

Riku Juhala

OLKILUODON YDINVOIMALAITOKSEN BLOKKISUOJAN UUSINTA

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Diplomityö
Maaliskuu 2020

TIIVISTELMÄ

Riku Juhala: Olkiluodon ydinvoimalaitoksen blokkisuojan uusinta
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Maaliskuu 2020

Olkiluodon ydinvoimalaitokset tuottavat sähköä lähes viidenneksen koko Suomen sähköntuotannosta. Tämä työ käsittelee Olkiluodon ydinvoimalaitoksen blokkisuojan uusintaa. Blokkisuojan suojalaitteiden avulla suojataan päägeneraattoria, pää- ja omakäyttömuuntajia sekä generaattorikiskoa erilaisilta vika- ja häiriötilanteilta. Nykyiset suojalaitteet ovat asennettu voimalaitoksille vuosina 1996–1998. Laitteiden tekninen elinikä on tullut umpeen ja varaosien saatavuus on myös heikentynyt. Suojalaitteiden uusinta on suunniteltava tarkasti, sillä voimalaitoksen komponentit ovat suuria investointeja sekä sähköntuotannon keskeytykset hyvin kalliita. Työssä selvitetään uusinnan kannalta keskeisimmät tekijät sekä pohditaan uusinnan eri vaihtoehtoja. Työssä tarkastellaan voimalaitoksen suojausten perusteita, vaatimuksia sekä teoriaa. Blokkisuojausten nykytoteutus käydään läpi, jonka avulla saadaan selville uusinnan rajapinnat sekä liitynät muihin järjestelmiin. Työn ratkaisuosassa pohditaan uusinnan eri vaihtoehtoja laitetasolla voimalaitoksen suojausten teorian sekä nykytoteutuksen avulla.

Suojausjärjestelmän kannalta keskeisimmäksi vaatimukseksi nousi luotettavuus ja sen kaksi eri näkökulmaa. Suojausten täytyy pystyä poistamaan vika, vaikka sen yksi komponentti olisi vioittunut. Tämä saadaan aikaiseksi rinnakkaisilla järjestelmillä ja komponenttien kahdennuksella. Luotettava järjestelmä ei myöskään saa aiheuttaa tarpeettomia laukaisuja. Voimalaitoksen vika- ja häiriötilanteita tutkimalla saatiin selville tilanteiden vaikutukset järjestelmään ja eri komponentteihin. Työssä tarkasteltiin ainoastaan Olkiluodon ydinvoimalaitoksen verkkoliityntäkaavion ja komponenttien mukaista teknistä ratkaisua.

Voimalaitoksen suojausten teorian sekä nykytoteutuksen toiminnan avulla pohdittiin parannusehdotuksia, jotka pitäisi ottaa huomioon järjestelmän uusinnassa. Uusinnan toteutusvaihtoehdot käsiteltiin laitetasolla. Laitevikaantumisanalyysin avulla esitettiin sopivin ratkaisu suojalaitteille ja suojaustoimintojen sijoittamiselle. Samassa yhteydessä pohdittiin myös staattorin 100 % ja rottorin maasulkusuojausten kahdentamisen mahdollisuuksia. Toteutusvaihtoehdoissa vertailtiin myös tiedonsiirto- ja kommunikointitapoja sekä laukaisumatriisin toteutusta. Tiedonsiirrossa käsiteltiin IEC 61850 ja IEC 60870-5-103 protokollin perustuvia ratkaisuja. Laukaisumatriisin osalta vertailtiin fyysisen laitteen ja releisiin ohjelmoitavan matriisin eroja.

Työn avulla pystytään pohtimaan suurien voimalaitosten generaattorin ja blokkimuuntajan suojausten uusintaan vaikuttavia tekijöitä. Suojausten teoria soveltuu myös teknisiltä ominaisuuksiltaan samanlaisiin voimalaitoksiin. Suojausten uusinta täytyy kuitenkin käsitellä tapauskohtaisesti, sillä jokaiselle voimalaitoksella on omat ominaispiirteensä ja vaatimuksensa.

Avainsanat: suojausten uusinta, blokkisuojaus, ydinvoimalaitos

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Riku Juhala: Renewal of the generator-transformer unit protection at Olkiluoto nuclear power plant
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Electrical engineering
March 2020

Olkiluoto nuclear power plants generate almost one fifth of the Finland's total electricity production. This thesis is focusing on the renewal of the generator-transformer unit protection at Olkiluoto nuclear power plant. Main generator, main and auxiliary transformers and generator busbar are protected by the protection devices of the generator-transformer protection unit from different kind of fault conditions. The present protection devices have been installed during the years 1996-1998. The technical lifetime of devices has come to an end and availability of the spare parts has weakened. Renewal of the protection must be designed carefully because the components of the power plant are big investments and the interruptions of the electricity production cost a lot. The thesis examines the main factors of the renewal and consider different options for the renewal. In the thesis, basics, demands and theory for the protection of the power plant are examined. Generator-transformer unit protection system operation is figured out and with help of that we find out the interfaces and the connections to other systems. Last part of the thesis is focusing on the comparing the different options of the renewal in the device level.

Reliability and its two perspectives became the most important requirement for the protection system. First of all, the protection system must be able to remove the fault even if one of its component is damaged. This is achieved by using redundancy principle and duplication of the components. Other perspective is that protection system shall not cause unwanted tripping during the normal operation. By examining the power plant fault and disturbance situations, their effects on the system and the components were identified. In the thesis, only the technical solution according to the network interface diagram and components of the Olkiluoto nuclear power plant was considered.

With help of power plant protection theory and present implementation of the protection system, suggestions for the improvement were considered. These suggestions should be taken into account when modernizing the system. Options of the protection system renewal were considered in device level. The best possible option for the protection relays and protection function were found with the help of device fault analysis. Also, possibilities of the redundancy of stator 100 % and rotor earth fault protection were considered. Other device level options focus on communication method and tripping matrix. Communication solutions are based on IEC 61850 and IEC 60870-5-103 protocols. For the tripping matrix, the difference between physical device and the matrix programmable in the relays were compared.

The thesis provides the main factors to be considered in the renewal of the generator and step-up transformer protection of large power plants. The theory of power plant protection also applies to solutions with similar technical specification. However, the renewal of protection system must be dealt with on a case by case, because each power plant has its own characteristics and requirements.

Keywords: generator-transformer unit protection, protection renewal, nuclear power plant

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Teollisuuden Voima Oyj:n sähkötekniikan yksikössä Olkiluodossa Eurajoella. Työni ohjaajana on toiminut DI Seppo Härmälä ja tarkastajana professori Sami Repo.

Haluan kiittää työni tarkastajaa kommentteista sekä kehitysideoista. Suuret kiitokset kuuluvat työni ohjaajalle sekä muille työkavereille asiantuntevista neuvoista. Haluan esittää kiitokset myös sähkötekniikan yksiköpäällikkö Jari Tauluvuorelle diplomityöpaikasta.

Lisäksi haluan kiittää perhettä ja ystäviäni tuesta opiskeluvuosien ja diplomityön aikana.

Olkiluodossa, 30.3.2020

Riku Juhala

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	OLKILUODON YDINVOIMALAITOS	4
2.1	Teollisuuden Voima Oyj.....	4
2.2	Blokkisuoja	5
2.3	Verkkoliityntä	6
2.3.1	Generaattori ja apujärjestelmät	8
2.3.2	Muuntajat.....	10
2.3.3	Generaattorikisko ja generaattorikatkaisija.....	12
2.3.4	Mittamuuntajat	12
3.	VOIMALAITOKSEN SUOJAUS.....	15
3.1	Suojauksen perusteet, tavoitteet ja vaatimukset	15
3.1.1	Selektiivisyys ja herkkyys.....	16
3.1.2	Kahdennus.....	17
3.1.3	Nopeus	19
3.1.4	Luotettavuus	19
3.2	Vikatilanteilta suojautuminen	19
3.2.1	Staattorin ja roottorin suojaaminen lämpövaikutuksilta	20
3.2.2	Vaiheviat.....	20
3.2.3	Maasulkusuojaus	22
3.2.4	Epänormaalit jännitteet	23
3.2.5	Epänormaalit taajuudet	24
3.2.6	Magnetoinnin vikatilanteet.....	24
3.2.7	Muut häiriötilanteet.....	25
3.3	Yhteenveto vikatilanteiden suojauksista.....	27
3.4	Voimalaitoksen järjestelmätekniset vaatimukset	29
4.	SÄHKÖJÄRJESTELMIEN AUTOMAATIO.....	32
4.1	Voimalaitosautomaatio-, ohjaus- ja hälytysjärjestelmät	32
4.2	Numeeristen suojareleiden kommunikointi.....	33
4.3	Suojareleiden kommunikaatioprotokollat.....	36
5.	NYKYISEN BLOKKISUOJAUKSEN TOTEUTUS	38
5.1	Käytössä olevat suojareleet.....	39
5.1.1	Numeeriset suojareleet	40
5.1.2	Jännitteenvälvontareleet ja logiikka.....	50
5.2	Releyksiköt.....	53

5.3	Laukaisumatriisi.....	54
5.4	Hälytykset, huoltoväylä ja DC-syöttö.....	55
5.5	Suojauksen laajuuden yhteenveto	56
6.	UUSINNAN VAIHTOEHDOT.....	58
6.1	Uusinnan rajapinnat ja laajuus	58
6.2	Suojareleet	59
6.2.1	Kahdennus ja luotettavuus.....	59
6.2.2	Vaihtoehdot.....	61
6.2.3	Johtopäätökset	68
6.3	Jännitesuojaus.....	71
6.4	Laukaisumatriisin toteutus	71
6.5	Huoltoväylä sekä tiedonsiirto	73
6.6	Elinkaari.....	75
7.	YHTEENVETO.....	76
	LÄHTEET	78
	LIITE A: NYKYISEN BLOKKISUOJAN PERIAATEKAAVIO	83
	LIITE B: NYKYISEN LAUKAISUMATRIISIN KAAVIO	84

LYHENTEET JA MERKINNÄT

DNP	(Distributed Network Protocol)
FCB	Magnetoinnin kenttäkatkaisija
GCB	Generaattorikatkaisija
MITKO	Mittaustietokonejärjestelmä
OFAF	Tehostettu jäähdytys öljyn- ja ilman kierron avulla
OL1	Olkiluoto 1 - laitosyksikkö
OL2	Olkiluoto 2 - laitosyksikkö
OL3	Olkiluoto 3 - laitosyksikkö
PCB	Laitoskatkaisija
RCSU	Pikavaihtoautomaatiikan käynnistys
RTD	Vastuksellinen lämpötilasensori
RTU	(Remote Terminal Unit)
Sub	Osajärjestelmä
TS	Turpiinin pikasulku
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
VJV	Voimalaitoksen järjestelmätekniset vaatimukset

I_2	virran vastakomponentti
U_0	nollajännite

1. JOHDANTO

Olkiluodon ydinvoimalaitokset Olkiluoto 1 (OL1) ja Olkiluoto 2 (OL2) tuottavat sähköä viidenneksen Suomen koko sähköntuotannosta. OL1 laitosesikön kaupallinen sähköntuotanto aloitettiin vuonna 1979 ja OL2 laitosesikön vuonna 1982. Käyvien voimalaitoksien tämän hetkinen käyttöluva ulottuu vuoteen 2038. Olkiluoto 3 laitosesikko (OL3) on ennakoitu tuottavan sähköä vuonna 2020. Tämän jälkeen Olkiluodon ydinvoimalaitosten osuus Suomen sähköntuotannosta kasvaa jo lähes kolmanneksen. Olkiluodon ydinvoimalaitokset kuuluvat Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) omistukseen. [1]

Ydinvoimalaitoksien tärkeimpänä tavoitteena on tuottaa sähköä katkottomasti ja turvallisesti. Lyhyetkin tuotannonkeskeytykset ovat todella kalliita. Tämän takia on tarpeellista minimoida tarpeettomat sähköntuotannon keskeytykset. Tämä työ käsittelee Olkiluoto 1 ja 2 laitosesiköiden blokkisuojan uusintaa. OL1 ja OL2 laitosesiköt ovat liitetty verkkoon samalla periaatteella. Päägeneraattorilta tuotettu sähkö siirretään jännitteennostomuuntajan kautta valtakunnalliseen 400 kV:n verkkoon. Blokkisuojan suojalaitteet suojaavat laitosesiköiden päägeneraattoria, pää- ja omakäyttömuuntajia sekä generaattorikiskoa. Blokkisuojan laitteet vaikuttavat siis suoraan sähköntuotantoon, koska ne pystyvät laukaisemaan voimalaitoksen katkaisijat vikatilanteissa. Tämän vuoksi suojalaitteiden uusinta on suunniteltava tarkasti, jotta tarpeettomilta keskeytyksiltä vältytään. Suojauksen pitää olla käyttövarma, luotettava ja taloudellinen ratkaisu.

Nykyiset blokkisuojana toimivat suojalaitteet ovat asennettu voimalaitoksiin vuosina 1996–1998. Suojareleille on määritelty tyyppilliseksi eliniäksi noin 20 vuotta. Suojalaitteiden elinkaari on loppumassa eikä vastaavia varaosia ole enää saatavilla. Tämän vuoksi on katsottu tarpeelliseksi selvittää miten suojalaitteet ja siihen liittyvät järjestelmät kannattaisi uusida. Luvussa 6 käsitellään tarkemmin uusinnan laajuutta sekä siihen vaikuttavia tekijöitä.

Laitteiston uusinta niiden eliniän loppuessa kannattaa suunnitella tarkasti. Uusilla suojareleillä on parempia ominaisuuksia, joiden avulla suojausta voidaan kehittää. Suojalaitteiden tarkkuus on parantunut sekä erilaisten häiriötallentimien ominaisuudet ovat kehittyneet. Häiriötallentimen avulla mm. vikaselvitys helpottuu ja nopeutuu

huomattavasti. Laitteet sisältävät enemmän suojaustoimintoja, mikä vähentää laitteiden määrää. Tämä taas laskee ulkoisen johdotuksen määrää sekä mahdollisten laitevikojen esiintymistä. Laitemäärän väheneminen mahdollistaa myös järjestelmän kokonaisuuden paremman testauksen. Suojareleisiin on mahdollisuus myös lisätä erilaisia logiikoita suojaustoimintojen yhteyteen, joka ennen on täytynyt tehdä erillisillä laitteilla. Uusista laitteista löytyy myös huonoja puolia, jotka pitää ottaa huomioon uusintaa suunniteltaessa. Suojareleiden ohjelmointi ja asettelu on tullut monimutkaisemmaksi ja vaativaksi. Tämä kasvattaa inhimillisen erehdyksen mahdollisuutta, mikä saattaa aiheuttaa tarpeettomia laukaisuja ja näin ollen tuotantokatkoja. [2, s. 58–59]

Työssä tarkastellaan Olkiluodon ydinvoimalaitosten verkkoliityntään ja blokkisuojan avulla suojattavia komponentteja. Suojauksen kannalta oleellisimpia komponentteja ovat mittamuuntajat, jotka antavat tietoja järjestelmän eri kohteista mitattujen arvojen suuruusluokasta. Näiden suureiden avulla suojalaitteet tunnistavat epänormaalit vikatilanteet ja toimivat määritellyillä tavoilla.

Työssä pohditaan järjestelmän erilaisia sähköisiä vikatilanteita ja niiden aiheuttamia vaikutuksia. Näille vikatilanteille etsitään suojautumistavat sekä mahdolliset varasuojat. Vikatilanteita ja niiltä suojautumista pohditaan Olkiluodon ydinvoimalaitosten kannalta, jolloin vain yksi tekninen ratkaisu otetaan huomioon. Tämä rajaus tehdään sen vuoksi, koska generaattoreilla ja magnetointilaitteistolla on useita erilaisia teknisiä ratkaisuja, jotka vaikuttava vikailmiöihin ja niiltä suojautumiseen. Tämän kartoituksen avulla pystytään pohtimaan uuden ratkaisun toteuttamista suojaustoimintojen oikealla sijoittamisella suojalaitteisiin. Myös suojauksen suunnitteluperusteet ja kriteerit tuodaan esille. Suojaukselle asetetaan vaatimuksia lähinnä Fingridin ylläpitämässä voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset dokumentissa (VJV). Työssä tarkastellaan blokkisuojan kannalta oleellisimpien kohtien sisältö, jonka perusteella pohditaan niiden vaikutuksia uuteen ratkaisuun.

Suojalaitteiden yhtenä tehtävänä on jakaa tietoa hälytyksien, suojauksen toiminnan, mittauksen ja tilatietojen muodossa. Työssä tutkitaan, millaisia mahdollisuuksia on uusien suojalaitteiden kommunikoinnissa ja tiedonsiirrossa. Tämän lisäksi pohditaan suojalaitteiden liittämistä voimalaitoksen automaatio- ja ohjausjärjestelmiin. Työssä käsitellään lyhyesti suojareleiden yleisimmin käytössä olevat kommunikointiprotokollat. Näiden selvitysten avulla pystytään analysoimaan paras ratkaisu uusien suojalaitteiden liittämiseksi voimalaitoksen hälytys- ja ohjausjärjestelmiin.

Nykytoteutuksen läpikäynnin perusteella pystytään esittämään lähtötietoja toimittajille sekä arvioimaan suojauksen tason kattavuus. Nykytilan selvityksellä saadaan selville myös suojauksen rajapinnat sekä liitynnät muihin järjestelmiin.

Työn tärkeimpänä tavoitteena on selvittää valintakriteerit, joiden perusteella pystytään osoittamaan paras ratkaisu uuden blokkisuojan toteutustavaksi. Työssä on tärkeää saada selville, millä laajuudella se olisi paras toteuttaa. Uusinta vaihtoehtoa käsitellään luvussa 6, jossa pohditaan ja vertaillaan uuden toteutuksen eri vaihtoehtoja.

2. OLKILUODON YDINVOIMALAITOS

OL1 ja OL2 laitosesiköt ovat ruotsalaisen ASEA-Atomim toimittamia kieutusvesireaktoreita. Niiden alkuperäinen sähköteho oli 660 MW. Vuosihuolloissa tehtyjen modernisointitöiden avulla sähköteho on saatu korotettua nykyiseen 890 MW:iin. Ydinvoimalaitokset toimivat samalla periaatteella kuin lämpövoimalaitokset. OL1 ja OL2 laitosesiköissä höyry syntyy paineastiassa, jossa vesi kiertää reaktorisydämessä sijaitsevien polttoaineriippujen läpi. Höyry johdetaan höyrylinjoja pitkin korkea- ja matalapaineturbiinien läpi. Turbiini on kytkettynä generaattorin kanssa samaan akseliin, jonka kautta generaattori saa mekaanisen energiansa. [1, 3]

Luvussa käsitellään lyhyesti Teollisuuden Voima Oyj yhtiönä sekä määritellään mitä blokkisuoja tarkoittaa. Tämän lisäksi verkkoliityntä osioissa käydään läpi omakäyttöverkon rakenne siltä osin, kun se liittyy blokkisuojaukseen. Osioissa käsitellään myös tärkeimpien suojattavien komponenttien ominaisuuksia. Järjestelmien omat suojaukset käydään läpi sekä niiden liitynnät blokkisuojaukseen. Myös komponenttien tekniset ratkaisut, jotka vaikuttavat suojauksen uusintaan, tuodaan esille. Mittamuuntajien teoria kuvataan lyhyesti ja esitellään blokkisuojauksen käyttämien mittamuuntajien sijainti ja ominaisuudet.

