

Artturi Sakari Kurkimäki

PÄÄMUUNTAJAN PERUSHUOLTO SEKÄ KUNNONVALVONTA

PÄÄMUUNTAJAN PERUSHUOLTO SEKÄ KUNNONVALVONTA

Artturi Sakari Kurkimäki
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Koulutusohjelma, suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Artturi Sakari Kurkimäki
Opinnäytetyön nimi: Päämuuntajan perushuolto sekä kunnonvalvonta
Työn ohjaaja(t): Ensio Sieppi
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2017 Sivumäärä: 59 + 5 liitettä

Työn tarkoituksena on tehdä opinnäytetyö päämuuntajan perushuollosta sekä kunnonvalvonnasta. Tulevaisuudessa opinnäytetyö toimii ohjeena Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:ssä päämuuntajan perushuolloissa. Pilottikohteena käytettiin Posan sähköasemaa, jonka päämuuntajan PM2 tuleva huolto sijoittuu kesälle 2018.

Vuosien 2015 sekä 2016 aikana tehtiin kaksi erityyppistä päämuuntajan perushuoltoa. Ensimmäinen huolto oli Vanhatullin päämuuntajan PM2 perushuolto 2015. Tässä huollossa muuntaja siirrettiin kuljetettavaksi huoltoon ja takaisin tuotantoon nosturia apuna käyttäen. Toinen huolto oli Pateniemen päämuuntajan PM1 perushuolto 2016. Tässä huollossa muuntajan siirto tapahtui haalaimella käyttäen apuna hydraulitunkkeja. Vuonna 2016 käytiin Vaasassa ABB:n muuntajatehtaalla, jossa sai käsityksen heidän toiminnastaan.

Perushuolto tulee kyseeseen päämuuntajan arvioidun eliniän puolivälissä. Eliniän puoliväli on tavallisesti noin 25–30 vuotta. Päämuuntajan huoltoa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, kuinka kriittinen päämuuntajan mahdollinen vaurioituminen on sekä milloin perushuolto kuormituksen suhteen on tarkoituksenmukaisinta tehdä. Päämuuntajan kunnonvalvonta on tärkeää, kun päämuuntaja sijaitsee kriittisessä pisteessä kantaverkkoa esimerkiksi ydinvoimalaitoksessa. Muuntajan perushuolto on mahdollista suorittaa paikassa, jossa on tarkoituksenmukaiset välineet muuntajan avaamiseen ja huollossa tarvittavien toimenpiteiden toteuttamiseen. Yleensä muuntaja viedään joko valmistajan tehtaalle tai perushuoltoja suorittavan toimittajan verstaalle. Huollon läpimenoaika on noin 6 viikkoa, jonka ajan se on pois käytöstä. Sähköasemilla on yleensä kaksi päämuuntajaa. Kun kuormat ovat pienimmillään ja mahtuvat yhteen päämuuntajaan, huolto on mahdollista suorittaa.

Asiasanat: päämuuntaja, kunnossapito, perushuolto, kunnonvalvonta

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme, option

Author(s): Artturi Sakari Kurkimäki

Title of thesis: Routine maintenance, and monitoring the condition of a main transformer

Supervisor(s): Ensio Sieppi

Term and year when the thesis was submitted: Pages: 59 + 5 appendices

The objective of this thesis is to describe the routine maintenance and monitoring the condition of a main transformer. It will also be used as a guideline for Oulu Energia Siirto ja Jakelu Oy in the future. As a pilot I used the power station of Posa, where the maintenance of the main transformer PM2 will happen during the summer of 2018.

I have been involved in two different kinds of main transformer maintenance procedures. The first maintenance was with the main transformer PM2 at Vanhatulli during 2015. In this maintenance, the transformer was transferred to maintenance and back to production using a crane. The second maintenance I took part in was with the basic maintenance of main transformer PM1 of Pateniemi during 2016. With this maintenance the transformer was moved by hauling with the assistance of a hydraulic jack.

I have been to ABB transformer factory in Vaasa, where I got a thorough understanding of their procedures. I have also searched for information about transformers from literary sources, which I have used in my thesis.

Basic maintenance is needed around halfway through the expected lifespan of a main transformer. Halfway point of the lifespan of a main transformer is about 20 to 30 years. When planning the maintenance of a main transformer it should be considered, how damaging the possible breakdown of the main transformer would be, and what would be the best time to do the maintenance considering the overall load of the power grid. Monitoring the condition of a main transformer is important when the main transformer is located in a critical point of the network, for example in a nuclear power plant. The maintenance of a transformer is possible to perform anywhere, where the proper tools to open and do maintenance procedures are found. Usually the transformer is taken to either the manufacturer or to the workshop of a contractor who does basic maintenance work. Maintenance work takes around 6 weeks, during that time the transformer cannot be used. A power station usually has two main transformer. Maintenance work can be done when the electrical charges are at their lowest and the one remaining transformer can handle the load.

Keywords: Main transformer, maintenance, upkeep

ALKULAUSE

Haluan kiittää mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja mahdollisuudesta paneutua päämuuntajien perushuoltoon ja kunnonvalvontaan Oulu Energia Siirto ja Jakelun Reijo Mustosta sekä sähköasemien kunnossapitotyöryhmää sekä opinnäytetyöni ohjaavaa opettajaa Ensio Sieppiä. Suuret kiitokset myös perheelleni suuresta tuesta.

Oulussa 23.8.2017

Artturi Sakari Kurkimäki

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
1 JOHDANTO	9
2 SIIRTO- JA JAKELUVERKON MUUNTAJAT	10
2.1 Päämuuntajat sekä jakelumuuntajat	11
2.2 Jännitteen säätäminen muuntajalla	11
3 TEHOMUUNTAJAT	12
3.1 Yksi- ja kolmivaiheiset tehomuuntajat	12
3.2 Kolmivaiheisten tehomuuntajien kytkennät	13
3.1 Magneettivuo	16
4 SÄHKÖASEMA	17
5 PÄÄMUUNTAJA	19
5.1 Päämuuntajan komponentit, suojalaitteet ja varusteet	19
5.2 Päämuuntajan jäähdytys	26
5.3 Käämikytkin	27
5.4 Muuntajabunkkeri	28
6 PÄÄMUUNTAJAN SÄHKÖISET SUOJARELEET	29
6.1 Sähköinen relesuojaus	29
6.2 Suojareletyypit	30
6.3 Päämuuntajan suojareleet	30
6.3.1 Ylivirtarele	30
6.3.2 Maasulkurele	30
6.3.3 Erovirtarele	31
6.4 Esimerkki päämuuntajan sähköisestä suojareleestä	31
6.5 Päämuuntajan suojauskaavio	33
6.6 Sähköasemien muita sähköisiä suojareleitä	34
6.6.1 Ali-/ylijänniterele	34
6.6.2 Taajuusrele	34
6.6.3 Suunta- ja tehorele	35
6.6.4 Epsymmetria- ja distanssirele	35

6.6.5 Pika- ja aikajälleenkytkentä	35
7 PÄÄMUUNTAJAN PERUSHUOLTO	37
7.1 Huollon ajankohta	37
7.1.1 Kytkentäohjelma	37
7.1.2 Kytkennät	38
7.2 Päämuuntajan siirtäminen	39
7.2.1 Päämuuntajan nostaminen	39
7.2.2 Päämuuntajan haalaus	40
7.3 Päämuuntajan perushuolto	41
7.4 Vastaanottotarkastus	42
7.5 Öljynäyte	42
7.6 Muuntajaöljyn suodatus ja kuivaus	43
7.7 Käämikytkinhuolto	43
7.8 Vaiheläpiviennit	44
7.9 Suojalaitteet	44
7.10 Muuntajan säiliö	44
7.11 Muuntajan aktiiviosien huolto	44
7.12 Huolletun muuntajan käyttöönotto	45
7.13 Päämuuntajan toiminnan varmistaminen	45
7.14 Hälytysten ja suojalaitteiden testaus	46
7.15 Muuntajan valvonta	46
8 MUUNTAJAN VALMISTUKSESTA	47
9 PÄÄMUUNTAJAN KÄYTÖNAIKAINEN KUNNONVALVONTA	48
9.1 Kunnonvalvonta	48
9.2 DP-luku	48
9.3 Päämuuntajan viat	49
9.3.1 Öljynäyte	49
9.3.2 Muuntajaöljyn analysointi	50
9.4 Uudet kunnonvalvontamenetelmät	53
9.4.1 Jatkuva kunnonvalvonta	53
9.4.2 Muuntajan kunnonvalvonta kaasuanalyysillä	54
9.4.3 Muuntajan kunnonvalvonta paineen avulla	54
10 TULEVAISUUDEN KUNNONVALVONTA	56

11 YHTEENVETO	57
LÄHTEET	58
LIITTEET	

Liite 1. Vastaanottotarkastus

Liite 2. Tarkastus- ja huoltopöytäkirja

Liite 3. Tarkastus- ja huoltopöytäkirja

Liite 4. Tarkastus- ja koestuspöytäkirja

Liite 5. Tarkastus- ja huoltopöytäkirja

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheen tilasi Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy. Työn tavoitteena oli luoda ohje päämuuntajan perushuoltoa varten.

Päämuuntajan vanhetessa toimintavarmuus laskee ja vikojen todennäköisyys kasvaa. Pahimmassa tapauksessa huoltamaton päämuuntaja voi aiheuttaa hengenvaaran, muuntajan tuhoutumisen ja jakelukeskeytyksen.

Päämuuntaja on sähköaseman kallein yksittäinen komponentti, joten on järkevää pitää se toimintakunnossa. Viat ennaltaehkäistään tekemällä päämuuntajille käämikytkinhuoltoja 5–7 vuoden välein, tekemällä perushuoltoja eliniän arvioidussa puolivälissä ja ottamalla päämuuntajilta 1–3 vuodenvälein öljynäytteitä, joista voidaan analysoida alkavat mahdolliset viat.

Kunnossapito on yksi suurimmista yrityksen kustannuksista. Se on itse asiassa pääoma- ja raaka-ainekustannusten jälkeen suurin kustannuserä. On tärkeää ymmärtää, että kunnossapito on yrityksen suurin kontrolloimaton kustannuserä. Hyvin johdetuissa yrityksissä onkin panostettu siihen, että kunnossapito saadaan hallintaan ja kustannukset kontrolliin. (1, s. 20.)

Kunnossapidon vaikutus yrityksen tuloksen muodostumiseen on välillinen. Tämän vaikutusmekanismin tunteminen on kuitenkin välttämätöntä, jotta pystytään selvittämään esimerkiksi kunnossapitopanostusten synnyttämät tuotot. (1, s. 20.)

2 SIIRTO- JA JAKELUVERKON MUUNTAJAT

Muuntaja on sähkömagneettinen komponentti, joka muuttaa vaihtojännitteen tai virran tasoa saman taajuiseksi virraksi tai jännitteeksi. Muuntajat ovat sisäisesti rakenteeltaan kahdesta tai useammasta käämistä, jotka on kiedottu johtimista, joiden sisällä on yhteinen rautasydän. Rautasydän rakennetaan laminoituista levyistä vaihtokentän synnyttämien ns. pyörrevirtahäviöiden minimoimiseksi. Yksinkertaisessa muuntajassa on saman rautasydämen ympärillä kaksi toisistaan eristettyä käämiä ensiökäämi ja toisiokäämi. Energia siirtyy virtapiiristä toiseen käämien välisen keskinäisinduktanssin välityksellä. Ensiökäämissä kulkeva vaihtovirta synnyttää rautasydämeen muuttuvan magneettivuon. Se puolestaan indusoi toisiokäämin napoihin sen kierrosmäärää vastaavan jännitteen. Muuntajat voivat olla yksi- tai monivaiheisia, joista jälkimmäisestä on eniten käytössä kolmivaihemuuntajat. (2, s.1.)

Muuntajan avulla voidaan muuttaa sähköisen järjestelmän jännitetasoa. Jännitettä voidaan nostaa esimerkiksi 10 kV:sta 220 kV:iin. Tällöin käytetään nimitystä jännitettä nostava muuntaja. Edelleen jännitettä voidaan laskea esimerkiksi 110 kV:sta 20 kV:iin kuten tehdään siirtoverkossa. (Kuva 1.) (2, s.1.)



KUVA 1. Pateniemen sähköasemalla sijaitseva päämuuntaja

2.1 Päämuuntajat sekä jakelumuuntajat

Päämuuntajat ovat keskijännite- tai suurjännitekomponentteja, jotka muuntavat siirtoverkon jännitetasoja. Esimerkiksi päämuuntaja voi muuntaa 110 kV:sta 10 kV:ksi tai 400 kV:sta 220 kV:ksi. Päämuuntajat sijaitsevat sähköasemilla ja ovat sähköaseman kalleimpia komponentteja, joita valvotaan ja suojataan monilla suojausmenetelmillä.

Jakelumuuntajat muuntavat keskijännitteen pienjännitteeksi, josta sähkö voidaan viedä esimerkiksi kerrostalon syötöksi. Jakelumuuntajat sijaitsevat muuntamoissa tai pylväissä. Päämuuntajan sekä jakelumuuntajan suurin ero on jännitetasot sekä jännitteen säätäminen muuntajan luona.

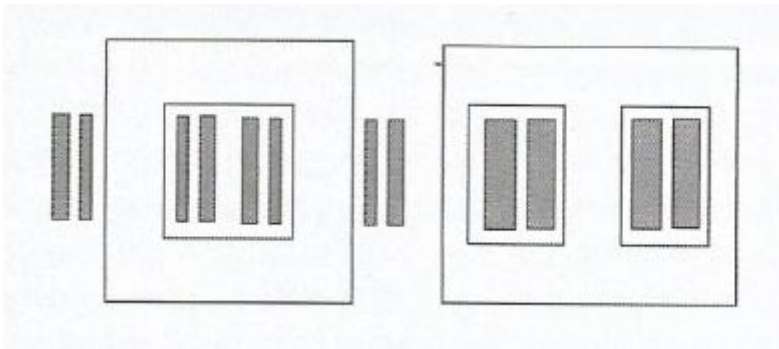
2.2 Jännitteen säätäminen muuntajalla

Sähköverkossa tapahtuvien jännitevaihteluiden pienentämiseksi muuntajan jännitettä on pystyttävä säätämään. Jännitettä säädetään muuntajan muuntosuhdetta muuttamalla. Yleensä muutetaan yläjännitekäämin johdinkierroslukua, koska virta on yläjännitepuolella pienempi kuin alajännitepuolella. Jännitteen säätöön käytetään joko väliottokytkintä tai käämikytkintä. Väliottokytkimellä voidaan säätää muuntajan muuntosuhdetta vain muuntajan ollessa virraton. Käämikytkimellä voidaan muuttaa muuntajan muuntosuhdetta muuntajan ollessa jännitteellinen ja kuormitettu. Tästä johtuen se soveltuu jatkuvaan jännitteen säätöön, jolloin se jännitemittaukseen yhdistettynä säätölaitteena pitää sähköverkon jännitteen vakiona halutussa arvossa. (1, s.13) Suuritehoisissa muuntajissa kuten yleisesti päämuuntajissa käytetään käämikytkintä, ja pienitehoiset muuntajat kuten jakelumuuntajat sisältävät väliottokytkimen.

