

Muuntajien apulaitteet ja kunnossapito

Henrik Kotanen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Sähkövoimatekniikan suuntautuminen

Tekijä(t) Kotanen, Henrik	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 31	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Muuntajien apulaitteet ja kunnossapito		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Puttonen Pasi, Tuukkanen Harri		
Toimeksiantaja(t) Sirius EIC Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mitä vaihtoehtoja on muuntajan suojauksessa ja apulaitteissa nykypäivänä, sekä niiden merkitys kunnossapidolle. Lisäksi käydä läpi mitä kuului muuntajan kunnossapitoon. Työn tuloksia piti pystyä hyödyntämään hankittaessa uusia muuntajia, tai arvioidessa vanhojen muuntajien suojausta ja kuntoa kunnonvalvonnan, huollon tai uusinnan suhteen. Työssä keskityttiin öljyeristeisiin tehomuuntajiin. Tietoa aiheeseen etsin kirjallisuudesta, laitevalmistajilta, sekä internetistä.</p> <p>Työn tulokseksi tuli lista laitteista ja suojusta, joita käytetään muuntajan suojaamiseen ja valvontaan. Laitteista kerrottiin millä tavalla ne toimivat ja suojaavat muuntajaa. Kunnossapidosta kerrottiin, miten muuntajien kuntoa tarkkaillaan, sekä tarkemmin muuntajan öljyanalyyseistä ja paperieristyksen kostumisesta.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Muuntajat, suojaus, apulaite, kunnossapito.		
Muut tiedot		

Author(s) Kotanen, Henrik	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 31	Permission for web publication: x
Title of publication Transformer auxiliary devices and maintenance		
Degree programme Automation Engineering		
Supervisor(s) Puttonen Pasi, Tuukkanen Harri		
Assigned by Sirius EIC Oy		
Abstract <p>Objective was to find out what options there were for protective and auxiliary devices for transformers in present day and their meaning for maintenance. Also to explain what was included in transformer maintenance. Results should be helpful when acquiring new transformers or evaluating protection and condition of old transformers in regards of maintenance, repair or renewal. Focus of the objective was in oil insulated power transformers. Information for the subject I searched in literature, manufacturers and internet.</p> <p>Result was a list of auxiliary and protective devices, which are used in transformer protection and monitoring. From the devices there was told how they work and protect the transformer. From maintenance there was told how the condition of transformer is monitored and more specifically was told on dissolved gas analysis and moisture in paper insulation.</p>		
Keywords/tags (subjects) Transformers, protection, auxiliary device, maintenance.		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Muuntaja.....	3
	2.1 Tehtävä.....	3
	2.2 Toiminta.....	4
	2.3 Rakenne.....	5
	2.4 Jäähdytys.....	7
	2.5 Tyypit.....	8
3	Suojalaitteet ja suojaus.....	11
	3.1 Relesuojaus.....	11
	3.2 Kaasurele.....	12
	3.3 Virtausrele.....	14
	3.4 Painerele.....	14
	3.5 Ylipaineventtiili.....	14
	3.6 Lämpömittari.....	15
	3.7 Käämin lämpötilan kuvaaja.....	16
	3.8 Öljynkorkeuden osoitin.....	17
	3.9 Ilmankuivain.....	17
	3.10 Öljyanalysaattori.....	18
	3.11 Kaasuanalysaattori.....	19
4	Kunnossapito.....	20
	4.1 Tarkastukset.....	20
	4.2 Mittaukset.....	22
	4.3 Muuntajaöljyanalyysi.....	22
	4.4 Paperieristyksen kosteus.....	25
5	Pohdinta.....	26
	Lähteet.....	28

Kuviot

Kuvio 1 Muuntajan periaate.....	5
Kuvio 2 Jakelumuuntajan rautasydän puristuspaikkeen ilman käämityksiä.....	6
Kuvio 3 Kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat	7
Kuvio 4 Paisuntasäiliöllinen öljyristeinen jakelumuuntaja.....	8
Kuvio 5 Hermeettinen jakelumuuntaja	9
Kuvio 6 Pylväsmuuntaja	9
Kuvio 7 Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja kuvattuna kummaltakin sivulta	10
Kuvio 8 Differentiaalirele.....	12
Kuvio 9 Kaasurele	13
Kuvio 10 Painerele.....	14
Kuvio 11 Ylipaineventtiili, jossa öljysuihkun ohjaava kupu.....	15
Kuvio 12 Lämpömittari	16
Kuvio 13 Öljynkorkeuden osoitin	17
Kuvio 14 Ilmankuivain	18
Kuvio 15 Öljyanalysaattori	19
Kuvio 16 Yhden kaasun kaasuanalysaattori	20
Kuvio 17 Arvio kaasujen muodostumis lämpötiloista.....	24

Taulukot

Taulukko 1 Kaasuanalyysituloksen tyypillisimmät kaasut (Heinonen 2002, 6.)	24
--	----

1 Johdanto

Muuntaja on sähkönjakelun kannalta välttämätön osa. Tämän takia sen kunnossapito, suojaus ja huolto on erityisen tärkeää. Muuntajan rikkoutuessa syntyy kallis ja aikaa vievä operaatio, mutta riittäväällä kunnonvalvonnalla ja tarvittavilla huollolla, pystytään ehkäisemään vikoja tai varautumaan syntyviin vikoihin.

Työn tavoitteena on selvittää mitä vaihtoehtoja on muuntajan suojauksessa ja apulaitteissa nykypäivänä, sekä niiden merkitys kunnossapidolle. Lisäksi käydä läpi mitä kuuluu muuntajan kunnossapitoon. Työn tuloksia pitäisi pystyä hyödyntämään hankittaessa uusia muuntajia, tai arvioidessa vanhojen muuntajien suojausta ja kuntoa kunnonvalvonnan, huollon tai uusinnan suhteen. Työssä keskitytään öljyeristeisiin tehomuuntajiin. Tietoa aiheeseen etsin kirjallisuudesta, laitevalmistajilta, sekä internetistä.

