

Teemu Halme

110 kV:n päämuuntajalähtöjen suojaus selvitys Kymijoen vesivoimalaitoksilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

10.5.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Teemu Halme 110 kV:n päämuuntajalähtöjen suojaus selvitys Kymijoen vesivoimalaitoksilla 39 sivua + 2 liitettä 10.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Käynnissäpitomestari Petri Sinersaari Lehtori Sampsa Kupari
<p>Sähkövoimajärjestelmän relesuojaus on merkittävässä roolissa koko voimajärjestelmän luotettavan ja turvallisen käytön varmistamisessa. Suojauksen on oltava jatkuvasti toimintakuntoinen ja valmiina erottamaan vikaantuneet verkon osat muusta verkosta. Jotta voidaan varmistua suojauksen toimivuudesta, on suojausasetteluiden oltava oikeanlaiset. Suojausasetteluiden tulee suojata suojausalueensa erilaisia vikoja vastaan kaikissa verkon kytkentätilanteissa. Määräaikaisissa relekoestuksissa koestetaan suojauslaitteiden toiminta, mutta asettelujen oikeellisuus ja ajantasaisuus ovat verkon haltijan vastuulla.</p> <p>Tässä insinöörityössä keskityttiin UPM Kymmene Oyj, Energian Kymijoen vesivoimalaitosten Voikkaan, Kuusankosken ja Keltin 110/10,5 kV:n päämuuntajasuojauksiin. Pää tavoitteena oli tarkastaa ja korjata relekoestuksissa havaitut puutteet sekä tarkastaa ja päivittää asetteluiden oikeellisuus nykyhetken kuormilla. Samalla tarkastettiin standardien sekä dokumentoinnin oikeellisuus ja alettiin tehdä suur- ja keskijänniteverkkojen yhteistä suojauskaaviota. Työn ulkopuolelle jätettiin johto-osuuksien suojaus ja maasulkusuojaus, jotka liittää suojauskokonaisuuteen ja UPM Energian käyttöön myöhemmin.</p> <p>Tehomuuntajien sekä suojalaitteiden teoriaan perehdyttiin ja koottiin riittävä määrä materiaalia selvitystyön lähtötiedoiksi. Muuntajille luotiin muuntajakortit ja suojausasetteluja verrattiin eri menetelmillä niin toisiinsa kuin muihin vastaaviin muuntajasuojoihin. Teoriaan pohjautuen koottiin muutosehdotukset ja kerrottiin taustat, jotka johtivat näihin ehdotuksiin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin konkreettisia muutosehdotuksia suojausasetteluihin ja suojalaitte-hankintoihin. Lisäksi työ käynnisti muita tarpeellisia suojaus selvityksiä kohti ajantasaista voimansiirtoverkon suojausta. Kokonaisuutena työ oli onnistunut ja opetti paljon muuntajasuojauksesta, suojauslaitteista, dokumentoinnista ja voimalaitoksen liittymisestä sähkövoimajärjestelmään.</p>	
Avainsanat	muuntaja, relesuojaus, selektiivisyys

Author Title Number of Pages Date	Teemu Halme 110 kV Main Transformer Protection in Hydropower Plants along the Kymijoki River 39 pages + 2 appendices 10 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Petri Sinersaari, Supervisor Sampsa Kupari, Senior Lecturer
<p>The protection of electrical power system has a crucial role in making the whole power system reliable and safe. Ideally protection should be operational, continuous and be ready for cutting off the failure parts selectively from the working system. It is important to configure the right settings for the protection relays. The settings have to be prepared for all switching situations and for protecting its own area from different kinds of failures. By periodic relay testing the actions of the relay is tested, but the power system holder is responsible for protective settings.</p> <p>The focus of this thesis was 110/10 kV main transformer protection in UPM Kymmene Oyj Energy hydropower plants Voikkaa, Kuusankoski and Keltti along the Kymijoki river. The main goal was to check and correct the deficiencies of the relay testing conducted in summer 2015 and furthermore to check and update the settings for relays according to the power burden nowadays. During the process, the validation of standards and documents were checked. In addition, creation of a protection diagram of high- and medium voltage systems was started. The protection of 110 kV power lines and the earth fault protection were not part of this thesis, but will be added to UPM Energy protection package later.</p> <p>The theory of power transformers and protection devices was reviewed first and the materials and the initial data for the analysis were collected. Then the transformer cards were made with all the necessary information. The protection settings were compared with different techniques and with different transformers. According to the theory and tests, suggestions for setting changes were collected and the backgrounds were clarified.</p> <p>The results of this thesis are concrete suggestions for protection setting changes and future purchases of devices. The project started also a few other important protection analyses. The project was a success and gives a lot of information on transformer protection, protection relays, documentations and about joining a power plant to a power system.</p>	
Keywords	power transformer, protection relay, selectivity

Alkusanat

Insinööriyön tekeminen sisältyy ammattikorkeakoulun sähkötekniikan opetussuunnitelmaan. Insinööriyö on laajahko itsenäinen harjoitustyö, jonka tarkoituksena on valmentaa ja edistää insinööriksi valmistuvan opiskelijan siirtymistä työelämään ja insinöörin tehtäviin.

Olin ensimmäistä kesääni töissä UPM Energian vesivoimalaitoksilla Kymijoella kesällä 2011. Kesällä 2015 katsoimme sopivaa aihetta tulevalle insinööriyölle ja päädyimme päämuuntajalähtöjen suojausselvitykseen. Aihe vaikutti mielenkiintoiselta ja UPM Energialla oli tarve suojausselvitykselle.

Haluan kiittää UPM Kymmene Oyj, Energiaa ja vesivoimapäällikkö Pekka Pollaria mahdollisuudesta tämän insinööriyön tekemiseen. Suuret kiitokset kuuluvat käynnissäpito-mestari Petri Sinersaarelle työn ohjaamisesta ja saamistani neuvoista. Kiitokset kuuluvat myös muulle UPM Energian Kymijoen henkilöstölle avusta ja tiedoista työtä varten sekä perheelleni avusta ja työn oikoluvusta. Lisäksi kiitän opiskeluvuosista Metropolia Ammattikorkeakoulua sekä työn ohjaajauksesta lehtori Sampsa Kuparia.

Kouvolassa 10.05.2016

Teemu Halme

Sisälllys
Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	UPM Kymmene Oyj	2
3	Muuntajat	3
3.1	Teho- eli voimamuuntajat	3
3.2	Mittamuuntajat	7
3.2.1	Jännitemuuntajat	7
3.2.2	Virtamuuntajat	9
3.2.3	Optiset mittamuuntajat	11
4	Relesuojaus	12
4.1	Suojareleet	13
4.1.1	Sähkömekaaniset releet	14
4.1.2	Staattiset releet	14
4.1.3	Numeeriset releet	14
4.2	Muuntajien suojaus	16
4.2.1	Differentiaali- eli erovirtarele	16
4.2.2	Ylivirtasuojaus	19
4.2.3	Maasulkusuojaus	21
4.2.4	Nollajännitesuojaus	22
5	Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset - VJV	23
6	CASE: Kymijoen vesivoimalaitokset	24
6.1	Laitteisto	24
6.1.1	Verkko	24
6.1.2	Muuntajat	25
6.1.3	Suojareleet	25
6.1.4	Suojaus selvityksen lähtötiedot	26
6.2	63A Voikkaa	27
6.2.1	PT4 29 MVA:n lähtötiedot	27
6.2.2	PT4 29 MVA:n asettelut	28
6.2.3	PT5 12 MVA	30
6.3	61A Kuusankoski	31
6.3.1	PT1 40 MVA	31
6.3.2	PT2 40 MVA	32

6.4	64A Keltti	33
6.4.1	AT1 31,5 MVA	33
6.5	Ehdotetut suojausmuutokset	34
6.6	Suojauskaavio	36
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1. Kuusankosken 110 kV:n verkko	
	Liite 2. Päämuuntaja 63PT4 10 kV:n suojauskaavio	

Lyhenteet

CT	Current Transformer, Virtamuuntaja
DOC	Directional Over Current, suunnattu ylivirta
FAT	Factory Acceptance Test, tehtaan hyväksyntäko
$f<$	Alitaajuusreleen hidas porras
$f<<$	Alitaajuusreleen nopea porras
GIS	Gas Insulated Switchgear, SF6-kaasueristetty sähkökojeisto
HV	High Voltage, suurjännite
IEC	International Electrotechnical Commission, sähköalan kansainvälinen standardisoimisjärjestö
IED	Intelligent Electronic Device, toisen sukupolven digitaalinen suojarile eli kennotermiinaali
I_k	Jatkuvan tilan oikosulkuvirta
I_n	Nimellinen virta
I_{1N}	Nimellinen virta muuntajan ensiöpuolella
I_{2N}	Nimellinen virta muuntajan toisiopuolella
$I_{o>}$	Nollavirran hidas suojausporras
$I_{o>>}$	Nollavirran nopea suojausporras
$I_{>}$	Ylivirtareleen hidas suojausporras
$I_{>>}$	Ylivirtareleen nopea suojausporras

$I_{>>>}$	Ylivirtareleen hetkellislaukaisuporras
LV	Low voltage, pienjännite
NOC	Non-Directional Over Current, Suuntaamaton ylivirta
PM	Päämuuntaja
P	Differentiaalireleen erovirran perusasettelu
PT	Power Transformer, päämuuntaja
S	Differentiaalireleen erovirran havahtumissuhteen asettelu
SAT	Site Acceptance Test, käyttöpaikan hyväksyntäkoee
U_n	Nimellinen jännite
$U_{o>}$	Nollajännitteen hidas suojausporras
VJV	Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset (Fingrid Oyj)
YLE	Yleiset liittymisehdot (Fingrid Oyj)
VT	Voltage Transformer, Jännitemuuntaja
YNd11	Muuntajan tähti-kolmiokytkentä, ensiön tähtipiste maadoitettu, toision vaiheosoittimet 330 astetta jäljessä vastaavia ensiön vaihejänniteosoittimia
Z_k	Muuntajan oikosulkuimpedanssi

1 Johdanto

UPM Kymmene Oyj, Energia teetti vuonna 2015 Kymijoen vesivoimalaitostensa sekä 110 kV:n sähköasemiensa suojareleiden määräaikaiskoestukset Infratek Oy:llä. Määräaikaiskoestusten aikana löydettiin puutteita 110 kV:n linjalähdöistä ja ehdotettiin koko rengasverkon suojaustarkastelua selektiivisyyden varmistamiseksi.

Vesivoimalaitokset syöttävät tehoa kantaverkkoon päämuuntajien kautta. Voikkaan vesivoimalaitokselle on investoitu uusi päämuuntaja 2012, ja Kuusankosken vesivoimalaitoksen toinen päämuuntaja on vaihdettu 2015. Päämuuntajien suojaukset on toteutettu aikojen saatossa projekti kerrallaan, eikä yhtenäistä suojauslinjaa ole aiemmin tarkasteltu. Tämän takia 110 kV:n rengasverkon (liite 1) suojaustarkastelu päätettiin aloittaa päämuuntajasuojauksista.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tuottaa UPM Kymmene Oyj Energialle selvitys vesivoimalaitosten päämuuntajasuojauksista ja samalla käynnistää laajempi projekti koko 110 kV rengasverkon suojausselvityksestä. Insinööriyön alku rakentuu muuntajasuojauksen taustalle vaadittavasta teoretisestä tiedosta. Alun teoriaosuus antaa perusteet työn loppupuolella olevaan suojausselvitykseen ja muutosehdotuksiin.

Tavoitteena on selvittää muuntajasuojauksen tämänhetkinen tilanne ja antaa muutosehdotuksia suojausten parantamiseksi. Toisarvoisena tavoitteena on selventää relesuojauksen ja etenkin muuntajasuojauksen teoriaa niin tekijälle kuin muillekin lukijoille. Relesuojauksesta on olemassa joitain teoksia myös suomen kielellä, mutta niiden sisältö on osittain vanhentunutta.

2 UPM Kymmene Oyj

UPM Kymmene on suomalainen metsäteollisuusyhtiö, joka syntyi 1996 yhdistyneiden paperitehtaiden ja Kymmenen fuusioituessa. UPM:n päätuotteita ovat sellu, hieno- ja erikoishienopaperit, tarramateriaalit, puutuotteet ja energiatuotanto sekä sähkökauppa. UPM:n tuotantolaitoksilla 13 maassa työskentelee noin 19 600 työntekijää, ja liikevaihto oli vuonna 2015 10,1 miljardia euroa.

UPM:n toiminta nojaa vastuulliseen, kestävään kehitykseen ja korostaa ympäristöasioita kaikessa toiminnassaan. Viime vuosina UPM on uudistanut liiketoimintaansa ja murtautunut vuonna 2013 lanseeratun uuden Biofore-strategian avulla biopolttoaineiden, biokomposiitin sekä biokemikaalien jalostuksen markkinoille. Yhtiön lähivuosien tavoitteena on nousta merkittäväksi uusiutuvien ja korkealaatuisten biopolttoaineiden valmistajaksi. UPM Kymmene Oyj:n liiketoiminta jakautuu kuuteen eri alueeseen, joita ovat UPM Biorefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Paper Asia, UPM Paper ENA ja UPM Plywood. [UPM 2016.]

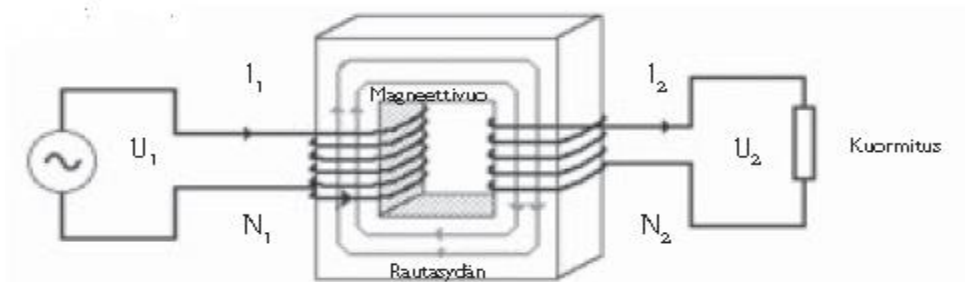
UPM Kymmene Oyj, Energia vastaa konsernin energianhankinnasta omana erillisenä energiaosastonaan. 1 610 MW:n tuotantokapasiteetilla mitattuna UPM Energia on Fortumin jälkeen Suomen toiseksi suurin sähköntuottaja. Energia työllistää 74 ihmistä, ja sen liikevaihto vuonna 2015 oli 415 miljoonaa euroa, josta syntyi voittoa 181 miljoonaa euroa ilman kertaluonteisia eriä. Sähkön tuottamisen lisäksi sen toiminta käsittää fyysisen sähkön ja sen johdannaisten kaupan. UPM Energiällä on kahdeksan omaa vesivoimalaa Suomessa. Lisäksi sillä on osuuksia useissa yhtiöissä vesivoiman, ydinvoiman, lauhdevoiman ja tuulivoiman saralla. [UPM 2015.]

UPM Energian kahdeksasta vesivoimalaitoksesta yksi sijaitsee Kaltimossa Pielisjoella. Kallioisten ja Katerman laitokset sijaitsevat Ontojoella Kainuussa. Kaksi vesivoimalaitosta Tyrvää ja Äetsä sijaitsevat Kokemäenjoella. Lisäksi UPM operoi Länsi-Suomen voiman vesivoimalaitosta Kokemäenjoella Harjavallassa. Tämä työ käsittää UPM:n Kymijoen vesivoimalaitosten Voikkaan, Kuusankosken ja Keltin päämuuntajasuojauksia.

3 Muuntajat

Muuntaja on sähkölaite, joka muuntaa vaihtosähköjärjestelmän jännitteitä ja virtoja kahden tai useamman käämityksen välillä. Kuvassa 1 näkyy muuntajan sähkömagneettiseen induktioon perustuva toimintaperiaate. Sähkömagneettinen induktio aikaansaa piireille galvaanisen erotuksen. Kun muuntajan ensiökäämiin kytketään vaihtojännite (kuvassa 1 U_1), saadaan käämin sisällä olevaan rautasydämeen muuttava magneettikenttä, joka lävistää samalla sydämellä olevan toisen käämin. Toiseen käämiin indusoituu tällöin toisiojännite U_2 . Indusoitunut toisiojännite U_2 on suoraan verrannollinen syötettyyn jännitteeseen käämien kierroslukujen (N_1 ja N_2) suhteessa. Tästä muodostuu muuntosuhde (yhtälö 1). Ensiö- ja toisiopiirien virrat ovat kääntäen verrannollisia käämien kierroslukujen suhteeseen. [Fingrid 2004.]