2.1 Teollisuuden Voima Oyj

TVO on julkinen listaamaton osakeyhtiö, jonka toimialana on voimalaitosten rakentaminen ja sähkön tuottaminen. Se toimii omakustannusperiaatteella, josta käytetään myös nimitystä Mankala-periaate. Tämä tarkoittaa sitä, että yhtiö ei tavoittele voittoa vaan pyrkii tuottamaan sähköä omakustanne hintaan sen omistajille. Tällöin yhtiö pyrkii nolla tulokseen ja kustannukset jaetaan omistajille niiden omistussuhteen mukaan. TVO:lla on kuusi omistajaa, joiden omistussuhteet on kuvattu tarkemmin taulukossa 1. [1]

Taulukko 1. Teollisuuden Voima Oyj:n omistajat ja osuudet prosentteina. [4]

	A-sarja (OL1 & OL2)	B-sarja (OL3)	C-sarja (Meri- Pori)	Yhteensä
<i>EPV Energia Oy</i>	6,6 %	6,6 %	-	6,4 %
<i>Fortum Power and Heat Oy</i>	26,6 %	25,0 %	100 %	27,6 %
<i>Loiste Holding Oy</i>	0,1 %	0,1 %	-	0,1 %
<i>Kemira Oyj</i>	1,9 %	-	-	0,9 %
<i>Oy Mankala Ab</i>	8,1 %	8,1 %	-	7,9 %
<i>Pohjolan voima Oyj</i>	56,8 %	60,2 %	-	57,1 %

TVO:n omistuksessa on siis kaksi ydinvoimalaitosta, Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2. Olkiluoto 3 ydinvoimalaitosyksikkö on määrä valmistua vuonna 2020, jolloin se siirtyy TVO:n hallintaan. TVO hallinnoi myös Voimalaitosjäteluola (VLJ-luola), jonne sijoitetaan laitosyksiköiden matala- ja keskiaktiivinen jäte. TVO omistaa yhdessä Fortumin kanssa Posiva Oy:n, joka vastaa käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta. Käytetty polttoaine on suunniteltu sijoitettavan loppusijoituslaitokseen. TVO omistaa lisäksi osan Meri-Porin hiilivoimalaitoksesta, mutta on kuitenkin luopumassa osuudestaan heinäkuuhun 2020 mennessä. [1]

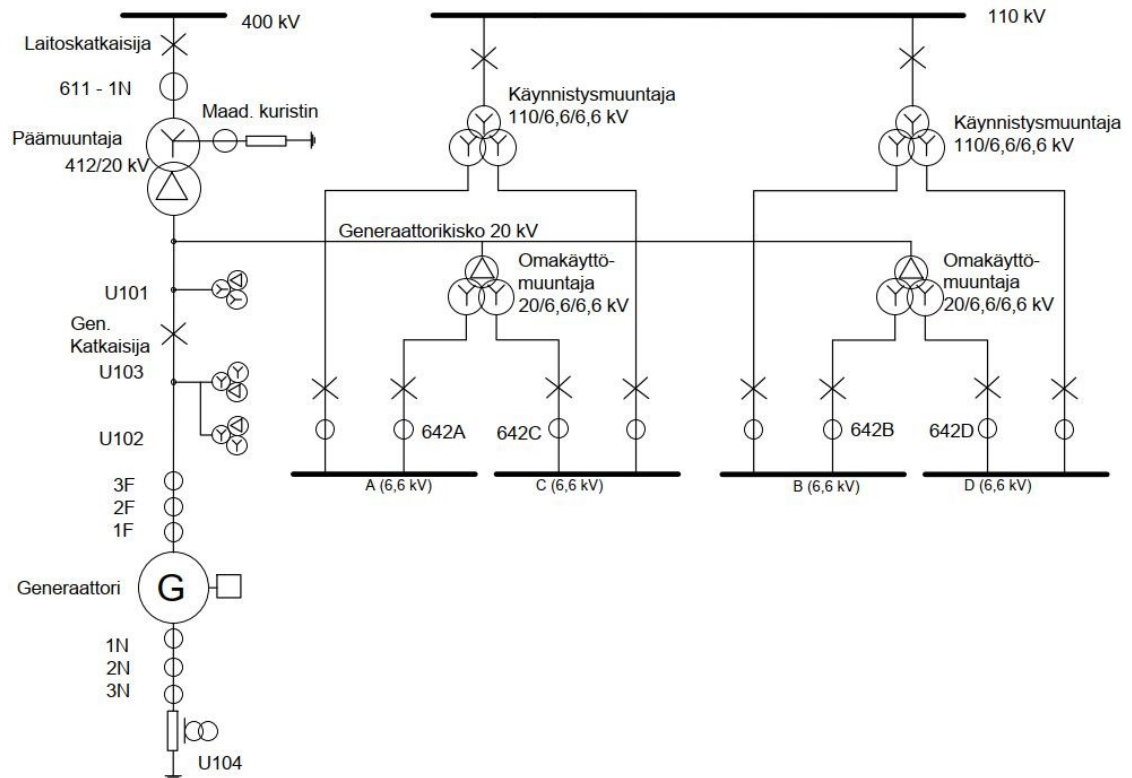
2.2 Blokkisuoja

Blokkisuojan tärkeimpänä tehtävänä on sähköjärjestelmän viallisen osan erottaminen, häiriöiden vaikutusten minimoiminen sekä voimalaitoksen komponenttien suojaaminen. Blokkisuojaalla tarkoitetaan suojalaitteita sekä tarvittavia apujärjestelmiä, joiden avulla päägeneraattoria, pää- ja omakäyttömuuntajia sekä generaattorikiskoa suojataan. Suojalaitteilla suojataan kuitenkin myös turpiinia epänormaaleilta tilanteilta kuten ali- ja ylitaajuudelta sekä takateholta. Blokkisuojaus sisältää koko laitosta koskevat jännite- ja taajuussuojat sekä syötönvaihtojen käynnistyksen. Suojalaitteisiin kuuluu myös laukaisumatriisi, jolla yhdistetään suojaustoimintojen aiheuttamat komennot erilaisiin turvalaitteiden laukaisupiireihin. Blokkisuojaan kuuluu myös hälytysten lähettäminen hälytysjärjestelmään sekä huoltoväylä liitynnät. [5, s. 9]

Blokkisuoja on kahdennettu lähes kokonaan, jolloin molemmat järjestelmät pystyvät toimimaan omina erillisinä kokonaisuuksina. Niiden toiminta ei ole mitenkään riippuvainen toisesta osajärjestelmästä. Blokkisuojan tämän hetkinen toteutus kuvataan tarkemmin luvussa 5.

2.3 Verkkoliityntä

OL1 ja OL2 laitosesiköt ovat liitettyinä Fingridin 400 kV:n kantaverkkoon. Molemmilla laitoksilla on omat duplex- kytkinkentät, joista ne ovat yhdistettynä 400 kV johtoihin. Voimalaitosten laitoskatkaisijat sijaitsevat näillä kytkinkentillä. Kytkinkentät sijaitsevat 2,7 km päässä voimalaitoksilta. Verkkoliityntä on esitetty kuvassa 1. Kuvassa näkyy myös virta- ja jännitemuuntajien sijainti omakäyttöverkossa. Normaalisissa käyttötilanteissa turpiini pyörittää generaattoria, joka muuntaa liike-energian sähköenergiaksi. Generaattori tuottaa kolmivaiheista vaihtosähköä 20 kV jännitteellä. Generaattorin tärkeimpänä apulaitteena on magnetointilaitteisto ja jännitteensäätäjä. Generaattorikiskon tehtävänä on siirtää generaattorin tuottama sähköenergia päämuuntajalle sekä omakäyttömuuntajille. Päämuuntaja nostaa jännitteen kantaverkon 400 kV:n jännitteeseen. Omakäyttömuuntajat taas syöttävät ydinvoimalaitosten omakäytösähköjärjestelmää, joka koostuu neljästä erilisestä osajärjestelmästä (Sub). Omakäyttömuuntajat ovat kolmikäämimuuntajia, jotka muuntavat jännitteen 6,6 kV tasolle. Blokkisuojausten kannalta oleellimmat katkaisijat ovat laitoskatkaisija, generaattorikatkaisija, generaattorin magnetointikoneen katkaisija sekä omakäyttömuuntajien syöttämien kiskojen katkaisijat. Yhtenä keskeisimpänä toimintona vikatilanteissa on siirtyminen omakäyttömuuntajien syötöltä 110 kV:n syöttämien käynnistysmuuntajien perään. Tämä vaihto suoritetaan pikavaihtokytkentäautomatiikalla (RCSU). Suojauksen suorittamisen kannalta mittamuuntajat ovat yksi oleellisimmista komponenteista. Niiden avulla saadaan mitattavat suuret suojalaitteiden sopivalle tasolle.



Kuva 1. Olkiluodon ydinvoimalaitosten verkkoliityntä ja mittamuuntajien sijainti.

Omakäyttöverkolla on erilaisia kytkentämahdollisuuksia, joilla saadaan laitoksen järjestelmien turvallinen toiminta suoritettua. Normaalisissa käyttötilanteissa päägeneraattori syöttää sähkötehoa ulkoiseen 400 kV:n verkkoon sekä laitoksen omakäyttökuormille. Jos yhteys ulkoiseen verkkoon menetetään, silloin generaattori pyrkii ns. saarikäytölle. Tällöin se syöttää vain omakäyttökuormia. Laitoksen sähköntuotannon keskeytyessä, omakäyttöverkko saa syöttönsä 400 kV:n kantaverkosta päämuuntajan kautta. Tällainen tilanne on esimerkiksi vuosihuoltojen aikana, jolloin generaattori on huollettavana. Tämän yhteyden ollessa pois käytöstä, syöttö saadaan 110 kV:n verkosta käynnistysmuuntajien kautta. Käynnistysmuuntajat syöttävät 6,6 kV:n kiskoja tilanteissa, joissa omakäyttömuuntajien kautta ei saada syöttöä. Esimerkiksi vuosihuollon aikana tai jos syöttöjännitteessä on häiriöitä. [6, s. 4] Blokkisuojausalueeseen ei kuulu tilanne, jossa omakäytönsyöttö on siirtynyt käynnistysmuuntajalle.

Seuraavaksi kuvataan verkkoliitynnän kannalta tärkeimpien komponenttien ominaisuudet. Lisäksi kuvataan komponenttien tärkeimmät tehtävät sekä niiden välttämättömät apujärjestelmät. Blokkisuojausalueeseen lisäksi, joillakin komponenteilla on myös omia primäärisuojia. Nämä tuodaan esille sekä niiden linkittyminen blokkisuojausalueeseen.

2.3.1 Generaattori ja apujärjestelmät

OL1 ja OL2 laitosyksiköiden generaattorit ovat tyypiltään GTD 1875 MY vesijäähdytteisiä turbogeneraattoreita. Generaattorin päätehtävänä on muuttaa höyryturpiinin mekaaninen energia sähköenergiaksi. Generaattori on yhdistetty siis turpiiniin, generaattorikiskoon sekä magnetointilaitteistoon. Magnetointilaitteiston toiminta on taas riippuvainen jänniteensäätöjärjestelmästä. Kuvassa 2 on esitetty OL1 laitosyksikön generaattori ja magnetointilaitteisto. Generaattori on yhteydessä myös vesijäähdytysjärjestelmään, joka jäähdyttää staattorin ja roottorin käämityksiä sekä vaihekiskoja. Muissa osissa jäähdytys hoidetaan ilman avulla. [7, s. 5-6]



Kuva 2. OL1 laitosyksikön generaattori [8].

Generaattorin tärkeimmät komponentit ovat staattori, roottori, jäähdytysjärjestelmä sekä erillinen magnetointilaitteisto. Generaattori on tyypiltään tahtigeneraattori, jolla on umpinapainen roottori. Generaattorin toimintaa valvotaan muutamalla eri tavalla. Generaattorista mitataan mm. lämpötilaa, kosteutta ja värähtelyä eri paikoista. Generaattorin nollapiste on maadoitettu erillisen maadoitusmuuntajan ja vastuksen avulla. Niiden rinnalla on myös ylijännitesuoja. [7, s. 5-6]. Generaattorin maadoituksella pyritään rajoittamaan vikatilanteiden mekaanisten voimien vaikutuksia generaattorissa. Sen avulla rajoitetaan mm. transienttijännitteitä vikojen aikana ja mahdollistetaan staattorin maasulkutilanteiden tarkka havaitseminen. [9, s. 4] Generaattorin tekniset ominaisuudet on listattu taulukossa 2.

Taulukko 2. Generaattorin tekniset ominaisuudet [7].

Suure	Arvo
<i>Nimellisteho</i>	1100 MVA
<i>Tehokerroin</i>	0,9
<i>Pyörimisnopeus</i>	3000 rpm
<i>Taajuus</i>	50 Hz
<i>Nimellisjännite</i>	20 kV
<i>Nimellisvirta</i>	31754 A

Generaattorilla on suojaus, jotka eivät liity blokkisuojaan. Generaattorin akselivirtasuojaus suoritetaan erikseen omalla valvontareleellään. Akselivirtasuojauksen hälyttävä. Myös edellä mainituista lämpötilan, kosteuden ja värinän suojusta tehdään toiminnot omissa järjestelmissä. Pääasiallisesti ne ovat hälytyksiä, mutta generaattorin laakerin lämpötilasta toteutetaan laukaiseva suojaustoiminto. Roottorin ylijännitesuoja sijaitsee magnetointilaitteistossa. Suojan laukaisusignaali tuodaan blokkisuojaan. [7, s.15–18]

Magnetointilaitteiston avulla syötetään magnetointivirta generaattorin roottoriin. Harjaton magnetointilaitteisto koostuu päämagnetointilaitteesta, apulaitteesta sekä pyörivästä tasasuuntaajasta. Apulaitteen kestopagneettiroottorin pyöriessä, sen staattoriin syntyy kolmivaiheinen vaihtojännite. Tämä jännite siirtyy jännitteensäätöjärjestelmään, joka tasasuuntaa jännitteen. Sen jälkeen tasajännite syötetään päämagnetointilaitteiston staattoriin. Päämagnetointilaitteiston roottorissa on kolmivaiheinen käämitys, joka pyörii staattorin luomassa magneettikentässä. Näin roottoriin syntyy kolmivaiheinen jännite, joka syötetään tasasuuntaussillan kautta generaattorin kenttäämitykseen. Magnetointilaitteistolla on oma ylijännitesuoja, jonka laukaisu tuodaan blokkisuojaan. [10, s. 7]

Jännitteensäätäjän avulla siis syötetään tasavirtaa päämagnetointilaitteistolle. Järjestelmän tavoitteena on pitää generaattorin jännite vakiona, hallita loistehoa sekä ylläpitää ja parantaa sähköjärjestelmän stabiilisuutta eri tilanteissa. Jännitteensäätäjän avulla pyritään ehkäisemään generaattorin ja magnetointilaitteiston ylikuormitusta sekä välttämään alimagnetointitilanne, jossa generaattori saattaa pudota tahdistasta. Jännitteensäätäjän omat suojaustoiminnot ovat ylivirta-, ylikuorma- sekä alijännitesuoja. [11, s. 5] Jännitesäätäjällä on erilaisia rajoittimia, joiden rajat pitää ottaa huomioon suojausasetteluissa suunniteltaessa. Suojien asettelun tavoitteena on, että jännitteensäätäjän rajoitin tulee vastaan ennen kuin suojausasettelu toimii. Jännitesäätäjän rajoittimia ovat magnetointivirran, staattorivirran sekä jännite/taajuus toiminnon minimi ja maksimi rajat. [12, s. 27–29]

Generaattorin vesijäähdytysjärjestelmä siirtää generaattorissa ja magnetointilaitteistossa syntyneet lämpöhäviöt meriveteen. Järjestelmä siis suojelee laitteistoja ylikuumenemiselta erilaisissa tilanteissa. [13, s. 3] Jäähdytysjärjestelmässä syntyvästä viasta annetaan blokkisuojaan laukaisukäsky, jolla aukaistaan magnetointilaitteiston- ja generaattorin katkaisijat.

2.3.2 Muuntajat

Blokkisuojan suojaa osaltaan päämuuntajaa sekä omakäyttömuuntajia. Päämuuntaja siirtää normaalissa käyttötilanteessa generaattorin tuottaman sähkötehon generaattorikiskon kautta kantaverkkoon. Omakäyttömuuntajat taas syöttävät laitoksen omakäyttöverkkoa tilanteissa, joissa generaattori on toiminnassa tai 400 kV:n kantaverkkoon on yhteys. Huoltoseisakin aikana sähkönsyöttö otetaan 400 kV:n verkosta päämuuntajan kautta omakäyttöverkkoon.

Päämuuntaja on kolmivaiheinen kaksikämmimuuntaja, jonka jäähdytys on toteutettu tehostetulla öljyn- ja jäähdytysilmankierrolla (OFAF). Muuntajan yläjännite puoli on tähtikytkentäinen ja jännitetaso on 400 kV. Alajännitepuoli taas on kolmiokytkentäinen ja jännitetaso on 20 kV. Yläjännitepuolen tähtipiste on maadoitettu maadoituskuristimella, jonka avulla pystytään rajoittamaan maasulkuvirtaa. Muuntajan muuntosuhde on kiinteä ja jännitteensäätö suoritetaan generaattorin jännitteensäätäjällä. [14, s. 5-8]

Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla on menossa päämuuntajien uusintaprojekti. Päämuuntaja on vaihdettu uuteen OL2 laitoksella ja OL1 laitokselle vaihdetaan lähitulevaisuudessa. Taulukossa 3 on esitetty uuden päämuuntajan tekniset ominaisuudet.

Taulukko 3. Päämuuntajan tekniset ominaisuudet [15].

Suure	Arvo
<i>Nimellisteho</i>	1150 MVA
<i>Nimellisjännite</i>	20/412 kV
<i>Nimellisvirta</i>	1612/33198 A
<i>Oikosulkuimpedanssi</i>	14,2 %
<i>KytKentä</i>	YNd11
<i>Paino</i>	513500 kg
<i>Jäähdytys</i>	OFAF

Päämuuntajalla on suojausja, jotka ovat osa blokkisuoja ja sekä itsenäisesti toimivia laukaisuja. Muuntaja on varustettu kaasureleellä, öljyn korkeuden osoittimella ja lämpötilan mittauksella. Kaasureleellä todetaan muuntajassa ylikuumenemisen, purkauksen tai valokaaren aikaansaaman kaasun sekä öljyn hajoamisen yhteydessä

syntyvän kaasun ilmeneminen. Kaasu kerääntyy kaasureleeseen ja sen ylittäessä sille asetellut rajat annetaan joko hälytys tai laukaistaan muuntajan katkaisija. Muuntajan öljyn lämpötilaa mitataan kapillaarilämpömittarilla. Öljyn lämpötilan noustessa 100 °C muuntaja erotetaan verkosta. Kaasurele ja lämpötilamittari on yhdistetty samaan laukaisulinjaan, joka siirtyy blokkisuojaan. Myös käämien lämpötilaa mitataan epäsuorasti alajännitepuolelle kiinnitettyjen virtamuuntajien kautta. Laukaisu tapahtuu 120 °C lämpötilassa. Öljyn korkeudesta annetaan vain hälytykset ylä- ja alarajan kohdalla. [14, s. 5-10]

Päämuuntajan suojaustoiminnot kuten blokkidifferentiaalisuoja sekä ali-impedanssisuoja kuuluvat blokkisuojaukseen. Blokkidifferentiaalisuojan suojaus alueeseen kuuluu päämuuntaja, generaattorikisko sekä omakäyttömuuntajat. Näiden lisäksi muuntajan suojaukseen kuuluvat myös 400 kV kytkinkentän suojareleillä toteutetut ylivirta- ja distanssisuojaus. Näiden avulla suojaudutaan vikatilanteilta päämuuntajan yläjännitekäämien ja kytkinkentän välisellä osuudella. [14, s. 10]

Molemmat omakäyttömuuntajat ovat ominaisuuksiltaan samanlaiset. Omakäyttömuuntajat ovat kolmivaiheisia kolmikäämimuuntajia. Niiden jäähditysjärjestelmän toiminta riippuu kuormitustilanteesta. Se toimii joko luonnollisella tai pakotetulla ilmakierrolla. Omakäyttömuuntajat on siis yhdistetty 20 kV:n generaattorikiskoon, josta ne muuntavat jännitteen 6,6 kV:n tasolle. Omakäyttömuuntajat syöttävät neljää eri osajärjestelmää. Muuntaja 613T101 syöttää A/C-osajärjestelmiä ja muuntaja 613T201 syöttää B/D osajärjestelmiä. Molemmilla muuntajilla on väliottokytkimet, joilla pystyy muuttamaan muuntosuhdetta. Väliottokytkimen asentoa on mahdollista muuttaa vain, jos muuntaja on erotettu verkosta. Taulukossa 4 on esitetty omakäyttömuuntajien tekniset ominaisuudet. [16]

Taulukko 4. Omakäyttömuuntajien tekniset ominaisuudet [16].

Suure	Arvo
<i>Nimellisteho</i>	30/16/16 MVA
<i>Nimellisjännite</i>	20/6,9/6,9 kV
<i>Nimellisvirta</i>	866/1339/1339 A
<i>KytKentä</i>	Dyn1yn1
<i>Paino</i>	51000 kg

Omakäyttömuuntajien suojaus on toteutettu pääosin omilla suojareleillä, jotka eivät kuulu blokkisuojaan. Suojareleiden toiminnot ovat differentiaali- ja ylivirtasuojaus. Blokkisuojaassa on kuitenkin suojaustoimintoja, joilla suojataan myös omakäyttömuuntajia. Ne ovat blokkidifferentiaali-, ylimagnetointi-, taajuus- ja

ylijännitesuojat. Muuntajilla on myös primäärisuojat, jotka toimivat muuntajan ensisijaisina suojina määritellyissä tilanteissa. Kaasurele toimii samalla tavalla kuin päämuuntajassa vikatilanteiden suojana. Myös omakäyttömuuntajilla kaasurele aiheuttaa laukaisun. Öljyn korkeuden mittauksesta on olemassa hälytysrajat. Öljynlämpötilasta annetaan myös hälytykset ja laukaisut. Laukaisu tapahtuu 105 °C lämpötilassa. Käämien lämpötilaa mitataan vastuksellisia lämpötilasensoreita käyttämällä. Suoja laukaistaan 135 °C lämpötilassa. [16, s. 6-8] Blokkisuojaan tuodaan tiedot omakäyttömuuntajien differentiaali- ja ylivirtasuojan laukeamisesta sekä öljyn lämpötilan laukaisusta ja kaasureleen toiminnasta. Nämä suojat sijaitsevat omassa erillisessä relekaapissa kytkinlaitosrakennuksessa.

