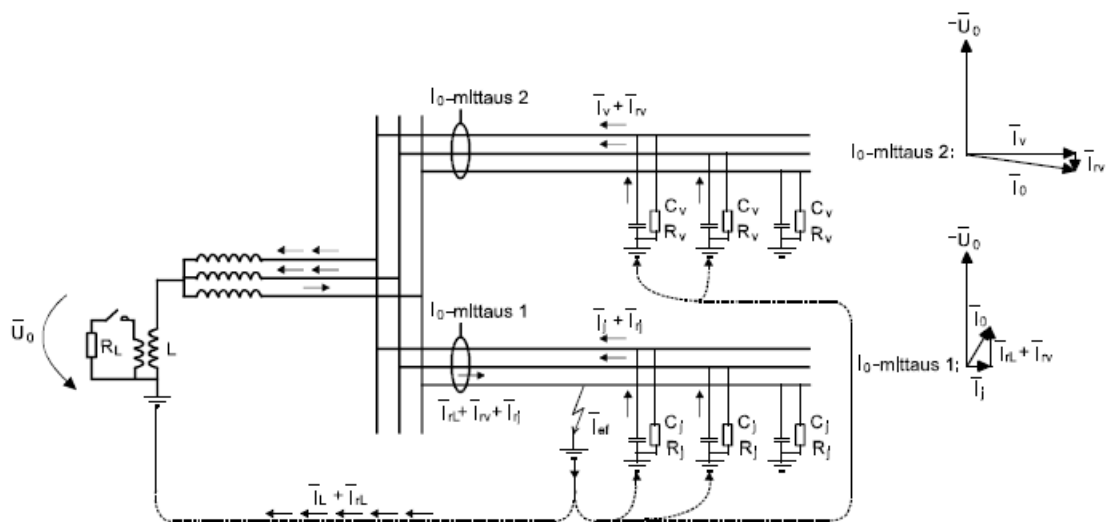


Kuva 4. Sammutettu verkko [4.]

Maasulkuvirtaa ei saada kompensoitua kokonaan, mikä johtuu kuristimen ja keskijänniteverkon tehohäviöistä. Kompensointikuristin on hyvä säätää alikompensoiduksi, koska jos jokin johtolähtö laukeaa, keskijänniteverkko muuttuu lähemmäksi ylikompensoitua [4.]

3.3 Maadoitettu verkko

Maadoitetussa keskijänniteverkossa (kuva 5) tähtipiste maadoitetaan suoraan tai impedanssin kautta. Tähtipisteen maadoittamisella saadaan kasvatettua maasulkuvirran suuruutta.



Kuva 5. Maadoitettu verkko [4.]

Suoraan maadoittamista voidaan ajatella silloin, kun keskijänniteverkko on suppea ja sen maasulkuvirta jää pieneksi.

Maasulkuvirtojen rajoitus tulee ajankohtaiseksi, kun verkkoa laajennetaan tai sitä saaneerataan maakaapeliksi. Kuten taulukosta 1 selviää, maasulkuvirta on yleisimmillä maakaapeleilla 1,8 - 3,2 A/km. Avojohtoilla maasulkuvirta on huomattavasti pienempi, noin 0,045 A/km. Maasulkuvirtojen rajoittamiseen on käytettävissä useita eri tapoja. [4.]

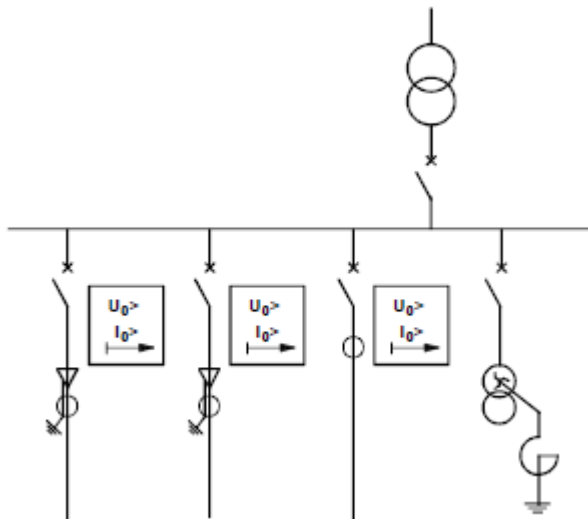
3.4 Kompensointi

Maasulun kompensoinnin tarkoitus on kumota maakapasitanssit yhtä suurella induktanssilla. Kompensoinnin tärkein tehtävä on maasulkuvirran pienentäminen tasolle, joilla saavutetaan standardin SFS 6001 mukaiset kosketusjännitearvot. Kompensointiin käytetään W. Petersenin kompensointikuristinta. Kuristin voidaan asentaa verkkoon keskitetysti sähköasemille sekä hajautetusti eri johtolähdöille. Kompensointi mahdollistaa sen, että maasulussa olevaa verkon käyttöä voidaan jatkaa. Tällöin on kuitenkin huomioitava, että vika on poistettava mahdollisimman nopeasti. [4; 6; 7.]

3.4.1 Keskitetty kompensointi

Keskitetty kompensointi voidaan toteuttaa säätölaitteistolla tai kiinteällä kuristimella. YNyn0 kytkentäryhmän päämuuntajiin kuristimen pystyy kytkemään suoraan. Tällöin on kuitenkin huomioitava tähtipisteen kuormituskyky. Esim. maasulkuvirta voi kuumentaa muuntajan varsin nopeasti.

YNd-kytkentäryhmän päämuuntajille tarvitaan ZN-tyyppinen maadoitusmuuntaja, jotta kuristimelle saadaan tähtipiste. Lisäksi molemmissa ratkaisuissa kompensointikelan ja päämuuntajan väliin on laitettava erotin.

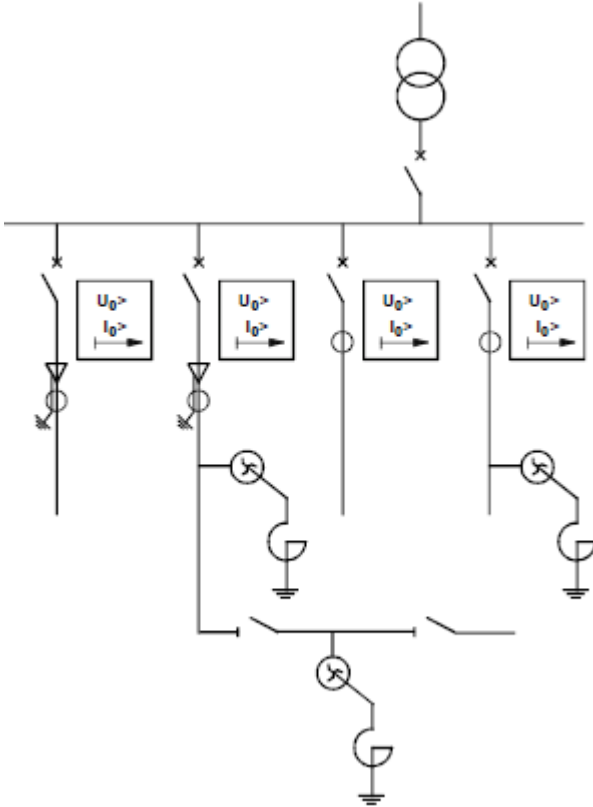


Kuva 6. Keskitetty kompensointi [4.]

Säätölaitteistolla varustetun kuristimen säätöä ei tehdä maasulkutilanteessa vaan verkon ollessa terveessä tilassa. Kuristimessa on säätömoottori, joka muuttaa kuristimen induktanssia. Säätölaitteisto seuraa verkon nollajännitetasoa, joka on suurimmillaan, kun verkon kapasitiivinen maareaktanssi, induktiivinen reaktanssi on samanarvoinen. Tilannetta kutsutaan myös resonanssipisteeksi. Pisteestä muuttuessa suoritetaan uusi säätö muuttuneen nollajännitearvon perusteella. [4; 6; 7.]

3.4.2 Hajautettu kompensointi

Hajautettuja kuristimien käytetään haja-asutusalueilla ja pitkillä lähdoilla kompensoimaan lähdön tuottamaan maasulkuvirtaa.



Kuva 7. Hajautettu kompensointi [4.]

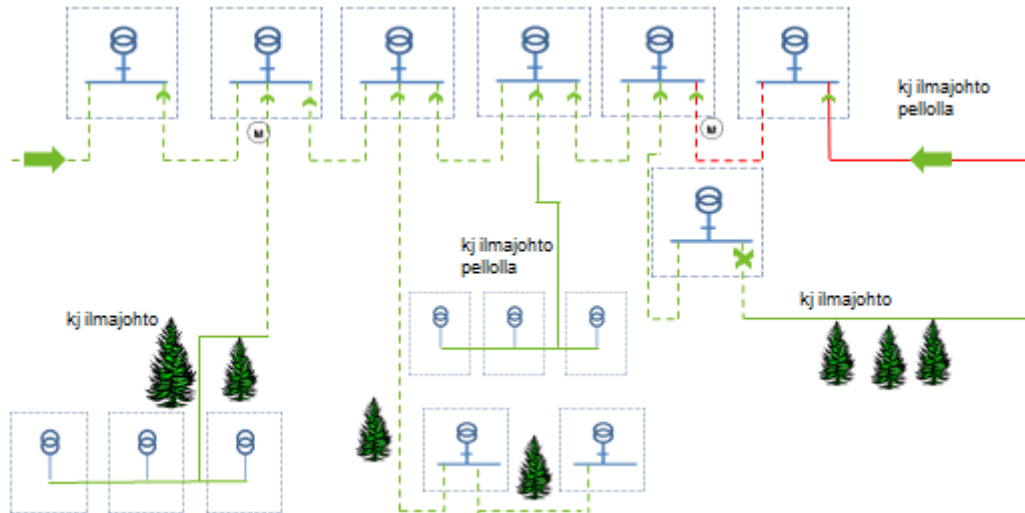
Hajautetun verkon etuna on se, että säädettäviä kuristimia säätölaitteineen ei tarvita. Lähdön kytkeytyessä irti kytkeytyy myös kuristin, joten jäljelle jääneen kytkeytyneen keskijänniteverkon kompensointi säilyy oikeana. Haasteena on taas se että saadaanko maasulun aiheuttama vika poistettua riittävän ajoissa. [4; 6; 7.]

3.5 Verkon saneeraus

Verkkoa voidaan saneerata seuraavilla tavoilla: rakentamalla vanhan verkon tilalle uusi samanlainen tai vaihtamalla avojohto maakaapeliksi. Uuden samanlaisen verkon rakentaminen toteutetaan vaihtamalla avojohtolinjan pylväät, jos linja sijaitsee avomaastossa. Lisäksi avomaastossa sijaitseva linja voidaan myös saneerata maakaapeleilla. Metsässä tai metsän vieressä kulkeva avojohtolinja muutetaan maakaapeliksi.

Sparrow tai sitä pienempien avojohtojen saneerausta tarkastellaan tapauskohtaisesti. Ilmajohdot, jotka kulkevat metsässä tai metsän vieressä varustetaan puistomuuntamoilla kauko-ohjattavin erottimin. Tällöin vikaantunut johto-osuus saadaan ero-

tettua verkosta (kuva 8). Lisäksi kauko-ohjattavia erottimia voidaan lisätä sellaisiin verkon kohtiin, joissa puistomuuntamolla kohtaa kaksi tai useampia saman tai eri sähköasemana lähtöjä.



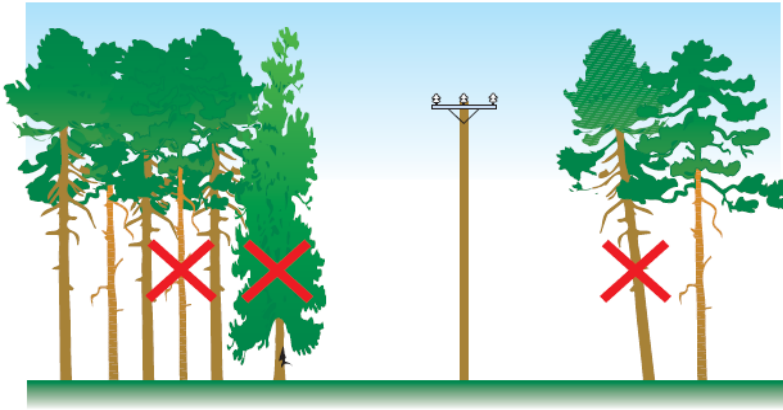
Kuva 8. Verkonrakentaminen ja -saneeraus [14.]

Avojohtoa saneerattaessa kaapeliksi on huomioitava kaapelin tuottama suurempi maasulkuvirta. Saneerattaessa paperi- ja öljyeristeisiä maakaapeleita PEX-eristeisiin kaapeleihin maasulkuvirta putoaa, kuten taulukosta 1 selviää. [14.]

3.6 Johtokatu-ten raivaus

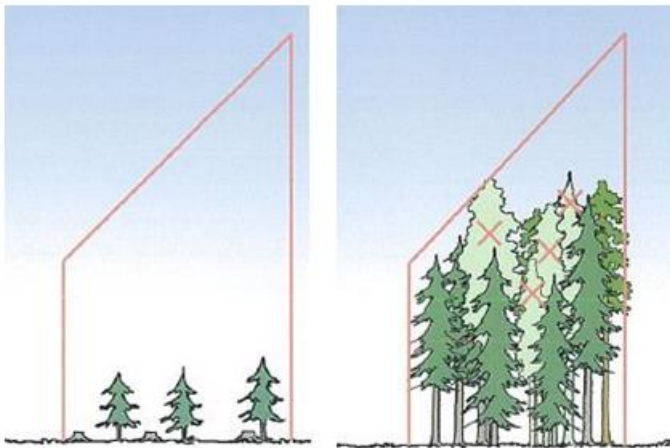
Johtokatu-ten raivaus on hyvä keino estää maasulkutilanteiden syntymistä. Johtokatu-ten raivausta toteutetaan monilla eri tavoilla. Esim. johtokatu-ten sivuraivausta toteutetaan ilmasta käsin helikopteriin kiinnitetyllä raivaussahalla. Maanpinnalta tehtäviä raivaustoimenpiteitä ovat puiden oksien sahaaminen oksasahalla tai johtokadun vieressä kasvavien puiden kaataminen.

