

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

TUTKINTOTYÖ

Ville Huurinainen

JAKELUMUUNTAJAN ELINKAARITUTKIMUS

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

TAMPERE 2006

Seppo Järvi
ABB Oy, Service
Valvojana Mika Salonen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikka

Huurinainen, Ville

Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus

Tutkintotyö

70 sivua

Työn ohjaaja

Seppo Järvi

Työn teettäjä

ABB Oy, Service

Valvojana Mika Salonen

Elokuu 2006

Hakusanat

jakelumuuntaja, muuntajaöljy, paperieristeet, ennakoiva huolto

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena on tutkia teollisuudessa käytettävien jakelumuuntajien elinkaarta, siihen vaikuttavia asioita, muuntajille tehtäviä huoltotoimenpiteitä ja pohtia mahdollisia uusia huoltotoimenpiteitä.

Työssä on aluksi kerrottu jakelumuuntajan toimintaperiaate, sen rakenne ja erilaiset muuntajatyypit. Seuraavaksi on lueteltu muuntajaan saatavia lisävarusteita ja selvitetty muuntajan elinkaareen vaikuttavia tekijöitä.

Lopussa on selvitetty, miten muuntajia testataan ja minkälaisia huoltotoimenpiteitä jakelumuuntajille tehdään ja mitä uusia huoltoja voisi tehdä muuntajien käyttöiän pidentämiseksi.

Muuntajan elinkaareessa yksi suurimmista vaikuttajista on lämpötila, mitä korkeampi on muuntajan lämpötila, sitä nopeammin muuntaja vanhenee. Työssä on pyritty pohtimaan, kuinka muuntajan käyttöikää voisi pidentää lämpötilaa alentavilla toimilla, kuten käyttöympäristön parannuksella, käytön parannuksella ja sähkön laadun parantamisella.

TAMPERE POLYTECHNIC

Electrical Engineering

Electric Power Engineering

Huurinainen, Ville

Lifespan analysis of a distribution transformer

Engineering Thesis

70 pages

Thesis supervisor

Seppo Järvi

Commissioning company

ABB Oy, Service

Supervisor Mika Salonen

May 2006

Keywords

distribution transformer, transformer oil, paper insulation, proactive maintenance

ABSTRACT

The purpose of this research is to find out things that has effects on lifespan of an industrial distribution transformer, maintenances done to distribution transformers and think over some possible new maintenances.

At first in this research, is told the operational principles of a transformer, then its structure and different types of a distribution transformer. Next is listed some distribution transformer accessories and after that there is clarified affairs that have influence on transformer's lifespan.

At the end there is clarified how transformers are tested and what kind of maintenances is done to distribution transformers and what new maintenances could be done to extend the lifespan of distribution transformer.

One of the biggest factors in distribution transformer's lifespan is the transformer's temperature, higher the temperature is, faster is the transformer's aging. It is pondered in this research that how the temperatures could be decreased by external maintenances, like improvement of conditions of use, improvement of use and improvement of the quality of electricity.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO.....	6
2 JAKELUMUUNTAJA	7
2.1 Toimintaperiaate	7
2.1.1 Ideaalinen yksivaihemuuntaja.....	7
2.1.2 Todellinen yksivaihemuuntaja.....	9
2.1.3 Kolmivaihemuuntaja.....	10
2.2 Rakenne.....	11
2.2.1 Paisuntasäiliöinen muuntaja	14
2.2.2 Hermeettinen muuntaja.....	15
2.2.3 Kuivamuuntajat.....	16
2.3 Muuntajien eristysnesteet.....	17
2.4 Jakelumuuntajien lisävarusteet.....	18
2.4.1 Ylijännitesuojat	18
2.4.2 Eläinsuojat	22
2.4.3 Lämpömittarit	22
2.4.4 Ilmankuivain	24
2.4.5 Öljynkorkeuden osoitin.....	25
2.4.6 Kaasurele	27
2.4.7 Ylipaineventtiili	27
3 MUUNTAJAN ELINKAAREEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	28
3.1 Mekaanisia tekijöitä	28
3.1.1 Muuntajaöljyn laatu	28
3.1.1.1 Muuntajaöljyn läpilyöntilujuus	28
3.1.1.2 Muuntajaöljyn hapettuminen.....	29
3.1.1.3 Läpilyönnit muuntajaöljyssä	30
3.1.2 Tiivisteet ja läpivientieristimet	31
3.1.3 Paperieristeiden vanheneminen	32
3.1.4 Käyttöympäristö ja ulkoiset tekijät.....	35
3.2 Sähköisiä tekijöitä	37
3.2.1 Ylikuormitus	37
3.2.2 Epälineaarinen kuormitus	37
3.2.3 Epäsymmetrinen kuormitus	40
3.2.4 Vaihteleva kuormitus.....	41
3.2.5 Loisteho	41
4 MUUNTAJILLE TEHTÄVÄT MITTAUKSET HUOLLON YHTEYDESSÄ	41
4.1 Muuntosuhteen mittaus	42
4.2 Kytkenäryhmän tarkistus	43
4.3 Eristyskoe, vaihtojännite ulkoisesta jännitelähteestä	44
4.4 Ylijännitekoe indusoidulla jännitteellä.....	44
4.5 Eristysvastusmittaus	45
4.6 Käämiresistanssien mittaus	46
4.7 Kuormitushäviöiden ja oikosulkuimpedanssin mittaus	46
4.8 Tyhjäkäyntihäviöiden mittaus.....	49

5 MUUNTAJILLE TEHTÄVIÄ ENNAKOIVIA HUOLTOTOIMENPITEITÄ.....	50
5.1 Käytön aikaiset huoltotoimenpiteet.....	50
5.1.1 Visuaalinen tarkastus	50
5.1.2 Öljyanalyysit.....	51
5.1.2.1 Suppea öljyanalyysi.....	51
5.1.2.2 Laaja öljyanalyysi.....	52
5.1.3 Jakelumuuntajan ennakoiva huolto käyttöpaikalla	54
5.2 Katkaisun vaativat huoltotoimenpiteet.....	57
5.2.1 Jakelumuuntajien ennakoiva huolto korjaamalla	57
5.2.2 Jakelumuuntajan läpivientiposliinin uusiminen.....	58
5.2.3 Jakelumuuntajan läpiviennin sisäisen liitoksen korjaus	59
5.2.4 Jännitesäätimen ennakoiva huolto	61
5.2.5 Jakelumuuntajien korjaus, käämin uusinta	61
5.3 Muita huolto/mittaustoimenpiteitä	63
5.3.1 Lämpökuvaus.....	63
5.3.2 Ultraäänimittaukset.....	63
6 UUSIA HUOLTOTOIMENPITEITÄ.....	64
6.1 Käyttöympäristön parannus	64
6.2 Ulkoinen valvonta	64
6.3 Sähkön laadun mittaukset ja parannukset	65
6.3.1 Loistehon kompensointi.....	65
6.3.2 Harmonisten yliaaltojen suodatus.....	66
6.4 Käytön parannus.....	67
7 YHTEENVETO	67
LÄHTEET	69
LIITTEET	Error! Bookmark not defined.

1 JOHDANTO

Jakelumuuntajien eliniäksi on määritelty keskimäärin 40–60 vuotta käytön ja käyttöolosuhteiden mukaan.

ABB Oy, Service Nokian huoltokeskus tekee jakelumuuntajille ennaltaehkäiseviä, huoltavia ja korjaavia toimenpiteitä. Toimenpiteet suoritetaan joko muuntajan käyttöpaikalla tai huoltokeskuksessa, jonne muuntajat siirretään. ABB Oy, Service tekee toimenpiteitä yleensä yli 1000 kVA:n kokoisille teollisuuden käytössä oleville muuntajille. Pienille pylväsmuuntajille ei tehdä toimenpiteitä niiden alhaisen hinnan vuoksi. Teollisuudessa käytettävän suuren jakelumuuntajan hinta voi olla melkein kymmenkertainen pieneen pylväsmuuntajaan verrattuna.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää muuntajien elinkaaren vaikuttavia tekijöitä, tutkia muuntajille tehtäviä ennakoivia huoltotoimenpiteitä ja pohtia mitä uusia toimenpiteitä voisi tehdä jakelumuuntajien elinkaaren pidentämiseksi. Työssä keskitytään teollisuuden käytössä oleviin jakelumuuntajiin, jotka ovat kooltaan 1000 kVA:sta aina 5000 kVA:iin asti. Työ on tarkoitettu ABB Oy, Servicen sisäiseksi lähteeksi, eräänlaiseksi muistilistaksi, jonka avulla voidaan tarkastaa muuntajien huoltoihin liittyviä asioita.

Luvussa kaksi käydään läpi eri jakelumuuntajatyypit, niiden toiminta, rakenne ja lisävarusteet. Luvussa kolme tutkitaan muuntajan elinkaaren vaikuttavia tekijöitä. Luvussa neljä kerrotaan ABB Oy, Service tällä hetkellä tekemistä huoltotoimenpiteistä ja lopuksi luvussa viisi pohditaan, mitä uusia toimenpiteitä voisi kehittää.

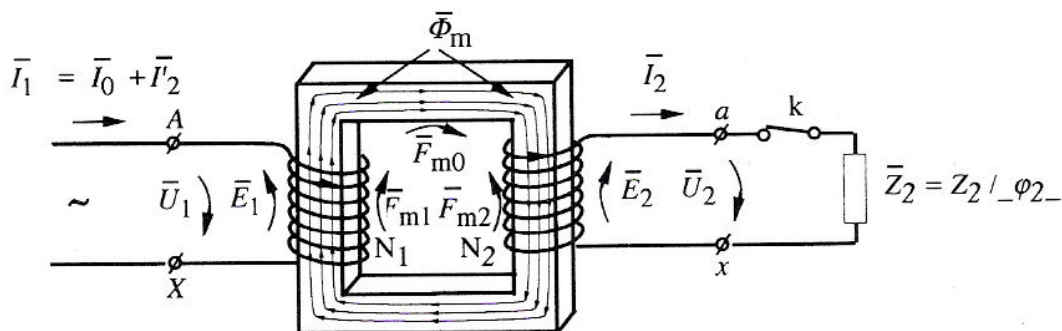
2 JAKELUMUUNTAJA

Jakelumuuntaja on muuntaja, jota käytetään muuttamaan keskijänniteverkon jännite pienemmäksi jännitteeksi muuntajan muuntosuhteen mukaisesti. Yleisin muuntosuhde on 20 000 V / 400 V. Teollisuuden käytössä on laajasti myös muita muuntosuhteita muuntajaa syöttävän verkon ja muuntajan perässä olevien kojeiden tarpeiden mukaisesti. Jakelumuuntajat voivat suuruudeltaan olla muutaman kymmenen kVA:n pienistä pylväsmuuntajista 5000 kVA:n suuriin teollisuudessa käytettäviin muuntajiin. Keskimäärin teollisuudessa olevat jakelumuuntajat ovat 1000–5000 kVA:n suuruisia. Jakelumuuntajaksi määritellään muuntaja, jonka ensiöjännite on korkeintaan 72,5 kV.

2.1 Toimintaperiaate

2.1.1 Ideaalinen yksivaihemuuntaja /3,7/

Muuntaja on sähkökoje, joka sähkömagneettisen induktion avulla muuttaa jonkin vaihtojännitteen ja -virran toiseksi vaihtojännitteeksi ja -virraksi. Muuntajan toimintaperiaatteeseen voi parhaiten tutustua tutkimalla ideaalista, eli häviötöntä muuntajaa. Yksivaiheisen kuormitetun muuntajan rakenneperiaate on esitetty kuvassa 1. Kuvassa esitetty muuntaja on rakenteeltaan kaksikämmimuuntaja, jossa ensiö- ja toisiokäämit on sijoitettu samalle rautasydämelle. Kuvan muuntaja ajatellaan ihanteelliseksi, eli sen käämeissä ei synny virtalämpöhäviöitä eikä sen rautasydämessä rautahäviöitä ja muuntajan hajavuo on nolla, jolloin sama magneettivuo lävistää ensiö- ja toisiokäämit. Ensiökäämin induktanssi L ja resistanssi R oletetaan nolleksiksi, koska muuntajaa tarkastellaan häviöttömänä.



Kuva 1. Yksivaihemuuntajan rakenneperiaate

Muuntajan ensiöksi nimitetään sitä käämiä N_1 , johon sähköteho $S=U_1I_1$ tuodaan, ja toisioksi sitä käämiä N_2 , josta sähköteho $S=U_2I_2$ otetaan edelleen kuormitukseen. Muuntajan käämien nimitykset määräytyvät siis tehon virtaussuunnan mukaan. Teho S siirtyy ensiökäämistä toisiökäämiin vaihtomagneettivuon Φ_m välityksellä.
/2/

Kun kuormittamattomana käyvän muuntajan ensiöön syötetään vaihtojännite U_1 , synnyttää se ensiökäämiin vaihtovirran

$$I_0 = \frac{U_1}{\omega L}, \quad (1)$$

joka on 90° jäljessä jännitettä U_1 .

Virta I_0 synnyttää rautasydämeen samanvaiheisen magneettivuon

$$\Phi_m = \frac{N_1 I_0}{R_m} \quad (2)$$

joka aiheuttaa ensiökäämiin vastasähkömotorisen jännitteen

$$E_1 = 2\pi f N_1 \Phi \quad (3)$$

Joka on U_1 :n suuruinen ja vastakkaisuuntainen ja kumoaa U_1 :n.

Sama magneettivuo kulkee toisiökäämityksen läpi ja aiheuttaa siihen lähdejännitteen

$$E_2 = 2\pi f N_2 \Phi \quad (4)$$

Kun toisioon kytketään kuorma Z_2 , aiheuttaa se virran I_2 , jolloin syntyy ylimääräinen magnetomotorinen voima

$$F_{m2} = N_2 I_2, \quad (5)$$

joka suunnallaan pyrkii muuttamaan päävuota Φ_m , eli magnetoi ensiön magnetomotorista voimaa (mmv) F_{m1} vastaan. Jos ensiöjännite U_1 on vakio, ei Φ_m pääse pienenemään, koska vastasähkömotorinen jännite (vsmj) E_1 asettuu aina niin suureksi, että se kumoaa muuntajaa syöttävän jännitteen U_1 , koska

$$U_1 = E_1 = 2\pi f N_1 \Phi \quad (6)$$

Kaavasta 6 havaitaan, että päävuoto Φ_m on ainoa suure joka voisi muuttua, mutta se pysyy vakiona, jos jännite U_1 pysyy vakiona.

Sen vuoksi U_1 painaa ensiökäämiin lisävirran I_2 tyhjäkäyntivirran I_0 lisäksi.

Lisävirta I_2 kumoaa magnetomotorisella voimallaan

$$F'_{m2} = N_1 I'_2 \quad (7)$$

toisiovirran aiheuttaman mmv:n F_{m2} (kaava 6). Muuntajan kuormitustilan aikana ensiön mmv on siis

$$F_{m1} = N_1 \bar{I}_0 + N_1 \bar{I}'_2 = F_{m0} + F'_{m2} \quad (8)$$

Koska häviöttömässä muuntajassa $U_1=E_1$ ja $U_2=E_2$, saadaan muuntosuhteeksi μ kaavojen 3 ja 4 avulla

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \mu \quad (9)$$

2.1.2 Todellinen yksivaihemuuntaja /2,7/

Edellä tarkasteltiin muuntajan toimintaperiaate ideaalisella eli häviöttömällä muuntajalla. Todellisuudessa muuntajassa kuitenkin tapahtuu häviöitä, jotka johtuvat sen käämityksissä olevista induktansseista ja resistansseista. Näiden häviöiden vuoksi se ei voi siirtää kaikkea ensiökäämiin syötettyä tehoa

kuormitukseen. Muuntajan tehohäviöitä ovat rauta- eli tyhjäkäyntihäviöt ja kupari- eli kuormitushäviöt.

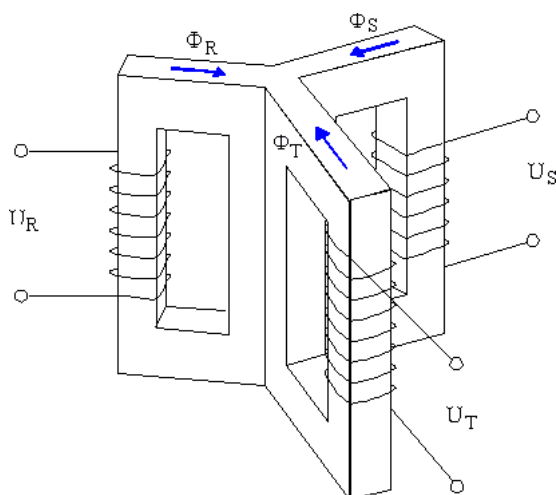
Rautahäviöt syntyvät muuntajan sydämen raudassa magneettivuon vaihtelun takia. Rautahäviöt jakaantuvat pyörrevirta- ja hystereesihäviöihin. Muuntajan kuormitus ei vaikuta rautahäviöiden suuruuteen, koska muuntajan magneettivuo on kuormituksesta lähes riippumaton. Rautahäviöt ovat suurella tarkkuudella muuntajan tyhjäkäynnissä ottaman pätötehon suuruisia.

Kuormitushäviöt eli virtalämpöhäviöt ovat käämien resistansseissa kuormitusvirran vaikutuksesta syntyviä häviöitä.

Ensiökäämin kehittämä magneettivuo ei myöskään kulje toisiokäämin kautta kokonaisuudessaan, vaan osa siitä kulkee toisiokäämin ohi ns. hajavuona. Tämä hajavuo aiheuttaa muuntajan käämeihin ns. hajareaktanssia.

