



SUURJÄNNITEKAAPELIN KA- PASITANSIN MITTAUS

Tommi Eskonen

Suurjännitekaapelin ka-
pasitanssin mittaus
Toukokuu 2014
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

ESKONEN, TOMMI:
Suurjännitekaapelin kapasitanssin mittaaminen

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Toukokuu 2014

Opinnäytetyössä suunniteltiin Tampereen ammattikorkeakoulun sähkölaboratorioon uusi suurjännitetyö. Idea uuden laboratoriotyön suunnittelusta sai alkunsa laboratorioon hankitusta Tettex Instrumentin Type 2877 -kapasitanssimittasillasta. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella standardien asettamat vaatimukset täyttävä mittaustilanne ja laatia työohjeet uuteen laboratoriotyöhön. Laboratoriotyössä selvitetään Tettex Instrumentin Type 2877 -kapasitanssimittasillan avulla suurjännitekaapelin kapasitanssi, häviökerroin ja häviökulma. Saatuja arvoja verrataan teoreettisiin arvoihin ja analysoidaan saatuja tuloksia.

Eristyksen häviökertoimen mittaamista vaihtojännitteellä käytetään yleisesti suurjännitelaitteiden eristysrakenteiden kunnan arvioinnissa. Eristysaineiden sähköiset ominaisuudet muuttuvat iän, käyttöpaikan ja –tavan myötä. Häviökerroin ilmaisee kuinka paljon eriste eroaa ideaalisesta eristeestä. Suurjännitelaitteiden kapasitanssia ja häviökerrointa mitataan yleensä Scheringin sillalla tai virtavertailijasillalla. Tässä työssä käytetään Scheringin siltaa. Scheringin siltamittaus toimii siten, että mitattavaa testikappaletta verrataan tunnettuun mittanormaaliin. Tavallisesti kapasitanssin mittanormaalinäytteenä käytetään painekaasukondensaattoria ja häviökertoimen mittanormaalinäytteenä normaalikondensaattoria ja sen kanssa sarjassa olevan vastuksen yhdistelmää.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin koulussa opittuja asioita sähkösuunnittelusta. Tampereen ammattikorkeakoulun kustantamien standardien avulla saatiin käyttöön opinnäytetyön kannalta välttämättömiä tietoja. Tampereen ammattikorkeakoulu hyötyy tästä opinnäytetyöstä ensinnäkin siksi, että käyttämätön mittalaite saadaan otettua käyttöön. Lisäksi suunniteltu laboratoriotyö antaa tuleville opiskelijoille mahdollisuuden tutustua aihepiiriin, jota muuten ei tutkittaisi.

Asiasanat: suurjännitekaapelin kapasitanssi, häviökerroin, häviökulma, Scheringin silta

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

ESKONEN, TOMMI:

Defining the Capacitance of a High Voltage Cable

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 7 pages

May 2014

The purpose of this bachelor's thesis was to design a new high voltage laboratory measurement for the use of Tampere University of Applied Sciences. The topic arose from an unused Tettex Instrument Type 2877 capacitance measuring bridge. The aim was to design a laboratory measurement that meets the standards and to create work instructions for it. The purpose of the laboratory measurement is to determine the capacitance, loss factor and loss angle of a high voltage cable using the Tettex Instrument Type 2877 capacitance measuring bridge. The results of the measurements will first be compared to theoretical values and the results of this comparison will then be analyzed.

The measurement of the loss factor of insulation using alternating current is a commonly used method in evaluating the condition of high voltage devices. The electrical properties of insulating materials change with age, place and method of use. The loss factor indicates how much insulation differs from ideal insulation. The capacitance and the loss factor of high voltage devices are usually measured by Schering Bridge or a current comparator bridge. Schering Bridge was used in this thesis. It is based on the comparison of the test object to a known reference. Normally, a compressed gas capacitor is used as the reference of capacitance, and the combination of a series-connected capacitor and a resistor is used as the reference of the loss factor.

In this thesis, the knowledge of electrical planning gained in the studies was utilized. The standards purchased by Tampere University of Applied Sciences enabled access to information that was necessary for this thesis. Tampere University of Applied Sciences will benefit from this thesis firstly because the unused measuring bridge can be taken into use. In addition, the laboratory measurement that was designed will give future students an opportunity to familiarize themselves with a topic that would otherwise not be explored.

Key words: capacitance of high voltage cable, loss factor, loss angle, Schering Bridge

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	6
2	Teoriaa.....	7
3	Scheringin silta	9
	3.1.1 Nollaindikaattori	11
	3.1.2 Normaalikondensaattori	11
	3.2 Häiriöjännitteet	12
4	Kaapelien testaukset	14
	4.1 Testi olosuhteet	14
	4.2 Kaapeleille suoritettavat kokeet.....	15
5	Tettex 2877 mittasillalla tehtävät $\tan \delta$ ja kapasitanssimittaukset	17
	5.1 Mittausjärjestelyt	17
	5.2 Kytkenät ja mittausasetukset	20
	5.3 Mittaukset	21
	5.3.1 Yleistä	21
	5.3.2 Suoritettavat mittaukset.....	22
	5.3.3 Käyttökapasitanssien laskeminen.....	22
	5.4 Huomioita	23
6	Pohdinta.....	24
7	Lähteet	25
8	Liitteet	26
	Liite 1. Kaapelin tekniset tiedot	26
	Liite 2. Kaapelipäätteen tekniset tiedot	28
	Liite 3. Työohje	29

LYHENTEET JA TERMIT

C	Kapasitanssi, F
R	Resistanssi, Ω
L	Induktanssi, H
U	Jännitteen tehollisarvo, V
I	Virran tehollisarvo, A
X	Reaktanssi, Ω
Z	Impedanssi, Ω
f	Taajuus, Hz
δ	Häviökulma, $^{\circ}$
Tan δ	Häviökerroin
ε	Permittiivisyys

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan Tampereen ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan koulutusohjelman laboratoriomittauksiin uusi suurjännitetyö. Uuden laboratorio-työn tavoitteena on selvittää scheringin mittasillan avulla suurjännitekaapelin kapasitanssi, häviökerroin sekä häviökulma. Saatuja arvoja verrataan teoreettisiin arvoihin ja analysoidaan saatuja tuloksia.

Vuonna 1960 Tampereen ammattikorkeakoululla käytössä ollut ja tätä nykyä jo käytöstä poistunut suurjännitelaboratoriotyö oli nimeltään voimakaapeleiden käyttökapasitanssien määrittäminen valmistustarkastuksen aikana. Nyt vanha työ päivitetään vastaamaan nykypäivän vaatimuksia ja standardeja.

Tällä hetkellä sähkövoimatekniikan laboratoriotyöt opintojaksoilla tehdään kaksi suurjännitelaboratoriotyötä. Ensimmäisessä työssä mitataan suurta vaihtojännitettä pallokipinävälillä avulla sekä suoritetaan vaihtojännitekoestus 20kV posliiniselle pylväseristimelle tai valuhartsiselle tukieristimelle. Toisessa työssä suoritetaan ilman läpilyöntilujuuden mittaaminen syöksyjännitteellä pallokipinävälillä avulla. Tämän lisäksi suoritetaan syöksyjännitekoestus 20kV posliiniselle pylväseristimelle sekä metallioksidisuojalle. Tampereen ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan koulutusohjelman opetus-suunnitelma uudistuu lukuvuotena 2015-2016. Uusi suurjännitetyö otetaan tällöin mahdollisesti käyttöön.

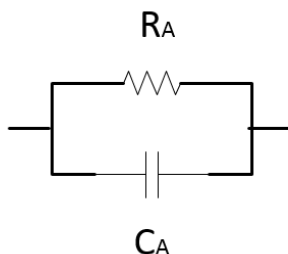
Opinnäytetyössä suunnitellaan vaatimukset täyttävä mittaustilanne ja laaditaan uudet työohjeet laboratoriotyöhön.