2 Muuntaja

2.1 Tehtävä

Muuntajan tehtävänä on muuttaa sähkön jännitettä suurempaan tai pienempään arvoon. Sähkön siirrossa jännite halutaan suureksi, kun siirretään suuria tehoja pitkiä matkoja, koska sähköä siirrettäessä, osa sen tehosta kuluu lämpönä aina sitä siirtävässä aineessa. Tämän lämpenemisen teho riippuu johtimessa kulkevasta sähkövirrasta ja johtimen resistanssista ja pystytään laskemaan kaavalla 1. (Väärämäki 2004, 18.)

$$P = I^2 * R \quad (1)$$

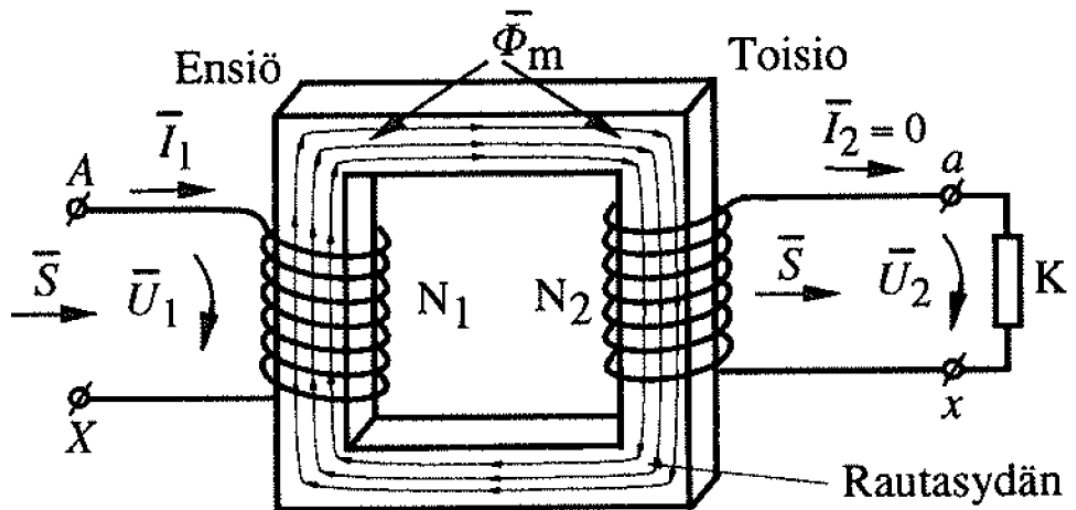
missä I = Johtimessa kulkeva virta

R = Johtimen resistanssi

Muuntaja muuttaa sähkön jännitettä kääntäen verrannollisesti sähkön virtaan, joten jännitteen suurentuessa virta pienenee. Virran pienentyessä johtimen tehohäviöt pienentyvät myöskin. Tästä syystä sähkönsiirrossa käytetään muuntajia ja korkeaa jännitettä. Vastaavasti, kun halutaan pienentää sähkön jännitettä kulutukseen sopivaan muotoon, niin siihen käytetään muuntajaa. (Mts. 18.)

2.2 Toiminta

”Muuntajien toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon.” (Mts. 18.) Vaihtosähkön virratessa muuntajan ensimmäiseen käämiin, se muodostaa siihen muuttuvan magneettikentän. Tämä magneettikenttä siirtyy rautasydämen avulla toiseen käämiin, johon magneettikentän vaikutuksesta indusoituu toinen jännite. Indusoituneen jännitteen suuruus toisessa käämissä on suoraan verrannollinen ensimmäisen käämin jännitteeseen ja käämien johdinten kierroslukujen suhteeseen. Toisessa käämissä kulkevan virran suuruus on taas kääntäen verrannollinen ensimmäisen käämin virtaan ja kierroslukujen suhteeseen. (Mts. 18.)



Kuvio 1 Muuntajan periaate, jossa I on virta, U jännite, S sähköteho, N_1 ensiökäämi, N_2 toisiokäämi, K kuorma, Φ_m vaihtomagneettivuo

Kaavassa 2 on esitetty muuntajan jännitteen ja virran suhde käämien kierroslukuihin.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

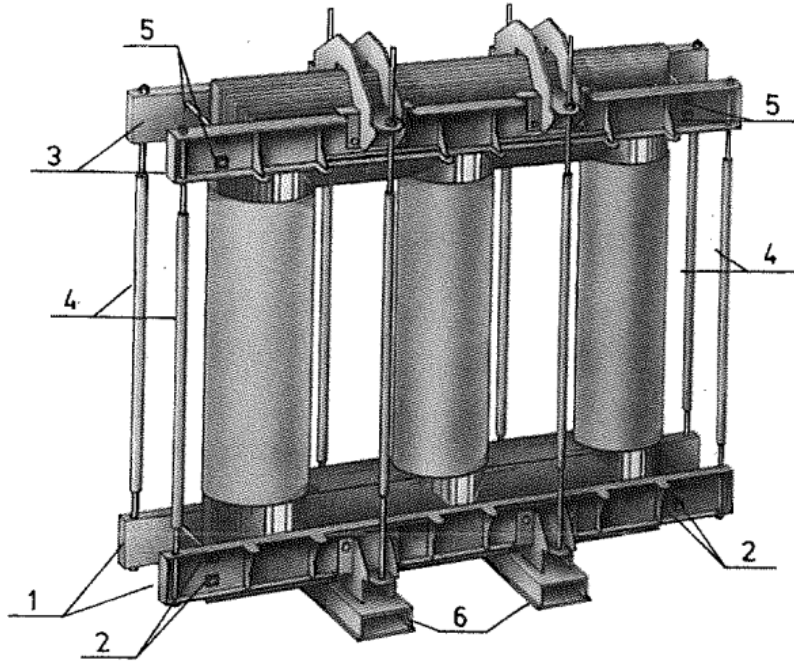
missä N_1 ja N_2 = Käämien 1 ja 2 johtimen kierrosluku sydämen ympäri

U_1 ja U_2 = Käämien 1 ja 2 jännite

I_1 ja I_2 = Käämien 1 ja 2 virta

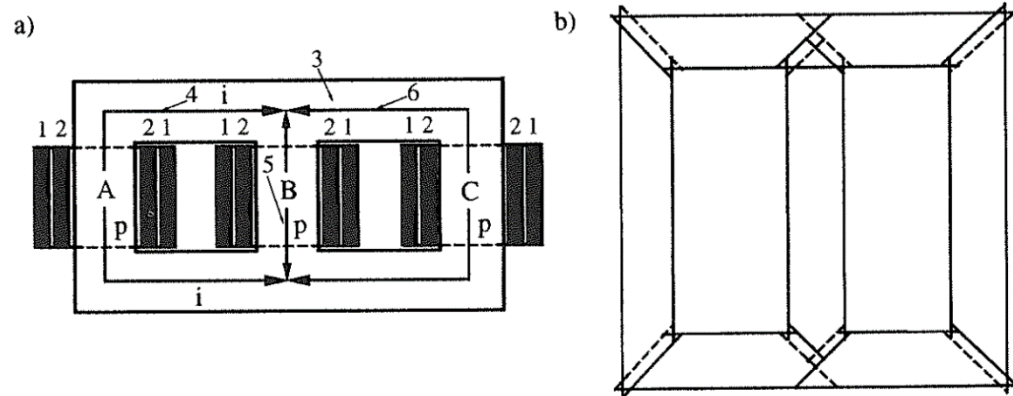
2.3 Rakenne

Sähköverkossa käytetään sähkön siirtämiseen kolmea vaihetta. Tämän takia jakelumuuntajissa on jokaiselle vaiheelle omat vaihekäämityksensä. Rakenteeltaan jakelumuuntajan kolme vaihekäämitystä on kuvion 2 mukaisesti vierekkäin. (Aura & Tonteri 1996, 38.)