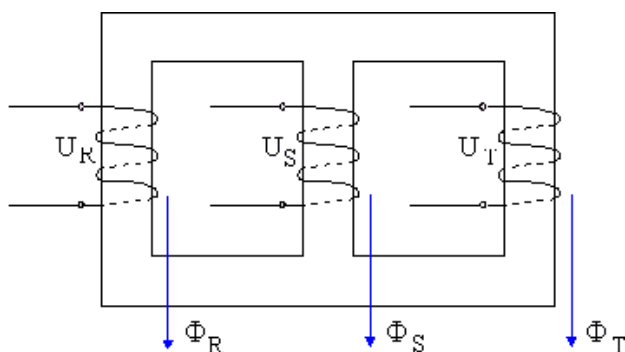
2.1.3 Kolmivaihemuuntaja

Kolmivaihemuuntaja saadaan kytkemällä kolme yksivaiheista muuntajaa tähteen esim. siten, että jokaisen muuntajan magneettivuo kulkee omassa sydämessään. Muuntajat on tällöin kytketty toisiinsa sähköisesti mutta ei magneettisesti. Kuvassa 2 on esitetty kolme yksivaiheista muuntajaa kytkettynä toisiinsa siten, että kaikilla on yhteinen pylväs.



Kuva 2. Symmetrinen kolmivaihemuuntaja (kuvassa vain ensiökäämit) /10/

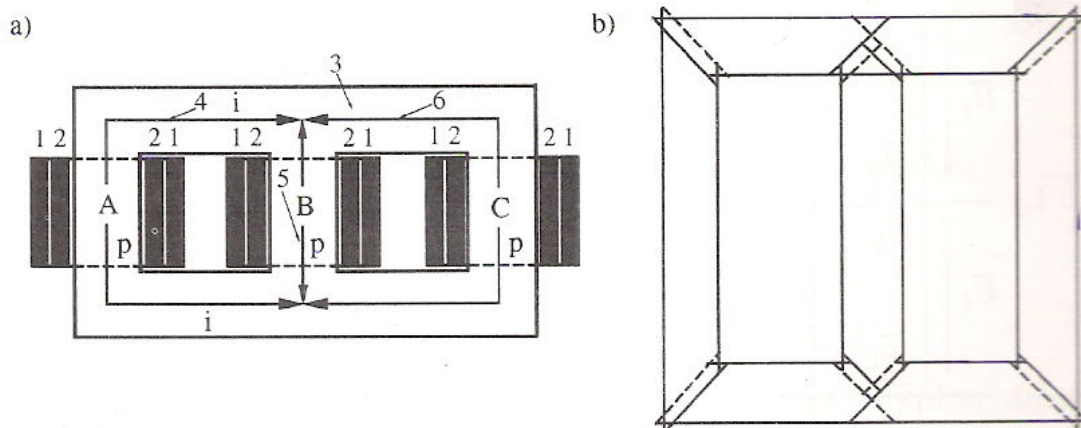
Kuten kolmivaihejärjestelmän vaihejännitteet, ovat magneettivuotkin 120° :een vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Kun kuvan 2 yhteisen pylvään magneettivuot lasketaan yhteen, kulkevat kaikki vuot tämän kautta mutta kumoavat toisensa, jolloin niiden osoitinlaskennan summa on nolla. Kun yhdessä pylväässä ei kulje magneettivuota ollenkaan, voidaan se jättää pois. Kun s-vaiheen ikeet vielä lyhennetään, saadaan kuvassa 3 oleva tavallisen kolmivaiheisen muuntajan rakenne, jossa kaikki pylväät ovat samassa tasossa. /10/



Kuva 3. Tavallinen kolmivaihemuuntaja (kuvassa vain ensiökäämit) /10/

2.2 Rakenne /2,10/

Jakelumuuntajat ovat kolmivaihemuuntajia, joiden sydän on kolmipylväinen, kuten kuvassa 3 on esitetty. Jokaisella vaiheella on oma pylväänsä, jonka ympärille on kiedottu kunkin vaiheen käämitys. Kuvassa 4 on esitetty kolmivaihemuuntajan käytännön aktiiviset osat eli magneettiipiiri ja muuntajakäämitys.



Kuva 4. Kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat

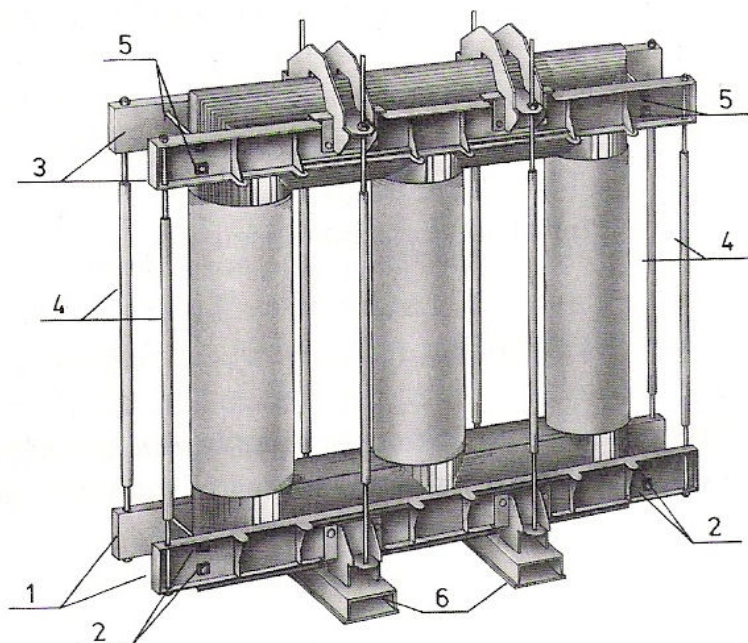
Kuvasta 4a nähdään, kuinka muuntajan käämitykset sijaitsevat muuntajan sydämessä. Vaiheilla A, B ja C on kaikilla oma pylväs, jonka ympärille on kiedottu ensiö- ja toisiokäämitykset (1 ja 2). Numero 3 on rautasydän ja neljä, viisi ja kuusi ovat vaiheiden magneettiipiirit. Tavallisesti lähinnä rautasydäntä on alajännitekäämi, koska se on helpoin eristää. Lisäksi, kun muuntajan muuntosuhdetta voidaan säätää yläjännitekäämiin asennetuilla väliotto- tai käämikytkimillä, olisi hankala saada jännitteen säätökäämeistä tarvittavia ulosottoja, jos yläjännitekäämi olisi lähinnä rautasydäntä. Kuvassa 4b näkyy kolmivaihemuuntajan rautasydämen rakenne, jossa 45°:een limiliitokset ovat pylväiden ja ylhäällä ja alhaalla olevien ikeiden välillä.

Käämimateriaalina käytetään alajännitekäämissä pienissä muuntajissa kaksikerroksisista muotolankakäämiä ja suurissa muuntajissa foliokäämiä. Käämimateriaalina käytetään joko kuparia tai alumiinia. Käämit ovat paperilla eristettyjä ja alajännitekäämin ja rautasydämen välissä on prespaanilieriö.

Yläjännitekäämi tehdään yleensä pieniä virtoja varten monikerroskääminä joko muoto- tai pyörölangasta. Lankana käytetään kupari- tai alumiinilankaa, joka on paperieristeistä. Kerrosten välillä eristeenä käytetään paperia. Suuria virtoja varten yläjännitekäämi tehdään muotolangasta jatkuvana levyvyyhtikääminä. Ylä- ja alajännitekäämien välissä on eristeliieriö ja jäähdytyskanavia.

Muuntajan magneettiipiirin muodostaa rautasydän, joka on koottu muuntajalevyistä. Muuntajalevyt ovat n. 0,3 mm:n vahvuisia kidesuunnattuja rautalevyjä. Levyt ladotaan päällekkäin ja niiden välissä on ohut eristekerros pyörrevirtojen kulun estämiseksi. Sydämen osat ovat pylväät (kuvassa 4 p) ja ikeet (kuvassa 4 i). Pylväiden ja ikeiden välinen sauma on 45°. Sauman kulman ansiosta magneettivuo saadaan kulkemaan mahdollisimman paljon valssaussuunnassa. Tällöin tehohäviöt ja magnetomotorinen voima tulevat mahdollisimman pieniksi.

Sydämen levyt ladotaan päällekkäin ja ne muodostavat ympyrän mallisen poikkileikkauksen. Kuvassa 5 on esitetty jakelumuuntajan rautasydän puristus-palkkeineen ilman käämityksiä.



Kuva 5. jakelumuuntajan rautasydän puristus-palkkeineen ilman käämityksiä

1. Alaikeen puristus-palkit
2. Puristus-palkkien puristusruuvit (alaies)
3. Yläikeen puristus-palkit
4. Käämien kiristyspultit
5. Puristus-palkkien puristusruuvit (yläies)
6. Pohjapalkit

Kuvassa 5 esitetystä muuntajan rakenteesta on muuntajan sydänlevyt puristettu kokoon metallisilla puristus-palkeilla. Yleisimmin kuitenkin puristus-palkeina käytetään puisia palkkeja. Käämit kiristetään paikoilleen kiristys-pulteilla.

Öljytäytteen muuntajan säiliö on valmistettu aaltolevystä, jonka jäähdytys-vaippa on valmistettu neljästä osasta. Säiliön pohjassa on öljyn tyhjennystulppa tai venttiili. /14/

Muuntajan kansi on kiinnitetty säiliöön pulteilla ja läpiviennit käämityksille sijaitsevat kannella. Läpiviennit ovat posliinieristeitä ja ne voidaan vaihtaa kantta avaamatta.

2.2.1 Paisuntasäiliöinen muuntaja /14/

Paisuntasäiliöllä varustetussa jakelumuuntajassa on muuntajan kanteen kiinnitetty erillinen paisuntasäiliö. Paisuntasäiliöinen jakelumuuntaja on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Paisuntasäiliöllä varustettu muuntaja.

Normaalissa 20 °C:n käyttölämpötilassa muuntaja täytetään öljyllä niin, että paisuntasäiliö täyttyy noin puoliksi. Muuntajan lämpötilan vaihdeltaessa myös öljyn lämpötila vaihtelee, jolloin sen korkeus paisuntasäiliössä muuttuu.

2.2.2 Hermeettinen muuntaja /14/

Hermeettisesti suljettu muuntaja on kokonaan täytetty öljyllä. Lämpötilan muutosten aiheuttaman öljyn tilavuuden muutokset ovat mahdollisia säiliön joustavien jäähdytysaaltojen ansiosta. Hermeettinen rakenne estää hapen ja kosteuden vaikutuksen öljyn ja eristeiden ominaisuuksiin, joten hermeettisten muuntajien vanheneminen on hitaampaa kuin paisuntasäiliöisten muuntajien. Myös ajoittain suoritettavia öljyanalyysejä ei hermeettisillä muuntajilla tarvita. Hermeettinen muuntaja on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Hermeettisesti suljettu muuntaja.

2.2.3 Kuivamuuntajat

Kuivamuuntajat on tarkoitettu käytettäviksi paikoissa, joihin öljytäytteistä muuntajaa ei voida asentaa, esim. palo- tai saastumisvaaran takia, tai sen käyttäminen vaatisi kalliita erikoistoimenpiteitä. Kuivamuuntajat kestävät myös muita muuntajia paremmin hankalia olosuhteita ja ilmastonmuutoksia ja ovat käytännössä huoltovapaita. Kuivamuuntajat kestävät hyvin myös oikosulkuvoimia.

Kuivamuuntajat ovat kuitenkin paljon öljyeristeisiä kalliimpia, joten niiden käyttö ei ole niin yleistä. Kuivamuuntajia on useita eri tyyppiä, joista yleisin on kuvassa 8 esitetty valuhartsieristeinen jakelumuuntaja. Koska kuivamuuntajille ei tehdä huoltotoimenpiteitä kuten öljyeristeisille, ei niitä tämän tarkemmin tässä työssä käsitellä.



Kuva 8. ABB:n valuhartsieristeinen jakelumuuntaja.

2.3 Muuntajien eristysnesteet /1/

Jakelumuuntajissa käytetään normaalisti eristysnesteinä ja jäähdytysväliaineena muuntajaöljyä. Muuntajissa käytettäviltä eristysnesteiltä vaaditaan suurta jännitelujuutta ja hyvää lämmönsiirtokykyä. Käytettävällä nesteellä tulisi myös olla suuri resistiviteetti, alhainen lämpökerroin ja hyvä osittaispurkausten sietokyky. Jotta mahdollinen valokaari sammuisi nopeasti ja turvallisesti, on nesteellä oltava korkea leimahduslämpötila. Eristysnesteiltä vaaditaan hyvien sähköisten ominaisuuksien lisäksi myös alhaista viskositeettia, jotta ne toimisivat hyvin jäähdytystehtävässä ja täyttäisivät kaikki kiinteän eristeen huokokset ja raot. Suomen ilmastossa on kiinnitettävä huomiota riittävän pieneen viskositeettiin myös alhaisissa lämpötiloissa, jotta neste pysyisi tarpeeksi juoksevana kylmissäkin oloissa. Eristysnesteiden pitää myös olla kemiallisesti stabiilia, jotta se säilyttäisi hyvät ominaisuutensa pitkän käyttöikänsä aikana erilaisissa oloissa. Muuntajan öljyn laatu on yksi tärkeimmistä asioista, joka vaikuttaa muuntajan käyttöikänsä.

Muuntajissa käytetään yleisimmin eristysnesteinä mineraaliöljystä valmistettua muuntajaöljyä, jolta vaadittavat ominaisuudet ovat määriteltynä mm. standardissa IEC 60296. Muuntajaöljy valmistetaan maaöljystä tislaamalla. Jalostuksen jälkeen öljy on erittäin puhdasta ja sisältää yksinomaan nestemäisiä hiilivetyjä. Koska perusraaka-aineena käytetyn maaöljyn ominaisuudet vaihtelevat, ovat muuntajaöljyn ominaisuudet myös hieman vaihtelevia. Muuntajaöljyn kiehumispiste on 250 – 300 °C ja se on hyvin juoksevaa ohutta nestettä. Pienen viskositeetin vuoksi sillä onkin hyvä jäähdytyskyky mutta alhainen leimahtamispiste, mikä on haitaksi paloturvallisuuden kannalta. Suomessa käytetyillä öljyillä jäähdytyspisteen tulee olla alle -40 °C ja leimahduspisteen yli 140 °C. Toinen haittapuoli pienessä hyvässä juoksevuudessa on alttius hapettumiselle. Muita muuntajissa käytettäviä nesteitä ovat esterit ja silikoniöljyt.

Esterit ovat myrkyttömiä ja ympäristöystävällisiä nesteitä, jotka eivät kehitä haitallisia yhdisteitä korkeissa lämpötiloissa. Esteriteitä voidaan käyttää esimerkiksi muuntajien uudelleen täytön yhteydessä muuntajaöljyn tilalla tai muuntajaöljyyn yhdistettynä. Esterit sitovat vettä paremmin kuin muuntajaöljy, mutta niiden heikkous on niiden muuntajaöljyä kalliimpi hinta.

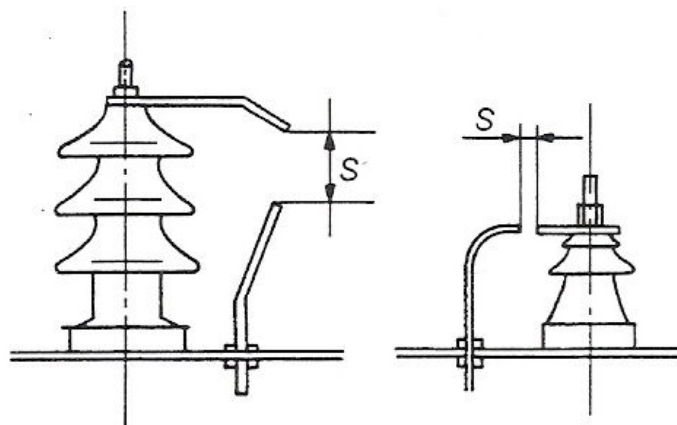
Silikoniöljyt ovat estereiden tavoin ympäristöystävällisempiä kuin muuntajaöljy ja niiden etuna on palamattomuus. Silikoniöljyt kuitenkin johtavat lämpöä huonosti ja niillä on myös huono purkausten sietokyky. Valokaari synnyttää niissä helposti palavia kaasuja. Lisäksi ne imevät itseensä vettä, jolloin ne ovat suojattava kosteudelta huolellisesti. Myös hinta on kalliimpi kuin perinteisellä muuntajaöljyllä.

Muuntajissa on aikaisemmin käytetty myös PCB-pohjaisia eristysnesteitä, mutta niiden käytöstä luovuttiin suurten ympäristöongelmien vuoksi jo 1970-luvulla. Muuntajaöljyn ominaisuuksiin käytön aikana vaikuttavat hapettumisen lisäksi olennaisesti myös kosteus, muut epäpuhtaudet, lämpötila ja paine.

2.4 Jakelumuuntajien lisävarusteet

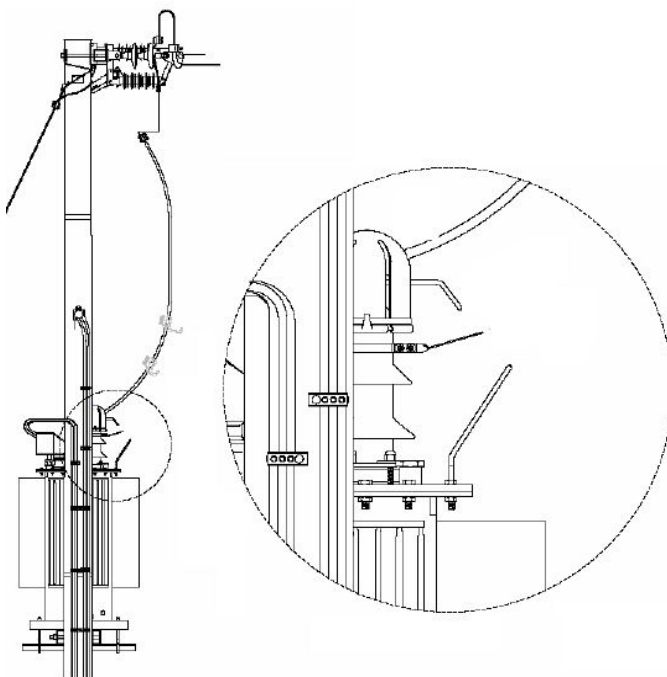
2.4.1 Ylijännitesuojat

Muuntaja voidaan suojata transienttiylijännitteiltä, joita aiheuttavat mm. salamanlyönnit avojohtoihin ja niiden lähelle. Ylijännitesuojina käytetään kuvassa 9 esitettyjä kipinävälisuoja ja kuvassa 12 esitettyjä ylijänniteventtiileitä.