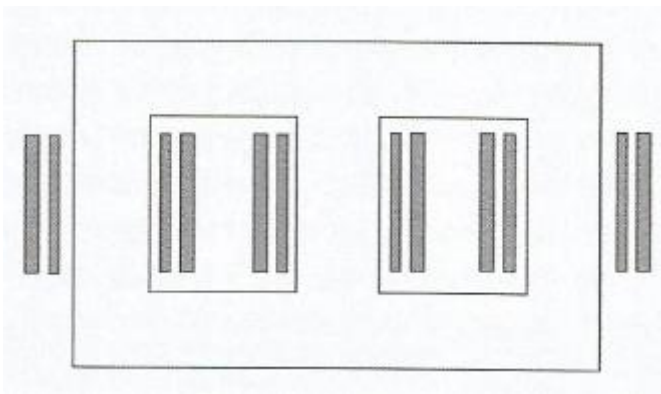
3 TEHOMUUNTAJAT

3.1 Yksi- ja kolmivaiheiset tehomuuntajat

Yksivaiheiset muuntajat jaetaan rautasydämen rakenteen mukaan sydän- ja vaippamuuntajiin. Sydänmuuntajien muoto voi poiketa suunnikkaasta, kuten on tilanne toroidikäämityksisellä muuntajalla. Sydänmuuntajan tapauksessa käämitys on tyypillisesti jaettu kahteen osaan molempien ikeiden ympärille. (Kuva 2.) (3, s. 98.)

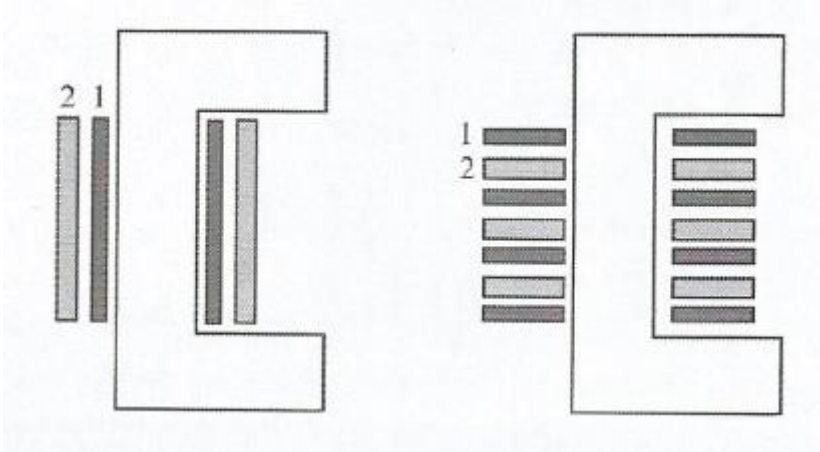


KUVA 2. Sydän- ja vaippamuuntajarakenne. Muuntajan käämitysten poikkileikkaus on merkitty harmaalla värillä (3, s. 99)



KUVA 3. Kolmivaiheinen sydänmuuntaja, jossa jokaisen vaiheen ensiö- ja toisiokäämitys on sijoitettu kukin oman pylvään ympärille sekä esimerkki kuivamuuntajasta (3, s. 99)

Käämitys voidaan rakentaa joko lieriömäisesti tai vuorottelemalla. (Kuva 4.)



KUVA 4. Lieriö- ja vuorottelukäämitys (3, s. 99)

3.2 Kolmivaiheisten tehomuuntajien kytkennät

Tähti- ja kolmiokytkennät ovat yleisesti käytettyjä kytkentöjä kaikissa kolmivaiheisissa kojeissa. Hakatähtikytkentä on vain jakelumuuntajissa käytetty kytkentä, joka sähköjohdon kannalta vastaa täysin tähtikytkentää. Etuna on se, että hakatähtikytkentä sallii epäsymmetrisen kuormituksen vääristämättä jännitteitä epäsymmetrisiksi. Hakatähtikytkennässä jokaisella pylväällä oleva käämi on jaettu kahteen osaan, joiden johdinkierrosluvut ovat yhtä suuret. Vaihekäämeihin kytketään kaksi kääminpuolikasta eri pylväiltä. (1, s.12)

Muuntajien kytkennät ilmoitetaan kirjainsymboleilla ja tunnusluvuilla. Kolmivaihemuuntajan käämityksen kytkentää kuvaamaan käytetään seuraavia kirjainsymboleja:

Y; y tähtikytkentä,

D; d kolmiokytkentä,

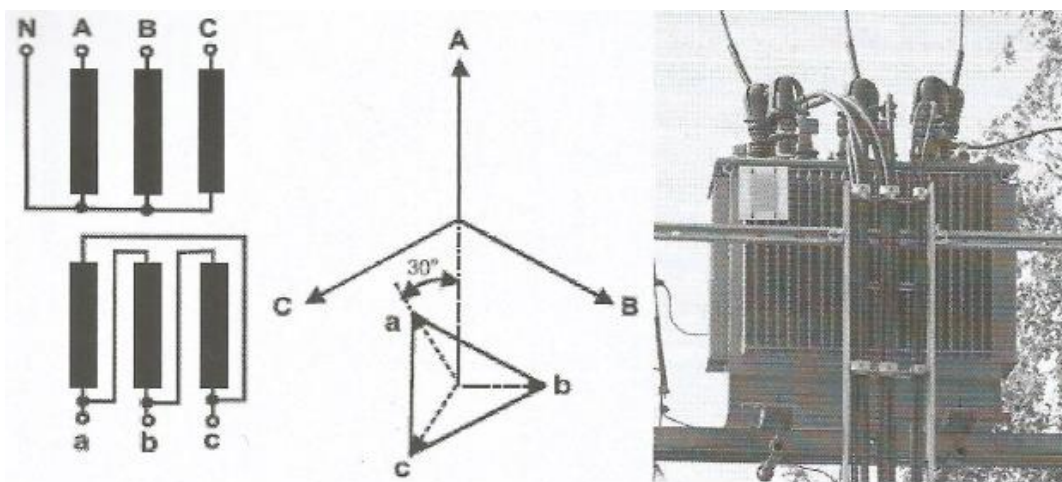
Z; z hakatähtikytkentä sekä

III; iii avoin (kytkemätön) kolmivaihekäämitys. (4, s. 99.)

Iso kirjain, joka merkitään ensimmäiseksi, tarkoittaa suurimman jännitteen käämistä ja pienet kirjaimet pienemmän jännitteen käämistä. Jos tähti- tai haka-tähtikämmityksen tähtipiste on tuotu liittimelle, merkitään tämä kirjaimilla N ja n välittömästi kyseessä olevan käämityksen kirjainsymbolin jälkeen. Jos käämitys on kytkettävissä kahdelle tai useammalle jännitteelle, kirjoitetaan suurimman jännitteen kirjainsymboli ensin ja sen jälkeen muut kirjainsymbolit sulkeisiin. (Kuva 5.) (4, s.100.)

Kytkenästä aiheutuvaa vaihesiirtoa kuvaamaan käytetään tunnuslukuina kello-taulun tuntilukemia. Tunnusluku on se kellolukema, jolle alajännitteiden (kuvitel-lut) vaihejännitevektorit asettuvat, kun samannimiset yläjännitevaiheen (kuvitel-tu) vaihejännitevektori asetetaan näyttämään 12 "kellotaululla". Tunnusluku 11 esimerkiksi tarkoittaa, että alajännite on 20 astetta edellä yläjännitteestä. Jos jännitevektorit ovat samansuuntaiset, on tunnusluku 0. Tunnusluku kirjoitetaan kyseessä olevan alajännitekäämityksen kirjainsymbolin jälkeen. Pariton tunnus-luku syntyy, jos toisen käämityksen kytkentä on tähti ja toinen kolmio tai haka-tähti ja muut yhdistelmät antavat parillisia tunnuslukuja. (Kuva 5.) (4, s.100.)

Kirjainsymboleja ja tunnuslukuja käyttäen saadaan muuntajan kytkentä ilmoite-tuksi lyhyesti ja yksikäsitteiseksi (4, s.100), esimerkiksi YNd11, Yy0, Dyn11, Dd0y5, D(D)yn11, YNa0 jne. (Kuva 5.)



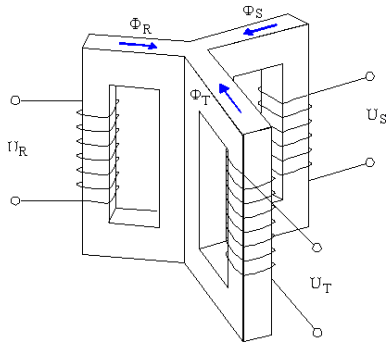
KUVA 5. Kuvassa on muuntajan käämien kytkentä ja vastaavat jännitevektorit, kun kytkentäryhmä on YNd11 sekä esimerkki jakelumuuntajasta. (4, s.100.)

TAULUKKO 1. Kolmivaihemuuntajien standardoidut kytkennät. Suomessa yleisimmin käytetyt kytkennät on rajattu. Kytkentää ilmaisevien tunnuskirjaimien merkitykset ovat seuraavat: Y on yläjännitekäämitys tähtikytkennässä, D on yläjännitekäämitys kolmiokytkennässä, y on alajännitekäämitys tähtikytkennässä, d on alajännitekäämitys kolmiokytkennässä, z on alajännitekäämitys hakatähtikytkennässä. (1, s.12.)

Tunnusluku	Kytkentä	Osoitinkuvat		Kytkennät	
		YJ	AJ	YJ	AJ
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	Dy5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

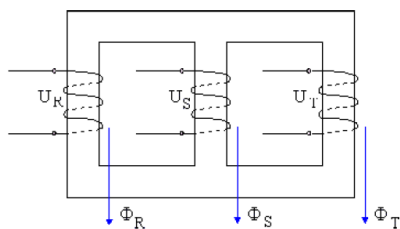
3.1 Magneettivuo

Sähköenergia siirretään käytännössä voimalaitoksilta kuluttajille kolmivaihejärjestelmää käyttäen. Kolmivaiheinen muuntaja saadaan esimerkiksi kytkemällä kolme yksivaihemuuntajaa tähtikytkentään. Jokaisen muuntajan magneettivuo kulkee omassa rautasydämessä. Tällöin muuntajat on kytketty yhteen sähköisesti mutta eivät magneettisesti. Kolmivaihejärjestelmän jännitteet ovat 120 asteen vaihesiirrossa keskenään ja vuot noudattavat myös samaa 120 asteen vaihesiirtoa. Kun rakennetaan kolme yksivaihemuuntajaa kuvan 6 mukaisesti yhteen ja varustetaan ne yhdellä yhteisellä pylväällä, kulkevat kaikki vuot tämän pylvään kautta. Vuo-osoittimien summa on nolla. (5, s.10.) (Kuva 6.)



KUVA 6. Kuvassa on symmetrinen kolmivaihemuuntaja (kuvassa vain ensiökäämit). (5, s. 10.)

Yhteisessä pylväässä ei kulje lainkaan magneettivuota, ja se voidaan jättää rakenteesta pois. Kun vielä S-vaiheen ikeet lyhennetään, tulevat kaikki pylväät samaan tasoon ja päädytään tavalliseen kolmivaihemuuntajan rakenteeseen (Kuva 7.) (5, s.10.)



KUVA 7. Kuvassa on tavallinen kolmivaiheinenmuuntaja (kuvassa vain ensiökäämitys) (5, s.10.)

4 SÄHKÖASEMA

Sähköenergian siirtoon käytetään yleensä sähköasemia. Sähköasemat ovat siirto- tai jakeluverkon kohta, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, muuntaa jännitettä tai keskittää tai jakaa sähköenergian siirtoa eri johdoille. Sähköasemat ovat yleensä aidalla rajattuja alueita tai sijoitettuna kiinteistöihin. Jälkimmäisistä käytetään nimitystä kompaktit sähköasemat, joita käytetään taajamissa. Sähköasemilla on tyypillisesti muuntajia, kiskostoja, katkaisijoita, erottimia ja mittamuuntajia. Erottimilla on tarkoitus varmistaa kohteen jännitteettömyys selkeällä avausvälillä. Katkaisijalla voimme katkaista suurimman mahdollisen virran kytkennässä. Mittamuuntajien tehtävänä on muuttaa virta tai jännite mittalaitteelle sopivaksi kuten suojareleelle. Laitteiden ylijännitesuojauksessa käytetään suoraan niiden rinnalle kytkettäviä venttiilisuojia, ylijännitesuojia tai pienten jakelumuuntajien tapauksessa kipinävälejä. (6, s.106.)

Sähköasemien yhteydessä voi olla myös kompensointilaitteisto. Jakeluverkoissa käytetään rinnakkaiskondensaattoriparistoja ja voimansiirtoverkoissa loistehotasapainon pitämiseksi lisäksi rinnakkaiskuristimia. Rinnakkaiskuristimilla kompensoidaan pienen kuorman aikana johtojen kehittämä ylimääräinen loisteho. (6, s.106.)

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:llä on Oulun sekä Kiimingin alueella 13 sähköasemaa, joista 110/10 kV:n asemia ovat Limingantullin, Vanhantullin, Merikosken sekä Toppilan sähköasemat. 110/20 kV:n sähköasemia ovat Kaakkurin, Oulunsuun, Posan, Yläsiirtolan, Pateniemen, Kuivasjärven, Hiukkavaaran, Hakomäen sekä Kiimingin sähköasemat. (Kuva 8.)



KUVA 8. Limingantullin sähköasema

5 PÄÄMUUNTAJA

5.1 Päämuuntajan komponentit, suojalaitteet ja varusteet

Päämuuntaja koostuu seuraavista pääkomponenteista: öljysäiliö (kuva 9), jonka sisällä on muuntajan käämitykset sekä muuntajan rautasydän. Näitä kutsutaan aktiiviosiksi. Paisuntasäiliöstä (kuva 10), jonka tehtävä on ottaa vastaan öljyn tilavuuden muutokset öljyn lämpötilan muutoksista johtuen.

Öljynkorkeuden osoittimesta (kuva 11) voidaan tarkkailla muuntajan öljynmäärää sekä tehdä havaintoja, onko muuntaja vuotanut. Kaasurele (kuva 12) reagoi, kun se havaitsee vikatilanteille tyypillisiä kaasuja (vety, hähä, hiilidioksidi, eräät hiilivedyt) ja antaa vikailmoituksen ja laukaisee päämuuntajan aina irti sähköverkosta. Kaasureleen toiminta indikoi yleensä muuntajan sisällä olevasta vakavasta viasta.