Kuvio 2 Jakelumuuntajan rautasydän puristuspalkkeineen ilman käämityksiä, jossa 1. alaikeen puristuspalkit, 2.puristuspalkkien puristusruuvit (alaies), 3. yläikeen puristuspalkit, 4. käämien kiristyspultit, 5.puristuspalkkien puristusruuvit (yläies), 6.pohjapalkit

Jokaisen rautasydämen ympärillä on yhden vaiheen ensiö-, toisio- ja säätökäämitys kuvion 3 mukaisesti. Käämit on aseteltu siten, että toisiokäämitys on lähimpänä rautasydäntä ja ensiökäämitys on sen päällä. Päällimmäisenä on säätökäämi, jolla voidaan säätää ensiökäämin kierroslukua ja näin ulostulevaa jännitettä. Ensiö- ja toisiokäämien välissä on eristelierio ja jäähdytyskanava. Käämit ovat materiaaliltaan kupari tai alumiini lankaa, joka on päällystetty sähköisesti eristävällä aineella kuten, lakalla tai öljykyllästetyllä paperilla. (Mts. 38-39.)



Kuvio 3 a) Kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat, jossa 1. yläjännitekäämit, 2. alajännitekäämit, A B C rautasydämet, 4 5 6 eri vaiheiden magneettipiirit b) kolmivaihemuuntajan rautasydän

2.4 Jäähdytys

Sähkön virratessa muuntajan läpi, siinä syntyy lämpöä häviöitä. Lämpö syntyy käämien ja rautasydämen häviöissä ja kasvaa sitä suuremmaksi, mitä enemmän muuntajaa kuormitetaan. Muuntajan liiallinen lämpeneminen vähentää sen käyttöikä ja kuormitettavuutta. (Korpinen.)

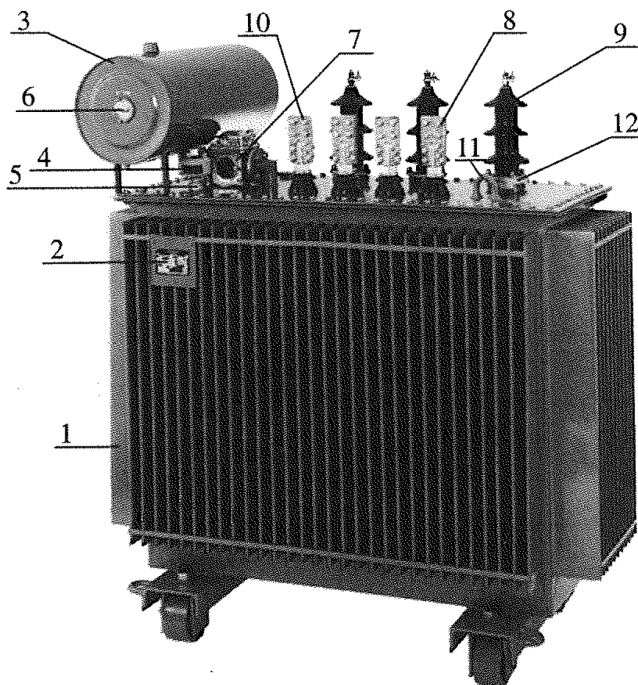
Muuntajan jäähdytyksessä lämpö siirretään kuumilta käämeiltä muuntajan koteloon, joko ilman tai öljyn välityksellä. Ilmajäähdytteisiä muuntajia kutsutaan kuivamuuntajaksi ja öljyjäähdytteisiä, öljymuuntajaksi. Muuntajan öljynä käytetään mm. mineraali- silikoni- tai kasvisöljyä. Muuntajan kotelolta lämpö siirtyy sitä ympäröivään ilmaan. Kotelon ja ilman välistä jäähtymistä saadaan kasvatettua kasvattamalla kotelon jäähdytyspintaa tai lisäämällä lämmön johtumista vesijäähdytyksen avulla. Jäähdytyspintaa kasvatetaan tekemällä kotelon seinät aaltolevyistä tai lisäämällä siihen radiaattori. Radiaattoreiden jäähdytystä voidaan vielä kasvattaa lisäämällä niihin tuulettimet, jotka puhaltavat ilmaa niiden lävitse. Yleisin muuntajan jäähdytystapa on öljyjäähdytys luonnollisella ilmavirralla. (Mt.)

2.5 Tyypit

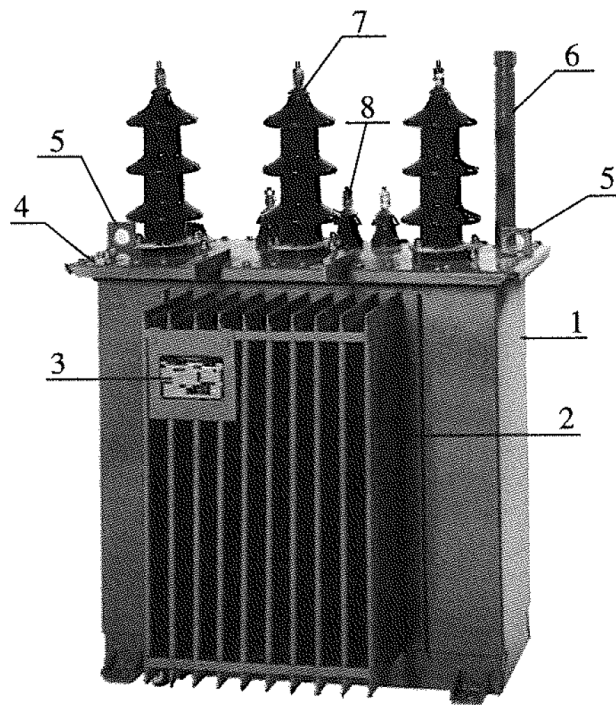
Muuntajia on erityyppisiä erilaisiin käyttökohteisiin. Tyypit määräytyvät muuntajan rakenteen ja tehonsiirtokyvyn mukaan. Sähkön siirrossa käytetyt tehomuuntajat voidaan jakaa kahteen ryhmään, pientehomuuntajiin ja suurtehomuuntajiin. Suurtehomuuntajalla yläjännitepuolen nimellisjännite on yli 20 000 V ja alajännitepuolen yli 400 V sekä on teholtaan yli 3150 kVA. Muuntajat, joilla nämä arvot eivät ylitä ovat pientehomuuntajia. (Aura & Tonteri 1996, 65.)