2 Teoriaa

Sähkökentän rasittamissa eristeissä syntyy tehohäviöitä, jotka lämmittävät eristettä. Eristeessä syntyvät tehohäviöt ovat niin sanottuja dielektrisiä häviöitä, jotka syntyvät dielektrisen jälkivaikutuksen ja molekyylikitkan vuoksi. Joutuessaan sähkökenttään eriste polarisoituu, eli sen molekyylien muodostamat sähködipolit kääntyvät sähkökentän suuntaan, koska niiden positiivisiin ja negatiivisiin osiin kohdistuu eri suuntiin vetävä voima. Sähkövirtaa ei kuitenkaan synny kuten johteiden tapauksessa, koska eristeissä ei ole vapaita varauksenkuljettajia. Kun polaaraisuus vaihtuu molekyylit kääntyvät ympäri, mutta molekyylien välinen kitka estää tätä, jolloin syntyy häviötä jotka ilmenevät eristeen lämpenemisenä. Vaihtojännitteillä polarisaatio on jo pienillä taajuuksilla suurin häviöitä aiheuttava tekijä eristeissä. Polarisaatio ilmenee myös eristeen varautumisena ja varauksen purkautumisena, tämä on yksi ilmiö jota hyödynnetään dielektrisen vasteen tutkimisessa. Eristeille on yleensä ominaista johtavuuden kasvu lämpötilan noustessa ja siksi myös tehohäviöt kasvavat eristeen lämpötilan noustessa. Terveen eristyksen dielektriset häviöt ovat vakiotaaajuudella ja vakiolämpötilassa likimain verrannolliset sähkökentän voimakkuuden neliöön. Eristysaineiden dielektriset arvot muuttuvat iän, käyttöpaikan ja -tavan myötä. Eristeiden heikkeneminen saattaa johtaa suuriin taloudellisiin kustannuksiin käyttöpaikasta riippuen. Eristeet on syytä tarkistaa säännöllisesti, jotta ei näin pääse tapahtumaan. Kaikki sähköverkon osat tulee tarkistaa kuten muuntajat, generaattorit, sähkömoottorit, johdot kuin kaapelitkin.

(Estola, Maakaapeli kunnossapito, 2010, 14)

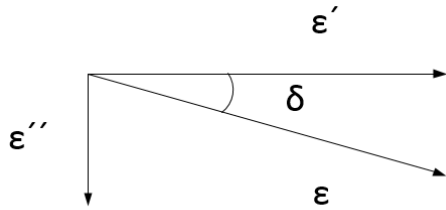
Eristysrakenteet voidaan useimmiten ajatella vastaavan kondensaattoria. Sen sijaiskytkentänä voidaan vaihtojännitteellä käyttää kapasitanssin C_a ja resistanssin R_a rinnankytkentää.



Kuva 1 Eristyksen sijaiskytkentä

(Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen, Palva, Suurjännitetekniikka, 1996, 51)

Suuretta $\tan \delta$ nimitetään eristeen häviökertoimeksi ja suuretta δ häviökulmaksi.



Kuva 2 Kompleksinen permittiviteetti ja häviökulma

Kaava 1
$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon \angle -\delta$$

Eristeen permittiviteetti on kuvan 2 mukaisesti kompleksinen siten, että ε' määräytyy polarisaatiosta (sijaiskytkennän kapasitanssista C_a) ja ε'' johtavuudesta (sijaiskytkennän resistanssista R_a). Eristyksen häviökulma δ kuvaa sitä, miten paljon eriste eroaa ideaalisesta eristeestä. Käytännössä eristeiden johtavuus on todella pieni, joten häviökulma määräytyy lähes kokonaan eristeen polarisaatiosta, joten $\varepsilon \approx \varepsilon'$.

(Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen, Palva, Suurjännitetekniikka, 1996, 51)

Häviökulmalle δ pätee

Kaava 2
$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$$

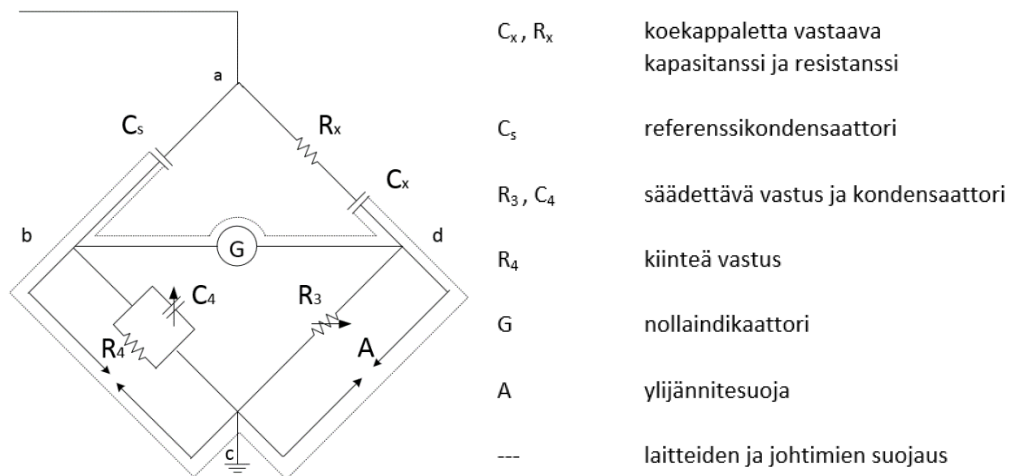
Eristyksen häviökertoimen $\tan \delta$ mittaaminen vaihtojännitteellä on yleisesti käytetty menetelmä suurjännitelaitteiden eristysrakenteiden kunnon arvioinnissa. $\tan \delta$ -mittaus soveltuu hyvin esimerkiksi läpivientieristimien, mittamuuntajien, kaapelien ja kondensaattoreiden kunnon valvontaan.

Suurjännitelaitteiden kapasitanssia ja häviökerrointa on perinteisesti mitattu, joko Scheringin sillalla tai virtavertailijasillalla. Myös muitakin siltakytkentöjä käytetään. Tässä työssä siltamittauksessa mitattavaa testikappaletta verrataan tunnettuun referenssiin eli mittanormaaliin. Tavallisesti kapasitanssin mittanormaalina käytetään painekaasukondensaattoria ja häviökertoimen mittanormaaliin normaalikondensaattoria ja sen kanssa sarjassa olevan vastuksen yhdistelmää.

(Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen, Palva, Suurjännitetekniikka, 1996, 186)

3 Scheringin silta

Scheringin silta on perusrakenteeltaan yksinkertainen ja sillä voidaan häviökertoimen δ lisäksi mitata eristysrakenteen resistanssi ja kapasitanssi. $\tan \delta$ arvo voidaan myös määrittää laskennallisesti virrasta ja jännitteestä.



Kuva 3 Scheringin silta

Kuvassa 3 mitattava kappale on kuvattu sitä vastaavalla ekvivalenttipiirillä, vastuksen R_x ja kondensaattorin C_x sarjakytkennällä. C_s on referenssikondensaattori (normaalikondensaattori), jonka dielektriset häviöt ovat mitättömän pienet verrattuna koekappaleeseen. Liittimeen a kytketty suurjännite kohdistuu pääasiassa kondensaattoriin C_s ja koekappaleeseen. Muut komponentit voivat olla mitoitettuja pienemmälle jännitteelle, ja ne voidaan sijoittaa suurjännitealueen ulkopuolelle. Pienjänniteosilla on kuitenkin oltava ylijännitesuojaus koekappaleessa tapahtuvan yli- tai läpilyönnin varalta.

Koejännitteen muodon poiketessa puhtaasta sinikäyrästä pitää sillan tasapainotilaa ilmaisevan nollaindikaattorin olla perustaajuuden kohdalla kapealla taajuuskaistalla toimiva herkkä laite. Muussa tapauksessa koejännitteen sisältämät yliaallot saattavat liiaksi vaikeuttaa tasapainotilan löytämistä. Vaihtoehtona on yliaallojen suodattaminen. Pienjänniteosat on sijoitettu suojakoteloon, joka haja- ja mittauskaapelin kapasitanssin kompensoimiseksi on kytketty samaan potentiaaliin pisteen c kanssa. R_3 on säädettävä vastus ja C_4 on säädettävä kondensaattori. Vastuksen R_3 ja kondensaattorin C_4 arvoja muutellaan vuorotellen, kunnes sillalle löydetään tasapainotila.