2.3.3 Generaattorikisko ja generaattorikatkaisija

Generaattorikiskojen tehtävänä on siirtää generaattorin tuottama sähköenergia päämuuntajalle sekä omakäyttömuuntajille. Generaattorikiskot ovat ilmaeristeisiä ja ne ovat koteloitu putkeen. Niiden häviöt jäähdytetään ilmalla tiettyyn rajaan asti, jonka jälkeen jäähdytysjärjestelmä alkaa toimia. Jäähdytysjärjestelmä toimii pakotetulla ilmankierrolla. Generaattorikiskon nimellisjännite on 24 kV ja virta 32 kA. Generaattorikiskojen yhden vaiheen pituus on 41 metriä. [17]

Generaattorikatkaisijan avulla generaattori kytketään sekä 400 kV kantaverkkoon että omakäyttöverkkoon. Sen avulla generaattori pystytään tahdistamaan ulkoiseen verkkoon. Suojauksen kannalta sen tärkeimpänä ominaisuutena on katkaista esiintyvät vika- ja kuormitusvirrat. Katkaisija käyttää paineilmaa sen ohjauksessa ja kytkentätilanteiden aiheuttamien valokaarien sammutuksessa. [18]

2.3.4 Mittamuuntajat

Mittamuuntajien tehtävänä on muuntaa sähköjärjestelmän suureet suojareille ja mittalaitteille sopivalle tasolle. Niiden avulla erotetaan ensiö- ja toisiopiirit toisistaan. Suojalaitteiden avulla huolehditaan sähköjärjestelmän suojauksesta, toiminnasta ja valvonnasta. Mittamuuntajia on kaksi eri tyyppiä, virta- ja jännitemuuntaja. Virtamuuntajat ovat kytketty sarjaan virranjohtimen kanssa. Jännitemuuntajat ovat taas kytketty johtimen rinnalle. Mittamuuntajilla on erilaisia tarkkuusluokkia riippuen niiden käyttötarkoituksesta. Suojareleet tarvitsevat melko tarkkoja arvoja, mutta ei niin tarkkoja kuin esimerkiksi laskutuksessa käytettävät energiamittarit. [19]

Suojausta ajatellen virtamuuntajan tärkeimpänä ominaisuutena on korkeampien vikavirtojen tarkka toistaminen. Tämä tarkoittaa sitä, että virtamuuntaja ei saisi kyllästyä lasketuilla vikavirran tasolla. Jos virtamuuntaja kyllästyy, se tarkoittaa virran arvon

vääristymää. [19] Tämä on tärkeää etenkin ylivirtasuojauksessa suunniteltaessa. Differentiaalisuojauksessa virtamuuntajien taas tarvitsee olla ominaisuuksiltaan identtiset, jotta suoja toimisi virheettömästi. Differentiaalisuoja mittaa suojausalueen sisään menevää ja ulos tulevaa virtaa. Normaalissa tilanteessa virtojen erotus on nolla. Usein tällaisissa tilanteissa virtamuuntajat valitaan samasta valmistuserästä, jotta itse virtamuuntajat eivät aiheuttaisi perusteetonta laukaisua.

Blokkisuojaus käytetään 12 eri pisteessä sijaitsevaa virtamuuntajaa. Niiden sijainti on esitetty kuvassa 1 ja ominaisuudet taulukossa 5. Generaattorin ja generaattorikatkaisijan välissä on virtamuuntajia kolme kappaletta jokaista vaihetta kohden. Niiden tunnuksena käytetään F- kirjainta. Samalla tavalla nollapistekotelon puolella on kolme virtamuuntajaa jokaisessa vaiheessa, joiden tunnuksena käytetään N-kirjainta. Virtamuuntajat ovat rengasmallisia ja ne ympäröivät kiskoa. Omakäyttömuuntajien alajännitepuolelta jokaisen osajärjestelmän syöttökaapeleista löytyy virtamuuntajat. Päämuuntajassa on kaksi virtamuuntajaa. Yläjännitepuolella virtamuuntajat ovat jokaisen vaiheen ympärillä. Tämän lisäksi nollapisteessä on virtamuuntaja. [14, 17]

Taulukko 5. Virtamuuntajien ominaisuudet [14, 17]

Virtamuuntaja	Suhde	Teho	Tarkkuus
611 / 1N	1500/2 A	10 VA	5P100
Maad. Kuristin	2000/2 A	30 VA	10P10
642A	2500/2 A	5 VA	5P60
642B	2500/2 A	5 VA	5P60
642C	2500/2 A	5 VA	5P60
642D	2500/2 A	5 VA	5P60
4211101 - 3F	30000/5 A	60 VA	cl. 0,2
4211101 - 2F	30000/5 A	17 VA	5P
4211101 - 1F	30000/5 A	60 VA	5P20
4211102 - 3N	30000/5 A	60 VA	5P20
4211102 - 2N	30000/5 A	40 VA	1% 3* 2s
4211102 - 1N	30000/5 A	55 VA	5P20

Jännitemuuntajien tärkeimpänä ominaisuutena suojauksen kannalta on ylläpitää vaadittava 2 %:n tarkkuus aina nimellisjännitteeseen saakka. Jännitemuuntajat ovat usein elektromagneettisia aina 36 kV:iin asti. Tästä korkeammilla jännitteillä käytetään yleensä kapasitiivisia jännitemuuntajia. Jännitemuuntajissa on vain yksi magneettisydän ja niissä on yleensä yksi toisiokäämitys. Tämän rinnalle lisätään usein

avokolmiokäämitys maasulkujännitteen mittausta varten. [19] Blokkisuojaan kuuluvien jännitemuuntajien ominaisuudet ovat kuvattu taulukossa 6.

Taulukko 6. Jännitemuuntajien ominaisuudet [17].

Jännitemuuntaja	Suhde	Teho Y	Teho D
631U101	22000/110/110 V	60 VA	100 VA
631U102	22000/110/110 V	60 VA	100 VA
631U103	22000/110/110 V	60 VA	100 VA
631U104	20000/500 V	180 VA	

Blokkisuojan jännitemuuntajat sijaitsevat generaattorikatkaisijan molemmilla puolilla. Generaattorin puolella on kaksi jännitemuuntajaa. Päämuuntajan puolella on vain yksi jännitemuuntaja. Jännitemuuntajien toisiopiirit on varustettu johdonsuojakatkaisijoilla. Jännitemuuntajilla on kaksi toisiokäämistystä. Toinen on tähtikytkentäinen ja toinen kolmiokytkentäinen. Näiden lisäksi yksi maadoitusmuuntaja sijaitsee generaattorin nolllapisteessä. [17]

3. VOIMALAITOKSEN SUOJAUS

Voimalaitosten suojaus on sähköjärjestelmän sekä itse voimalaitoksen suurien komponenttien kannalta erityisen tärkeä asia. Useat voimalaitoksen laitteet kuten generaattori ja muuntaja ovat todella suuria investointeja. Jotta näille investoinneille saavutetaan suurin mahdollinen tuotto, niiden toiminnan täytyy olla luotettavaa ja turvallista. Sähköjärjestelmässä tapahtuu joka tapauksessa vikoja, joita ei pystytä välttämään edes erityisen hyvällä suunnittelulla. Vikatilanteet aiheuttavat vaaraa ihmisille sekä sähköjärjestelmälle ja sen komponenteille. Näissä tilanteissa virran suuruus saattaa nousta niin korkeaksi, että se voi polttaa johtimia tai aiheuttaa rakenteiden vaurioitumisia generaattorissa ja muuntajissa. Vauriot voivat syntyä aina muutamasta millisekunnista sekunteihin asti. Tämän vuoksi suojauksen tärkeimpänä tehtävänä on havaita vikatilanteet selektiivisesti ja erottaa ne mahdollisimman nopeasti. [20, s. 7]

Ydinvoimalaitosten suojauksen kannalta on tärkeää, että ulkopuolisen verkon häiriötilanteet eivät käynnistäisi laitoksen ydinturvallisuusjärjestelmän toimintaa. Sääto- ja ohjauslaitteiden vikaantuminen ei saa myöskään vaikuttaa suojauslaitteiden toimintaan. [21, s. 14]

Luvussa käsitellään suojauksen perusteita, vaatimuksia ja tavoitteita, jotka on otettava huomioon suojauksen suunnittelussa. Järjestelmän uusinnan toteutuksen kannalta on myös olennaista selvittää, miten erilaisilta vikatilanteilta suojaudutaan. Erilaiset häiriötilanteet on tärkeä tunnistaa, sillä ne saattavat johtaa vikatilanteisiin. Tämän avulla pystytään analysoimaan, mitkä suojaustoiminnot toimivat vikatilanteiden ensisijaisena suojana ja mitkä taas ovat varasuojana. Lopuksi nämä johtopäätökset kerätään taulukkoon, jonka avulla pystytään pohtimaan ja perustelemaan suojaustoimintojen sijoittelua ja suojalaitteiden määrää uudessa blokkisuojan toteutuksessa. Tämän lisäksi tutkitaan Fingridin määrittelemiä voimalaitoksen järjestelmätekniisiä vaatimuksia blokkisuojan näkökulmasta.

3.1 Suojauksen perusteet, tavoitteet ja vaatimukset

Suojauksen tärkeimpänä tavoitteena on suojata ihmisiä, sähköjärjestelmää ja sen komponentteja vikatilanteiden vaikutuksilta. Erilaiset vikatilanteet voivat aiheuttaa monenlaista vaurioita. Vikavirrat voi johtaa komponentin hajoamiseen tai ne voi aiheuttaa ylikuumentumista, joka johtaa komponenttien eliniän heikkenemiseen tai

eristevaurioihin. Jotkin normaalista poikkeavat tilanteet kuten ali- ja ylijännitteet saattavat aiheuttaa vikatilanteen syntymisen, jolloin niiden nopealla tunnistuksella pystytään tällaiset tilanteet. Suojauksen tavoitteena on normaalissa toiminnassa ehkäistä tarpeettomat ja turhat laukaisut sekä vikatilanteissa suorittaa laukaisut niin, ettei mitään vikatilannetta jää tunnistamatta. [22]

Suojauksen pitää olla siis luotettava, jolloin suojausjärjestelmä toimii oikeaan aikaan oikealla tavalla. Suojauksen pitää toimia nopeasti ehkäistäkseen vian aiheuttamat vahingot sekä rajoittaa vika-alue vain vian vaikutusalueelle. Yhtenä tärkeänä suunnitteluperusteena on myös taloudellisuus, joka riippuu suojattavan kohteen vikaantumisen aiheuttamista kustannuksista. Kaiken kaikkiaan mahdollisimman selväpiirteinen toiminta ja kokonaisuus ovat suojausjärjestelmän tärkeimpiä ominaisuuksia. [23]

3.1.1 Selektiivisyys ja herkkyys

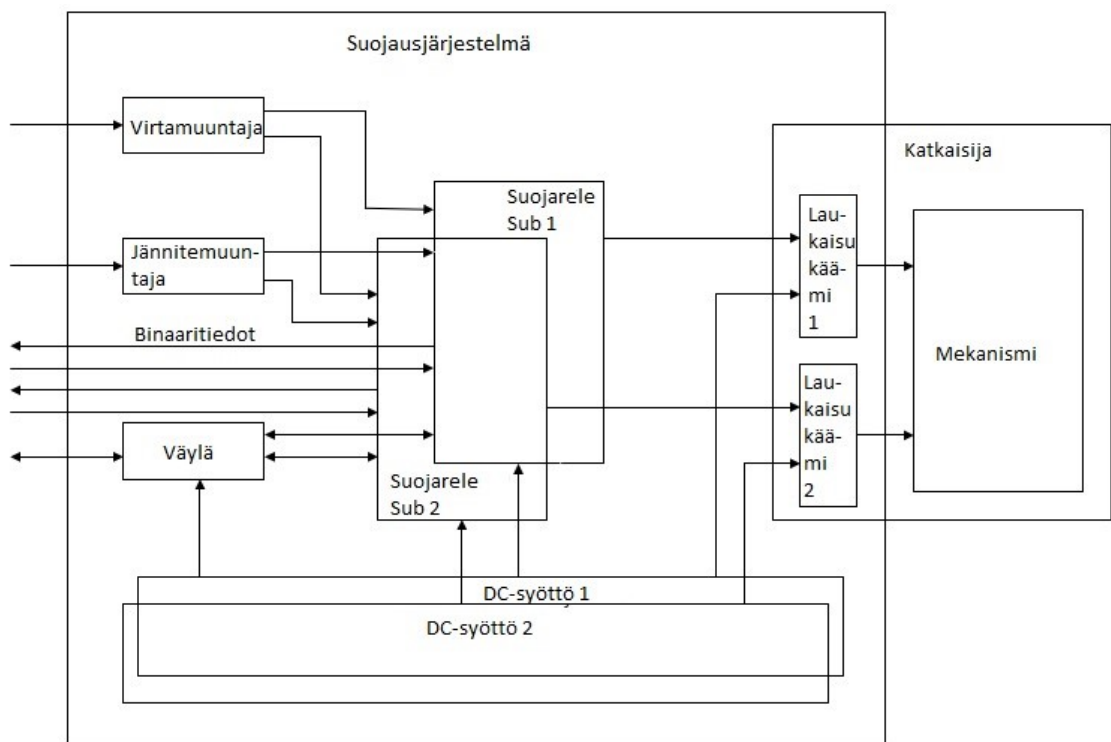
Suojauksen selektiivisyys tarkoittaa sähköjärjestelmän vian eristämistä vain sen vaikutusalueelle. Tämän avulla saavutetaan mahdollisimman pienen osan irrottaminen järjestelmästä. Selektiivisyydellä on merkittävämpi vaikutus siirto- ja jakeluverkkojen suojauksen suunnittelussa. Voimalaitoksessa täytyy ottaa huomioon laitostason suojaus, jonka täytyy toimia selektiivisesti. Selektiivisyyden saavuttamiseksi voidaan käyttää muutamaa eri tapaa. Suojaukset voidaan porrastaa ajan sekä mitattavan suureen avulla. Toisena tapana suojauksen selektiivisyyden toteutuksessa on suojausalueiden käyttö. Parhaimpana esimerkkinä tästä toimivat differentiaalisuojaus, joka tunnistaa vain sille määritetyn suojausalueen sisällä olevat viat. Se myös laukaisee vain vika-alueen katkaisijan. Tällä tavalla suojaus saadaan nopeaksi, koska sen ei tarvitse välittää muiden suojien havainnoista. [20] Myös kommunikaatioon pohjautuvaa selektiivisyyttä on erilaisten lukitusviestien ja pakkolaukaisuiden käyttö. Esimerkiksi sähköasemilla sekä syöttökentän että lähtökentän releet havaitsevat ylivirran, kun vikapaikka on lähtökentässä. Tällöin lähtökentän rele lähettää syöttökenttään lukitustiedon ylivirtahavainnosta. Tässä tapauksessa pelkästään yhden lähdön katkaisija aukeaa eikä sähköaseman kaikkien kenttien syöttö katoa.

Suojauksen herkkyys perustuu tehonjaon ja vikavirtojen laskennan avulla määriteltyihin suojausten asetteluarvoihin, jolloin suojat toimivat oikeassa järjestyksessä. Herkkyydellä tarkoitetaan myös suojalaitteiden toimintatarkkuutta. [20]

3.1.2 Kahdennus

Tärkeiden kohteiden suojausjärjestelmille on tyypillisesti asetettu ehto, jota kutsutaan N-1 periaatteeksi. Se tarkoittaa sitä, että niiden pitää pystyä poistamaan vikatilanne, vaikka suojausjärjestelmästä olisi yksi komponentti vikaantunut. Suojausjärjestelmän jokaisella komponentilla on siis oltava varasuoja. Yleisesti tällainen varasuojaus saadaan toteutettua kahdella erillisellä osajärjestelmällä. Kuvassa 3 on esitetty suojausjärjestelmän toteutus kahdennetusti kahden subin avulla. [2, s. 31]

Suojausjärjestelmässä itsessään on lukuisia vikaantumiselle alttiita laitteita sekä järjestelmiä. Releet voivat menettää mittamuuntajilta saamansa jännite- tai virtasignaalit, joka voi johtaa tarpeettomaan laukaisuun. Suojalaitteiden apusähkösyöttö saatetaan menettää, jolloin suojalaitteet ovat pois toiminnasta. Releen sisäiset komponentit voi vikaantua sekä niiden ohjelmistoissa saattaa olla virheitä. Myös katkaisija saattaa vikaantua, joka saattaa johtua laukaisupiirin viasta, itse mekanismin hajoamisesta tai laukaisusignaalin katoamisesta. [23, s. 60]



Kuva 3. Redundanttisen suojausjärjestelmän laitteet. Muokattu lähteestä [2, s. 31]

Osajärjestelmät kannattaa pyrkiä erottamaan toisistaan mahdollisimman selkeästi. Tavoitteena on, että ne pystyvät toimimaan täysin toisistaan riippumattomina kokonaisuuksina. Tämä tarkoittaa sitä, että osajärjestelmät ovat galvaanisesti eroteltu

sekä tiedonkulun avulla eroteltu. Yleensä näihin vaatimuksiin on joitain poikkeuksia, jotka ovat hyväksytyjä. Primäärilaitteista sama virtamuuntaja voi syöttää molempia subeja tai virtamuuntajan eri toisio käämityksistä voidaan syöttää eri subeja. Samaa periaatetta voidaan käyttää jännitemuuntajien kohdalla. Katkaisijat ovat usein varustettu kahdella erillisellä laukaisukäämillä. Tällöin molemmilla subeilla on omat laukaisupiirit, joilla pystytään ohjaamaan katkaisijaa. Tämän lisäksi katkaisijoilla käytetään katkaisijavikasuojaa, jonka avulla aukaistaan varalla toimiva katkaisija piirin avaamiseksi. Tämä kuitenkin johtaa pieneen viiveeseen suojausten toiminta-ajassa. [2, s. 31]

Kahdennusperiaatteen avulla saadaan siis aikaiseksi varma suojausjärjestelmä vikatilanteita vastaan. Suojalaitteiden kahdennus ja niiden suuri rinnakkainen määrä voi aiheuttaa myös haasteita. Ne voivat kasvattaa tarpeettomien laukaisujen määrää ja näin ollen myös heikentää järjestelmän toimintavarmuutta. Yleisesti kahdennuksen ajatellaan olevan pelkästään fyysisten laitteilla toteutettavaa, mutta kokemuksen perusteella noin 30 % virhetoiminnoista johtuu ihmisen aiheuttamista inhimillisistä virheistä [24]. Näitä voi tapahtua monissa eri tilanteissa aina suojausjärjestelmän suunnittelusta sen käyttöön ja testaukseen. Inhimillisiä virheitä saattaa tapahtua suojausten suunnittelun ja asennuksen aikana. Nykyaikaisten suojausjärjestelmien ohjelmoitavuus on kasvattanut virheen riskiä asetelujen määrityksessä sekä laitteiden konfiguroinnissa. Suojausjärjestelmien monimutkaisuus on viime aikoina kasvattanut inhimillisen virheen todennäköisyyttä. Tällaisia tilanteita voidaan pyrkiä ehkäisemään ihmistyön kahdennuksella sekä laadun varmistuksella. [2, s. 33]

Kahdennusta voidaan pyrkiä toteuttamaan myös subien sisäisesti, jolloin yhden laitteen vikaantuminen ei estäisi koko subin toimintaa. Tällaisessa tilanteessa subiin jäisi vielä riittävä suojaustaso, vaikka yksi laite hajoaisikin. Subin sisäisesti suojaustoimintojen sijoittelulla ja laitteiden määrän valinnalla ei pystytä saamaan aikaiseksi täydellistä suojaustasoa, mutta joihinkin tilanteisiin riittävä taso. Suojaustoimintojen sijoittelulla laitteisiin pyritään sellaiseen tilanteeseen, jossa vikatilanteen ensisijainen suoja ja varasuojat eivät olisi samassa laitteessa. Kaikille vikatilanteille ei kuitenkaan löydy riittävän hyvää varasuojaa, jonka vuoksi on mahdotonta suojaautua jokaiselta vikatilanteelta suojaustoiminnon ollessa pois käytöstä.