Rakenteeltaan jakelumuuntajat jaetaan tyyppeihin jäähdytyksen ja käyttösijainnin mukaan. Näitä tyyppiä ovat:

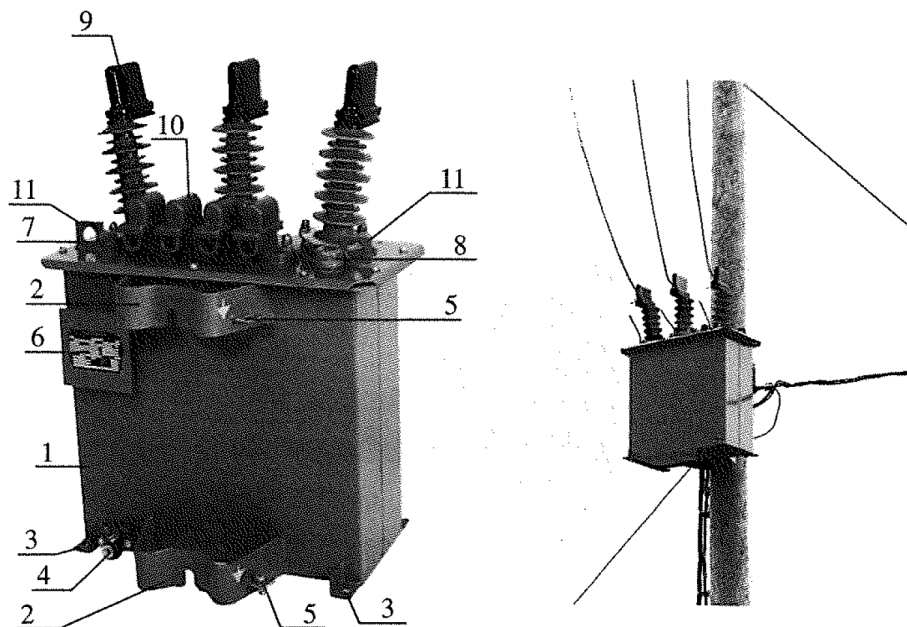
- Paisuntasäiliöiset öljyeristeiset jakelumuuntajat
- hermeettiset jakelumuuntajat
- pylväsmuuntajat
- valuhartsieristeiset jakelumuuntajat. (Mts. 66.)



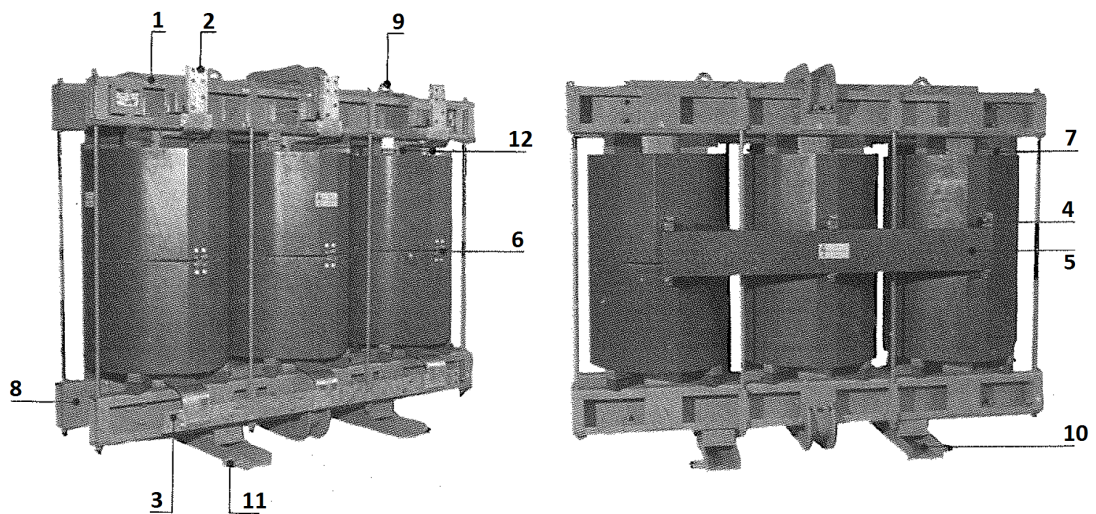
Kuvio 4 Paisuntasäiliöllinen öljyeristeinen jakelumuuntaja, jossa 1. öljysäiliö, 2. arvokilpi, 3. paisuntasäiliö, 4. lämpömittari, 5. lämpömittaritasku, 6. öljynkorkeuden osoitin, 7. kaasurele, 8. alajänniteläpivienti, 9. yläjänniteläpivienti, 10. tähtipisteläpivienti, 11. nostosilmukka (kannessa 2 kpl tai 4 kpl), 12. väliottokytkimien asennon valitsin



Kuvio 5 Hermeettinen jakelumuuntaja, jossa 1. öljysäiliö eli muuntaja-astia, 2. elastiset jäähdytsaallot, 3. arvokilpi, 4. muuntajan kansi, 5. nostosilmukat, 6. täyttöputki, 7. yläjänniteläpivienti, 8. alajänniteläpivienti



Kuvio 6 Pylväsmuuntaja, jossa 1. öljysäiliö, 2. kiinnittimet, 3. tassut, 4. pohjaventtiili, 5. maadoitusruuvi 2kpl, 6. arvokilpi, 7. hengitysputki, 8. täyttöputki, 9. yläjänniteläpivienti, 10. alajänniteläpivienti, 11. nostosilmukka 2kpl



Kuvio 7 Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja kuvattuna kummaltakin sivulta, jossa 1. sydän, 2. alajännitekäämin ulosotto, alumiinia, 3. nollakisko, alumiinia, 4. yläjännitekäämin ulosotto, tinattua kuparia, 5. yläjännitekäämityksen kytkentäsilta, 6. $\pm 5\%$ säädön kytkentäliuskat, 7. päätyeristys, silikonikumia, 8. puristuspaalkki, 9. nostosilmukka, 10. pyörien kiinnityspaalkit, 11. vetosilmukka, 12. hälytys- ja laukaisuelementit

Näistä tyypeistä kaikki paitsi valuhartsieristeinen muuntaja käyttää väliaineenaan ja eristeenä muuntajaöljyä, johon on lisätty inhibiittia hidastamaan öljyn vanhene-
mista. Öljyä käytetään muuntajissa, sen lämmön johtavuuden ja sähköisen eristysky-
vyn takia. (Mts. 72.)

Paisuntasäiliöllisissä muuntajissa on paisuntasäiliö, jossa muuntajaöljy pääsee laajen-
tumaan ja supistumaan öljyn lämpötilan mukaan. ”Hermeettisissä muuntajissa ei ole
paisuntasäiliötä. Ne ovat täynnä öljyä ja hermeettisesti suljettuja. Säiliön jäähdyty-
saallot ovat elastisia ja mukautuvat käytönaikaisiin tilavuudenmuutoksiin.” (Mts. 69.)
Valuhartsieristeistä eli kuivamuuntajaa käytetään silloin, jos muuntajan asennussi-
jainnissa on kielletty käyttää nestetäytteistä muuntajaa, palovaaran tai muun syyn
takia. (Mts. 69.)