Schering sillan tasapainoehto on

$$\text{Kaava 3} \quad \frac{Z_{ab}}{Z_{bc}} = \frac{Z_{ad}}{Z_{dc}}$$

missä

$$\text{Kaava 4} \quad Z_{ab} = -j \left(\frac{1}{\omega C_5} \right)$$

$$\text{Kaava 5} \quad Z_{bc} = R_4 \frac{\left(-j \left(\frac{1}{\omega C_4} \right) \right)}{\left(R_4 - j \left(\frac{1}{\omega C_4} \right) \right)}$$

$$\text{Kaava 6} \quad Z_{ad} = R_x - j \left(\frac{1}{\omega C_x} \right)$$

$$\text{Kaava 7} \quad Z_{dc} = R_3$$

Kun yhtäsuuruusmerkin vasemman ja oikean puolen reaaliosat keskenään ja imaginääriosat keskenään merkitään yhtä suuriksi, tasapainoehdosta seuraa

$$\text{Kaava 8} \quad C_x = \frac{C_5 R_4}{R_3}$$

$$\text{Kaava 9} \quad R_x = \frac{C_4 R_3}{C_5}$$

Tästä seuraa edelleen

$$\text{Kaava 10} \quad C_x R_x = C_4 R_4$$

Häviökertoimeksi $\text{Tan } \delta$ saadaan

$$\text{Kaava 11} \quad \text{Tan } \delta = \omega C_x R_x = \omega C_4 R_4$$

(Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen, Palva, Suurjännitetekniikka, 1996, 187)

3.1.1 Nollaindikaattori

Sillan nollaindikaattoriksi soveltuu parhaiten laite, jossa on kaksinkertainen suojaus ja joka on mahdollisimman herkkä ja selektiivinen juuri käytetyllä mittaustaajuudella. Lisäksi on toivottavaa, että laitteen liitännän kapasitanssi maata vastaan on mahdollisimman pieni. Nollaindikaattoriksi sopii lähinnä oskilloskooppi tai värähdingalvanometri. Oskilloskoopin käytöstä on eräitä lisäetuja kuten se, että kapasitanssi ja $\tan \delta$ voidaan mitata toisistaan riippumattomasti. Lisäksi tällöin voidaan käyttää sisääntulomuuntajaa, jonka kautta jännite ohjataan etuvahvistimelle, suoritetaan tarpeellinen yliaaltojen suodatus sekä päätevahvistus ja vasta tämän jälkeen jännite ohjataan katodisädeputken pystypoikkeutuslevyille. Jos vaakapoikkeutuslevyille tuodaan tarkoin saman taajuinen jännite ja vaiheensäädin on oikeassa asennossa, saadaan näiden jännitteiden yhteisvaikutuksesta kuvapinnalle Lissajous-käyrä, joka on ellipsi. Säättämällä toista mittalaitteen tasapainoituskomponenttia supistuu ellipsi, kunnes siitä on jäljellä ainoastaan isoakseli. Säättämällä toista sillan tasapainoitussäädintä saadaan tämä akseli vaakasuoraan, jolloin tasapainoitus on suoritettu loppuun. Kaksoissuojatussa nollaindikaattorissa on sisempi suojaus yhdistettävä mittalaitteen sisempään suojaukseen.

(AEG, Schering silta 50Hz, 7)

3.1.2 Normaalikondensaattori

Scheringin sillan toimintaperiaatteeseen kuuluu, että se mittaa koekappaleen C_x (kuva 3) ja normaalikondensaattorin C_s (kuva 3) $\tan \delta$ arvojen erotuksen. Täten siis virhe normaalikondensaattorin häviökertoimessa esiintyy yhtäsuurena virheenä mittaustuloksessa. On ymmärrettävää, että normaalikondensaattorin tulee tästä johtuen olla kapasitanssiltaan vakio ja häviökulmaltaan mahdollisimman pieni. Painekaasukondensaattori on osoittautunut nämä vaatimukset parhaiten täyttäväksi. Kondensaattorin suojauksen suhteen on huomattava, että kaksoissuojattu mittasilta edellyttää kaksoissuojattua normaalikondensaattoria tai suojaelektrodilla varustettua kondensaattoria. Suojaelektrodin kapasitanssi tasapainotetaan apusillan avulla.

(AEG, Schering silta 50Hz, 7)

3.2 Häiriöjännitteet

Scheringin sillassa käytetään poikkeuksetta hyvin herkkää nollaindikaattoria, koska vain täten on mahdollista saada silta kyllin herkäksi myös pienillä mittausjännitteillä. Tästä on kuitenkin seurauksena, että sähköisesti herkkä indikaattori tulee herkäksi myös häiriöjännitteille. Värähdingalvanometri, jonka tulee olla herkkä myös mekaanisesti, on lisäksi suojattava mekaanisia häiriöitä vastaan. Oskilloskooppi-indikaattori ei ole tässä suhteessa yhtä vaativainen. Sähköisiä häiriösuureita, jotka saattavat muuttaa paljonkin tasapainotusta, aikaansaavat muun muassa ulkopuolisten kenttien indusoimat jännitteet, kapasitiivisesti kytkeytyvät ulkopuoliset jännitteet sekä vuotovirrat.

(AEG, Schering silta 50Hz, 10)

Mahdolliset häiriöt voidaan eliminoida seuraavasti. Jännite katkaistaan. Suojatut johtimet, joilla koekappale C_x (kuva 3) ja normaalikondensaattori C_s (kuva 3) on yhdistetty mittalaitteen, irrotetaan mittalaitteesta ja kytketään sen maadoitusliittimeen. Yhden maadoitusliittimen sekä liittimen V tulee edelleen olla maahan kytkettynä. Nollaindikaattori kierretään herkimpään asentoonsa.

(AEG, Schering silta 50Hz, 10)

Jos indikaattori antaa poikkeaman, kun jännite katkaistaan,

niin se voi aiheutua, joko verkkoliitännän kautta tulevasta häiriöstä tai siltaan indusoituneesta jännitteestä, joka saattaa olla suojakytkimen, kuristimen, muuntajan, koneen, vahvavirtajohtimen tai indikaattorin itsensä aiheuttama. Verkkojännitteen vaikutus nollaindikaattoriin on helposti todettavissa, kun indikaattorin sisääntulo oikosuljetaan. Jos syöttöjännite ei tällöin vaikuta indikaattorin osoitukseen, niin häiriöjännite on todennäköisesti edellä mainittujen laitteiden indusoimaa. Tämän jälkeen jatketaan tutkimuksia, kunnes todennäköinen häiriölähde saadaan määritetyksi. Kun häiriön aiheuttaja on saatu paikallistettua, on mittasilta siirrettävä mahdollisimman kauaksi kyseisestä laitteesta ja jos tämä ei ole mahdollista, on pyrittävä siihen, että häiriölähde on mittauksen ajan jännitteettömänä. Suositusarvona on mainittu, että nollaindikaattoria ei tulisi pitää 0,5m lähempänä mittalaitetta.

(AEG, Schering silta 50Hz, 10-11)

Jos indikaattori antaa poikkeaman, kun mittausjännite kytketään,

niin saattaa tämä johtua siitä, että suurjännitepotentiaalinen ja mittalaitteen välillä on kapasitiivinen kytkentä tai, että mittalaite on suurjännitemuuntajan magneettikentässä. Kapasitiivinen vaikutus voidaan poistaa, kun mittalaite ja nollaindikaattori erotetaan suurjänniteosista metalliverkolla, kun taas suurjännitemuuntajan magneettikentän vaikutusta nollaindikaattoriin voidaan pienentää lisäämällä niiden välimatkaa.

(AEG, Schering silta 50Hz, 11)

Jos häiriön vaikutusta nollaindikaattoriin ei saada täysin poistetuksi, aiheutuu tästä mittausvirhe, jonka suuruus voidaan määrittellä seuraavasti. Liitäntäjohtimien C_x , C_s ja S (kuva 3) ollessa maadoitettuna todetaan indikaattorin poikkeama mittausjännitteellä. Tämän jälkeen liitäntä palautetaan normaaliksi, ja suoritetaan sillan tasapainottaminen normaalilla tavalla. Tasapainotuksen jälkeen säädetään $\tan \delta$ säädintä niin paljon, että indikaattorin poikkeama on sama kuin edelläkin. Saatujen $\tan \delta$ arvojen erotus on häiriön aiheuttamaa virhettä. Samalla tavalla voidaan määrittää myös kapasitanssin mittauksessa syntyvä virhe. Erona vain se, että tällöin maadoitetaan säätövastuksen R_3 (kuva 3) liitäntäjohtin.