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$



Kuva 1. Muuntajan toimintaperiaate. [Fingrid 2004]

Muuntajan tehtävät ovat muuntaa jännite sopivaksi, rajoittaa oikosulkutehoa sekä säätää jännitettä. Muuntajia käytetään sähkönjakelussa tehomuuntajina, jakelumuuntajina sekä suojalaitteiden mittamuuntajina. Lisäksi muuntajia käytetään erilaisina pienjännitemuuntajina, suojaerotusmuuntajina sekä moniin muihin sovelluksiin.

3.1 Teho- eli voimamuuntajat

Sähkönsiirron suuria tehoja siirrettäessä häviöitä pienennetään muuntamalla jännite mahdollisimman suureksi. Tällöin virta, joka on neliöllinen suhteessa lämpöhäviöihin, pienenee. Kantaverkon siirtojännitteet ovat 110, 220 ja 400 kilovolttia. Tästä syystä kolmivaihetehomuuntaja on tärkeä yksittäinen komponentti vaihtosähköjärjestelmässä. Muuntajassa ei ole liikkuvia osia, mikä tekee niistä pitkäikäisiä. Tehomuuntajat käyttävät

yleisesti öljyä eristeenä sekä lämmönsiirtoon käämien jäähdytyksessä. Itse käämit ovat perinteisesti paperi- ja prespaanieristettyjä kuparikäämejä, mutta myös alumiinia käytetään. Rautasydän valmistetaan useimmiten laserkäsitellyistä kylmävalssatusta- eli kide-suunnatusta teräslevystä, jolloin häviöt ovat pienemmät. Usein kolmivaihemuuntaja muuttaa myös jännitteen vaihekulmaa vakiomäärällä riippuen käämien kytkennästä. [Elovaara & Haarla, 2010: 141.]

Saman jänniteportaan käämit kytketään toisiinsa haluttujen ominaisuuksien mukaan. Eri kytkentävaihtoehdot ovat kuvassa 2 ja niitä ovat tähti (Y, y, star), kolmio (D, d, delta) tai hakatahti (Z, z, zigzag). Iso kirjainsymboli kuvaa yläjännitekäämiä ja pieni symboli muita käämityksiä. Muuntajan kannelle esiin tuotu tähtipiste ilmaistaan kirjainsymboleilla N tai n. Kytkennän ylä- ja alajännitteiden välinen vaihesiirto merkitään numeroin analogisen kellotaulun mukaan, siten että yksi tunti vastaa 30° :n vaihe-eroa. Esimerkiksi arvo 11 siis tarkoittaa, että alajännite on 30° yläjännitettä edellä. Kytkentäryhmä voi olla siis esimerkiksi YNd11. [Elovaara & Haarla, 2010:142.]

Kytkeäryhmä IEC:n mukaan	Osoitinpiirros		Kytkeäpiirros		Toison Nollapiste
	Ylä- jännite	Ala- jännite	Ylä- jännite	Ala- jännite	
0	Dd 0				Ei saatavissa
	Yy 0				n. 10% kuormitettavissa.
	Dz 0				100% kuormitettavissa
5	Dy 5				100% kuormitettavissa
	Yd 5				Ei saatavissa
	Yz 5				100% kuormitettavissa
6	Dd 6				Ei saatavissa
	Yy 6				n. 10% kuormitettavissa
	Dz 6				100% kuormitettavissa
11	Dy 11				100% kuormitettavissa
	Yd 11				Ei saatavissa
	Yz 11				100% kuormitettavissa

Kuva 2. Kolmivaihemuuntajien standardoitu kytkennät. Suomessa yleisimmin käytetyt kytkennät ovat Yy0, Dy11, Yd11 ja Yz11. [Trafomic Oy 2015]

Suuret muuntajat varustetaan jännitteen säätöä varten käämikytkimellä, jota voidaan käyttää myös muuntajan ollessa kuormitettuna. Moniasentoisella käämikytkimellä muutetaan normaalisti ensiöpuolen johdinkierrosmäärää (muuntosuhdetta) tähtipisteen puolelta, ja säätöalue on noin $\pm 15\%$. Suuret muuntajat varustetaan usein myös pienellä omakäyttömuuntajalla, josta saadaan pienjännitettä sähköaseman omiin tarpeisiin. Vaihtoehtoinen mahdollisuus jännitteen säätöön on väliottokytkin, jolla toisiojännitettä voidaan säätää pykälittäin. Väliottokytkimen käyttö edellyttää kuitenkin jännitekatkoa, eli se ei sovellu jatkuvaan jännitteen säätöön. Väliottokytkimen säätöalue on tavallisesti $\pm 5\%$.

Tehomuuntajia varten on olemassa kansainvälinen standardi IEC 60076. Standardissa säännöstellään muuntajan suurin sallittu lämpeneminen mitoituskuormalla. Standardissa ei kuitenkaan määritellä, kuinka muuntajaa saa kuormittaa eri käyttötilanteissa. Suomen oloissa vuotuinen keskilämpötila on noin $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$, mikä poikkeaa IEC-standardin normaalin käytön $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ arvosta. Tämä luo muuntajille luontaista ylikuormitettavuutta. Tämän vuoksi on tärkeää suorittaa muuntajan laji- ja vastaanottokokeisiin kuuluva lämpenemiskoe (heat run test) ja laatia sen perusteella niin kutsuttu ylikuormitettavuuskäyrästä. [Elovaara & Haarla, 2010: 151.]

Muuntajan kytkentähetkellä esiintyvällä magnetoimisvirralla on merkitystä kytkentävirtasysäykseen ((transient) inrush current). Mikäli muuntajan rautasydämeen on jäänyt jäännösvuota eli remanenssia, ja kytkentä tapahtuu jännitteen nollassa, eli magneettivuon huippuarvossa, on tilanne epäedullisin ja kytkentävirtasysäys suurin. Kytkentävirtasysäys voi olla jopa 8-10 kertainen suhteessa mitoitusvirtaan, ja se tulee ottaa huomioon muuntajasuojausta suunnitellessa. Rautasydämen kyllästyminen aiheuttaa virtaan yliaaltoja, ja virran toisen harmonisen yliaallon 100 Hz komponenttia voidaan käyttää kytkentävirtasysäyksen ja vikavirran erottamiseen toisistaan. Muuntajan suojauksessa käytetään niin sanottua 100 Hz:n yliaaltosalparelettä, joka vertailee erovirrasta suodatettua toista harmonista yliaaltoa ja perusaaltoa keskenään ja lukitsee suojan toiminnan havaitessaan 100 Hz komponentin virrassa. Muuntajan rakenne vaikuttaa kytkentävirtasysäyksen kesto aikaan, mutta virran puoliarvonaika on tyypillisesti 0,5-10 sekuntia. Muuntajan remanenssin mittaaminen on vaikeaa ja siten kytkentävirtasysäystä ei voida nykyisillä menetelmillä täysin poistaa. Sen suurimmat arvot voidaan kuitenkin tarvittaessa välttää ajoittamalla kytkentähetkeä erikoiskatkaisijoilla. [Elovaara & Haarla, 2010: 153.]

Varsinaisen relesuojauksen lisäksi itse muuntajassa on suojaukseen ja valvontaan liittyviä laitteita. Näiden laitteiden huolto ja koestus suoritetaan muuntajahuollon yhteydessä.

Lämpenemisen seuraamiseksi muuntajat on vähintäänkin varustettu yläöljytilan lämpömittareilla sekä mahdollisesti myös käämin lämpötilan kuvaajilla. Lämpömittareihin on tavallisesti liitetty hälytys- ja laukaisukoskettimet lämpöreleelle, joka on yhdistetty kentän suojauspiiriin. Nykyään suurien muuntajien eniten lämpeneviin kohtiin asennetaan myös kuituoptisia lämpötilanmittauksia.

Tehomuuntajiin integroidaan usein kaasurele. Kaasureleen toiminta perustuu kaasukehityksen seurantaan tai suuren vian aiheuttamaan öljysyöksyyn. Perinteinen malli tästä on mekaaninen Buchholz-kaasurele. Muuntajan kannelle voidaan asentaa myös jousikuormitettu ylipaineventtiili, joka havaitsee öljysyöksyn paineaallon. Kaasureleellä sekä ylipaineventtiilillä on omat apureleet hälytys- ja laukaisukoskettimiseen. Nykyään suuriin tehomuuntajiin integroidaan usein myös jatkuvatoiminen öljyn kaasupitoisuuksien valvonta (vety, häikä, hiilidioksidi, eräät hiilivedyt) (DGA, dissolved gas analysis). Kasvavista kaasupitoisuuksista voidaan havaita kehittyvä vika, jolloin lisävaurioilta voidaan välttyä. Öljyn kaasupitoisuuksien jatkuvalla valvonnalla voidaan myös joissain tapauksissa korvata jokavuotisia öljyanalyysyjä. [Elovaara & Haarla, 2010: 147.]

Paisuntasäiliö huolehtii siitä, että varsinainen öljytila on täynnä öljyä kaikissa käyttölämpötiloissa. Tehomuuntajan kyljessä on myös öljykorkeuden osoitin ylä- ja alarajahälytyksineen. Öljymuuntajilta tulee ottaa öljynäytteitä vuosittain ja niistä voidaan analysoida ja ennaltaehkäistä tulevia vikoja. Muuntajan öljyn laatu on yksi tärkeimmistä asioista tavoiteltaessa pitkää käyttöikää. Erityisen tärkeää on, ettei öljyn sekaan joudu kosteutta esimerkiksi muuntajan hengittäessä paisuntasäiliön ja ilmakuivaimen kautta. [ABB. 2000: 11.7.]

Mikäli muuntajassa on käämikytkin, suojaa käämikytkimen suojarle sitä vaurioitumiselta. Suojarle on suoraan kytkettynä pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin apureleen laukaisukoskettimelta. Käämikytkintä voi suojata myös öljytilan paisuntaputkeen asennettu virtausrele, joka havaitsee epäonnistuneen kytkennän valokaaren muodostamana suurena öljyn virtausnopeutena. [Elovaara & Haarla, 2010: 147, 379.]

3.2 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat jännitteen ja virran mittaukseen toteutettuja erikoisrakenteisia muuntajia, joiden tehtävät ovat

- erottaa mittauspiiri galvaanisesti päävirtapiiristä
- muuttaa mitta-alaa, jolloin suoja- ja mittalaitteiden standardisointi on mahdollista tiettyihin mitoitusarvoihin
- suojata mittalaitteita ylikuormituksilta
- mahdollistaa mittareiden ja releiden sijoitus etäämmälle mitattavasta paikasta (esim. keskitetty mittaus).

Mittamuuntajien rakenneperiaate on samanlainen normaalin muuntajan kanssa. Mittamuuntajat ovat kuitenkin usein toteutettu yksivaiheisina yksikköinä kullekin vaiheelle. Ideaalilanteessa mittamuuntaja toistaa mittaamansa jännitteen tai virran normaalilla kuormitusalueella virheettömästi. Käytännössä mittamuuntajien virheitä aiheuttavat kuitenkin tyhjäkäyntivirta sekä käämitysten hajaimpedanssit. Ne aiheuttavat mittamuuntajiin virta-, jännite- ja kulmavirheitä. [Elovaara & Haarla, 2010.]

3.2.1 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajan (VT, voltage transformer) tehtävänä on jännitteen syöttö mittareille (mittaus) ja/tai releille (suojaus). Erilaisia toteutustapoja ovat

- resistiivinen jännitteenjakaja
- kapasitiivinen jännitteenjakaja
- magneettinen eli induktiivinen jännitemuuntaja
- kapasitiivinen jännitemuuntaja (kapasitiivisen ja induktiivisen yhdistelmä).

Magneettiset jännitemuuntajat ovat yleensä toteutettu vain yhdellä rautasydämellä ja yhteisellä mittaus- ja suojausvaatimukset täyttävällä toisiokäämillä. Myös ensiökäämitys on yhteinen. Jännitemittarit ja -releet kytketään toisiopiiriin rinnan. Jännitemuuntajan toisiopiiri on maadoitettava yhdestä pisteestä ja varustettava ylivirta- ja oikosulkusuojauksella. Toisiopiiriä ei saa koskaan oikosulkea. [Mörsky 1992: 87.]

Induktiivisia jännitemuuntajia käytetään etenkin pienemmillä kuin 245 kV:n jännitteillä. Suuremmilla jännitteillä kapasitiivinen jännitemuuntaja on edullisempi. Jännitemuuntajia rakennetaan SF₆-, öljy- sekä valuhartsieristeisinä. Jännitemuuntajan kuori on usein jännitteinen, joten rakenteeseen kuuluu posliini- tai polymeerieristin. Jännitemuuntajassa on yleensä erilliset toisiokäämit suojaus- ja mittauspiireille, mutta yksi rautasydän sekä ensiökäämi. [Elovaara & Haarla, 2010: 218; Fingrid 2004.]

IEC-standardissa 60044-2 on määritelty jännitemuuntajien ominaisuudet ja vaatimukset on jaettu mittaukseen ja suojaukseen tarkoitettuihin jännitemuuntajiin. Standardin tärkeimpiä teknisiä arvoja ovat eristystaso, mitoitusastajuus, mitoitusensiöjännite, mitoitustoisiöjännite, mitoitusjännitekerroin, mitoitustaakka ja tarkkuusluokka. Mitoitusjännitekerroin k_R (rated voltage factor) ilmoittaa suurimman mahdollisen sallitun käyttöastajuuden ensiöjännitteen, jotta jännitemuuntajan terminen kestoisuus suojaustarkoitukseen ei ylitä. Mitoitusjännite on standardin mukaan valittava verkon nimellisjännitteen mukaan. Vaiheiden väliin kytkettävän ensiökäämin tapauksessa mitoitusjännite ilmoitetaan pääjännitteenä. Vaiheen ja tähtipisteen taikka tähtipisteen ja maan väliin kytketyn ensiökäämin mitoitus ilmoitetaan taas vaihejännitteenä, esimerkiksi $10\,000/\sqrt{3}$ V. Toisiöjännitteenä käytetään yleisesti arvoa 100 V. Täten esimerkiksi muuntosuhde $10\,000:\sqrt{3}/100:\sqrt{3}/100$ V tarkoittaa, että ensiökäämi on kytketty vaiheen ja maan välille ja toisipuolella on mittaus- ja avokolmiokäämi. [Elovaara & Haarla, 2010: 215.]

Standardissa on määritelty myös jännitemuuntajien tarkkuusvaatimukset. Taulukossa 1 on esitelty mittaustarkoitukseen ja taulukossa 2 suojaustarkoitukseen käytettyjen jännitemuuntajien vaatimukset koskien jännite- ja kulmavirheitä. Jännitemuuntajan täytyy läpäistä tarkkuusluokkien vaatimukset ensiöjännitteen ollessa 80 %, 100 % ja 120 % ja induktiivisen taakan vaihdellessa 25–100 % nimellisestä arvosta. Suomessa yleisesti käytetty mittaustarkkuusluokka on 0,2 ja suojaustarkkuusluokka 3P. [Mörsky 1992: 89.]

Taulukko 1. Mittaustarkoituksen jännitemuuntajien tarkkuusvaatimukset

Luokka	Jännitevirhe (%)	Kulmavirhe (min)
0,1	± 0,1	± 5
0,2	± 0,2	± 10
0,5	± 0,5	± 20
1	± 1,0	± 40
3	± 3,0	

Taulukko 2. Suojaustarkoitukseen käytettyjen jännitemuuntajien tarkkuusvaatimukset (P = protection)

Luokka	Jännitevirhe (%)	Kulmavirhe (min)
3 P	± 3,0	± 120
6 P	± 6,0	± 240

3.2.2 Virtamuuntajat

Virtamuuntaja (CT, current transformer) muuttaa piirissä kulkevan virran mitta- ja suoja-laitteille sopivaksi. Virran mittaaminen on vaikeampaa kuin jännitteen mittaaminen suu-rempien vaihteluiden takia. Vikavirrat voivat olla kymmeniä, jopa satoja kertoja suurem-pia kuin normaalit kuormitusvirrat. Lisäksi vikavirroissa esiintyvä tasakomponentti on haasteellinen. Virtamuuntajan suojaus- sekä mittauspiireillä on yhteinen ensiökäämi, mutta ne vaativat usein omat sydämet sekä toisiokäämit riittävän tarkkuuden saavutta-miseksi. [Mörsky 1992: 101.]