3 Suojalaitteet ja suojaus

Muuntajissa käytetyn suojauksen kattavuus riippuu muuntajan koosta ja tärkeydestä. Perussuojauksena käytetään sulaketta ja suuremmille, tai tärkeille muuntajille asennetaan lisää suojalaitteita. Tärkeimmät muuntajat suojataan mahdollisimman täydellisesti useilla eri suojalaitteilla ja mittauksilla. (Mörsky 1992, 204-205.)

3.1 Relesuojaus

Muuntajan relesuojauksella suojataan muuntajaa sähköisiltä vioilta ja ylikuormituksilta. Relesuojaukseen kuuluu seuraavia suoja:

- ylivirtasuojaus (muuntajan sisä- ja ulkopuoliset oikosulut)
- maasulkusuojaus (sisäiset maasulut)
- käämi- ja kierrossulkusuojaus (sisäiset oikosulut)
- ylikuormitussuojaus (ylikuormitus)
- ylijännitesuojaus (käyttötaajuinen ylijännite)
- kaasusuojaus (sisäinen kaasun kehitys)
- käämikytkinsuojaus (käämikytkimen viat). (Mts. 190.)

Relesuojaus toimii siten, että mittamuuntajien avulla rele mittaa muuntajassa kulkevan sähköän arvoja, kuten jännitettä tai virtaa. Jos releen mittaama arvo poikkeaa sallitusta rajasta rele antaa koskettimiensa avulla ohjauksen eteenpäin esimerkiksi katkaisijalle, joka katkaisee viallisesta kohdasta sähköt. (Mts. 13.)

Relelajeja on useita ja ne eroavat toisistaan niiden mitattavan arvon mukaan. Tärkeimmät relelajit yleisesti ovat:

- ylivirtarele
- yli- ja alijänniterele
- taajuusrele

- tehorele
- suuntarele
- epäsymmetriarele
- vertorele (differentiaalirele)
- distanssirele
- aikarele
- hetkelliset releet. (Mts. 21.)

Rakenteeltaan releet voivat olla sähkömekaanisia, sähköstaattisia, tai numeerisia. Sähkömekaanisessa releessä rele toimii liikkuvien osien avulla ja staattisessa releessä elektronisien komponenttien avulla. Numeerisessa releessä on prosessori joka ohjaa releitä. Nykyaikana käytetään pääosin numeerisia releitä. (Mts. 21.)



Kuvio 8 Differentiaalirele

3.2 Kaasurele

Kaasurele (Buchholz rele) on öljymuuntajissa käytetty suojalaite, joka havaitsee öljystä ja eristeistä muodostuneet kaasut, sekä vian aiheuttaman nopean öljyvirtauksen.

Rele sijaitsee muuntajan säiliön ja sen paisuntasäiliön yhdistävässä putkessa. Vian seurauksena syntyneet kaasut siirtyvät muuntajan öljyssä ylöspäin ja paisuntasäiliön putkessa ne jäävät kaasureleeseen, jossa kaasu syrjäyttää releessä olevaa öljyä. (Mts. 202.)

Releessä olevan öljyn pinnan alittaessa tietyn rajan, rele hälyttää viasta ja pinnan laskeutuessa liian paljon rele katkaisee muuntajasta sähköt. Kaasuja synnyttäviä vikoja ovat mm. käämi-, kierros- ja maasulut, sekä muut viat, jotka aiheuttavat eristeiden lämpenemistä, kipinöintiä tai valokaaren. Suurempi vika, kuten valokaari aiheuttaa muuntajan öljyssä paineaallon ja öljyvirtauksen paisuntasäiliöön. Äkillisen virtauksen takia kaasurele yleensä katkaisee muuntajan sähköt välittömästi. (Mts. 202.)



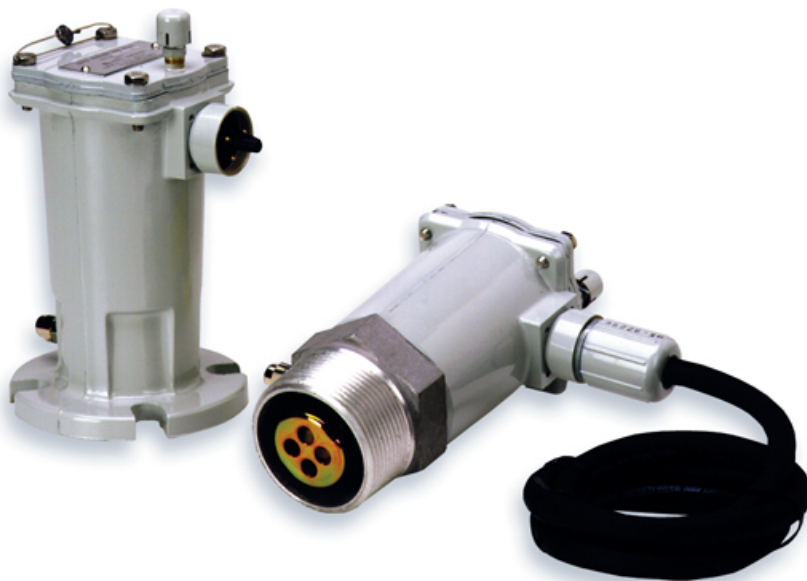
Kuvio 9 Kaasurele

3.3 Virtausrele

Virtausrele on muuntajan käämikytkimen suojauksessa käytetty rele. Rele sijaitsee käämikytkimen oman öljytilan ja paisuntasäiliön välisessä putkessa. Rele havahtuu kun öljy virtaa käämikytkimeltä paisuntasäiliöön. Virtausrele toimii ainoastaan käämikytkimen vikatilanteissa. (Mts. 203.)

3.4 Painerele

Suljetuissa muuntajissa joiden eristysaineena toimii kaasu, painerele sijaitsee muuntajan kannessa ja öljymuuntajilla kyljessä. Rele antaa hälytyksen, kun muuntajassa tapahtuu nopea paineen nousu, vian seurauksena. Normaaliin käytön aikaisiin paineen muutoksiin rele ei reagoi. (K6 Working Group 2014, 3-5.)



Kuvio 10 Painerele

3.5 Ylipaineventtiili

Ylipaineventtiili suojaa muuntajan säiliötä ja radiaattoreita, vian aiheuttamalta paineen nousulta (Heinonen 2002, 3). Paineen noustessa raja-arvon ylitse venttiili auke-

aa vapauttaen ylipaineen ja antaen samalla tiedon, että ylipaineventtiili on lauennut. Paineen laskettua venttiili sulkeutuu itsestään, mutta näyttää edelleen tietoa, että ylipaine on tapahtunut. Vaihtoehtoisena ylipainesuojana on myös ylipainelevy (rupture disk), joka liiallisen paineen seurauksena rikkoutuu ja vapauttaa paineen. (MR Safety Devices for On-Load Tap-Changers.)