Kuva 9. Muuntajan suojarvet /4/

Kuvassa 9 on esitetty kaksi erityyppistä kipinävälisuojaa, jotka asennetaan muuntajan kannelle kuvassa 10 esitetyllä tavalla.



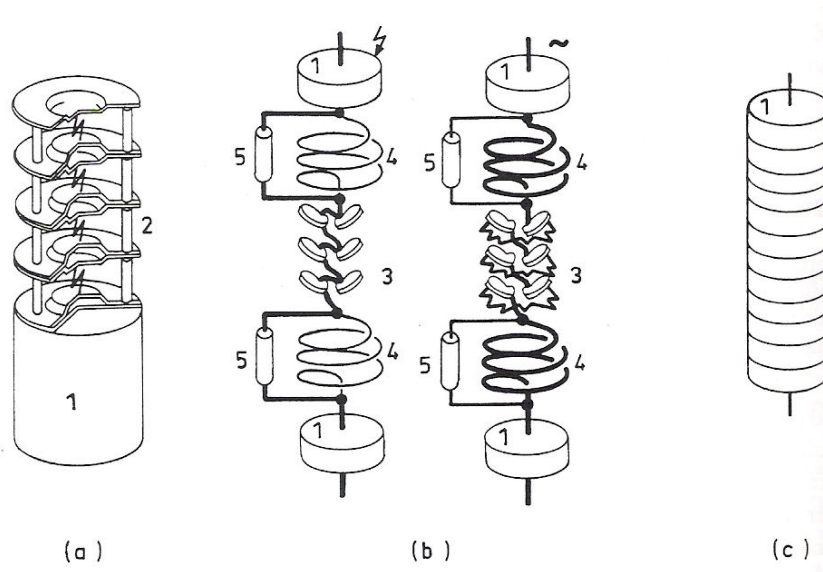
Kuva 10. Suojasarvet jakelumuuntajaan asennettuna.4/

Elektrodien välimatkalla saadaan kipinäväli toimimaan halutulla ylijännitteellä kuitenkin siten, että käyttötaajuiset ylijännitteet ja kytkentäylijännitteet eivät johda ylilyöntiin. Suomessa 24 kV:n verkossa sovelletaan yksivälisuojiilla etäisyyksiä $S = 80$ mm ja 100 mm ja kaksivälisuojiilla arvoja $S = 60$ mm. Suojakipinävälin toimiminen aiheuttaa maasulun, jonka katkaiseminen vaatii katkaisijatoiminnon.

Kipinäväli on myös altis kolhuille ja sen asettelu on verrattain tarkka, jo parin sentin ero kipinävälissä vaikuttaa toimivuuteen useita kilovoltteja. /4/

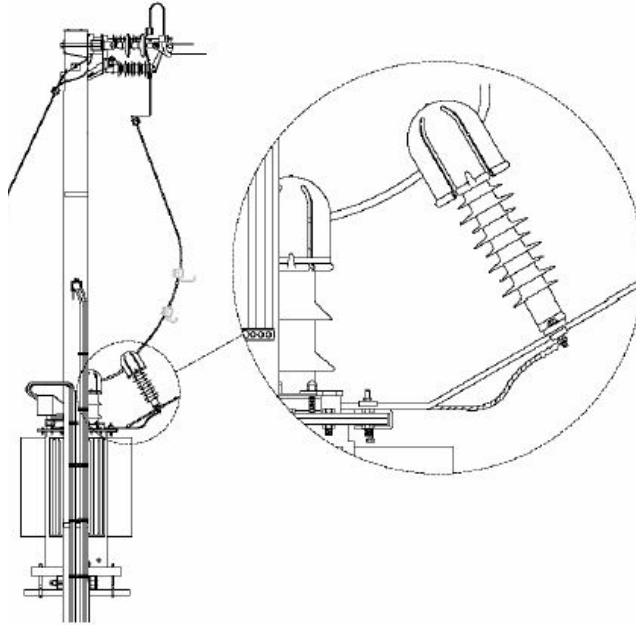
Toinen ylijännitesuoja on venttiilisuusuoja, joka asennetaan muuntajissa ylijännitepuolen läpivientieristimien rinnalle vaiheen ja yleensä maan väliin. Venttiilinsuojat voidaan kytkeä myös vaiheiden väliin. Vanhat venttiilinsuojat muodostuivat kipinäväleistä ja venttiilivastuksesta, mutta uusimmat ovat kipinävälittömiä sinkkioksidisuoja, jotka koostuvat pelkästään venttiilinsuojavastuksista. Metallioksidinsuojat ovat syrjäyttämässä vanhat kipinäväliventtiilit hintansa ja ominaisuuksiensa vuoksi. /3/

Normaalissa tilassa metallioksidiventtiili on johtamattomassa tilassa, mutta ylijännitteen sattuessa se muuttuu johtavaksi ja purkaa ylimääräisen jännitteen maahan. Toimintatapansa johdosta metallioksidisuojuille ei jää jäännösvirtaa, jolloin sen toiminta ei ilmene maasulkuna. Tällöin sen toimiminen ei aiheuta katkaisutoimenpidettä, kuten kipinävälisuojaa käytettäessä. Kuvassa 11 on esitetty eri ylijänniteventtiileitä ja niiden rakenteita. /3/



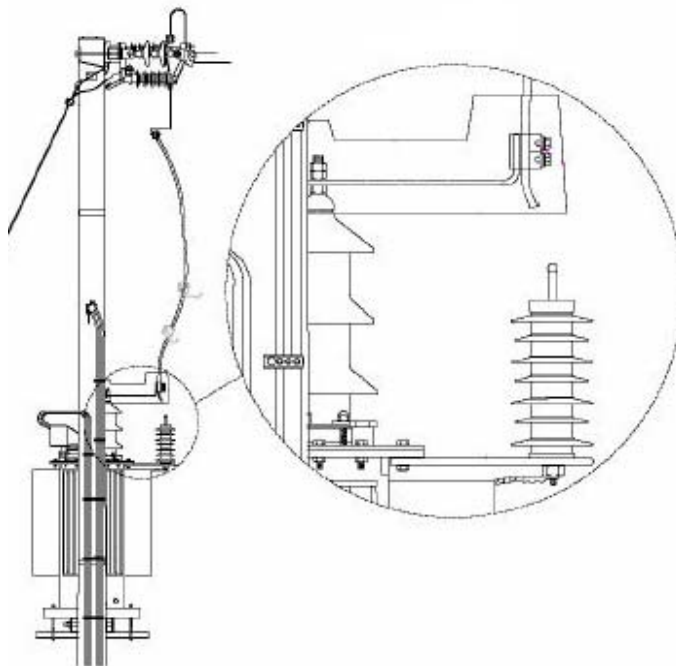
Kuva 11. Muuntajan ylijänniteventtiileitä. a) kipinäväli venttiilisuoja, b) aktiivikipinävälisuoja, c) metallioksidisuoja. 1 venttiilivastus, 2 levykipinäväli, 3 aktiivikipinäväli, 4 puhalluskäämi. /3/

Kuvassa 12 on esitetty venttiilisuojiin asennus pylväässä olevaan jakelumuuntajaan.



Kuva 12. Venttiilisuoja muuntajassa. /4/

Käyttövarmuutta saadaan lisättyä käyttämällä kuvassa 13 olevia yhdistelmäsuoja, joissa on yhdistetty kipinäväli ja venttiilisuoja.



Kuva 13. Yhdistelmäsuoja. /4/

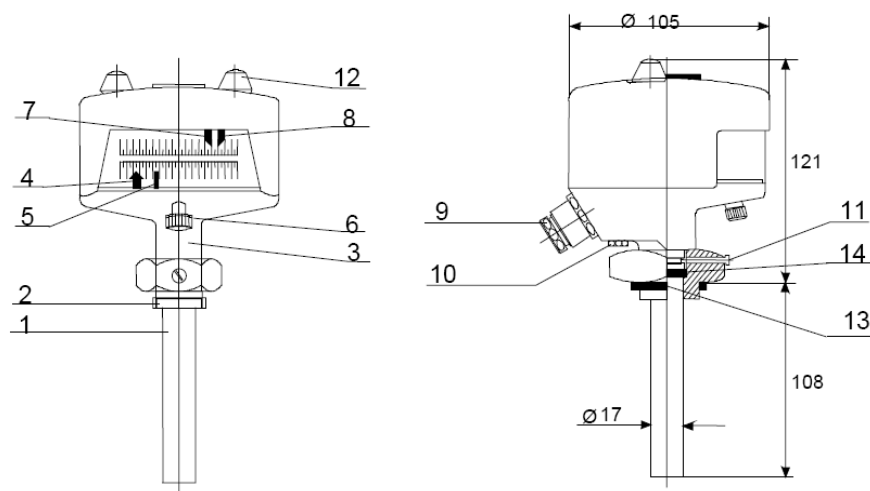
2.4.2 Eläinsuojat

Ulkotiloissa muuntajan kannelle tulevat linnut ja oravat aiheuttavat oikosulkuja ja läpivientieristimien rikkoontumisia. Lintusuojat suojaavat muuntajia pienten eläinten aiheuttamilta oikosuluilta. Lintusuojat ovat suojakuvut, jotka asennetaan muuntajan läpivientieristeiden päälle, ja siten ne muodostavat kosketussuojauksen jännitteisiin osiin. Kuvassa 12 on esitelty muuntajan läpivientieristimien ja venttiilisuojien päällä lintusuojat.

2.4.3 Lämpömittarit

Lämpömittareilla voidaan valvoa muuntajan käynti- ja huippulämpötilaa. Lämpömittarit on sijoitettu muuntajan kannessa olevaan öljyllä täytettyyn lämpömittaritaskuun. Käytettyjä lämpömittareita ovat kosketinlämpömittari ja kapillaarilämpömittari.

Kosketinlämpömittarit ovat painelämpömittareita, jotka asennetaan muuntajan lämpömittaritaskuun. Mittareissa on kaksi osoitinta, joista nähdään käyntilämpötila ja maksimilämpötila. Mittarit on varustettu kahdella säädettävällä koskettimella, jotka voidaan kytkeä hälytys- tai laukaisupiiriin. Sähköinen piiri sulkeutuu, kun osoitin ylittää asetuspisteen lämpötila-asteikolla. Kuvassa 14 on esitetty kosketinlämpömittari. /13/

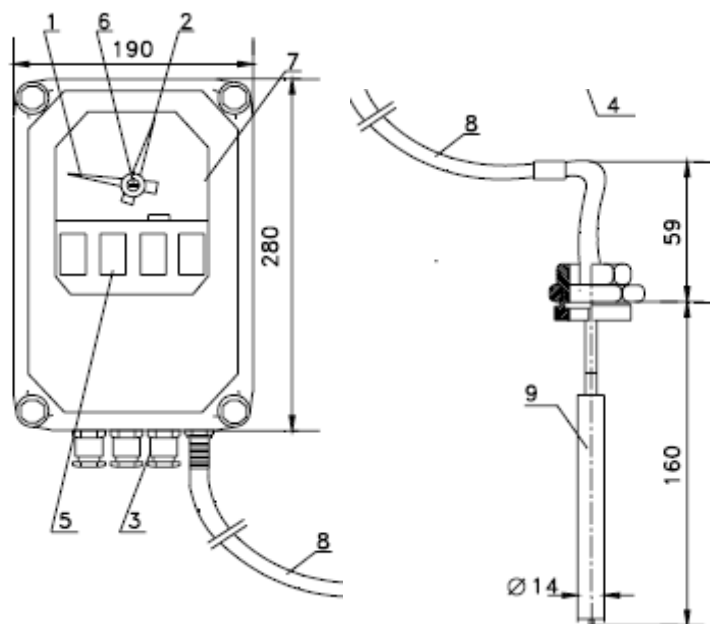


Kuva 14. Kosketinlämpömittari /15/

Kuvassa 14 näkyvät osat ovat:

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1. Upotusputki | 8. Laukaisukosketin |
| 2. Kiinnitysruuvi | 9. Kaapelitiiviste |
| 3. Mittarikotelo | 10. Ilmanvaihtoreikä |
| 4. Osoitin | 11. Pidätinruuvi |
| 5. Maksimiosoitin | 12. Kannen kiinnitysruuvi |
| 6. Palautusnappi | 13. O-rengas |
| 7. Hälytyskosketin | 14. O-rengas |

Kapillaarilämpömittari asennetaan muuntajan kylkeen siten, että mittarin anturi asennetaan erikseen lämpömittaritaskuun. Mittarista nähdään käyntilämpötila ja maksimilämpötila. Mittarissa on joko kaksi tai neljä aseteltavaa kosketinta valvontaa ja ohjausta varten. Kapillaarimittari on esitetty kuvassa 15. /16/



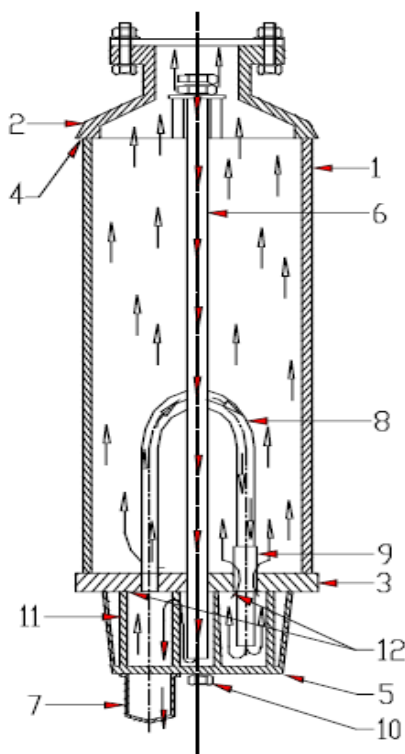
Kuva 15. Kapillaarilämpömittari.

Kuvassa 15 näkyvät osat ovat

1. Osoitin
2. Maksimiosoitin
3. Kaapelitiiviste
4. Kiinnitin
5. Koskettimia ohjaavat nokkapyörät
6. Maksimiosoitin palautusruuvi
7. Lämpömittarin kotelo
8. Kapillaariputki
9. Anturi

2.4.4 Ilmankuivain /14/

Öljyn pinnankorkeuden muutokset aiheuttavat muuntajan hengittämisen paisuntasäiliön kautta. Ilmankuivaimen tehtävänä on estää kosteuden pääsemisen muuntajaöljyn sekaan. Muuntajan ilmankuivain on läpinäkyvä muovinen lieriö, joka on täytetty hygroskooppisella kuivausaineella. Sisäänhengitysilmä johdetaan putkea pitkin kuivausainekerroksen läpi ja uloshengitysilmä putkea pitkin kuivausainekerroksen ohi. Tällöin muuntajan sisällä oleva mahdollinen kosteus ei tarpeettomasti kostuta kuivausainetta. Ilmankuivain on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Muuntajan ilmankuivaimen rakenne.

Kuvassa 16 näkyvät ilmankuivaimen osat ovat:

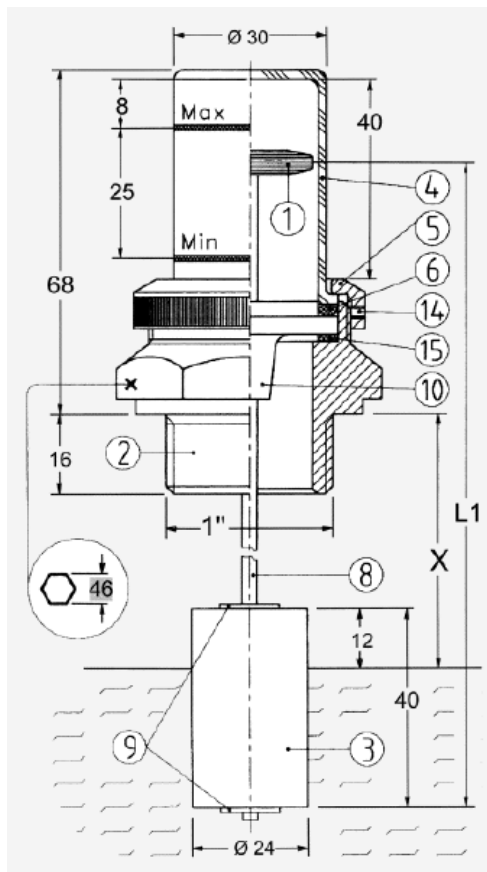
- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. Säiliö | 7. Hyönteissuojaus |
| 2. Laippa | 8. Sisäänhengitysputki |
| 3. Laippa | 9. Sisäänhengitysaukko |
| 4. Tiiviste | 10. Kiinnitysruuvi |
| 5. Nestelukko | 11. Putki |
| 6. Uloshengitysputki | 12. Tiiviste |

Kuivausaineena ilmankuivaimessa käytetään yleensä silikageeliä. Kuiva silikageeli on väriltään sinistä ja kostunut oranssia. Kostuessaan silikageeli värjäytyy alhaalta ylöspäin, ja se on vaihdettava viimeistään, kun n. 20% siitä on vielä sinistä.

2.4.5 Öljynkorkeuden osoitin

Öljynkorkeuden osoitin kertoo, kuinka paljon muuntajassa on öljyä sisällä. Koska öljy toimii sekä eristeaineena että jäähdytysaineena, on muuntajaan lisättävä öljyä välittömästi, jos öljynkorkeuden osoittimen mukaan öljystä on vajetta.