(AEG, Schering silta 50Hz, 11)

Häiriöjännitteen eliminoiminen, kun nollaindikaattorina on oskilloskooppi

Kun nollaindikaattorina käytetään oskilloskooppia, on häiriöjännitteen vaikutus $\tan \delta$ tasapainotukseen eliminoitavissa, mikäli häiriö on kyllin pieni ja suuruudeltaan muuttumaton. Tämä häiriöjännite voidaan selvittää Lissajous- kuvion avulla seuraavasti:

Ensiksi tasapainotetaan Schering-silta maksimijännitteellä säätimillä R_3 , δ ja C_4 ($\tan \delta$), kunnes indikaattorin kuvapinnalla on vaakasuora viiva. Indikaattorin vaiheensäädin asetellaan siten, että säätimen C_4 ($\tan \delta$) muutos aikaansaa ainoastaan viivan kääntymisen. Kun silta on jälleen tasapainotettu, saadaan säätimien R_3 tai δ säädöllä kuvapinnalle vaakasuora ellipsi. Tällöin on indikaattori niin aseteltu, että kapasitanssi (R_3 , δ) ja $\tan \delta$ (C_4) voidaan tasapainottaa toisistaan riippumatta. Vaakasuora viiva kuvapinnalla on normaalitapauksessa tasapainossa olevan sillan tunnus. Kyseessä oleva häiriöjännite voidaan tasapainottaa Lissajous-kuvion avulla kohdan 3.2.1 mukaan.

(AEG, Schering silta 50Hz, 11)

4 Kaapelien testaukset

Ennen kuin yksikään sähkökaapeli pääsee myyntiin on sen täytettävä standardien asettamat vaatimukset. Koulun sähkölaboratorioon tuleva kaapeli AHXCMK-WTC/PE 12/20(24) kV perustuu standardiin CENELEC HD 620 S2:2010 Part 10 Section F.

4.1 Testi olosuhteet

Ympäristön lämpötila

Testit tulee tehdä $20 \pm 15^\circ\text{C}$ lämpötilassa ellei suoritettavan testin lisätiedot määritä toisin.

Taajuus ja aallonmuoto

Ellei IEC 60840 -standardissa toisin määrätä niin testijännitteen taajuus voi vaihdella välillä 49-61 Hz. Jännitteen aallonmuodon tulee olla sinimuotoista ja mittaustulokset ovat tehollisarvoja.

Syöksyjännite

Standardin IEC 60230 mukaan syöksyjännite testin keston on oltava välillä 1-5 μS . Aika puoliarvon mittaamiseen puolestaan on $50 \pm 10\mu\text{S}$ niin kuin standardissa IEC 60060-1 määrätään.

Testijännitteen ja nimellisjännitteen välinen yhteys

Tämän standardin testijännitteet perustuvat sille oletukselle, että kaapelit ja lisälaitteet ovat IEC 60183 määrittämissä kategorioissa A tai B.

Kaapelin johtimen lämpötilan määrittäminen

On suositeltavaa että yhtä testaus tapaa, jotka on kuvattu liitteessä A, käytetään määrittämään johtimen lämpötila.

(IEC 60840, 2011, 14)

4.2 Kaapeleille suoritettavat kokeet

Kaikille tuotantoerille tehtävät testit jaetaan kahteen osaan näytekokeisiin ja rutiinikokeisiin.

Rutiinikokeet tehdään jokaiselle tehtaalta lähtevälle kaapelille. Rutiinitestit sisältävät tyypillisesti jännitekokeen, osittaispurkausmittauksen ja resistanssien mittauksia. Kaapelityypistä riippuen myös kapasitanssi voidaan mitata. AHXCMK-WTC/PE -kaapelin kohdalla tähän ei kuitenkaan ole standardivaatimusta. Rutiinikokeet lueteltuina.

- a) Osittaispurkausmittaus
- b) Jännitekoe
- c) Kaapelin vaipan testaus

Näytekokeet sisältävät erilaisia mekaanisia kokeita ja mittauksia ja ne tehdään ainakin 10 % tuotantoerästä. Tarkoittaen, että esimerkiksi kymmenen kelan työssä vähintään yhdestä kelasta otetaan näytetestit.

Näytekokeet lueteltuina.

- a) Johdin tutkimus
- b) Johtimen ja johdinsuojan resistanssimittaus
- c) Johtimen eristeen ja ulkovaipan paksuuden mittaus
- d) Johtimen metallisuojaan paksuuden mittaus
- e) Johtimien halkaisijoiden mittaukset (jos tarvitsee)
- f) Lämmitystesti
- g) Kapasitanssin mittaus
- h) Eristyksen tiheys mittaus
- i) Syöksyjännitetesti
- j) Vesitiiviystesti
- k) Testataan komponentit, jotka ovat kaapelin ulkovaipan kanssa galvaanisesti yhdessä

(IEC 60840, 2011, 15-20)

Eristysresistanssin mittauksesta on alalla ristiriitaisia näkemyksiä. Joissakin verkkoyhtiöissä on mitattu keskijännitekaapeleiden eristysresistanssi 5kV tasajännitteellä. Tällöin kirjallisuudessa mainitaan uusille 20kV keskijännitekaapeleille eristysresistanssin minimi arvoksi 300 GΩm kilometriä kohden. ($R_e = R \text{ [M}\Omega] \cdot l \text{ [km]}$)

Kyseisellä mittauksella saatu mittaustulos paljastaa vakavat eristys viat mutta ei kuitenkaan anna yksiselitteistä kuvaa eristyskunnosta vähäisempien vaurioiden osalta.

Lisäksi on esitetty näkemyksiä, ettei tasajännitteellä tehtävä mittaaminen sovi lainkaan polymeerieristeisten kaapeleiden testaamiseen, koska tasajännitteellä eriste polarisoituu. Polarisoitumisen seurauksena syntyvät sähköstaattiset varaukset saattavat aiheuttaa eristeaurioita jopa alun perin ehjään kaapeliin.

Vaihtoehtoisina mittaamenetelminä eristysresistanssin mittaukselle on kirjallisuudessa esitetty muun muassa eristeen dielektrisen vasteen mittaaminen, osittaispurkausten mittaaminen ja FTIR-analyysi. Vasteen mittaamisella tarkoitetaan yleisesti jonkin herätteen aiheuttaman muutoksen mittaamista järjestelmällä. Dielektrisen vasteen mittaaminen on mahdollista, koska jänniteheräte aiheuttaa eristeessä dielektrisiä ilmiöitä, jotka voidaan mitata. Osittaispurkauksella tarkoitetaan sähköpurkausta, joka ei oikosulje elektrodiväliä vaan esiintyy rajoitetulla alueella ja sammuu nopeasti. Eristeen sisäinen osittaispurkaus syttyy kun sähkökentän voimakkuus ylittää paikallisesti eristeen sähkölujuuden. Fourier transformed infrared (FTIR) analyysi on tapa selvittää näytteestä aineen rakennetta ja koostumusta, se soveltuu hyvin orgaanisten aineiden ja polymeerien tutkimiseen. Menetelmä perustuu aineen infrapuna-säteilyn absorptiospektrin mittaamiseen, erilaiset molekyylien sidokset ja eri aineet absorboivat infrapuna-säteilyä eri energioilla. (Estola, Maakaapelien kuntomittaukset, 2010, 14,17,21)

Näistä käytännön mittauksiin soveltuvin lienee osittaispurkausmittaus, jolla voidaan löytää ja paikallistaa kaapeleissa esiintyvät piilevät osittaispurkaukset, joista voi edelleen kehittyä vesipuita ja mahdollisia läpilyöntejä.

Useat kaapelivalmistaja kuitenkin suosittelvat IEC 60502-2 mukaista jännitekoetta, jossa esitetään kaksi vaihtoehtoista testaustapaa:

1. Käyttöaajuinen pääjännitteen suurunen 5 minuutin testi johtimen ja metallivaiipan välillä
2. 24 tunnin kestotesti käyttöjännitteellä.

(Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 1-20kV suurjännitelaitteistojen käyttöönotto-tarkastusohjeisto, 2013, 13)

5 Tettex 2877 mittasillalla tehtävät tan δ ja kapasitanssimittaukset

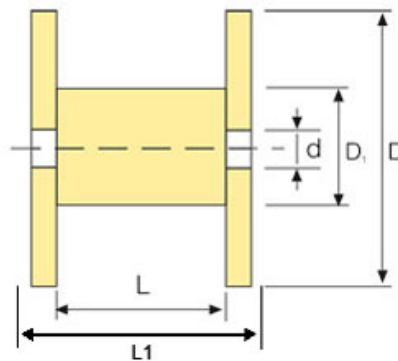
5.1 Mittausjärjestelyt

Mittattavana kappaleena toimii Reka Oy:n alumiinista valmistettu vesitiivis kolmijohdiminen AHXCMK-WTC/PE 12/20(24) kV voimakaapeli. Kaapelin pituus on 20 metriä ja kaapelille laskettu kokonais kapasitanssi on 0,0046μF liitteen 1 mukaisesti.

$$C_x = 0,23 (\mu F / km) \cdot 0,02 km = 0,0046 \mu F \quad (\text{Liite 1})$$

Edellä mainitun suuruksella kapasitanssilla mittasillan tarkkuus on 0,01pF.