Sähkömarkkinalain mukaan jakeluverkonhaltija saa kaataa jakeluverkon läheisyydessä olevia puita poistaakseen vian, joka on aiheuttanut keskeytyksen sähkönjakeluun tai ennaltaehkäisevinä toimenpiteinä. Toimenpiteet on kohdistettava verkon varmuudelle haittaa aiheuttaviin puihin tai kasveihin.



Kuva 9. Johtokatu [14.]

Ennaltaehkäisevissä raivauksissa jakeluverkonhaltijan on annettava tilaisuus kiinteistön tai maa-alueen omistajalle suorittaa toimenpiteet itse. Jakeluverkon haltijan on velvollisuus myös suorittaa korvaus tehdyistä raivauksista maanomistajalle.



Kuva 10. Raivattava alue [14.]

Raivattavat kohteet valitaan kunnossapidon yhteydessä tehtävien verkostotarkastusten, lähtöjen pika- ja aikajälleenkytkentöjen, keskeytyksistä aiheutuvien haittojen eli KAH-tilastojen sekä asiakasvalituksien perusteella. [14.]

3.7 Suunnattu- ja suuntaamaton maasulkuvirran suojaus

Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirran suojaus toteutetaan releiden avulla, jotka jaetaan kahteen ryhmään: suuntaaviksi ja suuntaamattomiksi. Suunnatturele mittaa

nollavirtaa ja nollajännitettä. Suuntaamaton rele mittaa pelkkää nollavirtaa. Kompensoidun verkon suojaamiseen käytetään suuntaavaa suojausta.

Suuntaamattomassa suojauksessa selektiivisyys riippuu kytkentätilanteesta ja vikaresistanssin suuruudesta. Selektiivisyyden kannalta vikojen on oltava pienresistanssisia sekä lähtöjen on oltava mielellään samanpituisia. Suunnatun suojauksen toiminta perustuu loiskomponentin suuruuteen ja suuntaan tai kulmamittauseriaatteeseen. Kulmamittauseriaate toimii silloin, kun nollavirran ja jännitteen asetteluarvot ylittyvät ja nollavirran vaihekulma on nollajännitteeseen nähden asetetulla alueella.

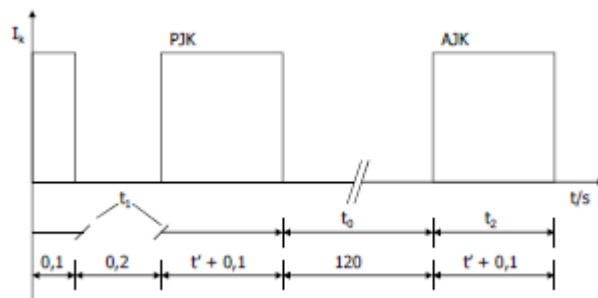
Nollajännite mitataan verkon tähtipisteen ja maan välille kytketyllä yksivaihemuuntajan toisiosista. Toinen tapa nollajännitteen mittaamiseen on vaiheisiin kytkettyjen jännitemuuntajien toisiokäämeistä muodostetusta avokolmiokytkennästä. Lisäksi nollajännitettä voidaan mitata jännitesensorin avulla. Maasulku ilmenee aina nollajännitteestä, joten nollajännitteen mittaamiseen voidaan käyttää ylijänniterelettä.

Nollavirta mitataan summakytkenällä, kaapelivirtamuuntajalla tai virtasensorilla. Summakytkenässä vaiheiden virtamuuntajien toisiot on kytketty rinnan. Summakytkentä soveltuu tapauksiin, joissa maasulkuvirta on suuri. Kaapelivirtamuuntaja käytetään silloin, kun maasulkuvirta on pieni ($< 0,5$ A). Virtasensorin toiminta perustuu Rogoswkin kelaan. Virtasensoria voidaan käyttää ampeereista aina satoihin kiloampeereihin saakka.

Kompensoidussa verkossa asettelukulmaksi voidaan laittaa 0° tai 45° . Käytettäessä asetteluarvoa 0° vian havainnointi perustuu resistiiviseen jännösvirtaan. Asetteluarvolla 45° havainnointi perustuu resistiiviseen sekä kapasitiiviseen virtaan. Maasta erotetulla verkolla asetteluarvona käytetään 90° , jolloin havainnointi perustuu kapasitiiviseen virtaan. Asettelukulman vaihto tehdään käsin tai rele vaihtaa asettelukulman tähtipisteen ja kuristimen välissä olevalta erottimen tilatiedon perusteella. Lisäksi on olemassa laajakulmaisia releitä. Tällöin verkon suojaus toteutuu sammutettuna tai kompensoimatonna. [4; 6; 7.]

3.8 Pika- ja aikajälleenkytkennät

Avojohtoverkoissa maasulun rajoittaminen ja poistaminen hoidetaan pika- ja jälleenkytkennöillä. Avojohtoverkossa maasulku on valokaaren aiheuttama, suurin osa niistä sammuu, kun keskijänniteverkko kytketään hetkeksi jännitteettömäksi. Jännitteettömän ajan on oltava riittävän pitkä, jotta ilmassa oleva valokaarta ylläpitävä ionisaatio ehtii hävitä ja sähkölujuus palautua.



Kuva 11. Pika- ja aikajälleenkytkentä

Avojohtoverkon maasulkusuojauksessa toimii ensin PJK eli pikajälleenkytkentä. Suojareleiden havaitessa vian lähdön katkaisija ohjataan auki määritellyksi ajaksi yleensä n. 0,4 sekunniksi. Katkaisija jää kiinni, jos vika on hävinnyt. Vian jatkuessa katkaisija ohjataan uudelleen auki.

Pikajälleenkytkentää käytetään vain muutamia kertoja. Tämän jälkeen katkaisija jää auki pidemmäksi aikaa, yleensä 60 sekunniksi. Tätä suojaustapaa kutsutaan AJK:ksi eli aikajälleenkytkennäksi. Jos vika on hävinnyt, katkaisija jää kiinni. Vian jatkuessa katkaisija jää pysyvästi auki, jolloin viasta lähtee ilmoitus sähköyhtiön valvomoon. Asiakkaalla PJK:n toiminta näkyy valojen välkkymisenä tai pahimmassa tapauksessa rikkoa asiakkaan elektronisia laitteita.

Puhtailla maakaapelilähdöillä ei PJK- ja AJK:ta käytetä, koska maakaapeliin kohdistuva vika ei pystytä korjaamaan pelkällä PJK:lla korjaamaan. Lisäksi AJK:n jälkeen lähtö jäisi jännitteettömäksi, joka aiheuttaa haittaa asiakkaille. Tällaisilla lähdöillä ainoa toimiva maasulkuvirran rajoitustapa on kompensointi. [4; 6; 7.]

3.9 Kompensoinnin kustannukset

Suomessa sähköverkkoverkkoluvat myöntää energiavirasto. Virasto valvoo sähkön siirron kohtuullisuutta. Energiavirasto asettaa valvontaparametrit ja päivittää niitä vuosittain. Yksi valvontaparametreista on sähkönjakeluverkon yksikköhinnat, joista selviää jokaisen verkkokomponentin esim. maakaapeli, ilmajohto, jakokaappi, muuntaja ym. hinta sekä pitoaika. Tässä insinööriyössä yksikköhintoja käytetään verkonrakennusinvestointien vertailuun. Sähköverkkoyhtiöt käyttävät hinnastoa asiakaslähtöisten verkostotöiden hinnoittelussa esim. linjansiirrot ja vertaillaan omien investointiensä taloudellisia tunnuslukuja.

Taulukko 3. Verkonrakennuskomponentit [13.]

Kaapeli	hinta € kpl tai 500 m
Maakaapeli 70 mm ² tai alle	12 150
Maakaapeli 95 mm ²	14 150
Maakaapeli 150 mm ²	15 500
Maakaapeli 240 mm ²	19 500
Puistomuuntamo: ulkoa hoidettava (630 A)	22 900
Katkaisija: muuntamolla tai erotinasemalla	12 600
Kauko-ohjauslaitteisto: muuntamolla tai erotinasemalla	3 100
Erotinasema: puistomuuntamotyyppinen rakenne	21 400
Muuntaja 50 kVA	3 700
Muuntaja 100 kVA	4 500
Muuntaja 200 kVA	6 100
Muuntaja 315 kVA	7 800
Muuntaja 500 kVA	9 600

Taulukossa 3 on esitetty keskijänniteverkon saneerauksessa tarvittavia komponentteja hintoineen. Komponenttien pitoajat vaihtelevat noin 30 vuodesta 50 vuoteen. Energiaviraston taulukossa keskijännitekaapeleiden yksikkönä oli käytetty kilometriä. Koska kaapeli toimitetaan 500 m:n keloissa taulukossa 3 oleva hinta on muutettu vastaamaan 500 m:n määrän hintaa.

Riippuen alueesta saneeratusta lähdössä voi olla 10 - 19 km maakaapelia, 9 - 20 kpl uusia puistomuuntamoita kaukokäytöllä tai ilman. Lisäksi uuteen verkkoon voi tulla hajautettuja kompensointikuristimia. Kompensointikuristimien määrä riippuu siitä, kuinka korkeaksi maasulkuvirta kasvaa sähköasemalle ja toteutuuko standardin mukaiset kosketusjännitteet.

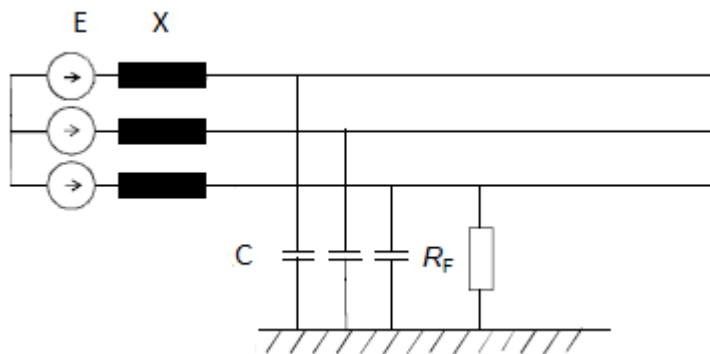
Kompensointikuristimia on kahdenlaisia: erillinen kuristin ja jakelumuuntajan kanssa samoihin kuoriin rakennettu kursitin ns. muuntajakuristin. Muuntajakuristin ratkaisussa kuristin voidaan ottaa käyttöön tarvittaessa. Esimerkiksi Carunan verkoissa käytetään erillisiä omaan rakennukseen sijoitettavia kompensointikuristimia. Elenia käyttää taas ns. muuntajakuristimia.

Taulukon 3 avulla voidaan päätellä, että noin 10 km maakaapelia 150 mm²:n poikkipinnalla ja 8 puistomuuntamoaa ja 100 kVA muuntajaa sisältävä lähtö tulee maksamaan noin 529 200 €. Kevyempi ratkaisu esim. 3 erotinasemaa kauko-ohjauksella maksaa noin 73 500 €. [13.]

4 Maasulkuvirtojen laskenta

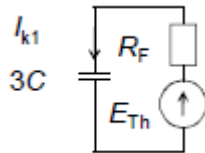
Maasulkuvirtojen laskemiseksi on selvitettävä laskentaan vaikuttavat muuttujat kuten vaihejännite, kulmataajuus, verkon tuottama maasulkuvirta sekä mahdollinen vikaresistanssi. Impedanssin kautta maadoitetussa verkossa täytyy selvittää maadoitusimpedanssin suuruus.

Kuva 12 esittää maasta erotettua verkkoa.



Kuva 12. Maasta erottu verkko [4.]

Kuvasta 12 saadaan muodostettua kuvan 13 mukainen piiri, jossa E on jännitelähde, vikaresistanssi R_f ja maakapasitanssi C .



Kuva 13. Maasta erotetun verkon virtapiiri [4.]

Maakapasitanssiin C_e vaikuttaa johtimen pituus l sekä kapasitanssi c_o . Maakapasitanssi lasketaan yhtälöllä 2

$$C_e = lc_o \quad (2)$$

Ennen maasulkuvirran laskemista täytyy selvittää lähdön kapasitiivinen reaktanssi X_c yhtälöllä 3

$$X_c = \frac{1}{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 3 \cdot C} \quad (3)$$

Maasulkuvirta I_{ef} lasketaan yhtälöllä 4

$$I_{ef} = \frac{E}{\sqrt{R_f^2 + X_c^2}}, \quad (4)$$

jossa E on jännite, R_f on vikaresistanssin suuruus.

Nollajännite U_o lasketaan yhtälöllä 5

$$U_o = X_c \cdot I_{ef}, \quad (5)$$

jossa X_c on kaapelin tai johdon kapasitiivinen reaktanssi. I_e on johto- tai kaapelilähdöllä vaikuttava maasulkuvirta. Kun tiedetään nollajännite ja vaihejännite maasulkuprosentti p lasketaan yhtälöllä 6

$$p = \frac{U_o}{U_v} \cdot 100\%, \quad (6)$$

jossa u_o on nollajännite ja u_v vaihejännite. [4.]