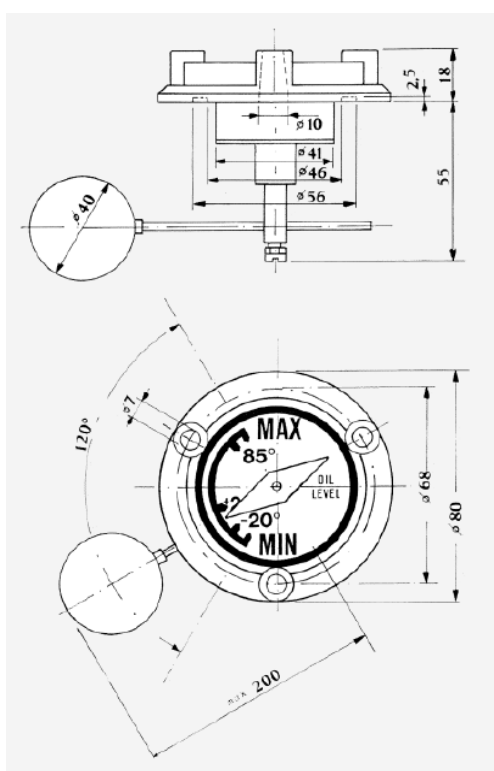
Hermeettisissä muuntajissa käytetään pinnankorkeuden osoittimena mittaria, joka on asennettu muuntajan öljyntäyttöputkeen. Täysin öljytäytteisessä muuntajassa ei pinnankorkeus normaalitilanteessa muutu. Öljynkorkeuden osoittimesta nähdään, jos muuntajaan on jäänyt ilmakuplia tai siellä on sisäisen vian vuoksi syntynyt kaasuja tai muuntajan säiliössä on vuoto. Kuvassa 17 on esitetty hermeettisiin muuntajiin tarkoitettu öljynkorkeuden osoitin. /18/



Kuva 17. Hermeettisen öljynkorkeuden osoitin.

Kuvan 17 öljynkorkeuden osoittimen numerolla kolme oleva koho kelluu öljyssä, jolloin se nostaa numerolla 1 olevan osoittimen ylös. Osoittimen tulee olla noin 1 cm:n päässä kotelon yläreunasta.

Öljysäiliöillä varustetuissa muuntajissa pinnankorkeuden osoitin on kiinnitetty paisuntasäiliön pätyyn. Mittari voi olla kuvassa 18 esitetty magneettinen mittari, jossa koho kelluu öljypinnalla ja magneettisesti liikuttaa osoitinta. Mittari voidaan lisäksi varustaa ylä- ja alarajan hälytyskoskettimella.



Kuva 18. Magneettinen öljynkorkeuden osoitin.

Paisuntasäiliöisissä muuntajissa öljynkorkeuden osoitin voi olla myös lasiputki, joka on kiinnitetty säiliön pätyyn. Öljy nousee lasiputkessa samalle tasolle kuin paisuntasäiliössäkin.

2.4.6 Kaasurele

Kaasurele toimii muuntajien suojana. Jos muuntajassa esiintyy paikallista ylikuumentumista, purkaus- tai valokaari-ilmiöitä, ne saavat aikaan eristeaineiden tai öljyn hajoamisen kaasuksi. Kaasut kerääntyvät kaasureleeseen, joka on sijoitettu muuntajan ja paisuntasäiliön yhdistävään putkeen. Kaasureleessä on säiliö, josta kaasut voidaan ottaa talteen kaasuanalyysi varten jotta kaasun muodostumisen syy saadaan selville.

Kaasurele on varustettu kahdella hälytyspiirillä, jotka laukeavat koskettimien välityksellä. Koskettimet ovat releeseen asennettuja uimurin ohjaamia koskettimia. Kaasurele voi lauetta myös, jos öljypinta laskee niin alas, että paisuntasäiliö on tyhjä. Suurien vikojen yhteydessä voi aiheutua paineaalto, jonka vaikutuksesta tulee öljysyöksy paisuntasäiliöön. Myös öljysyöksy aiheuttaa heti laukaisun kulkiessaan kaasureleen läpi. /2/

Hermeettisissä muuntajissa käytettävä suojarele hälyttää kaasun kehittymisestä, pienestä vuodosta, paineen kasvamisesta ja liian kuumasta lämpötilasta. Jokainen hälytys on varustettu kahdella vaihtokoskettimella. /13/

2.4.7 Ylipaineventtiili

Hermeettisissä muuntajissa käytetään ylipaineventtiiliä rajoittamaan muuntajan sisäisten vikojen yhteydessä syntyviä ylipaineita. Venttiiliin avulla ylipaine saadaan poistettua muuntajan säiliöstä hallitusti niin, ettei muuntajan öljyn pinta laske vaaralliselle tasolle. Ylipaineventtiili voidaan varustaa suojalla, minkä avulla mahdollinen kuuman öljyn suihku voidaan suunnata haluttuun suuntaan. /19/

3 MUUNTAJAN ELINKAAREEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ**3.1 Mekaanisia tekijöitä****3.1.1 Muuntajaöljyn laatu**

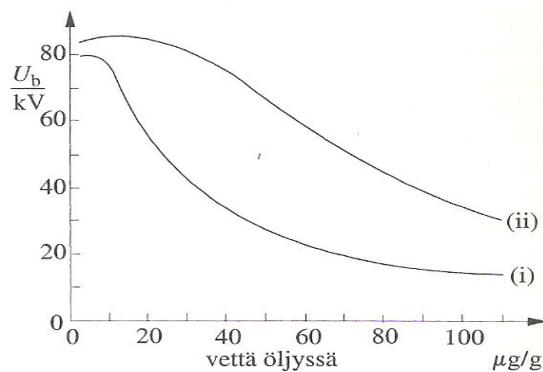
Muuntajien öljyn vanhenemista on tutkittu eniten, ja se on yksi tärkeimpiä muuntajan elinikään vaikuttavia tekijöitä. Muuntajaöljyn tutkiminen ja vaihtaminen on verrattain helppoa, toisin kuin esimerkiksi paperieristeiden vaihtaminen, joka käytännössä on mahdotonta. Lähes kaikki muuntajan vanhenemiseen vaikuttavat tekijät vaikuttavat juuri muuntajaöljyn kautta.

3.1.1.1 Muuntajaöljyn läpilyöntilujuus

Uuden, puhtaan ja kuivan muuntajaöljyn läpilyöntilujuus vaihtojännitteellä (tehollisarvo) on yli 60 kV / 2,5 mm. Läpilyöntilujuus on käytännössä riippumaton öljylajista. Heikentyneet eristysominaisuudet johtuvat pääasiassa öljyssä olevien epäpuhtauksien (pöly, kuidut, kosteus, kaasut) määrästä.

Öljyyn pääsee kosteutta mm. paisuntasäiliöissä muuntajissa muuntajan hengittäessä paisuntasäiliön kautta. Kosteuden imeytymistä yritetään estää ilmankuivaimen avulla, jossa on kosteutta itseensä imeviä rakeita. Jos kuitenkin ilmankuivainta ei ole vaihdettu ajoissa, eivät silikageelirakeet enää pysty poistamaan kosteutta muuntajan hengitysilmaasta vaan kosteus imeytyy muuntajaöljyyn. Suurin osa öljy-paperi-eristyksen sisältämästä kosteudesta on sitoutunut paperieristykseen. (kohta 3.1.4) Öljyssä saattaa kuitenkin olla vettä irrallisina pisaroina jotka alentavat huomattavasti öljyn jännitelujuutta.

Kuvassa 19 on esitetty kosteuden vaikutus öljyn jännitelujuuteen. Kuvassa on kaksi käyrää, joista toinen (käyrä i) kuvaa teknisesti puhdasta öljyä, jossa on epäpuhtauksia $55 \mu\text{g/g}$, ja toinen (käyrä ii) öljyä, joka on kahteen kertaan suodatettu.



Kuva 19. Kosteuden vaikutus muuntajaöljyn jännitelujuuteen.

Kuvasta nähdään selvästi, kuinka öljyn jännitekestoisuus laskee huomattavasti, kun siihen on sitoutunut kosteutta. Lisäksi nähdään, kuinka epäpuhtaudet vaikuttavat entisestään jännitekestoisuuteen.

Myös öljyn lämpötila vaikuttaa sen jännitekestoisuuteen. Alueella $-20 \text{ }^\circ\text{C} - +60 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpilyöntilujuus pysyy suurin piirtein vakiona. Alhaisissa lämpötiloissa jännitekestoisuus lisääntyy ja korkeissa se alenee. Jos lämpötila laskee alle $0 \text{ }^\circ\text{C}$, niin öljyyn sitoutuneet vesipisarot jäätyvät, jolloin niiden jännitekestoisuutta pienentävä vaikutus vähenee.

3.1.1.2 Muuntajaöljyn hapettuminen

Muuntajaöljy hapettuu kaikkien orgaanisten aineiden tavoin. Mitä korkeampi on öljyn lämpötila, sitä voimakkaampaa sen hapettuminen on. Ilmiö tapahtuu, kun ilmassa olevat happimolekyylit reagoivat öljyssä olevien hiilivetymolekyylien kanssa ja muuttavat hiilivedyt vetyperoksidiksi. Muuntajan elinikänsä hapettuminen vaikuttaa kemiallisilla reaktioilla eri tavoilla öljyn koostumuksen mukaan. Eräissä

öljyissä syntyy lähinnä öljyyn liukenevia happamia yhdisteitä, jotka vaikuttavat eteenpäin ja vahingoittavat muuntajan sisällä olevia paperieristyksiä. Joissakin

öljyssä hapettuminen johtaa öljyn saostumiseen, mikä huonontaa öljyn jäädyttävää ominaisuutta, ja se taas johtaa lämpötilan nousuun ja pahentaa hapettumisreaktioita.

Öljyn seassa olevat mahdolliset metalliepäpuhtaudet kuten, kupari, rauta ja lyijy kiihdyttävät hapettumisreaktioita. Öljyn seassa olevat inhibiittit voivat hidastaa tai kokonaan estää reaktioita. Hyvässä muuntajaöljyssä on jonkin verran inhibiittejä luonnostaan ja niitä voidaan sinne myös lisätä hidastamaan öljyn muutoksia.

3.1.1.3 Lämpilyönnit muuntajaöljyssä /1/

Lämpilyöntiprosessit nesteessä ovat huonosti tunnettuja verrattuna kaasussa tapahtuviin lämpilyönteihin. Vaikka nesteiden lämpilyöntejä on tutkittu runsaasti, ei siitä huolimatta ole yleistä teoriaa. Tämä johtuu osittain siitä, että ei ole olemassa edes nesteiden fysiikkaa kattavaa teoriaa.

Yleisesti muuntajaöljyssä voi tapahtua kolmenlaisia lämpilyöntejä: sähkö-, kupla- ja epäpuhtauslämpilyöntejä. /9/

Sähkölämpilyönti tapahtuu suhteellisen puhtaassa nesteessä ja on samantapainen kuin lämpilyönti kaasuissa. Sähkökenttä kohdistaa katodilta eri syiden, kuten emission ja sähkökemiallisten prosessien johdosta irtautuviin ja nesteessä oleviin elektrodien voiman, joka aiheuttaa elektronivyöryn eli elektronien liikkeen sähkökentän suunnassa.

Kuplälämpilyönnit tapahtuvat öljyssä olevissa pienissä kaasukuplissa. Öljyn sekaan on saattanut muodostua pieniä kaasukuplia joko aikaisemman sähköpurkauksen vuoksi tai sitten ne ovat peräisin öljyn epäpuhtauksista, kuten kaasuista ja vesihöyryistä. Tällöin ne ovat syntyneet jonkin kiinteän epäpuhtaushiukkasen ympärille. Jos öljyssä on sattunut purkaus elektrodilta toiselle, on sen jälkeen jäänyt paikalle kuplista muodostunut kanava, jossa on paljon positiivisia ioneja ja alentunut tiheys. Tällä kanavalla on heikentynyt lämpilyöntilujuus ja sen kautta on virran mahdollista kulkea.

Epäpuhtausläpilyönnit tapahtuvat muuntajaöljyssä olevien pienten kiinteiden hiukkasten kautta. Hiukkasia voivat olla kosteus, metallihiukkaset tai kiinteästä eristeestä irronneet kuidut. Kosteutta sisältävä paperieriste voi voimakkaassa sähkökentässä singota öljyn sekaan vesipisara- tai höyrysuihkun, jota pitkin läpilyönti pääsee kulkemaan. Paperieristeestä saattaa sen vanhenemisen vuoksi myös irrota selluloosakuituja, jotka edesauttavat läpilyönnin kulkua.

Jos öljyssä olevalla hiukkasella on suurempi permittiviteetti kuin ympäröimällä nesteellä, pyrkii se liikkumaan sähkökentän siihen aiheuttaman voiman vaikutuksesta liikkumaan kohti paikkaa, jossa vaikuttaa suurin kentänvoimakkuus. Tällainen kappale voi vääristää sähkökenttää ja luo itse sähkökentän tihentymiä vetäen muita epäpuhtauksia luoksensa. Kun voimakkaan sähkökentän alueelle kulkeutuu paljon hiukkasia, voivat ne muodostaa sillan elektrodien välille jolloin läpilyönti pääsee kulkemaan.

3.1.2 Tiivisteet ja läpivientieristimet

Tiivisteinä muuntajissa on käytetty kumi- ja korkkitiivisteitä. Kumitiivisteitä käytetään läpivientiposliineiden ja muuntajan kannen välissä, ja korkkitiivisteitä käytetään muuntajan kannen ja säiliön välissä. Kannen ja säiliön välissä on myös uudemmissa muuntajissa käytetty tiivisteaineena silikonina. Kumitiivisteet saattavat ajan ja olosuhteiden johdosta hapertua ja vahingoittua. Usein tiivisteet pitää uusia aina, kun muuntajan läpiviennit irrotetaan, varsinkin jos ne ovat selvästi hapertuneita, tai niissä on halkeamia. Kannen silikonitiiviste on osoittautunut huonoksi ratkaisuksi. Suhteellisen uudetkin muuntajat ovat saattaneet vuotaa öljyä kannen tiivisteiden hajottua.

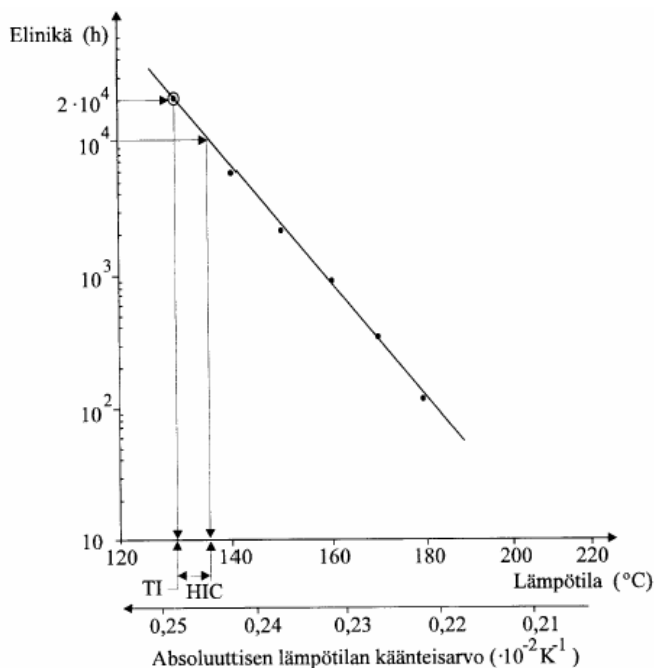
Läpivientieristimet ovat posliinisia ja niiden on pystyttävä eristämään ensiö- ja toisiopuolen jännitteet muuntajan kannesta. Läpivientien sisäinen eristys on tehty kapasitanssiohjatulla öljykyllästeisellä paperilieriöllä, ja eristimiin on varattu tilaa öljyn laajenemiselle. Normaalisti läpivientieristimen ulkopinta lämpenee noin 35–40°C ympäristön lämpötilaa korkeammaksi. Läpivientieristimet eivät sinänsä ole olennainen tekijä jakelumuntajan elinkaareissa, mutta esimerkiksi ulkokäytössä olevan muuntajan kannella oleva orava tai lintu saattaa aiheuttaa maasulun, tai

vaiheiden välisen oikosulun. Tämä saattaa aiheuttaa läpivientieristimen vahingoittumisen. Lisäksi posliinieristimet ovat herkkiä kuljetuksen ja asennuksen aikaisille kolhuille. Viallinen läpivientieristin saattaa pitää voimakasta särinää ja sen voi huomata lämpökamerakuvauksilla.

3.1.3 Paperieristeiden vanheneminen

Paperieristeitä käytetään muuntajissa käämitysten eristeinä ja läpivientien ja käämien välisten johtimien eristeinä. Pelkän paperin eristyskyky on ainoastaan noin 6 kV/mm, mutta öljyn ja paperin yhteiseristys eli öljyimpregnoitu paperieristys kehittää noin 40–75 kV/mm:n jännitelujuuden. /1/

Paperieristeen vanheneminen johtuu pääsääntöisesti liian korkeasta lämpötilasta ja se tapahtuu kemiallisina reaktioina, joidenka todennäköisyys kasvaa lämpötilan mukana. Paperieristykseen elinkäyrää voidaan tutkia kuvassa 20 esitetyn Arrhenius-käyrän avulla. Arrheniuksen yhtälön avulla voidaan tarkastella eristeiden kemiallista muuttumista. Tämän kokeellisesti todetun yhtälön mukaan termisesti aktivoituvan kemiallisen reaktion nopeus riippuu absoluuttisesta lämpötilasta.



Kuva 20. Elinkäyrä muuntajan öljypaperieristykselle.