IEC-standardissa 60044-1 on esitetty virtamuuntajien vaatimukset ja ominaisuudet. Virtamuuntajat on jaettu jännitemuuntajien tapaan mittaustarkoitukseen ja suojaustarkoi-tukseen valmistettuihin mittamuuntajiin. Jännitemuuntajien tapaan tarkkuusluokan nu-meroarvo kertoo suoraan suurimman sallitun virtavirheen suuruuden. Lisäksi virtamuun-tajille on erikoisluokat PR ja PX. Luokan PR virtamuuntajalla sydämeen jäävä re-manenssi on tavanomaista pienempi ja luokan PX virtamuuntajalla on tavanomaista pie-nempi oikosulkureaktanssi. Sekä mittaus- että suojauskäyttöön tarkoitetuille virtamuun-tajille on määriteltä virta- ja kulmavirheet. Virtavirhe tarkoittaa toisiovirran poikkeamaa ideaaliarvosta, jossa tyhjäkäyntivirtaa ei ole. Kulmavirhe on ensiö- ja toisiovirtojen osoit-timien välinen kulmaero, joka on positiivinen, kun toisiovirranosoitin on edellä ensiövir-ranosoitinta. Virtamuuntajan taakka tarkoittaa toisiopiirin impedanssia ja ilmaistaan nä-ennäistehona. Virtamuuntajien liitinmerkinnät on myös standardoitu, kirjain P viittaa en-siöpiiriin ja S toisiopiiriin. [Elovaara & Haarla, 2010: 199, 214.]

Käytössä olevan virtamuuntajan toisiopiiriä ei saa avata sydämen kyllästymisen välttä-miseksi. Tästä seuraisi toisiopiirin liitinpäihin ihmiselle sekä laitteille vaarallinen jopa kymmenien kilovolttien jännite. Virtamuuntajille on määriteltä terminen kestovirta, joka on suurin ensiövirta (tehollisarvo), jonka mittamuuntaja kestää sekunnin ajan toisiopiiri

oikosuljettuna. Virtamuuntajat toimitetaan myös tehtailta toisiopiiri oikosuljettuna ja sineitöitynä remanenssin välttämiseksi. Virtamuuntaja maadoitetaan jännitemuuntajan tavoin yhdestä pisteestä. Virtamuuntajat toistavat jännitemuuntajia paremmin yliaaltoja, mutta yliaallot aiheuttavat silti virhettä. [Mörsky 1992: 103.]

Virtamuuntajien toisiopiirin nimellisvirtoina käytetään pääsääntöisesti 1 A tai 5 A virtoja. 5 A toisiovirran käyttö tuo vikatilanteissa edullisemmän indusoituvan käyttötaajuuden ylimääräisen jännitteen, koska se on kääntäen verrannollinen toisiopiirin mitoitusvirtaan. Kuitenkin pitkällä etäisyyksillä toisiokaapelin tehonkulutus voi kasvaa suurehkoksi ja toisiopiirin mitoitustulotulon ylittyminen on mahdollista. Tällöin 1 A toisiovirran käyttö on perusteltua. 1 A toisiovirralla rautasydämen kyllästyminen on myöskin epäherkempää, joskin kyllästyksen estäminen riippuu enemmän virtamuuntajan oikeasta mitoituksesta. [Elovaara & Haarla, 2010: 205.]

Etenkin differentiaalirelettä syöttävien virtamuuntajien täytyy olla rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan samanlaisia. Tällöin suurien oikosulkuvirtojen toisto virtamuuntajan kautta releelle on samanlaista ja erovirtojen syntyminen rakenteellisista eroavaisuuksista saadaan minimoitua. Jos virtamuuntajan rautasydämessä on ilmaväli, eli sydän on linearisoitu, vikavirran tasakomponentti toistuu virheellisesti vian alkuhetkistä lähtien. Mikäli rautasydän on rakenteeltaan suljettu, toistuu vikavirran tasakomponentti oikein alkuvaiheessa ennen sydämen kyllästyistä. Jotta virtamuuntajista saadaan mahdollisimman hyvin toistensa kaltaisia, on projekteissa hyvä tilata virtamuuntajat samalla kertaa, samasta toimituserästä ja samalta toimittajalta. [Elovaara & Haarla, 2010: 207.]

Ulkotiloihin asennettavat virtamuuntajat ovat tavallisesti öljy- tai SF₆-eristeisiä ja hermeettisesti suljettuja, jolloin ulkoilman kosteus ei pääse kostuttamaan eristeitä. Ensikäämi ja sydänosa ovat joko maan potentiaalissa olevassa säiliössä (hair-pin-rakenne) tai johdon potentiaalissa olevassa virtamuuntajan yläosassa (top-core-rakenne). Sisätiloihin asennettavat virtamuuntajat ovat useimmiten valuhartsieristeisiä. Tällöin virtamuuntajan asennolla ei ole väliä ja saavutetaan suuri sähköinen- ja mekaaninen lujuus pienessä koossa. Rakenteita on useita erilaisia: läpivientivirtamuuntaja, reikävirtamuuntaja, kiskovirtamuuntaja, sauvavirtamuuntaja sekä rengasvirtamuuntajiin kuuluva kaapelivirtamuuntaja. [Elovaara & Haarla, 2010: 213.]

3.2.3 Optiset mittamuuntajat

2000-luvulla on alettu kehittää optisia mittamuuntajia, jotka perustuvat valon ominaisuuksien muuttumiseen sähkökentässä. Tällöin tieto siirtyy suoraan binääritietona valokuitua pitkin toimilaitteelle ja monista välipiireistä ja apulaitteista voidaan luopua. Lisäksi digitaalinen tiedonsiirto on immuuni sähköisille häiriöille eikä esimerkiksi toisiopiirin jännitehäviöt aiheuta enää toisiopiirin mitoitustehon ylittymiä. Optisessa virranmittauksessa käytetään hyväksi Faradayn ilmiötä, jossa voimakas magneettikenttä aiheuttaa polarisoituneen valonsäteen polarisaatiotason kääntymisen tietyillä materiaaleilla. Optisessa jännitemittauksessa sovelletaan Pockelsin ilmiötä, jossa sähkökenttä muuttaa materiaalin anisotrooppiseksi eli eri suunnista erilaiseksi, jolloin polarisoitunut valonsäde jakautuu kahdeksi erilaiseksi säteeksi läpäistessään sen. Jo tällä hetkellä IEC-standardi 61850 sallii sähköaseman signaalien täyden digitalisoinnin. Tämä luo tulevaisuuden mahdollisuuden älykkäiden sähköverkkojen täysin reaaliaikaiseen hallintaan ja pohjaa eri valmistajien laitteiden yhteensovittamiselle. Optisia mittamuuntajia ja älykkäitä täysin digitalisoituja sähköasemia on jo käytössä ainakin joillakin 400 kV:n avolinjoilla sekä merenalaisilla kaapeleilla. [Elovaara & Haarla, 2010: 224., Promaint 2014]

4 Relesuojaus

Sähköverkossa tapahtuvien häiriöiden sekä vikojen varalta voimalaitokset, sähköasemat ja kytkinlaitokset varustetaan suojalaitteilla, joista osan muodostavat suojareleet. Releet mittaavat jännite- ja virtamuuntajien avulla jatkuvasti sähköverkon suureita ja tarpeen vaatiessa suorittavat automaattisia poiskytkentöjä lähettämällä laukaisukäskyn yhdelle tai useammalle katkaisijalle. Releiden on toimittava nopeasti sekä luotettavasti (reliability) ja väärät laukaisut täytyy saada minimoitua verkon käyttövarmuuden maksimomiseksi. Releen päätehtävä on havaita verkossa oleva vika, katkaista sähkönsyöttö mahdollisimman nopeasti ja rajoittaa vian vaikutusalue mahdollisimman pieneksi. Releen täytyy toimia, kun sen suojausalueella on vika (SFS-IEC 60050 448, 2002), mutta se ei saa kuitenkaan lähettää laukaisukäskyä, mikäli sen suojausalueella ei ole vikaa. Täytyy kuitenkin muistaa, että relesuojaus ei poista vian syntymisen mahdollisuutta. Nykyään suojausjärjestelmään kuuluu myös paljon tiedonsiirtoa eri laitteiden ja eri asemien välillä ja yhteistoimintaa tarvitaan, jotta saadaan toteutettua luotettava ja nopeatoiminen selektiivinen suojaus. Nykyään relesuojausjärjestelmien kehitys on menossa yhä enemmän ennakoivaan torjumiseen, jonka taustalla on tietenkin vikaantumisen tappioiden minimointi ja tavoite katkottoman sähkön syöttämisestä asiakkaalle. [Mörsky 1992: 15–16.]

Relesuojauksen yleiset tavoitteet ja edellytykset ovat selkeät:

- Releen täytyy toimia selektiivisesti, jolloin vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta kytketään pois.
- Releen täytyy säilyttää verkon stabiilius kaikissa olosuhteissa sekä toimia nopeasti ja herkästi minimoiden vaarat, häiriöt, vauriot sekä haitat, joita vika verkkoon aiheuttaa.
- Relesuojauksen tulee aukottomasti suojata koko järjestelmä. Varasuojauksen käyttö on suositeltavaa ja kahdennusta käytetään tärkeimpien kohteiden suojauksessa.
- Relesuojaus täytyy toteuttaa mahdollisimman yksinkertaisesti ja sen tulee olla käyttövarma.
- Releiden käytettävyyden tulee olla hyvä ja muunneltava. Suojaus on myös pysyvä koestamaan käyttöpaikalla.
- Suojauksen hankintakustannusten on oltava kohtuulliset ja linjassaan suojattavan verkonosan arvoon. [Mörsky, 1992: 15.]

Rele tarkkailee jatkuvasti sähkövirtapiirissä tapahtuvia muutoksia ja sen tehtävä on havaita virheellinen toiminta annettujen parametrien mukaan sekä toteuttaa ohjaus tai merkinanto sähkövirtapiiriin. Releeseen asetetun toiminta-arvon (asettelun) ylittyessä rele havahtuu (START). Mikäli ylittynyt arvo ei korjaannu asetellun toiminta-ajan kuluessa, rele antaa kytkentävirikkeen, joka voi olla pelkkä hälytys valvovalle toimijalle tai automaattinen laukaisukäsky (TRIP) primääripiirissä olevalle/oleville katkaisijoille, jotka erottavat syöttävän verkon vikaantuneesta kohteesta. Toimiakseen rele kuitenkin tarvitsee apulaitteita, kuten kappaleessa 3.2 käsitellyt mittamuuntajat, apuenergiälähteen (akusto), hälytys- ja raportointikeskukset sekä mittaus- laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet. Kokonaisuudesta syntyy luotettava suojaus kohteelle, jolloin sähkönjakelu on turvallista ja kuluttaja saa nauttia varmasta ja laadukkaasta sähköstä. [Mörsky 1992: 16, 19.]

Jotta suojauksesta saadaan aukoton, on suojattava verkko jaettu suoja-alueisiin. Jokainen verkon kohta kuuluu ainakin kahden eri suojarahleeseen suojausalueisiin. Varasuojaus toimii joko aika- tai virtaselektiivisesti ja voi olla toteutettu kahdennetulla primäärisuojauksella tai toisen releen hidastetulla portaalla. Tällöin toteutuu myös niin kutsuttu N–1-periaate, jolloin suojauksen toiminta ei ole riippuvainen yhdestä laitteesta. [Elovaara & Haarla, 2010]

Rele voi olla kytketty suoraan päävirtapiiriin, jolloin puhutaan ensiö- eli primäärireleistä. Nykyään useimmat releet kuitenkin kytkentään mittamuuntajien toisiopuolelle, jolloin puhutaan toisio- eli sekundäärireleistä. Toisiorehleeseen etuna se voidaan sijoittaa vapaasti suhteessa suojattavaan piiriin, käytettävät virrat sekä jännitteet ovat pienempiä, rele on mahdollista koestaa tai vaihtaa ilman keskeytyksiä ja releen käyttöhäviöt ovat pienemmät. [Mörsky 1992: 22.]

4.1 Suojareleet

Suojareleitä on markkinoilla suuri määrä ja vuosien saatossa niiden kehitys on ollut huimaa. Suojareleet jaetaan toteutustavan mukaisesti kolmeen eri ryhmään: Sähkömekaaniset, staattiset sekä numeeriset releet. Kaikkien aikakausien releitä on vielä käytössä ja relekantaa uudistetaan sähkö- ja kytkinasemien uudistuksissa.

4.1.1 Sähkömekaaniset releet

Vanhemman sukupolven primääripiirin kytkettyjä sähkömekaanisia releitä ei enää valmisteta, mutta niitä on edelleen käytössä. Ne mittaavat suureiden tehollis- tai keskiarvoja eli toimintaa voi verrata analogiseen mittariin. Tästä syystä sähkömekaaniset releet ovat epätarkkoja verrattuna nykyisiin kennoterminaaleihin. Ne ovat myös suurikokoisia, tehontarve on suurehko ja liikkuvat osat tarvitsevat ”herkistelyä” kunnossapitojen yhteydessä. [Fingrid 2004.]

4.1.2 Staattiset releet

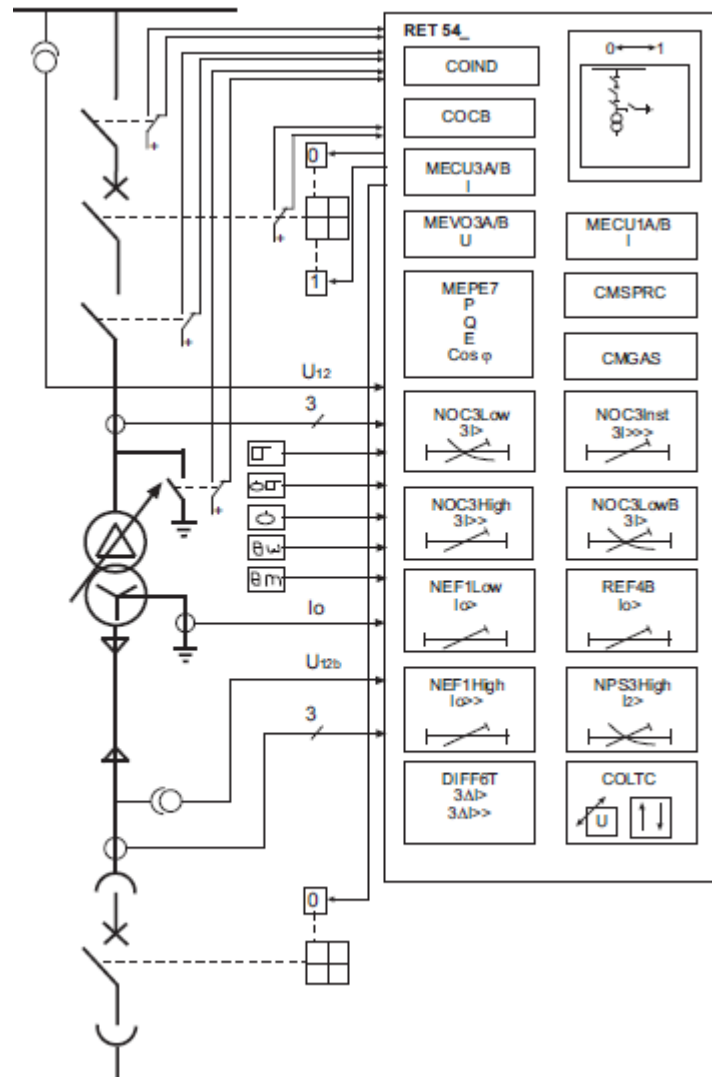
Staattisten eli elektronisten releiden mekaaniset osat on korvattu elektronisilla. Ne voidaan toteuttaa monisuurereleinä, jolloin toiminta on monipuolisempaa kuin sähkömekaanisilla releillä. Niiden hyviä ominaisuuksia ovat lyhyt toiminta-aika, tarkkuus, pieni tehonkulutus, mekaaninen kestoisuus, kulumattomuus ja siten myös vähäinen huollon tarve. Heikkouksia ovat jatkuva apusähkön tarve, toiminnan epähavainnollisuus sekä herkkyys sähkömagneettisille häiriöille ja ylijännitteille. Viime vuosina komponenttien ikääntyessä staattisten releiden vikaantumistaajuus on kuitenkin kasvanut. [Fingrid 2004. Aura & Tonteri, 1992: 169.]