Nykyaikaisilla suojausjärjestelmillä kaikki suojaustoiminnot on mahdollista sijoittaa yhteen laitteeseen, mutta suojausten kannalta tämä ei kuitenkaan ole välttämättä paras vaihtoehto. Laittevikautumisen vuoksi on järkevämpää hajauttaa suojaustoiminnot useampaan laitteeseen. On myös mahdollista, että rinnakkaisissa subeissa toisessa suojaus on toteutettu eri määrällä laitteita kuin toisessa.

3.1.3 Nopeus

Vian poistamisessa tavoitellaan usein mahdollisimman nopeaa aikaa. Suojien nopea toimiminen ehkäisee vian laajentumista muihin järjestelmiin sekä minimoi syntyvät vauriot. Nopealla vikasuojauksella kasvatetaan mahdollisuuksia verkon stabiilin tilan ylläpitoon myös suuremmilla kuormituksilla. Voimalaitoksilla suojauksen pitää toimia mahdollisimman nopeasti, mutta kuitenkin suunnitellulla tavalla. Tällöin selvittää mahdollisimman pienin taloudellisin vaikutuksin. Suojauksen nopeuteen vaikuttaa vian tunnistamiseen käytetty aika sekä katkaisijan tai toimilaitteen toiminta-aika. Myös kommunikaatioviiveet vaikuttavat nopeuteen tietyissä tilanteissa. [20, s. 11]

3.1.4 Luotettavuus

Suojauksen pitää olla käyttövarma. Sen pitää toimia vikatilanteissa oikein vaaditulla tavalla. Suojaus ei saa aiheuttaa tarpeettomia laukaisuja normaaleissa käyttötilanteissa tai normaalista poikkeavissa, mutta suunnitelluissa olosuhteissa. Näitä voivat olla mm. jännitteensäätö ja sysäysvirrat. Suojauksen uudet toiminnot sekä monenlaiset käyttötoiminnot ovat osittain vähentäneet suojausjärjestelmän käyttövarmuutta niiden monimutkaisuuden vuoksi. [25, s. 4]

3.2 Vikatilanteilta suojautuminen

Blokkisuojan pitää havaita lukuisia erilaisia vikatilanteita ja häiriöitä, joita voi esiintyä voimalaitoksen omakäyttöverkossa sekä ulkoisen verkon puolella. Blokkisuojan tarkoituksena on havaita vikatilanteet ja häiriöt generaattorissa, generaattorikiskossa sekä pää- ja omakäyttömuuntajissa. Myös generaattori- ja laitoskatkaisijan vikaantumiseen tarvitsee varautua. Generaattorissa voi syntyä monenlaisia vikoja, joiden tunnistaminen on ensiarvoisen tärkeää. Blokkisuojan suojaustoiminnosta suurin osa on generaattorin suoja. Näiden lisäksi on myös erikseen muuntajasuojia ja suojaustoimintoja, jotka suojaavat useampaa komponenttia.

Seuraavaksi käydään läpi vikatilanteet, joita voi syntyä järjestelmässä. Vikatilanteiden aiheuttamat vaikutukset selvitetään ja miten tilanteita vastaan suojaudutaan. Tämän lisäksi tutkitaan myös vikatilanteille varasuojauksia sekä millä muilla toiminnoilla tilanteita voitaisiin havaita. Kaikkia generaattorin suojauksen erityisiä suojaustoimintoja ei käydä läpi, sillä osa suojauksista on toteutettu OL1 ja OL2 laitوسyksiköillä muissa järjestelmissä. Vain blokkisuojan uusinnan kannalta olennaisia vikatilanteita tarkastellaan. Esimerkiksi tahaton verkkoon kytkentä on estetty generaattorin tahdistuslaitteistossa. Myöskään suojaustoimintojen tarkkaa toimintatapaa ei käydä läpi vaan, ainoastaan vikatilanteiden

vaikutukset järjestelmälle. Nykyisen suojauksen suojaustoimintoja käydään tarkemmin läpi luvussa 5 nykytoteutuksen yhteydessä.

3.2.1 Staattorin ja roottorin suojaaminen lämpövaikutuksilta

Generaattorin staattorin ylikuormitukselta ja lämpövaikutuksilta voidaan suojautua muutamalla suojaustoiminnolla. Yleisesti suojaus toteutetaan generaattorin ylikuormitussuojalla. Ylikuormitussuoja on usein toteutettu ylivirtasuoja toiminnolla. Tällöin ylivirtasuojan ominaiskäyrä on määritelty toimimaan käännteisaikaisesti. Ylikuormasuojasta annetaan valvomoon usein hälytys ennen suojan laukeamista, jolloin käyttöhenkilöillä on aikaa vähentää kuormitusta ja ehkäistä laukaisu. Tämän suojauksen lisäksi staattorikämmityksen lämpötilasuojauksessa käytetään usein vastuksellisia lämpötilasensoreita (RTD). Nämä lämpötilasensorit antavat usein hälytyksiä niille määriteltyjen raja-arvojen ylittyessä. Generaattorin jäähdytysjärjestelmän vikaantuessa generaattorin staattorin eristykset saattavat heikentyä nopeasti ja ne voivat vaurioitua. Jäähdytysjärjestelmän vika pyritään havaitsemaan usealla eri tavalla. Mittaamalla käämien ja veden lämpötilaa sekä jäähdytysaineen virtausta tai painetta pystytään tunnistamaan häiriötilanteet. [9, s. 14–16]

Roottorin lämpövaariosuojaus voidaan jakaa kahteen osaan, sen käämitykseen sekä itse runkoon. Roottorin käämityksiin on mahdoton asettaa lämpötilasensoreita eikä epäsuora mittaus magnetointipiiristä ole harjattomassa ratkaisussa mahdollista. Näin ollen lämpötilasensoreilla ei pystytä suojautumaan roottorin käämitysten lämpövaurioilta. Jännitesäätäjällä voi myös olla rajoittimia, millä se pyrkii hallitsemaan liian suurta magnetointivirtaa. Jännitesäätäjällä on myös oma ylikuormasuojaus, jonka avulla suojaudutaan myös roottorin ylikuormittumiselta. Roottorin rungon lämpötilan mittaus on hankalaa eikä sitä ole mahdollista mitata muuten kuin käyttämällä epäsuoria tapoja. Tämän vuoksi lämpötilavaurioilta suojaudutaan tunnistamalla roottorin rungon lämpenemää aiheuttavat vikatilanteet. Roottorin rungon lämpenemiä saattaa aiheuttaa mm. vinokuormitus, magnetointivirran menetys sekä tahtikäytöltä putoaminen. Näitä tilanteita varten on omat suojaustoiminnot, joiden avulla roottorin lämpövaurioilta voidaan suojautua. [9, s. 18–19]

3.2.2 Vaiheviat

Vaihevikoja voi syntyä, kun kaksi tai useampaa vaihetta koskettavat toisiaan. Vikatyyppejä on siis vaiheiden välinen oikosulku sekä kolmivaiheinen oikosulku. Oikosulkuja voi tapahtua generaattorin staattorissa, sen ulostuloissa, omakäyttömuuntajissa ja päämuuntajissa. Koteloidussa generaattorikiskossa

oikosulkujen syntyminen on hyvin epätodennäköistä. Oikosulkuja voi syntyä myös ulkoisessa 400 kV verkossa. Oikosulku joka tapahtuu joko generaattorissa tai sen läheisyydessä aiheuttaa suuria oikosulkuvirtoja, joten generaattori on irrotettava verkosta mahdollisimman nopeasti. Oikosulkujen seurauksena eristykset ja käämitykset voivat vaurioitua. Ne kasvattavat riskiä myös erilaisiin räjähdyksiin ja tulipaloihin. Korkeat vikavirrat aiheuttavat suuria voimia, jotka voivat vahingoittaa laitoksen komponentteja. Generaattorin- ja turpiinin akseliin syntyy myös mekaanisia rasituksia.

Generaattorin staattorin sekä sen ulostuloissa vaihevikojen suojauksessa käytetään yleensä differentiaalisuojaa. Se havaitsee kolmivaiheiset viat, vaiheiden väliset viat sekä vaihe-vaihe-maa väliset viat. Sen avulla ei kuitenkaan havaita vikoja, joissa yksivaihe on oikosulussa itsensä kanssa. Tällöin suojausalueen sisään menee yhtä suuri virta kuin lähtee. Tällaisen tilanteen tunnistukseen on mahdollista käyttää omaa kierrossulkusuojaa. [9, s.19–20] Differentiaalisuojan varasuojana käytetään yleisesti impedanssisuojaa. Impedanssisuoja toimii myös varasuojana vaihevioille muuntajassa sekä ulkoisessa verkossa. Yhtenä vaihtoehtona olisi myös laajentaa päämuuntajan ja omakäyttömuuntajien differentiaalisuoja kattamaan myös generaattorin. Myös vinokuormasuojan avulla havaitaan generaattorin kahden vaiheen väliset oikosulut. [9 s. 29–30] Generaattorilla on myös ylivirtasuojat, jotka havaitsevat määrätty viat. Viasta ja vikapaikasta riippuen voi oikosulussa aiheutua merkittävä jännitekuoppa ja määrättyissä tilanteissa alijännitesuojaus voi havahtua ja toimia, jolloin alijännitesuojauksen voi katsoa toimivan kuten jonkin asteinen varasuojaus. [26]

Muuntajissa syntyvät vaiheviat pyritään tunnistamaan myös differentiaalisuojauksen avulla. Differentiaalisuoja tunnistaa ylä- ja alajännitekäämityksissä tapahtuvat oikosulut. Myös ylivirtasuojalla voidaan tunnistaa vaiheviat. Saman vaiheen kierrossulut tunnistetaan kaasureleen avulla. [20, s. 16-6] OL1 ja OL2 laitoksilla muuntajien ja generaattorikiskon differentiaalisuoja on toteutettu blokkialueena. Se siis tunnistaa kaikki vaiheviat pää- ja omakäyttömuuntajissa sekä generaattorikiskossa.

Ulkopuolisen 400 kV verkon suojaus on toteutettu omilla suojareleillä. Voimalaitoksen suojat toimivat normaalissa käytössä varasuojana niille. Tätä tarkoitusta varten käytetään ali-impedanssisuojaa. Suojan toiminta-aika on riippuvainen kytkentätilanteesta. Normaalissa käytössä viive on suuri sillä ulkoisen verkon suojien pitää toimia tällaisissa tilanteissa ensin. Omakäyttötilanteessa ali-impedanssi suoja toimii nopeasti päämuuntajan ja laitoskatkaisijan välillä tapahtuvissa oikosuluissa. [27]

3.2.3 Maasulkusuojaus

Maasulkusuojauksella suojaudutaan sellaisilta tilanteilta, joissa vaihe ja maa ovat yhteydessä toisiinsa. Myös sellaiset tilanteet kuten vaihe-vaihe-maa ja kolmivaiheinen oikosulku maihin lasketaan maasulkuvioiksi. Maasulkuvioissa syntyvät maasulkuvirrat voivat aiheuttaa vaurioita monessa eri komponentissa blokkisuojan alueella. Esimerkiksi generaattorin staattorissa maasulkuvirta voi vaurioittaa johtimia sekä niiden välisiä eristyksiä. Maasulut nostavat myös terveiden vaiheiden jännitteitä. Blokkisuojan alueella käsiteltäviä maasulun vika-alueita ovat generaattorin staattori ja roottori sekä staattorin ulostuloista päämuuntajan alajännitekäämeihin ja generaattorikiskon kautta omakäyttömuuntajien yläjännitekäämeihin ulottuva alue. Näiden lisäksi päämuuntajan yläjännitepuolelta 400 kV kytkinkentän laitoskatkaisijalle sekä johtolähdöille yltävä osa on yhtenä alueena. Maasulkusuojausta käydään läpi jokaisen alueen osalta.

Generaattorin staattorin maasulkusuojauksessa täytyy ottaa huomioon se, miten generaattori on maadoitettu sekä mahdollinen vian esiintymispaikka. Nämä tekijät vaikuttavat maasulkuvirran suuruuteen. Esimerkiksi vikapaikan lähestyessä staattorin nollapistettä maasulkuvirran suuruuskin pienenee lähes lineaarisesti. Kaikkia maasulkutilanteita ei myöskään havaita esimerkiksi differentiaalisuojausten avulla, joten sille tarvitaan erilliset herkät suojat. [9, s. 32–33] Olkiluodon ydinvoimalaitosten generaattorit ovat maadoitettu maadoitusmuuntajan kautta vastuksella. Tämän vuoksi vain tällaisen tilanteen suojaustavat käydään läpi. Generaattorin staattorin maasulkusuojaus on toteutettu kahdella eri suojaustavalla. Suojalla joka kattaa noin 80 % staattorin käämityksestä ja suojalla joka suojaa koko staattorikäämitystä. Staattorin 80 % suoja on asetettu generaattorin ulostuloihin jännitemuuntajan avokolmio kytkentään. Maasulku tunnistetaan nollajännitteen U_0 avulla.

Generaattorin staattorin 100 % maasulkusuojausten toteutukselle on muutama erilainen tapa hieman riippuen maadoitusjärjestelmästä. Tällä hetkellä käytetään menetelmää, jossa 20 Hz taajuisia jännitettä syötetään maadoitusmuuntajan ja maan välille, josta tutkitaan kuormitusvastuksen läpi kulkevaa virtaa sekä sen yli olevaa jännitettä. Näiden tietojen avulla lasketaan eristysvastus, jonka arvon perusteella tunnistetaan vikatilanteet. [28]

Generaattorin roottorin maasulkusuojauksessa on otettava huomioon se, että roottori on maadoittamaton. Tämän vuoksi yksittäinen maasulku ei vielä aiheuta toimenpiteitä normaalille käytön jatkamiselle. Yksi maasulku kuitenkin kasvattaa todennäköisyyttä toisen maasulun synnylle, joten jo ensimmäinen kannattaa pyrkiä havaitsemaan. Kun toinen maasulku syntyy, osa käämityksestä menee oikosulkuun. Tämä synnyttää epäsymmetrisiä magneettikenttiä ilmaväleihin, mikä johtaa roottorin värinäin ja saattaa

vahingoittaa koko generaattoria. Roottorin maasulun tunnistukseen on käytössä muutamia eri tapoja. [9] Koska OL1 ja OL2 laitoksilla magnetointi on toteutettu harjattomalla menetelmällä, se asettaa vaatimuksia suojaustavan valintaan. Tällaisessa tilanteessa käytetään apuna harjoja, jotka on yhdistetty magnetointipiiriin. Yhtenä tapana on syöttää alhaisella taajuudella olevaa tasajännitettä harjojen kautta magnetointipiiriin. Tasavirta vaihtaa polariteettiaan n.0,5-3 sekunnin välein riippuen roottorin maakapasitanssin ja maavastuksen suuruudesta. Tässä tavassa takaisin tulevaa jännitteen aaltomuotoa mitataan ja sen avulla arvioidaan eristysvastus. Roottorin maasulku saatetaan huomata myös värinöistä, jotka kasvavat maasulku tapauksissa. [28]

Generaattorikiskon alueen maasulkusuojaus perustuu samaan ideaan kuin staattorin 80 % maasulkusuojaus. Suojaus saa jännitetietonsa generaattorikiskoon sijoitetusta jännitemuuntajasta. Tällöin suoja toimii myös staattorin 80 % suojan varasuojana. Generaattorikiskossa oleva maasulkusuoja suojaa aluetta, joka rajoittuu päämuuntajan alajännitekäämeihin ja omakäyttömuuntajien yläjännitekäämeihin. Tällöin on varauduttu maasulkuvikoihin myös tilanteessa, jossa generaattorikatkaisija on auki ja omakäyttökuormat saavat syöttönsä 400 kV verkosta.

Myös päämuuntajan ja laitoskatkaisijan välisellä johdolla tapahtuvilta maasulkuvioilta täytyy suojautua. 400 kV verkko on tehollisesti maadoitettu, jolloin maasulusta saadaan selkeä tieto suuren maasulkuvirran vuoksi. Tällöin terveiden vaiheiden jännitteet eivät myöskään nouse kovin suuriksi [29]. Maasulkujen tunnistuksessa käytetään herkkää nollavirtarelettä. OL1 ja OL2 laitosyksiköillä nollavirta saadaan päämuuntajan tähtipisteen maadoituksessa olevasta virtamuuntajasta. Tämän suojan avulla maasulkuvioilta suojaudutaan voimalaitoksen ollessa omakäyttötilanteessa. Myös ali-impedanssi suojan kanssa havaitaan maasulkuviat päämuuntajan yläjännite puolella. Yleisesti ensisijaisena maasulkusuojana toimivat ulkopuolisen verkon suojat.

3.2.4 Epänormaalit jännitteet

Alijännitteitä voi syntyä kantaverkossa tapahtuvissa vioissa sekä jännitteensäätäjän vikaantuessa. Alijännitetilanteet eivät ole vaarallisia generaattorille ja muuntajille. Näissä tilanteissa tärkeintä on pitää omakäyttöverkon kuormat toiminnassa ja välttyä jännitteen romahdukselta. Alijännitteet ovat vaarallisia etenkin omakäyttöverkon moottoreille. Alijännitesuojauksella turvataan myös ydinturvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien toiminta. Alijännitetilanteissa omakäyttökuormat pyritään siirtämään varasyötölle. [30, s. 39–40]

Pitkäaikaisia ylijännitteitä ei pitäisi syntyä, jos automaattinen jännitteensäätäjä toimii oikein. Ylijännitteitä saattaa kuitenkin esiintyä, jos jännitteensäätäjä vikaantuu tai se on asetettu manuaalikäytöllä. Kuormien äkillinen irtoaminen verkosta aiheuttaa myös ylijännitetilanteita. Ylijännitesuojalla ehkäistään pääasiassa staattorin eristeaurioiden syntyminen. Laitostasolla ylijännitteiden siirtyminen omakäyttöverkkoon pyritään myös ehkäisemään. Ylijännitesuojan asetteluissa täytyy ottaa huomioon viive, jonka aikana automaattinen jännitteensäätäjä ehtii korjaamaan jännitteen tason normaaliksi. [30, s. 88–89]

3.2.5 Epänormaalit taajuudet

Taajuuden vaihtelu johtuu kuorman pudotuksesta tai tuotannon ja kulutuksen eroavuudesta. Kuorman pudotus johtaa generaattorin pyörimisnopeuden kasvuun, mikä puolestaan nostaa taajuuden normaalia korkeammalle tasolle. Ylitaajuudella ei itsessään ole suurta vaikutusta, koska sitä on helpompi säätää. Tuotannon ja kulutuksen ero saattaa johtua järjestelmän häiriötilanteista. Yhtenä häiriötilanteena on esimerkiksi suuren tuotantoyksikön menetys. Tällainen tilanne aiheuttaa alhaisen taajuuden. [9, s. 71]

Generaattorilla ja turbiinilla on asetettu taajuusrajat, joissa ne pystyvät toimimaan ilman vaurioitumista. Alitaajuudet ovat harmillisia etenkin höyryturbiinille. Taajuuden laskiessa liian alhaiseksi turbiinin siivissä voi esiintyä mekaanisia resonanssitiloja. Laitevalmistajat antavat aikarajat, joissa turbiini saa toimia alennetulla taajuudella. [25, s. 423]

3.2.6 Magnetoinnin vikatilanteet

Generaattorin magnetoinnissa voidaan havaita erilaisia vikatilanteita, joilta pyritään suojautumaan. Tärkeimmät vikatilanteet ovat magnetoinnin menetys sekä ylimagnetointi. Molemmat voivat johtua jännitteensäätäjän häiriöstä.