4.1 Likiarvokaavat

Kaapeli- ja avojohtolähtöjen maasulkuvirtojen laskemiseen voidaan myös käyttää yhtälöitä 7 ja 8

$$I_{ef} = \frac{U+25 \cdot l}{300} \quad (7)$$

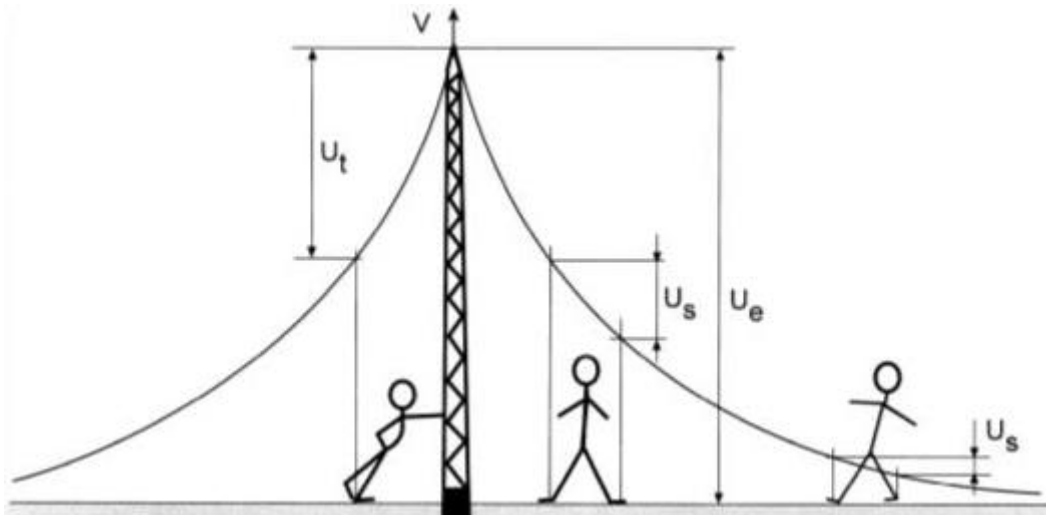
$$I_{ef} = \frac{U \cdot l}{300}, \quad (8)$$

jossa U on pääjännite. l avojohto- tai kaapeliverkon pituus km:nä. [4.]

5 Turvallisuusmääräykset

Ihmisen saama sähköisku ja sähköiskun aikana kehon läpi kulkeva virta riippuu virran suuruudesta ja kestoajasta. Asia huomioidaan suunnittelussa kosketusjännitearvoina. Suurimmat ja sallitut kosketusjännitearvot on määritetty standardissa SFS 6001 sekä sähköturvallisuusmääräyksissä. Standardi SFS 6001 on näistä uusin ja sitä käytetään uusissa asennuksissa ja vanhojen asennuksien korjaus-, laajennus sekä muutostöissä. Asennukset, joihin laajennus tai muutostyö ei kohdistu, voidaan jättää aikaisempien vaatimuksien mukaiseksi, jos siitä ei aiheudu välitöntä vaaraa.

Maasulussa syntyy aina askel- ja kosketusjännitteitä. Tämä johtuu maaperän resistiivisyydestä. Siirryttäessä kauemmaksi vikakohdasta askelten välillä oleva potentiaali pienenee.



Kuva 14. Askel- ja kosketusjännite [9.]

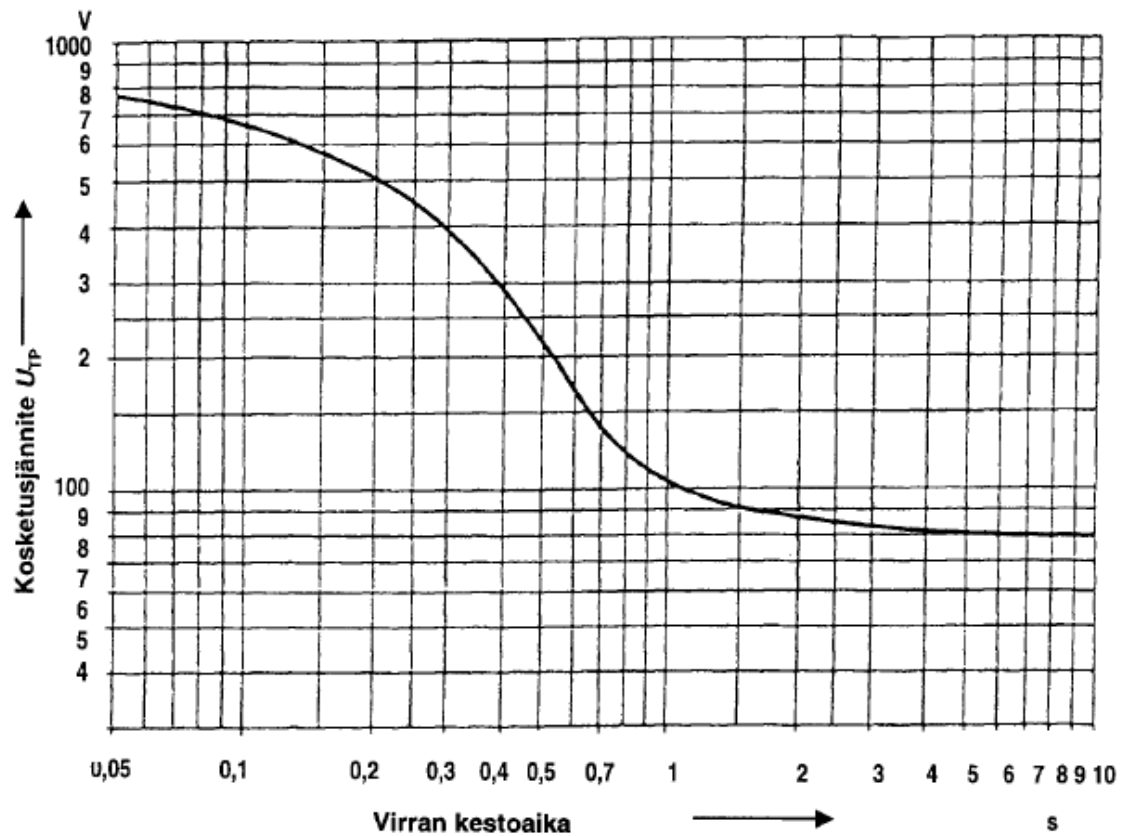
Kuva 14 havainnollistaa askel- U_s ja kosketusjännitteitä U_t . Kosketusjännite muodostuu henkilön jalkojen sekä pylvään välille. Askeljännite muodostuu henkilön jalkojen välille. Tämän vuoksi on tärkeää, että vikapaikalta esimerkiksi maahan pudonneen johtimen läheisyydestä poistutaan lyhyin askelin. Maadoitusjännite U_e muodostuu, kun vikavirta I_e kulkee maadoitusvastuksen R_e kautta.

5.1 SFS 6001 Suurjänniteasennukset

Maasulku tulee kytkeä pois joko käsin tai automaattisesti, jolloin pitkäaikaista ja jatkuvaa kosketusjännitettä ei esiinny maasulun seurauksena. Yleisin tapa on käyttää maasulun automaattista poiskytkentää. Poiskytkentää voidaan lykätä sopivampaan ajankohtaan. Tällöin siitä on tultava hälytys. Lisäksi seuraavien ehtojen on toteuduttava: Verkon on oltava maakaapeloitu tai ilmajohtoverkossa maasulun aiheuttavan maasulun on sammuttava itsestään, eli keskijänniteverkossa on oltava sammutuskuristin.

Maasulun hälytyksen on tultava käyttöä valvovan henkilön tietoon, jonka jälkeen vian selvittämiseen on ryhdyttävä välittömästi. Käyttöä voidaan jatkaa enintään kahden tunnin ajan. Jos on vaarana, että maasulusta aiheutuu välitöntä vaaraa ihmisille, omaisuudelle tai kohtuutonta häiriötä toiselle laitteistolle. Jos maasulun sijaintikohta on paikallistettu ja varmistettu, ettei siitä aiheudu vaaraa käyttöä voidaan jatkaa pidempään. Lisäksi käyttöä ei saa jatkaa, jos maasulku sijaitsee jakelumuuntajalle, jota ei ole kyt-

ketty laajaan maadoitusjärjestelmään. Maasulun poiskytkennän ja muiden ehtojen lisäksi SFS 6001 määrittää sallitun kosketusjännitetason (kuva 15).



Kuva 15. Kosketusjännitteet [9.]

Kuvan 15 avulla saadaan kosketusjännite eri laukaisuajoilla (taulukko 4).

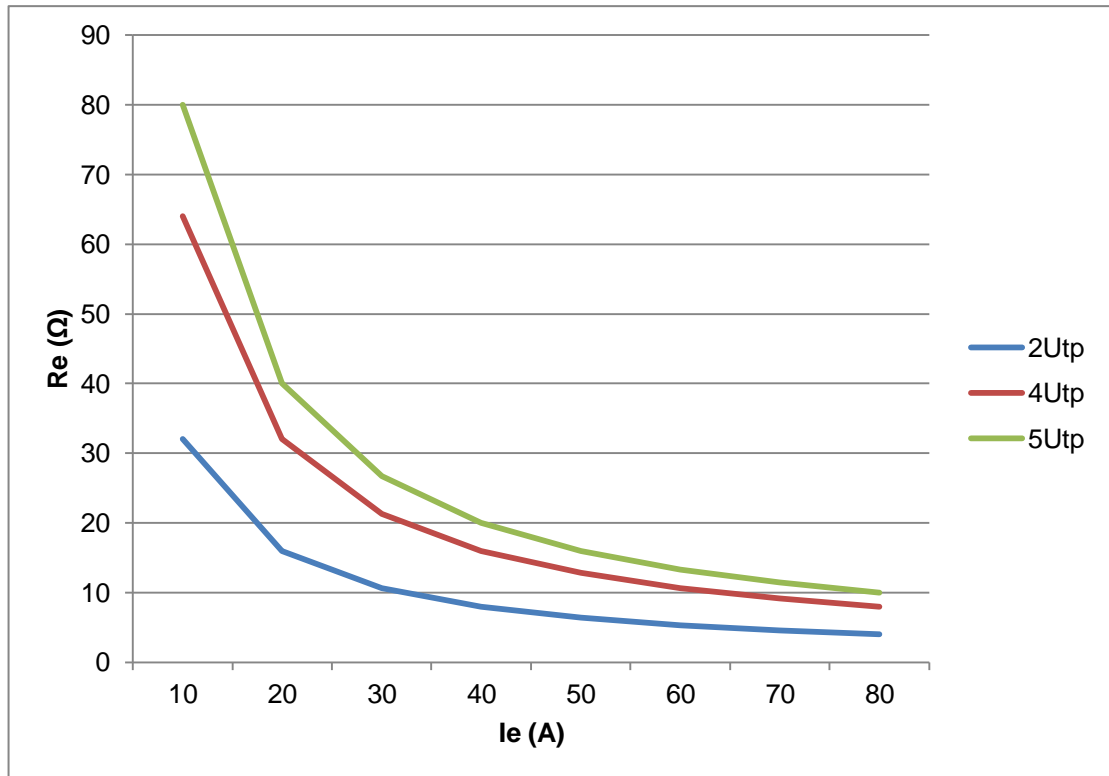
Taulukko 4. Kosketusjännite ja laukaisu-aika [9.]

t (s)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
U_{tp} (V)	500	390	280	170	160	140	120	110

Kosketusjännitteen U_{TP} sekä maasulkuvirran I_{ef} avulla saadaan laskettua SFS 6001 sallima maadoitusresistanssin R_e arvo yhtälöllä 9.

$$R_e = \frac{U_{TP}}{I_{ef}} \quad (9)$$

Taulukon 4 sekä yhtälön 9 avulla muodostettiin (kuva 16 ks. seur. s), josta selviää sallittu maadoitusresistanssi maadoitusryhmillä 2-, 4- ja 5 U_{tp} laukaisuajalla 0,6 s.



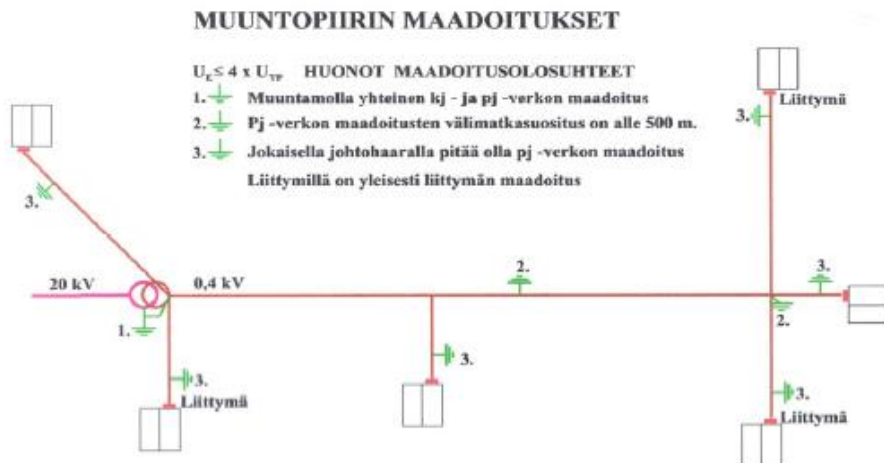
Kuva 16. Maadoitusresistanssi maasulkuvirran funktiona maadoitusryhmittäin.

Maadoitusryhmässä $2U_{tp}$ kj- sekä pj-puolella on yhteinen maadoitus (kuva 17 ks. seur. s), joka on muuntamolla. Pj-verkossa maadoitus oltava jokaisella johtohaaralla 200 m:n välein. Liittymällä on maadoitettava. AMKA-verkossa PEN-johdin on maadoitettava 500 m:n välein. AMKA-verkon ollessa ukkosherkillä alueilla maadoituksia on rakennettava tiheämmin.