Käämikytkimen sekä muuntajaöljyn lämpötilamittarista (kuva 13) voidaan lämpötilamittauksilla päätellä, kuinka kovalla kuormituksella muuntaja on, sekä tarkkailla, onko muuntajan lämpötilassa tullut suuria muutoksia huoltotoimenpiteitä silmällä pitäen.

Kuvasta 14 näkee käämikytkimenkuivaimen sekä muuntajanilmankuivaimen, joiden tarkoituksena on poistaa muuntajasta sekä käämikytkimestä kosteutta. Kojekaapissa (kuva 15) on muuntajan ohjauskaapelit, joiden kytkentää varten on riviliittimet ja paikalliset käyttökytkimet. Radiaattoreiden (kuva 16) tehtävä on jäähdyttää muuntajaöljyä.

Ensiöpuolen läpivienteihin tuodaan siihen tulevat johdot verkosta. Posan sähköaseman päämuuntajan tapauksessa 110 kV:n siirtoverkosta tuodaan johdot muuntajaan ja toisiopuolen läpivienneistä viedään johdot sähköasemalle 20 kV:n kojeistoon. Toisiopuolen johdot voidaan korvata myös kiskoilla kuten kuvasta 17 nähdään. Päämuuntaja koostuu 110 kV:n tähtipisteen läpiviennistä (kuva 18). Tähtipiste maadoitetaan ylijännitesuojan kautta.

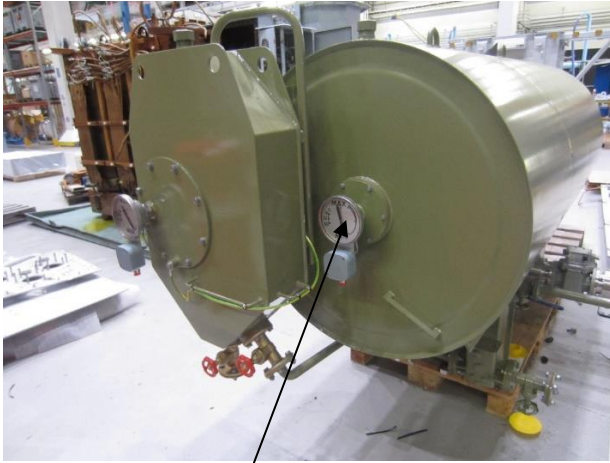
Arvokilvestä (kuva 19) nähdään muuntajan tiedot kuten ensiökäämityksen sekä toisiokäämityksen kytkentä, jännitetasot, muuntajan jäähdytystyyppi (ONAN/ONAF), teho sekä muita teknisiä tietoja. Käämikytkimen moottoriohjaimella (kuva 20) voidaan paikallisesti ohjata muuntajan käämikytkintä käämikytkimen ohjainkotelon kannessa olevilla ohjaus painonapeilla tai kauko-ohjauksella. Toimintakertalaskurista nähdään käämikytkimen toimintakerrat sekä käämikytkimen asento. Käämikytkin voi fyysisesti sijaita muuntajan kannella muuntajan sisällä tai muuntajan sivussa. Käämikytkimen tehtävä on säädellä jännitetasoa, muuntajan ollessa kuormitustilassa. (kuva 21) Kuvasta 22 näkee päämuuntaja kokonaisuudessaan ja komponenttien sijainnit fyysisesti.



KUVA 9. Öljysäiliö (7)



KUVA 10. Paisuntasäiliö (7)



KUVA 11. Öljynkorkeuden osoitin (7)



KUVA 12. Kaasurele (7)



KUVA 13. Käämikytkeimen sekä muuntajaöljynlämpötilan mittaus. (7)



KUVA 14. Muuntajan sekä Käämikytkimen ilmankuivaimet (7)



KUVA 15. Kojekaappi (7)



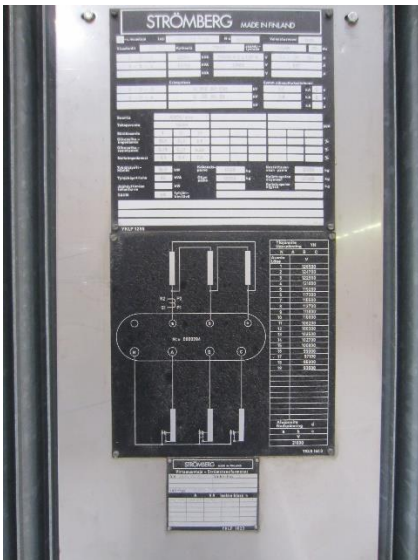
KUVA 16. Radiaattori (7)



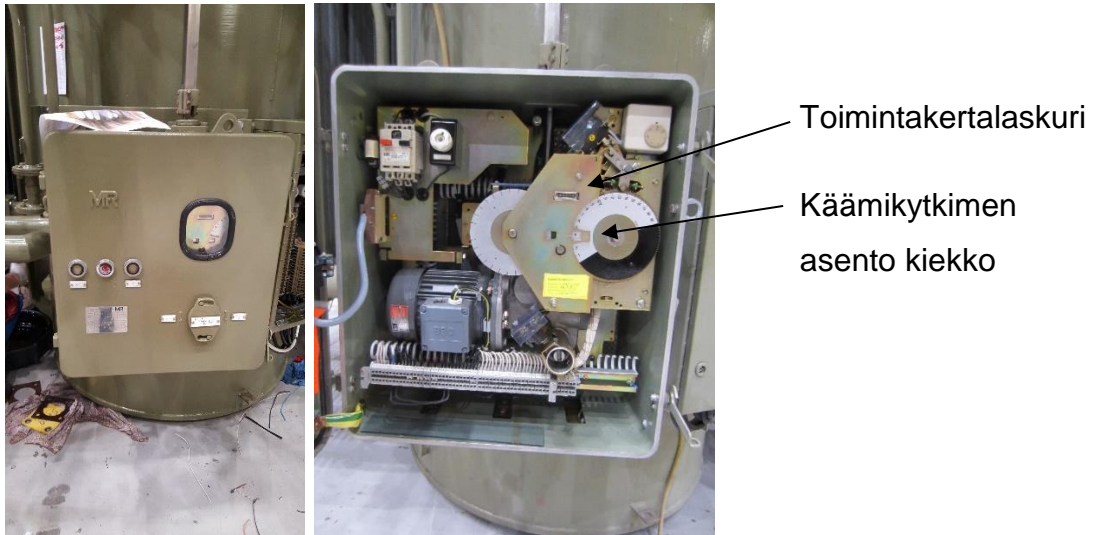
KUVA 17. Ensöpuolen sekä toisiopuolen läpiviennit



KUVA 18. Päämuuntajan 110 kV:n tähtipiste.



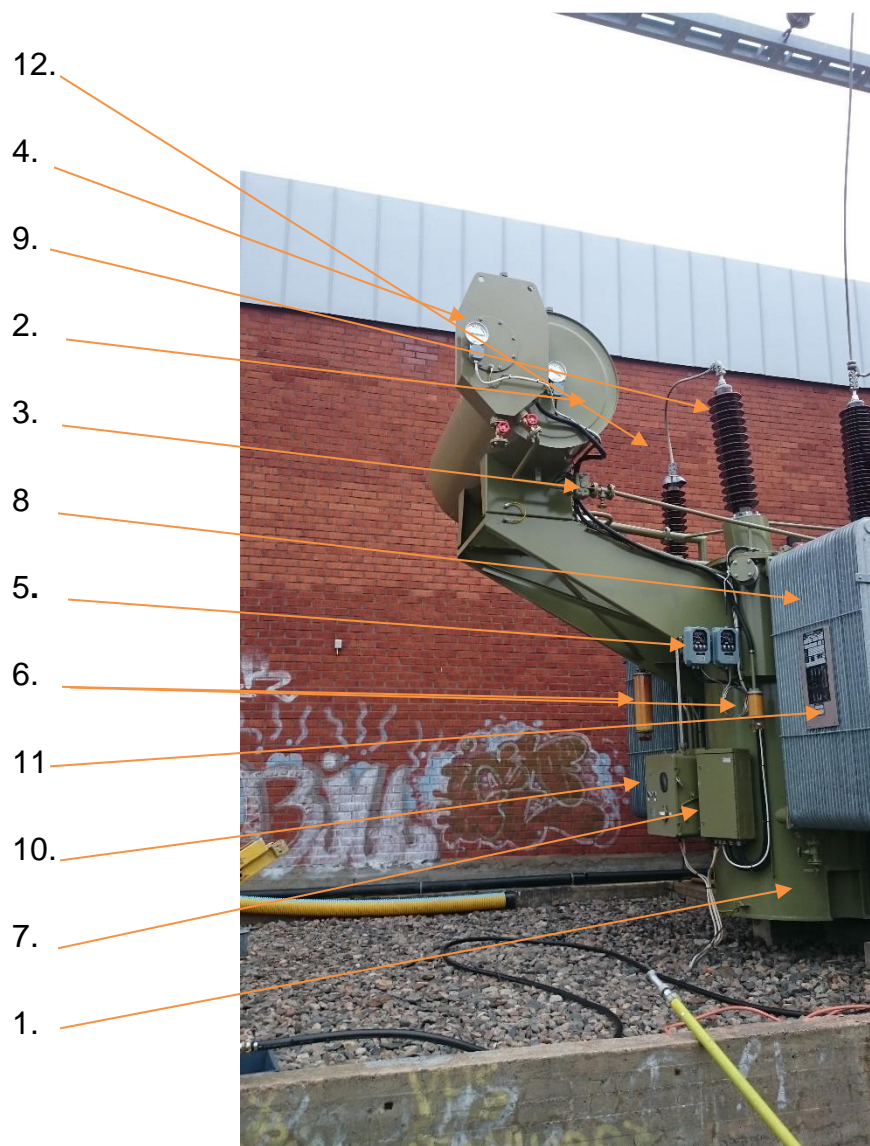
KUVA19. Päämuuntajan arvokilpi (7)



KUVA 20 Käämikytkimen moottorihjain (7)



KUVA 21. Vasemmanpuoleinen käämikytkin sijaitsee muuntajan kannella muuntajan sisällä. Oikeanpuoleinen käämikytkin sijaitsee muuntajan sivussa. (7)



*KUVA 22. Päämuuntajan komponentit 1: Öljysäiliö 2: Paisuntasäiliö 3: Kaasu-
rele 4: Öljynkorkeuden osoitin 5: Lämpötilamittarit 6: Ilmankuivain 7: Kojekaappi
8: Radiaattori 9: Ensiö- ja toisiopuolen läpiviennit. 10: Käämikytkimen mootto-
riohjain 11: Arvokilpi 12: Tähtipiste (110 kV)*

5.2 Päämuuntajan jäähdytys

Muuntajien jäähdytys tapahtuu luonnollisella öljyn- ja ilmankierrolla, ONAN. Radiaattorisäiliöiden jäähdytyskykyä voidaan lisätä käyttämällä tuulettimia, ONAF, jolloin muuntajaa voi kuormittaa suunnilleen yhden taulukkopykälän verran suuremmalla teholla. On olemassa vielä yhdistetty versio ONAN/ONAF-jäähdytysjärjestelmä, jossa muuntajissa on öljynlämpömittarin ohjaamat tuulettimet. Näillä

muuntajilla saavutetaan nimelliskuormitettavuus ONAF-jäähdytyksellä ja n. 60–70 %:n kuormitettavuus ONAN-jäähdytyksellä. (5, s. 5.)

5.3 Käämikytkin

Jännitteen säätöä varten suuret muuntajat kuten päämuuntajat varustetaan käämikytkimellä (on-load tap-changer), jonka avulla muuntajan muuntosuhdetta voi vaihtaa myös muuntajan ollessa kuormitettuna. Tavallinen säätöalue on 19-portainen. Yhden portaan säädönvaikutus on $\pm 1,67$ % nimellisjännitteestään. Säätäminen tehdään yleensä muuntamalla ensiön johdinkierrosmäärää.

Yleensä käämikytkin sijoitetaan käämin tähtipisteen puoleiseen päähän. Käämikytkin sijoitetaan normaalisti omaan erilliseen öljytilaansa, jolloin käämikytkimen toiminnan aikaansaama kaasu ei peitä alleen kaasuja, jotka syntyvät muuntajan eristeissä mahdollisesti tapahtuvassa osittaispurkaustoiminnassa. (Kuva 23.)

Muuntajaöljyn kaasuanalyysi on tärkeä vianilmaisutapa, joka sopii vikojen ennakoointiin jo niiden alkamisvaiheessa. Pienissä muuntajissa tavanomainen jännitteesäätöväline on väliottokytkin (off-load tap-changer.) Sen käyttö edellyttää virrattomuutta ohjaushetkellä. (8, s.146–147.)



KUVA 23. Oulunsuunaseman PM1 käämikytkin

5.4 Muuntajabunkkeri

Muuntajabunkkerin tehtävä on suojata kytkinasemaa ja muuntajaa mahdolliselta tulipalolta sekä tulipalon leviämiseltä. Muuntajabunkkeri on betonirakennelma, joka rakennetaan niin että muuntaja on mahdollista joko nostaa tai haalata pois bunkkerista. Bunkkerin sisään rakennetaan Muuntajan alle kaukalo öljyvuotoa varten. Kaukalo on mahduttava päämuuntajan kaikki öljyt, jotta vältetään öljyn joutumista luontoon vikatilanteessa. Mahdollisen öljypalon varalle kaukaloon laitetaan sepeli tai ontelolaatta, joka estää öljypalossa hapensaantia ja hidastaa öljypaloa.

6 PÄÄMUUNTAJAN SÄHKÖISET SUOJARELEET

Päämuuntajan suojauksella minimoidaan vahingot ja korjauskustannukset ja säästytään pitkiltä päämuuntajien huolloilta. Päämuuntaja on sähköaseman arvokkain ja verkon tärkein komponentti, joten päämuuntaja on suojattava hyvin. Päämuuntaja suojataan sähköisillä suojarieleillä ja muuntajan omilla suojalaitteilla, joita ovat kaasurele, painerele tai ylipaineventtiilillä, käämin- ja öljynlämpötilojen kuvaajilla, öljyn pinnankorkeusmittarilla tai anturilla, Ylijännitesuojilla: kipinävälisuoijat ja venttiilisuoijat sekä eläinsuojilla. Eläinsuojina toimivat esimerkiksi verkkoaidat sekä jännitteisten osat peittävät eristeet. Itse muuntajabunkkeri toimii myös osittain eläinsuojana. (2, s. 5.)