4.1.3 Numeeriset releet

Numeeriset eli mikroprosessoreilla toimivat digitaaliset releet jaetaan vielä erikseen ensimmäisen ja toisen sukupolven releisiin. Ensimmäisen sukupolven numeerisissa releissä on monta suojausta, esimerkiksi oikosulku- sekä maasulkusuojaus integroitu samaan releeseen. Toisen sukupolven numeeriset releet välittävät kosketintiedon lisäksi myös muita tietoja ja tiedon kulku on kaksisuuntaista. Koska toimintoja on muitakin kuin vain relesuojaus, toisen sukupolven numeerisia releitä alettiin kutsua IED-releiksi (intelligent electronic device) eli kennoterminaaleiksi. [Mörsky 1992: 25.]

Kuvassa 3 näkyy ABB RET -muuntajasuojakennoterminaalissa käytettäviä suojausfunktioita. Samaa relettä voidaan käyttää useisiin suojauskohteisiin tinkimättä suojaustasosta. Esimerkiksi kyseinen muuntajasuoja voi toimia erovirtasuojana sekä ylikuormitusuojana niin vakioaikaisena kuin käänteisaikaisena eri lämpenemiskäyrillä riippuen suojauskohteesta ja halutuista ominaisuuksista. Lisäksi muuntajasuoja voi toimia esimerkiksi maasulkusuojana tai epäsymmetriasuojana. Samalle muuntajasuojalle voidaan

käyttää mittamuuntajina joko optisia- tai perinteistä mittamuuntajia ilman välimittamuuntajia, koska jokainen tulo voidaan skaalata halutuilla parametreilla. Kennotermiinaalit myös tallentavat muistiin rajallisen määrän haluttuja suureita ennen vikahetkeä, jotka voivat olla hyödyllisiä vikaa selvitettäessä.



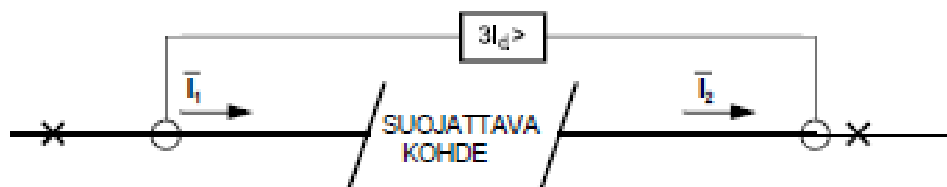
Kuva 3. Muuntajan suojaus ABB RET -kennotermiinaalilla [ABB 2010]

4.2 Muuntajien suojaus

Tehomuuntaja on sähköaseman kallein yksittäinen komponentti. Tämän takia muuntaja-suojaus täytyy toteuttaa huolellisesti. Differentiaalirele on muuntajan tärkein suojarеле ja sillä voidaan havaita muuntajan sisäiset oikosulut, maasulut, käämisulut ja kierrossulut nopeasti ja varmasti. Muuntajan varasuojina toimivat normaalisti maasulku- ja ylivirtareleet, jotka auttavat kisko- ja johto-oikosuluissa. Kytkevätvirtasysäyksen tunnistaa salparele, joka lukitsee suojausten toiminnan muuntajan verkkoon kytkennän aikana (käsitelty luvussa 3.1). Viidenteen harmoniseen perustuva lukitus lukitsee suojausten muuntajan ylimagnetointitilanteessa. [Elovaara & Haarla, 2010: 380.]

4.2.1 Differentiaali- eli erovirtarele

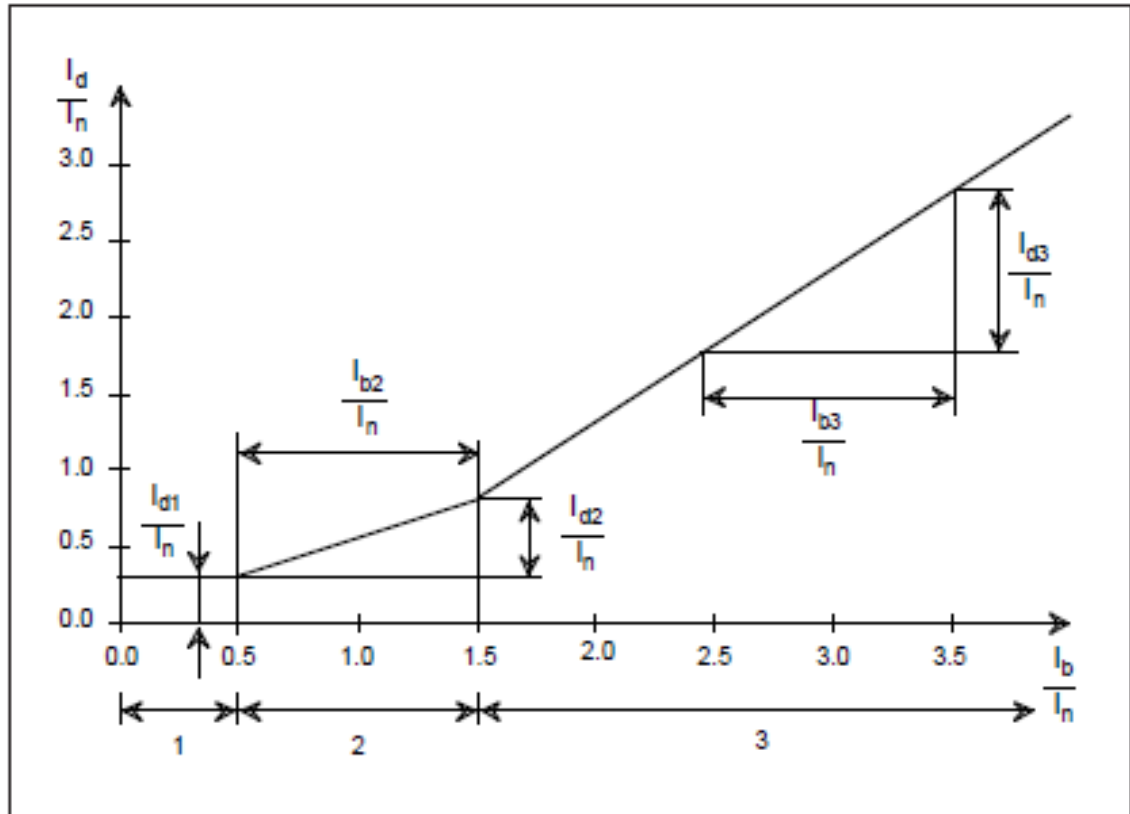
Differentiaalirele (D, differential relay) eli erovirtarele tarkkailee suojattavaan kohteeseen tulevien ja siitä lähtevien virtojen erotusta, eli muuntajassa ensiö- ja toisiopiirien välistä erotusta. Differentiaalirele on absoluuttisesti selektiivinen suojausalueellaan ja muodostaa nopeimman ja tarkimman suojausten muuntajan sisäisiä vikoja vastaan. Differentiaalireleessä on vaihekohtainen erovirranlaskenta, ja se laukaisee viiveettä muuntajan molemmilla puolella olevat katkaisijat, jos erovirta ylittää releelle asetellun arvon amplitudin tai vaihekulman suhteen. Ideaalitilanteessa virtojen (kuvassa 4 virrat I_1 ja I_2) erotus on nolla, koska virta menee suojausalueen läpi ilman vuotoja. Käytännössä erovirtaa syntyy kuitenkin aina. Vakavoidussa differentiaalireleessä laukaisuun vaadittava erovirta kasvaa kuormitusvirran kasvaessa. Suojausalueeseen kuuluu kahden virtamuuntajan välinen alue, jolle differentiaalirele vaatii viestiyhteyden. Differentiaalireleen toiminta-aika on noin 30 millisekuntia eikä siihen aseteta hidastusta. [ABB 2000: 7.5.6.]



Kuva 4. Erovirtasuojan toimintaperiaate. [ABB, 2000: 7.5.6]

Vakavoituja differentiaalisuojauksia toteutetaan kahdella eri pääperiaatteilla, pien- ja suurimpedanssiperiaatteilla, joista tässä työssä käsitellään vain enemmän muuntajasuojauksessa käytettyä pienimpedanssiperiaatetta. Kuvassa 5 näkyy esimerkki differentiaalisuojan toimintakäyrästä. Pystyakselin muodostaa erovirran ja nimellisvirran suhde

I_d/I_n ja vaaka-akselin kuormitusvirtaan perustuva vakavointivirran ja nimellisvirran suhde I_b/I_n . Käyrän yläpuolelle sijoittuva ero- ja vakavointivirran suhde aiheuttaa laukaisun. Käyrä määritellään perusasettelun (basic setting, P), havahtumissuhteen (starting ratio, S) ja toisen käänne pisteen (second turning point) asetteluilla.



Kuva 5. Vakavoidun differentiaalireleen toimintakäyrä. [ABB 2002]

Muuntajan tyhjäkäyntivirta määrää erovirran perusasettelun "P" (kuvassa 5 I_{d1}/I_n). Perusasettelun alueella (kuvassa 5 alue 1) muuntaja käy tyhjäkäynnillä tai pienellä kuormalla. Perusasettelussa täytyy huomioida muuntajan tyhjäkäyntihäviöt, ja se määrittää käyrän yleisen korkotason. Havahtumissuhde "S" (kuvassa 5 I_{b2}/I_n) ottaa huomioon läpimenevään virtaan suoraan verrannolliset näennäisen erovirran lähteet, kuten käämikytkimen asennon aiheuttamat virheet. Havahtumissuhteen alueella (kuvassa 5 alue 2) muuntaja on täysin kuormitettuna. Havahtumissuhteen asettelu määrittää suurelta osin suojan toimintaherkkyuden muuntajan sisäisissä vioissa, kuten kierrossuluissa. Toisen käänne pisteen (kuvassa 5 alueiden 2 ja 3 raja) asettelu määrittää, kuinka pitkälle havahtumissuhteen alue jatkuu ennen kuvan 5 aluetta 3. Toisella käänne pisteellä on vaikutusta muuntajan

stabiilisuuteen. Pienemmällä arvolla muuntajan stabiilius kasvaa, mutta toimintaherkkyys pienenee. Oikea toiminta-arvo löydetään, kun otetaan huomioon virtamuuntajien toistokyky, vikavirtatasot ja syöttösuunnat. Toisen käänneasteen jälkeisellä (kuvassa 5 alue 3) eli suurella vakavointivirran alueella virhettä aiheuttaa lähinnä mittamuuntajien kyllästyminen. Tällä alueella kuvaajan kulmakerroin on vakio ja laukaisuun vaadittava erovirran lisäys on yhtä suuri kuin vastaava vakavointivirran lisäys. [ABB 2000: 7.5.6.]

Mikäli muuntajan kytkentäryhmän aiheuttama kulmaero ei ole 0°, täytyy se ottaa erovirrassa huomioon. Kulmaero voidaan ohjelmoida suoraan releelle tai käyttää mittamuuntajan jälkeisen kulmaeron korjaavaa välivirtamuuntajaa. Numeeriset differentiaalireleet voivat myös huomioida käämikytkimen asennon ja tällöin releelle voi olla määritetty useita eri asetteluja. [Elovaara & Haarla, 2010: 354, 380.]

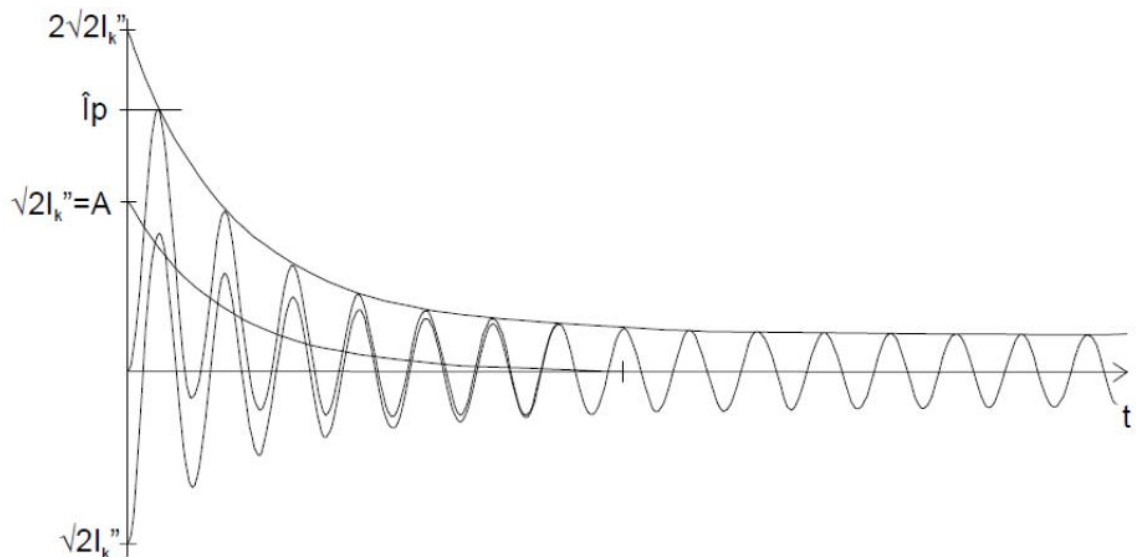
Differentiaalirele havaitsee myös muuntajan kytkentävirtasysäyksen erovirtana. Tämä voidaan estää yliaaltosalvalla, joka lukitsee releen ja estää laukaisun verkkoon kytkemisen ajan, eli havaitessaan 100 Hz komponentin. Yliaaltosalpa laskee toisen harmonisen ja perustaajuisen komponentin amplitudien suhdetta I_{d2f}/I_{d1f} . Mikäli tehomuuntajaa yritetään kytkeä verkkoon vikaa vasten, voidaan erovirran toiseen harmoniseen perustuva lukitus estää erillisellä algoritmilla. Lukituksenesto perustuu normaalin ja vikavirtaan summautuneen kytkentävirtasysäyksen erilaiseen virran käyrämuotoon ja muutosnopeuteen. Esto havaitsee siis pelkästään suojausalueella olevan vian ja on näin selektiivinen. [ABB 2002.]

Muuntajan stabiilius voi vaarantua myös syöttöjännitteen äkillisesti noustessa. Tämä voi aiheuttaa muuntajan kyllästymisen ja siten nopean magnetointivirran nousun, jonka differentiaalisuoja havaitsee erovirtana. Kyllästyneen muuntajan magnetointivirrassa on paljon viidettä yliaaltoa, josta tämä voidaan havaita ja lukita käyttämällä viidennen harmoniseen perustuvaa lukitustoimintoa. Mikäli ylijännitetilanne pahenee muuntajalle vaaralliseksi ja viidennen harmonisen osuus kasvaa niin kutsuttuun polvipisteeseen asti, voidaan lukitus kuitenkin poistaa viidennen harmonisen lukituksen vapautustoiminnon avulla. [ABB 2000: 7.5.6.]

Pahojen vikojen varalta käytetään lisäksi pikalaukaisuporrasta. Pikalaukaisuporta toimintaa ei ole vakavoitu eikä sitä voi lukita. Porras toimii välittömästi, kun erovirta ylittää asettelun. Pikalaukaisuporta asettelun täytyy olla suurempi kuin kytkentävirtasysäys.

4.2.2 Ylivirtasuojaus

Ylivirtarele (over current relay) toimii, kun se havaitsee suojattavan kohteen virran ylittävän sille asetellun arvon. Ylivirtareleet ovat yksisuurereleitä ja ne jaetaan hetkellis-, vakioaika- sekä käänteisaikaylivirtareleisiin. Vakioaikaylivirtareleitä käytetään paljon aika-selektiivisyyteen perustuvissa säteittäisverkoissa, joissa kuormitusvirta on pienempi kuin pienin vikavirta. Silmukkaverkoissa voidaan ylivirta- ja oikosulkusuojauksessa käyttää suunnattuja ylivirtareleitä, jotka päättelevät suunnan jännitteen ja virran vaihekulman avulla. Nykyisiin kennoterminaaleihin on yhdistettynä kaikki ylivirtareleen toiminnot ja käyttäjä voi käyttökohteen mukaan valita tarvitsevansa toiminnon. Kolmivaiheisessa oikosulussa oikosulkuvirta voi olla jopa 40-kertainen kuormitusvirtaan nähden (kuva 6). [Mörsky 1992: 36.]