Magnetoinnin menetyksessä generaattorin pyörimisnopeus alkaa kiihtymään ja se toimii epätahtimoottorina. Tällaisissa tilanteissa generaattori jatkaa sähköjärjestelmän syöttämistä, mutta ottaa magnetoinnin ulkoisesta verkosta loistehona. Generaattorin pyörimisnopeuden ylittyminen 2-5 % prosentilla aiheuttaa vahinkoja turbiinissa. Kun magnetointi menetetään täydellä kuormalla toimittaessa, staattoriin syntyy jopa kaksinkertaisia virran suuruuksia normaalitilanteeseen verrattuna. Koska generaattori on menettänyt tahtinopeuden, myös roottoriin indusoituu suuria virtoja. Nämä suuret virrat aiheuttavat staattorikäemityksen ja sen rungon päiden ylikuumentumista. Myös sellaisiin tilanteisiin täytyy varautua, jossa jännitteensäätäjän virheellinen toiminta aiheuttaa alimagnetointi tilanteen. Samalla tavalla tällainen tilanne voi syntyä, kun

jännitteensäätäjän ohjaus suoritetaan manuaalisesti. Alimagnetoinnille asetetaan yleisesti ottaen kaksi rajaa generaattorin PQ-käyrällä. Ensimmäisenä on raja, jossa staattorille syntyy vaurioita. Toisena rajana on järjestelmän stabiilin tilanteen ylläpitäminen. [9, s. 50–51]

Ylimagnetointitilanteessa joko jännitteen arvo on noussut tai taajuus laskenut. Tämän vuoksi ylimagnetointisuoja vertaa jännitteen ja taajuuden suhdetta (V/Hz). Generaattori- ja muuntajavalmistajat antavat laitteilleen ylimagnetoitumisrajat, joiden perusteella suojaukset on aseteltava. Muuntajan ylimagnetoitumisraja riippuu myös sen kuormitusasteesta. Jos ylimagnetointirajat ylittyvät, havaitaan magneettisten osien kyllästymistä. Tämän lisäksi hajakenttiä saattaa syntyä myös sellaisiin osiin, joita ei ole suunniteltu kestämään niitä. Korkea magneettivuo synnyttää pyörrevirtoja generaattorin ja muuntajan rakenteisiin, joka aiheuttaa korkeita paikallisia jännite-eroja. Nämä puolestaan saattavat johtaa eristysten vaurioitumiseen. Ylimagnetointi tapahtuu yleisesti ottaen generaattorin käynnistyksen ja sammutuksen aikana. Näissä tilanteissa taajuus on alhainen, jolloin jännite-taajuus suhde kasvaa korkeaksi. Ylimagnetointia saattaa myös syntyä kuorman pudotuksen aikana. Näiden lisäksi ylimagnetointia voi aiheuttaa viat magnetointijärjestelmässä. Ylimagnetoinnilta suojaudutaan jännitteensäätäjän rajoittimien avulla. Rajoittimen avulla V/Hz suhteelle annetaan maksimiraja, joka ei riipu generaattorin pyörimisnopeudesta. Rajoitin toimii vain silloin, kun jännitteensäätäjä on automaattisella käytöllä. Toisena rajoittimena toimii magnetointivirran maksimiraja. Rajoittimille varasuojana toimii käänteisaikaisesti toimiva V/Hz-suoja. [9, 20]

3.2.7 Muut häiriötilanteet

Suojausalueella voidaan havaita lukuisia erilaisia häiriötilanteita, jotka pitää pyrkiä tunnistamaan ennen kuin ne muuttuvat vikatilanteiksi. Tällaisia häiriötilanteita ovat järjestelmän epäsymmetrinen kuormitus, generaattorin toiminnan vaihtuminen moottoriksi (takateho) sekä tahtikäytön menetys. Tällaiset tilanteet ja niiden aiheuttamat vaikutukset käydään läpi tässä osiossa.

Epäsymmetrinen kuormitus voi aiheutua lukuisista erilaisista tilanteista. Yleisimpiä ovat epäsymmetriset viat ja kuormat sekä auki oleva vaihe esimerkiksi katkaisijavian seurauksena. Tällaiset tilanteet synnyttävät virran vastakiertokentän, joka indusoi kaksinkertaisella taajuudella olevan virran roottorin pinnalle sekä osittain myös roottorin käämityksiin. Tällaiselta vikatilanteelta suojaudutaan laskemalla vaihevirtojen- ja jännitteiden avulla vastakomponentti I_2 . Normaalissa tilanteessa vastakomponentti on nolla, mutta vikatilanteessa vastakomponentti esiintyy. Suojauksen toimintakäyrä on

usein käännteinen. Generaattoreille sallitaan 3-5 % vastakomponentin arvon esiintyminen. [9, s. 55–58]

Tahtikäytön menetyksen riski on kasvanut viime aikoina sähköjärjestelmän pientyneen inertian määrän vuoksi. Tämä johtuu lähinnä pyörivien koneiden koon pienenemisestä sekä niiden määrän vähenemisestä. Myös tuulivoimaloiden määrän kasvu on heikentänyt inertian määrää, koska voimalat on usein kytketty verkkoon erilaisten suuntaajien avulla. Inertian määrän pienenemisen vuoksi sähköjärjestelmän kriittinen vika-aika on lyhentynyt, jolloin tahtigeneraattorit menettävät tahtikäytön nopeammin. Generaattorin tahtikäytön menetykseen saattaa johtaa myös järjestelmän alhainen jännitetaso, alhainen magnetointivirta sekä mahdolliset kytkentätoimenpiteet verkossa. Generaattorin tahdista putoaminen johtaa korkeisiin virtapiikkeihin sekä taajuuden vaihteluun. Nämä puolestaan johtavat käämitysten rasituksiin sekä synnyttävät mekaanisia resonansseja, jotka voivat vahingoittaa generaattoria ja turbiinigeneraattorin akselia. Tahtikäytön menetystä ei havaita differentiaalisuojauksen avulla. Alimagnetointisuoja tarjoaa jonkin asteisen suojan, mutta sen avulla ei havaita kaikkia tahdista putoamiseen johtavia tilanteita. Erillinen epätahtisuoja on siis välttämätön suurilla generaattoreilla. Epätahtisuojan toiminta perustuu impedanssin tarkasteluun, josta kerrotaan tarkemmin nykytoteutuksen yhteydessä. [9, s. 58–59]

Generaattori saattaa alkaa pyörittämään turbiinia tilanteessa, jossa turbiini on pysäytettynä ja generaattori on verkossa kiinni. Silloin generaattori alkaa toimia kuten moottori. Suurimpana huolenaiheena tällaisissa tilanteissa on höyryturbiinin vaurioitumisen ehkäiseminen. Turbiinissa ei ole jäähdyttävää höyryvirtausta generaattorin toimiessa moottorina, jolloin turbiinin eri osiin syntyy lämpörasituksia. Lämpötilan muutosten johdosta myös osien koko saattaa muuttua, jolloin ne voivat hankaantua toisiaan vasten. Suojautuminen takatehotilanteelta tehdään ensisijaisesti suojarieleellä, joka mittaa generaattorin pätötehoa ja sen suuntaa. Varasuojana voidaan käyttää myös lämpötilamittausta. Lämpötilamittareiden sijoittelulla on suuri merkitys tilanteen tunnistamisessa. Myös turbiinin höyryvirtauksen paine-ero mittauksella on mahdollista tunnistaa takateho tilanteet. [9, s. 68–70]

Yhtenä häiriötilanteena voidaan pitää myös katkaisijoiden vikaantumista. Katkaisija voi esimerkiksi jumiutua, jolloin se ei aukea lainkaan. Vaikka nykyaikaiset katkaisijat ovat luotettavia ja niillä on usein kaksi erillistä laukaisupiiriä ja käämiä, vikatilanteita saattaa kuitenkin syntyä. Tällaisia tilanteita varten voidaan käyttää katkaisijavikasuoja. Sen ideana on tarkkailla katkaisijan tilaa laukaisukomennon jälkeen. Jos katkaisija pysyy kiinni, suoja aukaisee pienen viiveen jälkeen varakatkaisijan. [25, s. 432] OL1 ja OL2 laitosyksiköillä tärkeimmät katkaisijat ovat laitoskatkaisija ja generaattorikatkaisija.

3.3 Yhteenveto vikatilanteiden suojuuksista

Vika- ja häiriötilanteet ovat koottu edellä olevan selvityksen perusteella taulukkoon 7. Vikatilanteiden paikat ovat määritelty OL1 ja OL2 laitosisyksiköiden verkkoliityntäkaavion mukaan. Taulukkoon on koottu jokaiselle vikatilanteelle ensisijainen suojaustapa. Tämän lisäksi mahdollinen varasuoja ja muut vian tunnistustavat on lisätty taulukkoon. Varasuojasta pohditaan tilanteen kautta, jossa ei oteta huomioon suojausjärjestelmän täydellistä kahdennusta. Tämä tarkoittaa sitä, että varasuojauksella pyritään subin sisäisen suojaustason kasvattamiseen erilaisissa laitevioissa.

Taulukko 7. Vikatilanteet ja niiltä suojautuminen.

Vikatilanne	Ensisijainensuoja	Varasuoja	Huomioitavaa
<i>Oikosulku Gen. Staattorissa</i>	Gen. Differentiaali	Ali-Impedanssi	Alijännite Ylivirta Kierrossulkusuoja Vinokuormasuoja
<i>Oikosulku Gen. Kisko - Pää- ja omakäyttö- muuntajat</i>	Blokkidifferentiaali	Ali-Impedanssi	Alijännite Ylivirta Kaasurele Vinokuormasuoja
<i>Oikosulku 400 kV verkossa</i>	400 kV omat suojat	Ali-Impedanssi	Ylivirta Vinokuormasuoja Alijännite
<i>Staattorin yli- kuorma</i>	Ylikuormasuoja		Lämpötilamittauk- set Jäähdytysjärjes- telmä
<i>Roottorin ylikuorma</i>	Jännitesäätäjän suojat	Magnetointivirran rajoittimet	
<i>Maasulku Staattori</i>	Staattorin 100 % maasulkusuoja	Staattorin 80 % maasulkusuoja	Gen. kiskon maa- sulkusuoja
<i>Maasulku Roottori</i>	Roottorin maasulkusuoja		Roottorin vä- rinämittaukset
<i>Maasulku 400 kV</i>	400 kV verkon omat suojaukset	Nollavirtasuoja I ₀ Päämuuntajalla	Ali-impedanssi
<i>Maasulku PM-Kisko-OKM</i>	Gen. kiskon maa- sulkusuoja	Staattorin 80 % maasulkusuoja	Staattorin 100 % maasulkusuoja
<i>Alimagnetointi</i>	Jännitteensäätäjän rajoitin	Alimagnetointisuoja	Ylivirta
<i>Ylimagnetointi</i>	Jännitteensäätäjän rajoitin	Ylimagnetointisuoja	Taajuussuojat Jännitesuojat
<i>Vinokuorma</i>	Vinokuormasuoja		
<i>Tahtinopeuden me- netys</i>	Epätahtisuoja		Alimagnetointi Alijännite
<i>Takateho</i>	Takatehosuoja		Turbiinin höyryvir- taus Lämpötila-anturit
<i>Yli- ja alijännitteet</i>	Jännitesuojat		Ylimagnetointisuoja
<i>Yli- ja alitaajuudet</i>	Taajuussuojat		

Monelle vikatilanteelle on siis olemassa varasuoja. Varasuojauksen suunnittelussa kannattaa pohtia muutamaa eri asiaa. Varasuoja kannattaa pyrkiä sijoittamaan eri suojalaitteeseen varsinaisen suojan kanssa, jolloin laitevian aikana suojaustaso säilyy kohtuullisena. Varasuojan voi sijoittaa myös samaan laitteeseen. Tällöin esimerkiksi ensisijaisen suojan asettelussa tai toiminnassa tapahtuvaan vikaan voidaan varautua. Suojauksien asettelussa on otettava huomioon selektiivisyys, jolloin varasuoja saa toimia vasta varsinaisen suojan toiminnan jälkeen. Kuten taulukosta huomataan, jokaista vikatilannetta vastaan ei pystytä suojautumaan kuin yhdellä suojaustoiminnolla. Näissä tilanteissa tulee harkita, miten varasuojaus toteutetaan. Sama suojaustoiminto voidaan sijoittaa eri laitteeseen ja asetella se toimimaan hitaammin kuin ensisijainen suoja. Tämä ratkaisu lisää laitteiden määrää, mutta parantaa subin sisäistä suojaustasoa. Yhtenä vaihtoehtona on tuoda kahdet virtatiedot virtamuuntajilta ja asetella suojat toimimaan eri virtatiedoilla. Tällöin suojaustoiminnot olisivat samassa laitteessa.

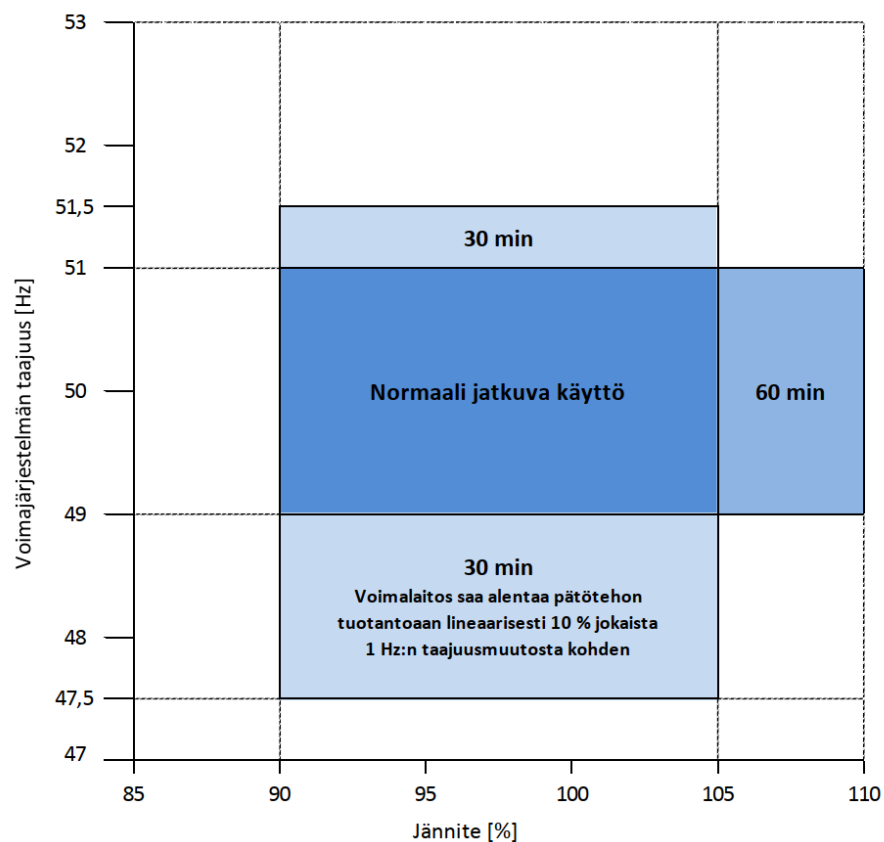
3.4 Voimalaitoksen järjestelmätekniset vaatimukset

Voimalaitoksille on määritelty järjestelmäteknisiä vaatimuksia Fingrid Oyj:n toimesta. Vaatimuksien avulla varmistetaan voimalaitosten kyky toimia erilaisissa jännite- ja taajuusvaihteluissa. Voimalaitokset myös tukevat sähköjärjestelmää häiriötilanteessa eivätkä itse aiheuta järjestelmälle haittaa. [31, s. 5] Voimalaitosten tulee noudattaa liittymishetkellä olevia järjestelmäteknisiä vaatimuksia. OL1 ja OL2 laitosyksiköiden osalta vuonna 2009 valmistuneessa selvityksessä on tarkasteltu vaatimusten täyttymistä VJV2007 mukaisesti [21]. Tässä kohdassa käydään läpi VJV2018 vaatimuksia, jotka liittyvät blokkisuojaukseen. Suojalaitteiston sekä sen apujärjestelmien uusinnassa ei muuteta vaatimuksiin vaikuttavia asetteluja. Blokkisuojaan liittyviä vaatimuksia ovat taajuus- ja jännitevaihtelut sekä toiminta erilaisissa muutos- ja häiriötilanteissa. Suojasasettelujen tulee täyttää nämä vaatimukset. Suojien asetellut on toimitettava niiden suojien osalta, jotka vaikuttavat generaattorin/laitoksen irtoamiseen verkosta. [31, s. 27] Lopuksi tarkastellaan vielä suojauksiin liittyvissä vaatimuksissa tehdyt muutokset uusissa vaatimuksissa verrattuna vuoden 2007 vaatimuksiin. Vertailu on suoritettu taulukossa 8.

Jännite- ja taajuusvaihtelulle on esitetty vaatimukset voimalaitosten järjestelmäteknisissä vaatimuksissa (VJV2018). OL1 ja OL2 laitosyksiköiden liittymispisteen normaali jännite on 400 kV. Normaalisessa käyttötilanteessa verkon jännite saa vaihdella välillä 395 - 420 kV. Häiriötilanteessa jännite saa vaihdella 360 - 420 kV välillä. Taajuuden vaihteluksi normaalissa tilanteessa sallitaan 49,0 - 51 Hz.

Poikkeustilanteissa vaihteluväliksi sallitaan 47,5 - 51,5 Hz. Suojasasetteluissa nämä vaikuttavat laitostason jännite- ja taajuussuojiiin. [31]

Voimalaitoksille on määritelty aikamääreet, joiden mukaan niiden on pysyttävä kytkettynä verkkoon jännitteen ja/tai taajuuden poiketessa normaaleista arvoista. Kuvassa 4 on esitetty vaatimukset jännitteen ja taajuuden vaihtelun suhteen. Suojasasetteluissa on otettava huomioon jännite- ja taajuussuojien lisäksi myös ylimagnetointisuoja. Suoja tarkkailee jännitteen ja taajuuden suhdetta (V/Hz). Tämä suhde on suurimmillaan, kun jännite on poikkeavissa oloissa 110 % nimellisjännitteestä ja taajuus on 49 Hz. Ylimagnetointisuoja ei saa siis vielä laukaista laitosta pois verkosta näillä arvoilla ja aikamääreillä. [31]



Kuva 4. Voimalaitosten verkossa pysymisen vaatimukset poikkeavilla jännitteen ja taajuuden arvoilla. [31, s. 43]

Lähivikakestoisuudella tarkoitetaan sitä, että voimalaitoksen tulee pysyä verkossa ja jatkaa normaalia toimintaansa sähköjärjestelmässä tapahtuvien häiriöiden aikana ja niiden jälkeen. Voimalaitos on suunniteltava niin, että jännitteen lyhytaikainen vaihtelu liityntäpisteessä ei johda voimalaitoksen irtoamiseen verkosta tai tahtikäytön menetykseen. Lähivikavaatimus on voimassa seuraavissa vikatilanteissa: 3-vaiheinen oikosulku, 2-vaiheinen oikosulku ja maa-oikosulku sekä 1-vaiheisessa maasulussa. [31,

s. 44] Lähivikavaatimus vaikuttaa lähinnä laitostason alijännitesuojauksen asetteluarvoihin. Tämän lisäksi lähivikavaatimus vaikuttaa epätahtisuojaan, joka valvoo tahtikäytössä pysymistä. Verkossa tapahtuvan vian seurauksena tapahtuvat vaimenevat tehoheilahtelut eivät saa johtaa epätahtisuojan laukeamiseen.

Taulukko 8. VJV vertailu [21, 31]

Vaatus	VJV2007	VJV2018
<i>Jännite normaali- /poikkeustilanteessa</i>	395 kV - 420 kV / 360 kV - 420 kV	395 kV - 420 kV / 360 kV - 420 kV
<i>Taajuus normaali- /poikkeustilanteessa</i>	49,5 - 50,5 Hz / 47,5 - 53 Hz	49 Hz - 51 Hz / 47,5 - 51,5 Hz
<i>Lähivikavaatimusrajat jännitteille</i>	U < 25 % 0,25 s U < 90 % 0,75 s	U < 25 % 0,2 s U < 85 % 1,0 s U < 90 % 10,0 s
<i>Korkein U/f suhde</i>	110 % / 99,4 % = 1,106 105 % / 95 % = 1,105	110 % / 98 % = 1,122

Uusissa vaatimuksissa muutoksia on tapahtunut vuoden 2007 vaatimukseen nähden lähivikakestoisuudessa ja taajuusvaihteluissa. Jännitteiden osalta vaatimukset ovat pysyneet ennallaan. Taajuuden arvojen muutokset ovat esitetty taulukossa 8. Lähivikakriteeri on muuttunut niin, että jännite saa olla romahtaneena enää 0,2 sekuntia. Tämä arvo oli aikaisemmin 0,25 sekuntia. Jänniteromahduksen jälkeinen aika taas on kasvanut ja raja laskenut. Uusissa vaatimuksissa jännite saa olla alle 85 % yhden sekunnin ajan. Vuoden 2007 vaatimuksissa jännite sai olla alle 90 % nimellisjännitteestä 0,75 sekunnin ajan. Poikkeavissa olosuhteissa korkeimmaksi U/f suhteeksi sallitaan uusissa vaatimuksissa 1,12 suhde. Tämä arvo oli vuoden 2007 vaatimuksissa 1,11. Nämä muutokset vaikuttavat ylimagnetoitumissuojan toimintaan.

4. SÄHKÖJÄRJESTELMIEN AUTOMAATIO

Sähköjärjestelmän automaatiolla tarkoitetaan älykkäitä laitteita ja tietojärjestelmiä sekä niiden välistä tiedonsiirtoa ja kommunikointia. Kommunikointi- ja tiedonsiirtotekniikan kehittyessä syntyi SCADA valvonta- ja ohjausjärjestelmä, jonka avulla saatiin aikaisemmin johdotettuja I/O signaaleita siirrettyä ohjausjärjestelmään erilaisten väylätekniikoiden avulla. Toimintojen yhdistyessä suojauksen, valvonnan ja ohjauksen rajapinta alkoi hämärtyä. Tämän vuoksi digitaalinen kommunikaatio on tullut osaksi suojauksen suunnittelua. Älykkäiden suojalaitteiden välinen kommunikointi voidaan jakaa fyysiseen yhteyteen sekä tiedonsiirtotapaan. Fyysinen yhteyden luomisessa käytetään yleisesti kolmea eri standardia EIA 232, EIA 485 ja Ethernet. Näistä Ethernet on viime aikoina noussut eniten käytetyksi tekniikaksi. Kommunikointi protokollien avulla laitteet ymmärtävät toisiaan ja tiedonsiirrolle on sovittu yhteiset säännöt. Suojareleiden yleisimmät kommunikointiprotokollat käsitellään myöhemmin tässä luvussa. [20]

Tässä luvussa käydään läpi suojareleiden liittämistä voimalaitosten olemassa oleviin automaatio- ja hälytysjärjestelmiin. Myös suojareleiden yleisimpiä kommunikointi- ja tiedonsiirtoratkaisuja esitellään yleisesti.