6.1 Sähköinen relesuojaus

Sähköverkossa tapahtuvien vikojen varalta voimalaitokset sekä sähkö- ja kyt-kinasemat varustetaan katkaisijoilla, jotta vioittunut verkon osa saadaan erotet-
tua muusta verkosta. Katkaisijoiden ohjaamiseen käytetään suojarieleitä. Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja verkon vikaantuessa ne antavat niihin aseteltujen asetteluarvojen ylityttyä laukaisusignaalin katkaisijalle ja/tai hälytyksen. Relesuojauksessa käytetään keskijänniteverkossa ja sitä suuremmilla jännitetasoilla. Pienjänniteverkkojen suojauksessa käytetään varokkeita ja varokeautomaatteja. Relesuojaukselle asetetaan seuraavat vaatimukset:

- Relesuojauksen on toimittava selektiivisesti, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä.
- Relesuojauksen asettelut on oltava oikein, jotta suojaus toimii riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuus säilyy kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä, kuten päämuuntaja.
- Sen on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen.

- Käytettävyyden tulee olla hyvä.
- Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla.
- Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen. (9, s. 6–7.)

6.2 Suojareletyypit

Releet voidaan jakaa mitattavan suureen perusteella seitsemään ryhmään. Päämuuntajan suojaukseen käytetään yläjännitepuolella ylivirtarelettä, maasulkurelettä sekä erovirtarelettä ja alajännitepuolella ainoastaan ylivirtarelettä. Sähköasemalla voi olla muita suojareleitä kuten ali- ja ylijännitereleitä, taajuusreleitä, suunta- ja tehoreleitä, epäsymmetriareleitä sekä distanssireleitä suojaamassa sähköverkon muita komponentteja. (9, s. 8.)

6.3 Päämuuntajan suojareleet

6.3.1 Ylivirtarele

Ylivirtareleitä käytetään ylikuormitus- ja oikosulkusuojina. Säteiläisten verkkojen oikosulkusuojaus toteutetaan yleensä ylivirtareleillä. Ne voivat olla hetkellisiä ylivirtareleitä, vakioaikaylivirtareleitä tai käänteisaikaylivirtareleitä. Muuntajien, generaattoreiden ja moottoreiden ylikuormitussuojana käytetään mm. lämpörelettä. (9, s. 8.)

6.3.2 Maasulkurele

Maasulkurelettä käytetään suojaamaan esimerkiksi päämuuntajaa mahdollisilta yksivaiheisilta tai kaksivaiheisilta maasuluilta. Maasulkusuojauksen voi toteuttaa riippumatta siitä onko muuntajassa Y-kytkentä tai D-kytkentä. Y-kytkennässä verrataan tähtipisteen virtaa summavirtaan. D-kytkennässä tarkkaillaan vaihevirtojen summaa. Kun summavirta poikkeaa maasulkureleen asettelu alueesta, maasulkusuoja lähettää toimintakäskyn.

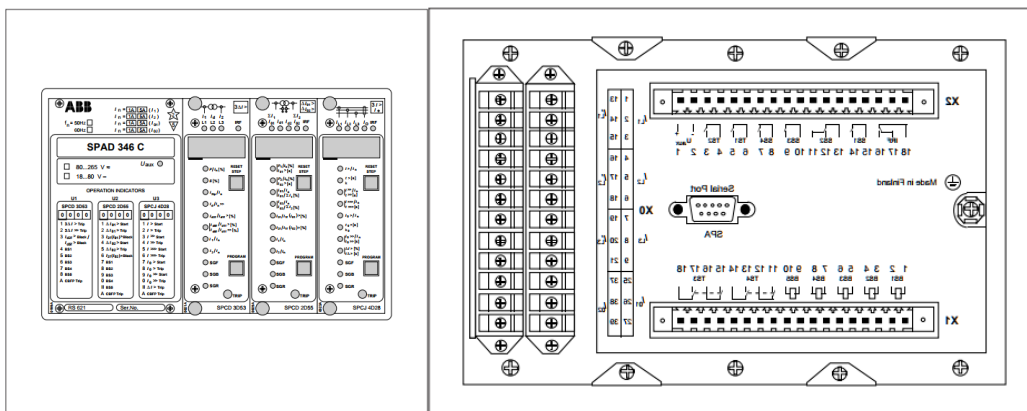
6.3.3 Erovirtarele

Vertoreleet eli differentiaalireleet vertaavat verkon eri osissa kulkevia virtoja tai tehoja. Niillä voidaan suojata muuntajia, generaattoreita, johtoja ja kiskostoja. Vertailukohteena voivat olla esim. itseisarvot, vaihekulmat tai mitattavien virtojen suunnat. Niiden toiminta perustuu mitattujen virtojen vertailuun. (9, s. 8.)

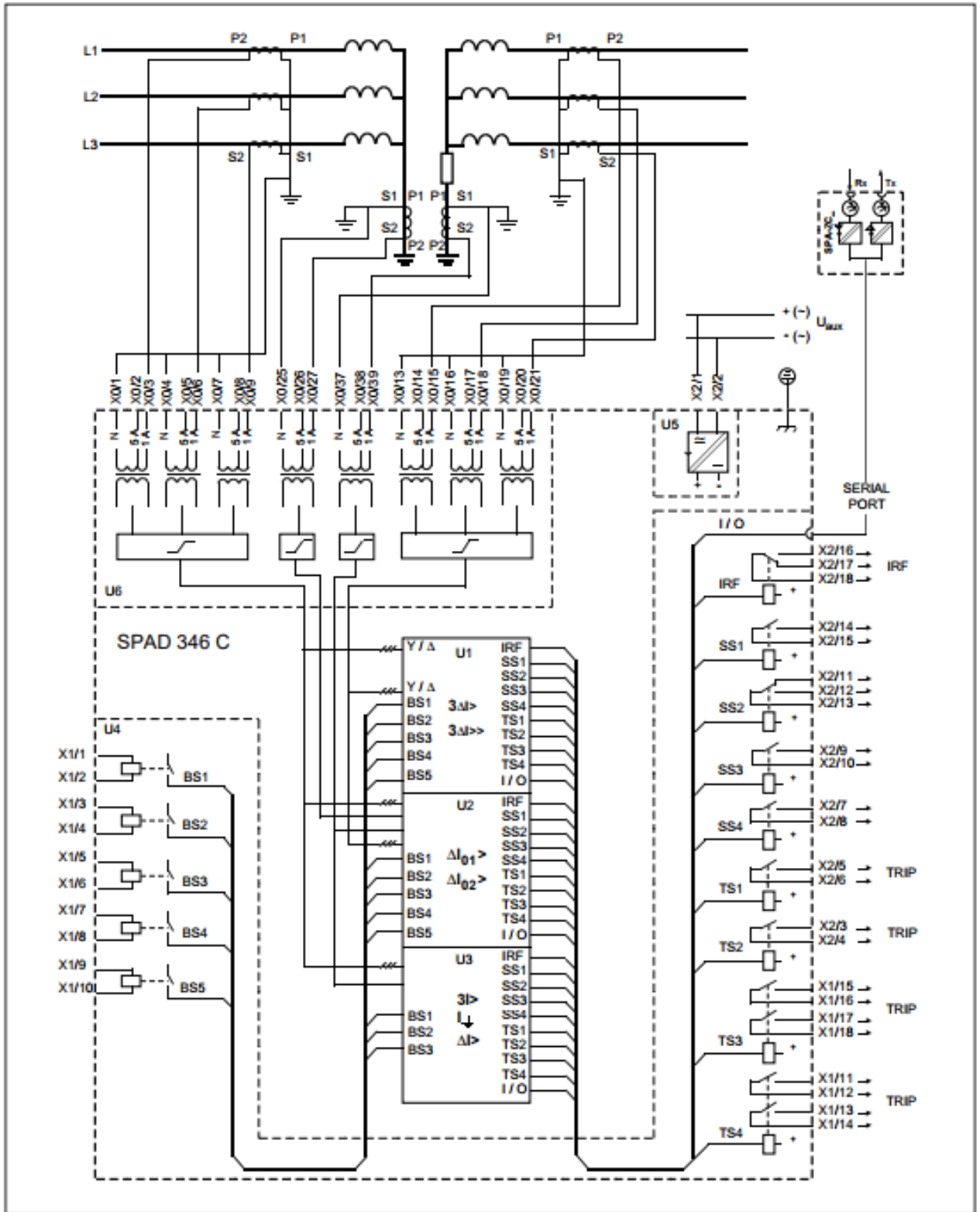
6.4 Esimerkki päämuuntajan sähköisestä suojarielestä

Päämuuntajan suojaukseen soveltuu hyvin esimerkiksi ABB:n SPAD 346 C -vakavoitu differentiaalirele, vaikka SPAD 346C on tarkoitettu kaksikäsimuuntajien ja generaattori-muuntaja -yksiköiden käämisulku-, kierrossulku-, maasulku- ja oikosulkusuojaukseen sekä generaattoreiden käämisulku- ja oikosulkusuojaukseen. Rele soveltuu myös kolmikääsimuuntajien suojaukseen, jos yhdestä suunnasta syötetään yli kolme neljäsosaa oikosulkutehosta. (10, s. 3.)

Vakavoitu differentiaalirele SPAD 346 C muodostaa integroidun kokonaisuuden, joka sisältää kolme itsenäistä suojarielemoduulia: kolmivaiheisen vakavoidun differentiaalirelemoduulin SPCD 3D53, maasulkurelemoduulin SPCD 2D55 sekä yhdistetyn ylivirta- ja maasulkurelemoduulin SPCJ 4D28. Releen nimellisvirrat ovat 1 A ja 5 A. Ylä- ja alajännitepuolella voidaan käyttää joko samoja tai eri nimellisvirtoja. Kuvasta 25 nähdään, miltä SPAD 346 C:n rele näyttää käytännössä sekä kuvasta 24 näkee suojarieleen mahdollistamat kytkennät. (10, s. 3.)



KUVA 24. SPAD 346 C etupaneeli sekä kytkentäpuoli (10, s. 3)



KUVA 25. SPAD 346 C -liitântäkaavio (10, s. 9)

U_{aux} on apujännite,

TS1...TS4 on lähtöreleet (laukaisukelpoiset)

SS1...SS4 on lähtöreleet

IRF on itsevalvonnan lähtörele

BS1...BS5 on ulkoiset ohjaustulot

U1 on kolmivaiheinen vakavoitu differentiaalirelemoduuli SPCD 3D53

U2 on maasulkurelemoduuli SPCD 2D55

U3 on yhdistetty ylivirta- ja maasulkurelemoduuli SPCJ 4D28

U4 ohjaustulo- ja lähtörelemoduuli SPTR 9B31

U5 on teholähdemoduuli SPGU 240A1 tai SPGU 48B2

U6 on liitäntämoduuli SPTE 8B18

TS1...TS4 lähtösignaalit (laukaisukelpoisille lähtöreleille)

SS1...SS4 on lähtösignaalit

SERIAL PORT on sarjaliikenneliityntä

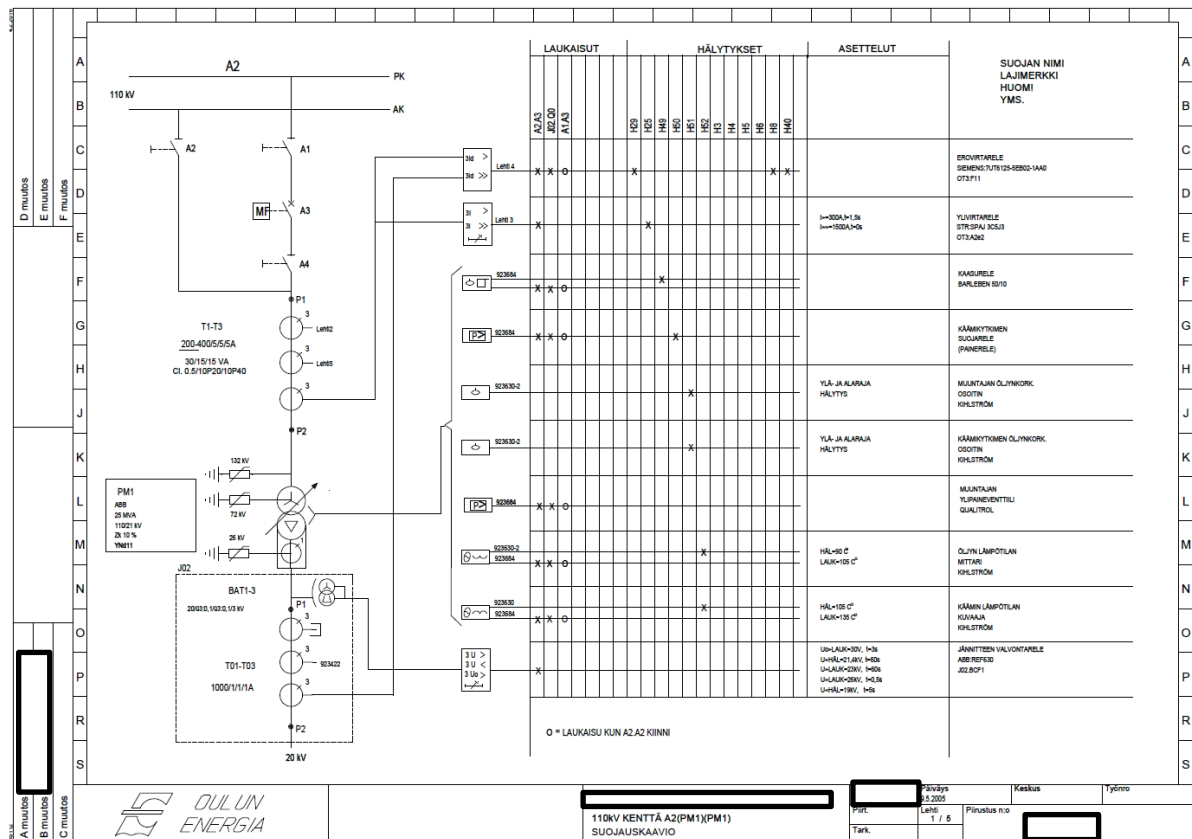
SPA-ZC_ on sarjaväylän liitäntämoduuli

Rx/Tx on liitäntämoduulin vastaanotin (Rx) ja lähetin (Tx) kuitukaapeliliityntää varten. (10, s.9.)

6.5 Päämuuntajan suojauskaavio

Suojauskaaviosta nähdään muuntajaa suojaavat suojalaitteet, muuntajan kytkentä, komponenttien sijainti kytkennässä sekä muuntajasuojien toiminta. Oteetaan esimerkiksi PM1 suojaavan ylivirtareleen (kaavio 1 kohta E) kohdasta E20 asettelut alta nähdään ylivirtareleen asettelu virrat ja ajat. Kohdasta E11 sekä E14 nähdään suojakaaviosta, kun ylivirtasuojarele toimii ja laukaisee katkaisijan

A2 sekä katkaisijan A3. Ylivirtasuojarele antaa hälytyksen H25 samaan aikaan, kun katkaisijat A2 ja A3 laukeavat.



KAAVIO 1: Suojauskaavio.