Kyseessä oleva kaapeli vaatii 580 millimetrin taivutussäteen (Liite 1), jolloin kaapelikelan rummun halkaisija on täten oltava vähintään 1160 millimetriä. Seuraavassa kuvassa 4 on esitetty Reka Oy:n kaapelikelojen mekaaniset tiedot.



KELATYYPPI	K14	K16	K18	K20	K22	K24	K26	K28	K30
Laipan halkaisija mm, D	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Rummun halkaisija mm, D1	800	950	1100	1300	1400	1400	1500	1500	1500
Sisäleveys mm, L	850	850	850	1000	1000	1000	1200	1350	1500
Keskireikä mm, d	104	104	132	132	132	132	132	132	132
Ulkoleveys mm, L1	982	1018	1075	1188	1188	1200	1448	1650	1800
Kulj. tilav. m ³ ilman laud.	1,92	2,61	3,48	4,75	5,75	6,91	9,79	12,94	16,20
Kulj. tilav. m ³ laudoitettu	2,07	2,78	3,69	5,00	6,02	7,21	10,18	13,42	16,77
Omapaino kg	115	195	230	340	410	450	900	1180	1500

Kuva 4 Kaapelikelojen mekaaniset tiedot

Kela K20 on ensimmäinen, joka täyttää vaaditun rummun halkaisijan. Kela, jolla kaapelin toimitus kuitenkin tehdään, on kuitenkin kela K18. Kela on kaapelin lopullinen asennuskohde eli mittaukset suoritetaan kaapelin ollessa kelalla ja käyttämämme mittausjännitteet ovat sen verran matalat, että kaapelin voidaan laittaa edellä mainitulle kelal-

le. Kaapelin saaminen pienemmälle kelalle on logistisesti merkittävää, koska jos sen korkeus saadaan kuljetuksen ajaksi noin 1950 mm, niin se mahtuu juuri ja juuri sisälle laboratorioon.

Mitattavan kaapelin mittauskaapeleina tulee käyttää koaksiaalikaapeleita hajakapasitanssien vaikutuksien minimoimiseksi.

Mittauskytkentöjen muuttelua helpottamiseksi asennetaan AHXCMK-WTC/PE 12/20(24) kV kaapelin molempiin päihin kaapelipäätteet. Kaapelin johdinhalkaisia on 14,2 mm (Liite 1), joten tuote HIT3.2402L täyttää tarpeemme.

HIT3 sisäpäätepakkaukset 3-johtiminen PEX

Päätepakkausta käytetään PEX-eristeisen, Cu-lankasuojalla varustetun keskijännitekaapelin päättämiseen sisätiloissa. Pakkaus soveltuu esim. AHXCMK-WTC, AXCEL ja Axclight kolmijohdinkaapeleille.

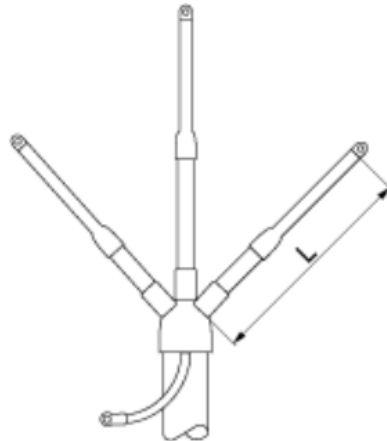


Tuotekoodi	EAN	Snro	Johdinkoko mm ²	Päätteen pituus mm	Laipan halkaisija mm	Laippojen lkm / vaihe	Pakkaus/kpl
12 kV ilman kaapelikenkiä							
HIT3.1201	6418677444395	5221074	Al/Cu 10-35	500-1100			
HIT3.1202	6418677444418	5221076	Al/Cu 35-95	500-1100			
HIT3.1203	6418677444432	5221078	Al/Cu 95-240	500-1100			
HIT3.1204	6418677444456	5221080	Al/Cu 150-300	500-1100			
12 kV kaapelikengillä							
HIT3.1201L	6418677444401	5221110	Al/Cu 10-35	500-1100			
HIT3.1202L	6418677444425	5221112	Al/Cu 35-95	500-1100			
HIT3.1203L	6418677444449	5221114	Al/Cu 95-240	500-1100			
HIT3.1204L	6418677444463	5221116	Al/Cu 150-300	500-1100			
24 kV ilman kaapelikenkiä							
HIT3.2402	6418677444531	5221090	Al/Cu 10-95	500-1100	90	1	
HIT3.2403	6418677444555	5221092	Al/Cu 95-240	500-1100	115	1	
HIT3.2404	6418677444579	5221094	Al/Cu 150-300	500-1100	115	1	
24 kV kaapelikengillä							
HIT3.2402L	6418677444548	5221126	Al/Cu 10-95	500-1100	90	1	
HIT3.2403L	6418677444562	5221128	Al/Cu 95-240	500-1100	115	1	
HIT3.2404L	6418677444586	5221130	Al/Cu 150-300	500-1100	115	1	

Kuva 5 Ensto Oy:n sisäasennus kaapelipäätte- katalogi keskijännitekaapeleille

Tuotekortti:

Tyyppi	HIT3.2402L
EAN	6418677444548
Snro	5221126
Nimi	Kutistesisäpäätte 12/20 (24) kV Al/Cu 10-95 mm ² lämpökutiste3-johtimiselle kaapelille kaapelikengillä



Liitteet

PDF [PDF-Tuotekortti](#)

PDF [Asennusohje](#)

Tekniset tiedot

Johdinkoko mm²	Al/Cu 10-95
Laippojen lukumäärä vaihetta kohti	1
Laipan halkaisija mm	90
Päätteen pituus L mm	500-1100
Kosketussuojan koko mm²	Al/Cu 6-50

[Kuva 6 Kaapelipäätteen tuotekortti](#)

Pakkaukseen sisältyvät momenttiruuvikaapelikengät alumiini- ja kuparijohtimille sekä kaikki päättämiseen kuuluvat tarvikkeet: momenttiruuvikaapelikengä kaapelin Cu-lankasuojalle, massat, teipit, lämpökutistettavat kentänohjausletkut, eristävät pintavirrankestävät haaroitussuoja, letkut ja laipat.

(Liite 2)

5.2 Kytkenöt ja mittausasetukset

Mittauskytkennät rakennetaan mittasillan manuaalista löytyvän standard- kytkentäku- van mukaisesti, jota voidaan käyttää normaalitapauksissa kun mitattavan laitteen kautta kulkeva virta ei ylitä 15 A. Mitattavan laitteen kautta kulkeva virta lasketaan TETTEX Type 2877 manuaalin sivulla 16 esitetyn kaavan mukaan.

$$I_X = U_{TEST} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_X = 24000 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,0046 \cdot 10^{-6} = 0,0347A$$