4.1 Voimalaitosautomaatio-, ohjaus- ja hälytysjärjestelmät

Voimalaitosten automaatiojärjestelmien määrään vaikuttaa olennaisesti voimalaitoksen koko sekä tyyppi. Ydinvoimalaitoksilla on lukuisia eri automaatio-, hälytys- ja mittausjärjestelmiä, kun taas pienellä lämpövoimalaitoksella kaikki on voitu toteuttaa yhtenä kokonaisuutena. Sähköjärjestelmän ja prosessin tapahtumilla on usein suoria yhteyksiä toisiinsa. Esimerkiksi moottorit pyörittävät pumppuja, jolloin niiden toiminta on täysin riippuvaisia toisistaan. Tämän vuoksi on hyödyllistä nähdä prosessin tapahtumat ja sähköjärjestelmän tapahtumat samasta järjestelmästä. Silloin syy-seuraus suhteiden ja vikatilanteiden selvitys on helpompaa.

OL1 ja OL2 laitosesyksiköillä on useita eri hälytys-, valvonta- ja ohjausjärjestelmiä. Sähkönjakelun kannalta olennaisimmat järjestelmät ovat sähköjärjestelmien ohjaus sekä kaukokäyttöjärjestelmä. Sähköjärjestelmien ohjaukseen kuuluu 6,6 kV kiskojen ohjaus ja valvonta. Ohjausjärjestelmään tuodaan kiskojen mittaus ja tilatiedot sekä hälytykset. Kaukokäyttöjärjestelmän avulla mahdollistetaan OL1- ja OL2-kytkinlaitosten ohjaus sekä valvonta. Sähköjärjestelmistä viedään myös analogiatietoja mittaustietokoneelle

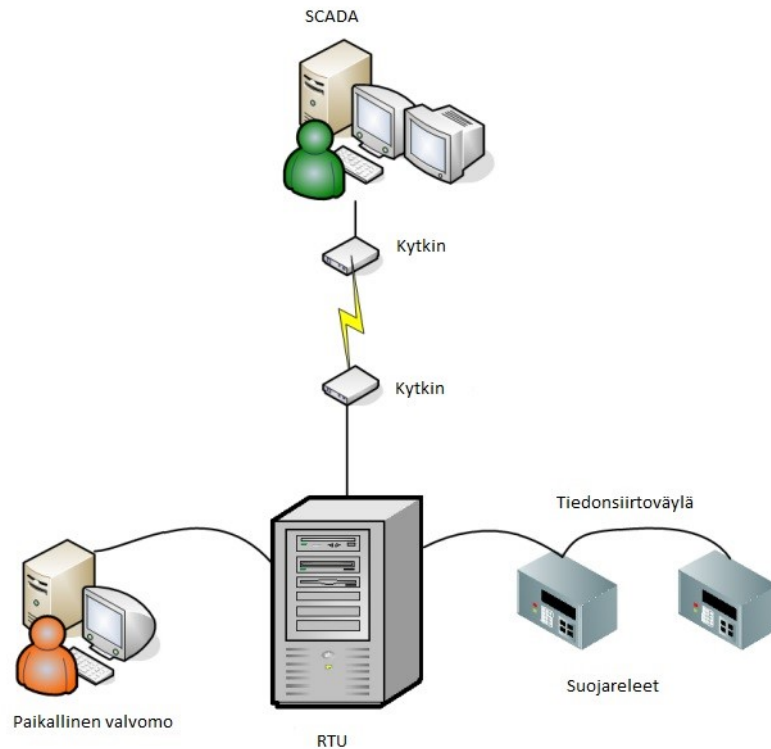
(MITKO), jossa pystytään analysoimaan häiriötapahtumia aika- ja taajuustasossa järjestelmän kannalta tärkeiden signaalien kanssa. Mittaustietokoneelle viedään tiedot generaattorin jännitteestä, tehosta, loistehosta ja taajuudesta. Näiden lisäksi keskijännitekiskon sekä ulkoisen 400 kV ja 110 kV verkon jännitteet tuodaan järjestelmään. [32, 33, 34]

Laitosyksiköillä on oma hälytysjärjestelmä ja yleinen hälytyksien rekisteröintijärjestelmä, jotka valvovat laitoksen tilaa ja antavat ilmoituksia tilamuutoksista. Hälytysjärjestelmä saa tiedot potentiaalivapailta koskettimilta esimerkiksi suojausten vikakoskettimilta. Hälytykset annetaan vilkkuvalomerkein valvomon hälytystauluissa. Hälytysten rekisteröintijärjestelmään tuodaan signaaleja käytön ja laitoksen turvallisuuden kannalta olennaisista tapahtumista. Tapahtumien rekisteröinnin ja aikaleiman avulla helpotetaan laitoksella tapahtuvien häiriöiden analysointia. Hälytykset esitetään listana aikajärjestyksessä hälytysnäyttöillä. [35, 36]

Suojalaitteiden uusintaa pohdittaessa pitää huomioida aikaisemmat järjestelmät ja mahdollisuuksien mukaan hyödyntää niitä. Uuden sukupolven suojalaitteista saa paljon erilaisia mittaus-, hälytys- ja tilatietoja, joita olisi hyödyllistä tuoda eri järjestelmiin. Ne ikään kuin toimivat älykkäänä mitta-anturina. Muiden järjestelmien uusinta-aikataulut ja suunnitelmat on hyvä selvittää, jolloin suojausten uusinnassa osataan varautua muun muassa oikeisiin kommunikointiratkaisuihin. Järjestelmiin liitytään usein erilaisin väyläratkaisun avulla. Vanhimpiin järjestelmiin yhdistytään vielä kovalangoitetulla I/O-signaaleilla. Jos vanhoja vilkkuvalohälytyksiä säilytetään niin, se tarvitsee ottaa huomioon uusien releiden I/O- korttien suunnittelussa ja niiden määrässä.

4.2 Numeeristen suojareleiden kommunikointi

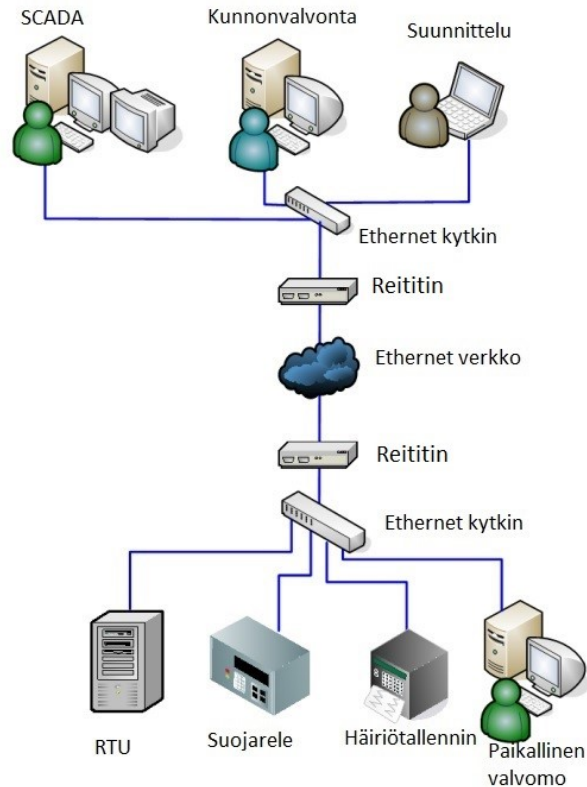
Numeeriset suojareleet kommunikoivat RTU:n (Remote Terminal Unit) tai voimalaitosautomaation kanssa eri tekniikoiden avulla. RTU on mikroprosessoripohjainen laite, joka kokoaa tiedot muilta laitteilta. RTU siirtää tiedot eteenpäin SCADA-järjestelmään. Suojareleet voivat käyttää fyysisessä tiedonsiirrossa sarjaliikenteeseen pohjautuvia RS-232, RS-485 tai RS422 tekniikoita valokuidulla tai kuparikaapelilla. Näiden lisäksi yhtenä vaihtoehtona on käyttää Ethernet-tekniikkaa RJ45- tai valokuitu kaapeleilla. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki numeeristen suojareleiden kommunikoinnista. [37, s. 16]



Kuva 5. Suojareleiden kommunikointi SCADA-palvelimen kanssa. Muokattu lähteestä [37]

Suojareleiltä tieto siirtyy joko sarjaliikenteellä tai Ethernet-tekniikalla RTU:lle. RTU kerää tiedot ja lähettää ne Ethernet-kytkimelle. Kytkimen avulla tiedonsiirto tapahtuu SCADA järjestelmään Ethernet-verkon avulla. Kytkimien avulla tehdään eri protokollien muunnoksia ja yhdistetään laitteita. [37, s. 17]

Erilaisten väylätekniikoiden avulla pystytään toteuttamaan laajempia laitekokonaisuuksia, joissa tiedonsiirto määrät ovat kasvaneet. Nämä ratkaisut vaativat myös suurempia tiedonsiirtonopeuksia. Kuvassa 6 on esitetty esimerkkiratkaisu, jossa laitteet on yhdistetty SCADA- järjestelmään väylätekniikan avulla. Kaikki laitteet ovat yhdistetty Ethernet- tekniikkaa käyttäen ja ne toimivat IEC 61850 protokollalla, jolloin kaikki laitteet ovat yhteydessä toisiinsa. Ratkaisulla pystytään hoitamaan järjestelmän valvonta ja ohjaus sekä huolto- ja häiriötallenteiden tarkastelu yhtenä kokonaisuutena. [37]

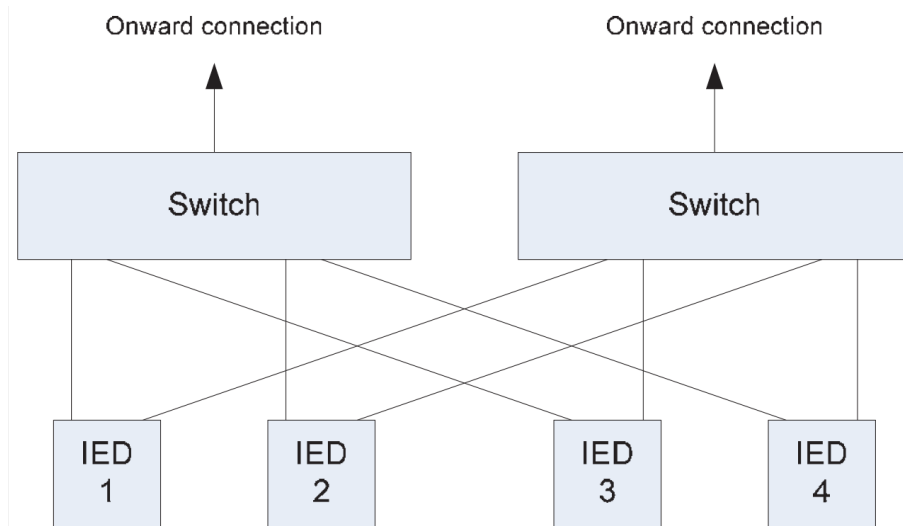


Kuva 6. Kommunikointi Ethernet tekniikalla. Muokattu lähteestä [37]

Kommunikointiratkaisut ovat kasvaneet tekniikan kehittyessä sekä laitteille sopivien yhteisten protokollien avulla. Tämän vuoksi vaihtoehtoja on lukuisia erilaisia. Toteutuksen valinta riippuu jo olemassa olevasta järjestelmästä sekä siirrettävästä tiedosta. Myös sähköjärjestelmän rakenteella ja laitekannalla on vaikutusta ratkaisun valinnassa.

Häiriötallenteiden analysointi on myös noussut yhdeksi keskeisistä suojareleiden ominaisuuksista. Suojareleilla on usein valmistajakohtaisia ohjelmia, joilla häiriötallenteita pystytään analysoimaan. Häiriötallenteiden ja informaation siirto voidaan suorittaa muutamalla eri tavalla. Ne voivat kommunikoida käyttäen samaa kommunikointiprotokollaa muiden järjestelmien kanssa. Niille on myös voitu luoda oma huoltoväylänsä, jonka avulla tiedot siirretään muusta kommunikoinnista erilliseen järjestelmään. [37, s. 205–206]

Kommunikoinnin ja tiedonsiirron osalta on otettava huomioon kahdennus, jonka avulla varaudutaan erilaisiin virhetoimintoihin ja laitevikaantumisiin. Se on erityisen kriittinen esimerkiksi siirtoverkkojen tiedonsiirrossa. Kuvassa 7 on esitetty tähtitopologiaan perustuva kahdentamistapa. Tähtitopologiassa suojalaitteelta tiedot siirtyvät kahdelle eri kytkimelle, jolloin vikatilanteissa löytyy vaihtoehtoinen reitti tiedonsiirrolle. Myös muilla verkkotopologioilla on omat periaatteet, joilla kahdennus saadaan aikaiseksi. [20]



Kuva 7. Kahdennus tähtitopologiassa [20].

4.3 Suojareleiden kommunikaatioprotokollat

Suojalaitteiden kommunikaation kehittyessä tiedonsiirrolle ei ollut asetettu lainkaan standardeja ja asetuksia. Tästä johtuen jokainen toimittaja alkoi itse kehittämään omille laitteilleen yhteistä standardia, jotta he saisivat digitaalisen kommunikaation edut hyödynnettyä. Kuitenkin sähköjärjestelmissä on usein laitteita eri valmistajilta, mikä johti tilanteeseen, jossa kaikki laitteet toimivat omilla standardeillaan. Tämän vuoksi aloitettiin kehittämään standardeja, jotka olisivat yhteisiä kaikille laitteille. Tällöin syntyivät kolme avointa standardia MODBUS, IEC 60870-5-103 ja DNP3. Näiden avulla saatiin eri valmistajien laitteita yhdistelyä. Lopulta jatkuvan kehityksen perustana syntyi IEC 61850 standardi, joka yhdistää eri laitevalmistajat avoimesti ja tehokkaasti. Kommunikaatio protokollan avulla määritetään siirrettävän datan esittämismuoto, yksilöiminen, tunnistamisen sekä virheiden havaitseminen ja selvitys. [20] Seuraavaksi käsitellään lyhyesti edellä mainitut kommunikointiprotokollat. Lisäksi käsitellään PROFIBUS-protokolla, johon nykyinen blokkisuojalaitteiden huoltoväylä perustuu.

IEC 60870-5-103 on avoin väylästandardi, joka on suunniteltu suojalaitteiden tiedonsiirtoon. Sen avulla määritellään suojalaitteiden ja ala-aseman välinen kommunikointi. Suojareleet pystyvät lähettämään tietoa niin sanotulle isännälle, joka voi olla esimerkiksi RTU tai SCADA. Voimalaitosautomaatioon liittyessä tarvitaan protokollamuunnin, jonka avulla protokolla muutetaan sarjaliikenteelle sopivaksi IEC 60870-5-101 protokollaksi tai Ethernet-tekniikkaa käyttäväksi IEC 60870-5-104 protokollaksi. Esimerkiksi RTU:n avulla on mahdollista tehdä protokollamuunnos. [37]

IEC 61850 kansainvälinen avoin standardi, joka pohjautuu Ethernet-verkkoon. Se mahdollistaa suojausten, valvonnan, mittausten ja ohjauksen yhdistämisen samaan standardiin. Se on suunniteltu toimimaan nykyaikaisilla tiedonsiirto- ja verkkoratkaisuilla. Samaa standardia pystyvät käyttämään kaikki eri laitevalmistajat. Standardi mahdollistaa releiden välisen kommunikoinnin, jolloin ne pystyvät jakamaan tietoa keskenään esimerkiksi lukitusten ja tilatietojen muodossa. [20, 37]

Modbus protokolla julkaistiin vuonna 1979 Modiconin toimesta. Se on avoin isäntä/orja protokolla, mikä pystyy toimimaan useamman erityyppisen verkon rakenteen kanssa. Tiedonvälityksessä voidaan käyttää Ethernet-tekniikkaa, joko kuparikaapelilla, valokuidulla tai langattomalla standardilla. Tiedonsiirron nopeus näissä tapauksissa on 10, 100 tai 1000 Mbit/s. [37, s. 130]

PROFIBUS-standardi on kenttäväylätekniikka, joka kehitettiin vuonna 1989. Se on suunniteltu prosessiautomaation käyttöön. Siihen pystytään liittämään suojalaitteita, sensoreita ja toimilaitteita. Standardi voi käyttää fyysisessä tiedon siirrossa RS-485 tekniikkaa tai valokuitua. [38]

DNP3 (Distributed Network Protocol) protokolla kehitettiin vuonna 1990. Se perustui IEC 60870-5-103 standardiin, jonka kehitys oli vielä tässä vaiheessa kesken. Se soveltuu sekä Ethernet-tekniikkaan että sarjakommunikointi tekniikkaan. Sitä käytetään enimmäkseen Amerikassa. [20]

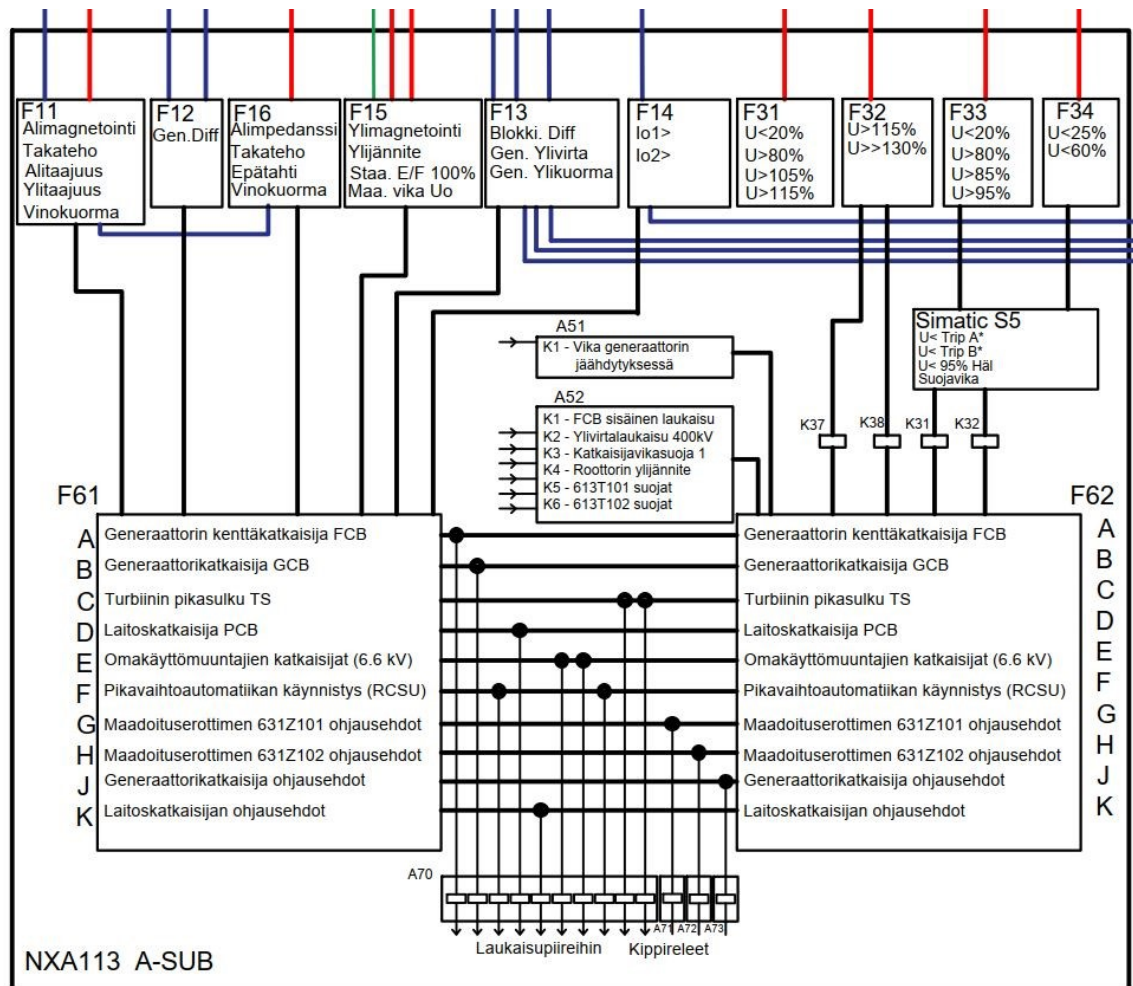
5. NYKYISEN BLOKKISUOJAUKSEN TOTEUTUS

Tämän hetkiset blokkisuojan suojalaitteet ovat asennettu vuosina 1996–1998. Suojalaitteiden käyttöikä on loppumassa, minkä vuoksi laitteiston uusintaa ollaan suunnittelemassa. Laitteiden varaosasaatavuus on myös loppunut, jonka vuoksi uusinta on tarpeellista suorittaa mahdollisimman nopealla aikataululla. Blokkisuoja koostuu siis suojalaitteista, joiden avulla suojataan päägeneraattoria, pää- ja omakäyttömuuntajia sekä generaattorikiskoa.