6.6 Sähköasemien muita sähköisiä suojauslaitteita

6.6.1 Ali-/ylijänniterele

Alijännitereleitä käytetään suurten moottoreiden erottamiseen verkosta, kun niitä uhkaa pysähtyminen alijännitteen vuoksi. Ylijännitereleitä käytetään maasulkusuojauksessa sekä tahtigeneraattoreissa vaarallisen jännitteen nousun varalta. (9, s. 8.)

6.6.2 Taajuusrele

Taajuusreleitä käytetään omaa sähköntuotantoa omaavien sähköyhtiöiden kytkentäjärjestelmissä. Ne toimivat verkon taajuuden noustessa tai pienentyessä nimellisarvosta. (9, s. 8.)

6.6.3 Suunta- ja tehorele

Suunta- ja tehoreleillä mitataan jännitteen tai virran hetkellisarvoja tai niistä johdettuja tehoja. Suuntareleen tehtävänä on tehon virtaussuunnan ilmaiseminen. Silmukoitujen verkkojen ylivirta- ja oikosulkusuojauksessa käytetään suunnattua ylivirtarelettä. Generaattorin ja sitä pyörittävän voimakoneen suojana käytetään takatehorelettä. Sillä estetään generaattorin toimiminen moottorina. Keskijänniteverkon maasulkusuojaus on Suomessa toteutettu pääasiassa maasulun suuntareleillä. (9, s. 8.)

6.6.4 Epsymmetria- ja distanssirele

Epäsymmetriareleitä käytetään suojaamaan suuria koneita vaarallisilta virta- ja jännite-epäsymmetrioilta. Distanssireleet mittaavat sijoituspaikkansa ja vikapaikan välistä impedanssia sijoituspaikassa esiintyvien virtojen ja jännitteiden avulla. Distanssirele pystyy impedanssimittauksen perusteella määrittämään etäisyyden vikapaikkaan. Rele toimii, kun mitattava impedanssi alittaa asetteluarvon. Releen mittaama impedanssi on sitä pienempi, mitä lähempänä vikapaikka on. Suomessa distanssireleitä käytetään siirtoverkon oiko- ja maasulkusuojina. (9, s. 8.)

6.6.5 Pika- ja aikajälleenkytkentä

Suurin osa avojohtoverkkojen vioista on esimerkiksi salaman iskun aiheuttamia ohimeneviä valokaarivikoja, jotka poistuvat, kun johto tehdään hetkeksi jännitteettömäksi. Tällaisista vioista kuluttajille aiheutuvien kohtuuttomien pitkien keskeytysaikojen välttämiseksi suojareleet varustetaan jälleenkytkentäautomatiikalla. Rele ohjaa katkaisijan auki vian tultua. Releeseen asetellun noin 0,2–0,5 sekunnin jännitteettömän väliajan jälkeen rele ohjaa katkaisijan kiinni. Tätä kutsutaan pikajälleenkytkennäksi (PJK). Kotitalouskuluttaja tunnistaa PJK:n valojen välähtämisestä tai varmentamattomien ajastimien toimintahäiriöistä. Jos vikaa ei saada poistettua PJK:lla, rele ohjaa katkaisijan jälleen auki. Tällä kertaa hieinan pidemmän noin 0,5–3 minuutin kuluttua rele ohjaa katkaisijan taas kiinni.

Tätä kutsutaan aikajälleenkytkennäksi (AJK). Jos vika ei korjaannu aikajälleenkytkennän avulla, suoritetaan lopullinen laukaisu eli katkaisija jää auki, kunnes vika on saatu korjattua. (9, s. 8–9.)

7 PÄÄMUUNTAJAN PERUSHUOLTO

Muuntajan pitkäikäisyydestä johtuen on järkevää, että muuntajia huolletaan säännöllisesti. Perushuollolla pystytään hidastamaan päämuuntajan vanhene- mista sen sisäisten tuentojen kiristyksellä sekä poistamalla eristeistä kosteus. Toimenpiteellä parannetaan muuntajan oikosulku- ja jännitekestoisuutta. Muun- tajan käyttövarmuus paranee sekä riskit vaurioitumiselle pienenee. (11, s.1.)

Päämuuntajan perushuolto toteutetaan muuntajan ollessa käyttöiän arvioidussa puolivälissä, yleensä noin 20-30 vuoden iässä. Perushuollolla saamme pää- muuntajalle arviolta 10 vuotta lisää käyttöikää, riippuen muuntajan senhetki- sestä kunnosta. Päämuuntajan lopullinen käyttöikä perushuollettuna on noin 60–70 vuotta riippuen paperieristeen kunnosta, jota mitataan DP-luvulla. Uu- dessa muuntajassa DP-luku on 1200. Luku laskee paperieristeen vanhetessa, ja kun DP-luku on 200, on eriste täysin vanhentunut.

7.1 Huollon ajankohta

Sähköasemien päämuuntajan huoltoa suunniteltaessa on otettava huomioon ajankohta, milloin päämuuntaja viedään huoltoon ja arvioitava kuinka suuren riskin huolto aiheuttaa jakeluverkossa. Tämä tarkoittaa, että yksi päämuuntaja on poissa käytöstä noin kuusi viikkoa. Huolto on järkevintä toteuttaa sellaisella ajanjaksolla, kun jakeluverkossa on vähiten kulutusta. Huollossa olevan pää- muuntaja korvataan toisella päämuuntajalla kytkemällä huoltoon lähtevän pää- muuntajan kuormat päämuuntajalle. Tämä aiheuttaa hallitun riskin. Jos huollon aikana toinen päämuuntaja, jolle on kytketty kaikki kuormitukset, yhtäkkiä tu- houtuisi, silloin ei olisi mahdollisuutta syöttää tältä sähköasemalta jakeluverkkoa kyseisen sähköaseman alueelle.

7.1.1 KytKentäohjelma

KytKentäohjelma on laadittava etukäteen. Ennen kuin Oulun Energia Siirto ja Jakelun verkossa tehdään suurjännitekytkennöissä muutoksia, laaditaan aina kytKentäohjelma, jotta tuleva kytKentä tehdään turvallisesti ja johdonmukaisesti.

Kytkentäohjelman tulee noudattaa SFS 6002:n periaatteita. Oulun Energia Siirto- ja Jakelu Oy:ssä kytkentäsuunnitelmat tekee käyttökeskus.

Kun päämuuntaja on lähdössä perushuoltoon, se on saatava jännitteettömäksi ja kytkettävä irti verkosta, jotta muuntaja saadaan siirrettyä toimittajan tiloihin, jossa perushuolto suoritetaan. Tähän tarvitaan kytkentäohjelma, jonka avulla kytketään muuntajan pois verkosta käyttökeskuksen sekä verkostoasentajien kanssa tekemällä yhteistyöllä. Kun päämuuntaja tuodaan takaisin perushuollosta, on tehtävä uusi kytkentäohjelma tai jatkaa olemassa olevaa kytkentäohjelmaa, jota apuna käyttäen kytketään päämuuntajan takaisin verkkoon.

7.1.2 Kytkenät

Posan sähköasemalla kytketään ensin huoltoon lähtevä päämuuntajan rinnakkain toisen päämuuntajan kanssa. Kytkettäessä päämuuntajia rinnankäyttöön on edellytyksenä, että muuntajilla on sama kytkentäryhmä, muuntosuhteet ovat samat, suhteelliset oikosulkuimpedanssit likimain samat, sekä muuntajien mitoitustehot eivät saa poiketa enempää kuin suhteessa 1:3. Rinnakkaiskytkettyjen muuntajien yhdessä siirtämä teho lasketaan kaavalla 1. (8, s.150.)

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = u_h * \sum_{i=1}^n \frac{S_{Ri}}{u_{ki}} \quad \text{KAAVA 1}$$

missä S_i = muuntajan i kokonaiskuormituksesta ottama osuus

u_{ki} = muuntajan i suhteellinen oikosulkuimpedanssi

S_{Ri} = muuntajan i mitoitusteho

Tämän jälkeen kytketään kytkentäohjelman mukaisesti huoltoon lähtevän päämuuntajan irti verkosta, minkä jälkeen on varmistettava muuntajan jännitteettömyys sekä kytketään työmaadoitus päämuuntajan ensiöpuolen sekä toisiopuolen johtimiin. Työmaadoituksessa kytketään kaikki kolme vaihetta maadoitusverkkoon. Jos jostain syystä johdin tulisi jännitteelliseksi tai johtoon indusoituu jännitettä, nämä purkautuvat työmaadoituksen kautta maadoitusverkkoon eikä ihmisen kautta. Maadoitusten ansiosta työtä voidaan jatkaa turvallisesti. (Kuva 26.)



KUVA 26. Päämuuntajan työmaadoitus muuntajan ensiö- ja toisiopuolelta

7.2 Päämuuntajan siirtäminen

Päämuuntajan siirtämiseen on kaksi yleistä tapaa, nostaminen sekä haalaus. Molemmat ovat hyviä tapoja. Siirtotyössä on huomioitava ympäristöolosuhteet muuntajan siirtämistä varten ja käytettävä tapaa, joka soveltuu parhaiten kohteeseen.

7.2.1 Päämuuntajan nostaminen

Päämuuntaja voidaan nostaa päämuuntajabunkkerista asianmukaisilla työvälineillä. Nostotapa soveltuu hyvin ahtaisiin paikkoihin, joissa ei ole mahdollisuutta tai järkevää purkaa bunkkerin seinää, jotta muuntaja voitaisiin haalata pois bunkkeristaan. Päämuuntajan nostossa on huolehdittava, että se suoritetaan turvallisesti, eikä tämä aiheuta vaaratilanteita siirto- ja jakeluverkolle tai

ympäristölleen. Nostotyöstä on tehtävä nostosuunitelma, jotta varmistetaan että nostotyö on hallittu toimenpide. (Kuva 27.)



KUVA 27. Päämuuntajan nostaminen

7.2.2 Päämuuntajan haalaus

Päämuuntajan haalaus on hyvä tapa, kun päämuuntaja sijaitsee avonaisella paikalla ja muuntajan alla on kiskot lavetille haalausta varten. Muuntajan nostaminen ei ole järkevää silloin, kun lähistöllä on paljon avolinjoja, jotka tuottavat haasteita ja vaaratekijöitä nostotyöhön. Haalaus on taloudellisempi vaihtoehto muuntajan nostamiselle nosturin vuokraamisen takia. (Kuva 28.)



KUVA 28: Päämuuntajan haalaus

7.3 Päämuuntajan perushuolto

Huollon tärkein tehtävä on muuntajan aktiiviosan kuivaus ja kiristys alkuperäisiin oikosulkulukemiin, sisäisten puisten tukien kiristys sekä öljyn suodatus ja kuivaus. Muuntajan suojalaitteet tarkastetaan ja huolletaan sekä uusitaan tarpeen mukaan. Muuntaja on sähköaseman kallein sekä tärkein komponentti sähköjaka-
kelussa, joten muuntajan suojalaitteet on tärkeää pitää kunnossa. Jos suojalaitteet eivät toimi silloin, kun niiden pitäisi, saatetaan menettää huonossa tapauksessa muuntaja. Peruseriaatteeltaan muuntajan huolto on sama riippumatta siitä, onko se jakelu-, teho- tai suurmuuntaja. Työmäärä vaihtelee muuntajan koon ja varusteiden mukaan. Isoilla muuntajilla tulee myös huomioida haalaus-
ten ja kuljetusten aiheuttamat toimenpiteet. (12.)

Muuntajan elinkaari päättyy sitten, kun muuntajan eristeen sähköinen lujuus ei ole enää riittävä (DP-luku). Huollon yhteydessä paperieristeestä otetaan näyte,

josta määritellään eristepaperin hauraus eli DP-luku. Jos paperin kunto on huono, suositellaan uuden muuntajan hankintaa. (12.)

7.4 Vastaanottotarkastus

Kun päämuuntaja saapuu perushuollon toimittajan tiloihin, sille tehdään vastaanottotarkastus, jossa tarkastetaan ja testataan kaikki komponentit ja niiden kunto. Kun päämuuntajasta löydetään viallinen laite, puute tai vanhentunut komponentti, esimerkiksi elohopeakoskettimella oleva öljynlämpötilamittari, täytyy se vaihtaa uuteen vastaavaan laitteeseen, jossa ei ole elohopeakosketinta. Liitteessä 1 on esimerkki vastaanottotarkastuspöytäkirjasta. (3.)

7.5 Öljynäyte

Päämuuntajasta otetaan öljynäyte ennen perushuoltoa sekä huollon ja koestuksen jälkeen. Päämuuntajan öljylle tehdään myös kaasuanalyysi, josta selviää öljyssä olevat vikakaasut ja mahdolliset alkavat viat. Huoltoanalyysissä mitataan öljyn läpilyöntilujuutta, öljyyn liuennutta kosteutta, N-lukua, häviökerrointa, rajapintajännitystä, furfuraali 2FAL:sta, inhibiittipitoisuutta, PCB-pitoisuutta, DP-lukua, joiden kaikkien tulee noudattaa IEC-standardeja. Taulukossa 2 on esimerkki Pateniemen päämuuntajalle tehdystä öljyanalyysistä perushuollon yhteydessä. (7.)

TAULUKKO 2. Pateniemen päämuuntajan öljyanalyysi 26.05.2016 on ennen huoltoa ja koestusta tehty öljyanalyysi. 03.06.2016 (oikea päivämäärä on 03.07.2016) on muuntajan perushuollon jälkeen, mutta koestusta ennen tehty öljyanalyysi. PCB-näyte otettu 10.02.2016, mistä ei havaittu PCB-jäämiä. 06.07.2016 on tehty kaasuanalyysi koestuksen ja huollon jälkeen. Paperinäyte on otettu alajännite b-vaiheen luota 07.06.2016 ja DP luvuksi tuli 841 eli hyvä.

TULOKSET

ANALYYSI	2016-06-03	2016-05-26	2000-08-14 ..09-01	Suositus IEC60422: 2013	Standardi	KAASU- ANALYYSI IEC 60567	2016-07-06	2016-05-26	2000-08-14 ..09-01	Suositus IEC60599:20 07-5
Läpilyöntilujuus, kV/2,5mm	84	81	81	>40	IEC 60156	H2 Vety, µl/l	0	4	22	≤150
Mitattu kosteus, ppm	2	3	9	<30*	IEC 60814	O2 Happi, µl/l	8333	28772	20000	
N-luku, mgKOH/g		0,00		<0,10	IEC 62021-2	N2 Typpi, µl/l	18089	57993	53000	
Häviökerroin, o/oo	2,8			<100	IEC 60247	CH4 Metaani, µl/l	<1	2	4	≤130
Rajapintajännitys, 10-3N/m	38			>22	ASTM D971	CO Hiilimonoksidi, µl/l	3	19	105	≤600
Furfuraali 2FAL, µg/g				<2	IEC 61198	CO2 Hiilidioksidi, µl/l	108	768	790	≤14000
Inhibiittipitoisuus, %		0,29		>0,18...0,3	IEC 60666	C2H4 Etyyleeni, µl/l	0	7	6	≤280
PCB-pitoisuus, ppm		<2		2**	IEC 61619	C2H6 Etaani, µl/l	0	<1	<1	≤90
DP		841		>350	IEC 60450	C2H2 Asetyleeni, µl/l	0	34	45	≤280

7.6 Muuntajaöljyn suodatus ja kuivaus

Kun muuntaja tuodaan huoltopaikalle, muuntaja tyhjenetään öljystä ja öljy puhdistetaan ja kuivataan. Puhdistetun ja kuivatun öljyn kautta ei pääse kosteutta takaisin muuntajan sisään huollon jälkeen. (15.)