Kuva 17. Maadoitusryhmä $2U_{tp}$ [10.]

Maadoitusryhmää $4U_{tp}$ saa käyttää muuntopiireillä kuva 18, joilla on huonot maadoitusolosuhteet. Kuten maadoitusryhmässä $2U_{tp}$ muuntamolla tulee olla yhteinen kj- ja pj-puolen maadoitus kuva 18. Pienjännite-verko:n maadoitusten välimatkasuositus on alle 500 m.



Kuva 18. Maadoitusryhmä $4U_{tp}$ [10.]

Maadoitusryhmää $5U_{tp}$ (kuva 19 ks. seur. s) käytetään erittäin huonoissa maadoitusolosuhteissa. Huonoissa maadoitusolosuhteissa maaperä muodostuu kallioperästä, sorasta tai kivistä.

MUUNTOPIIRIN MAADOITUKSET

$$U_k \leq 5 \times U_{TP}$$

**KOKO MUUNTOPIIRIN ALUEELLA
HUONOSTI JOHTAVA MAAPERÄ**

Usein yksi tai vain muutama liittymä

- Liittymällä on maadoitus joka on liitetty

pääpotentiaalintasauskiskoon tai

- liittymälle on rakennettu potentiaalinoitus



1. Muuntamolla yhteinen kj - ja pj -verkon maadoitus

2. Pj -verkon maadoitus. Tarvitaan vähintään yksi

Kuva 19. Maadoitusryhmä $5U_{TP}$ [10.]

Liittymien maadoitus suositetaan liitettäväksi liittymän pääpotentiaalintasaukseen tai rakentamalla potentiaalinoitus liittymän rakennuksen ympärille. Lisäksi muuntamolle rakennettava potentiaalinoitusjärjestelmä. [9; 10.]

5.2 StM sähköturvallisuusmääräykset

Aikaisemmin ennen standardia SFS 6001 maasulkusuojaukseen otettiin kantaa sähköturvallisuusmääräyksissä (StM).

Kuten standardissa SFS 6001 sähköturvallisuusmääräyksissä todetaan maasulku kytetään pois automaattisesti ja nopeasti. Lisäksi maasulku voidaan kytkeä pois manuaalisesti, jos verkko on maadoitettu tai sammutettu, maadoitus ja kosketusjännitteet täytyvät: käyttöä valvova henkilö saa tiedon hälytyksen syntyneestä maasulusta tai yli 1000 V:n järjestelmissä maasulun valokaaren on sammuttava, tai maasulku tapahtuu suojavaadoitetussa kohteessa. Valokaarimaasulku on itsestään sammuva, jos vähintään yksi seuraavista määritelmistä toteutuu:

- Maasulkuvirta 0Ω :n vikaresistanssilla on 5 - 20 A verkossa jossa ylijännitesuojauksessa käytetään suojakipinävälejä. Muissa tapauksissa maasulkuvirta oltava 25 - 50 A.

- Maasulkupaikka kytketään itsetoimivasta jännitteettömäksi lyhyeksi ajaksi.

StM jakaa kosketusjännitteet ryhmiin A-E, joista ryhmä E jakautuu kahteen alaryhmään. Kosketusjännitteiden arvot ovat esitetty ryhmittäin taulukossa 5. Sallittu maadoitusresistanssin arvo lasketaan yhtälöllä 10

$$R_e = \frac{U_{TP}}{\sqrt{t} \cdot I_e}, \quad (10)$$

jossa t on aika jonka kuluessa maasulku kytkeytyy itsetoimivasti pois, I_e maasulkuvirta ja U_{tp} maadoitusjännite.

Taulukko 5. Maadoitusjännitteen enimmäisarvo StM mukaan [11.]

	Maadoitusjännite [V.]	
ryhmä	maasulku kytketään itsetoimivasti pois ajassa t	maasulkua ei kytketä itsetoimivasti pois
a	$750 / \sqrt{t}$	125
b	$2\,000 / \sqrt{t}$	250
c	$3\,000 / \sqrt{t}$	400
d	$500 / \sqrt{t}$	100
e ₁	$750 / \sqrt{t}$	125
e ₂	$1\,000 / \sqrt{t}$	150

Ryhmään a kuuluu laitteisto, jonka suojamaadoitettu osa tai maadoitukseen johtavassa yhteydessä oleva metalliosa, joka on kosketusetäisyyden päästä kosketeltavissa maasta, johtavalta lattialta tai vastaavalta alustalta. Laitteiston suojamaadoitettu osa tai sen maadoitukseen yhteydessä oleva metalliosa on sijoitettu siten, että sitä ja erilliseen maadoituselektrodiin maadoitettua tai maahan yhteydessä olevaa metalliosaa, on kosketeltavissa maasta, lattialta tai vastaavalta alustalta. Lattia tai muu alusta voi olla eristävä tai johtava.

Ryhmään b kuuluu laitteisto, jonka osa on suojamaadoitettu tai maadoitukseen johtavassa yhteydessä oleva metalliosa on kosketeltavissa muualta kuin maasta, johtavalta lattialta tai vastaavalta alustalta. Laitteisto jonka suojamaadoitettu osa tai laitteen maadoitukseen muuten yhdistetty metalliosa, joka sijaitsee siten, että laitetta ja erilliseen maadoituselektrodiin tai maahan yhteydessä olevaa erillistä metalliosaa voi koskettaa samanaikaisesti vain nousten esim. pylvääseen, mutta ei maasta, lattialta tai siihen

rinnastettavalta alustalta. Rakenteiden on oltava sellaisia, että samanaikainen kosketamisen mahdollisuus on vähäinen.

Ryhmään c kuuluvat laitteistot, joilla on maanpinnan alapuolella oleva maadoituselektrodi.

Ryhmään d kuuluvat laitteet, joista ensimmäisen suojamaadoitettu osa ja toisella oltava enintään 1 000 V:n käyttömaadoitus, jotka on yhdistetty yhteiseen maadoituselektrodiin tai elektrodien yhdistelmään. Lisäksi enintään 1 000 V:n laite on oltava ensimmäisen laitteen alueen ulkopuolella tai sen maadoituksen käsittämän alueen ulkopuolella.

Ryhmään e₁ kuuluu enintään 1000 V:n järjestelmä, jonka nollattu tai muuten suojamaadoitettu osa on alltiina toiselle järjestelmälle, jonka jännite on yli 1000 V. Järjestelmä, jonka jännite on 1000 V, voi altistua yli 1000 V:n järjestelmälle, jos käytetään yhteisiä pylviä, kannatusköyttä, johdinta tai metallivaippaa. Ryhmässä e₂ on muuntaja, jossa käämit yhdistyvät eristysvian tapahtuessa. [11.]

6 Maadoituselektrodin maadoitusresistanssin määrittäminen

Maadoitusresistanssiin vaikuttaa maaperään resistiivisyys ρ_e (Ωm), maadoituselektrodin pituus, sijoittaminen ja tyyppi. Maaperän resistiivisyys vaihtelee maaperän tyyppin mukaan (taulukko 6 ks. seur. s). Maadoitusta suunniteltaessa täytyy huomioida, että kosteuden vaihtelut voivat aiheuttaa muutoksia maaperän resistiivisyyteen aina muutamassa metriin saakka. Lisäksi maaperän resistiivisyys voi vaihdella syvyyden mukaan, koska maaperässä on useasti monia eri kerroksia.

Taulukko 6. Maaperän, betonin ja veden resistiivisyydet [9.]

Aine	Resistiivisyys Ωm	Resistiivisyys keskimäärin Ωm
Savi	40	25 – 70
Saven sekainen hiekka	100	40 – 300
Lieju, turve, multa	150	50 – 250
Hiekka, hieta	2000	1000 – 3000
Moreenisora	3000	1000 – 10000
Harjusora	15000	3000 – 30000
Graniittikallio	20000	10000 – 50000
Betoni tuoreena tai maassa	100	50 – 500
Betoni kuivana	10000	2000 – 100000
Järvi- ja jokivesi	250	100 – 400
Pohja- kaivo- ja lähdevesi	50	10 – 150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1 – 5

Sähkönjakeluverkoissa maadoituselektrodina toimii kupariköysi, joka yleisesti asennetaan samaan kaivantoon kj- tai pj-kaapelin kanssa. Tällaisessa tapauksessa maadoitusresistanssi lasketaan yhtälöllä 11

$$R_e = \frac{\rho_e}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85 \cdot h \cdot d} \quad (11)$$

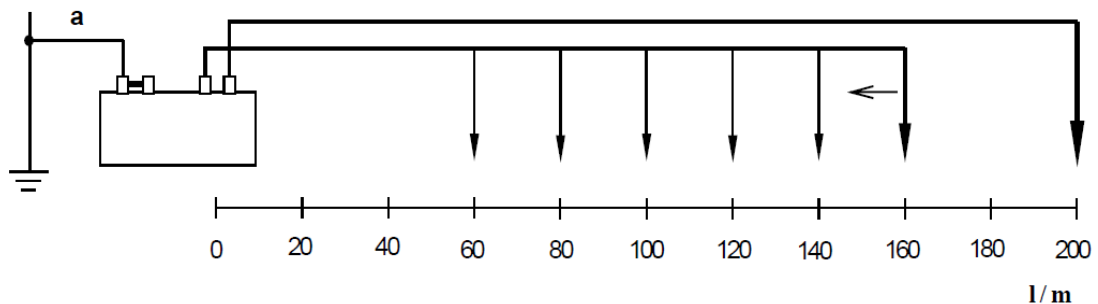
ρ_e on maaperän resistiivisyys, L on maadoituselektrodin pituus, h upotussyvyys, d halkaisija (m). Kuten yhtälöstä 11 voi huomata, maadoituselektrodin halkaisijalla ei ole suurta merkitystä. Maadoitusresistanssiin vaikuttaa vain kaapelin pituus. [9.]

6.1 Maadoitusresistanssin mittaus

Maadoitusresistanssin mittaus suoritetaan maadoituksissa ja maadoitusjärjestelmissä ennen sähköverkon käyttöönottoa. Jos mittauksista ei ole mahdollista suorittaa ennen sähköverkon käyttöönottoa esimerkiksi roudan vuoksi, maadoitusresistanssin mittaus on suoritettava yhden vuoden kuluessa sähköverkon käyttöönotosta. Rakennetun sähköverkon maadoituksille ja maadoitusjärjestelmille tulee suorittaa määrävälein kunto- ja mittaustarkastuksia. Maadoituksen ollessa yhden maadoitusjohtimen varassa tarkastus- ja mittausväli on 6 vuotta. Maadoituksen ollessa useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa, tarkastus- ja mittausväli on 12 vuotta. [12.]

6.2 Käänne pistemenetelmä

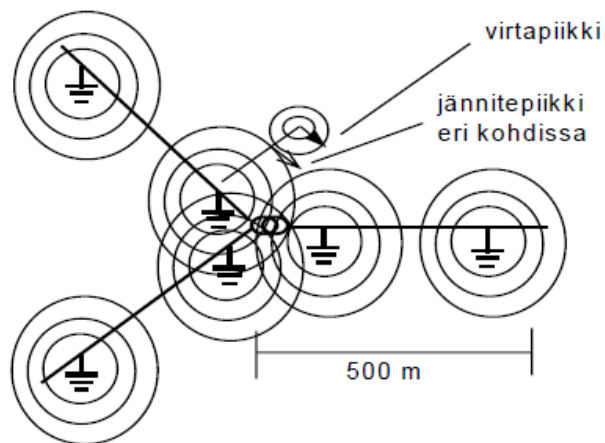
Maadoitusresistanssi mitataan käänne pistemenetelmällä, jossa mitattava maadoituselektrodi kytketään maadoitusvastusmittariin. Lisäksi maadoitusvastusmittariin kytketään virtaelektrodi. Maadoitus- ja virtaelektrodit muodostavat mittasuoran. Mittasuoran pituus riippuu maaperästä ja maadoituselektrodista.



Kuva 20. Elektrodi en kytkentä maadoitusresistanssimittariin [12.]

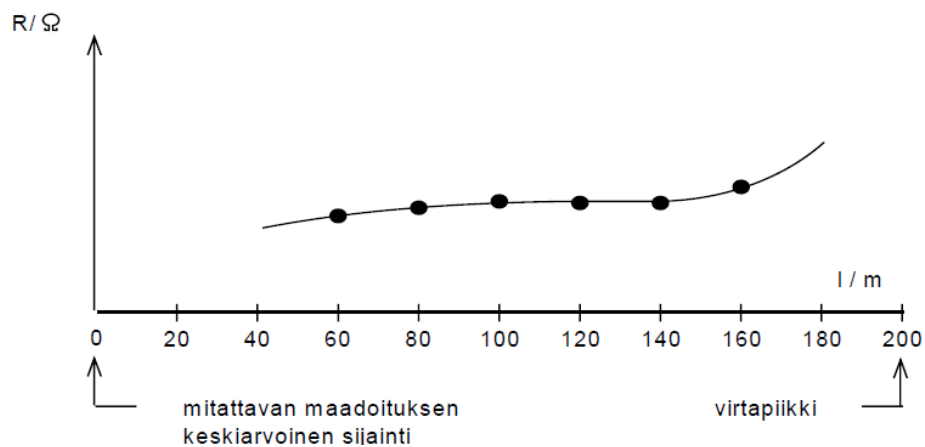
Maadoituksen koostuessa pysty maadoituselektrodeista ja maaperän ollessa hyvin johdava mittasuoran pituus on 40 metriä. Mittasuoran pituus on 200 metriä, jos maaperä on huonosti johdavaa ja maadoitus on toteutettu vaakamaadoituselektrodeilla. Maadoitus- ja virtaelektrodin kytkemisen lisäksi maadoitusvastusmittariin kytketään jänniteelektrodi, jota liikutellaan mittasuoralla. Jänniteelektrodin mittauspisteet riippuvat mittasuoran pituudesta. Mittauspisteiden jakoväli on 4 tai 20 metriä.