Blokkisuojan suojareleet sijaitsevat kytkinlaitosrakennuksessa kahdessa eri suojauskaapissa NXA113 ja NXA311, joiden avulla suojalaitteet on myös eroteltu kahteen eri osajärjestelmään A ja C. Suojauksessa käytetään Siemens Siprotec 3-sarjan suojareleitä. Tämän lisäksi jännitesuojaus on toteutettu SEG-valmistajan MRU1-1 tyyppin jännitteenvälvontareleillä sekä Siemensin Simatic S5 logiikan avulla. Suojalaitteet ovat kahdennettu niin, että osajärjestelmässä A ja C ovat samat suojaustoiminnot joitain poikkeuksia lukuun ottamatta. Eroavaisuudet käydään läpi tarkemmin suojareleitä ja niiden toimintoja eritellessä. Suojareleitä ja logiikalta laukaisukäskyt ohjataan laukaisumatriisiin. Laukaisumatriisissa toteutetaan käskyjen yhdistäminen erilaisiin laukaisupiireihin. Näiden lisäksi ulkopuolelta tulevat laukaisukäskyt tuodaan neljän releyksikön kautta laukaisumatriisiin. Siemensin suojareleet on kytkettynä DIGSI huoltoväylään. Suojareleet antavat myös tietoja hälytysjärjestelmään erilaisista tapahtumista.

Blokkisuojan kokonaisuudesta on esitetty periaatekuva liitteessä A. Kuvassa 8 on esitetty periaatekuvasta A-subin sisältämät suojareleet ja niiden toiminnot. Kuvassa esitetään myös kokonaiskuva kaapin tärkeimmistä laitteista. Kuvassa olevat suojareleet (F11-F16 ja F31-F34) saavat mitattavat suurensa mittamuuntajien kautta. Releellä on erilaisia suojaustoimintoja, joita varten se tarkkailee erilaisia arvoja. Kun nämä arvot ylittävät niille asetellut rajat, suojarele suorittaa toiminnolle määritellyt komennot. Usein suojarele antaa toiminnosta hälytystiedon sekä suorittaa laukaisutoiminnon. Laukaisutoiminto taas siirtyy koskettimen kautta laukaisumatriisiin (F61 ja F62), jossa se aktivoi sille määritellyt toiminnot. Laukaisumatriisin lähtölinjoilla on tietyt laukaisureleet, jotka ovat osa laukaisupiiriä. Laukaisupiirin sulkeutuessa esimerkiksi katkaisijalle annetaan avauskomento. Kuvan laitteiden toiminnasta ja yhteyksistä toisiinsa kerrotaan myöhemmin luvussa. Kuvassa sinisellä viivalla on kuvattu virtatiedot ja punaisella jännitetiedot. Musta viiva kuvaa tiedon siirtymistä laitteiden välillä. Tieto voi olla

esimerkiksi laukaisusignaali. Kuvassa on myös selitetty eri katkaisijoista käytetyt lyhenteet, joita käytetään suojaruleiden toimintoja kuvaavissa taulukoissa.



Kuva 8. Blokkisuojan NXA113 kaapin suojalaitekokonaisuus sekä liittynät.

Tässä luvussa pyritään kuvaamaan blokkisuojan tämän hetkinen laitteisto sekä toiminta. Aluksi käsitellään käytössä olevat suojaruleet, niiden ominaisuudet sekä toiminnot. Näiden lisäksi kuvataan tarkemmin tämän hetkinen jännitesuojauksen toiminta. Myös ulkopuolelta tulevat laukaisukäskyt releyksiköille selvitetään sekä laukaisumatriisin toiminta. Tämän hetkinen huoltoväylä sekä hälytysjärjestelmä käydään läpi niiltä osin, kun se liittyy blokkisuojan kokonaisuuteen. Näiden jälkeen arvioidaan nykyisen suojaus toteutuksen luotettavuuden, laajuuden ja varmuuden taso.

5.1 Käytössä olevat suojaruleet

Suojaruleinä käytetään Siemensin Siprotec 3-tuotesarjan releitä. Suojareletyypit ovat 7UM511, 7UT512, 7UT513, 7SJ600, 7UM515 ja 7UM516. Releet ovat kahdennettu kahteen osajärjestelmään lukuun ottamatta 7UT512 relettä, jolla on toteutettu

generaattorin differentiaalisuojaus. Tämä suojaus toiminto on vain A-subissa. Suojareleille on määritetty tunnukset, joiden avulla ne voidaan erotella laitostietokantajärjestelmässä. Releiden tunnukset ovat A-subissa F11-F16 ja C-subissa F21 sekä F23-F26. Releiden laukaisukoskettimilta viedään tieto laukaisumatriisille. Osassa releissä myös hälytyskosketin aktivoi laukaisumatriisin linjan. Releisiin taas tulee binääritietoja erilaisista tapahtumista. Esimerkiksi katkaisijoiden tilatiedot siirtyvät releelle binääritietona. Releiden hälytyskoskettimilta tiedot siirtyvät johdotettuina hälytysjärjestelmään.

Jännitesuojaus on toteutettu blokkisuojaossa MRU1-1 jännitteenvälvontareleiden, Siemensin Simatic S5 logiikan sekä releiden F15/F25 avulla. Jännitteenvälvonta releitä on neljä kappaletta molemmissa subeissa. Releiden tunnukset A-subissa on F31-F34 ja C-subissa F41-F43. Jännitesuojauksesta aluksi käsitellään laitteiden toiminnot, jonka jälkeen luodaan kokonaiskuva jännitesuojauksesta.

5.1.1 Numeeriset suojareleet

Suojareleet kuvataan molempien osajärjestelmien osalta samassa yhteydessä. Niiden eroavaisuudet tuodaan esille releiden ominaisuuksia käsitellessä. Releiden saamat virta- ja jännitetiedot kuvataan niiden mittamuuntajien tunnuksilla, jotka on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Niiden sijainnin voi nähdä myös kuvasta 1. Releiden suojaustoimintojen asettelut ja toiminta-ajat on listattu jokaisen releen kohdalla. Taulukoissa esitetään myös suojaustoimintojen esittämiseen käytetyt ANSI- koodit. Suojaustoimintojen aiheuttavat toimenpiteet kuvataan myös. Yleisiä toimenpiteitä on eri katkaisijoiden aukaiseminen sekä hälytyksen antaminen raja-arvojen ylittyessä. Suojalaitteiden ohjaamat katkaisijat ovat generaattorikatkaisija (GCB), magnetointikoneen katkaisija (FCB), laitосkatkaisija (PCB) sekä omakäyttökiskojen katkaisijat (6,6 kV CB). Tämän lisäksi osa suojaustoiminnoista aktivoi myös turpiinin pikasulun (TS).

Suojarele F11/F21 7UM511

Suojarele sisältää generaattorin suojauksessa tarvittavia suojaustoimintoja. Suojareleet ovat toiminnoiltaan samanlaiset molemmissa osajärjestelmissä. Tämän suojareleen toiminnoiksi on valittu alimagnetointi-, takateho-, ali- ja ylitaajuus- sekä vinokuormasuojat. A-subin suojarele saa virtatiedot 3N- virtamuuntajalta ja jännitetiedot 631U102 jännitemuuntajan tähtikytkennästä. Vastaavasti C-subin rele saa mittaustiedot 2N- virtamuuntajalta ja 631U103 jännitemuuntajan toision tähtikytkennästä. Suojarele mittaa myös roottoriin magnetointijännitettä, joka saadaan jännitesäästäjästä. Magnetointijännite on ketjutettu F21 releen kautta F11 releelle. Taulukossa 9 on esitetty suojaustoimintojen asetteluarvot ja toiminta-ajat. Suojareleelle tuodaan laitосkatkaisijan

tilatiedot sekä generaattorikatkaisijan kiinni-tieto. Näiden lisäksi jännitemuuntajien johdonsuojakatkaisijan laukeamisesta tulee tiedot releille.

Taulukko 9. F11/F21 suoja-releiden suojaustoiminnot ja asetellut.

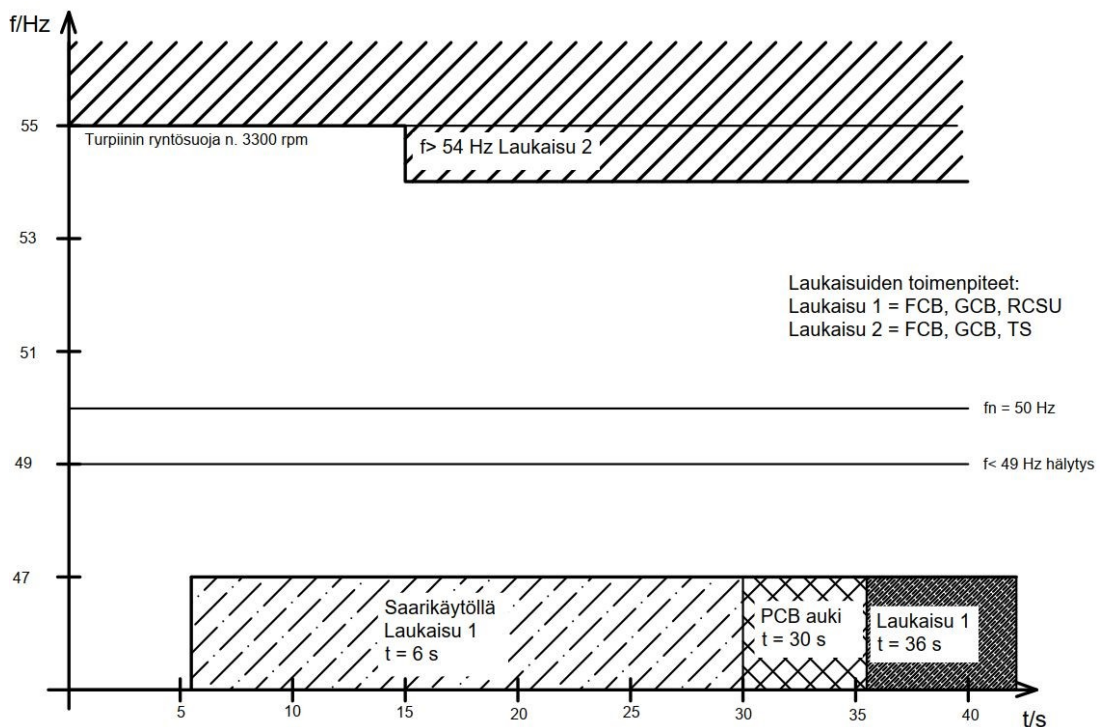
Suojaustoiminto	Merkintä	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Toimenpiteet
<i>Alimagnetointi 1</i>	$X_C < (40)$	1 ($\lambda=0,35$ ja 83°)	5 s (1 tai 2)	FCB, GCB
<i>Alimagnetointi 2</i>	$X_C < (40)$	2 ($\lambda=0,32$ ja 90°)	1,5 s (1 ja 2)	FCB, GCB
<i>Alimagnetointi 3</i>	$X_C < (40)$	3 ($\lambda=1,00$ ja 83°)	0,5 s (3)	FCB, GCB
<i>Alitaajuus 1</i>	$f < (81)$	49 Hz	n. 0,5 s	Hälytys
<i>Alitaajuus 2</i>	$f << (81)$	47 Hz	30 s	PCB
<i>Alitaajuus 3</i>	$f <<< (81)$	47 Hz	36 s tai 6s	FCB, GCB, TS, PCB, (6,6 kV CB)
<i>Ylitaajuus</i>	$f > (81)$	54 Hz	15 s	FCB, GCB, TS
<i>Vinokuorma 1</i>	$I_2 > (46)$	Terminen Sallittu $I_2 = 5\%$	Käänteinen Aikavakio 100s	FCB, GCB, TS, PCB, (6,6 kV CB)
<i>Vinokuorma 2</i>	$I_2 > (46)$	30 %	5 s	FCB, GCB, TS, PCB, (6,6 kV CB)
<i>Takateho</i>	$P < - (32)$	- 0,5 %	15 s	FCB, GCB, TS, PCB, (6,6 kV CB)

Alimagnetointisuojailla ehkäistään tahtikoneen tippumista tahtinopeudesta sekä suojataan roottoria ylikuumentumiselta. Alimagnetointisuojan toiminta perustuu staattoriin kaikkien virtojen ja jännitteiden sekä magnetointijännitteen avulla luotuihin kriteereihin. Staattoriin lasketaan virtojen ja jännitteiden myötäkomponenttien admittanssit. Näiden avulla luodaan tahtikoneelle vakavoitumiskäyrät. Ominaiskäyrät jaetaan kahteen osaan admittanssitasolla. Toinen havainnollistaa etäisyyttä nollapisteestä (λ) ja toinen kaltevuuskulmaa. Tahtikoneelle on määritetty kolme ominaiskäyrää, jotka toimivat niille asetellussa ajassa. Kahden ensimmäisen käyrän arvojen ylittyessä annetaan usein aikaviive (n. 5 s), jotta jännitteensäätäjä ehtisi korjata tilanteen. Kolmas käyrä toimii yleisesti nopeana laukaisuna (0,5 s) esimerkiksi jännitteensäätäjän vikatilanteissa. [39, s. 29–30]

Vinokuormitusuoja pyrkii tunnistamaan tilanteet, joissa kuormitus on muodostunut epäsymmetriseksi tahtikoneelle. Epäsymmetrisen kuormituksen aiheuttama vastakiertokenttä synnyttää roottorin osissa erilaisia lämpenemiä. Vinokuormitusuoja laskee vaihevirtojen perusaaltojen symmetriset komponentit, joista se muodostaa käänteisvirran I_2 . Vinokuormitusuoja toimii kahdella portaalla. Toinen on suoraan

käänteisvirran arvoa vertaava ja toinen toimii termisen lämpötilakuvaajan avulla käänteisaikaisesti. Lämpenemä lasketaan aikavakion sekä käänteisvirran avulla. Lämpenemästä annetaan 90 % kohdalla varoitus ja 100 % laukaistaan generaattori irti verkosta. [40, s. 49]. Tämän releen vinokuormasuoja toimii varasuojana F16/F26 releelle, jossa termisen lämpötilakuvaaja on herkempi. Herkemmällä suojalla pyritään ensin jäämään saarikäytölle, jos vika on 400 kV verkon puolella.

Taajuussuojalla irrotetaan kone verkosta taajuuden joko kasvaessa liian korkeaksi tai matalaksi. Taajuuden vaihtelu riippuu tuotannon ja kulutuksen tasapainosta. Laitosyksiköiden taajuussuojaus on esitetty kuvassa 9. Alitaajuudella on kolme porrasta ja sen toiminta on riippuvainen omakäyttöverkon kytkentätilasta. Alitaajuudesta annetaan hälytys 49 Hz:n kohdalla. Tämän jälkeen laukaistaan laitoskatkaisija, kun taajuus on ollut alle 47 Hz:n 30 sekuntia. Jos taajuus ei lähde nousemaan saarikäytöllä 6 sekunnissa, laukaistaan myös generaattorikatkaisija ja magnetoinnin katkaisija. Jos ollaan jo valmiiksi saarikäytöllä, niin 6 sekunnin kohdalla generaattorikatkaisija laukaistaan. Ylitaajuus tilanteessa on vain yksi porrastus. Se laukaisee generaattorikatkaisijan ja magnetointikatkaisijan 15 sekunnin kohdalla taajuuden ollessa yli 54 Hz:ä sekä suorittaa turpiinin pikasulun.



Kuva 9. OL1/OL2 taajuussuojaus.

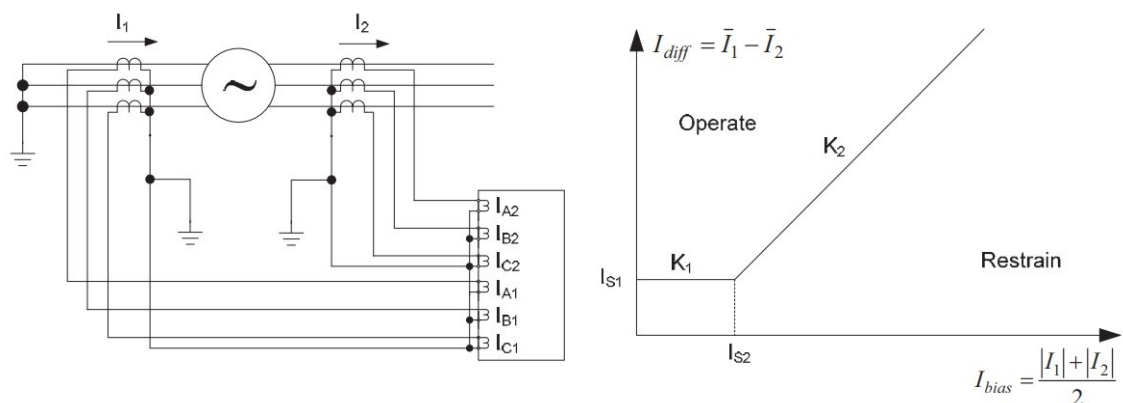
Takatehosuojalla pyritään suojaamaan turbiinigeneraattori- yksikköä tilanteilta, jossa generaattori alkaa pyörittämään turbiinia moottorin tavalla ottaen tehon ulkoisesta verkosta. Turbiini saattaa vaurioitua tällaisessa tilanteessa pahoin. Suoja tarkkailee pätötehon suuntaa, jonka se laskee virtojen ja jännitteiden symmetrisistä

komponenteista. Tämä suoja toimii varasuojana F16/F26 releelle, jossa toiminta-aika on nopeampi ja siinä on otettu huomioon turbiinin pikasulkutilanne. [39]

Suojarele F12 7UT512

Suojarele on tarkoitettu nopeaa oikosulkusuojauksia varten generaattorille tai moottorille. Sen tehtävänä on siis havaita generaattorin sisäiset vikatilanteet. Tässä suojareleessä ainoana suojaustoimintona on generaattorin differentiaalisuoja. Laitetta ei ole kahdennettu vaan se on ainoastaan A- subissa. Suojarele saa virtatiedot generaattorin molemmilta puolilta. Tähtipisteen puolelta tiedot saadaan virtamuuntajasta 1N ja kiskon puolelta 1F virtamuuntajasta.

Differentiaalisuojauksen toiminta perustuu suojausalueen sisään menevien ja lähtevien virtojen vertailuun. Suojauskohteen ollessa normaalissa toimintakunnossa virtojen suuruudet ovat samat. Jos virroissa on eroavaisuutta, se tarkoittaa alueen sisällä olevaa vikaa. Suuret viat suojausalueen ulkopuolella saattaa aiheuttaa eroavaisuuksia virtamuuntajien magnetoitumisessa. Tämä puolestaan aiheuttaa virtojen poikkeamaa, jolloin saattaa tapahtua tarpeettomia laukaisuja. [41, s.47–49]. Suojareleessä generaattorin differentiaalisuojalle on määritelty ominaiskäyrä, jonka mukaan se toimii. Kuvassa 10 on esitetty vasemmalla puolella generaattorin differentiaalisuojan tyyppillinen kytkentä sekä oikealla puolella ominaiskäyrä. Generaattorin differentiaalisuoja laukaisee generaattori- ja magnetointikatkaisijan heti, kun mitattujen virtojen eroavaisuus nousee sille määritetyn käyrän ylitse. Tyyppillisesti I_{S1} arvo asetetaan noin 5 % generaattorin nimellisvirrasta, jolloin käämitystä pystytään suojaamaan mahdollisimman kattavasti. Käyrän raja-arvo I_{S2} asetetaan noin 120 % generaattorin nimellisvirrasta, jolloin ulkopuoliset viat eivät vaikuttaisi suojan toimintaan. Ominaiskäyrän jyrkkyys K_2 asetetaan yleisesti 150 %. [20]



Kuva 10. Differentiaalisuojan kytkennät releeseen sekä tyyppillinen ominaiskäyrä. [20]

Suojarele F13/F23 7UT513

Suojarele suojaa päämuuntajaa, generaattoria sekä osittain omakäyttömuuntajia erilaisilta vikatilanteilta. Suojareleet ovat toiminnoiltaan samanlaiset molemmissa osajärjestelmissä. Tämän suojareleen toiminnot ovat blokkidifferentiaali-, generaattorin ylivirta-, ja generaattorin ylikuormasuoja. Molemmat releet saavat virtatiedot samoilta virtamuuntajilta, koska tiedot on ketjutettu A-subin suojareleen kautta C-subiin. Virtatiedot saadaan releeseen monesta eri paikasta, blokkimuuntajan yläjännitepuolen virtamuuntajasta 611 - 1N ja generaattorikiskossa olevasta 2F virtamuuntajasta. Näiden lisäksi omakäyttömuuntajien syöttämistä neljästä osajärjestelmästä tuodaan virtatiedot. Taulukossa 10 on esitetty suojaustoimintojen asetteluarvot ja toiminta-ajat.