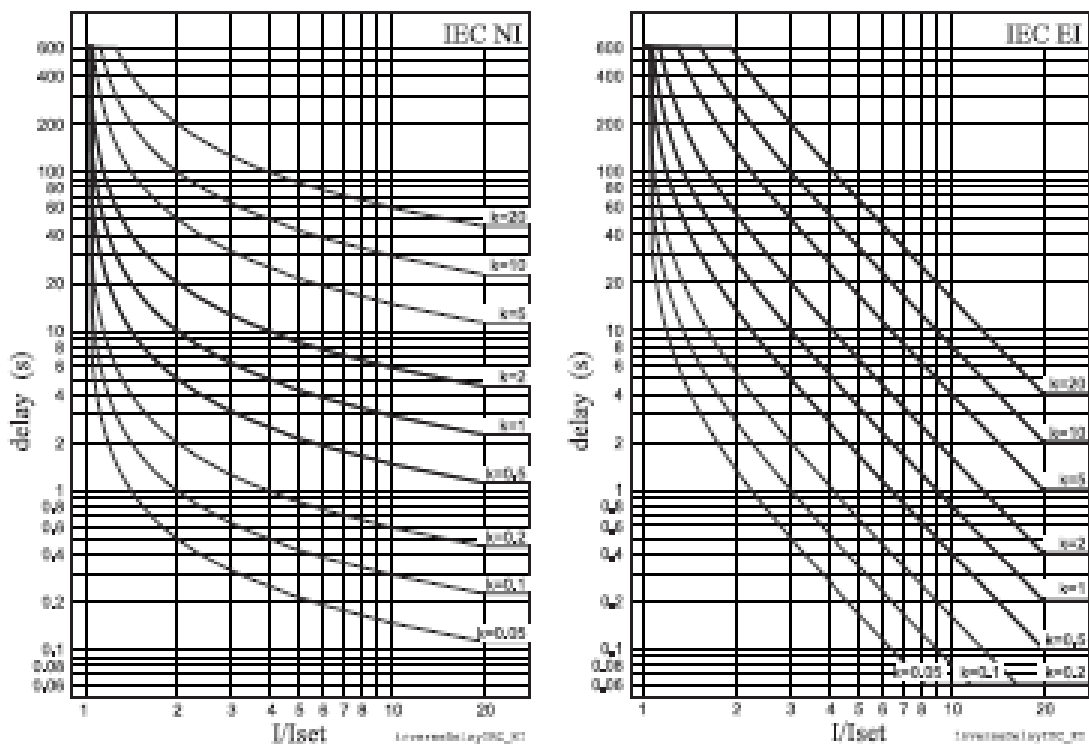


Kuva 6. Epäsymmetrisen oikosulkuvirran käyrämuoto. [ABB 2000: 7.2]

Hetkellinen ylivirtarele (instantaneous over current relay) havahtuu virran ylittäessä sille asetellun arvon ja toimii välittömästi tämän jälkeen, ilman viivettä.

Vakioaikaylivirtarele ($I >$, definite time-delay overcurrent relay) havahtuu virran ylittäessä sille asetellun arvon ja toimii virtariippumattoman asetteluajan, ”vakioajan”, kuluttua. Kun virta vähenee riittävästi asetteluarvon alapuolelle, rele palautuu ja on valmis uuteen havaitumiseen.

Mikäli muuntajasuojaus on toteutettu vakioaikaylivirtareleellä, sen 1. porras ($I>$) suojaa sekä kaapelia että muuntajaa ylikuormituksesta, suojaa muuntajan alajännitepuolen nivoissa sattuvissa vioissa sekä toimii alajännitepuolen kiskoston varasuojana. Ensimmäisen portaan asettelu on hiukan suurempi kuin alajännitepuolen ylemmän portaan ja kiskostosuojan havahtumisarvo. Hidastusaika on myös porrastettu alajännitepuolen suojauksesta, jotta selektiivisyys varmistetaan. Niin kutsuttu momenttiporras ($I>>$) toimii samoin kuin ensimmäinen porras, mutta suuremmalla virralla ja lyhemmällä ajalla. Se suojaa muuntajaa yläjännitepuolen vioilta suojaten kaapelia ja yläjännitekäämiä. Momenttiportaan asettelu on 20–30 % suurempi kuin muuntajan oikosulkuvirta, jotta suojausalue ei yletä toisiopuolelle asti. Yleensä momenttiportaan havahtuminen lukitsee ylemmän suojausportaan releen toiminnan selektiivisyyden varmistamiseksi. Fingridin ohjeiden mukaan päämuuntajan 110 kV:n puolella sattuvat oikosulut pitää laukaista pois yhteensä 0,1 sekunnissa, joten momenttiporras tulee asettaa oikein. [Mörsky 1992: 190; Mäkinen 2009; Fingrid 2012b.]



Kuva 7. Käänteisaikaylivirtareleen IEC-standardin 60255-3 mukaiset Normal Inverse (NI) sekä Extremely Inverse (EI) toimintakäyrät. [Vamp 2009]

Käänteisaikaylivirtarele (I/t , IDMT-, Inverse Definite Minimum Time relay) havahtuu virran ylittäessä sille asetellun arvon ja toimii ajassa, joka perustuu verkon vikavirran ja havah-

tumisvirran $\frac{I}{I_{>}}$ suhteeseen. Rele siis laukaisee suurivirtaiset viat nopeammin kuin pieni-
virtaiset. Kuten kuvasta 7 voidaan huomata, käänteisaikahidasteinen ylivirtaporras toimii
toimintaperiaatteensa mukaisesti, eli suuremmalla virralla suojaus toimii nopeammalla
ajalla. Käänteisvaikutuksen jyrkkyys riippuu valitusta IEC-standardi 60255-3 käyrästä.
Käyrien funktioarvot on esitelty taulukossa 3. Käänteisaikahidasteinen ylivirtareleen
laukaisuaika t_{TRIP} voidaan laskea yhtälöllä 2. [ABB 2000: 7.5.]

$$t_{TRIP} = \frac{A * \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} \quad (2)$$

I on verkon vikavirta

$I_{>}$ on releen havahtumisvirta

A ja P ovat kertoimia taulukon 3 mukaan.

Taulukko 3. IEC-standardin 60255-3 mukaiset käänteisaikaylivirtareleen toimintakäyräkohtai-
set vakiot A ja P ei jyrkkyyksille.

Käyrän jyrkkyys	β	α
Normal inverse (NI)	0,14	0,02
Very inverse (VI)	13,5	1
Extremely inverse (EI)	80	2
Long time inverse (LTI)	120	1

4.2.3 Maasulkusuojaus

Maasulku ($I_{0>}$, earth fault, residual overcurrent protection) on määritelty eristysviaksi
käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maadoitetun osan välillä. Johtava
yhteys voi syntyä myös valokaaren välityksellä. Kaksoismaasulku tarkoittaa samanai-
kaista kahden eri vaiheen ja eri verkonkohdan eristysvikaa. Käyttömaadoitetussa ver-
kossa maasulku on yksivaiheisen oikosulun kaltainen ja sen suuruus voidaan laskea
verkon impedanssien avulla. Oikosulkusuojaajat havaitsevat vian tällöin, kunhan vikaresis-
tanssi on riittävän pieni. Maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa koko galvaani-
sesti yhteen kytketty verkko täytyy tuntea, jotta maasulkuvirrat sekä nollajännitteet voi-
daan määrittää. Muuntajan toisiopuolen maasulussa maasulkuvirran suuruus riippuu vi-
kapiirin impedanssista, muuntajan kytkentäryhmästä, vikapaikan ja maan välisestä jän-
nitteestä sekä vikaresistanssista. [ABB 2000: 8.1.]

Maasulun aikana maassa kulkee askeljännitteen aiheuttava maasulkuvirta. Maasulkuvirta kulkee vaiheen ja maan kautta muuntajan tähtipisteeseen ja ehjien vaiheiden maakapasitanssien kautta verkkoon. Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirta kulkeutuu ehjien vaiheiden maakapasitanssien kautta. Maasulkuvirta on maasta erotetussa verkossa pieni, koska vain johtimien kapasitanssien kautta kulkee nollavirta. Maasta erotetussa verkossa muuntajan tähtipiste ei ole maadoitettu, joten sieltä ei ole yhteyttä maahan. Sammutetussa verkossa kapasitiivinen maasulkuvirta pyritään kompensoimaan induktiivisella kompensointikelalla, jolloin virtojen summa on lähellä nollaa. Maasulkuvirran suuruus voidaan laskea Ohmin lain mukaan (yhtälö 3).

$$I_e = \frac{U_e}{R_e} \quad (3)$$

I_e on maasulkuvirta

U_e on jännitehäviö

R_e on maadoitusresistanssi.

Osa vikavirrasta voi kulkeutua maahan muita reittejä, kuten ukkosköysiä tai kaapelivaippoja pitkin. Tämä otetaan huomioon reduktiokertoimella. [VEO Academy, 2005.]

Fingridin ohjeistuksessa vaaditaan pääsuojauksen nopea toiminta, joka tarkoittaa käytännössä hidastamatonta alle 0,1 sekunnin laukaisua myös maasuluissa 20 Ω:n vikaresistanssiin saakka. Herkkä maasulkusuojaus <500 Ω vikaresistanssiin asti tulee toimia säteittäisessä verkossa viimeistään 0,7 sekunnin hidastuksella ja seuraava porras viimeistään 1,0 sekunnin hidastuksella. Kapasitiivinen varausvirta maasuluissa on otettava huomioon, jos se ylittää 50A. [Fingrid 2014.]

4.2.4 Nollajännitesuojaus

Nollajänniterele (U_0), residual voltage relay) havaitsee missä tahansa verkonosassa syntyvän maasulun nollajännitteenä. Se havaitsee myös suhteellisen suuriresistanssiset (>5000 Ω) viat laajoissakin verkoissa. Se toimii siis pätevänä yleishälytyksenä, mutta epäselektiivisyyden takia sen tehtävä on usein toimia vain aseman suojana sekä lähtöjen suojien varasuojana. Nollajännite voi olla jännitemuuntajan avokolmiokäämityksestä tai verkon tähtipisteen ja maan välille kytketyn yksivaihemuuntajan toisiosta mitattu suurearvo. Toinen vaihtoehto on laskennallisen summamittauksen avulla saatu nollajännite esimerkiksi sensoreita käyttäen. [Mörsky 1992: 327.]

5 Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset - VJV

Suomen kantaverkon hallinnasta vastaa Fingrid Oyj. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset (VJV) on Fingridin tekemä ohje vaatimuksista, jotka teholtaan yli 0,5 MVA:n voimalaitosten tulee täyttää liittyessä Suomen voimajärjestelmään. Viimeisin versio vaatimuksista on VJV2013. Vaatimuksilla varmistetaan, että

- voimalaitos kestää verkon aiheuttamat jännite- ja taajuusvaihtelut
- voimalaitos ei aiheuta häiriöitä kuuluessa voimajärjestelmään
- voimalaitos toimii eri käyttötilanteissa sekä häiriötilanteissa luotettavasti ja varmasti
- verkkoyhtiöillä on käytössään tarvittavat tiedot eri voimalaitoksista.

Vaatimusten täytyminen on asiakkaan vastuulla. Verkkoon kuuluvien voimalaitosten täytyy täyttää lisäksi Fingrid Oyj:n yleiset liittymisehdot (YLE) sekä ottaa huomioon ”Fingridin 110 kV:n verkon sähkön laatu” -raportissa kuvatut tekijät. Verkon stabiiliuden kannalta on tärkeää, että vaaditut ehdot täyttyvät. [Fingrid 2012a.]

Vesivoimalaitoksien päämuuntajasuojauksissa täytyy huomioida voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Pääpaino VJV:ssä on kuitenkin taajuus- sekä jännitevaihteluissa, joita valvotaan voimalaitosten keskijännitesuojauksissa.

6 CASE: Kymijoen vesivoimalaitokset

6.1 Laitteisto

Jokaisella UPM:n Kymijoen vesivoimalaitoksella on kolme Kaplan-turbiinia ja täten kolme koneistoa ja tahtigeneraattoria. Laitoksien nimellinen kokonaisteho on 82,0 MW. Tarkemmat laitoskohtaiset tiedot löytyvät taulukosta 4.

Taulukko 4. UPM:n Kymijoen vesivoimalaitokset.

Laitos	Putouskorkeus [m]	Valmistusvuosi	Revisiovuosi	Teho [MW]
Voikkaa 1 ja 2	9,0	1962/1991	2014	32,9
Kuusankoski	9,2	1946	1999	30
Keltti	6,1	1940	2010	19,1

6.1.1 Verkko

Vesivoimalaitokset liittyvät 110 kV:n voimansiirtoverkkoon (liite 1: Kuusankosken 110 kV:n verkko) voimalaitoksien läheisyydessä sijaitsevien kytkinasemien kautta. 110 kV:n verkko on UPM:n täysin omistama. Rengasverkko kulkee Korian sähköasemalta jokaisen vesivoimalaitoksen sekä Kymin paperitehtaan (Kuusaanniemi) kautta ja palaa Korialle reittiä Koria-Keltti-Kuusankoski-Kuusaanniemi-Voikkaa-Koria. Rengasverkon pituus on 28,8 km. UPM on tehnyt voimansiirtojohtoista kunnossapito- ja ylläpitopalvelusopimuksen palvelun toimittajan kanssa ja sähköasemien kunnossapidosta vastaa UPM:n oma henkilökunta. Verkon oikosulkulaskelmia ylläpidetään toimittajan toimesta.

Kaikkien Kymijoen vesivoimalaitosten generaattorien nimellisjännitteet ovat 10,5 kV, jolloin keskijännitejakelun jännitetaso on luonnollisesti 10 kV. Kaikki työssä käsitellyt vesivoimalaitosten päämuuntajat ovat täten muuntosuhteeltaan 110/10,5 kV:n muuntajia.

6.1.2 Muuntajat

Jokaisella vesivoimalaitoksella on omat öljyeristeiset päämuuntajansa, jotka sijaitsevat kytkinasemilla ulkotiloissa. Kaikkien muuntajien kytkentäryhmä on YNd11. Työn yhteydessä jokaisesta muuntajasta tehtiin oma muuntajakorttinsa, josta löytyvät kaikki muuntajan tärkeät tiedot, kuten teho, nimelliset ensiö- ja toisiojännitteet, mahdolliset käämi-/väliottokytkintiedot, oikosulkuimpedanssi, häviötehot ja mittamuuntajatiedot. Lisäksi muuntajakortissa on laskentatoiminnot esimerkiksi ensiö- ja toisiovirroille, ensiö- ja toisio-oikosulkuvirroille, muuntosuhteille, oikosulkuteholle ja hyötysuhteelle.

Kuusankosken muuntajat ovat lähes identtiset, ja muuntajina toimivat Strömbergin 40 MVA:n öljyeristeiset muuntajat. Kuusankosken PT1 on valmistettu 1981 ja nykyinen PT2 on valmistettu 1980. Molemmat muuntajat on perushuollettu 2000-luvulla. Vuonna 2011 Kuusankosken vesivoimalaitoksen 110 kV:n avokytkinlaitos siirrettiin ulos voimalaitoksen sisätiloista ja korvattiin täysin uudella GIS-kojeistolla. Päämuuntajat sijoitettiin GIS-aseman viereen ulkotiloihin. Tällöin Kuusankosken vesivoimalaitoksesta tuli osa 110 kV:n rengasverkkoa, eikä liityntä tule enää Kymin paperitehtaan kautta. Sen sijainti verkon osana muuttui fyysisen sijainnin lisäksi. Nykyisten päämuuntajien PT1 ja PT2 ainoat eroavaisuudet ovat oikosulkuimpedanssi ja muuntosuhde. Nämä vaikuttavat asetteluihin, ja tämän takia muuntajien suojauksia on käsitelty erillisissä luvuissa 6.3.1 ja 6.3.2.

Voikkaan vesivoimalaitos jakautuu kahteen osaan. Uudempi puoli valmistui 1991 ja käsittää kaksi koneistoa. Vanhalla puolella on yksi vuonna 2014 täysin peruskorjattu koneisto ja tahtigeneraattori G4. Vanhan puolen revisiossa uusittiin myös 10 kV:n kojeisto 33C ja sen päämuuntaja PT5 ABB KTPU 12 MVA. Voikkaan uuden puolen 10 kV:n kojeiston 36C päämuuntaja on PT4 Strömberg KTRA 29 MVA.

Keltin vesivoimalaitoksella on yksi päämuuntaja, Strömbergin KTRW 32 MVA. Se on valmistettu vuonna 1980 ja perushuollettu 2008.