Kuvio 11 Ylipaineventtiili, jossa öljysuihkun ohjaava kupu

3.6 Lämpömittari

Lämpömittarilla mitataan muuntajan öljyn lämpötilaa, joka vaihtelee muuntajan kuormituksen ja ympäristön lämpötilan mukaan. Lämpömittari sijaitsee muuntajan kannessa olevassa lämpömittaritaskussa, joka on täytetty öljyllä. Lämpötilan mittauksesta on saatavilla kaksi kosketintietoa, jotka toimivat eri lämpötila-arvoilla. Nämä koskettimet ovat hälytys ja laukaisu koskettimet. (Aura & Tonteri 1996, 74.)



Kuvio 12 Lämpömittari

Muuntajan rakennusvaiheessa asennettavilla valokuitulämpömittareilla pystytään mittaamaan suoraan muuntajan käämien lämpötilaa. Tätä mittausta kutsutaan hot spot mittaukseksi ja sillä saadaan tarkempi tieto käämien lämpötilasta, kuin muilla menetelmillä. Käämien tarkempaa lämpötila tietoa käytetään muuntajan sallittavan kuormituksen säätämiseen, jotta muuntajan elinikä ei vähentyisi liian nopeasti. (Monitoring of Power Transformer Winding Temperature Using Robust Fiber Optic Sensing System, 1.)

3.7 Käämin lämpötilan kuvaaja

Käämin lämpötilan kuvaaja on vastus, joka kuvaa muuntajan käämin kuumimman kohdan lämpötilaa. Se sijaitsee muuntajan kanteen upotetussa öljytaskussa. Kuvaaja toimii siten, että tietty osa muuntajan virrasta syötetään virtamuuntajilla kuvaajan vastukseen, jolloin vastus lämpenee. Kuvaajan asetteluvirtamuuntajalla säädetään lämmitysvastuksen virta sellaiseksi, että vastuksen ja öljyn lämpötilaero on sama, kuin käämin ja öljyn lämpötilaero. (Aura & Tonteri 1996, 75.)

3.8 Öljynkorkeuden osoitin

Öljynkorkeuden mittari sijaitsee paisuntasäiliössä ja näyttää säiliössä olevan öljyn määrän. Jos öljyn pinta laskee jännitteisten osien alapuolelle, on suuri riski että muuntajassa tapahtuu vika. (Mts. 73.)



Kuvio 13 Öljynkorkeuden osoitin

3.9 Ilmankuivain

Ilmankuivaimella estetään muuntajan paisuntasäiliön hengittämisessä tapahtuvan ilman kosteuden pääsy öljyyn. Paisuntasäiliö hengittää, kun öljyn lämpenemisen seurauksena öljyntilavuus kasvaa ja työntää paisuntasäiliössä olevaa ilmaa ulospäin ja viilenemisen seurauksena sisäänpäin. Ilmankuivaimessa on ainetta joka sitoo sen läpikulkevan ilman kosteuden itseensä, yleensä tämä aine on silikageeliä. Kuivattava aine joudutaan vaihtamaan, kun se on kostunut. Kostumisen näkee silikageelissä sen väristä, kostunut aine vaihtaa väriään esim. kuvion 8 tapauksessa oranssista vihreäksi. Kuivaimen ylimääräisen kostumisen estämiseksi, paisuntasäiliöstä uloslähtevä ilma ohittaa kuivattavan aineen. (Mts. 74.)



Kuvio 14 Ilmankuivain

3.10 Öljyanalysaattori

Öljyanalysaattori mittaa ja laskee muuntajaöljyn arvoja, joiden avulla voidaan arvioida muuntajan eristeiden kuntoa ja elinikää. Öljyanalysaattorilla pystytään selvittämään mm. seuraavia arvoja:

- öljyn lämpötila
- öljyn ominaisresistanssi
- öljyn suhteellinen kosteus
- öljyn valonläpäisy
- häviökerroin ($\tan \delta$)
- eristysvakio (ϵ)
- paperin kosteus
- paperin DP-luku
- muuntajan eristystekninen suhteellinen ikä
- kaasukuplien muodostumislämpötila
- kalenteriaika. (Muuntajan öljyanalysaattori UTU Condor.)



Kuvio 15 Öljyanalysaattori

3.11 Kaasuanalysaattori

Kaasuanalysaattori mittaa muuntajaöljyyn liuenneen kaasun tai kaasujen pitoisuudet, kuten vedyn, hähän ja hiilidioksidin. Kaasuja syntyy öljyyn vikojen ja lämpenemisen seurauksena. Kaasujen ja niiden pitoisuuksien kasvunopeuksien avulla analysaattori antaa hälytyksen viasta. (Mittalaitteita muuntajien kunnonvalvontaan –esite 2016)



Kuvio 16 Yhden kaasun kaasuanalysointilaite

4 Kunnossapito

Käytössä olevien tehomuuntajien kuntoa tarkkaillaan säännöllisesti, jotta muuntajassa syntyvät viat pystyttäisiin havaitsemaan aikaisin ja toteuttamaan tarvittavat korjaukset ennen muuntajan rikkoontumista. Kunnonvalvontamenetelminä käytetään ajoittaisia tarkastuksia ja mittauksia, sekä jatkuvaa valvontaa muuntajaan liitetyillä mittalaitteilla. (Etto 1998, 8.)

4.1 Tarkastukset

Ajoittaiset tarkastukset voidaan jakaa perushuoltoon, jonka voi tehdä kuukauden välein ja tarkastushuoltoon, joka tehdään vuosittain tai tarpeen mukaan. Tarkastusten tiheyteen vaikuttaa muuntajan tärkeys ja käyttöolosuhteet. Kriittisiä tai huonois-

sa käyttöolosuhteessa olevia muuntajia tarkastetaan useammin ja päinvastoin ei kriittisiä hyvissä olosuhteissa saatetaan tarkastaa harvemmin. (Heinonen 2002, 8.)

Kuukautinen perushuolto tehdään muuntajan ollessa käytössä ja se on silmämääräinen tarkastelu, jossa tarkastetaan muuntajan varusteiden kunto. Öljyn korkeus ja mahdolliset vuodot, sekä onko oksia tmv. joutunut jännitteisten osien lähelle. (Mts. 8.)

Vuosittainen tarkastushuolto tehdään, kun muuntajan käyttö on keskeytynyt ja on jännitteetön. Tarkastushuoltoon kuuluu samat asiat, kuin perushuoltoon ja lisäksi muita tarkastuksia, joita ei voi tehdä muuntajan ollessa käytössä. (Mts. 8.)