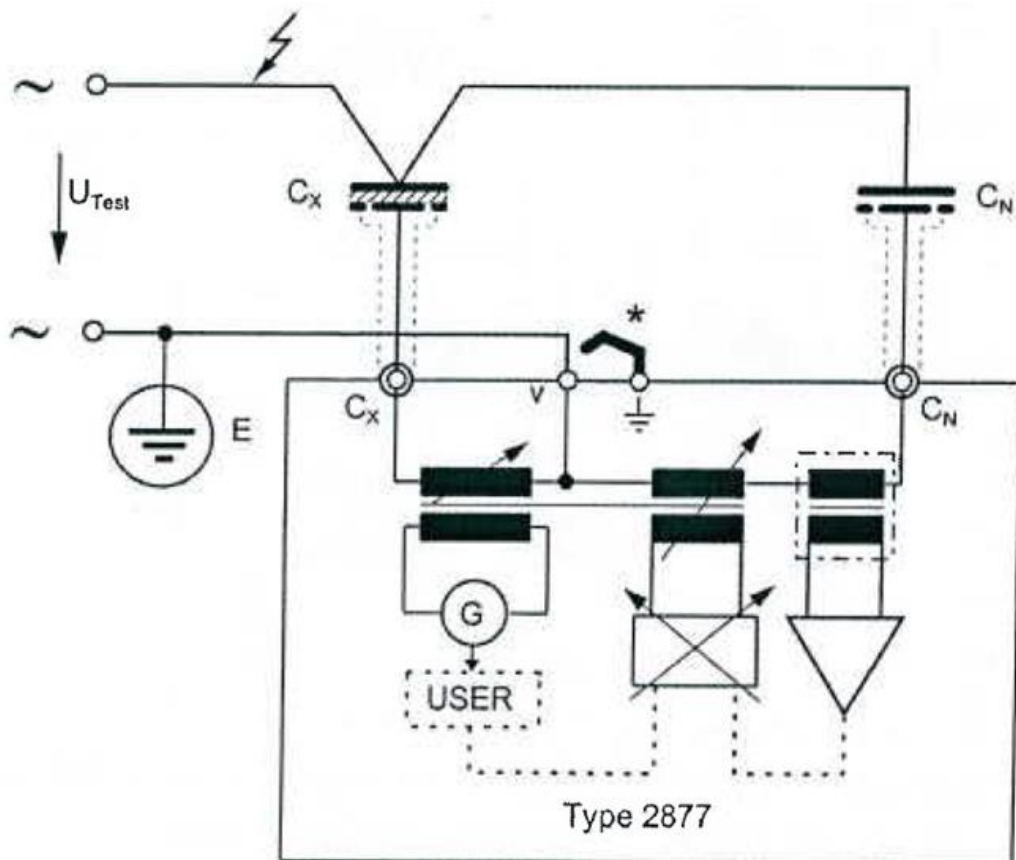
missä

I_X on koekappaleen kautta kulkeva virta [A]

U_{TEST} on käytetty testijännite [V]

f on taajuus [Hz]

C_X on koekappaleen kapasitanssi [μF]



Kuva 7 Normaalit mittausjärjestelyt kapasitanssi- ja häviökulmamittauksissa

(Tettex instrument, instruction manual, 37)

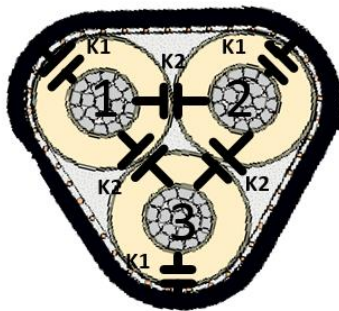
Mitattava kaapeli AHXCMK-WTC/PE (C_X) kytketään sillan suurjänniteosan toiseen haaraan ja normaalikondensaattori (C_N) toiseen. Työssä käytetään normaalikondensaattorina TAMK:n NK100 painekaasukondensaattoria, jonka $C_N = 100\text{pF}$. Mittasillan ta-
kapaneelin maadoituspiste kytketään laboratorion maadoitukseen.

Mittasilta on varsin helppokäyttöinen sen automaattitasapainotuksen vuoksi. Laitteeseen asetellaan normaalikondensaattorin kapasitanssi, mittaускаapeleiden pituus ja valitaan käytettävä mittauskytkentä. Tässä tapauksessa valitaan siis Standard measuring setup. Asetusten jälkeen silta tasapainottaa itsensä ja antaa tulokset näyttöön.

5.3 Mittaukset

5.3.1 Yleistä

3-johdinvahvavirtakaapelin käyttökapasitanssi C_K muodostuu kuvan 8 mukaisista osakapasitansseista K_1 ja K_2 .



Kuva 8 Havainnollistava kuva kaapelin osakapasitansseista.

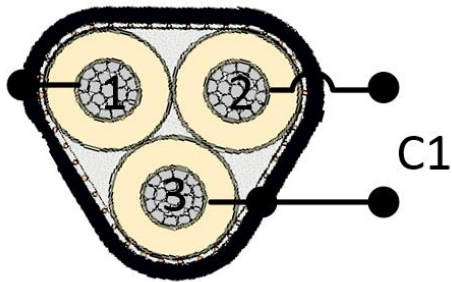
$$C_K = K_1 + 3K_2$$

K_1 ja K_2 :n määrittämiseksi on suoritettava kaksi mittausta, joiden tuloksista voidaan määrittää K_1 ja K_2 ja edelleen C_K .

5.3.2 Suoritettavat mittaukset

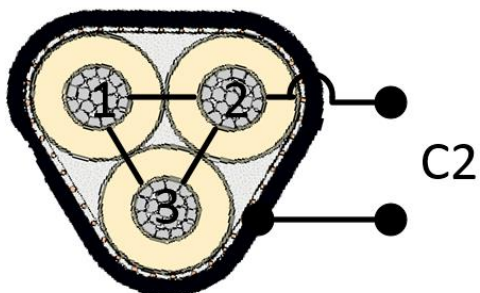
Mitataan C_1 ja C_2 kuvien 9 ja 10 mukaan

C_1 on kapasitanssi, joka mitataan yhden vaiheen ja muiden vaiheiden sekä vaipan väliltä.



Kuva 9

C_2 on kapasitanssi, joka mitataan yhteen kytkettyjen vaiheiden ja vaipan väliltä.



Kuva 10

5.3.3 Käyttökapasitanssien laskeminen

C_1 ja C_2 :sta voidaan määrittää K_1 ja K_2 , kun K_1 ja K_2 sijoitetaan C_K :n lausekkeeseen, saadaan C_K lausuttua C_1 ja C_2 :n avulla.

$$C_K = \frac{9C_1 - C_2}{6}$$

5.4 Huomioita

Maadoitukset

Laitteen takapaneelissa on erilliset maadoitusliittimet laitteen maalle ja ”mittausmaalle” (liitin V kuva 7). Koska laitteen päämaadoitusliitin tulee aina liittää laboratorion maahan, aiheuttaa maadoitusliittimien yhdistäminen maasilmaan mittauspiiriin, mistä saattaa jossakin tapauksissa aiheutua häiriötä mittaukseen.

Mittausjohtimet

Mitattavan kaapelin liitosjohdot on syytä olla pieniresistanssisia, koska niissä tapahtuvat häviöt summautuvat koekappaleen häviöihin ($\tan \delta$ mittaus).

Hajakapasitanssit

Mittausjärjestelyissä esiintyvät hajakapasitanssit saattavat aiheuttaa merkittäviäkin virheitä mittaustuloksiin. Koekappaleeseen kiinnittyvät mittauskaapelit on syytä olla koaksiaalikaapelia hajakapasitanssin minimoimiseksi.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Tampereen ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan koulutusohjelman laboratoriomittauksiin uusi suurjännitetyö ja saada otettua Tettex Instrument Type 2877- kapasitanssimittasilta hyötykäyttöön. Tampereen ammattikorkeakoulun kustantamien IEC- standardien avulla saatiin suunniteltua standardien asettamat vaatimukset täyttävä kaapelin kapasitanssi- ja häviökerroin mittauskäyttämättömälle kapasitanssimittasillalle.

Laajuudeltaan työ ei ollut ylitsepääsemättömän suuri. Hyvien lähteiden löytyttyä, työ eteni kuin omalla painollaan ja sen parissa työskenteli mielellään. Sain hyvää ohjausta koko työn ajan niin Tampereen ammattikorkeakoulun puolelta kuin yritysmaailmastaakin. Suurinta päänvaivaa aiheuttivat IEC- standardien ja kapasitanssimittasillan manuaalin ymmärtäminen, koska ne olivat englanniksi. Laitimassani laboratoriotyöohjeessa (Liite 3) on opastettu mittausten suorittaminen siten, että kapasitanssimittasillan manuaalia ei niiden suorittamiseen tarvita.

Häviökerroin mittaus on merkittävässä roolissa suurjännitelaitteiden kunnan valvonnassa, joten tästä syystä opinnäytetyön aihe on mielestäni erittäin korrekti. Tampereen ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan koulutusohjelman opetussuunnitelma uudistuu lukuvuotena 2015-2016. Toivottavasti tämä laboratoriotyö pääsee silloin opetuskäyttöön, joko omana työnään tai osana jo käytössä olevia töitä.

7 Lähteet

AEG SCHERING-SILTA 50Hz

Alatalo, P., Matikainen, K., Strengell, R. 1960. Ohje voimakaapeleiden käyttökapasitanssin määrittämiseksi valmistustarkastuksien aikana. Suomen kaapelitehdas osakeyhtiö.

Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., Palva, V. 2003. Suurjänniteteekniikka. 2. Painos. Helsinki: Otatieto.