7.7 Käämikytkinhuolto

Päämuuntajan perushuollossa tehdään myös käämikytkinhuolto, jossa tarkistetaan tehokytken (käämikytkin) kunto ja sen toiminta sekä puhdistetaan käämikytkin ja mitataan askelvastusten ohmimäärät. Käämikytkimen huolto tehdään valmistajan suosittelemin määrävälein (5–7 vuotta), käyttöpaikalla tai jos käyttökertamäärä ylittyy, sitä aiemmin (esimerkiksi 20 000 kertaa). Huollon jälkeen on

tehtävä koestus suojalaitteille, millä varmistetaan suojalaitteiden toiminta huollon jälkeenkin. Liitteessä 2 on esimerkki tarkastus- ja huoltopöytäkirjasta, josta selviää vaihe vaiheelta tehdyt toimenpiteet. (Liite 2). (7.)

7.8 Vaiheläpiviennit

Päämuuntajan perushuollossa tarkistetaan läpivientien kunto, jotta vältytään vikatilanteilta ja suurilta vaurioilta. Kun huomataan vikaantunut läpivienti, se vaihdetaan uuteen. Ehyet läpiviennit puhdistetaan sekä yläjänniteläpivienneille ($\geq 110\text{kV}$) suoritetaan Tan Delta- ja kapasitanssimittaus, joka kertoo eristeen johtavuuden.

7.9 Suojalaitteet

Päämuuntaja perushuollossa tarkastetaan ja testataan muuntajan omat suojalaitteet kuten lämpötilamittarit, kaasurele sekä öljyn korkeuden osoitin, millä varmistetaan suojalaitteiden oikein toimivuus. Jos suojalaitteessa havaitaan vika, suojalaite korjataan tai vaihdetaan uuteen. Jos suojalaitteita ei tarkastettaisi, pahimmassa tapauksessa päämuuntaja voisi tuhoutua vian seurauksesta.

7.10 Muuntajan säiliö

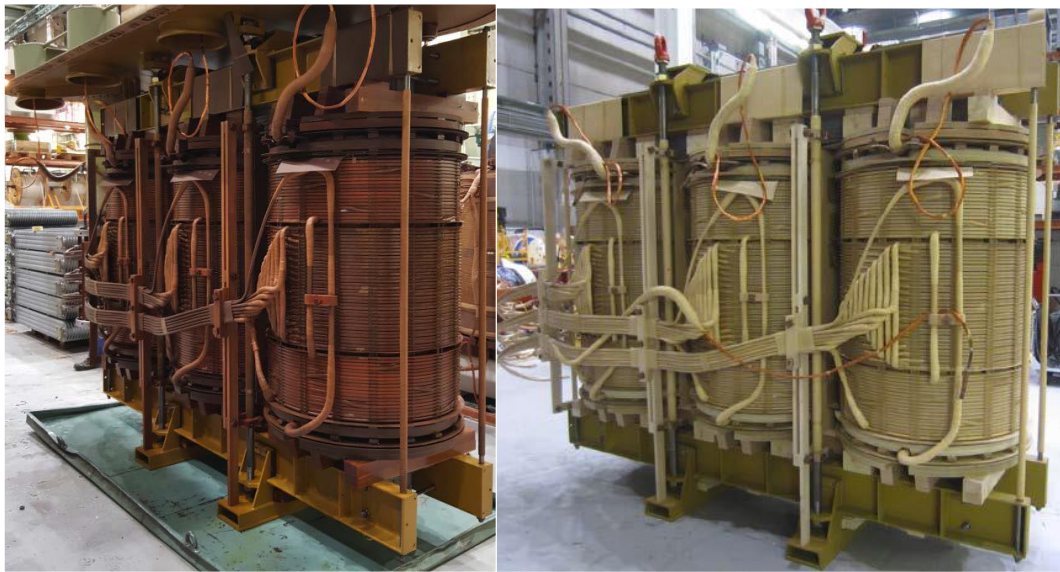
Muuntajan säiliöstä käydään läpi hitsaussaumot ja varmistetaan, että säiliö ei vuoda. Radiaattorit ja niiden läppäventtiilit tiivisteineen tarkistetaan. Muuntajan säiliö, paisuntasäiliö sekä radiaattorit puhdistetaan sisäisesti ja tarkistetaan.

7.11 Muuntajan aktiiviosien huolto

Aktiiviosille (muuntajan säiliön sisällä olevat osat) tehdään visuaalinen tarkastus, jossa nähdään päällisin puolin aktiiviosan mahdollisia vikoja, kuten eristevaurioita. Jos huomataan eristevaurioita, ne korjataan. Tämän jälkeen tarkistetaan aktiiviosan maadoitus, yläjännite liitokset ja alajännite pulttiliitokset sekä mitataan sydämen lohkovastukset.

Ennen kerosiini- tai tyhjiökuivausta varmistetaan, että muuntajan sydänkäämit ja pöytälevyt ovat kunnossa eikä ole siirtymiä ja johdotus on kunnossa eikä ole löysiä liitoksia. Aktiiviosat viedään kuivattavaksi kerosiiniuuniin,

jossa kuumen kerosiinihöyryn sekä alhaisen paineen avulla kuivataan päämuuntajan aktiiviosat ja poistetaan epäpuhtaudet ja kosteus. Kerosiini kuivaus on tehokas vaihtoehto perinteisen tyhjiökuivaukselle, nopean toiminnan sekä tehokkaan paperieristeen kuivauksen takia. Kerosiini kuivauksessa voidaan päästä 1–2 vuorokauden kuluessa jo 0,5 %:n kosteustasolle, kun taas tyhjiökuivauksella samaan kosteusprosenttimäärään ei päästäisi edes kolmessa viikossa ympäristön suuren kosteuden takia. Kuvasta 29 näkee muuntajan aktiiviosat ennen ja jälkeen kerosiini kuivauksen (8, s.147.)



KUVA 29. Ennen ja jälkeen kuva kerosiini kuivautusta päämuuntajasta (7)

7.12 Huolletun muuntajan käyttöönotto

Kun muuntajalle on tehty kaikki huoltotoimet ja loppudokumentaatio, muuntaja kasataan jälleen yhdeksi kokonaisuudeksi ja varmistetaan toiminta huoltopisteessä ennen sen palauttamista. Tämän jälkeen muuntaja palautetaan asiakkaalle.

7.13 Päämuuntajan toiminnan varmistaminen

Kun päämuuntaja saapuu takaisin sähköasemalle, on sille tehtävä hälytys- ja suojalaitteiden tarkastukset ja koestukset, jotta suojalaitteet toimivat oikein.

7.14 Hälytysten ja suojalaitteiden testaus

Kun päämuuntaja on asennettu takaisin bunkkeriin ja muuntajansuojalaitteille on kytketty apusähkö, suoritetaan suojalaitteiden testaukset, millä varmistetaan niiden oikea toiminta.

7.15 Muuntajan valvonta

Kun muuntaja on paikallaan, hälytyslaitteet testattu ja todettu toimiviksi, kytkeään muuntaja kytkentäohjelman mukaisesti takaisin verkkoon. Tämän jälkeen perushuollossa käynnyttä päämuuntajaa on tarkkailtava ja huoltokierroksilla varmistettava, että se toimii oikein.

8 MUUNTAJAN VALMISTUKSESTA

Valtaosa Suomen kantaverkon suurmuuntajista on viisipylväisiä kolmikäämitysmuuntajia (täysmuuntajia), joiden mitoitusarvot ovat 400/400/125 MVA, $400 \pm 6 \times 1,33 \% / 120 / 21$ kV ja joiden kytkentäryhmä on YNyn0d11. Järjestelmästä toiseen siirtyvien vikavirtojen rajoittamiseksi muuntajien oikosulkuimpedanssit on spesifioitu melko suuriksi: YJ-VJ/20%, väli YJ-AJ/40% ja väli VJ-AJ/60% (YJ = yläjännite 400 kV, VJ = välijännite 120kV ja AJ = alajännite 21kV). Verkossa on myös muutama YNy0-kytkentäinen kaksikäämitysmuuntaja (400 MVA, $4006 \times 1,33 \% / 120$ kV, $u_k=20 \%$). Suomen kantaverkon kolmikäämitysmuuntajien impedanssit on spesifioitu niin, että ekvivalenttisesti tähtisijaiskytkennässä 400 kV:n haaran impedanssi on likimain nolla. (8, s.147.)

Muuntajan valmistustekniikka on edistynyt, ja kääminnän jälkeen käämit esipuristetaan mekaanisesti. Puristusvaiheen aikana käämit myös esitestataan sähköisesti. Nämä toimenpiteet edesauttavat hyvän oikosulkulujuuden ja käyttövarmuuden saavuttamista. Käämit ja muut kiinteää eristettä olevat rakenneosat kuivataan tehtaalla nykyisin tavallisesti kuuman kerosiinihöyryn avulla alhaisessa paineessa (vapor phase drying). Käyttöpaikalla käytetään edelleen tyhjiökuivausta (drying with hot air and vacuum). (8, s. 147.)

Kerosiinkuivaus mahdollistaa sen, että paperin kosteus saadaan 1–2 vuorokaudessa 0,5 prosenttiin. Aikaisemmin edes kolmen viikon tyhjiökuivauksella ei kestäaikana päästy tällaisiin arvoihin. Tämä johtui ympäristön suuresta suhteellisesta kosteudesta. (8, s.147.)

9 PÄÄMUUNTAJAN KÄYTÖNAIKAINEN KUNNONVALVONTA

9.1 Kunnonvalvonta

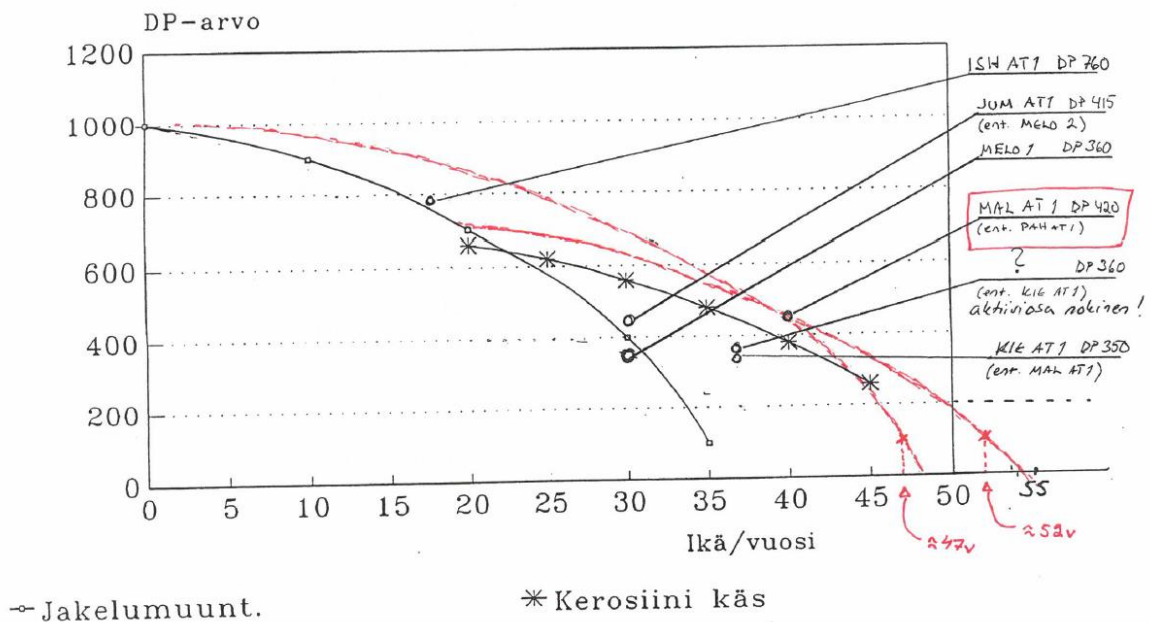
Kunnonvalvonnan vuoksi suurien muuntajien suurivirtaisimpien käämien kuumimmat pisteet (hot spots) varustetaan nykyään yleensä lämpötila-antureilla, joiden signaali tuodaan ulos optisten kuitujen avulla.

Tehostunut lämpötilan valvonta johtuu siitä, että liian suuret lämpötilat nopeuttavat muuntajan eristysten vanhenemista. Siksi standardeissakin rajoitetaan muuntajan suurimpien sallittujen lämpötilojen arvoja muuntajassa käytettyjen eristeiden mukaan. Öljypaperieristeisen muuntajan kuumimman kohdan lämpenemäksi oletetaan IEC:n standardisarjassa ”60076 Power transformers” 15 K korkeampi arvo kuin mikä on käämin keskimääräinen lämpenemä eli 78 K. Kun tähän arvoon lisätään IEC:n oletama ympäristön vuotuinen keskilämpötila 20 °C, kuumimman kohdan lämpötila ylärajaksi saadaan 98 °C. Lisäksi suurissa muuntajissa on nykyisin yleensä jatkuvatoiminen öljyn kaasupitoisuuksien valvonta (vety, häikä, hiilidioksidi, eräät hiilivedyt). Jos kaasupitoisuudet alkavat kasvaa, kaasupitoisuuksien perusteella voidaan arvioida, millainen vika muuntajassa on kehittymässä ja kuinka nopeasti on syytä ryhtyä korjaustoimenpiteisiin (DGA, dissolved gas analysis). (8, s.147.)

9.2 DP-luku

DP-luvun avulla voidaan arvioida muuntajana käyttövuodet. Alla on esimerkki (kuva 30) muuntajan eliniän arvioimisesta. Taulukosta näemme, että ilman päämuuntajan perushuoltoa muuntajan keski-ikä voi jäädä jopa 35 vuoteen. Perushuolletun päämuuntajan käyttöikä voi jatkua 40 %:iin. Taulukosta on otettava huomioon, että muuntajan elinkaaren arviointiin käytetyt muuntajat ovat voimalaitospäämuuntajia, joten nämä muuntajat ovat yleensä kovemmalla kuormituksella sekä käyttöikä yleisesti lyhyempi kuin sähköaseman päämuuntajilla. Tämä johtuu muuntajan huonommista jäähdytys- ja kuormitusolosuhteista. Sähköasemapäämuuntajien kuormitus vaihtelee vuoden aikojen mukaan. Kun vuodenaika on kylmempi, sähköasemien päämuuntajien kuormitus on tällöin suurempaa

kuin lämpimänä vuoden aikana, jolloin päämuuntajan jäähdytysolosuhteet ovat heikkomat ja kuormitus pienempää. (13) (kuva 30.)