Muuntajan tarkastushuolto sisältää tarkastuksia ja koestuksia:

- muuntajan suojalaitteiden tarkastus ja koestus (toiminta, laukaisu/hälytys)
 - kaasurele
 - käämikytkimen virtaus/painerele
 - ylipaineventtiili
 - öljyn lämpömittarit ja käämin lämpötilankuvaajat
 - öljynkorkeusmittarit
 - suojakytkimen hälytykset
 - ulkoinen johdotus
- muuntajan jäähdytyslaitteiden tarkastus ja koestus (puhaltimet ja pumput)
- muuntajakannen ja läpivientieristimien puhdistus ja tarkastus
- ohjauskaappien laitteiden toiminnan tarkastus ja tarvittaessa korjaus (kytkimien ja releiden toiminta, liitosten ja kuivatus/lämmitys tarkistus)
- yleistarkastus (mm. öljyvuo-dot, öljymäärät, putkistot, venttiilit, ilmaukset, kaapelit, ilmankuivain, jne.)
- mahdollisten pienten vuotojen korjaukset (kiristelyt, hitsaus, tiiviste-vaihdot)
- kosteusnäytteen otto ja dp-luvun määrittäminen eristeestä erikseen sovit-taessa

- tarkastuksen raportointi ja huoltotoimenpide- ehdotukset. (Etto 1998, 8.)

4.2 Mittaukset

Mittauksilla tarkkaillaan muuntajan kuntoa pitkällä aikavälillä ja mahdollisesti havaitaan vian aiheuttama muutos mittausten tuloksiin. Mittauksien perustana toimivat uudesta muuntajasta otettujen mittausten arvot ja niiden vertailu nykyisiin mittaus-tuloksiin. (Mts. 8.)

Automatisoidussa kunnonvalvonnassa tietokone lukee muuntajan mittaus- ja tilatiedot, sekä käsittelee sen käyttäjäystävällisempään muotoon. Tarkkailtavia arvoja voivat olla mm. öljyn kaasupitoisuus, lämpötilat ja suojiin tilat. Mitatuista arvoista automaattinen kunnonvalvonta pystyy laskemaan muuntajasta ja sen kunnosta lisää arvoja, kuten muuntajan kuormitettavuuden, eliniän kulumisen ja käämikytkimien huollon tarpeen. Häiriön tapahtuessa kunnonvalvonta tallentaa häiriötä edeltäneeltä ajalta mittauksista saatuja tietoja. Näillä tiedoilla voidaan sitten mahdollisesti selvittää mikä aiheutti häiriön tai vian. (Heinonen 2002, 7.)

4.3 Muuntajaöljyanalyysi

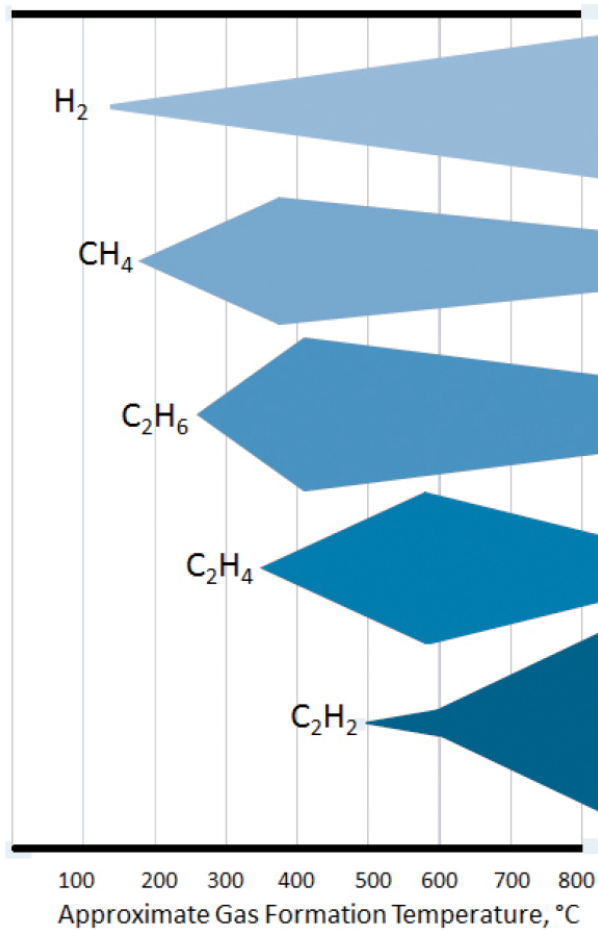
Öljyanalyysillä mitataan öljyn ja muuntajan kuntoa, mittaamalla öljyssä olevien kaasujen ja epäpuhtauksien määrä. Vikojen aiheuttama poikkeava lämpeneminen ja osittaispurkauksien ionisoiva säteily hajottavat öljyä, jonka seurauksena syntyy vikakaasuja. Suurin osa vikakaasuista liukenee öljyyn, mutta nopeasti kehittyvässä viassa kaasut eivät ehdi liueta öljyyn vaan nousevat ylös kuplina ja jäävät lopulta kaasulleeseen. (Mts. 5.)

Analyysia varten muuntajasta otetaan öljynäyte tarkkojen ohjeiden mukaisesti, jotta näytteeseen ei pääsisi ulkopuolisia roskia jotka vääristäisivät tuloksia (Mts. 5). Näyt-

teenottotaajuus riippuu muuntajan koosta, kunnosta ja tärkeydestä, tai vaurioepäilystä. Muutoin näytteitä otetaan esimerkiksi vuoden välein. Takuuajana, sekä korjatun ja huolletun muuntajan tapauksessa näytteitä otetaan useammin 1 kk, 3 kk ja 5 kk välein käyttöönotosta tai takuuajan alkamisesta. (Mts. 6.)

Öljylle tehdyllä kaasuanalyysilla saadaan selville öljyssä olevien kaasujen tyypit ja pitoisuudet. Kaasusuhteiden ja niiden kehitysnopeuksien avulla pystytään määrittämään, minkälainen vika muuntajassa on alla olevan taulukon 1 mukaan. Jotta kaasupitoisuuksien kasvun pystyisi näkemään sekä arvioimaan vian vakavuutta, pitää näytteitä ottaa säännöllisesti, tai käyttää muuntajaan asennettua kaasuanalysointia, joka ottaa ja analysoi näytteen automaattisesti. (Mts. 6.)

Se mitä kaasuja viasta syntyy, riippuu vian aiheuttamasta lämpötilasta. Suuremmissa lämpötiloissa syntyy useampia eri kaasuja kuvion 17 mukaan. Tyypilliset vikojen muodostamat kaasut eri vikatyypeissä näkyvät taulukossa 1. (Cheim & Buijs 2016, 5.)



Kuvio 17 Arvio kaasujen muodostumis lämpötiloista, jossa H₂ on vety, CH₄ on metaani, C₂H₆ on etaani, C₂H₄ on etyleeni, C₂H₂ on asetyleeni

Taulukko 1 Kaasuanalyysituloksen tyypillisimmät kaasut (Heinonen 2002, 6.)