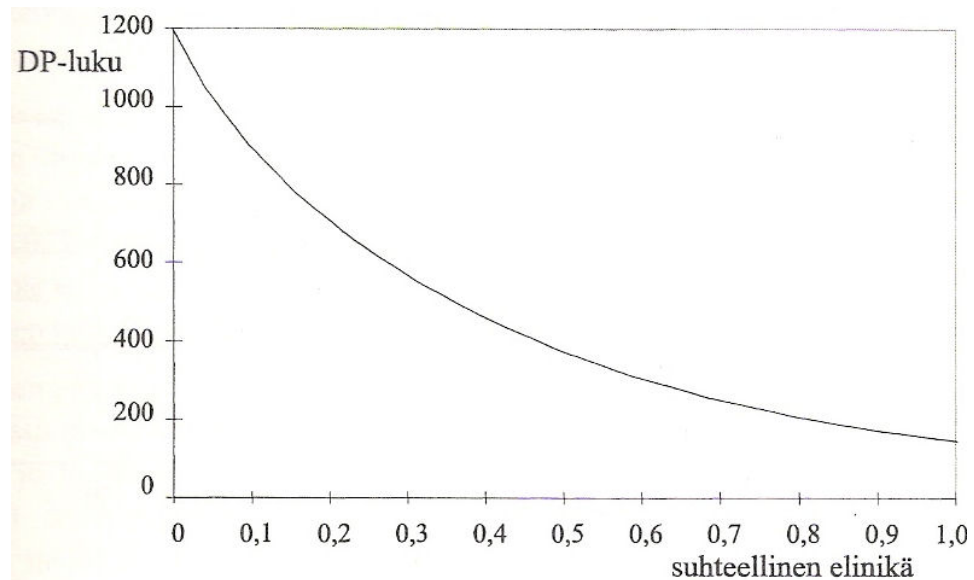
Kuvassa 20 on esitetty Arrheniuksen-yhtälöstä johdettu muuntajan öljypaperieristyksen elinikä. Elinikä on 20 000 tuntia lämpötilassa 130 °C (TI). Lämpötilassa 136 °C elinikä on puolet tästä eli elinikä lyhenee puoleen lämpötilan noustessa 6 K (Halving interval in °C, HIC). Mittausten ja kuvan 20 perusteella arvo olisi yli 6 K mutta käytännössä öljypaperieristykselle käytetään kuitenkin arvoa 6 K, sillä todellisen eliniän arviointiin liittyy aina epävarmuutta. /1/

On myös muistettava, että Arrheniuksen käyrään johtavat yhtälöt perustuvat oletukseen, että eriste muuttuu aina yhden tunnetun reaktion kautta, ja että yhtälöissä käytetyt vakiot pysyisivät vakioina koko tarkasteltavalla lämpötila-alueella. Käytännössä nämä ehdot eivät yleensä täyty. Tämä keino voi tulla kysymykseen esimerkiksi ylikuormitusten yhteydessä.

Muuntajan paperieristeestä n. 90 % muodostuu selluloosamolekyyleistä, jotka muodostavat vetysidoksia toisten selluloosamolekyylien kanssa. Tämä synnyttää kuiturakenteen, joka uudella paperilla on hyvä. Selluloosamolekyyli taas koostuu pitkistä riveistä toisiinsa kytkettyjä glukoosirenkaita. Uudessa paperissa näiden glukoosirenkaiden lukumäärä jokaista selluloosamolekyyliä kohti on n. 1000–1300. Tätä keskimääräistä glukoosirenkaiden lukumäärää molekyyliä kohti kutsutaan DP-luvuksi (degree of molecular polymerisation) ja sitä käytetään paperieristyksen heikkenemisen mittana. /20/

Paperin vanhetessa selluloosamolekyylit katkeilevat pienempiin osiin ja DP-luku pienenee. Paperin tekninen käyttöikä on loppuillaan, kun DP-luku on 150–200. Tällöin paperi on muuttunut liian hauraaksi eikä kestä enää esimerkiksi oikosulkuvoimia.

Kuvassa 21 on esitetty eristyspaperin DP-luvun periaatteellinen muuttuminen muuntajan eliniän aikana. Eristyspaperin tilan seuraaminen on huomattavasti vaikeampaa kuin öljyn. Paperin DP-luvun määrittämiseksi pitäisi paperista ottaa näytepala. Käytössä olevasta laitteesta sitä ei voi ottaa ellei muuntajaan ole valmistettaessa sijoitettu näytepaloja.



Kuva 21. Eristyspaperin DP-luvun muuttuminen muuntajan termisen eliniän aikana.

Öljypaperieristyksen muuttumisen erityispiirre on, että kosteus nopeuttaa muuttumista itsellään. Muutoksen tuloksena syntyy lisää vettä eli kosteus aiheuttaa eristeessä kiihtyvän muutosprosessin. Myös hapettuminen, jota happamat yhdisteet aiheuttavat, johtavat paperissa selluloosamolekyylien pilkkoutumiseen ja haurastumiseen. Paperin hajoamistuotteita ovat veden lisäksi hapot, suolat, aldehydit, hiilidioksidi ja hiilimonoksidi. Nämäkin vanhenemistuotteet voivat kiihdyttää vanhenemisreaktioita entisestään ja siten nopeuttaa muuntajan vanhenemista. /1/

3.1.4 Käyttöympäristö ja ulkoiset tekijät

Käyttöympäristön vaikutus jakelumuuntajan elinkaaren pituuteen on merkittävä mutta tapauskohtainen. Ilman laatu lämpötila ovat keskeisiä tekijöitä.

Edellä on todettu, kuinka muuntajan korkea lämpötila vaikuttaa muuntajaöljyn hapettumiseen ja paperieristyksen kiihtyvään vanhenemiseen. Korkean lämpötilan vaikutukset eivät välttämättä näy heti, jos ylikuumeneminen ei ole riittävän suurta ja jos muuntaja on uusi. Jos kyseessä on vanhempi muuntaja, jossa vanhenemisprosessit ovat jo nopeutuneet ja öljyn laatu on mahdollisesti ennestään heikentynyt, voivat liian korkean lämpötilan vaikutukset olla nopeampia.

Käyttöympäristön liian korkea lämpötila saavutetaan helposti, jos muuntajan säilytystila ei ole kunnolla ilmastoitu, tai jos siellä on mahdollisesti joitain muita lämpöä tuottavia kojeita. Esimerkiksi pienessä muuntajakopissa, jossa tuuletus on järjestetty vain pienillä tuuletusaukoilla, voi lämpötila kesällä auringonpaisteessa nousta huomattavan korkeaksi. Toisaalta, korkean lämpötilan vaikutus on pahempi, jos muuntaja on tilassa, jossa on koko ajan liian korkea lämpötila. Myös muuntajan kuormitettavuus laskee käyttöympäristön lämpötilan ollessa korkea, koska muuntajaa ei enää voi kuormittaa niin paljoa kuin verrattuna viileämpään lämpötilaan.

Ilman laatu vaikuttaa sekä muuntajan ulkoisiin että sisäisiin osiin. Ilman epäpuhtaudet voivat päästä kosketuksiin öljyn kanssa, jos kyseessä on paisuntasäiliöllä varustettu muuntaja ja ilman epäpuhtaudet koostuvat tarpeeksi pienistä hiukkasista. Hermeettisten muuntajien sisäosiin eivät ulkoilman epäpuhtaudet pääse. Ulkoisiin osiin epäpuhtaudet vaikuttavat sekä paisuntasäiliöissä että hermeettisissä muuntajissa, jos muuntajaa ei ole millään tavoin suojattu. Epäpuhtaudet saattavat olla ilman seassa kaasuna tai pieninä hiukkasina ja niillä saattaa olla korrodoiva, eli syövyttävä vaikutus ympärillä olevista teollisuuden eri prosesseista riippuen.

Jos ilman epäpuhtauksilla on korrodoiva vaikutus, rasittaa se sekä muuntajaöljyä että ulkoisia osia. Paisuntasäiliöisten muuntajien hengittäessä muuntajan öljyn sekaan pääsee syövyttäviä aineita lisäten hapettumista ja paperieristeiden vanhenemisreaktioita. Muuntajan ulkoisille osille syövyttävät aineet saattavat tehdä näkyviä vaurioita vaurioittaen maalipintaa tai läpivientieristimiä. Maalipinnan vaurioituessa on muuntajan säiliö alttiimpi ruostumiselle. Pitemmällä aikavälillä saattaa muuntajan säiliöön ruostua reikä, josta öljyä pääsee vuotamaan. Posliinieristimet kestävät korrodoivia aineita suhteellisen hyvin, mutta niiden kumitiivisteet vaurioituvat helpommin.

Jos ilmassa on pölyhiukkasia, on merkitystä sillä onko pöly sähköä hyvin johtavaa vai ei. Esimerkiksi puu- tai paperipöly johtaa sähköä paljon huonommin kuin hiili- tai metallipöly. Jos pöly on sähköä johtavaa saattaa se aiheuttaa oikosulkuja, kun sitä on tarpeeksi kertynyt jännitteisten osien ja muuntajan kannen päälle. Läpilyönti muuntajan päällä olevassa pölyssä aiheuttaa valokaaren, joka saattaa sytyttää pölyn palamaan. Tällöin palo saattaa levitä nopeastikin jos käyttöympäristössä on paljon palavaa pölyä. Aikaisemmin mainittu paperi- ja puupöly ei johda sähköä, mutta se on erittäin herkästi syttyvää. Jos ilmassa oleva pöly on sähköä johtamatonta, saattaa pöly muuntajan päälle laskeutuessaan ja kertyessään heikentää muuntajan jäähdytysominaisuuksia aiheuttaen ylikuumenemista. Esimerkiksi sahoilla ilmassa oleva puupöly tarttuu muuntajaan kiinni ja muodostaa hyvin lämpöä eristävän kerroksen.

Kosteuden vaikutusta ilmassa on käsitelty kappaleessa 3.1.1 ja sen vaikutus kohdistuu paisuntasäiliöisissä muuntajissa muuntajaöljyn laatuun ja sitä kautta läpilyöntilujuuteen. Jos ilmankuivain on kunnossa se poistaa kosteutta muuntajaan menevästä ilmasta, mutta jos silikageeli on imenyt itseensä niin paljon kosteutta kun mahdollista, pääsee kosteus silloin muuntajan sisälle.

3.2 Sähköisiä tekijöitä

Jakelumuuntajan elinkaareen vaikuttavista sähköisistä asioista tarkastellaan sähköverkon kautta tulevia vaikutuksia; ylikuormitusta, epälineaarista kuormitusta, epäsymmetristä kuormitusta, vaihtelevaa kuormitusta ja loistehon vaikutusta. Vikatilanteista aiheutuvia sähköisiä vaikutteita ei tässä työssä käsitellä.

3.2.1 Ylikuormitus

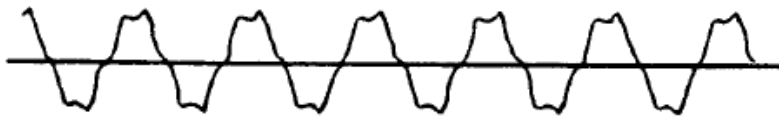
Ylikuormitus vaikuttaa jakelumuuntajaan lämpötilaa nostavasti, koska muuntajan sydämessä syntyvät häviöt kasvavat ja aiheuttavat lämpötilan nousun. Maksimi kuormitettavuuteen vaikuttaa muuntajan nimellisteho, eristyksen rakenne ja eristysmateriaali. Jakelumuuntajan kuumimman pisteen lämpötila määräytyy kuormituksen lisäksi myös ympäristön lämpötilasta.

3.2.2 Epälineaarinen kuormitus

Ihannetilanteessa verkkovirran ja –jännitteen muoto on puhdasta sini-käyrää, jossa esiintyy vain perustaajuutta. Jos verkkoon kytketään laitteita, joiden verkosta ottama virta on jonkin muun, kuin sini-käyrän muotoista, aiheuttavat ne verkon virta- ja jännitemuotojen vääristymisiä. Tällaista kuormitusta sanotaan epälineaariseksi kuormitukseksi.

Epälineaarinen kuormitus aiheuttaa verkkoon perusaallon taajuutta suurempia taajuuksia, joita kutsutaan harmonisiksi tai epäharmonisiksi yliaalloiksi.

Kuvissa 22 ja 23 on esitetty harmonisten ja epäharmonisten yliaaltojen käyrämuodot. /8/



Kuva 22. Harmonisten yliaaltojen aiheuttama verkkovirran ja -jännitteen käyrämuoto. /12/



Kuva 23. Epäharmonisten yliaaltojen aiheuttama verkkovirran ja -jännitteen käyrämuoto. /12/

Kuvista 22 ja 23 nähdään, että harmoniset yliaallot aiheuttavat verkkovirran muotoon samanlaisen vääristymän jokaisen jakson aikana, kun taas epäsymmetriset yliaallot aiheuttavat jaksoihin epäsymmetriaa.

Jännitekäyrän yliaallot suurentavat muuntajan tyhjäkäyntihäviöitä. Näiden vaikutukset ovat kuitenkin yleensä niin pieniä, että niitä ei tarvitse ottaa huomioon lukuun ottamatta tapausta, jossa muuntaja on taajuusmuuttajan ja moottorin välissä. Tällöin jännitteen epäsinimuotoisuus vaikuttaa rautasydämen mitoituseseen ja tarvitaan erikoismuuntaja. /12/

Virtakäyrän yliaallot puolestaan kasvattavat muuntajan kuormitushäviöitä, koska taajuudesta riippuva pyörrevirtojen ja virranahdon osuus kuormitushäviöistä kasvaa. Tämä kasvu on suuntaajakäytössä niin suuri, että muuntajan kuormitettavuus laskee huomattavasti. /12/ Käytännössä on todettu, että jos järjestelmässä on paljon yliaaltoja, niin muuntajan kuormitus pitäisi vähentää noin 20–30 % nimellisestä, ettei muuntaja ylikuumentaisi. /5/

Verkkoon syntyvät yliaallot ovat taajuudeltaan perusaallon, eli 50 Hz kerrannaisia. Verkkoa rasittavista yliaalloista yleisimmät ovat 150 Hz eli kolmas yliaalto, 250 Hz eli viiden yliaalto sekä myös 350 Hz seitsemäs yliaalto. Yliaaltojen koostumuksesta voidaan yleisesti sanoa, että yksivaiheiset kuormitukset tuottavat

suurimman osan kaikkein hankalimmasta kolmannesta yliaallosta ja kolmivaiheiset kuormitukset aiheuttavat suurimman osan muista yliaalloista. Kolmannella yliaallolla on vaiheiden kesken sama vaihesiirtokulma, jolloin kaikkien vaiheiden kolmannet yliaallot summaantuvat nollajohtimeen. Tällöin nollajohtimessa alkaa kulkea yliaaltovirta, joka saattaa olla suurempi virta, kuin mitä vaihejohtimissa kulkee. Muuntajassa tämä aiheuttaa sen, että nollavirta jää kiertämään muuntajan kolmiokäämitykseen lisäten tehohäviöiden kasvua ja lämpenemistä. Muuntaja saattaa myös alkaa resonoida, jolloin sen äänekkyyks kasvaa. /21/

Yliaaltoja sisältävässä verkossa voidaan virran ja jännitteen säröytymisastetta kuvata harmonisella kokonaissäröllä THD (Total Harmonic Distortion). Tämä kuvaa paljonko jännitteen tai virran aaltomuodossa on yliaaltokomponentteja verrattuna sähköverkon perusaallon suuruuteen. Virran säröytymisaste saadaan laskettua yhtälöllä

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (10)$$

Yhtälössä I_1 on virran perustaajuuden komponentti ja I_n on virran yliaaltokomponentti, jonka järjestysluku on n . Yliaaltojännitteiden särö saadaan laskettua samalla kaavalla.

Pahimpia yliaaltolähteitä sähköverkon kannalta ovat mm.:

- Tasasuuntaajat (tasavirtakäytöt)
- Taajuusmuuttajat
- Tyristoriohjatut kuormat
- Syklokonverterit
- UPS-laitteet
- Valokaariuunit
- Sähkösuodattimet
- Purkauslamput
- Atk-laitteet

Myös muuntajat itsessään aiheuttavat verkkoon yliaaltoja, jotka aiheutuvat muuntajan rautasydämen epälineaarisuudesta, sekä muuntajassa kulkevasta magnetointivirrasta. Muuntajien aiheuttamat yliaallot näkyvät etenkin muuntajaa verkkoon kytkettäessä, jolloin muuntaja syöttää useiden kymmenien sekuntien ajan harmonisia yliaaltoja verkkoon. Tällöin magnetointivirta voi olla suuruusluokaltaan lähellä muuntajan normaalia kuormitusvirtaa tai jopa sitä suurempi. Normaalitilanteessa muuntajan magnetointivirta on vain muutamia prosentteja kuormitusvirrasta. /6/

3.2.3 Epäsymmetrinen kuormitus

Epäsymmetrinen kuormitus eli vinokuormitus tarkoittaa tilannetta, jossa muuntajaa ei kuormiteta tasaisesti kaikkien vaiheiden kesken. Tällainen tilanne saattaa syntyä myös, jos yhden vaiheen sulake palaa. Vinokuormitus aiheuttaa muuntajaan myös yliaaltoja, mutta merkittävin haitta on jännite-epäsymmetria. Jos jännite-

epäsymmetrian johdosta kuormituksen virtakin muuttuu, aiheutuu silloin muuntajan sisälle kuumia pisteitä, jotka edesauttavat vanhenemisen prosesseja. Vaikutukset muuntajaan riippuvat oleellisesti muuntajan kytkennästä.

Muuntajan Yyn-kytkentä, eli kytkentä jossa ensiön ja toision käämit ovat kytketty tähteen, on erittäin altis epäsymmetriselle kuormitukselle. Jos muuntajan kytkentä on Dyn, jossa ensiön käämi on kolmiossa ja toisio tähdessä, se kestää vinokuormitusta paremmin. Dyn onkin jakelumuuntajissa yleisimmin käytetty kytkentä. Epäsymmetrisiä kuormia kestävä hyvin erilaiset hakakytkennät kuten esim. Yzn jossa ensiökäämi on tähdessä ja toisio hakatähdessä. Hakatähtikytkennän sähköiset ominaisuudet ovat samat kuin tähtikytkennän. Sen etuna on kuitenkin se, että jos toision käämit ovat hakatähdessä, voidaan ensiö kytkeä tähteen eikä jännite-epäsymmetriaa pääse syntymään. Hakatähti-kytkentää käytetään kuitenkin vain pienitehoisissa muuntajissa. Haittana on kuitenkin se, että hakatähtikytkentä vaatii johdinmateriaalia 15,5% enemmän kuin tähtikytkentä ja sen sisäiset kytkennät ovat mutkikkaammat. /2/

3.2.4 Vaihteleva kuormitus

Muuntajan käytöllä on vahva vaikutus muuntajan elinkaareen, varsinkin paljon vaihteleva kuormitus vaikuttaa paljon muuntajan käyttöikänsä. Jos muuntajan kuormitus on paljon vaihtelevaa, muuttuu samalla myös muuntajan lämpötila, joka taas aiheuttaa öljyn tilavuuden muutoksia. Tällöin muuntaja hengittää ja öljy joutuu tekemisiin ulkoilman kanssa.