Ensto Oy. Keski-jännitekaapeleiden sisäasennuksiin suunnitelluista kaapelipäätökatalogista. Luettu 3.4.2014.

http://products.ensto.com/catalog/21178/HIT3%20sis%C3%A4p%C3%A4%C3%A4tepakkaukset%203-johtiminen%20PEX_FIN1.html

Ensto Oy. Kaapelipäätteen tuotekortista. Kuvakaappaus. Tekniset tiedot PDF. Asennusohje PDF. Luettu 11.4.2014.

http://products.ensto.com/catalog/21178/product/15741/HIT3.2402L_FIN1.html

Estola, J. 2010. Maakaapelien kuntomittaukset. Sähkötekniikan osasto Lappeenranta. Lappeenrannan tekninen yliopisto. Kandidaatintyö.

Ignatius, H. 1995. Sähkölaboratoriot V suurjännitetyöt. 2. Painos. Helsinki: Tepec

IEC 60228-11:2004 Conductors of insulated cables. Edition 3.0.

IEC 60502-2-2:2014 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1kV up to 30kV. Edition 3.0.

IEC 60840-11:2011 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 30kV up to 150kV – Test methods and requirements. Edition 4.0.

Reka Oy. Kaapelikelojen mekaaniset mitat taulukosta. Luettu 27.3.2014

<http://www.reka.fi/products/676>

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2013. 1-20kV suurjännitelaitteistojen käyttöönotto tarkastusohjeisto. 3. Painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Teknillinen korkeakoulu. Suurjännitelaboratorio työohje. Työ n:o 2.2 Eristeiden ja eristysrakenteiden häviökertoimen mittaaminen. 2. Painos.

Tettex instruments. Fully Automatic Capacitance and Loss Factor $\tan \delta$ Precision Measuring Bridge Type 2877. Instruction Manual.

8 Liitteet

Liite 1. Kaapelin tekniset tiedot

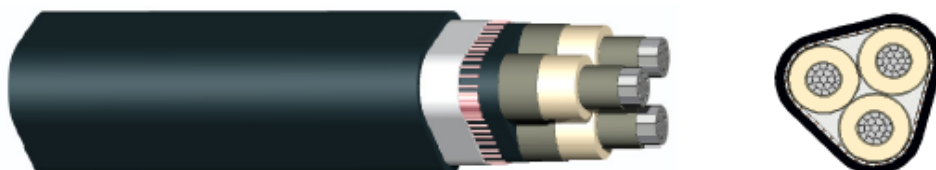


TECHNICAL SPECIFICATION

15.1.2013 JKI

AXLJ-F
AHXCMK-WTC/PE 24 kV
 12/20(24) kV
 CENELEC HD 620 S2:2010 Part 10
 Sections F and M

Page 1/2



Watertight Three-core Aluminium Power Cable

CONSTRUCTION

Conductor:	Watertight, round stranded and compacted aluminium conductor (IEC 60228 class 2).
Conductor screen:	Semiconductive cross-linked polyethylene (XLPE) with nominal thickness of 0,5 mm.
Insulation:	Extruded cross-linked polyethylene having nominal thickness of 5,5 mm.
Insulation screen:	Semiconductive XLPE with nominal thickness of 0,5 mm. Three insulated conductors are laid up together. A lapped layer of semi-conducting water swellable tape as a binder.
Metallic screen:	Layer of helically wound copper wires with a copper equalization tape. Lapped plastic tapes over the metallic screen.
Sheath:	Black weather resistant polyethylene (PE-LLD).
Temperature limits:	Max. conductor temperature 90 °C Max. short circuit temperature 250 °C (duration not exceeding 5 sec.) Min. temperature during handling and installation - 20 °C Min. temperature during transport - 40 °C
Applications:	Cable is intended for fixed installations indoors and outdoors, on cable ladders, in conduits and cable ducts. Cable may also be buried in soil. Not for submarine or similar applications.

TECHNICAL SPECIFICATION

AXLJ-F

AHXCMK-WTC/PE 24 KV

12/20(24) KV

GENELEC HD 620 Sz:2010 Part 10 Sections F and M

15.1.2013 JKI

Page 2/2

Product code	3x25/16	3x50/16	3x70/16	3x95/16	3x95/25	3x120/25	3x150/25	3x185/25	3x240/25	3x240/35	3x300/35
Conductor diameter (mm)	5,9	8,1	9,5	11,2	11,2	12,8	14,2	16,2	18,0	18,0	20,3
Insulation thickness (mm)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Screen size (mm ²)	16	16	16	16	25	25	25	25	25	35	35
Outersheath thickness (mm)	2,6	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,5	3,5	3,6
Outer diameter (mm)	50	55	58	62	62	66	69	74	79	79	82
Weight (kg)	1470	1840	2110	2400	2450	2920	3300	3760	4250	4360	5250
Max. pulling force											
- with inner conductors (kN)	3,8	7,5	10,5	14,3	14,3	18,0	20	20	20	20	20
- with pulling stocking (kN)	1,1	2,3	3,1	4,3	4,3	5,4	6,8	8,3	8,5	8,5	8,5
Min. bending radius											
- during installation (m)	0,60	0,66	0,70	0,74	0,74	0,79	0,83	0,89	0,95	0,95	0,98
- in final installation, only one pending (m)	0,42	0,46	0,49	0,52	0,52	0,55	0,58	0,62	0,66	0,66	0,69
Min. handling temperature (°C)	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
Min. transporting temperature (°C)	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
Conductor DC-resistance 20 °C											
- phase (Ω/km)	1,2	0,641	0,443	0,320	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125	0,125	0,100
- screen (Ω/km)	1,2	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
Inductance (mH/km)¹	0,42	0,37	0,36	0,34	0,34	0,33	0,31	0,31	0,29	0,29	0,29
-in trefoil, conductors together (mH/km) ¹											
Capacitance (µF/km) ¹	0,13	0,16	0,18	0,20	0,20	0,22	0,23	0,26	0,29	0,29	0,31
Charging current (A/km) ²	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1
Current carrying capacity (HD 620S2 Part 10F)											
Cable in the air (25°C)											
- in trefoil, (conductor temperature 90°C) (A)	110	160	190	230	230	285	305	340	400	400	460
Cable in the ground (15 °C ja 1,0 K.m/W), Installation depth 0,7 m											
- in trefoil, (conductor temperature 65°C) (A)	100	145	175	205	205	230	260	290	340	340	380
Max. thermal short circuit current during 1s											
- phase (initial temperature 90 °C and final temperature 250 °C) (kA)	2,3	4,7	6,6	8,9	8,9	11,3	14,1	17,4	22,6	22,6	28,3
- screen (initial temperature 80 °C and final temperature 250 °C) (kA)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3,7	3,7	3,7	3,7	5,2	5,2


- 1) Calculated value, for guidance only
2) Calculated value, U = 20 kV

8.36 in

© REKA. Rights for changes reserved



Liite 2. Kaapelipäätteen tekniset tiedot



Saves Your Energy

TUOTEKORTTI
11.4.2014

HIT3.2402L

Nimi: Kutistesisäpäätteen
12/20 (24) kV Al/Cu 10-95 mm² lämpökutiste3-johtimiselle kaapelille kaapelikengillä

Tyyppi: HIT3.2402L

EAN: 6418677444548

Snro: 5221128


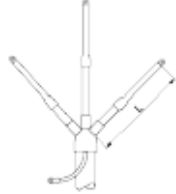
Kuvaus: Päätepakkausta käytetään max. 24 kV PEX-eristeisen, Cu-lankasuojalla varustetun kaapelin päättämiseen sisätiloissa. Pakkaus soveltuu kolmijohdinkaapeleille.

Pakkaukseen sisältyvät sekä alumiini- että kuparijohtimille soveltuvat momenttiruuvikaapelikengät ja kaikki päättämiseen kuuluvat tarvikkeet: momenttiruuvikaapelikengä kaapelin Cu-lankasuojalle, massat, teipit, lämpökutistettavat kentänohjausletkut, eristävät pintavirrankestävät haaroitusuoja, letkut ja laipat.

Pakkaus:
Yksikkö: KPL

Tekniset tiedot

Johdinkoko mm ² :	Al/Cu 10-95
Laippojen lukumäärä vaihetta kohti:	1
Laipan halkaisija mm:	90
Päätteen pituus L mm:	500-1100
Kosketussuojan koko mm ² :	Al/Cu 8-50

Ensto Finland Oy

Ensto Miettisen katu 2
PL 77
06101 Porvoo

Puh. 0204 76 21
Fax. 0204 76 2770

www.ensto.fi

This product card has been printed from Ensto's web-pages. Please, observe our legal notice on the front page of www.ensto.com. © Ensto 2014

Liite 3. Työohje

TAMK
Sähkölaboratorio
Heikki Tarkiainen

Suurjännitetekniikka 3

24.4.2014/hta

1

Suurjännitetekniikka 3

Tavoite Työn tavoitteena on tutustua kaapelin kapasitanssin mittaamisessa käytettäviin laitteistoihin sekä Schering silta -mittausmenetelmään. Työssä selvitetään Tettex Instrumentin Type 2877 -kapasitanssimittasillan avulla suurjännitekaapelin kapasitanssi, häviökerroin ja häviökulma. Lisäksi harjoitellaan turvallisia työskentelytapoja suurjännitteisten laitteistojen läheisyydessä.