6.1.3 Suojareleet

110 kV:n sekä 10 kV:n kojeistot ja suojareleistys on toteutettu pääosin ABB-tuotteilla lukuun ottamatta Keltin 10 kV:n suojausta, joka on toteutettu VAMP:in suojareleillä. Pääsuojana kaikissa päämuuntajissa toimii ABB RET tai ABB SPAD -erovirtarele. 110 kV:n

varasuojaus on toteutettu ABB REF -kennoterminaalilla. Taulukossa 5 näkyy päämuuntajälähdöissä käytetyt suojarleet. Kaikki suojarleet on määräaikaistestetty vuoden 2015 kuluessa, jolloin myös suojarleohjelmat on ladattu CAP 505 -ohjelmalla ohjelmointikoneelle.

Taulukko 5. Päämuuntajien suojarleet.

Kojeisto	Tyyppi	Kenno	Valmistaja	Laji
KUU61A	Kennoterminaali	A02, Varasuojaja PM2	ABB	REF 543
KUU61A	Erovirta	A02, PM2	ABB	RET 543
KUU31C	Ylivirtasuojaja	C103, PM2	ABB	SPAS 348C
KUU61A	Kennoterminaali	A04, Varasuojaja PM1	ABB	REF 543
KUU61A	Erovirta	A04, PM1	ABB	RET 543
KUU31C	Ylivirtasuojaja	C201, PM1	ABB	SPAS 348C
VO63A	Kennoterminaali	A04, Varasuojaja VVL 1 PT5	ABB	REF 543
VO63A	Erovirta	A04, VVL 1 PT5	ABB	RET 541
VO33C	Kennoterminaali	C01, PT5	ABB	REF 610
VO63A	Kennoterminaali	A10, Varasuojaja VVL2 PT4	ABB	REF 543
VO63A	Erovirta	A10, VVL2 PT4	ABB	SPAD 346C3
VO36C	Kennoterminaali	C06, PT4	ABB	REF 610
KE64A	Kennoterminaali	AE01, Varasuojaja Keltti laitos	ABB	REF 543
KE64A	Erovirta	AE01, Keltti laitos	ABB	SPAD 346C3
KE32C	Ylivirtasuojaja	C1, AT1	VAMP	140

6.1.4 Suojausselvityksen lähtötiedot

Suojausselvityksen taustatietoina käytettiin ABB Prosessiteollisuuden minimi- ja maksimioikosulkulaskentaa vuodelta 2014. Oikosulkulaskenta on ajantasainen eikä rengasverkkoon ole tullut suuria muutoksia viimeisimmän laskelman jälkeen. Oikosulkulaskelmassa on käytetty vikaimpedanssikerrointa 1,0 minimioikosulkuvirtojen laskentaan. Kaikki releohjelmat ja konfiguroinnit löytyivät CAP 505 -ohjelmasta ja tarvittaessa tietoja tarkastettiin ja päivitettiin suoraan kennoterminaaleilta. Lisäksi käytössä oli UPM Energian kaikki sähköiset- ja arkistosta löytyvät dokumentit ja pöytäkirjat kytkinasemista, suojarleista sekä voimalaitoksista. Piirustukset ovat välillä kuitenkin vanhentuneita ja näin parhaimman ja viimeisimmän tiedon sai UPM Energian henkilökunnalta.

Päämuuntajien maasulkusuojaukset vaativat suurempaa selvitystä sähköasemittain, joten ne päätettiin rajata tämän selvityksen ulkopuolelle.

6.2 63A Voikkaa

6.2.1 PT4 29 MVA:n lähtötiedot

Lähtötiedot (lähteenä oikosulkuvirtalaskelma ja muuntajakortti):

- minimoioikosulkuvirta muuntajan yläjännitenavoissa: 8,3 kA
- minimoioikosulkuvirta 110kV puolella muuntajan alajännitepuolen viassa 0,5 kA.
- muuntajan [nimellisvirta] $I_{1N}=139,5$ A / $I_{2N}=1594,6$ A
- muuntajan [oikosulkuvirta] $I_{1k}=1,86$ kA / $I_{2k}=20,37$ kA
- virtamuuntajat: HV 200/1 A, LV 2000/1 A.

Suojareleiden asetellut löytyvät taulukosta 6.

Taulukko 6. 63A10 PT4 110 kV:n erovirta- ylivirta- ja maasulkusuojiin asetellut sekä muuntajan toisiopuolen 10kV:n ylivirtasuojauksen asetellut.

Erovirtasuoja SPAD 346 C3

Basic setting	50 %
Starting ratio	40 %
Turn-point 2	$1,5 \cdot I_n$
Inst. Setting	$10 \cdot I_n$
Ratio I2f/I1f>	15 %
2 harm. Block	with deblock
Ratio I5f/I1f>	35 %
5 harm. Block	In use

10 kV ylivirtasuoja REF 610

	[A], [s]	toisio x/I_n	
I>	2000	1,00	suuntaamaton
tl>>	0,9		
I>>	6000	3,00	suuntaamaton
tl>>	0,04		
Io>	2000	1,00	suuntaamaton
tIo>	0,5		

Ylivirtasuoja REF 543

	[A], [s]	toisio x/I_n	
I>	300	1,50	suuntaamaton
tl>	1,2		
I>>	2000	10,00	suuntaamaton
tl>>	0,05		

Maasulkusuoja REF543

	[A], [s]	toisio x/I_n	
Io>	150	0,75	suuntaamaton
tIo>	0,7		
Io>>	600	3,00	suuntaamaton
tIo>>	0,05		

6.2.2 PT4 29 MVA:n asettelut

Muuntajan primäärisuojana toimii vakavoitu differentiaalirele SPAD 346 C3. Suojauksen perusasetteluna (Basic setting) on 50 % asettelualueen ollessa 5-50 %. Perusasettelun lähtökohtana ovat muuntajan tyhjäkäyntivirta suurimmalla käyttöjännitteellä sekä virtamuuntajien virheet (± 3 %). Perusasettelu määrittää myös laukaisukäyrän yleisen korkotason. Asettelu on selkeästi yläkanttiin ja ehdotetaan, että sitä pienennetään 25 %:iin.

Differentiaalireleen havahtumissuhteen asettelu on 40 %. Havahtumissuhde määrittää laukaisukäyrän kulmakertoimen muuntajan ollessa kuormitettuna (vakavointivirta $0,5-1,5 \cdot I_n$). Asettelussa täytyy huomioida virtamuuntajien virheet sekä erityisesti käämikytkimen aiheuttamat virheet, jotka vaikuttavat tällä kuormitusalueella. Muuntajassa ei kuitenkaan ole käämikytkintä, jolloin asettelu voi olla maltillisempi. Virtamuuntajien tarkkuusluokka on 10P, eli suurin mahdollinen virhe on ± 3 %. Korkea perusasettelu yhdistettynä korkeaan havahtumissuhteeseen heikentää suojauksen toimintaa muuntajan sisäisissä vioissa. Jotta suojauksesta saadaan riittävän herkkä sisäisiä käämi- ja kierrosulkuja vastaan, ehdotetaan asettelun pienentämistä 30 %:iin.

Differentiaalireleen hetkellislaukaisun asetteluna on $10 \cdot I_n$ (2000 A). Hetkellislaukaisun asettelun tulee olla suurempi kuin kytkentävirtasysäys, koska toisen harmonisen esto ei koske hetkellislaukaisua. 30 MVA tehomuuntajan kytkentävirtasysäys on korkeintaan $6,0 \cdot I_n$ (837 A) riippuen kytkentähetkestä ja remanenssista [Mäkinen 2009]. Yläjännitepuolen minimoioikosulkuvirta on 8,3 kA, eli suurempi kuin hetkellislaukaisun asettelu. Hetkellislaukaisun asettelu on siten selektiivinen, suojaa yläjännitepuolen vioissa, eikä siihen ehdoteta muutoksia.

Differentiaalireleellä on käytössä toisen harmonisen ja perusaallon suhteeseen perustuva kytkentävirtasysäyksen tunnistus. Asetteluna on yleisesti käytetty 15 %, suhteen noustessa vähintään 17,5 %:iin normaalin kidesuunnatun tehomuuntajan käynnistyksessä [Mäkinen 2009]. Lisäasetuksena toiselle harmoniselle on käytössä "with deblock", joka tarkoittaa lukituksen vapautusta tietyissä tilanteissa, esimerkiksi yritettäessä kytkeä muuntajaa vikaa vasten verkkoon. Toisen harmonisen asettelut on todettu toimiviksi.

Differentiaalireleellä on käytössä myös viidennen harmonisen ja perusaallon suhteeseen perustuva lukitus, jolla muuntaja saadaan pidettyä verkossa ylijännitteen aiheuttamasta

erovirrasta huolimatta. Viidennen harmonisen asettelu 35 % on yleisesti käytetty ja toimiva.

110 kV:n muuntajälähdössä käytetään varasuojana differentiaalireleelle sekä 10 kV:n ylivirtasuojaukselle ABB:n REF 543 -kennotermiinaalia. Ylivirtasuojaus toimii kaksipuolaisena suuntaamattomana. Ensimmäinen porras $I_{>}$ toimii 10 kV:n ylivirtasuojan REF 610 varasuojana. Se suojaa kaapelia sekä muuntajaa ylikuormitukselta. Asettely on $1,50 \cdot I_n$ (300 A) ja viiveenä 1,2 sekuntia. 300 A (110 kV) redusoituna 10 kV:n puolelle muuntajan muuntosuhteella on 3428,6 A (10 kV). 10 kV:n ylivirtasuojan asettely on $1,00 \cdot I_n$ (2000 A) ja viive 0,9 sekuntia. Suojaus toimii aika- sekä virtaselektiivisesti keski-jänniteportaan suojauksen kanssa ja tehtävänsä mukaisesti toisiokäämin sekä toisonapojen varasuojana. Minimioikosulkuvirta 110 kV:n puolella muuntajan toisioviassa on 0,5 kA, joten suojaus toimii kaikissa verkon kytkentätilanteissa. Suojan $I_{>}$ asettelua ehdotetaan muutettavan $1,00 \cdot I_n$:iin (200 A) suojan herkkyuden parantamiseksi. Aikaviive 1,2 sekuntia on toimiva ja selektiivinen myös kiskosuojan kanssa. Muuntajan nimellisvirta I_N on 140 A, jolloin 200 A olisi silti riittävä muuntajan ylikuormitus huomioiden. 200 A (110 kV) redusoituna 10 kV:iin on 2285,7 A, jolloin selektiivisyys 10 kV:n ylivirtasuojan asettelyn (2000 A) kanssa säilyisi silti. Kytkentävirrasyökyksen vaikutus tulee vielä varmistaa ennen asettelyn pienentämistä, tai vaihtoehtoisesti ottaa REF 543 kennotermiinaalille käyttöön kytkentävirrasyökyksen tunnistustoiminto ”Inrush3”, joka tuplaa asettelyn havaitessaan toisen harmonisen ja perusaallon suhteen nousevan yli Inrush3-asettelun.

REF 543 -ylivirtasuojan toinen porras $I_{>>}$, eli momenttiporras, toimii varasuojana muuntajan yläjännitepuolen vioille. Asettely on sama kuin primäärisuojan hetkellislaukaisu, $10,00 \cdot I_n$ (2000 A) ja viiveenä 0,05 sekuntia. Hetkellislaukaisussa tärkeää on, ettei suojaus ylety muuntajan alajännitekäämille asti. Muuntajan oikosulkuvirta I_k on 1,859 kA, joten suojaus on selektiivinen ja toimii vain ensiöpuolen vioissa.

Relesuojauksen lisäksi muuntajalla on kaasurele, ylipainerele, ja öljypinnan sekä -lämpötilan valvonta. Lämpö-, kaasu- sekä ylipainerele laukaisevat toimiessaan muuntajan 110 kV:n sekä 10 kV:n katkaisijat. Öljypinnan korkeuden valvonta on vain hälyttävä.

Muuntajan PT4 10 kV:n suojauskaavio on liitteessä 2.

6.2.3 PT5 12 MVA

Voikkaan PT5:n primäärisuojana toimii vakavoitu differentiaalirele RET 541. Perusasetteluna on 20 % ja havahtumissuhteen asetteluna 30 %. Muuntajassa ei ole käämikyt-kintä, mutta siinä on jännitteen säätöä varten viisiasentoinen väliottokytkin. Näillä aset-teluilla suojaus toimii vaadittavalla herkkyydellä myös sisäisiä vikoja vastaan. Hetkellis-laukaisun asetteluna on $10 \cdot I_n$ (800 A) ja toisen- sekä viidennen harmonisen tunnistuk-seen perustuvat lukitustoiminnot ovat käytössä yleisesti käytetyillä asetteluilla aivan ku-ten PT4:lläkin.

Varasuojana differentiaalireleelle sekä 10 kV:n ylivirtasuojaukselle toimii 110 kV:n muun-tajalähdössä ABB:n REF 543 -kennotermiini. Ylivirtasuojaus toimii kaksipuolaisena suuntaamattomana. Ensimmäisen portaan $I >$ asetteluna on $0,3 \cdot I_n$ (120 A 110 kV, redusoituna 10 kV:iin 1309,1 A) ja viiveenä 3,0 sekuntia. $I >$ -portas toimii varasuojana 10 kV:n REF 610 -suojareleelle, jonka asetteluna on 1500 A ja viiveenä 2,5 sekuntia. Suo-jaus toimii aikaselektiivisesti, mutta viiveaika 3,0 sekuntia alajännitepuolen oikosulun va-rasuojana on pitkä. Viivettä tulisi pienentää, mutta selektiivisyyden varmistamiseksi se vaatisi suojausketjun selvittämistä aina generaattorisuojiiin asti. Ylivirtasuojauksen mo-menttiportaan $I >>$ asetteluna on $5 \cdot I_n$ (2000 A) ja viiveenä suojareleen mahdollistama mi-nimi 50 millisekuntia. Yläjännitepuolen oikosulun varasuojaukselle saataisiin lisää herk-kyttä pienentämällä $I >>$ asettelua esimerkiksi $2,5 \cdot I_n$:ään (1000 A). Tämä olisi silti selke-ästi yli muuntajan oikosulkuvirran ($I_k=577$ A), eli selektiivinen 10 kV:n suojauksen kanssa. Saavutettava hyöty olisi kuitenkin pieni minimoikosulkuvirran muuntajan yläjän-nitenavoissa ollessa 8,3 kA, ja tämän vuoksi siihen ei ehdoteta muutosta.

Relesuojauksen lisäksi muuntajalla on kaasurele, ylipaineventtiili, öljyn lämpömittari, öl-jynkorkeudenosoitin, ja käämin lämpötilan kuvaajat ensiö- sekä toisiopuolelta. Kaikki suojat laukaisevat muuntajan 110 kV:n ja 10 kV:n katkaisijat öljynkorkeuden osoitinta lukuun ottamatta, jolta tulee vain hälytys.

6.3 61A Kuusankoski

6.3.1 PT1 40 MVA

Kuusankosken PT1:n primäärisuojana käytetään ABB RET 543 -kennoterminaalia. Kennoterminaalissa on käytössä vakavoitu erovirtasuojaus, kaksiportainen suuntaamaton ylivirtasuojaus sekä ylikuormitussuojaus muuntajalle. Erovirtasuojan perusasetteluna käytetään 30 % ja havahtumissuhteen asetteluna 35 %. Hetkellisilaukaisun asetteluna on $6 \cdot I_n$ (1800 A), joka on yli muuntajan kytkentävirtasysäyksen. Toisen harmonisen tunnistukseen perustuvan lukituksen asetteluna on 20 %, muilla muuntajilla totutun 15 % sijaan. Muuntajalla ei ole käytössä toisen harmonisen estoa (with deblock), eli käynnistettäessä muuntajaa vikaa vastaan toisen harmonisen lukitus on käytössä. Myöskään viidennen harmonisen lukitus ei ole käytössä, joten muuntajan hetkellinen ylijännite voi aiheuttaa erovirtasuojan virhelaukaisun. Tämän takia erovirtasuojaan ehdotetaan otettavaksi käyttöön toisen harmonisen "with deblock" -asetus sekä viidennen harmonisen estosuoja. Suuntaamattoman ylivirtasuojan $I_{>}$ -portaan asetteluna on $1,90 \cdot I_n$ (570 A, redusoituna 10 kV 5971 A) ja viiveenä 0,75 sekuntia. 10 kV:n ylivirtasuojan asetteluna on 4000 A ja viiveenä sama 0,75 sekuntia. Ylivirtasuojan asettelu on suuri ja uudeksi asetteluksi ehdotetaan $1,33 \cdot I_n$ (400 A, redusoituna 10 kV 4190 A), joka on jo käytössä varasuojan REF 543 portaalla $I_{>}$ ja virtaselektiivinen 10 kV:n kanssa. Myös 10 kV:n asettelu vaikuttaa suurelta, mutta selektiivisyyden varmistamiseksi sen pienentäminen vaatisi suojausketjun selvittämistä aina generaattorisuojiiin asti. $I_{>>}$ -portaan asetteluna on $10,48 \cdot I_n$ (3144 A) ja viiveenä releen minimi 0,05 sekuntia. Muuntajan oikosulkuvirta I_{1k} käämikytkimen suurimmalla asennolla on 2,33 kA, jolloin suojausporras on selektiivinen ja suojaa vain ensiöpuolta.