Mittausta suorittaessa on muistettava, että läheltä maadoituselektrodia saadaan todellista pienempi mittaussarvo. Jos mittaus suoritetaan läheltä virtaelektrodia, mittaussarvo on todellista suurempi. Tämä johtuu maadoitus- ja virtaelektrodin lähelle muodostuvista vastakkaismerkkisistä potentiaalirenkaista (kuva 21 ks. seur. s).



Kuva 21. Maadoitus- ja virtaelektrodien muodostamat potentiaalirenkaat [12.]

Todellinen mittaustulos saadaan kohdasta, jossa siirrytään maadoituselektrodin potentiaalista virtaelektrodin potentiaaliin tai neutraalimaasta, jossa ei ole maadoitus- sekä virtaelektrodin ja muiden saman sähköverkon maadoitusten potentiaaleja.

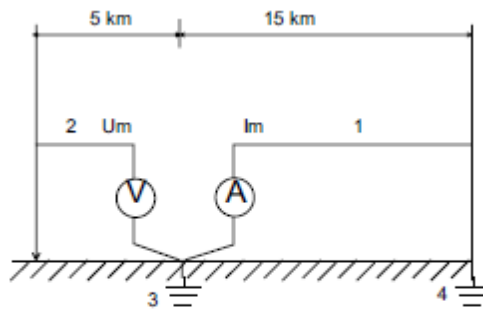


Kuva 22. Maadoitusresistanssin jakautuminen maaperässä [12.]

Neutraalimaa tai maadoituselektrodin potentiaalista virtaelektrodin potentiaali löytyy yleensä 60 %:n etäisyydeltä maadoituselektrodista. [12.]

6.3 Voltti-ampeerimenetelmä

Voltti-ampeerimenetelmässä jännite mitataan maadoituksen ja apuelektrodin väliltä. Apuelektrodin kautta ei syötetä virtaa ja se on maadoituselektrodien kenttien ulkopuolella. Mitattu jännite on suoraan maadoitusjännite.



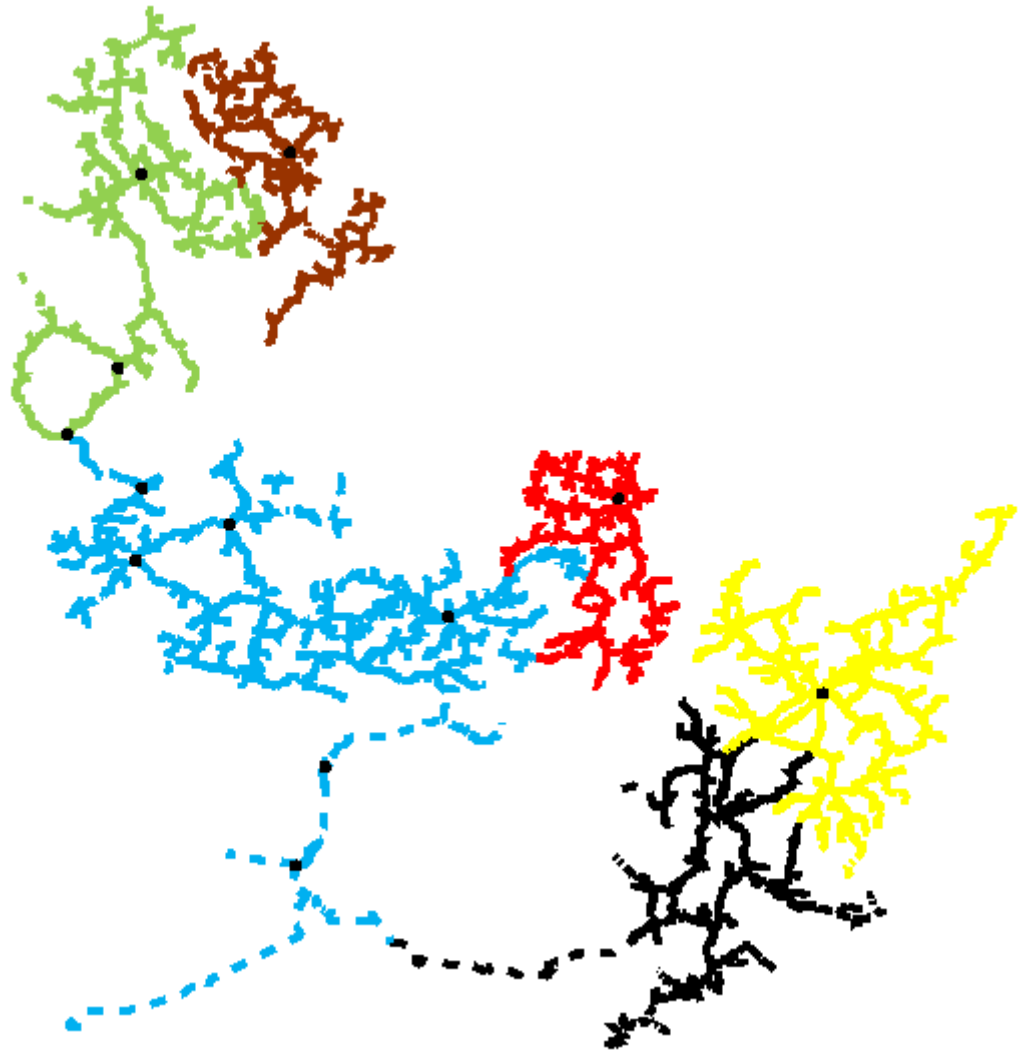
- 1 virransyöttöjohto
- 2 jännitteen mittausjohdin
- 3 käyttömaadoituselektrodi
- 4 vastamaadoituksen elektrodi

Kuva 23. Voltti-ampeermittausmenetelmä [12.]

Voltti-ampeerimenetelmässä jäljitellään todellista maasulkutilannetta johtamalla virransyöttömuuntajan virta maadoitukseen pidemmän välimatkan päästä. Virta kulkee vastamaadoituselektrodin ja maadoituselektrodin kautta mittarille. Maadoitusimpedanssi on mitatun maadoitusjännitteen ja syötetyn virran osamäärä. [9.]

7 Carunan keskijänniteverkko

Carunan Lounais-Suomen saaristoalueen keskijänniteverkko jakautuu etelään ja pohjoiseen. Pohjoisessa sijaitsevat Taivassalon ja Kustavin sähköasemat. Etelässä on Pāvalsbyn, Taalintehtaan, Vikomin ja Syslaxin sähköasemat (kuva 24 ks. seur. s).



Kuva 24. Carunan Lounais-Suomen saaristoalueen sähköasemat ja hajautettu kompensointi

Saaristoalueen keskijänniteverkko on säteittäistä. Osa lähdoistä muodostaa renkaan, mutta niitä käytetään säteittäisesti. Pääjännite on 20,5 kV. Lisäksi käytössä on 10 kV:n verkkoa. Sähköasemien päämuuntajien koot, kytkentäryhmät sekä lähtöjen lukumäärät ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. Sähköasemien tiedot

Sähköasema	Päämuuntaja	Kytkentäryhmä	Lähtöjen lkm	Maadoitustapa
Kustavi	16 MVA	YNyn0	5	sammutettu
Taivassalo	16 MVA	YNyn0	5	sammutettu
Vikom	16 MVA	YNyn0	6	sammutettu
Syslax	20 MVA	YNyn0	5	sammutettu
Påvalsby	16 MVA	YNyn0	9	kompensoimaton
Taalintehdas	16 MVA	YNyn0	5	sammutettu

Verkko on suojattu suunnatuilla maasulkureleillä. Lisäksi releissä käytetään laajakulmaista 0° - 270° asettelua. Laukaisuaika on 0,8 sekuntia. Puhtaissa maakaapelilähdöissä ei PJK:ta ja AJK:ta käytetä. Lisäksi verkko on jätetty alikompensoiduksi, kompensoimisaste on 0,90. Maasuluissa esiintyvän nollavirran mittaamiseen käytetään summavirtakytkentää. Nollajännitteen mittaamiseen käytetään vaiheiden välissä olevia jännitemuuntajia.

Varasyöttötilanteissa korvattavan aseman maasulkuvirran kompensointi jätetään päälle. Lisäksi korvattavan aseman kela jätetään alikompensoiduksi. PJK:n jännitteellinen ja jännitteetön väliaika on 0,4 sekuntia. AJK:n jännitteellinen väliaika on sama kuin PJK:lla, mutta jännitteetön väliaika on 60 sekuntia.

7.1 Kompensointi

Taalintehtaan, Syslaxin, Vikomin ja Kustavin sähköasemilla on keskitetty säätölaitteistolla varustettuihin kuristimiin. Lisäksi Taalintehtaan Vikomin ja Kustavin asemien kjo-verkoissa on hajautettuja kiinteitä kuristimia. Taivassalon sähköasemalla on kiinteä kuristin. Påvalsbyn asemalta puuttuu kuristin kokonaan.

Taulukko 8. Kompensointi kuristimien arvot

	kuristimien lukumäärä	Min-Max nimellisvirta (A)	Teho (kVAr)	Toiminta
Påvalsby				
Taalintehtas	1	17 - 170	2 000	säädettävä
Borsto	2	10		kiinteä
Syslax	1	11 - 110	1 250	säädettävä
Vikom	1	26 - 266		säädettävä
Boskär	1	26,3		kiinteä
Grimsholm	1	17,2		kiinteä
Grundvik	1	17,93		kiinteä
Mossala	1	8,5		kiinteä
Norsskata	1	17,87		kiinteä
Kustavi	1	13 - 132	1 600	säädettävä
Keistiö	1	18,53		kiinteä
Ytterstö	1	18,53		kiinteä
Taivassalo	1	8,7		kiinteä

Maasulkuvirran lisäksi lähdöillä käytetyt kaapelien ja johtojen käyttökapasitanssit aiheuttaa varausvirtaa, joka nostaa jännitettä lähdön loppupäässä. Tämä on mahdollista, jos jännitteenalenemaa aiheuttava kuormitus häviää. Ilmiö on mahdollinen vuoden- ja

vuorokaudenaikoina, jolloin kulutus on vähäistä. Esimerkiksi paikka, jossa tällaista voi tapahtua, on Utön saari jota Vikomin sähköasema syöttää.

Sähköasemien keskijänniteverkon maasulkuvirtoja analysoitiin Trimble NIS-verkkotietojärjestelmällä. Trimble NIS tunnetaan myös nimellä Xpower. Ennen maasulkuvirtojen analysointia varmistettiin, että Trimble-NIS verkkotietojärjestelmän tietokannassa olevan keskijänniteverkon jakorajat olivat kohdallaan. Samoin maasulkureleiden asettelu täytyi tarkistaa ja korjata.

7.2 Normaalikytkentätilanne

Laskenta suoritettiin 0 Ω :n ja 500 Ω :n vikaresistansseilla keskijänniteverkon ollessa kompensoitu ja kompensoimaton. Carunan keskijänniteverkkoa tarkastellaan kompensoituna. kompensoimaton laskentatulokset esitettiin, koska Påvalsbyn asemalla ei ole maasulkuvirran kompensointikuristinta.

Taulukko 9.

sähköasema	kompensoitu		kompensoimaton	
	0 Ω	500 Ω	0 Ω	500 Ω
TAA	33,4	17,6	202,6	23,5
PÄV			113,9	23,2
SYS	11,8	3,7	91,9	21,9
VIK	33,4	7,9	236,4	23,5
KUS	120,5	23,2	5,9	4,7
TLO	48	21,2	56,7	21,8

Taulukosta 10 selviää lähdöille jakautunut maasulkuvirta sähköasemittain.

Taulukko 10. Lähdöille jakautunut maasulkuvirta sähköasemittain

Lähtö	kompensoitu				kompensoimaton			
	Vika muualla (A)		Oma vika (A)		Vika muualla (A)		Oma vika (A)	
	0 Ω	500 Ω	0 Ω	500 Ω	0 Ω	500 Ω	0 Ω	500 Ω
PÄVJ04					2,8	0,6	111,1	22,6
PÄVJ05					20,0	4,1	93,9	19,1
PÄVJ06					19,2	3,9	94,7	19,3
PÄVJ08					23,3	4,7	90,6	18,4
PÄVJ09					19,9	4,0	94,1	19,1
PÄVJ10					5,0	1,0	109,0	22,2
PÄVJ11					11,0	2,2	102,9	20,9
PÄVJ13					1,8	0,4	112,9	22,8
PÄVJ14					11,0	2,2	102,9	20,9
TAAJ04	7,0	3,7	26,6	16,6	7,0	0,8	195,6	22,7
TAAJ05	20,1	10,6	14,5	7,6	20,1	2,3	182,5	21,1
TAAJ07	21,8	11,5	13,0	6,8	21,8	2,5	180,8	20,9
TAAJ08	135,2	71,1	102,9	54,1	135,2	15,7	67,4	7,8
TAAJ09	18,5	9,7	15,8	8,3	18,5	2,1	184,0	21,3
SYSJ02	15,0	12,6	15,7	13,2	15,0	3,7	76,9	19,2
SYSJ04	51,6	43,5	51,8	43,6	51,6	12,9	40,3	10,1
SYSJ07	7,1	6,0	8,4	7,1	7,1	1,8	84,8	21,2
SYSJ09	0,8	0,7	4,5	3,8	0,8	0,2	91,1	22,7
SYSJ10	17,4	14,6	17,9	15,1	17,4	4,3	74,6	18,6
VIKJ03	27,8	2,8	207,7	20,7	27,8	18,5	30,2	20,1
VIKJ05	24,8	2,5	211,7	21,0	24,8	16,5	27,4	18,3
VIKJ06	16,3	1,6	220,1	21,9	16,3	10,9	20,1	13,4
VIKJ07	37,8	3,8	198,7	19,7	37,8	25,2	39,6	26,4
VIKJ09	38,4	3,8	198,0	19,7	38,4	25,6	40,2	26,8
VIKJ10	91,3	9,1	145,2	14,4	91,3	60,8	92,0	61,4
KUSJ02	10,6	8,5	12,2	9,8	10,6	2,0	112,6	21,7
KUSJ04	8,4	6,7	10,3	8,3	8,4	1,6	114,8	22,1
KUSJ05	15,1	12,1	16,2	13,0	15,1	2,9	108,1	20,8
KUSJ06	8,6	6,9	10,6	8,4	8,6	1,7	114,6	22,1
KUSJ10	80,5	64,4	80,7	64,5	80,5	15,5	42,8	8,2
TLOJ03	9,5	4,2	38,5	17,0	9,5	3,7	47,2	18,2
TLOJ04	31,0	13,7	17,0	7,5	31,0	11,9	25,7	9,9
TLOJ05	8,4	3,7	39,6	17,5	8,4	3,2	48,3	18,6
TLOJ07	5,0	2,2	43,0	19,0	5,0	1,9	51,7	19,9
TLOJ09	2,7	1,2	45,3	20,0	2,7	1,0	54,0	20,8

Laskennan aikana havaittiin, että Tekla NIS:n tietokannasta puuttui keskijänniteverkkoa 3-10 km sähköasemittain. [13.]