3.2.5 Loisteho

Loisteho on sähköverkossa siirtyvää tehoa, joka ei tee työtä päätötehon tapaan vaan pelkästään kuormittaa verkkoa. Loisteho voi olla joko kapasitiivista tai induktiivista. Kapasitiivista loistehoa aiheuttaa kapasitiiviset kuormat, kuten kondensaattorit ja induktiivista loistehoa induktiiviset kuormat, kuten sähkömoottorit. Voidaan ajatella, että induktiiviset kuormat kuluttavat loistehoa ja kapasitiiviset kuormat aiheuttavat sitä. Koska induktiivinen ja kapasitiivinen loisteho kumoavat toisensa, käytetään kondensaattoreita loistehon kompensointiin.

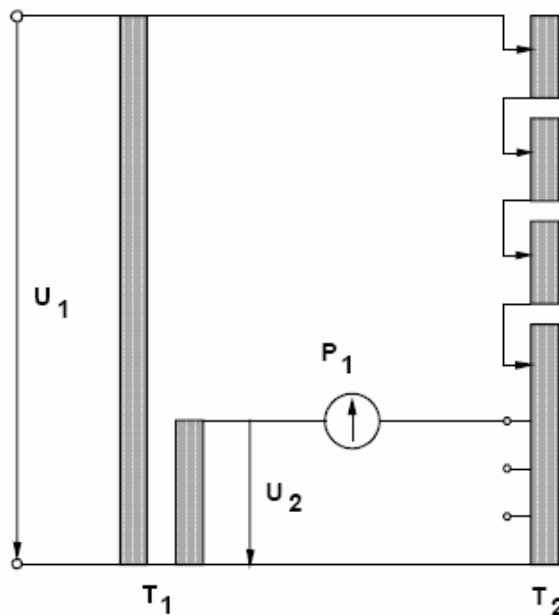
Muuntajan teho ilmoitetaan näennäistehona S , joka koostuu sekä päätötehosta P että loistehosta Q . Tällöin verkossa kulkema loisteho kuormittaa myös jakelumuuntajia alentaen niiden kuormitettavuutta ja lisäksi käyntilämpötilaa kohonneen tehonsiirron myötä.

4 MUUNTAJILLE TEHTÄVÄT MITTAUKSET HUOLLON YHTEYDESSÄ

Jakelumuuntajalle tehdään erilaisia mittauksia ja koestuksia ennen huoltotoimenpiteitä, jotta muuntajan mahdolliset viat selviäisivät, ja huoltotoimenpiteiden jälkeen, jotta varmistuttaisiin muuntajan toimivuudesta. Kaikkia mittauksia ja koestuksia ei tehdä joka kerralla, vaan ne riippuvat muuntajalle tehtyjen huoltotoimenpiteiden määristä.

4.1 Muuntosuhteen mittaaminen

Muuntosuhteen mittaaminen tehdään muuntajalle tarkistuksen yhteydessä ja ennen, kuin muuntaja lasketaan öljysäiliöön käämien uusimisen jälkeen. Koe tehdään erikoisella muuntosuhdemittaussillalla, jolla samalla saadaan tarkastetuksi kytkentäryhmä. Kuvassa 24 on esitetty muuntosuhteen mittaussilta. /29/



Kuva 24. Muuntosuhdemittaussillan periaatekuva. /30/

Kuvassa 24 esitetyssä mittaussillassa T_1 =mitattava muuntaja, T_2 =säädettävä muuntaja jossa dekadien näyttö, U_1 =sillan syöttöjännite, U_2 =mitattavan muuntajan toisiojännite ja P_1 on nolapisteen jännitemittari.

Mittaussilta on yksivaiheinen, ja sillä saadaan mitattua aina yhden pylvään käämitykset kerrallaan. On huomioitava, että sillan ilmoittama muuntosuhde ei aina välttämättä vastaa muuntajalle ilmoitettua muuntosuhdetta suoraan ensiön ja toision välillä, vaan tulos riippuu muuntajan kytkentäryhmästä. On huomioitava ovatko kytketyt käämit yhteydessä toisiin käämeihin vai nollatasoon. Esimerkiksi yleisin jakelumuuntajan muuntosuhde on 20/0,4 kV Dy-kytketylle muuntajalle on $20000/(400/\sqrt{3})=86,60254$. /30/

4.2 Kytkentäryhmän tarkistus

Kytkentäryhmän tarkistus tehdään muuntajalle aina, kun käämejä tai johtimia on korjattu tai uusittu. /29/

Kytkentäryhmä saadaan selville muuntosuhteen mittauksen yhteydessä. Kun mittajohtimet ovat kytketty testattavasta muuntajasta mittaussiltaan kuvassa 25 esitettyjen vektoridiagrammien mukaan, niin muuntajan kytkentä on oikein, kun mittaussillasta saatu muuntosuhde on sama muin muuntajalle ilmoitettu. /30/

	Dd 0	
0	Yy 0	
	Dz 0	
	Dy 5	
5	Yd 5	
	Yz 5	
	Dd 6	
6	Yy 6	
	Dz 6	
	Dy 11	
11	Yd 11	
	Yz 11	

Kuva 25. Muuntajan eri kytkenät ja niiden käämitykset.

4.3 Eristyskoe, vaihtojännite ulkoisesta jännitelähteestä /29/

Eristyskokeella varmistetaan, että eristys käämien välillä ja käämien ja maadoitettujen osien välillä kestää esiintyvät, jatkuvat käyttöjännitteet, kytkentäylijännitteet sekä käytöstä johtuvat lyhytaikaiset ylijännitteet. Eristyskoe suoritetaan taulukossa 1 annetulla arvoilla.

Taulukko 1. Eristyskokeen jännitearvot

Mitoitusjännite	Koestusjännite / kV, 60 sek, 50 Hz	
	100 % (uusi muuntaja)	75 % (huollettu/korjattu)
<1,1	3	2
3,6	10	7,5
7,2	20	15
12	28	21
24	50	37,5
36	70	52,5

Koe suoritetaan ylä- ja alajännitekäämeille öljyeristetyn muuntajan ollessa upotettuna öljysäiliöönsä. Koeaika on 60 sekuntia. On huomattava, että vanhojen muuntajien koejännitetaso on standardin mukaan 75%. Koejännite on kuitenkin 100%, kun kaikki ylä- tai alajännitekäämit on kokonaan uusittu.

Koejännite syötetään koestettavalle käämille yksivaiheisena koestettavan käämin ollessa oikosuljettuna. Muut käämit ja öljysäiliö ovat maadoitettu. Eristyskokeen jälkeen suoritetaan tarvittaessa eristysvastusmittaus.

4.4 Ylijännitekoe indusoidulla jännitteellä /29/

Ylijännitekokeella varmistetaan, että kierros-kerros-vyyhtikäämien väliset eristykset kestävät esiintyviä, jatkuvia käyttöjännitteitä, kytkentäylijännitteitä sekä käytöstä johtuvia lyhytaikaisia ylijännitteitä.

Syötetty jännite on 75% tasosta $2xU$ tai asiakkaan kanssa sovittu taso. Esim. muuntajan muuntosuhteen ollessa 20/0,4 kV, syötetään $(2 \cdot 400) \cdot 0,75$ V alajännitepuolella = 600 V. Syötetyn jännitteen taajuus on 150 tai 250 Hz ja kokeen kesto T on

$$T = \frac{\text{nimellistaajuus}}{\text{koestustaajuus}} \cdot 120 \text{ sekuntia} \quad (11)$$

Koestusjännite syötetään alajännitepuolelle ja yläjännitepuolen liittimet ovat avoinna. Koe hyväksytään, jos jännite pysyy vakiona koko kokeen ajan.

4.5 Eristysvastusmittaus /29/

Eristysvastusmittauksella varmistetaan, että muuntajan käämitysten, maan ja muuntajasäiliön välillä on tarpeeksi suuri resistanssi.

Eristysvastus mitataan seuraavista väleistä:

- $Y - (A + S + \text{maa})$
- $A - (Y + S + \text{maa})$
- $(A + Y) - S$

Y = yläjännitekäämi

A = alajännitekäämi

S = muuntajasäiliö

maa = maapiste

Eristysvastuksen tulee olla useita megaohmeja.

4.6 Käämiresistanssien mittaus /30/

Käämiresistanssin mittauksessa mitataan resistanssit muuntajan käämien väliltä ylä- ja alajännitepuolelta ja samalla mitataan myös käämin lämpötila.

Käämiresistanssin mittauksella varmistetaan, että käämityksen liitokset ovat oikeassa järjestyksessä ja käämitys on oikein kytketty.

Käämien resistanssit mitataan tasajännitettä käyttäen. Käämien läpi kulkeva virta aiheuttaa käämin resistanssin vaikutuksesta jännitehäviön. Käämien yli olevan jännitteen ja niiden läpi kulkevan virran avulla saadaan laskettua käämien resistanssit tarkasti kun käytetään vielä korjauskerrointa joka ottaa huomioon mittalaitteiden sisäisen resistanssin.

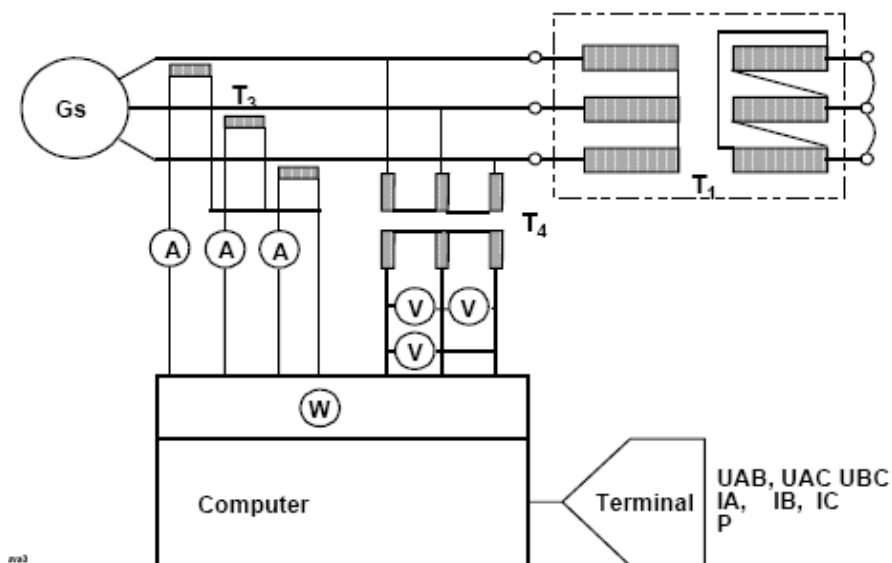
Käämiresistanssien arvoja tarvitaan myös muuntajan kuormitushäviöitä mitattaessa, kun häviöitä lasketaan vastaamaan standardien lämpötilaa.

4.7 Kuormitushäviöiden ja oikosulkuimpedanssin mittaus

Kuormitushäviöt ja oikosulkuimpedanssi mitataan aina käämin uusimisen jälkeen, tai jos asiakas niin haluaa.

Kuormitushäviöt mitataan muuntajaan kytketyllä tietokoneella, kuvassa 26 esitetyn kytkennän mukaisesti. Mittauksessa virta syötetään yläjännitepuolelle alajännitepuolen ollessa oikosuljettu.

Kuvassa 26 G_s = syöttöjännite muuntajalle, T_1 = testattava muuntaja, T_3 = virtamuuntajat, T_4 = jännitemuuntajat ja W = tehomittari



Kuva 26. Kuormitushäviöiden mittauskytkentä.

Mittauksessa muuntajaan syötettävää jännitettä kasvatetaan, kunnes virta nousee tarpeeksi suureksi, noin 25%-100% nimellisvirrasta. Mittaus suoritetaan tietokoneella ja on tehtävä nopeasti, koska muuntajan lämpötila kasvaa alajännitepuolen ollessa oikosuljettu.

Tietokone laskee mittalaitteiden muuntajien johdosta tehtävät korjaukset tehdään mitatulle virralle, jännitteelle ja teholle. Jos mittausvirta I_m eroaa

Tietokone laskee mittalaitteiden muuntajien vuoksi tehtävät korjaukset mitatulle virralle, jännitteelle ja teholle automaattisesti käyttäen joka mittalaitteen muuntajalle määriteltyjä korjauskertoimia. Jos mitattu virta I_m eroaa nimellisvirrasta I_n , niin nimellisvirtaa vastaavat teho P_{km} ja jännite U_{km} saadaan käyttämällä mitattuun virtaan liittymiä korjauskertoimia P_c ja U_c . Korjaukset lasketaan teholle yhtälöllä

$$P_{km} = \left(\frac{I_n}{I_m} \right)^2 \cdot P_c \quad (12)$$

ja jännitteelle yhtälöllä

$$U_{km} = \left(\frac{I_N}{I_m} \right) \cdot U_c \quad (13)$$

Mitatut arvot tulee korjata vastaamaan standardien asettamaa käämien lämpötilaa 75°C.

DC-häviöt P_{om} mitatussa lämpötilassa T_m lasketaan käyttäen mitattuja käämien resistanssiarvoja (käämeille 1 ja 2) yhtälöllä

$$P_{om} = 1,5 \cdot (I_{1N}^2 \cdot R_{1m} + I_{2N}^2 \cdot R_{2m}) \quad (14)$$

Kokonaishäviöteho P_{am} mitatulla lämpötilalla saadaan laskettua yhtälöllä

$$P_{am} = P_{km} - P_{om} \quad (15)$$

Oikosulkuimpedanssi Z_{km} ja oikosulkuresistanssi R_{km} mitatussa lämpötilassa saadaan yhtälöllä

$$Z_{km} = 100 \cdot \frac{U_{km}}{U_N} \% \quad (16)$$

ja

$$R_{km} = 100 \cdot \frac{P_{km}}{S_N} \% \quad (17)$$

U_{km} on mitattu oikosulkujännite joka on korjattu yhtälön 13 mukaan. U_n on muuntajan nimellisjännite ja S_n on muuntajan nimellisteho. Oikosulkureaktanssiin X_K ei vaikuta häviöt ja X_K on sama mittauslämpötilassa T_m ja referenssilämpötilassa 75°C, jolloin

$$X_{km} = \sqrt{Z_{km}^2 - R_{km}^2} = X_{kc} \quad (18)$$

Kun häviöt korjataan 75°C lämpötilaan, oletetaan, että DC-häviöt muuttuvat suoraan resistanssin mukana ja muut häviöt käänteisesti resistanssiin nähden.

Häviöt 75°C lämpötilaan korjattuna saadaan seuraavasti:

$$P_{kc} = P_{om} \cdot \frac{T_s + 75^\circ\text{C}}{T_s + T_m} + P_{am} \cdot \frac{T_s + T_m}{T_s + 75^\circ\text{C}} \quad (19)$$

missä $T_s = 235^\circ\text{C}$ kuparille ja 225°C alumiinille.

Nyt oikosulkuresistanssi R_{kc} ja oikosulkuimpedanssi referenssilämpötilassa voidaan määritellä yhtälöillä

$$R_{kc} = 100 \cdot \frac{P_{kc}}{S_N} \% \quad (20)$$

ja

$$Z_{kc} \sqrt{X_{kc}^2 + R_{kc}^2} \quad (21)$$

4.8 Tyhjäkäyntihäviöiden mittaus

Tyhjäkäyntihäviöt määritetään muuntajan nimellisjännitteellä ja nimellistaajuudella. Tyhjäkäyntimittauksessa saadaan selville rautahäviöt muuntajan sydämessä ja rakenteellisissa osissa, erityksen ei-sähköiset häviöt ja tyhjäkäyntivirran aiheuttamat häviöt. Kaksi jälkimmäistä ovat hyvin vähäisiä ja voidaan jättää huomioitta.

Mittaus tehdään muuntajan alajännitepuolelle muuntajan ollessa kuormittamaton. Muuntajan ensiöön syötettävää jännitettä säädetään siten, että toisiojännite on nimellinen jolloin saadaan mitattua kuinka paljon tyhjäkäyvä muuntaja rasittaa verkkoa.

5 MUUNTAJILLE TEHTÄVIÄ ENNAKOIVIA HUOLTOTOIMENPITEITÄ

ABB Oy, Servicen tekemät jakelumuuntajien huoltotoimenpiteet ja korjaukset voidaan jakaa muuntajan käytön aikana tehtäviin ja katkaisun vaativiin toimenpiteisiin, joissa muuntaja on irrotettava verkosta huollon ajaksi. Huoltoja voidaan tehdä asiakkaan tarpeiden mukaan pelkästään jollekin tietylle osalle, kuten esimerkiksi läpivientiposliinille tai jännitteensäätimelle. ABB Oy, Servicellä on myös valmiita paketteja, joihin kuuluvat tietyt toimenpiteet.

Huoltotoimenpiteet voivat olla korjaavia silloin, jos muuntajaa korjataan jonkin vian ilmenemisen jälkeen. Muuntajan käyttäjän kannalta edullisemmaksi kuitenkin tulee, jos huoltotoimenpiteet ovat ennakoivia. Tällöin muuntajaa huolletaan tasaisin väliajoin ja siten ehkäistään vikojen ja odottamattomien katkojen syntyminen. Huolloilla hidastetaan muuntajan vanhenemista, palautetaan sen oikosulkukestoisuus sekä parannetaan jännitekestoisuutta.

5.1 Käytön aikaiset huoltotoimenpiteet**5.1.1 Visuaalinen tarkastus**

Jakelumuuntajalle suoritetaan visuaalinen tarkastus aina, kun sille tehdään jokin huoltotoimenpide. Visuaalinen tarkastus on silmämääräisesti tehty yleissilmäys, jossa tarkastetaan muuntajan ulkoiset osat mahdolliset vikojen ja puutteiden varalta. Seuraavat asiat kuuluvat visuaalisen tarkastuksen kohteisiin:

- Muuntajan puhtaus ja mahdolliset kolhut
- Öljyn määrä
- Sj- ja pj-puolen läpivientieristimien ja liittimien kunto
- Läpivientieristimien tiivisteiden kunto
- Muuntajan kannen tiivisteiden kunto
- Mahdolliset vuotokohdat
- Lisävarusteet (kuivaussuolan vaihto tarvittaessa)
- Muut mahdolliset silmin havaittavat seikat

5.1.2 Öljyanalyysit /22/

Muuntajien sisäisten vikojen ennakoimiseksi ja ehkäisemiksi suositellaan otettavaksi määräajoin, käyttöolosuhteista ja verkossa esiintyneistä vioista riippuen noin 5-6 vuoden välein, muuntajan öljyanalyysi. Jos öljyn laadussa on havaittu heikkouksia, jotka eivät kuitenkaan vaadi välittömiä huoltotoimenpiteitä, tulisi näytteenottoväliä lyhentää 2-3 vuoteen, tai tapauskohtaisesti jopa muutamaaan kuukauteen. Öljyanalyysijä on kahdentasoisia; suppea ja laaja.