Vikatyyppe	Kaasu	Suhdekaava
Osittaispurkaukset	Vety	H ₂
Valokaari	Asetyleeni	C ₂ H ₂
Lämpövika	Hiilivedyt	CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆
Paperieristeen hajoaminen	Hiilimonoksidi ja -dioksidi	CO ja CO ₂ sekä Furfuraali

Muita öljystä mitattavia arvoja ovat:

- Sähkönlujuus
- Häviökerroin
- Kiinteät aineet (roskapitoisuus)
- neutraloimisluku
- rajapintajännitys
- inhibiittipitoisuus. (Etto 1998, 8.)

4.4 Paperieristyksen kosteus

Paperieristyksen kosteuden määrittämisellä, mitataan öljypaperieristeen kosteuden määrä. Kosteus siirtyy muuntajan lämpötilavaihteluiden seurauksena ilmasta öljyyn ja öljystä paperieristeeseen. Suurin osa muuntajassa olevasta kosteudesta on sen paperieristyksissä. Muuntajan lämmitessä kosteutta irtoaa paperista sitä ympäröivään öljyyn joka heikentää öljyn jännitelujuutta. Nopeassa lämmön-nousussa, kuten kuormitusmuutostilanteissa öljyyn siirtyvä kosteus ei välttämättä ehdi liueta öljyyn, jolloin kosteus jää emulsioksi, joka aiheuttavat vaaran läpilyönnille. Kosteuspitoisuuden ylittäessä 3 % rajoittaa se jo muuntajan kuormitettavuutta. Uudella muuntajalla paperieristeen kosteus on noin 0,5 % ja se kasvaa vuodessa 0,05 - 0,3 %. (Heinonen 2002, 6-7.)

Paperieristeen kostuminen nopeuttaa sen haurastumista ja laskee sitä kuvaavaa DP-lukua. Uudella muuntajalla paperieristyksen DP-luku on noin 1200 ja vanhentuneella eristeellä 200. Paperieristeen kosteus saadaan parhaiten selville ottamalla siitä paperinäyte ja analysoimalla se laboratoriossa. Koska eristeen kostuminen on hidasta, paperinäytteitä ei oteta kovinkaan usein, vaan näytteitä otetaan noin 5-10 vuoden välein. (Mts. 7.)

5 Johtopäätökset ja pohdinta

Työn tavoitteena oli selvittää mitä vaihtoehtoja on muuntajan suojauksessa ja apulaitteissa nykypäivänä, sekä niiden merkitys kunnossapidolle. Lisäksi piti käydä läpi muuntajan kunnossapitoa. Työn tuloksia piti pystyä hyödyntämään hankittaessa uusia muuntajia, tai arvioidessa vanhojen muuntajien suojausta ja kuntoa kunnonvalvonnan, huollon tai uusinnan suhteen.

Työtä lähdin tekemään etsimällä tietoa internetistä ja kirjallisuudesta. Aloitin etsimään yleisesti minkälaisia suoja- ja apulaitteita muuntajille oli olemassa ja kirjaamalla löydetty laitteet muistiin. Uusien laitteiden löytymisen loputtua aloitin etsimään laitekohtaisesti lisää tietoa löydetystä laitteista, kuten mikä oli laitteen tehtävä ja millä periaatteella se toimi. Muuntajasta ja kunnossapidosta etsin tietoa samalla tavalla internetistä hakusanojen avulla ja aiheeseen löydetystä kirjallisuudesta.

Työn tulokseksi tuli lista laitteista ja suojusta, joita käytetään muuntajan suojaamiseen ja valvontaan. Työn alussa kerrottiin kuinka muuntaja toimii ja miksi sitä käytetään. Lisäksi muuntajasta kerrottiin sen tyypeistä ja jäähdytyksestä. Laitteista ja suojusta kerrottiin minkälaisia niitä on ja millä tavalla ne toimivat ja suojaavat muuntajaa. Kunnossapidosta kerrottiin miksi sitä tehdään ja miten se toteutetaan tarkastuksilla ja mittauksilla. Tarkastuksista kerrottiin mitä toimenpiteitä siihen kuuluu ja mittauksista kerrottiin sen periaate, sekä tarkemmin öljyanalyysistä ja paperieristyksen kustumisesta.

Suoja- ja apulaitteiden määrä työssä oli hyvä, suurin osa niistä tuli kerrottua, mutta tarkemminkin olisi voinut kertoa laitteista ja mitä vikoja niillä suojataan. Samoin myös kunnossapidon kohdalla aiheesta olisi voinut kertoa tarkemminkin ja lisää erilaisista mitattavista arvoista ja mittauksista. Työtä pystyy kuitenkin hyödyntämään etsiessään tietoa minkälaisia laitteita on muuntajan suojaukseen ja mitä kuuluu

muuntajan kunnossapitoon. Tältä osin työlle asetetut tavoitteet täyttyvät ainakin osittain. Työtä pystyy käyttämään jonkin verran apuna hankintaan ja vanhojen muuntajien arviointiin.

Lähteet

- Aura, L & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY
- Cheim, L & Buijs, T. 2016. Benefits of transformer online dissolved gas monitoring. Viitattu 22.5.2017. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1LAB000601&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
- Etto, J. 1998. Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 2. Kunnossapito, 98, 48, 3-15. Viitattu 22.5.2017. http://www.momenthits.fi/ESV5230/kunnossapito_2.pdf.
- Heinonen, K. 2002. TEHOMUUNTAJIEN KUNNONVALVONTA TEHOMUUNTAJIEN PERUSHUOLTO. Luento. Fortum Service.
- K6 Working Group. 2014. Sudden Pressure Protection for Transformers. Viitattu 22.5.2017. http://www.pes-psrc.org/Reports/K6_SPR_Final.pdf.
- Korpinen, L. N.d. 9 MUUNTAJAT JA SÄHKÖLAITTEET. Viitattu 22.5.2017. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf.
- Mittalaitteita muuntajien kunnonvalvontaan –esite. 2016. Viitattu 22.5.2017. <http://www.vaisala.fi/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datashets/CEN-G-Power-industry-brochure-B211117FI.pdf>.
- Monitoring of Power Transformer Winding Temperature Using Robust Fiber Optic Sensing System. N.d. Viitattu 22.5.2017. http://www.fasint.it/pdf_formazione/Monitoring_HV_Power_T_using_Fibreoptics.pdf.
- MR Safety Devices for On-Load Tap-Changers. N.d. Viitattu 22.5.2017. http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/TC/Downloads/company/MR_PUbllication/en_MR_Safety_Devices_.pdf
- Muuntajan öljyanalysaattori UTU Condor. N.d. Viitattu 22.5.2017. <http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/esiste-oljyanalysaattori-utu-condor-fi.pdf>
- Mörsky; J. 1992. Relesuojaustekniikka. 2. korj. p. Otatieto.
- Väärämäki, M. 2004. Teho- ja mittamuutanjat. FINGRID, 2004, 2, 18-19. Viitattu 22.5.2017. http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/Ajankohtaista_liitteet/Yrityislehdet/2004/fingrid_2_04.pdf.