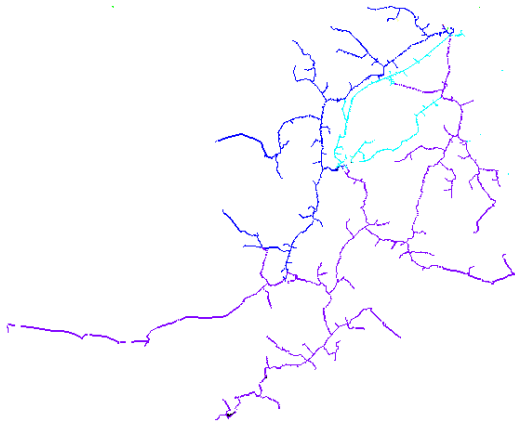
7.3 Varasyöttötilanteet

Varasyöttötilanteessa sähköasema korvataan toiselta sähköasemalta käsin. Varasyöttötilanteissa muutetaan sähköaseman lähtöjen jakorajoja ennalta laaditun kytkentäsuunnitelman mukaisesti. Jakorajat muutetaan erottimien ja katkaisijoiden asentoja muuttamalla käsin tai etäohjatuksi käyttökeskuksesta. Yleisin syy varasyöttötilanteeseen on sähköasemalla tehtävät katkaisijoiden, erottimien tai päämuuntajan huoltotoimenpiteet.

Varasyöttötilanteissa toimitaan seuraavasti:

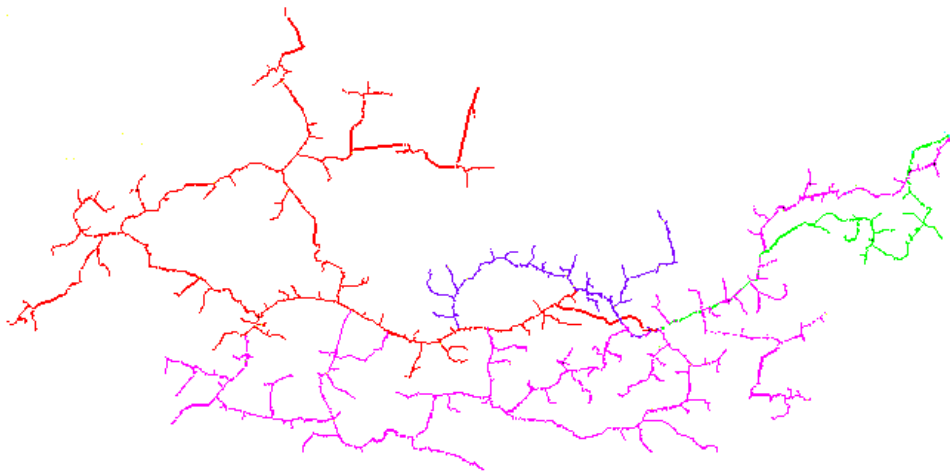
- Erottimien asennot tarkistetaan.
- Päämuuntajien käämikytkimet ja sammutuskelat säädetään.
- Jakorajojen muutokset tehdään.
- Pääkatkaisijat aukaistaan.
- Lähtöjen sähköasema erottimien ja katkaisijoiden asentoja muutetaan.
- Maadoitukset ja tarvittavat säädöt tehdään.
- Jakorajoja viimeistellään.

Palatessa normaalikytkentätilanteeseen toimitaan päinvastaisessa järjestyksessä. Paikallisesti käsin tehtäviin kytkentämuutoksiin on aina pyydettävä lupa käyttökeskukselta. Myös maadoitusten purkamisesta ja muista manuaalisesti tehtävistä säätöjen muutoksista ilmoitetaan käyttökeskukselle.



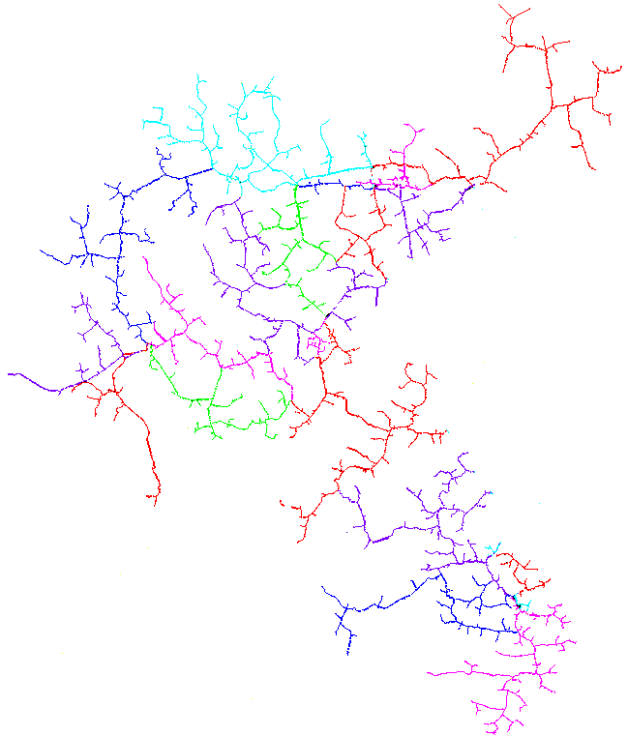
Kuva 25. Taalintehtaan varasyöttötilanne

Kuvasta 25 havaittiin, että Taalintehtas korvataan kokonaisuudessaan Påvalsbystä. Seurauksena tästä on se, että maasulkuvirrat kasvavat, koska Påvalsbyssä ei ole kompensointikuristinta.



Kuva 26. Vikomin varasyöttötilanne

Kuvasta 26 todettiin, että Vikom korvataan osittain Syslaxista, Kustavista sekä Taalintehtaalta. Utö siirtyy Taalintehtaan asemalle. Osa Houtskäristä siirtyy Kustavin asemalta.



Kuva 27. Kustavin ja Taivassalon varasyöttötilanne

Kuvasta 27 huomataan, että Kustavin ja Taivassalon sähköasemat korvautuvat Vinkkilästä, Rymättylästä ja Vikomista. Pávalsbyn lähdöt korvataan Halslahdelta, Kaukosalosta sekä Taalintehtaalta. Syslaxin asema korvataan Paimiosta, Piispanristiltä, Norbylta ja Vikomilta.

Taulukossa 11 on esitetty maasulkuvirtojen lisääntyminen varasyöttötilanteissa sähköasemilla. Keskijänniteverkossa tapahtuneiden muutoksien vuoksi Syslaxin lähdöt päätettiin korvata pelkästään Norbystä ja Vikomilta, koska verkko oli muuttunut kytkentäohjelman laadintahetkestä. Muuten noudatettiin aiemmin laadittuja kytkentäohjelmia.

Taulukko 11. Varasyöttötilanteet

		normaali				varasyöttö			
		kompensoitu (A)		kompensoimaton (A)		kompensoitu (A)		kompensoimaton (A)	
vikaresistanssi		0	500	0	500	0	500	0	500
TAA	PÄV								
PÄV	KAO	41,0	20,2	49,9	21,4	60,3	21,9	69,2	22,4
	HAL	11,9	9,3	80,1	22,7	14,0	10,7	123,3	23,2
	HSL			38,6	20,2			54,5	21,7
	TAA					74,9	22,1	244,7	23,5
SYS	VIK					15,0	9,7	275,3	23,5
	NBY	11,9	9,3	103,1	23,1	66,6	21,8	176,4	23,5
VIK	KUS					5,9	4,7	120,5	23,2
	SYS					173,9	23,3	283,8	23,6
	TAA					87,6	22,2	257,1	23,5
KUS, TLO	RYM	9,8	7,9	17,8	0,8	9,8	7,9	87,7	22,9
	VIK					42,0	18,3	306,0	23,5
	VKK	52,5	21,6	65,1	22,2	135,5	23,4	152,2	23,3

7.4 Maadoitusimpedanssit

Maasulkuvirtojen laskettiin sallitut maadoitusimpedanssit lähdöittäin (taulukko 12).

Taulukko 12. Maadoitusimpedanssit lähdöittäin

Lähtö	Maadoitusryhmä				
	A	B	D	2UTP	4UTP
PÄVJ04	24	63	16	8	15
PÄVJ05	26	69	17	10	20
PÄVJ06	20	55	14	6	12
PÄVJ08	25	66	17	9	18
PÄVJ09	25	66	16	9	17
PÄVJ10	24	64	16	8	16
PÄVJ11	25	68	17	10	19
PÄVJ13					
PÄVJ14	25	67	17	9	19
TAAJ04	26	70	17	10	21
TAAJ05	26	69	17	10	20
TAAJ07	26	69	17	10	20
TAAJ08	20	54	14	6	12

TAAJ09	20	54	14	6	11
SYSJ02	25	68	17	9	19
SYSJ04	26	69	17	10	20
SYSJ07	24	65	16	8	16
SYSJ09	25	67	17	9	18
SYSJ10	25	67	17	9	18
VIKJ03	26	71	18	11	21
VIKJ05	19	50	12	5	10
VIKJ06	26	69	17	10	20
VIKJ07	19	50	12	5	10
VIKJ09	18	49	12	5	10
VIKJ10	19	50	12	5	10
KUSJ02	24	65	16	8	16
KUSJ04	25	67	17	9	19
KUSJ05	25	66	16	9	17
KUSJ06	26	69	17	10	20
KUSJ10	27	71	18	11	22
TLOJ03	25	67	17	9	18
TLOJ04	25	67	17	9	19
TLOJ05	25	68	17	9	19
TLOJ07	25	67	17	9	19
TLOJ09	25	68	17	20	19

Trimble NIS suoritti sallitun maasulkuimpedanssin laskennan 40 A:n maasulkuvirralla standardin SFS 6001 sekä StM:n mukaisesti. Tämä voidaan vielä todeta laskemalla.

Esimerkiksi lähdön KUSJ02 maasulkureleen laukaisuaika on 0,6 s. Kohdan 6.4.1 Kuvan 15 ja taulukon 4 mukaan (ks. s. 19) kosketusjännitteeksi U_{tp2} saadaan 320 V. Standardin SFS 6001 mukainen maadoitusresistanssi yhtälöllä 9 (ks. s. 19)

$$R_e = \frac{U_{TP}}{I_e} = \frac{320V}{40A} = 8 \Omega$$

laskettuna on 8 Ω . Stm:n mukaan sallittu maadoitusresistanssi D-ryhmän mukaisella kosketusjännitteellä on 500 V (taulukko 5, ks. s. 23) ja em. laukaisujalla maadoitusresistanssi yhtälöllä 10 (ks. s. 23)

$$R_e = \frac{U_{TP}}{\sqrt{t} \cdot I_e} = \frac{320V}{\sqrt{0,6s} \cdot 40A} = 16 \Omega$$

laskettuna on 16 Ω .

8 Johtopäätökset

Rakennettaessa uutta tai saneerattaessa vanhaa keskijänniteverkkoa maasulkuvirtojen kasvamisen vuoksi keskijänniteverkkoon kannattaa sijoittaa hajautettuja kompensointikuristimia. Tällöin täytetään standardin määräämä kosketusjännite sekä vähennetään ylijännitteen muodostumista tilanteissa, joissa kuormitus on vähäistä. Lisäksi sekalähdöillä maakaapeli- ja avojohto-osuuden muutoskohtaan sijoitetaan kaukokäyttö sekä suojauslaitteita.

Edullisempia tapoja saneerata verkkoa ovat pylväiden vaihtaminen ja vierimetsänhoito. Tällöin on huolehdittava, että johtokatua raivataan, pylviäitä tarkistetaan ja korjaavia toimenpiteitä tehdään. Avojohtoverkkoon, jonka pylväät ovat kunnossa kevyt keskeytyksiä ennaltaehkäisevä saneeraus voi sisältää kaukokäytön ja suojauksen lisäämistä kohtiin, joissa lähtö haarautuu ja avojohdon poikkipinta pienenee. Lisäksi avojohdoilla maasulkuvirtaa muodostuu vähiten verrattuna maakaapeliin.