5.1.2.1 Suppea öljyanalyysi

Suppea öljyanalyysi saadaan tehtyä ABB Oy, Service Nokian huoltokeskuksen tiloissa, tai tarvittaessa asiakkaan luona muuntajan käyttöpaikalla. Siinä öljystä määritetään sen vesipitoisuus Aquadran 2000 – analysaattorilla, kaasupitoisuus hydran 103 B – analysaattorilla ja 2,5 mm läpilyöntilujuus Baur DpA75 – analysaattorilla. Vesipitoisuuden analysaattori kertoo suhteellisena pitoisuusmittana, ppm-yksikkönä eli miljoonasosalla. Jos vesipitoisuus on alle 40 ppm, ei öljy vaadi kuivatusta. Kaasujen pitoisuus ilmoitetaan niin ikään ppm:nä. Tulos kertoo vain kaasujen pitoisuuden näytteessä, mutta ei eritellysti mitä kaasuja oli ja kuinka paljon. Läpilyöntikoe mittaa öljyn läpilyöntilujuuden 2,5 mm kipinävälillä aluksi viiden minuutin päästä ja sen jälkeen viisi kertaa kahden minuutin välein. Yhteensä otetaan siis kuusi läpilyöntitulosta, joista kirjataan keskiarvo ja huonoin tulos. Keskiarvon tuloksen mukaan päätetään mahdolliset toimenpiteen öljylle taulukon 2 mukaisesti. Taulukon raja-arvot perustuvat IEC standardiin 60156.

Taulukko 2. Öljylle tehtävät toimenpiteet.

RAJA-ARVOT	TOIMENPITEET
< 20 kV / 2,5 mm	Öljynvaihto mahdollisimman pian
20-25 kV / 2,5 mm	Öljynsuodatus mahdollisimman pian
25-30 kV / 2,5 mm	Öljynsuodatus seuraavassa sopivassa seisokissa
>30 kV / 2,5 mm	Öljy ei kaipaa toimenpiteitä

5.1.2.2 Laaja öljyanalyysi

Laajan öljynäytteen analysointi on laboratoriotyötä ja öljyn näytteenotosta on tarkka ohjeistus. Myös kaasuanalyysia varten on oma öljynäytteenotto ohjeensa. Laajalla kaasuanalyysillä selvittävät eri kaasut näkyvät pöytäkirjasta, johon on myös kirjoitettu lausunto öljyn tilasta ja kehityksestä.

Laajaan öljynäytteeseen kuuluu seuraavat määrittymiset:

- Läpilyöntilujuus (raja-arvo >30 kv/2,5mm IEC 60156)
- Kosteus (raja-arvo <40 g/t IEC 60814)
- Neutraloitumisluku (raja-arvo $<0,3$ mgKOH/g IEC 60296)
- Rajapintajännitys (ISO 6295)
- $\tan \delta$
- Roskapitoisuus
- IR-analyysi (inhibititipitoisuus)
- Kaasuanalyysi
- Paperin kosteus
- Paperin DP
- PCB-pitoisuus öljyssä
- Furfuraalianalyysi
- Kuparikorroosiokoe ASTM 1275

Erikseen mainittakoon laajasta öljyanalyysistä, että neutraloitumisluku ja rajapintajännitys kuvaavat öljyn vanhenemista, $\tan \delta$ kuvaa öljyn dielektrisiä häiriöitä, inhibititit hidastavat öljyn vanhenemista, furfuraalianalyysi kertoo selluloosan depolymerointiasteen ja kuparikorroosiokoe kertoo kuinka syövyttävää öljy on kuparille.

Muuntajaöljyn laajaan öljyanalyysiin kuuluvan kaasuanalyysin tuloksena saadaan myös selville mitä kaasuja muuntajan öljyyn on muodostunut. Laajan

kaasuanalyysin kattamat kaasut perustuvat IEC standardiin 60567. Taulukossa 3 on esitetty mitä kaasuja kaasuanalyysillä muuntajaöljystä voidaan selvittää sekä niiden aiheuttajia.

Taulukko 3. Kaasuanalyysin tulokset.

Kaasu		Raja-arvo pitoisuus cm ³ / m ³	Kaasun mahdollinen aiheuttaja
Vety	H ₂	100	Osittaispurkauksia
Happi	O ₂		
Typpi	N ₂		
Metaani	CH ₄	100	Osittaispurkauksia, terminen vika
Hiilimonoksidi	CO	500	Paperin hajoaminen
Hiilidioksidi	CO ₂	10000	Paperin hajoaminen
Etyleeni	C ₂ H ₄	150	Osittaispurkauksia, terminen vika
Etaani	C ₂ H ₆	150	Terminen vika
Asetyleeni	C ₂ H ₂	30	Valokaari

Muuntajassa tapahtuneet ylikuumentumiset tai purkaukset aiheuttavat kaikki kaasuja muuntajan öljyyn. On havaittu, että ylikuumenemisen seurauksena on öljyyn muodostunut metaania ja etyleeniä. Matalaenergiset osittaispurkaukset synnyttävät erityisesti vetyä. Jos sähköpurkauksien energia kasvaa, esim. valokaaren muodostuessa, syntyy asetyleeniä. Paperi- ja prespaanieristeiden hajotessa syntyy hiilimonoksidia ja –dioksidia./31/

Mitään ehdottomia raja-arvoja ei kaasupitoisuuksille ole, koska kunnossa olevistakin muuntajissa muodostuu kaasuja. Kaasujenmuodostus riippuu lisäksi käyttöolosuhteista. Käytännön kokemuksen perusteella on havaittu, että ainakin ABB:n valmistamissa muuntajissa voidaan käyttää seuraavia suuntaa antavia raja-arvoja. Kaasun pitoisuudet ovat ilmoitettu suhteena: öljystä erotetun kaasun tilavuus / öljyn tilavuus [cm³ / m³ = ppm]. /31/

Myös kaasupitoisuussuhteilla voidaan määrittää erilaisia vikoja. Taulukossa 4 on kuvattu eri kaasujen suhteita .

Taulukko 4. Esimerkkejä kaasupitoisuussuhteista. /32/

Vikatyyppi	Kaasupitoisuussuhte			Esimerkkejä vioista
	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	
Ei vikaa	< 0,1	0,1 - 1	< 0,1	Normaali vanheneminen
Osittaispurkauksia	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Purkauksia kaasutäytteisissä onkaloissa johtuen ylikyllästymisestä tai epätäydellisestä kyllästymisestä
Pienitehoisia purkauksia	> 3	0,1 - 1	> 3	Jatkuvaa kipinäointia koskettimissa
Suuritehoisia purkauksia	1 - 3	0,1 - 1	> 3	Läpilyönti öljyssä
Terminen vika, $\leq 150^\circ\text{C}$	< 0,1	0,1 - 1	1 - 3	Eristettyjen johtimien ylikuumentuminen
Terminen vika, $\geq 700^\circ\text{C}$	< 0,1	> 3	> 3	Pyörrevirtojen aiheuttama sydämen ylikuumentuminen, koskettimien ylikumentuminen

5.1.3 Jakelumuuntajan ennakoiva huolto käyttöpaikalla /23/

Käyttöpaikalla tehtävän huoltokokonaisuuden nimi on Jakelumuuntajan ennakoiva huolto käyttöpaikalla. Kokonaisuutta on kahdenlaista, toinen on viiden vuoden välein tehty huolto ja toinen on kymmenen vuoden huolto. Nämä ovat ohjeellisia arvoja rauhallisten paikkojen muuntajille. Huoltojen tiheydet ovat tapauskohtaisia ja niihin vaikuttavat muuntajan olosuhteet, käyttöpaikka ja kriittisyys. Olosuhteista riippuen huoltoja voi olla tehtävä esim. vuosittain, tai jopa kolmen kuukauden välein. Huolto tehdään muuntajan käyttöpaikalla, jolloin tuotteen tilaajan on tehtävä joitain valmisteluja huoltoa varten.

Käyttöpaikalla suoritettavaan huoltopakettiin kuuluvat taulukon 5 mukaiset toimenpiteet.

Taulukko 5. Jakelumuuntajan ennakoiva huolto käyttöpaikalla

	Huoltoväli	
	5v	10v
Työn esivalmistelu ja jälkiselvitys	X	X
Tarkastus- ja huoltotoimenpiteet		
visuaalinen tarkastus	X	X
öljynäytteen otto	X	X
suojalaitteiden tarkastus (koestus)	X	X
maadoituksen tarkastus	X	X
väliliottokytkimen säätö laidasta laitaan	X	X
pintakäsittelyn tarkastus	X	X
muuntajan kannen puhdistus tarpeen mukaan		X
Mittaukset ja koestukset		
kaasureleen tarkastus	X	X
lämpömittarin tarkastus		X
öljynkorkeuden osoittimen toiminnan tarkastus		X
Tarkastus- ja huoltopöytäkirja	X	X
Työssä tarvittavat pientarvikkeet (puhdistusaineet ym.)		

Mikäli tarkastuksen yhteydessä havaitaan vikoja, jotka vaativat korjaustoimenpiteitä, sovitaan korjauksesta ja veloituksesta erikseen. Myös öljynäytteen analysointi veloitetaan erikseen. Lisäksi peritään lisäveloitus, jos muuntajan sijainti poikkeaa normaalista sähkötilasta.

Taulukosta 6 selviää vastuunjako huoltotyöstä tilaajan ja toteuttajan kesken.

Taulukko 6. Käyttöpaikalla tehdyn huollon vastuujako

	Ti	To
Työn esivalmistelu:		
tarkastustyön esivalmistelu		X
pöytäkirjan laatiminen		X
huoltoaikataulun suunnittelu / resurssien varaaminen	X	X
Huolto- / korjaustyö:		
varaosatarpeen kartoitus / hankinta	X	X
vastuu työjärjestelyistä ja huoltoaikataulun toteuttamisesta	X	X
huollon suoritus		X
laadun varmistus ja raportointi		X
työn vastaanotto	X	X
Työturvallisuus- ym. edellytykset:		
vastuu verkon kytkentätoimenpiteistä	X	
työturvallisuuden vaatimat maadoitukset ym toimenpiteet töiden aikana	X	
työn vaatimat työskentelytasot ja työmaasähkö 230V	X	
lukitut, kuivat ja lämpimät tilat tarvikkeiden ja työkalujen säilyttämiseksi	X	

Jotkin huollon kohdat vaativat, että muuntaja kytketään irti verkosta.

Tuotekuvauksessa on määriteltä, että huollon aikana muuntajan jännitteetön aika viiden vuoden huollolla on 3 tuntia ja kymmenen vuoden huollolla 4-5 tuntia.

Huolto on myös mahdollista tehdä ilman katkoja. Tarkastuksen yhteydessä muuntajalle laaditaan pöytäkirja, josta näkyy asiakkaan tiedot, muuntajan tiedot, tarkastetut asiat, tehdyt toimenpiteet ja seuraavan huollon ajankohta.

5.2 Katkaisun vaativat huoltotoimenpiteet**5.2.1 Jakelumuuntajien ennakoiva huolto korjaamolla /24/**

Jos muuntajalle halutaan tehdä laajempi huolto, toimitetaan se silloin ABB Oy, Servicen tiloihin ja sille tehdään huoltopaketti, joka on nimeltään Jakelumuuntajien ennakoiva huolto korjaamolla. Korjaamolla tehdyt huoltotoimet voidaan jaotella kolmeen osaan; mittaavat, ehkäisevät sekä parantavat toimenpiteet. Taulukossa 7 on kirjattuna ne toimenpiteet, jotka kuuluvat kolmeen edellä mainittuun huoltoon.

Taulukko 7. Jakelumuuntajan ennakoiva huolto korjaamolla

	Mittaava	Ehkäisevä	Parantava
Sähköisen kunnan toteaminen			
Muuntosuhdemittaus	X	X	X
Eristysvastusmittaus	X	X	X
Säiliön ja varusteiden tarkastus	X	X	X
Paikkamaalaus	X	X	X
Öljyn PCB-analyysi (ei herm.)		X	X
Avaus, käämien tarkastus ja kirstitys		X	X
Väliottokytkimen tarkastus	X	X	X
Käämien kuivaus kiertoilmaunissa		X	
Öljyn käsittely ja koestus		X	X
Käämien kuivaus ja tyhjökäsittely			X
Öljyn täyttö tyhjön aikana			X
Tiivisteiden uusiminen		X	X
Vuototarkastus	X	X	X
Loppukoestus		X	X
Eristysvastusmittaus		X	X
Ylijännitekoe (indusoitu) 75%		X	X
Eristyskokeet 75 % arvolla			X
Tarkastus- / huoltopöytäkirja	X	X	X

Lisäksi vielä tarvittaessa tai sopimuksen mukaan muuntajalle voidaan suorittaa lisähinnan mukaan hiekkapuhallus, ruosteenestomaalaus ja pintamaalaus. Tuote ei sisällä tarkastuksen tai huollon yhteydessä havaittavien vikojen korjaustoimenpiteitä eikä tarvittavia varaosia.

Myös muuntajaan täytetty öljy veloitetaan erikseen kuten öljynäytteiden analyysi. Öljynäytteen tulokset kirjataan pöytäkirjaan. Muuntajalle tehtävien mittausten ja koestuksien tulokset kirjataan koestuspöytäkirjaan. Kyseiselle muuntajalle on tehty vain eristysvastusmittaus, ylijännitekoe, muuntosuhdemittaus ja kytkentäryhmän tarkastus.

5.2.2 Jakelumuuntajan läpivientiposliinin uusiminen /25/

Muuntajan läpivientiposliinin uusiminen on oma tuotteensa, johon kuuluu seuraavat korjaustyöt ja muut tarkastukset:

Korjaustyö:

- Kohteen yleistarkastus
- Liityntöjen erottaminen ja asentaminen
- Muuntajaöljyn poistaminen (tilaajan osoittamaan astiaan)
- Muuntajakannen puhdistus
- Eristimen irrotus ja vaihto
- Tiivisteiden uusiminen
- Kaikkien läpivientiposliinien tarkastus ja kiristys
- Muuntajaöljyn täyttö ja ilmaukset

Muut tarkastukset:

- Suojalaitteiden koestus
- Varusteiden tarkastus
- Öljynäytteen otto

Tarkastus ja huoltopöytäkirja

Pientarvikkeet, kuten voitelu- ja puhdistusaineet

Mikäli työn yhteydessä todetaan vielä muita korjaustarpeita, sovitaan ja veloitetaan niistä erikseen. Tuotteen vastuunjako on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Läpivientiposliinin vaihdon vastuunjako

	Ti	To
Työn esivalmistelu:		
varaosatarpeen kartoitus / hankinta	X	X
käsi- ja erikoistyökalujen hankinta		X
tarveaineiden kartoitus / hankinta	X	X
huoltoaikataulun suunnittelu / resurssien varaaminen	X	X
Huolto- / korjaustyö:		
vastuu työjärjestelyistä ja huoltoaikataulun toteuttamisesta	X	X
huollon suoritus		X
laadun varmistus ja raportointi		X
työn vastaanotto	X	
Työturvallisuus- ym. edellytykset:		
vastuu verkon kytkentätoimenpiteistä	X	
työturvallisuuden vaatimat maadoitukset ym toimenpiteet töiden aikana	X	
työn vaatimat työskentelytasot ja työmaasähkö 230V	X	
tyhjän astiat öljyn talteenottamiseen ja mahdollisesta öljyn jatkokäsittelystä huolehtiminen	X	

Sisäisen liitoksen korjaus voidaan suorittaa muuntajan käyttöpaikalla ilman suuria valmistavia toimenpiteitä. Edellytyksenä on, että asiakkaalla on mahdollisuus nostaa muuntajan kansi irti muuntajan säiliöstä. Läpiviennin sisäisen liitoksen korjauksessa korjataan löystynyt liitos läpiviennin ja käämityksen tai väliottokytkimen väliltä. Tuote sisältää seuraavat kohdat:

- Työn esivalmistelu ja jälkiselvittely
- Korjaustyö:
 - Kohteen yleistarkastus
 - Muuntajaöljyn poistaminen (tilaajan osoittamaan astiaan)
 - Muuntajakannen puhdistus
 - Muuntajan avaaminen ja sulkeminen
 - Viallisen liitoksen korjaus ja kaikkien liitoksien puhdistus ja kiristys
 - Tiivisteiden uusiminen avatuissa kohteissa
 - Kaikkien läpivientien tarkastus ja kiristys
 - Muuntajaöljyn täyttö ja ilmaukset
- Muut tarkastukset:
 - Suojalaitteiden koestus
 - Varusteiden tarkastus
 - Öljynäytteen otto
- Tarkastus- ja huoltopöytäkirja
- Pientarvikkeet, kuten voitelu- ja puhdistusaineet
- Erikseen sovittaessa muuntajan siirto korjauspaikalle ja takaisin

Tuotteeseen eivät sisälly öljyanalyysit eivätkä varaosat ja mahdolliset öljyt sekä muut korjaustarpeet vaan ne veloitetaan erikseen. Vastuunjako on sama, kuin kohdan 4.2.2 läpivientiposliinin uusimisessa taulukossa 8.

5.2.4 Jännitesäätimen ennakoiva huolto /27/

Jännitesäätimen ennakoivassa huollossa tarkastetaan ja puhdistetaan muuntajan jännitesäätimen kaikki osat. Tuote sisältää seuraavat kohdat:

- Laitteiston puhdistus
- Jännitteiden tarkastus
- Apujännitteiden tarkastus
- Liityntöjen tarkastus
- Tehopuolijohteiden tarkastus
- Apuherätyksen tarkastus
- Säädetävyyden tarkastus
- Statiikan tarkastus
- Raportointi

Tuotteeseen eivät sisälly mahdolliset korjaustyöt, varaosat ja / tai vaihtolaitteet, sovellusohjelmistoon tehtävät muutokset ja testaukset eivätkä huoltohenkilön etäkustannukset. Tuote edellyttää käytön pysäyttämistä, käynnistämistä ja koeajoa. Lisäksi tilaajan edustajan tulee olla paikalla.