1 Esitehtävät

- 1.1 Piirrä kuva Schering sillan- mittauskytkennästä ja selosta sen toimintaperiaate.
- 1.2 Selosta lyhyesti mitä tarkoitetaan seuraavilla nimityksillä.
 - a) Häviökerroin
 - b) Häviökulma
 - c) Nollaindikaattori
 - d) Normaalikondensaattori
- 1.3 Tutustu suurjännitekaapelin kapasitanssimittauksesta tehtyyn opinnäytetyöhön.
- 1.4 Tutustu mitattavan kaapelin teknisiin tietoihin (Työohjeen liite 1) ja laske 20m pitkän kaapelin kapasitanssi.

2 Tutkimukset laboratoriossa

2.1 Yleistä

Eristyksen häviökertoimen $\tan \delta$ mittaaminen vaihtojännitteellä on yleisesti käytetty menetelmä suurjännitelaitteiden eristysrakenteiden kunnon arvioinnissa. $\tan \delta$ -mittaus soveltuu hyvin muunmuassa läpivientieristimien, mittamuuntajien, kaapelien ja kondensaattoreiden kunnon valvontaan. Suurjännitelaitteiden kapasitanssia ja häviökerrointa on perinteisesti mitattu, joko Scheringin sillalla tai virtavertailijasillalla. Myös muitakin siltakytettä käytetään. Tässä työssä siltamittauksessa mitattavaa testikappaletta verrataan tunnettuun referenssiin eli mittanormaaliiin. Tavallisesti kapasitanssin mittanormaalina käytetään painekaasukondensaattoria ja häviökertoimen mittanormaalina normaalikondensaattorin ja sen kanssa sarjassa olevan vastuksen yhdistelmää.

2.2 Työturvallisuuskoulutus ja laitteiston käyttö

HUOM! Perehdy suurjännitetilan sääntöihin ja ohjeisiin ennen töiden aloittamista!!!

- Sääntöihin ja ohjeisiin on jokaisen ryhmän jäsenen perehdyttävä huolellisesti ennen töiden aloittamista!
- Suurjännitetekniikan töissä on ehdottomasti noudatettava erillistä ohjetta:

o **"SUURJÄNNITETILAN SÄÄNNÖT JA OHJEET".**

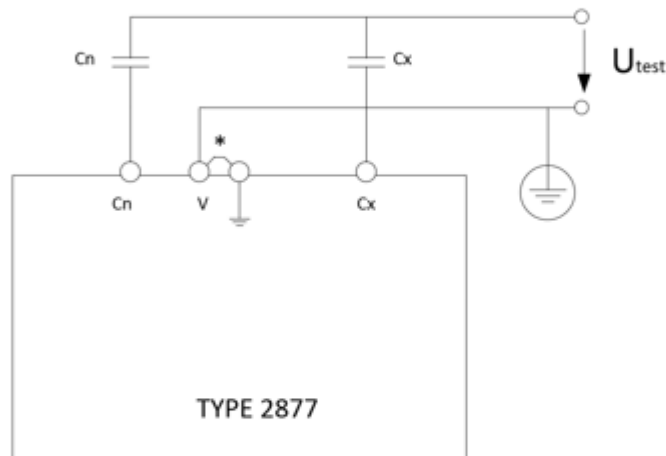
Tutustu ja perehdy laitteistoon ja piirrä laitteistosta mittauslaitteineen piirikaavio standardin mukaisia piirrosmerkkejä käyttäen. Käytä apuna laitteiston käyttöohjeita ja lähdekirjallisuutta. Ota itsellesi kopioita lähdemateriaalien työhön liittyvistä kohdista, jotta voit tehdä niihin omia merkintöjä

2.2.1 Varmistakaa, että jokainen ryhmän jäsen tietää, kuka on työn sähkötyöturvallisuudesta vastaava henkilö. Kirjatkaa tieto mittauspöytäkirjaan.

2.2.2 Kirjatkaa ylös mittauksessa käytettyjen komponenttien arvot

2.3 Mittaukset

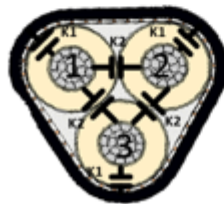
Rakenna seuraava mittauskytkentä.



U_{test} on muuntajalla syötetty testijännite [kV]
 C_x on mitattava AHXCMK-WTC/PE kaapeli [μF]
 C_n on NK100 normaalikondensaattori [μF]
 *on mittasillan maat yhdistävä kaapeli

2.3.1 Yleistä

3-johdinvahvavirtakaapelin käyttökapasitanssi C_k muodostuu alla olevan kuvan mukaisista osakapasitansseista K_1 ja K_2 .



K_1 ja K_2 :n määrittämiseksi on suoritettava kaksi mittausta, joiden tuloksista voidaan määrittää K_1 ja K_2 ja edelleen C_k .

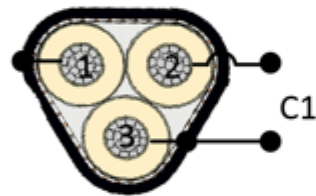
2.3.2 Mittaus 1.1

TYPE 2877 mittasiltaan asetellaan normaalikondensaattorin kapasitanssi, mittauskaapeleiden pituus ja valitaan käytettävä mittauskytkentä.

Mittasillan edellyttämät arvot asetellaan "SETUP"- valikosta ja ne tallentuvat kun "SETUP"-näppäintä painetaan uudestaan. Tässä tapauksessa valitaan siis Standard measuring setup. Asettakaa Range- valikkoon "AUTO" niin mittasilta valitsee optimin mittausalueen. Asetusten asettamisen jälkeen silta tasapainottaa itsensä ja antaa tulokset näyttöön. Jotta tulokset näkyvät näytöllä on "DISPLAY"- menun oltava aktivoituna eli "DISPLAY"- ledin tulee palaa.

C_1 on kapasitanssi, joka mitataan yhden vaiheen ja muiden vaiheiden sekä vaipan väliltä. Kytkekää kaapeli alla olevan kuvan mukaisesti mittasiltaan.

Mittaus suoritetaan kahdella jännitetasolla. Kaapelin nimellisjännitteellä ja puolella nimellisjännitteestä.

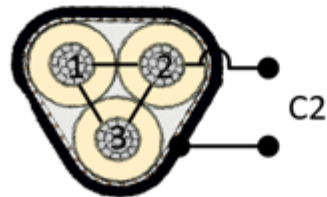


Suoritakaa mittaus ja kirjatkaa ylös mittasillalta saadut tulokset.

2.3.3 Mittaus 1.2

C_2 on kapasitanssi, joka mitataan yhteen kytkettyjen vaiheiden ja vaipan väliltä. Kytkekää kaapeli alla olevan kuvan mukaisesti mittasiltaan.

Mittaus suoritetaan kahdella jännitetasolla. Kaapelin nimellisjännitteellä ja puolella nimellisjännitteestä.



Suoritakaa mittaus ja kirjatkaa ylös mittasillalta saadut tulokset.

3 Työselostus ja siihen liittyvät tehtävät

Tehtävät Käsittele työselostuksessa seuraavat tehtävät niille sopivassa asiayhteydessä niin, että esityksestä tulee yhtenäinen kokonaisuus. Muista verrata tuloksia teorian tietoihin.

3.1 Laske käyttökapasitanssi C_k sekä osakapasitanssit K_1 ja K_2 .

3.2 Selosta kapasitanssimittauksesta saatujen mittaustulosten yhteys suurjännitelaitteiden kunnan valvontaan.

3.3 Selosta miten mittauksessa käytetty jännite vaikuttaa mittaustuloksiin.

Lähdeluettelo

/1/ Eskonen, Suurjännitekaapelin kapasitanssimittaus. 2014

/2/ Aro - Elovaara - Karttunen - Nousiainen - Palva, Suurjännitetekniikka. Otatieto Oy 1996.

/3/ Hannes Ignatius, Sähkölaboraatiot V, suurjännitetyöt. TEPEC 1995.