Tarkasteltaessa Carunan Lounais-Suomen saaristoalueen verkkoa kannattaa jo keskeytyksistä aiheutuvien katkoksien vuoksi rakentaa toinen sähköasema esim. Korpooseen. Lisäksi Utöhön menevä haara kannattaa varmistaa siten, että sitä voidaan syöttää joko Vikomilta tai uudelta sähköasemalta käsin. Tällä hetkellä Utö on syötettävissä Vikomilta sekä Taalintehtaalta käsin.

Lähteet

- 1 Fortum Oyj:n www-sivut. <<http://www.fortum.com/fi/pages/default.aspx>>. Luettu 18.1.2014
- 2 YTJ - Yritys ja yhteistietojärjestelmä. <<http://www.ytj.fi/>>. Luettu 9.2.2014.
- 3 Prysmian Group Suomi. <<http://fi.prysmiangroup.com/en/index.html>>. Luettu 15.2.2014.
- 4 ABB. Teknisiä tietoja ja taulukoita. 2000. Vaasa: Ykkös-Offset Oy
- 5 Schneider Electric Industries. Schneider Cahier technique n° 181 - Directional protection equipment. 1998. Verkkodokumentti. <<http://www.schneider-electric.co.in/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/protection-devices-monitoring/high-voltage-plus-1kv/ect181.pdf>> Luettu 15.2.2014.
- 6 Elovaara, Jarmo., Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot I. Järjestelmäteknikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Otatieto.
- 7 Elovaara, Jarmo., Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- 8 IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical utility Systems - Part I. 2000. Verkkodokumentti <<http://ieeexplore.ieee.org>> Luettu 22.2.2014.
- 9 Suurjänniteasennukset. SFS 6001 A1 + A2. 2009. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 10 Verkostosuositus RJ 19:06. Energiateollisuus ry.
- 11 Sähköturvallisuusmääräykset. Julkaisu A1-89. 1989. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 12 Verkostosuositus TJ 1:05. Energiateollisuus ry.
- 13 Energiavirasto. <<http://www.ev.fi/>>. Luettu 2.4.2016.
- 14 Sähköverkonsuunnittelijakoulutus. Kurssimateriaali. Tampere: Caruna Oy

Maasulkulaskennan tulokset normaalissa kytkentätilanteessa

01.04.2014 09:42:41 Fortum Distribution INSTYOTESTI Jari Kekki

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N : T A A
 T R A N S F O R M E R : 2 0 0 0
 Rated voltage (kV): 21.0
 Neutral point connection: DISTRIBUTED COMPENSATION
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 186.01 (58.44 ohm)
 Calculation voltage (kV): 20.5
 Min neutral point voltage (kV): 1.4 (12 %)
 Earth fault current 1 (A): 202.6 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 23.5 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

E A R T H F A U L T P R O T E C T I O N Z O N E S (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings			Uo/ Ir/ P0/			Allowed resistance			
			Currents		Currents		Us	Io>	Ps	to	Us	Io>	Ps	A	B	D	2UTP	4UTP		
			(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kW)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)		
2898	TAAJ04	TAA	7.0	0.8	195.6	22.7	0.0	0.0	0.5	0	0		26	70	17	10	21			
2891	TAAJ05	TAA	20.1	2.3	182.5	21.1	0.0	0.0	0.5	0	0		26	69	17	10	20			
2892	TAAJ07	TAA	21.8	2.5	180.8	20.9	0.0	0.0	0.5	0	0		26	69	17	10	20			
2900	TAAJ08	TAA	135.2	15.7	67.4	7.8	0.0	0.0	0.8	0	0		20	54	14	6	12			
2893	TAAJ09	TAA	18.5	2.1	184.0	21.3	0.0	0.0	0.9	0	0		20	54	14	6	11			
2901	iiiiiiiiiiii TAA		202.5	23.5	3.0	0.3	0.0	0.0		0	0		3	6	3	4	8			

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: TAAJ04	0	0	2717	0	0	0	0	2717
FEEDER: TAAJ05	29019	4448	2105	571	1417	0	0	37560
FEEDER: TAAJ07	28411	0	9662	0	6818	0	0	44891
FEEDER: TAAJ08	66499	150	61824	16724	13902	0	0	159099
FEEDER: TAAJ09	6266	0	3975	2799	19108	0	3	32151
WHOLE NETWORK:	130195	4598	80283	20094	41245	0	8	276423

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N : T A A
 T R A N S F O R M E R : 2 0 0 0
 Rated voltage (kV): 21.0
 Inductive current of neutral point coil (A): 170.00
 Inductance of neutral point coil (mH): 221.61
 Reactance of neutral point coil (ohm): 69.62
 Resistance of neutral point coil (ohm): 2667.00
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 186.01 (58.44 ohm)
 Calculation voltage (kV): 20.5
 Min neutral point voltage (kV): 6.2 (53 %)
 Earth fault current 1 (A): 33.4 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 17.6 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

E A R T H F A U L T P R O T E C T I O N Z O N E S (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings			Uo/ Ir/ P0/			Allowed resistance			
			Currents		Currents		Us	Io>	Ps	to	Us	Io>	Ps	A	B	D	2UTP	4UTP		
			(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kW)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)		
2898	TAAJ04	TAA	7.0	3.7	26.6	14.0	0.0	0.0	0.5	0	0		26	70	17	10	21			
2891	TAAJ05	TAA	20.1	10.6	14.5	7.6	0.0	0.0	0.5	0	0		26	69	17	10	20			

2892	TAAJ07	TAA	21.8	11.5	13.0	6.9	0.0	0.0	0.5	0	0	26	69	17	10	20
2900	TAAJ08	TAA	135.2	71.1	102.9	54.1	0.0	0.0	0.8	0	0	20	54	14	6	12
2893	TAAJ09	TAA	18.5	9.7	15.8	8.3	0.0	0.0	0.9	0	0	20	54	14	6	11
2901	iiiiiiiiiiii	TAA	32.5	17.1	7.4	3.9	0.0	0.0	0	0	0	3	6	3	4	8

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: TAAJ04	0	0	2717	0	0	0	0	2717
FEEDER: TAAJ05	29019	4448	2105	571	1417	0	0	37560
FEEDER: TAAJ07	28411	0	9662	0	6818	0	0	44891
FEEDER: TAAJ08	66499	150	61824	16724	13902	0	0	159099
FEEDER: TAAJ09	6266	0	3975	2799	19108	0	3	32151
WHOLE NETWORK:	130195	4598	80283	20094	41245	0	8	276423

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: P?V
T R A N S F O R M E R: P?VPM1
Rated voltage (kV): 22.0
Neutral point connection: ISOLATED NEUTRAL SYSTEM
Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 330.67 (103.88 ohm)
Calculation voltage (kV): 20.5
Min neutral point voltage (kV): 2.4 (20 %)
Earth fault current 1 (A): 113.9 (0 ohm)
Earth fault current 2 (A): 23.2 (500 ohm)
Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

E A R T H F A U L T P R O T E C T I O N Z O N E S (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings			Uo/ Ir/ Q0/		Allowed resistance				
			Currents		Currents		Us	Io>	Qs	to	Us	Io>	Qs	A	B	D	2UTP	4UTP		
			(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kvar)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)		
P?VJ04Q0	P?VJ04	P?V	2.8	0.6	111.1	22.6	0.0	0.0	0.6	0	0	24	63	16	8	15				
P?VJ05Q0	P?VJ05	P?V	20.0	4.1	93.9	19.1	0.0	0.0	0.5	0	0	26	69	17	10	20				
P?VJ06Q0	P?VJ06	P?V	19.2	3.9	94.7	19.3	0.0	0.0	0.8	0	0	20	55	14	6	12				
P?VJ08Q0	P?VJ08	P?V	23.3	4.7	90.6	18.4	0.0	0.0	0.6	0	0	25	66	17	9	18				
P?VJ09Q0	P?VJ09	P?V	19.9	4.0	94.1	19.1	0.0	0.0	0.6	0	0	25	66	16	9	17				
P?VJ10Q0	P?VJ10	P?V	5.0	1.0	109.0	22.2	0.0	0.0	0.6	0	0	24	64	16	8	16				
P?VJ11Q0	P?VJ11	P?V	11.0	2.2	103.0	20.9	0.0	0.0	0.5	0	0	25	68	17	10	19				
P?VJ13Q0	P?VJ13	P?V	1.8	0.4	112.2	22.8	0.0	0.0	0	0	0	3	6	3	4	8				
P?VJ14Q0	P?VJ14	P?V	11.0	2.2	102.9	20.9	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	19				
P?VJ12Q0	iiiiiiiiiiii	P?V	113.9	23.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0	0	34	91	23	20	39				

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: P?VJ04	12200	0	595	0	69	0	0	12864
FEEDER: P?VJ05	42845	0	1801	5660	6659	0	7	56972
FEEDER: P?VJ06	61159	0	4347	1540	7029	0	2	74077
FEEDER: P?VJ08	79460	180	5946	0	6020	0	0	91606
FEEDER: P?VJ09	12031	0	7434	0	92	0	0	19557
FEEDER: P?VJ10	21139	0	503	0	8384	0	0	30026
FEEDER: P?VJ11	30282	0	3502	0	10037	0	0	43821
FEEDER: P?VJ13	2812	0	505	0	0	0	0	3317
FEEDER: P?VJ14	34148	0	2486	0	1036	0	0	37670
WHOLE NETWORK:	296076	180	27119	7200	39326	0	37	369938

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: SYS
T R A N S F O R M E R: 0102
Rated voltage (kV): 21.0
Neutral point connection: ISOLATED NEUTRAL SYSTEM
Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 409.80 (128.74 ohm)
Calculation voltage (kV): 20.5

Min neutral point voltage (kV): 3.0 (25 %)
 Earth fault current 1 (A): 91.9 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 22.9 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

EARTH FAULT PROTECTION ZONES (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings				Uo/ Ir/ Q0/		Allowed resistance				
			Currents		Currents		Us	Io>	Qs	to	Us	Io>	Qs	A	B	D	2UTP	4UTP			
			1	2	1	2	(kV)	(A)	(kvar)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)			
4710	SYSJ02	SYS	15.0	3.7	76.9	19.2	0.0	0.0	0.5	0	0	25	68	17	9	19					
4712	SYSJ04	SYS	51.6	12.9	40.3	10.1	0.0	0.0	0.5	0	0	26	69	17	10	20					
4715	SYSJ07	SYS	7.1	1.8	84.8	21.2	0.0	0.0	0.6	0	0	24	65	16	8	16					
4717	SYSJ09	SYS	0.8	0.2	91.1	22.7	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	18					
4718	SYSJ10	SYS	17.4	4.3	74.6	18.6	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	18					
4711	iiiiiiiiiiii	SYS	91.9	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0	0	34	91	23	20	39					

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: SYSJ02	16015	0	4024	1890	7120	0	0	29049
FEEDER: SYSJ04	746	0	19042	0	2009	0	0	21797
FEEDER: SYSJ07	27706	0	955	0	4804	0	0	33465
FEEDER: SYSJ09	0	0	306	0	778	0	0	1084
FEEDER: SYSJ10	56832	0	4588	0	6586	0	9	68015
WHOLE NETWORK:	101299	0	28915	1890	21297	0	9	153410

MV EARTH FAULT CALCULATION (LAST CALCULATION RESULTS)

SUBSTATION: DCMA
 TRANSFORMER: 5697
 Rated voltage (kV): 10.0
 Neutral point connection: ISOLATED NEUTRAL SYSTEM
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 0.00 (0.00 ohm)
 Calculation voltage (kV): 10.3
 Min neutral point voltage (kV): 0.0 (0 %)
 Earth fault current 1 (A): 0.0 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 200000000.0 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0
 Default line data: Not used

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
WHOLE NETWORK:	0	0	0	0	0	0	0	0

MV EARTH FAULT CALCULATION (LAST CALCULATION RESULTS)

SUBSTATION: MIEL
 TRANSFORMER: 5698
 Rated voltage (kV): 10.0
 Neutral point connection: ISOLATED NEUTRAL SYSTEM
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 0.00 (0.00 ohm)
 Calculation voltage (kV): 10.3
 Min neutral point voltage (kV): 0.0 (0 %)
 Earth fault current 1 (A): 0.0 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 200000000.0 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0
 Default line data: Not used

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: MIEL
 T R A N S F O R M E R: 5698
 Rated voltage (kV): 10.0
 Neutral point connection: ISOLATED NEUTRAL SYSTEM
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 0.00 (0.00 ohm)
 Calculation voltage (kV): 10.3
 Min neutral point voltage (kV): 0.0 (0 %)
 Earth fault current 1 (A): 0.0 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 200000000.0 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0
 Default line data: Not used

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
=====								
WHOLE NETWORK:	0	0	0	0	0	0	0	0

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: BERG
 T R A N S F O R M E R: S0011
 Rated voltage (kV): 20.5
 Inductive current of neutral point coil (A): 17.42
 Inductance of neutral point coil (mH): 2162.09
 Reactance of neutral point coil (ohm): 679.24
 Resistance of neutral point coil (ohm): 8000.00
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 0.00 (0.00 ohm)
 Calculation voltage (kV): 20.5
 Min neutral point voltage (kV): 0.0 (0 %)
 Earth fault current 1 (A): 0.0 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 97560968.0 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0
 Default line data: Not used

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
=====								
WHOLE NETWORK:	0	0	0	0	0	0	0	0

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: VIK
 T R A N S F O R M E R: VIK-PT1
 Rated voltage (kV): 21.0
 Inductive current of neutral point coil (A): 236.31
 Inductance of neutral point coil (mH): 159.42
 Reactance of neutral point coil (ohm): 50.08
 Resistance of neutral point coil (ohm): 2667.00
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 159.43 (50.08 ohm)
 Calculation voltage (kV): 20.5
 Min neutral point voltage (kV): 7.9 (67 %)
 Earth fault current 1 (A): 11.8 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 7.9 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