Primäärisuojan RET 543 -varasuojana toimii REF 543 -kennoterminaali kahdella suunnatulla ja yhdellä suuntaamattomalla portaalla. $I_{>}$:n suunta on johdolle (muuntajalle) ja asetteluna $1,33 \cdot I_n$ (400 A), joka jo todettiin toimivaksi. $I_{>>}$:n suunta on kiskolle ja asetteluna on $1,00 \cdot I_n$ (300 A) ja viiveenä 0,75 sekuntia muuntajan nimellisvirran I_{1N} ollessa 210 A. Asettelu toimii 110 kV:n kiskodifferentiaalireleen REB 670 -varasuojana. Suuntaamattoman portaalla $I_{>>>}$ asetteluna on $7,33 \cdot I_n$ (2199 A) ja viiveenä releen minimi 0,05 sekuntia. Muuntajan oikosulkuvirta I_{1k} käämikytkimen suurimmalla asennolla on 2,33 kA. Asettelu on alle suurimman oikosulkuvirran, ja voi näin yletää myös muuntajan toisiopuolelle, eli suojausporras ei ole selektiivinen 10 kV:n suojauksen kanssa. Uudeksi asetteluksi ehdotetaan $9,00 \cdot I_n$ (2700 A) samalla viiveellä kuin aiemmin.

Relesuojauksen lisäksi muuntajalla on 110 kV:n ja 10 kV:n muuntajakatkaisijoiden laukaisut kaasureleeltä, käämikytkimen suojareleeltä, muuntaja öljynlämpötilasta ja käämin lämmöstä. Näiden lisäksi hälytyksiä muuntaja öljynkorkeuden ala- sekä ylärajoista ja tuuletinhäiriöstä.

6.3.2 PT2 40 MVA

Kuusankosken PT2:n erona PT1:een on oikosulkuimpedanssi Z_k sekä ensiöjännitteen nimellisarvo U_{1N} . PT1:n oikosulkuimpedanssi käämikytkimen keskiasennossa on 9,9 % ja PT2:n vastaavasti 10,1 %. PT1:n nimellinen ensiöjännite on 110 kV, kun PT2:n on 115 kV. Molemmissa muuntajissa on 19-asentoinen käämikytkin. Suojaukset on toteutettu täysin samoilla periaatteilla ja samoilla releillä, mutta eri asetteluilla.

PT2:n primäärisuojan RET 543 erovirtasuojaan ehdotetaan otettavaksi käyttöön toisen harmonisen "with deblock" -asetus sekä viidennen harmonisen estosuoja. Lisäksi ylivirtasuojan $I >$ portaan asettelu on suuri ja uudeksi asetteluksi ehdotetaan $1,33 \cdot I_n$ (400 A) ja viiveeksi sama 0,75 sekuntia. Myös $I >>$ hetkellislaukaisun asettelu on suuri, ja uudeksi asetteluksi ehdotetaan $9,00 \cdot I_n$ (2700 A) ja viiveeksi sama releen minimi 50 millisekuntia.

PT2:n varasuojan REF 543 -asetteluista hetkellislaukaisun $I >>$ asettelu $7,55 \cdot I_n$ (2265 A) on hyvin lähellä muuntajan maksimioikosulkuvirtaa 2,18 kA. Uudeksi asetteluksi ehdotetaan $9,00 \cdot I_n$ (2700 A), jotta selektiivisyys toisiopuolen 10 kV:n suojauksen kanssa varmistetaan.

Relesuojauksen lisäksi muuntajalla on 110 kV:n ja 10 kV:n muuntajakatkaisijoiden laukaisut kaasureleeltä, käämikytkimen suojareleeltä, käämin lämpötilasta ja muuntajan öljynlämpötilasta. Näiden lisäksi hälytyksiä muuntaja öljynkorkeuden ala- sekä ylärajoista, käämikytkimen öljyn ala- sekä ylärajoista ja tuuletinhäiriöstä.

6.4 64A Keltti

6.4.1 AT1 31,5 MVA

Keltin päämuuntajan primäärisuojana käytetään SPAD 346 C3 -vakavoitua differentiaali-relettä. Suojauksen perusasetteluna on 34 % ja havahtumissuhteen asetteluna 50 %. Muuntajassa ei ole käämikytkintä, mutta siinä on kolmiasentoinen väliottokytkin valinnalla ± 5 %. Differentiaalisuojan asettelut ovat suuret ja havahtumissuhteen asettelua ehdotetaan muutettavaksi 50 %:sta 35 %:iin. Muutos parantaa suojauksen herkkyyttä sisäisiä vikoja vastaan. Hetkellislaukaisun asetteluna on $10 \cdot I_n$ ja toisen- sekä viidennen harmonisen tunnistukseen perustuvat estotoiminnot ovat käytössä yleisesti käytetyillä asettelulla 15 % ja 35 %. Toisen harmonisen lukituksen esto "with deblock" on myös käytössä. Hetkellislaukaisun sekä harmonisten lukitusten asettelut on todettu toimiviksi.

Varasuojana differentiaali-releelle sekä 10 kV:n ylivirtasuojaukselle käytetään 110 kV:n muuntajalähdössä ABB:n REF 543 -kennoterminaalia. Ylivirtasuojaus on toteutettu suunnattuna kaksiportaisena. Ensimmäisen portaon $I >$ suunta on eteenpäin (muuntajalle) ja sen asetteluna on $0,5 \cdot I_n$ (150 A, redusoituna 10kV:iin 1685,7 A) ja viiveenä on 0,8 sekuntia. Tämä porras toimii varasuojana 10 kV:n VAMP 140 -suojareleelle, jonka ensimmäisen portaon asetteluna on 1800 A ja viiveenä 0,8 sekuntia. 10 kV:n suojauksessa käytetään lisäksi kahta muuta porrasta johdon suuntaan, jotka tekevät siitä selektiivisen 110 kV suojauksen kanssa. Keltissä koko 10 kV:n suojaus on toteutettu VAMP:n suojareleillä, toisin kuin Voikkaalla ja Kuusankoskella. 110 kV REF 543:n toinen porras $I >>$ on suunnattu kiskolle päin ja sen asettelu on $0,5 \cdot I_n$ (150 A). Suojan tarkoituksena on suojata 110 kV:n kiskoa oikosululta, koska Keltin 110 kV:n asemalla ei ole erillistä kisko-suojaa. Portaon $I >>$ viiveenä on 3,2 sekuntia. Ollakseen selektiivinen viiveen täytyy olla suurempi kuin linjadistanssisuojien varasuojien viiveet Korian- sekä Kuusankosken suunnista siten, että mahdollisessa kiskosto-oikosulussa Keltin voimalaitos syöttäisi vikavirtaa viimeisenä asemalle. Kentän AE03 eli Korian lähdön varasuojan REF 543 suunnattoman ylivirta-asettelu on $1,70 \cdot I_n$ (408 A) ja viive 2,0 sekuntia. Kentän AE02 eli Kuusankosken lähdön varasuojan REF 543 kiskolle päin suunnattu ylivirta-asettelu on $0,75 \cdot I_n$ (1200 A) ja viive 1,25 sekuntia. Näin ollen Keltin voimalaitoksen muuntajalähdön AE01 varasuojan REF 543 portaalle $I >>$ ehdotetaan viiveeksi 2,3 sekuntia nykyisen 3,2 sekunnin sijasta. Selektiivisyys säilyy tällöin silti mahdollisessa kiskosto-oikosulussa.

Muuntajan differentiaalireleen varasuojassa REF 543 ei ole hetkellislaukaisuporrasta. Tämä tarkoittaa, että mikäli yläjännitenoipoihin tulisi vikaresistanssiton kahden vaiheen oikosulku, eikä primäärisuojauksen toimisi, oikosulkuvirta olisi minimissään 8,8 kA ja laukaisun suorittaisi vasta porras $t > 0,8$ sekunnin viiveen kuluttua. Tämä viive aiheuttaisi jo Korian/Kuusankosken 110 kV:n linjadistanssisuojauksen toisen alueen laukaisun, epäselektiivisyyden ja 110 kV:n renkaan katkeamisen. Hetkellislaukaisuportaan asettelun täytyy olla suurempi kuin muuntajan oikosulkuvirta ($I_k=1,54$ kA) 10 kV selektiivisyyden varmistamiseksi. Releelle REF 543 ehdotetaan aseteltavaksi suuntaamaton $t >>>$ -porras asettelulla $6,50 \cdot I_n$ (1950 A) ja viiveeksi ehdotetaan releen minimiä eli 0,05 sekuntia. Releelle ei ole konfiguroitu NOC-porrasta SAT-vaiheessa, joten portaan lisääminen vaatii asettelumuutoksen lisäksi releen uudelleenkonfigurointia.

REF 543 -kennoterminalilla on käytössä alitaajuusportaat $f <$ ja $f <<$. Molemmilla alitaajuusportilla on asetteluna 48,3 Hz ja lisäksi jännitelukitus $0,3 \cdot U_n$, joka estää toiminnan Keltin aseman ollessa kylmänä. $F <$ viiveenä on 3,0 sekuntia ja $f <<$ viiveenä on 1,0 sekunti. Portaiden toiminta on sama, ainoa eroavaisuus on aikaviive. Tällöin käytännössä porras $f <$ ei toimi koskaan. Portaalta $f <<$ lähtee suora laukaisu Korian lähden AE03 katkaisijalle Q0 taajuuden tippuessa alle 48,3 Hz:n yli 1,0 sekunniksi. Asettelu on Keltistä katsottuna epäselektiivinen ja toimiessaan katkaisee koko 110 kV rengasverkon säteittäiskäytölle. Kantaverkkoliitynnän linjojen Keltti-Koria ja Voikkaa-Koria asettelut määrittelee kuitenkin kantaverkkoyhtiö Fingrid, ja asettelu voi liittyä esimerkiksi Korian kytkinaseman selektiivisyyteen. Asia tulee varmistaa yhdessä tulevan suuremman vesivoimalaitosten taajuusselvityksen (VJV-selvitys) kanssa. [Sinersaari 2016.]

Keltin muuntajalla on relesuojauksen lisäksi laukaisut muuntajan 110 kV:n katkaisijalle muuntajan paine- ja kaasureleiltä sekä muuntaja öljyn lämpötilasta. Lisäksi paine- ja kaasurele laukaisevat toimiessaan muuntajan 10 kV:n katkaisijan. Vaarallinen öljynpinnan korkeus aiheuttaa hälytyksen, muttei katkaisijoiden laukaisua.

6.5 Ehdotetut suojausmuutokset

Tässä kappaleessa on esitelty kaikki kappaleissa 6.1–6.3 ehdotetut ja perustellut asettelumuutokset. Ehdotukset tullaan käymään läpi toimittajan kanssa yhdessä 110 kV:n linjasuojauksien kanssa ennen varsinaisia asettelumuutoksia.

Voikkaan kytkinaseman kentän A10 muuntajan PT4 erovirtasuojan SPAD 346 C3 "basic setting P/In" (P) asettelua muutetaan 50 % -> 25 % ja "starting ratio S" (S) asettelua muutetaan 40 % -> 30 %. Saman kentän AE10PT4 kennotermiinalin REF 543 portaan "NOC3Low" ($I>$) asettelua muutetaan $1,50 \cdot I_n$ -> $1,00 \cdot I_n$ (kytkentävirtasysäyksen vaikutus varmistettava).

Kuusankosken GIS-aseman kentän A04 muuntajan PT1 kennotermiinalin RET 543 erovirtasuojan "Diff6T" parametrin "2. harm. block" asettelua muutetaan in use -> with deblock ja parametrin "5. harm. block" asettelua muutetaan not in use -> in use. Saman kennotermiinalin RET 543 portaan "NOC3Low" ($I>$) asettelua muutetaan $1,90 \cdot I_n$ -> $1,33 \cdot I_n$ ja portaan "NOC3Inst" ($I>>>$) asettelua muutetaan $7,33 \cdot I_n$ -> $9,00 \cdot I_n$.

Kuusankosken GIS-aseman kentän A02 muuntajan PT2 kennotermiinalin RET 543 erovirtasuojan "Diff6T" parametrin "2. harm. block" asettelua muutetaan in use -> with deblock ja parametrin "5. harm. block" asettelua muutetaan not in use -> in use. Saman kennotermiinalin RET 543 portaan "NOC3Low" ($I>$) asettelua muutetaan $2,00 \cdot I_n$ -> $1,33 \cdot I_n$ ja portaan "NOC3Inst" ($I>>>$) asettelua muutetaan $11,28 \cdot I_n$ -> $9,00 \cdot I_n$. Saman kentän A02 muuntajan PT2 kennotermiinalin REF 543 portaan "NOC3Inst" ($I>>>$) asettelua muutetaan $7,55 \cdot I_n$ -> $9,00 \cdot I_n$.

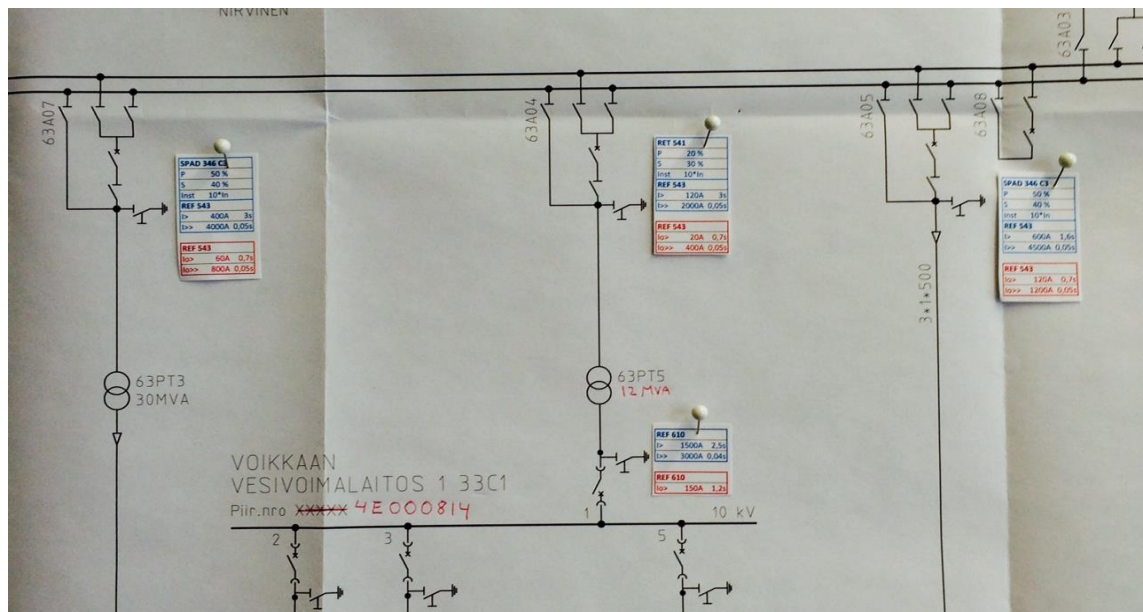
Keltin kytkinaseman kentän AE01 muuntajan AT1 erovirtasuojan SPAD 346 C3 asettelua "starting ratio S" (S) muutetaan 50 % -> 35 %. Saman kentän AE01AT1 kennotermiinalin REF 543 portaan "DOC6High" ($I>>dir$) viivettä muutetaan 3,20 s -> 2,30 s. Samalle kennotermiinalille REF 543 konfiguroidaan "NOC3High" ($I>>>$) -porras, jolle asettaaan "operation mode" definite time, "start current" $6,50 \cdot I_n$ ja "operate time" 0,05 s.