KUVA 30. DP-luvun avulla arvioitu muuntajan käyttöikä (13)

9.3 Päämuuntajan viat

Päämuuntajien viat johtuvat eristeissä tapahtuvista osittaispurkauksista, huonolaatuisesta ja/tai likaantuneesta öljystä, kosteudesta, oikosulkukytkennoistä, ilmastollisista ylijännitteistä, sekä ikääntymisestä. Kun päämuuntajan öljynlämpötila nousee 6°, kaksinkertaistuu paperieristeen ikääntymisen nopeus. Kun paperieristeet kuidut haurastuvat ja katkeilevat, heikkenee mekaaninen lujuus. Kuitenkin sähköinen lujuus säilyy. Mekaanista lujuutta tarvitaan, sillä muuntajan lämpimenevä oikosulkuvirta saa aikaan mekaanisia voimavaikutuksia. (14, s. 9.)

9.3.1 Öljynäyte

Öljynäyte on muuntajan kunnonvalvonnan kannalta erittäin tärkeä ja myös edullinen tapa selvittää muuntajan kunto. Huono puoli öljynäytteessä/analyysissä on se, että analyysi kertoo ainoastaan näytteenoton aikaisen muuntajan kunnon. Se ei kerro esimerkiksi sitä, mikä kunto on vaikka kahden kuukauden päästä. Muuntajan vikakaasujen kehitys saattaa toisinaan olla hyvinkin nopeaa ja jos näytteitä otetaan ja analysoidaan vaikka 2 - 3 vuoden välein, todennäköisyys

pienenee sille, että öljyanalyysillä saadaan muuntajan alkava vika esille. Siksi onkin parempi ottaa öljynäytteitä liian usein kuin liian harvoin. Normaalitapauksissa esim. ABB Oy suosittelee, että öljyanalyysit otettaisiin muuntajista vähintään vuoden välein. (12.)

Normaalitapauksessa ABB Oy suosittelee, että muuntajan öljynäytteestä analysoidaan kaasut (9 kpl), kosteus, lämpötila ja inhibiittipitoisuus tai N-luku riippuen muuntajaöljyn tyypistä. (12.)

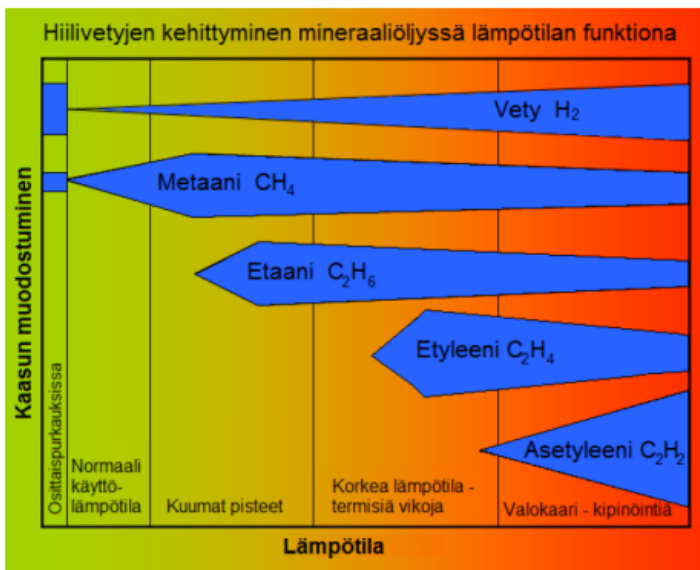
Markkinoille on tullut myös hyvinkin kohtuuhintaisia jatkuvan kunnonvalvonnan laitteita. Varsinkin, jos muuntaja on kriittisessä paikassa ja kyseessä on iso yksikkö, niin jatkuvan kunnonvalvonnan laite on tärkeä. Esimerkiksi tällainen laite on Vaisalan MHT410 kosteus- ja vetylähetin, jolla voimme saada reaaliaikaista tietoa päämuuntajan kunnosta. Tarkemman analyysin saamme päämuuntajan kunnosta öljynäytteen avulla, joka analysoidaan laboratorio-olosuhteissa. (12.)

9.3.2 Muuntajaöljyn analysointi

Muuntajaöljyn kaasuanalyysissä voidaan saada selville muuntajan alkavat tai kehittymisvaiheessa olevat viat. Näitä ovat esimerkiksi kipinöinnit tai lämpenemät virta- ja magneettipiireissä. Tyypillisesti öljystä analysoidaan seuraavat kaasut:

- vety (H_2)
- happi (O_2)
- typpi (N_2)
- metaani (CH_4)
- hiilimonoksidi (CO)
- etyleeni (C_2H_4)
- etaani (C_2H_6)
- asetyleeni (C_2H_2) (14, s. 20.)

Kaasujen välisten suhteiden perusteella voidaan päätellä muuntajassa kehitymässä oleva mahdollinen vika. IEC-standardit antavat kaasujen kehittymisnopeudelle tietyt raja-arvot. Kaaviosta 3 käy ilmi periaatetasolla kaasujen muodostuminen eri lämpötiloissa. Vetyä muodostuu kaikissa eri vikatyypeissä jo matalissa lämpötiloissa. Metaanin, etaanin, etyleenin ja asetyleenin muodostuminen vaatii tietyn suuruisen lämpötilan ja niiden välisestä suhteesta voidaan tehdä päätelmiä vikatyypistä. (14, s. 20.)



KUVA 31. Hiilivetyjen kehittyminen mineraaliöljyssä lämpötilan funktiona (14, s.20)

Davies ja Burton ovat tehneet vuonna 1972 teorian vikakaasujen suhteista (kaavat 2.2– 2.5). Lukujen tulkintaan on lisäksi kehitetty Rogersin toimesta diagnostaulukko (14, s. 21).

TAULUKKO 4. Kaasujen suhde eri vaiheväleillä (14, s. 21.)

Suhdeluku	Vaihteluväli	Koodi
$\frac{CH_4}{H_2}$	< 0,1	5
	0,1 < välillä <1,0	0
	1,0 < välillä <3,0	1
	≥ 3,0	2
$\frac{C_2H_6}{CH_4}$	< 1,0	0
	≥ 1,0	1
$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	< 1,0	0
	1,0 < välillä <3,0	1
	≥ 3,0	2
$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	< 0,5	0
	0,5 < välillä <3,0	1
	≥ 3,0	2

TAULUKKO 5. Kaasujen suhdeluista määritellyt diagnoosit (14, s.22)

$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{CH_4}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	Diagnoosi
0	0	0	0	Normaali vanhentuminen
5	0	0	0	Osittaispurkauksia
1 tai 2	0	0	0	Pientä ylikuumentumista - alle 150
1 tai 2	1	0	0	Ylikuumentunut, 150 - 200
0	1	0	0	Ylikuumentunut, 200 - 300
0	0	1	0	Johteen ylikuumentuminen
1	0	1	0	Käämin pyörrevirrat, ylikuumentuneet liitokset
1	0	2	0	Pyörrevirrat tankissa ja rautasydämessä
0	0	0	1	Kipinöintiä
0	0	1 tai 2	1 tai 2	Tehollinen valokaari
0	0	2	2	Jatkovaa kipinöintiä kelluvaan potentiaaliin
5	0	0	1 tai 2	Tasainen osittaispurkaus

Kaasujen lisäksi öljystä analysoidaan myös muita asioita. Lämpilyöntijännitteen määrittäminen on yksi keskeinen asia. Siinä testataan muuntajaöljyn kykyä toimia sähköisenä eristeenä. Öljyn likaantuminen ja siinä oleva kosteus heikentävät lämpilyöntijännitettä. Inhibiittipitoisuuden määrittäminen ei kuulu vakiotestiin,

mutta se voidaan mitata tarvittaessa. Inhibiitti on öljyyn lisättyä ainetta, joka hidastaa sen vanhenemista, sitomalla vapaita radikaaleja. Lisäksi voidaan määrittää neutralointi/ happoluku, furfuraalipitoisuus, sekä kosteus- ja kiintoainepitoisuus. Näiden analyysien perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä muuntajan kunnosta ja mahdollisesti tarvittavista kunnossapitotoimenpiteistä (14, s. 22.)

9.4 Uudet kunnonvalvontamenetelmät

9.4.1 Jatkuva kunnonvalvonta

Muuntajaöljyjen kunnolla on suuri vaikutus muuntajan toimintaan, kestoikään ja turvallisuuteen. Jatkuvalle nykyaikaisella muuntajaöljyn kunnossapidolla voidaan jatkaa muuntajan käyttöikä huomattavan paljon ja näin saada merkittäviä kustannussäästöjä. Lisäksi voidaan helposti toteuttaa online-kunnonvalvontaa muuntajaöljyille, jolloin saadaan jatkuva tieto muuntajaöljyn kunnan mahdollisesta muutoksesta. Muuntajakohtaisia kiinteästi asennettuja muuntajaöljyn kunnossapito- ja kunnonvalvontalaitteita käytetään tyypillisesti kokoluokiltaan 4,5...500 MVA sekä muuntajissa, jotka ovat kriittisissä paikoissa esimerkiksi ydinvoimalaitoksissa. Kunnossapitolaitteisto on optimaalisinta ja kannattavinta asentaa, kun päämuuntaja on uusi tai kun se on tullut perushuollosta. Muuntajaöljy on silloin puhtaimmillaan ja kunnossapito- ja kunnonvalvontalaite pitää öljyn paremmin puhtaana, jos sitä vertaa esimerkiksi ikääntyneeseen päämuuntajaan, jolle ei ole tehty perushuoltoa. (16.)

Muuntajaöljyssä voi olla liuenneena jopa noin 10 % kaasua. Tehokkaaseen kaasunpoistoon on käytettävä alipainetekniikkaa, jotta myös liuenneet kaasut saadaan tehokkaasti poistettua. Nykyaikaisella tehokkaalla muuntajaöljyn kunnossapito- ja kunnonvalvontalaiteella voidaan poistaa muuntajaöljystä tehokkaasti mekaanisella suodattimella kiinteät epäpuhtaushiukkaset sekä alipainejärjestelmällä vesi ja kaasuja. (16) (kuva 32)



KUVA 32. Muuntajaöljyn kunnossapito- ja kunnonvalvontayksikkö (16)

9.4.2 Muuntajan kunnonvalvonta kaasuanalyysillä

Muuntajaöljyn kuntoa seurataan kaasuanalyysillä, joten kaikkea kaasua ei saa järjestelmästä poistaa. Kaasuista poistetaankin suurin osa, mutta ei kaikkea. Kaasuanalyysit on mahdollista tehdä edelleen, myös muuntajaöljyn kunnossapito- ja kunnonvalvontalaitteen asentamisen jälkeen, tosin mahdollisesti hieman eri menetelmällä. (16.)

Muuntajaöljyn kunnossapito ja kunnonvalvontalaitteen asentaminen mahdollistaa myös online- kunnonvalvonnan muuntajaöljyille. Tällöin saadaan jatkuva tieto muuntajaöljyn kunnon mahdollisesta muutoksesta. Öljyyn liuenneen kaasun määrä vaikuttaa alipainelaitteesta mitattavaan paineeseen. Ilman öljyn kunnossapitoa öljyssä on tietty määrä liennuttua kaasua, ja laitteiston asentamisen jälkeen öljyn kaasupitoisuus saavuttaa tasapainotilanteen poistuvan ja muodostuvan kaasupitoisuuden mukaan. (16.)

9.4.3 Muuntajan kunnonvalvonta paineen avulla

Mittaamalla alipainelaitteen poistuvan kaasun painetta saadaan tieto kasvaneesta kaasunmuodostuksesta. Muuntajaöljyyn liuenneen kaasun määrä voi-

daan laskennallisesti määrittää mitatun paineen perusteella. Näin saadaan jatkuva tieto liuenneen kaasun määrästä. Lähtötilanne on noin 550 mbar abs. Kolmen kuukauden kuluttua saavutettu taso voi olla noin 100 mbar abs. Mikäli paine nousee yli tason 200 mbar abs ja laite on toiminnassa, muuntajaöljyn kaasunmuodostus on lisääntynyt ja on tarpeen tutkia tarkemmin, mitä ja miksi muuntajassa tapahtuu. Mittamaalla erityisellä vesipitoisuusanturilla saadaan jatkuvaa tietoa 4...20 mA:n signaalilla muuntajaöljyn lämpötilasta sekä öljyyn liuenneen veden määrästä. (16) (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Esimerkki toteutuneesta muuntajaöljyn kunnossapidosta

	KÄYTTÖÖN- OTTO- VAIHEESSA	KOLMEN KUUKAUDEN JÄLKEEN
Paine [mbar abs]	550	120
Poistetun kaasun tilavuus [l / 24 h]	170	20
Kaasun kokonaismäärä öljyssä [%]	10,6	2,1
Läpilyöntijännite [kV / 2,5 mm]	42	79

Taulukosta 6 voidaan havaita, että kolmen kuukauden käytön jälkeen on kaasun määrä öljyssä alentunut merkittävästi, mikä havaitaan myös läpilyöntijännitteen kasvuna. Kaasumäärän muuttuu 10,6 % -> 2,1 % ja läpilyöntijännite 42 kV -> 79 kV:ksi. (16)

Muuntajaöljyn kunnossapito- ja kunnonvalvontalaitteen asentaminen on useasti kannattavaa sekä uusiin että jo käytössä oleviin muuntajiin, sillä laitteen avulla muuntajan jäljellä oleva käyttöikä kasvaa ja läpilyöntijännite suurenee. Tutkimuksissa on havaittu, että muuntajan käyttöikä voidaan kasvattaa jopa kolminkertaiseksi oikeanlaisella muuntajaöljyn kunnossapidolla. Tämä tarkoittaa, että oikeilla seuranta- ja ylläpitotoimenpiteillä 20 vuoden käyttöikä voi muuttua 60 vuodeksi. (16)

10 TULEVAISUUDEN KUNNONVALVONTA

IoT:ssä on kyse älyn lisäämisestä fyysisiin laitteisiin tai tuotteisiin, ja yleensä nämä ovat myös jollakin tapaa yhteydessä internetiin. Puhutaankin siis älykkäistä tietolähteistä, jotka tarjoavat yrityksille mahdollisuuden lähteä kehittämään uudenlaisia liiketoimintoja (17)

Älykkäistä laitteista, tuotteista tai erilaisista sensoreista kerättävää dataa voidaan ja kannattaa analysoida, jotta tiedosta saataisiin todellisia hyötyjä itse liiketoimintaan. Kun tietoa voidaan tuoda niin omista laitteista ja tuotteista kuin ulkoisista lähteistä (esimerkiksi säätiedot, liikennetiedot), on käsiteltävää dataa usein valtavia massoja. Tietojen erittely ja yhdistely käsin esimerkiksi laskentataulukko-ohjelmassa onkin lähes mahdotonta, eikä ainakaan kustannustehokasta. Siksi dataa kannattaa analysoida ja summata tarkoitukseen sopivan järjestelmän avulla. (17)

Yhdistämällä historiatietoja ja laitteiden tuottamaa reaaliaikaista sensoridataa, voidaan ennustaa seuraavan vikaantumisen ajankohta, syy ja sen vaikutukset. Näin on mahdollista löytää sellaisia ongelmakohtia ja syy-seuraussuhteita, joita ei ole aikaisemmin löydetty. Uskoisin että tulevaisuudessa IoT järjestelmää voitaisiin hyödyntää päämuuntajan kunnonvalvonnassa. Öljyn analysoinnissa voisimme nähdä päämuuntajan öljyn muutokset sekä osata varautua paremmin mahdollisiin tuleviin vika tilanteisiin. (17)

11 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli luoda päämuuntajan perushuollosta opinnäytetyö, joka toimii ohjeena päämuuntajan perushuollossa ohjeena. Jos päämuuntajia ei perushuollettaisi tai jos niiden kuntoa ei valvottaisi, Suomen jakelu- ja siirtoverkossa tulisi vakavia ongelmia sekä vaaratilanteita.