E A R T H F A U L T P R O T E C T I O N Z O N E S (LAST CALCULATION RESULTS)

		Fault outside Fault inside																
		Currents				Currents				Relay settings				Allowed resistance				
Circuit-br.	Feeder	Substation	1	2	1	2	Us	Io>	Ps	to	Us	Io>	Ps	A	B	D	2UTP	4UTP
label	label	label	(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kW)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)

LINE	Feeder	Substation	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum	Uo	Ir	P0	A	B	D	2UTP	4UTP
3202	VIKJ03	VIK	27.8	18.5	30.2	20.1	0.0	0.0	0.5	0	0	26	71	18	11	21		
3203	VIKJ05	VIK	24.8	16.5	27.4	18.3	0.0	0.0	1.0	0	0	19	50	12	5	10		
3204	VIKJ06	VIK	16.3	10.9	20.1	13.4	0.0	0.0	0.5	0	0	26	69	17	10	20		
3205	VIKJ07	VIK	37.8	25.2	39.6	26.4	0.0	0.0	1.0	0	0	19	50	12	5	10		
3207	VIKJ09	VIK	38.4	25.6	40.2	26.8	0.0	0.0	1.0	0	0	18	49	12	5	10		
3208	VIKJ10	VIK	91.3	60.8	92.0	61.4	0.0	0.0	1.0	0	0	19	50	12	5	10		
3206	iiiiiiiiiiii	VIK	0.0	0.0	11.8	7.9	0.0	0.0	0.3	0	0	34	91	23	20	39		

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: VIKJ03	16976	0	4883	6908	15647	0	0	44414
FEEDER: VIKJ05	33990	322	6653	1692	4543	0	13	47213
FEEDER: VIKJ06	12469	0	6214	0	7835	0	111	26629
FEEDER: VIKJ07	75160	1127	9399	3163	14822	0	4	103675
FEEDER: VIKJ09	40615	0	45745	0	3094	0	5	89459
FEEDER: VIKJ10	135118	816	48616	7094	35741	0	16	227401
WHOLE NETWORK:	314328	2265	121510	18857	81682	0	149	538791

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: BERG
T R A N S F O R M E R: S0011
Rated voltage (kV): 20.5
Inductive current of neutral point coil (A): 17.42
Inductance of neutral point coil (mH): 2162.09
Reactance of neutral point coil (ohm): 679.24
Resistance of neutral point coil (ohm): 8000.00
Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 0.00 (0.00 ohm)
Calculation voltage (kV): 20.5
Min neutral point voltage (kV): 0.0 (0 %)
Earth fault current 1 (A): 0.0 (0 ohm)
Earth fault current 2 (A): 97560968.0 (500 ohm)
Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0
Default line data: Not used

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
WHOLE NETWORK:	0	0	0	0	0	0	0	0

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: VIK
T R A N S F O R M E R: VIK-PT1
Rated voltage (kV): 21.0
Neutral point connection: DISTRIBUTED COMPENSATION
Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 159.43 (50.08 ohm)
Calculation voltage (kV): 20.5
Min neutral point voltage (kV): 1.2 (10 %)
Earth fault current 1 (A): 236.4 (0 ohm)
Earth fault current 2 (A): 23.5 (500 ohm)
Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

E A R T H F A U L T P R O T E C T I O N Z O N E S (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside		Fault inside		Relay settings				Allowed resistance							
			Currents		Currents		Uo/	Ir/	P0/	Allowed resistance								
			1	2	1	2	Us	Io>	Ps	to	Us	Io>	Ps	A	B	D	2UTP	4UTP
3202	VIKJ03	VIK	27.8	2.8	208.7	20.7	0.0	0.0	0.5	0	0	26	71	18	11	21		
3203	VIKJ05	VIK	24.8	2.5	211.7	21.0	0.0	0.0	1.0	0	0	19	50	12	5	10		
3204	VIKJ06	VIK	16.3	1.6	220.1	21.9	0.0	0.0	0.5	0	0	26	69	17	10	20		
3205	VIKJ07	VIK	37.8	3.8	198.7	19.7	0.0	0.0	1.0	0	0	19	50	12	5	10		

3207	VIKJ09	VIK	38.4	3.8	198.0	19.7	0.0	0.0	1.0	0	0	18	49	12	5	10
3208	VIKJ10	VIK	91.3	9.1	145.2	14.4	0.0	0.0	1.0	0	0	19	50	12	5	10
3206	iiiiiiiiiiii	VIK	236.3	23.5	7.4	0.7	0.0	0.0	0.3	0	0	34	91	23	20	39

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: VIKJ03	16976	0	4883	6908	15647	0	0	44414
FEEDER: VIKJ05	33990	322	6653	1692	4543	0	13	47213
FEEDER: VIKJ06	12469	0	6214	0	7835	0	111	26629
FEEDER: VIKJ07	75160	1127	9399	3163	14822	0	4	103675
FEEDER: VIKJ09	40615	0	45745	0	3094	0	5	89459
FEEDER: VIKJ10	135118	816	48616	7094	35741	0	16	227401
WHOLE NETWORK:	314328	2265	121510	18857	81682	0	149	538791

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: KUS
T R A N S F O R M E R: PM1
Rated voltage (kV): 21.0
Neutral point connection: DISTRIBUTED COMPENSATION
Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 312.61 (98.21 ohm)
Calculation voltage (kV): 20.5
Min neutral point voltage (kV): 2.3 (19 %)
Earth fault current 1 (A): 120.5 (0 ohm)
Earth fault current 2 (A): 23.2 (500 ohm)
Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

E A R T H F A U L T P R O T E C T I O N Z O N E S (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings			Uo/ Ir/ P0/		Allowed resistance			
			1	2	1	2	Us	Io>	Ps	to	Us	Io>	Ps	A	B	D	2UTP	4UTP	
			(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kW)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	
1813	KUSJ02	KUS	10.5	2.0	110.0	21.2	0.0	0.0	0.6	0	0	24	65	16	8	16			
1815	KUSJ04	KUS	8.2	1.6	112.3	21.6	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	19			
1816	KUSJ05	KUS	14.8	2.8	105.7	20.3	0.0	0.0	0.6	0	0	25	66	16	9	17			
1817	KUSJ06	KUS	8.4	1.6	112.1	21.6	0.0	0.0	0.5	0	0	26	69	17	10	20			
4127	KUSJ10	KUS	78.6	15.1	41.9	8.1	0.0	0.0	0.5	0	0	27	71	18	11	22			
1812	iiiiiiiiiiii	KUS	120.5	23.2	1.5	0.3	0.0	0.0	0	0	0	3	6	3	4	8			

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: KUSJ02	40599	0	2852	0	0	0	3	43454
FEEDER: KUSJ04	16127	0	2252	0	7754	0	0	26133
FEEDER: KUSJ05	62426	0	3893	0	4798	0	0	71117
FEEDER: KUSJ06	43405	0	1294	0	5206	0	2	49907
FEEDER: KUSJ10	63439	511	38953	2654	6302	0	9	111868
WHOLE NETWORK:	225996	511	49244	2654	24060	0	14	302479

M V E A R T H F A U L T C A L C U L A T I O N (LAST CALCULATION RESULTS)

S U B S T A T I O N: KUS
T R A N S F O R M E R: PM1
Rated voltage (kV): 21.0
Inductive current of neutral point coil (A): 120.51
Inductance of neutral point coil (mH): 312.61
Reactance of neutral point coil (ohm): 98.21
Resistance of neutral point coil (ohm): 2667.00
Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 312.61 (98.21 ohm)
Calculation voltage (kV): 20.5
Min neutral point voltage (kV): 9.5 (80 %)
Earth fault current 1 (A): 5.9 (0 ohm)
Earth fault current 2 (A): 4.7 (500 ohm)
Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

EARTH FAULT PROTECTION ZONES (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings				Uo/ Ir/ P0/			Allowed resistance				
			Currents		Currents		Us	Io>	Ps	to	Us	Io>	Ps	A	B	D	2UTP	4UTP				
			(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kW)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)				
1813	KUSJ02	KUS	10.5	8.4	12.1	9.6	0.0	0.0	0.6	0	0	24	65	16	8	16						
1815	KUSJ04	KUS	8.2	6.5	10.1	8.1	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	19						
1816	KUSJ05	KUS	14.8	11.8	15.9	12.8	0.0	0.0	0.6	0	0	25	66	16	9	17						
1817	KUSJ06	KUS	8.4	6.7	10.3	8.2	0.0	0.0	0.5	0	0	26	69	17	10	20						
4127	KUSJ10	KUS	78.6	62.9	78.8	63.1	0.0	0.0	0.5	0	0	27	71	18	11	22						
1812	iiiiiiiiiiii	KUS	0.0	0.0	5.9	4.7	0.0	0.0	0	0	3	6	3	4	8							

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: KUSJ02	40599	0	2852	0	0	0	3	43454
FEEDER: KUSJ04	16127	0	2252	0	7754	0	0	26133
FEEDER: KUSJ05	62426	0	3893	0	4798	0	0	71117
FEEDER: KUSJ06	43405	0	1294	0	5206	0	2	49907
FEEDER: KUSJ10	63439	511	38953	2654	6302	0	9	111868
WHOLE NETWORK:	225996	511	49244	2654	24060	0	14	302479

MV EARTH FAULT CALCULATION (LAST CALCULATION RESULTS)

SUBSTATION: TLO
 TRANSFORMER: 78455
 Rated voltage (kV): 21.0
 Neutral point connection: ISOLATED NEUTRAL SYSTEM
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 664.26 (208.68 ohm)
 Calculation voltage (kV): 20.5
 Min neutral point voltage (kV): 4.6 (39 %)
 Earth fault current 1 (A): 56.7 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 21.8 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

EARTH FAULT PROTECTION ZONES (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings				Uo/ Ir/ Q0/			Allowed resistance				
			Currents		Currents		Us	Io>	Qs	to	Us	Io>	Qs	A	B	D	2UTP	4UTP				
			(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kvar)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)				
3447	TLOJ03	TLO	9.5	3.7	47.2	18.2	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	18						
3448	TLOJ04	TLO	31.0	11.9	25.7	9.9	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	19						
3449	TLOJ05	TLO	8.4	3.2	48.3	18.6	0.0	0.0	0.5	0	0	25	68	17	9	19						
3451	TLOJ07	TLO	5.0	1.9	51.7	19.9	0.0	0.0	0.5	0	0	25	67	17	9	19						
3453	TLOJ09	TLO	2.7	1.0	54.0	20.8	0.0	0.0	0.5	0	0	25	68	17	9	19						
3450	iiiiiiiiiiii	TLO	56.7	21.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	3	6	3	4	8							

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: TLOJ03	8584	0	3049	0	0	0	0	11633
FEEDER: TLOJ04	68372	900	10149	0	7525	0	0	86946
FEEDER: TLOJ05	55384	0	1192	0	1522	0	0	58098
FEEDER: TLOJ07	37201	0	246	0	2387	0	2011	41845
FEEDER: TLOJ09	18721	0	269	0	150	0	0	19140
WHOLE NETWORK:	188262	900	14951	0	11584	0	2016	217713

MV EARTH FAULT CALCULATION (LAST CALCULATION RESULTS)

SUBSTATION: TLO
 TRANSFORMER: 78455
 Rated voltage (kV): 21.0
 Inductive current of neutral point coil (A): 8.70

Inductance of neutral point coil (mH): 4330.35
 Reactance of neutral point coil (ohm): 1360.42
 Resistance of neutral point coil (ohm): 8000.00
 Optimal inductance for arc-suppression coil (mH): 664.26 (208.68 ohm)
 Calculation voltage (kV): 20.5
 Min neutral point voltage (kV): 5.2 (44 %)
 Earth fault current 1 (A): 48.0 (0 ohm)
 Earth fault current 2 (A): 21.2 (500 ohm)
 Current in calculation of earthing resistance (A): 40.0

EARTH FAULT PROTECTION ZONES (LAST CALCULATION RESULTS)

Circuit-br. label	Feeder label	Substation label	Fault outside				Fault inside				Relay settings				Allowed resistance			
			Currents		Currents		Us	Io>	Ps	to	Us	Io>	Ps	A	B	D	2UTP	4UTP
			(A)	(A)	(A)	(A)	(kV)	(A)	(kW)	(s)	(%)	(%)	(%)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)
3447	TLOJ03	TLO	9.5	4.2	38.5	17.0	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	18		
3448	TLOJ04	TLO	31.0	13.7	17.0	7.5	0.0	0.0	0.6	0	0	25	67	17	9	19		
3449	TLOJ05	TLO	8.4	3.7	39.6	17.5	0.0	0.0	0.5	0	0	25	68	17	9	19		
3451	TLOJ07	TLO	5.0	2.2	43.0	19.0	0.0	0.0	0.5	0	0	25	67	17	9	19		
3453	TLOJ09	TLO	2.7	1.2	45.3	20.0	0.0	0.0	0.5	0	0	25	68	17	9	19		
3450	iiiiiiiiiiiiii	TLO	56.7	25.1	8.7	3.8	0.0	0.0		0	0	3	6	3	4	8		

LINE LENGTHS	Over	Aero	Under	Sea	Cover	Other	Undef	Sum
FEEDER: TLOJ03	8584	0	3049	0	0	0	0	11633
FEEDER: TLOJ04	68372	900	10149	0	7525	0	0	86946
FEEDER: TLOJ05	55384	0	1192	0	1522	0	0	58098
FEEDER: TLOJ07	37201	0	246	0	2387	0	2011	41845
FEEDER: TLOJ09	18721	0	269	0	150	0	0	19140
WHOLE NETWORK:	188262	900	14951	0	11584	0	2016	217713