Lisäksi muuntajille ehdotetaan hankittavaksi ABB OnLine DGA -öljynkaasuanalysaattorit, joista saadaan reaaliajassa lähes kaikki samat tiedot kuin vuosittain otetuista kunnonvalvontaöljynäytteistä. Öljynäytteistä saadaan kaasuanalyysin lisäksi öljyn läpilyöntilujuus, -kosteus ja -inhibiittipitoisuus. Mikroprosessoriohjatulla kaasuanalysaattorilla voidaan kaasuanalyysin lisäksi mallintaa esimerkiksi öljynkosteuden trendikehitystä, ja näin voidaan pidentää öljynäytteiden ottoväliä. Kaasuanalysaattori hälyttää havaitessaan muuntajassa kehittyvän vian ja näin voidaan välttää muuntajan suurempi vaurioituminen. Analysaattorin käyttöönotto vaatii käyttökeskeytyksen, eli muuntajan katkaisijoiden avaamista ja maadoittamista. ABB:ltä on jo pyydetty tarjousta kyseisistä analysaattoreista.

6.6 Suojauskaavio

Koko 110 kV:n rengasverkon sekä keskijännitejakelun sisältävälle suojauskaavioille on ilmennyt tarvetta. Suojauskaavion tarkoituksena on esittää kokonaiskuvallisesti selektiivisyysketjujen toiminta ja mahdollistaa asettelujen vertailu helposti yhdellä silmäyksellä. Asetteluja ei ole ennen tätä selvitystä selvitetty tällä laajuudella, vaan korkeintaan yksi sähköasema kerrallaan. Jatkossa suojauskaavio auttaa myös erilaisten varasyöttömahdollisuuksien suunnittelussa. Suojauskaavion teko osoittautui työlääksi ja se ei valmistunut vielä tätä insinööriyötä tehdessä. Suojauskaavioon kerättiin muuntajatiedot, mutta esimerkiksi johtolähtöjen suojauksien selvitystyö tehdään lähitulevaisuudessa ja työn yhteydessä myös suojauskaavio viimeistellään. Lisäksi suojauskaavioon kuuluvien keskijännitekojeistojen asetteluiden ja virtamuuntajien selvitystyö on kokonaisuudessaan laaja, joten ne rajattiin pois tästä insinööriyöstä.

Dokumenttiin päätettiin merkitä eri väreillä ylivirtasuojaukset (sininen) ja maasulkusuojaukset (punainen). Esimerkki suojauskaavion osasta on kuvassa 8. Myöhemmin mikäli muutoksia tehdään, tulee ne päivittää myös suojauskaavioon. Lähtökohtaisesti koko 110 kV:n rengasverkon suojausasettelut tulevat jatkossa löytymään pelkästään uudesta suojauskaaviosta ja lähtöjen omissa suojauskaavioissa tulee näkymään vain käytettyjen suojiin symbolit. Suojauskaavio tulee selkeyttämään rengasverkon suojausten toiminta-ajatusta, ja siitä on helposti saatavilla kokonaiskuva asetteluista.



Kuva 8. Suojauskaavio päämuuntajalähtöjen suojaukset kirjattuna.

7 Yhteenveto

Tämä insinööri työ oli mielenkiintoinen ja haastava projekti 110 kV:n relesuojauksesta ja muuntajista. Vuonna 2015 olin mukana Infratek Oy:n suojarelekoestuksissa vesivoimalaitoksilla, ja relekoestuksien tuloksena päätettiin tehdä laajempi 110 kV:n suojausselvitys. Tämä insinööri työ käynnisti selvityksen, ja selvitys jatkuu 110 kV:n linjadistanssisuojien ja 110 kV:n linjavarasuojien sekä VJV-jännitetaajuusselvityksillä. Työssä havaittiin Kuusankosken 10 kV:n ylivirtasuojauksen sekä Voikkaan vanhan puolen 10 kV:n ylivirtasuojauksen vaativan lisäselvitystä virtojen ja viiveaikojen pienentämiseksi. Työstä rajattiin pois maasulkusuojausasiat, jotka täytyy käydä läpi omana kokonaisuutenaan.

Insinööri työn tuloksena saatiin konkreettisia muutosehdotuksia päämuuntajasuojiiin. Lisäksi se käynnisti muita suojausselvityksiä kohti ajantasaista suojausta. Työn kuluessa muuntaja- ja kojeistopiirustuksia läpikäydessä tuli vastaan vanhentuneita dokumentteja, joita päivitettiin vastaamaan nykypäivän tilanteita ja kytkentöjä. Voikkaan osalta tilanne oli haastava, koska lähes kaikki kojeistojen piirustukset olivat vielä viimeisimpien muutoksien jälkeen puhtaaksi piirrettävänä. Usein parhaan avun ja tiedon viimeisimmistä muutoksista sai UPM Energian henkilökunnalta. Kokonaisuutena työ oli onnistunut ja opetti paljon muuntajasuojauksesta, suojareleistä, dokumenttien lukemisesta, verkon toiminnasta ja yleisestä raportoinnista.

Lähteet

ABB. 2000. TTT-tekniisiä tietoja ja taulukoita –käsikirja 2000-7. <<http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/>>. Luettu 30.04.2016.

ABB. 2002. SPAD 346 C Vakavoitu differentiaalirele. Käyttöohje. <https://library.e.abb.com/public/9074220a8de487d7c2256c7e00513bb6/FM_SPAD346C_FI_BAABA%20.pdf>. Luettu 04.04.2016.

ABB Oy. 2010. Transformer terminal RET54_ Technical reference manual. Käyttöohje. <https://library.e.abb.com/public/60b1928e671d3660c12577c9002c0b6b/RET54_tech_755225_ENe.pdf>. Luettu 13.03.2016.

Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo. WSOY.

Elovaara Jarmo & Haarla Liisa. 2010. Sähköverkot 2. Helsinki. Otatieto.

Fingrid Oyj. 2004. Kantaverkon ABC. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/>>. Luettu 25.02.2016.

Fingrid Oyj. 2012a. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2013 (VJV). <<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/VAHVISTETTU%20-%20Fingrid%20Oyj%20yleiset%20liittymisehdot%20YLE2013.pdf>>. Luettu 12.03.2016.

Fingrid Oyj. 2012b. Relesuojauksen pääperiaatteet. Koulutusmateriaali. <<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/Relesuojauksen%20p%C3%A4periaatteet.pdf>>. Luettu 16.03.2016.

Fingrid Oyj. 2014. Relesuojauuskoulutus. Koulutusmateriaali. <http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/Ajankohtaista%20liitteet/Tapahtumat/Relesuojauuskoulutus_6_5_2014.pdf>. Luettu 22.03.2016.

Mäkinen Olavi. 2009. Relesuojaus. Sisäinen julkaisu.

Mörsky, Jorma. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna. Otatieto Oy.

Promaint. 2014. Kunnonvalvonta ja käyttövarmuus. Lehtijulkaisu 01.04.2014. <<http://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Digitaalisuus-parantaa-asemien-luotettavuutta>>. Luettu 10.03.2016.

Sinersaari, Petri. 2016. Käynnissäpitomestari, UPM Kymmene Oyj Energia, Kouvola. Keskustelut maaliskuu-huhtikuu 2016.

Trafomic Oy. 2015. Muuntaja yleisesti. Verkkodokumentti. <<http://www.trafo-mic.fi/muuntaja>>. Luettu 11.03.2016.

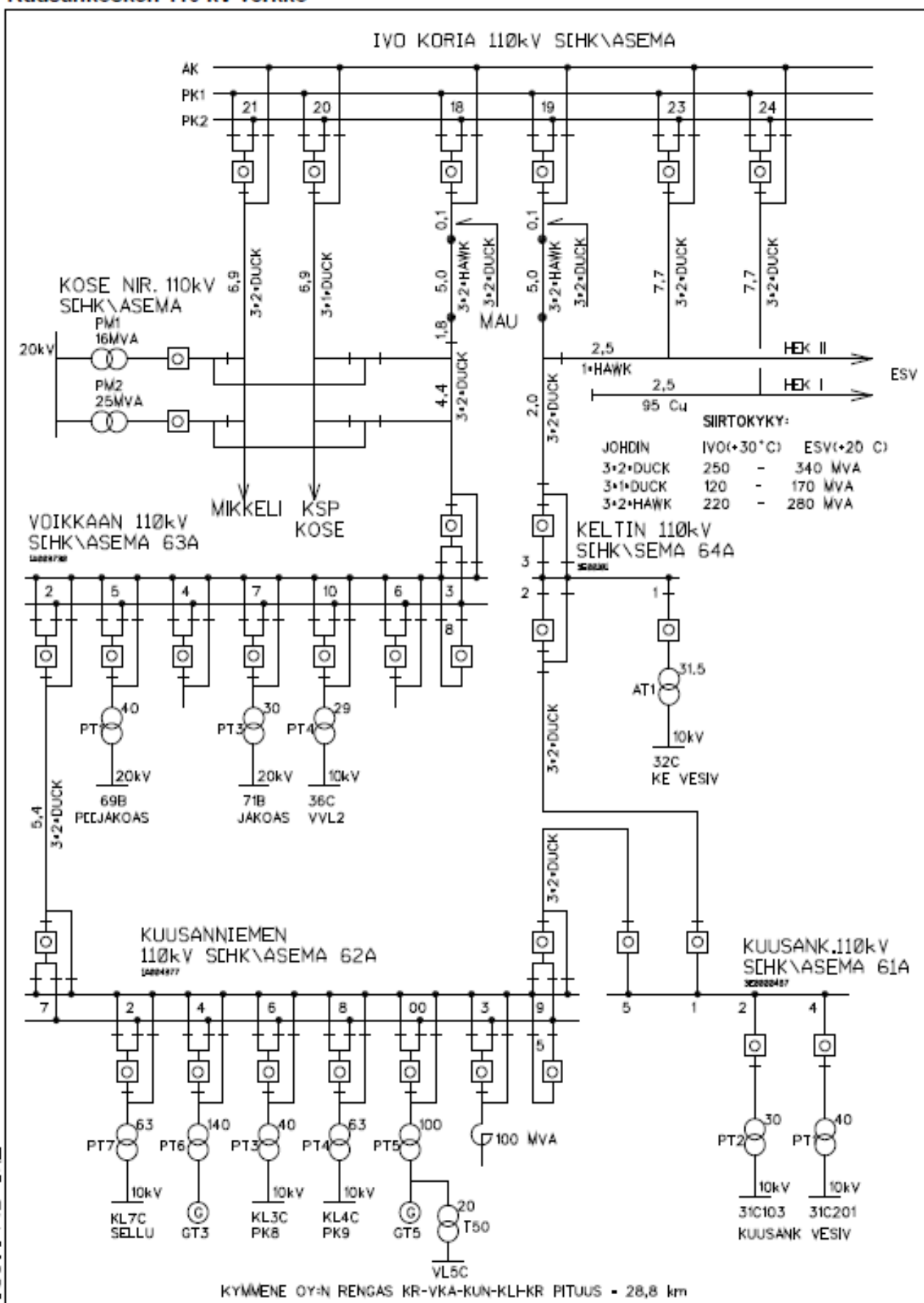
UPM. 2015. Energy-internetsivut. <<http://www.upmenergy.fi/>>. Luettu 14.03.2016.

UPM. 2016. Vuosikertomus 2015. <<http://user-fudicvo.cld.bz/UPM-vuosikertomus-2015>>. Luettu 14.03.2016.

Vamp Oy, 2009. VAMP 265 -suojarele, tekninen selostus. Käyttöohjekirja.

VEO. 2005. Academy, Keskijänniteverkon maasulku. Sisäinen julkaisu.

Kuusankosken 110 kV verkko



- MUUTOS 1) 11.12.1991 IRE 31.08.1998 INE
- 2) 14.01.1992 IRE 17.12.03 OPJ
- 3) 18.02.1992 IRE 22.12.11 CTS/TIK
- 4) 20.05.1992 INE

UPM ENERGIA KUUSANKOSKEN 110KV VERKKO		TOIM.PIIR.NO.
PIIRT. PLI / JLA / CAD AM.ALA66		PAIKKA 44 7062 0000
PVM. 10 05 91 LAJI 31		LEHTI /
MUUTOS		PIIR. N:o 4A03849

Päämuuntaja 63PT4 10 kV suojauskaavio

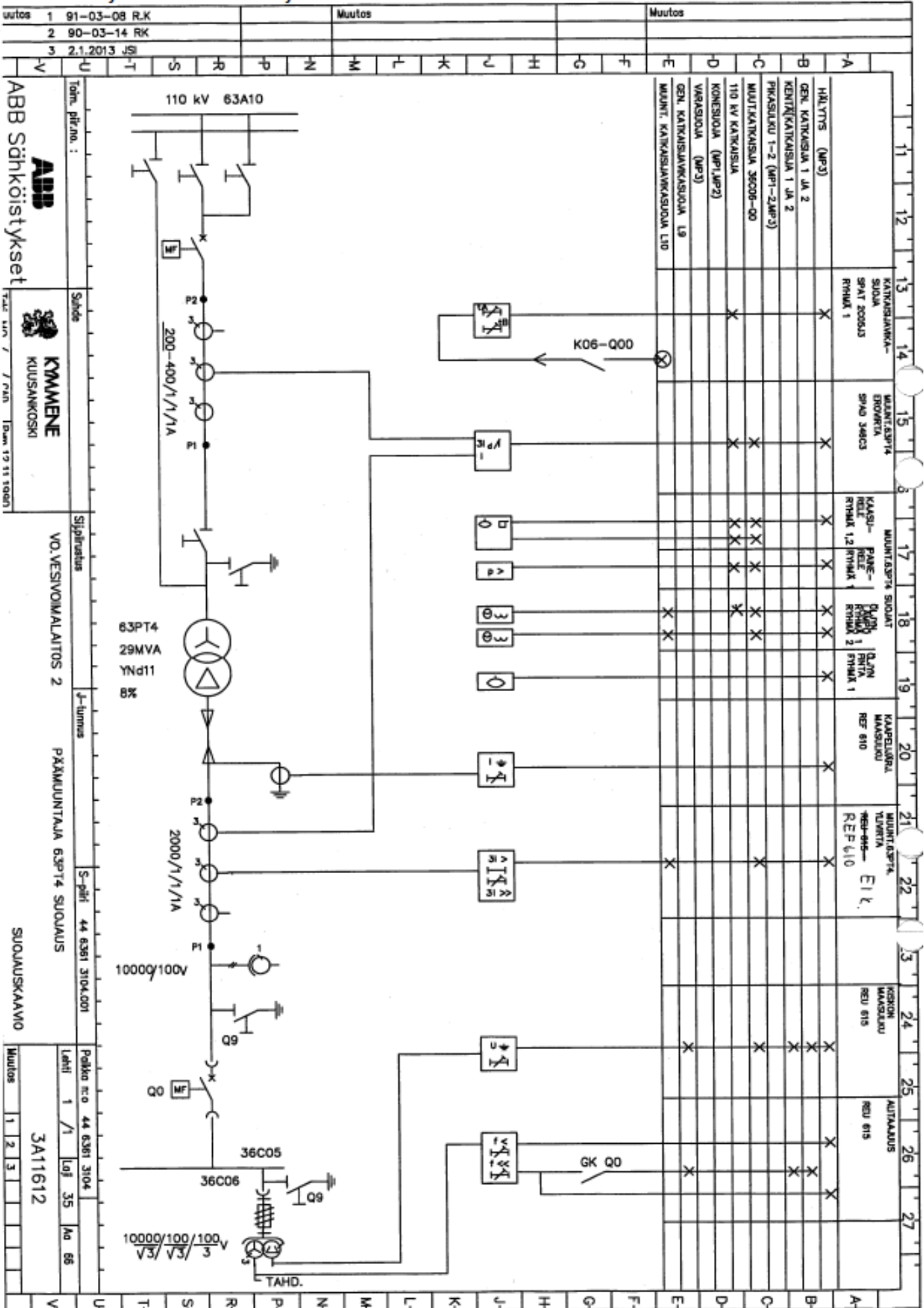


ABB Sähköistyksen logo ja nimi.

VO. VESIVOIMALAITOS 2
PÄÄMUUNTAJA 63PT4 SUOJAUS
SUOJAUSKAAVIO

Lehti	1	1	Loji	35	Ma	66
Pakko n:o	44	6381	3104	001		
Pakko n:o	44	6381	3104			
3A11612						