Päämuuntajan perushuollossa on tärkeintä huollon ajankohdan valitseminen. Jos muuntaja perushuolletaan liian varhain tai myöhään, ei optimoija saa suurinta mahdollista hyötyä perushuollosta muuntajan elinkaarenkannalta. Huolellinen suunnittelu sekä siirto huoltoon ja takaisin sähköasemalle ovat avainasemassa päämuuntajan perushuollossa. Muuntajan irrottamiseksi sähköverkosta tehdään kytkentäohjelma, jonka avulla muuntaja tehdään jännitteettömäksi ja maadoitetaan. Tämän jälkeen muuntaja voidaan siirtää kuljetuskuntoon lavetille joko haalamalla hydraulisten tunkkien avulla tai nosturilla nostamalla. Kun muuntaja palaa huollosta ja ennen kuin se kytketään takaisin sähköverkkoon, tehdään sen suojalaitteille ja sähköisille suojarileille perusteelliset toimintatestaukset.

Opinnäytetyötä tullaan tulevaisuudessa käyttämään kesällä 2018 Posan sähköaseman päämuuntaja 2 perushuollossa ohjeistuksena. Kun Posan päämuuntaja 2:n perushuolto lähestyy, on tehtävä kytkentäohjelma sekä ennakoivat työt ennen kuin päämuuntaja lähtee perushuoltoon. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy voi myös käyttää opinnäytetyötäni muissa päämuuntajaperushuoltoihin liittyvissä töissä ja haasteissa.

Opinnäytetyö on ollut todella opettava ja mielenkiintoinen. Työni avulla olen päässyt tutustumaan päämuuntajan perushuoltoihin sekä kunnonvalvontamenetelmiin.

LÄHTEET

1. Järviö, Jorma, Kunnossapitoyhdistys ry 2006. Kunnossapito. Luku: 1.5 Kunnossapidon vaikutus yrityksen toimintaan. Helsinki: KP-media Oy.
2. Hietalahti, Lauri 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka Oy.
3. Hietalahti, Lauri 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Tammer-tekniikka Oy.
4. Hietalahti, Lauri 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet Tampere: Tammertekniikka Oy.
5. TTT-käsikirja 2000 ABB Oy.
6. Hietalahti, Lauri 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Tammer-tekniikka Oy.
7. Patenniemen PM1 huoltoraportti.
8. Elovaara, Jarmo 2011. Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieto.
9. Rantala, Pekka 2017. T194203 Sähköverkonsuojaus ja automaatio. Luku-
vuosi 2016–2017. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu.
10. SPAD 346 C Stabilized Differential Relay 1996. ABB Transmit Oy. Saata-
vissa [https://library.e.abb.com/pub-
lic/266d6776dc5cc45dc2256bf0004c4371/FM_SPAD346C_750096_EN_ffbe
a_2010.pdf](https://library.e.abb.com/public/266d6776dc5cc45dc2256bf0004c4371/FM_SPAD346C_750096_EN_ffbe_a_2010.pdf) Hakupäivä 30.8.2017.
11. ABB 2017. TRES-103 Tehomuuntajan perushuolto, Vaasa.
12. ABB 2017. Nettikysely muuntajahuollosta. Sähköpostikeskustelu.
13. Mustonen, Reijo 2017. Siirtoverkkomestari, Oulun Energia Siirto ja Jakelu.
Haastattelu 16.6.2017.

14. Piironen, Mikko 2015. Sähköasemien kunnossapitoprosessin kehittäminen. Helsinki:Aalto-yliopisto.
15. Heikkinen, Kimmo 2013. Muuntajaöljyn kunnossapito ja automaattinen kunnonvalvonta. Promaint Saatavissa: <http://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Muuntajaoljyn-kunnossapito-ja-automattinen-kunnonvalvonta>. Hakupäivä 27.6.2017
16. Inspecta Relesuojauksen peruskurssi 2017. ABB Group Oy. Vantaa.
17. Plattonen, Jukka 2015. IoT-datan käsittely ja ennustaminen. MaxiPoint Oy, Espoo. Saatavissa: <http://iotfinland.fi/iot-datan-kasittely-ja-ennustaminen/> Hakupäivä 8.8.2017

VASTAANOTTOTARKASTUS

ABB Oy, Transformer Service		VASTAANOTTOTARKASTUS		
Projektnumero	Muuntajan laji	KTRT 123 X 32		Valmisnumero
Network	Asiakas	Oulun Energia		Pvm:
				25.4.2016
Tarkastuskohde	Kunnossa			Huom!
	Kyllä	Ei		
1 Säiliön hitsaus	x			
2 Säiliön maalaus	x			Sovittu liuotinpesu + maalaus
3 Säiliön vuodot				
4 Kannen hitsaukset	x			
5 Kannen maalaus	x			
6 Kannen vuodot	x			
7 Paisuntasäiliön hitsaukset	x			
8 Paisuntasäiliön maalaus	x			
12 Radiaattoreiden hitsaukset	x			
13 Radiaattoreiden vuodot	x			
14 Radiaattoreiden pintak. tai maalaus	x			
15 Moottoriohjain	x			
16 Ilmankuivain	x			
17 Kaasurele	x			Suosittelaa uusittavan
19 Öljykorkeuden osoittimet	x			
20 Ylipaineventtiili	x			
25 Lämpömittarit öljy		x		Elohopeaa koskettimissa
26 Lämpömittarit käämi		x		Elohopeaa koskettimissa
27 Lämmitysvastukset ja termostaatit	x			
28 Pistorasiat ja kytkimet	x			
29 Suojakytkimet	x			
30 Virtamuuntajat	x			
31 Eristimet	x			
32 Kilvet	x			
33 Ulkopuolinen johdotus	x			
34 Apujohtokaappi	x			
35 Öljynäyte ennen huoltoa otettu	x			
Tarkastaja:		Pvm.	6.6.2016	

TARKISTUS- JA HUOLTOPÖYTÄKIRJA

TARKASTUS- JA HUOLTOPÖYTÄKIRJA

Käämikytinhuolto, Muuntajan tarkastushuolto

Laatii	Päivämäärä	Tarjousnumero
Asiakas	Yhteyshenkilö	
Asema Posa	Puhelin / Fax	

KÄÄMIKYTKIMEN TIEDOT		MUUNTAJAN TIEDOT	
Valmistaja	ABB Components	Laitetunnus	PT 1
Tyyppi	UZERN 380/300	Teho	25 MVA
Valm. no.	2295861	Jännitteet	110/21 kV
Ohjaintyyppi	BUF 3	Valmistaja	ASEA
Edellinen huolto	29.6.2010	Numero	7476685
Toimintalukema ed. huollossa	50097	Valmistusvuosi	1988
<input checked="" type="checkbox"/> KK-huolto		<input checked="" type="checkbox"/> Tarkastushuolto	
<input type="checkbox"/> Öljyt meiltä	L NS 10 X	<input checked="" type="checkbox"/> Öljynäyte muuntajasta	
<input checked="" type="checkbox"/> Öljyn suodatus		<input type="checkbox"/> Paperinäyte muuntajasta	
<input type="checkbox"/> Nostin meiltä		<input checked="" type="checkbox"/> Muu näyte: 110 kV läpivienti, 4kpl	
<input type="checkbox"/> Nostimen jalka on mtj:ssa			
<input type="checkbox"/> Nostimen jalka asennetaan			
<input type="checkbox"/> Nosturi asiakkaalta			
Muuntajakirja huolto paikalle		<input checked="" type="checkbox"/>	
Työmaasähkö saatavissa	1*16 A	<input checked="" type="checkbox"/>	3*16 A <input checked="" type="checkbox"/>
Huoltoajankohta	Pvm. 27.5.2015	Varmistettava	<input type="checkbox"/> Pvm.
Keskeytys alkaa	Klo.	Päättyy	
Häiriöt, viat, huomautukset:			
KUST.TUNNUS: 214699			

RESURSSIT	
<input checked="" type="checkbox"/> Huoltoauto	Työnjohtaja
<input checked="" type="checkbox"/> Suodatinsäiliö	Asentajat
<input type="checkbox"/> Nostin	Hitsari Asiakkaalta <input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Kosketinsarja	Muut varaosat Tilattava <input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Jäteöljytynnyrit Kpl. 1	
<input checked="" type="checkbox"/> Tarjous	
<input checked="" type="checkbox"/> Tilaus 300007	

TARKISTUS- JA HUOLTOPÖYTÄKIRJA

TARKASTUS- JA HUOLTOPÖYTÄKIRJA

Käämikytinhuolto

Laatija	<input type="text"/>	Päivämäärä	26.5.2015	Tarjousnumero	<input type="text"/>
Asema	Posa	Muuntaja	PT 1	Numero	<input type="text"/>

TEHOKYTKIN			30 OHJAIN		
Tyyppi UZERN 380/300 No <input type="text"/>			Tyyppi BUF 3 No <input type="text"/>		
Öljyn kunto <input type="checkbox"/> Erittäin puhdas <input type="checkbox"/> Nokinen <input checked="" type="checkbox"/> nokinen <input type="checkbox"/>			31 Laskijan lukema Lukema ed. huollossa		
Öljyn vaihto <input type="checkbox"/> suodatus <input checked="" type="checkbox"/>			51853 50097		
Aloitusasento: 4 ok huom s. 4					
Ulkooinen kunto X			32 Tiiveys X		
Painerele 0,5 bar X			33 Sisäinen sähkötoiminta X		
Ylipainekalvo/-venttiili ---			34 Lämmitys / kuivaus X		
Lukitukset / kiinnitykset X			35 Sähköiset rajat X		
Johtimet / kaapelikengät X			36 Mekaaniset rajat X		
Kipinävälit ---			37 Askelkytkentä ---		
Karkeavalitsin X			38 Asennonosoitus / valvomo X		
Nastakoskettimet kk ---			39 Laskijalaite X		
Nastakoskettimet säiliö ---			40 Mekaaninen toiminta X X		
Säiliön kunto / tiiveys X			41 Keskitys X		
Virranottimet X			42 Voitelu X		
			43 Mekaaninen ääni X		
			44		
			45		
Pääkoskettimet kuluminen 0 mm X					
Vastuskoskettimet liikkuvat kuluminen / jäljellä 5 / 95 % X					
Vastuskoskettimet kiinteät kuluminen / jäljellä 0 / 100 % X X					
Askelvastukset mittaus 6,4 Ω X					

AKSELISTO	ok	huom s.4
Mekaaninen kunto / ääni	X	
Nivelet / voitelu	X	
Kulmapyörät / voitelu	---	

Käämikytin toiminnan testaus		
jännitteisenä <input checked="" type="checkbox"/>	kuormitettuna <input type="checkbox"/>	Asiakas suorittaa <input type="checkbox"/> ks. sivu 4 !

Suorittajat <input type="text"/>	Seuraava huolto (Valmistajan suositus) v. 2021
----------------------------------	--

TARKISTUS- JA KOESTUSPÖYTÄKIRJA

TARKASTUS- JA KOESTUSPÖYTÄKIRJA

Muuntajan tarkastushuolto

Laatija	Päivämäärä	Tarjousnumero
Asema	Muuntaja	Numero
Posa	PT 1	

MUUNTAJAN TARKASTUKSET

	Ok.	Huom. s. 4
Radiaattorit	X	
Venttiilit	X	
Öljyvuodot	X	
Tiivisteet	X	
Jakokaapit	X	X
Kotelot	X	
Johdotus	X	
Tuulettimet	---	
Pumput	---	
Maalaus	X	
Ilmankuivaimet/öljynvaihto	X	
Läpiviennit YJ	X	X
Läpiviennit VJ	---	
Läpiviennit AJ	X	
Öljymäärät	X	
Jännite-etäisyydet	X	
Korotuspalat mtj:n alla	X	

SUOJALAITTEIDEN KOESTUS

	Hälytys	Laukaisu 1	Laukaisu 2	Perille asti	Huom. s. 4
68 Kaasurele	X	X		X	
69 Painerele		X		X	
70 Ylipaineventtiili 1 (kpl)		X		X	
71 Ylipaineventtiili kk		---			
72 Öljyn korkeus mtj.	XX			X	
73 Öljyn korkeus kk	---				X
74 Tuuletushäiriö ryhmä 1	---				
75 Tuuletushäiriö ryhmä 2	---				
76 Kk-moott. suojakytkin	X			X	
77 Lämpömittari Öljy 1	92	110		X	X
78 Lämpömittari Öljy 2	---				
79 Lämpömittari Käämi YJ	---				
80 Lämpömittari Käämi VJ	---				
81 Lämpömittari Käämi AJ	120	140		X	X
82					
83					
84					
85					

LÄMPÖMITTARIEN TARKASTUS

Lämpötilat	Öljy 1	Öljy 2	Käämi YJ	Käämi VJ	Käämi AJ	Huom. s. 4
40	39	---	---	---	37	
60	59				57	
80	80				80	X
100	100				100	
120	120				120	
140	139				140	
Tuuletinryhmä 1	---					
Tuuletinryhmä 2	---					
Käämin lämpökuvaajien piirien mittaus			X	Ok.		

Öljynäyte muuntajasta	X	Kyllä	Ei	X
-----------------------	---	-------	----	---

Suorittajat	
-------------	--