5.2.5 Jakelumuuntajien korjaus, käämin uusinta /28/

Ennen tuotteen korjaukselta arvioidaan jokaisen muuntajan viankorjauskustannukset. Kyseisen muuntajan jäljellä olevaan käyttöikänsä (verrattuna uuden muuntajan hankintakustannuksiin ja käyttöikänsä) perustuen selvitetään kumpi vaihtoehto on asiakkaalle kannattavampaa, vanhan muuntajan huoltaminen ja korjaaminen vai vanhan muuntajan romuttaminen ja uuden muuntajan hankinta. Tällöin asiakas ei koskaan joudu maksamaan työstä, joka ei ole kokonaistaloudellisesti kannattava.

Tuote sisältää seuraavat asiat:

- Sähköinen tarkistusmittaus
- Muuntajan säiliön ja valvontalaitteiden tarkastus
- Muuntajan avaus
- Aktiiviosan tarkastus, väliottokytkin
- Vian laajuuden selvittäminen
- Korjaustyön sopiminen asiakkaan kanssa
- Viallisen käämin korjaus/uusiminen
- Muiden käämien puhdistus
- Öljyn PCB-analyysi
- Kuivaus, tyhjökäsittely ja uuden öljyn täyttö tyhjän aikana
- Tiivisteiden uusiminen
- Paikkamaalaus
- Perusteellisempi pintakäsittely eri sopimuksen mukaan
- Koestus normien mukaan
 - Muuntosuhdemittaus
 - Eristysjännitekoe 75 % arvolla
 - Ylijännitekoe (indusoitu) 75% arvolla
- Koestuspöytäkirjat
- Tiiveystarkastus
- Pakkaus ja lähettäminen

Tuotteeseen eivät kuulu edellä mainittujen lisäksi vaaditut korjaustyöt eivätkä mahdollisesti tarvittavat varaosat.

5.3 Muita huolto/mittaustoimenpiteitä

5.3.1 Lämpökuvaus

Lämpökuvauksella nähdään muuntajasta mahdollisia löysiä liitoksia tai rikkinäisiä läpivientieristimiä. Lämpökuvaus suoritetaan muuntajalle asiakkaan erikseen niin haluamana muiden huoltojen yhteydessä. Lämpökuvauksen aikana on muuntajan oltava käytössä.

5.3.2 Ultraäänimittaukset

Ultraäänimittauksella saadaan selville läpivientieristimissä tai liittimissä olevat piilevät vauriot, joita on paljain silmin mahdotonta nähdä niiden sijainnin tai pienen koon vuoksi.

5.3.3 Öljyn suodatus käytön aikana

Muuntajan öljy on mahdollista suodattaa muuntajan käyttöpaikalla. Tällöin muuntajan yhteyteen toimitetaan suodatin, joka öljyn tilavuudesta riippuen 1-7 vuorokauden ajan kierrättää öljyä lävitseen muuntajan käydessä normaalisti. Suodatuksella saadaan öljystä poistettua partikkeleita ja rakenteellista kosteutta, josta suurin osa on paperieristeissä. Öljyn suodatus vaatii koko ajan suodatuksen käydessä jonkun valvomaan suodatusta. Kohdan 3.1.1 kuvasta 19 nähdään minkälainen vaikutus öljyn suodattamisella on muuntajan läpilyöntilujuudelle.

6 UUSIA HUOLTOTOIMENPITEITÄ

6.1 Käyttöympäristön parannus

Käyttöympäristön parannuksella voidaan muuntajan elinikää pidentää siten, että mahdollisuuksien mukaan varmistetaan muuntajan käyvän puhtaassa ja tarpeeksi kuivassa ja viileässä ilmassa. Esimerkiksi muuntajakoppeihin tai pieniin sähkötiloihin jossa muuntaja sijaitsee, voidaan asentaa kunnollinen tuuletus ja tuuletuskanavat voidaan varustaa ilmansuodattimilla. Tällöin pitäisi huolehtia siitä, että ilmansuodatin on puhdas, koska muuten muuntaja saattaa lämmitä entistä enemmän tuuletuksen tukkeuduttua kokonaan. Jos päädytään muuntajatilán jähdytykseen, olisi pyrittävä pitämään tila maksimissaan noin 20°C lämpöisenä. Siinä lämpötilassa on määritelty jakelumuuntajan keskimääräinen ikä.

Käyttöympäristön parannuksena voidaan muuntajan tai sen läpivientieristimien ympärille rakentaa kotelointi, jolla estetään pölyn tai muiden haitallisten aineiden pääsy muuntajan tai läpivientieristimien pinnoille. Jos koko muuntaja koteloidaan, on huomioitava riittävä ilmanvaihto muuntajan jäähtymisen takaamiseksi.

Jos muuntaja sijaitsee ulkotiloissa, voi eläinsuojien asennuksella olla muuntajan käyttöturvallisuutta parantava vaikutus niiden estäessä eläinten aiheuttamat oikosulut. Sisätiloissa sijaitsevissa muuntajissa eläinsuojat estävät vieraiden esineiden pääsyn jännitteisiin osiin ja parantavat myös käyttöturvallisuutta. Salamaniskujen aiheuttamia transientti-ylijännitteitä vastaan muuntaja voidaan suojata ylijännitesuojilla.

6.2 Ulkoinen valvonta

Muuntajan ulkoista valvontaa voidaan tehostaa paremman käyttöiän saamiseksi. Muuntajaan voidaan tarvittaessa vaihtaa tai asentaa lämpömittari, kaasurele ja öljynkorkeuden osoitin, joihin saadaan hälytyskoskettimia. Näiden avulla voidaan

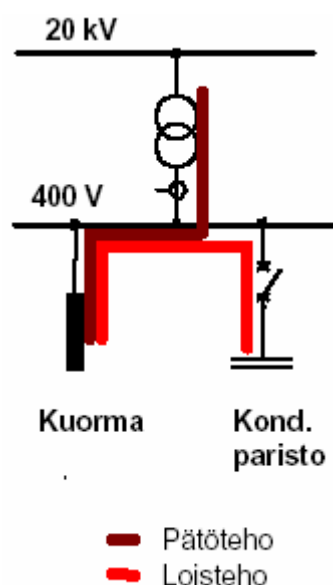
valvoa jos muuntaja alkaa käydä liian kuumana, öljyssä tapahtuu läpilyöntejä tai tapahtuu muuta mikä aiheuttaa kaasuja, ja jos öljynkorkeus laskee liikaa.

6.3 Sähkön laadun mittaukset ja parannukset

Nykyisin tuskin missään teollisuuden sähköverkoissa saadaan mittaamalla puhtaasti sinimuotoista jännitettä. Jotta jakelumuuntajan käyttöikä pystyttäisiin pidentämään sähkön laatua parantamalla, pitää verkosta ensin tehdä tarvittavat sähkön laadun mittaukset. Usein, kun sähkön laatua mitataan ja pohditaan sen parannuskeinoja on huomattu jokin sähkön laadun ongelma, joka ilmenee laitteiden väärin toimimisella tai toimimattomuudella tai esimerkiksi valojen häiritsevänä vilkkumisena. Tällöin toimenpiteet parantavat sähkön laadun ja poistavat ongelman, ja samalla jakelumuuntajan käyttöikä pitenee.

6.3.1 Loistehon kompensointi /11/

Verkossa esiintyvää loistehoa voidaan kompensoida erillisillä kondensaattoreilla eli kompensointiparistoilla, jotka kuluttavat verkossa esiintyvän loistehon pois kuvan 24 esittämällä tavalla.



Kuva 24. Loistehon kompensoinnin periaate.

Kuvasta näkyy kuinka kompensointiparisto suodattaa loistehon itseensä, jolloin muuntaja ja muu verkko säästyy loisteholta. Kompensointiparisto voidaan asettaa pää- tai nousukeskukselle tai kompensoitavan laitteen rinnalle. On huomioitava, että käytettäessä kompensointiparistoja ilman estokeloja, ei verkossa saa esiintyä

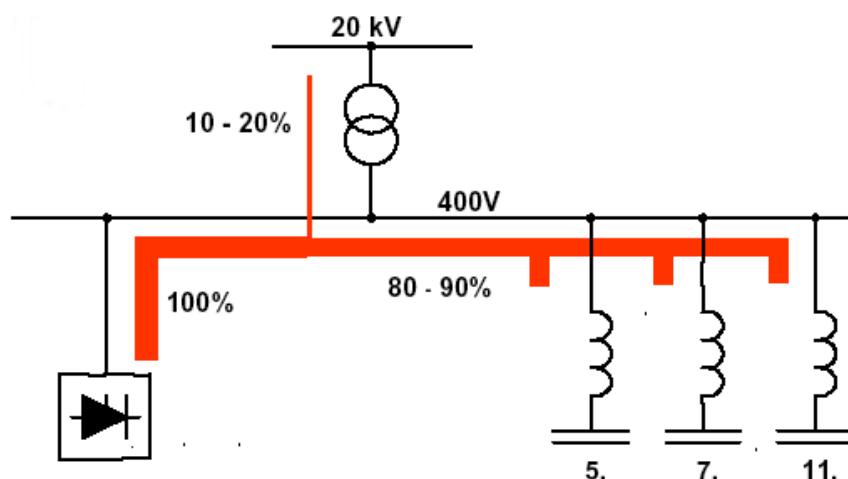
yliaaltoja tuottavia laitteita, sillä kondensaattoripariston kapasitanssi ja verkon induktanssi muodostavat aina resonanssipiirin taajuudella

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (22)$$

Mikäli verkossa on yliaaltolähteitä lähellä ko. taajuutta, saattavat yliaaltovirrat kasvaa 10-15 kertaisiksi.

6.3.2 Harmonisten yliaaltojen suodatus

Yliaaltopitoisessa verkossa on loistehon kompensointi ja yliaaltojen suodatus suoritettava erillisillä suodatinparistoilla, joissa on loistehoportaana käytetyn kondensaattorin kanssa sarjassa kuristin. Kondensaattorin kapasitanssi ja kuristimen induktanssi on valittu siten, että niiden muodostaman resonanssipiirin viritystaajuus on sama kuin suodatettavan yliaallon. Näin ollen jokaiselle suodatettavalle yliaallolle on oltava oma suodatinparistonsa kuten kuvassa 25 on esitetty. /11/



Kuva 25. Yliaaltojen suodatuksen periaate. /11/

Kolmas yliaalto vaatii myös oman suodattimensa. Muiden yliaaltojen suodattimet voidaan kytkeä verkossa vaiheiden välille, mutta kolmannen yliaallon suodatin on kytkettävä vaiheen ja maan väliin.

Suodattimet valitaan syöttävän piirin nimellisvirran mukaan ja mitoituksen lähtökohtana on se, että suodatin kestää 150 Hz jännitteen lisäksi verkossa mahdollisesti esiintyvät epäsymmetrisen kuormituksen aiheuttaman 50 Hz nollavirran. /21/

6.4 Käytön parannus

Muuntajan kuormituksen tasaisuus parantaisi muuntajan käyttöikä, koska tällöin muuntaja hengittäisi vähemmän ja öljy joutuisi vähemmän tekemisiin ilman ja muiden epäpuhtauksien kanssa. Käytännössä tämä on vaikeaa, koska kulutushuippuja tulee säätilan, kellonaikojen ja vuodenaikojen mukaan, ja niitä on lähes mahdotonta välttää.

7 YHTEENVETO

Tutkintotyölle asetettiin kolme tavoitetta. Ensimmäinen tavoite oli tutkia jakelumuuntajien elinkaaren vaikuttavia tekijöitä. Toinen tavoite oli selvittää jakelumuuntajille tehtäviä ennakoivia ja huoltavia toimenpiteitä. Kolmantena tavoitteena oli pohtia mitä uusia toimenpiteitä voitaisiin tehdä jakelumuuntajien elinkaaren pidentämiseksi. Lisäksi työssä tuli selvittää muuntajan toimintaperiaate, jakelumuuntajan rakenne ja siihen saatavia lisävarusteita ja muuntajien testaus korjaamalla.

Työssä selvitettiin aluksi muuntajan toimintaperiaate varsin tarkasti jonka jälkeen käytiin läpi jakelumuuntajan rakenne ja sen lisävarusteet. Seuraavaksi tutkittiin muuntajan elinkaaren vaikuttavia tekijöitä joista huomattiin että tärkein tekijä on muuntajaöljyn laatu. Kaikki muuntajan sisäosat ovat kosketuksissa öljyn kanssa ja lähes kaikki tässä työssä mainitut elinkaaren vaikuttavat asiat vaikuttavat jollain tapaa öljyn laatuun. Muuntajan öljyn vanhenemisen nopeuteen vaikuttaa suuresti

muuntajan käyttö, eli muuntajaa vanhentaa epäsymmetrinen ja vaihteleva kuormitus. Öljyn vanheneminen johtaa muuntajan käyttöiän lyhenemiseen, koska kaikki aktiiviset osat ovat kosketuksissa öljyn kanssa.

Tällä hetkellä suoritetuista ennakoivista ja huoltavista toimenpiteistä saatiin ABB Oy, Servicen tuotekuvaukset joista kävi hyvin ilmi eri toimenpiteet.

Viimeinen tavoite oli pohtia uusia huoltotoimenpiteitä muuntajan elinkaaren pidentämiseksi. Päädyttiin siihen, että uudet huoltotoimenpiteet voisivat kohdistua muuntajan käyttöympäristöön, alentaen muuntajien lämpötilaa. Tällaisia kohteita olisivat käyttöympäristön parantaminen lisätuuletuksen avulla, sähkön laadun parantaminen sekä muuntajan käytön parantaminen. Myös ulkoisen valvonnan tehostaminen nopeuttaisi vikatilanteissa ja ylikuumenemisissä toimimista ja sinänsä toimisi ennakoivana huoltotoimenpiteenä.

LÄHTEET

- 1 Aro, Martti – Elovaara, Jarmo – Karttunen, Matti – Nousiainen, Kirsi – Palva, Veikko, Suurjännitetekniikka, Otatieto 2003, 2. painos, 520 s.
- 2 Aura, Lauri – Tonteri, Antti J, Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet, WSOY 1996, 544 s.
- 3 Elovaara, Jarmo – Laiho, Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatieto 1988, 4. painos, 487 s.
- 4 Heine, Pirjo, Teknillinen korkeakoulu, Sähköverkon viat, opetusmateriaali.
- 5 Lempinen, Perttu, Epälineaariset kuormat jakeluverkossa, sähkömarkkinoiden seminaari, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- 6 Pylvänäinen, Jouni, Jakelumuuntajan seurantamenetelmien kehittäminen, Tampereen teknillinen korkeakoulu, sähkövoimatekniikka, TESLA-raportti 68/02, Tampere 2002, 142 s.
- 7 Ruppaa, Erkki – Lilja, Tuomo, Sähkötekniikkaa sivuaineopiskelijoille, 3. painos, Tammertekniikka 2003, s.
- 8 Ukkonen, Esa, Yliaallot, suodatus ja kompensointi jakeluverkoissa, sähkömarkkinoiden seminaari, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- 9 Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, suurjännitetekniikan opintomateriaali, sähköpurkaukset. [www-sivu]. [viitattu 13.6.2006] Saatavissa: <http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710300/HV-sahkopurkaukset.pdf>
- 10 Tampereen teknillinen yliopisto, sähkövoimatekniikkaopetus. [www-sivu]. [viitattu 13.6.2006] Saatavissa: <http://leeh.ee.tut.fi/svtopus/>
- 11 Nokian Capacitors, Sähköverkkojen yliaallot, seminaari esitys.
- 12 Suomalaiset ABB-yhtiöt, Teknisiä Tietoja ja Taulukoita, Yhdeksäs painos, Vaasa 2000, 626 s.
- 13 ABB, tekninen aineisto – öljyeristeiset väliottokytkimellä varustetut jakelumuuntajat, 18 s.
- 14 ABB esite, jakelumuuntajat KTM 4 fi 88–02.
- 15 ABB, Kosketinlämpömittari UCWLB 6 esite.

- 16 ABB, Kapillaarilämpömittari UCWMA esite.
- 17 ABB, Ilmankuivain WJKHM esite.
- 18 ABB Öljynkorkeuden osoitin UDCU 40 B 1 esite.
- 19 ABB, Ylipaineventtiili YRFA 2, esite.
- 20 ABB, muuntajakoulutusmonisteet.
- 21 ABB Oy, Control, kolmannen yliaallon opas, 38 s.
- 22 ABB Oy, Service, Öljyanalyysit, tuotekuvaus.
- 23 ABB Oy, Service, Jakelumuuntajan ennakoiva huolto käyttöpaikalla, tuotekuvaus.
- 24 ABB Oy, Service, Jakelumuuntajan ennakoiva huolto korjaamolla, tuotekuvaus.
- 25 ABB Oy, Service, Jakelumuuntajan läpivientiposliinin uusiminen, tuotekuvaus.
- 26 ABB Oy, Service, Jakelumuuntajan läpiviennin sisäisen liitoksen korjaus, tuotekuvaus.
- 27 ABB Oy, Service, Jännitesäätimen ennakoiva huolto, tuotekuvaus.
- 28 ABB Oy, Service, Jakelumuuntajien korjaus, käämin uusinta, tuotekuvaus.
- 29 ABB Oy, Service, Muuntajien laatuohje, ver.6
- 30 ABB Oy, Distribution Transformers, Testing of transformers, 1LFI1003-en Rev. D, tuotekuvaus.
- 31 ABB Power Oy, Muuntajaöljyn laatu ja käsittely, työohjeita.
- 32 Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, suurjännitetekniikan opintomateriaali, eristysmateriaalien kunnonvalvonta. [www-sivu]. [viitattu 19.11.2006] Saatavissa: http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710300/HV-eristysmateriaalien_kunnonvalvonta.pdf