Taulukko 10. F12 ja F13/F23 releiden suojaustoiminnot ja niiden asettelut.

Suojaustoiminto	Merkintä	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Toimenpiteet
<i>Blokkidifferentiaali</i>	Idiff> (87T)	Ominaiskäyrä	0,0 s	FCB, GCB, TS, PCB, (6,6 kV CB)
<i>Ylivirta 1</i>	I> (50/51)	1,64xIn (52 kA)	5 s	FCB, GCB, TS
<i>Ylivirta 2</i>	I>> (50/51)	3,85xIn (122 kA)	0,1 s	FCB, GCB, TS
<i>Ylikuorma Häl.</i>	I ² t (49)	1,21xIn ja 94 %		Hälytys
<i>Ylikuorma Lauk.</i>	I ² t (49)	1,21xIn	aikavakio 60 s	FCB, GCB
<i>Gen. differentiaali</i>	Idiff> (87G)	Ominaiskäyrä	0,0s	FCB, GCB, TS

Blokkidifferentiaalisuojan toimintaperiaate on sama kuin generaattorin differentiaalisuojassa. Sen suojausalueeseen kuuluu generaattorikisko, päämuuntaja sekä omakäyttömuuntajat sisältäen niiden toisiopuolen kaapelit. Asetteluissa on kuitenkin huomioitava virran kulku muuntajien läpi. Jotta arvot olisi yhtä suuret pitää muuntajien muuntosuhde sekä kytkentäryhmän vaikutus analysoida. Blokkisuojan alueella on kolme muuntajaa, jotka pitää ottaa huomioon.

Ylivirtasuojia käyttää toiminnassaan 2F - virtamuuntajan arvoja ja toimii näin ollen ensisijaisesti generaattorin ylivirtasuojana. Suoja on aseteltu toimimaan vakioaikaisesti ja sille on määritelty kaksi toisistaan riippumatonta porrasta. Se toimii myös varasuojana blokkidifferentiaalille ja ali-impedanssisuojille. Ylikuormasuojia toimii generaattorin staattorin käämitysten suojana. Sen toiminnalle on määritelty lämpötilayhtälö, joka on riippuvainen virrasta ja aikavakiosta. Maksimivirraksi on määritelty 1,21 nimellisestä virran arvosta.

Suojarele F14/F24 7SJ600

Suojareleen avulla pyritään suojautumaan etenkin päämuuntajan yläjännitepuolella olevilta maasuluilta. Molempien subien suojaareilla on samat suojaustoiminnot. Suoja saa virtatiedon päämuuntajan yläjännitepuolen tähtipisteessä sijaitsevasta virtamuuntajasta. Virtatiedot on ketjutettu A-subin kautta C-subin releelle. Taulukkoon 11 on koottu maasulkusuojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat.

Taulukko 11. F14 suojaareleen asetteluarvot ja toiminta-ajat

Suojaustoiminto	Merkintä	Asettelu-arvo	Toiminta-aika	Toimenpiteet
<i>Maasulkuvika</i>	$I_0 >$ (51TG)	$0,2xI_n$	1,3 s	PCB
<i>Maasulkuvika</i>	$I_0 >>$ (51TG)	$0,2xI_n$	1,8 s	FCB, GCB, TS, PCB, (6,6 kV CB)
<i>Maasulkuvika</i>	$I_{02} >$ (51TG)	$0,1xI_n$	7,0 s	PCB
<i>Maasulkuvika</i>	$I_{02} >>$ (51TG)	$0,1xI_n$	8,0 s	FCB, GCB, TS, PCB, (6,6 kV CB)

Maasulkusuoja tunnistaa 400 kV verkon puolella syntyvät maasulut. Suoja on kaksiportainen ja se pyrkii pääsemään aina ensiksi omakäytölle. Jos tämä ei onnistu, laukaistaan tarvittavat katkaisijat. Suojareleeseen tuodaan yksi virta, joka on kierrätetty kaikissa vaiheissa. Alempi asettelutaso suojaaa suuren vikavastuksen omaavilta maasuluilta, jolloin maasulkuvirta jää pienemmäksi. Normaalissa käyttötilanteessa suoja toimii 400 kV verkon maasulkutilanteiden varasuojana. Tällöin sen asetteluarvot ja toiminta-ajat on suunniteltu selektiivisesti 400 kV verkon suojien kanssa. Omakäyttötilanteissa suoja toimii kuitenkin ensisijaisena maasulkusuojana päämuuntajan yläjännitepuolella. [26]

Suojarele F15/F25 7UM515

Suojareleet toimivat pääasiallisesti generaattorisuojana, mutta osa suojaustoiminnoista suojaaa myös muuta järjestelmää. Suojaareilla ei ole täysin samat suojaustoiminnot. Molemmissa suojaareissa on ylijännite-, ylimagnetointi- ja maasulkuvikasuojaus. Näiden lisäksi F15 suojaareissa on staattorin 100 % maasulkusuoja ja F25 releessä roottorin maasulkusuoja. Suojaareleet saavat maasulkujännitteen 631U101 jännitemuuntajan toision avokolmiokytkennästä. Vaihejännitteet taas tuodaan 631U102 jännitemuuntajan tähtikytkennästä. Staattorin ja roottorin maasulkutilanteiden tunnistuksessa käytetään apuna erillisiä lisäjärjestelmiä, joista kerrotaan tarkemmin suojaustoimintojen yhteydessä. Ylijännitesuojausta käsitellään tarkemmin jännitteenvälvoimien ja logiikan yhteydessä, kun kuvataan jännitesuojauksen kokonaisuutta. Taulukossa 12 on esitetty suojaustoimintojen

asetteluarvot ja toiminta-ajat. Suojat saavat tiedon jännitemuuntajan 631U101 johdonsuojan laukeamisesta.

Taulukko 12. F15/F25 suojaareleen suojaustoiminnot ja asettelu-arvot.

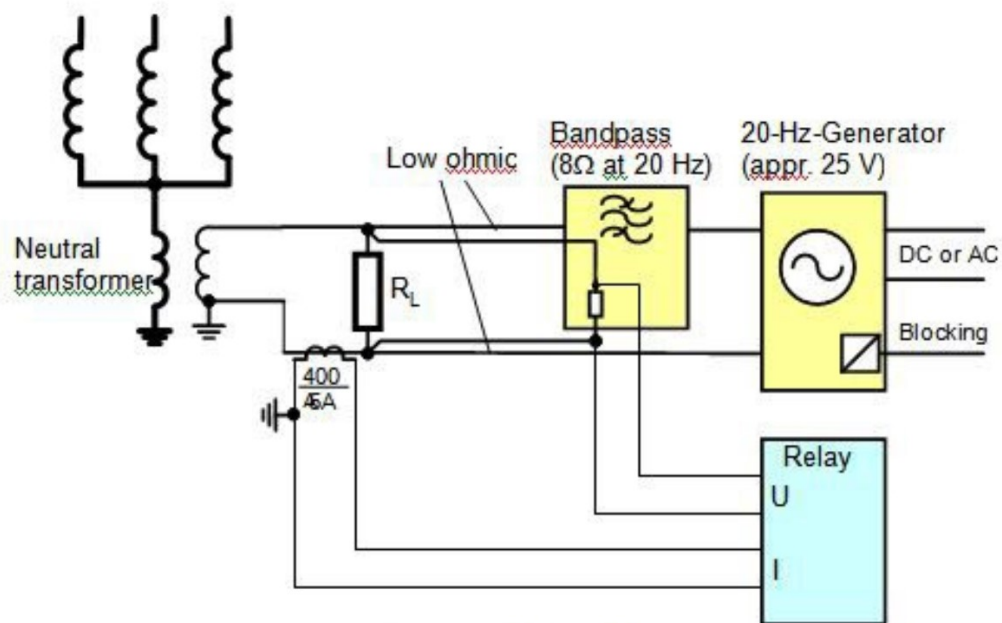
Suojaustoiminto	Merkintä	Asettelu-arvo	Toiminta-aika	Toimenpiteet
Ylimagnetointi (Käänteisaikainen)	U/f> (24)	1,06 1,13 1,15 1,20 1,31 1,38 1,40	Häl. 98 s 90 s 70 s 16 s 6 s 2 s (vakioaika)	FCB, GCB, PCB, 6,6 kV CB
Maasulkuvika U_0	$U_0 >$ (59BN)	20,0 V	1,0 s	FCB, GCB, TS, PCB, 6,6 kV CB
Ylijännite 1	$U >$ (59)	115 %	6 s	FCB, GCB, TS, PCB, 6,6 kV CB
Ylijännite 2	$U >>$ (59)	130 %	0,3 s	FCB, GCB, TS, PCB, 6,6 kV CB
Staattorin E/F 100 %	Rse< (64S)	500 Ω	1 s	Hälytys
Staattorin E/F 100 %	Rse< (64S)	300 Ω	0,5 s	FCB, GCB, TS
Roottorin E/F	Rre> (64F)	20 k Ω	10 s	Hälytys
Roottorin E/F	Rre> (64F)	5 k Ω	1 s	FCB, GCB

Ylimagnetointisuojaan avulla pyritään tunnistamaan tilanteet, jossa magnetointivuon tiheys on noussut liian korkeaksi. Magneettivuon tiheyden kasvu aiheutuu joko jännitteen noususta tai taajuuden laskusta. Liian suuri magneettivuon tiheys johtaa rautasydämen kyllästymiseen sekä pyörrevirtoihin. Nämä ovat erityisen vaarallisia muuntajille. Vaarallisin tilanne syntyy blokkimuuntajalle, joka on erotettu verkosta, mutta on kuitenkin generaattoriin kytkettynä. Ylimagnetointisuojaalla on yksi vakioaikainen porras sekä käänteisesti lämpenemän avulla laskettu käyrä. [42, s. 34] Suoja on toiminnassa myös vuosihuoltoseisokin aikana, koska se on sijoitettu putkikiskoon päämuuntajan puolelle.

Maasulkuvikasuoja U_0 on liitettyä generaattorikiskon jännitemuuntajan avokolmioon. Se toimii normaalissa käyttötilanteessa osana staattorin maasulkusuojausta. Sen suojausalue ylettyy n. 80 % staattorikäämien sisälle. Sen tärkeimpänä tehtävänä on kuitenkin havaita maasulut generaattorikiskossa, kun generaattorikatkaisija on auki. [42, 26] Normaalissa käyttötilanteessa F26 releessä oleva maasulkusuojaus on aseteltu

toimimaan nopeammin ja sen jännitemittaus tapahtuu generaattorin puolelta. Tällaisessa tilanteessa tämä toiminto on varasuojana maasuluille.

Staattorin 100 % maasulkujen tunnistamista varten on lisätty erillinen apujärjestelmä. Se sijaitsee kaapissa NDA104. Kuvassa 11 on esitetty järjestelmän rakenne. Järjestelmä sisältää 20 Hz taajuusgeneraattorin, suodattimen, virtamuuntajan, kuormitusvastuksen ja jännitteenjakoyksikön. 20 Hz taajuisen jännitteen avulla suoja havaitsee maasulut koko käämityksen alueella mukaan lukien nollapisteen. Tämän syöttöjännitteen vuoksi suojaus on riippumaton maasulussa esiintyvälle verkon kanssa saman taajuisille nollajännitteille. Järjestelmä on liitettyä generaattorin nollapisteessä olevan maadoitusmuuntajan ja maan välille. 20 Hz syöttöjännite ohjataan suodattimen kautta kuormitusvastukselle, jossa syntyy jännitehäviö. Jännitehäviö aiheuttaa generaattorin ja maan välille varauksen, jolloin staattoripiirin maakapasitanssien kautta kulkee pieni virta. Virta kulkee virtamuuntajan läpi suojareleeseen. Tämän lisäksi suojarele mittaa kuormitusvastuksen navoissa olevan jännitteen, joka tuodaan vielä erillisen jännitteenjakoyksikön kautta releelle. Virran ja jännitteen avulla releessä lasketaan maavastus, jonka avulla vikatilanteet tunnistetaan. [42, s. 43] Suoja on kaksiportainen. Ensimmäisestä portaasta annetaan vain hälytys ja toisesta irrotetaan generaattori verkosta.



Kuva 11. Staattorin 100 % maasulkusuojauksen apujärjestelmä. [43]

Roottorin maasulkusulkutilanteiden tunnistuksessa tarvitaan myös erillinen apujärjestelmä. Se sijaitsee NDA103 kaapissa. Järjestelmä syöttää 50 V tasajännitettä

roottorin magnetointipiiriin suuriohmisen vastuspaketin kautta. Tämän lisäksi jännite liitetään pieniohmisen mittausvastuksen kautta maahan. Tasajännite vaihtaa polariteettia n. 0,5-3 sekunnin välein. Aika ei ole vakio, sillä se on riippuvainen generaattorin maakapasitanssin ja maavastusten suuruudesta. Tasajännite aiheuttaa polariteetin vaihdon yhteydessä vastuspaketissa latausvirran, joka puolestaan aiheuttaa jännitteenaleneman mittausvastuksessa. Mittausvastuksen navoissa oleva jännite-ero viedään suojarielelle. Jännite määritellään vasta sitten, kun sen maakapasitansseista johtuva muutostila on vakiintunut. Jännitteen ja syötettävän häiriötasajännitteen avulla arvioidaan eristysvastusta. [42, s. 46]

Suojarele F16/F26 7UM516

Molemmissa suojarieleissä on ali-impedanssi-, takateho-, epätahti- ja vinokuormasuojat. Näiden lisäksi F26 suojarieleessä on staattorin 80 % maasulkusuoja. F26 suojariele saa maasulkujännitteen 631U103 jännitemuuntajan toision avokolmiokytkennästä ja vaihejännitteet taas tähtikytkennästä. Releeseen F16 vaihejännitteet tuodaan 631U102 jännitemuuntajan tähtikytkennästä. Virtatiedot on ketjutettu releeltä F11 releelle F16. Nämä tiedot tulevat virtamuuntajasta 3N. Vastaavasti releelle F26 virtatiedot on ketjutettu F21 kautta ja ne tulevat virtamuuntajasta 2N. Suojareleille tuodaan tiedot niiden jännitemuuntajien johdonsuojien laukeamisesta sekä turbiinin pikasulusta. Myös laitoskatkaisijat tilatieto tuodaan releelle. Taulukossa 13 on esitetty suojaustoimintojen asetteluarvot ja toiminta-ajat.

Taulukko 13. F16/F26 suojarieleiden suojaustoiminnot ja asetellut.

Suojaustoiminto	Merkintä	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Toimenpiteet
<i>Ali-impedanssi Z1</i>	$Z < (21)$	R=1,17 Ω X=1,17 Ω	0,00 s	FCB, GCB, TS, PCB, 6,6 kV CB
<i>Ali-impedanssi Z1B (PCB auki)</i>	$Z << (21)$	R=2,10 Ω X=2,10 Ω	0,10 s	FCB, GCB, TS, PCB, 6,6 kV CB
<i>Ali-impedanssi Z2</i>	$Z << (21)$	R=2,10 Ω X=2,10 Ω	1,20 s	PCB
<i>Takateho</i>	$P < - (32)$	- 0,5 %	10 s (1 s, jos TS)	FCB, GCB
<i>Vinokuorma</i>	$I_2 > (46)$	Terminen Sallittu $I_2 = 5 \%$	Käännteinen Aikavakio 1200s	PCB
<i>Vinokuorma</i>	$I_2 > (46)$	30 %	5,0 s	PCB
<i>Epätahti</i>	$\Phi < (78)$	$Z_a = 2,0 \Omega$ $Z_b = 5,68 \Omega$ $Z_c = 1,26 \Omega$ $Z_d - Z_c = 0,74 \Omega$	0,00 s	FCB, GCB
<i>Staattorin E/F 80 % (F26)</i>	$U_o > (59GN)$	20,0 V	0,5 s	FCB, GCB, TS

Impedanssisuojaa käytetään nopeana varasuojana blokkidifferentiaalisuojalle. Sen avulla saavutetaan parempi suojauksen taso oikosulkutilanteissa. Ali-impedanssisuojalla on kaksi määriteltyä suojausaluetta. Ensimmäinen (Z1) ylettyy generaattorilta päämuuntajan alajännitekäämitykseen ja toinen (Z1B, Z2) ulottuu yli 400 kV kytkinkentän. Vikaimpedanssin laskennassa käytetään viallisen vaiheen virta ja jännitetietoja. [40, s. 36] Ensimmäisen alueen suoja toimii nopeana varasuojana etenkin oikosulkutilanteissa generaattorin ja päämuuntajan välisellä alueella. Toinen suojausalue toimii varasuojana 400 kV:n puolen distanssisuojille. Tälle suojausalueelle on vielä toinenkin porras (Z1B). Tämän portaan on tarkoitus suojata 400 kV johtoa oikosulkutilanteilta aina laitoskatkaisijalle asti, kun laitos on saarikäytöllä. [27]

Tahdistaputoamissuojalla varaudutaan laitoksen lähialueella tapahtuvan oikosulun tai muun suuremman häiriön aiheuttamaan järjestelmän tehonheilahteluun. Tehonheilahtelu saattaa johtaa generaattorin ylikuormittumiseen ja siirtoverkon stabiiliuden menetykseen. Tahdistaputoamissuoja havaitsee tehonheilahtelut impedanssimittauksen avulla. Suoja laskee impedanssin jännitteiden ja virtojen avulla. Se tarkkailee impedanssivektorien siirtymää, jonka avulla tunnistetaan vikatilanteet. Suoja aktivoi tehonheilahtelun tunnistuksen, kun virran suuruus kasvaa 1,2 nimellisvirrasta sekä virran vastakomponentin ollessa alle 0,2 nimellisvirrasta. Tahdistaputoamissuojassa määritellään monikulmio asetteluparametrien Z_a , Z_b , Z_c ja ($Z_d - Z_c$) avulla. Z_b raja määrittelee ulottuman generaattorin suuntaan. Päämuuntajan suuntaan ulottuman määrittelee Z_c . Z_d taas kuvaa ulottuman 400 kV verkkoon päin. Tahdistaputoamistilanteessa impedanssivektori ylittää näiden rajojen määrittelemän monikulmion toiselta puolelta ja tulee toiselta puolelta ulos. Jos impedanssivektori lähtee alueelta samalta puolelta kuin on tullutkin, niin kyseessä on vakiintuva tilanne ja tahtikäyttöä ei menetetä. Generaattorin läheisyydessä impedanssivektorin ensimmäisestä toiminta-alueen ylityksestä laukaistaan katkaisijat. Jos vika tapahtuu kauempana 400 kV johdolla, annetaan impedanssivektorin ylittää toiminta-alue kolme kertaa. [40, s.43–45]

Maasulkusuojauksen yhtenä kokonaisuutena on releessä F26 toteutettu nopea suoja, joka ulottuu 80 % staattorin käämitykseen. Tämä suojan tarkoituksena on täydentää staattorin maasulkusuojaus 100 %.

Vinokuormitussuoja toimii samalla tavalla kuin F11/F12 releessä. Tässä releessä terminen lämpötilakuvaaja on aseteltu toimimaan aikaisemmin kuin F11/F12 releen suoja. Sallittu käänteisvirran arvo on 5 % ja lämpötilan aikavakio on 1200 sekuntia.

Tämän suojan avulla pyritään ensiksi jäämään saarikäytölle aukaisemalla vain laitoskatkaisija. Jos tämä ei onnistu, niin F11/F12 rele aukaisee loput katkaisijat.

Takatehosuojan toiminta selvitettiin F11/F21 releen yhteydessä, joka toimi tämän suojan varalla. Suojan tehtävänä on siis suojata turbiinin siipiä lämpenemiseltä tilanteessa, jossa jäähdyttävä höyryvirtaus on pois käytöstä ja generaattori pyörittää turbiinia moottorin tavalla. Tällainen tilanne syntyy laitoksen normaalissa alasajossa. Suojassa on otettu myös huomioon turbiinin pikasulku tilanteet, joissa suoja toimii nopeutettuna.

5.1.2 Jännitteenvälvontareleet ja logiikka

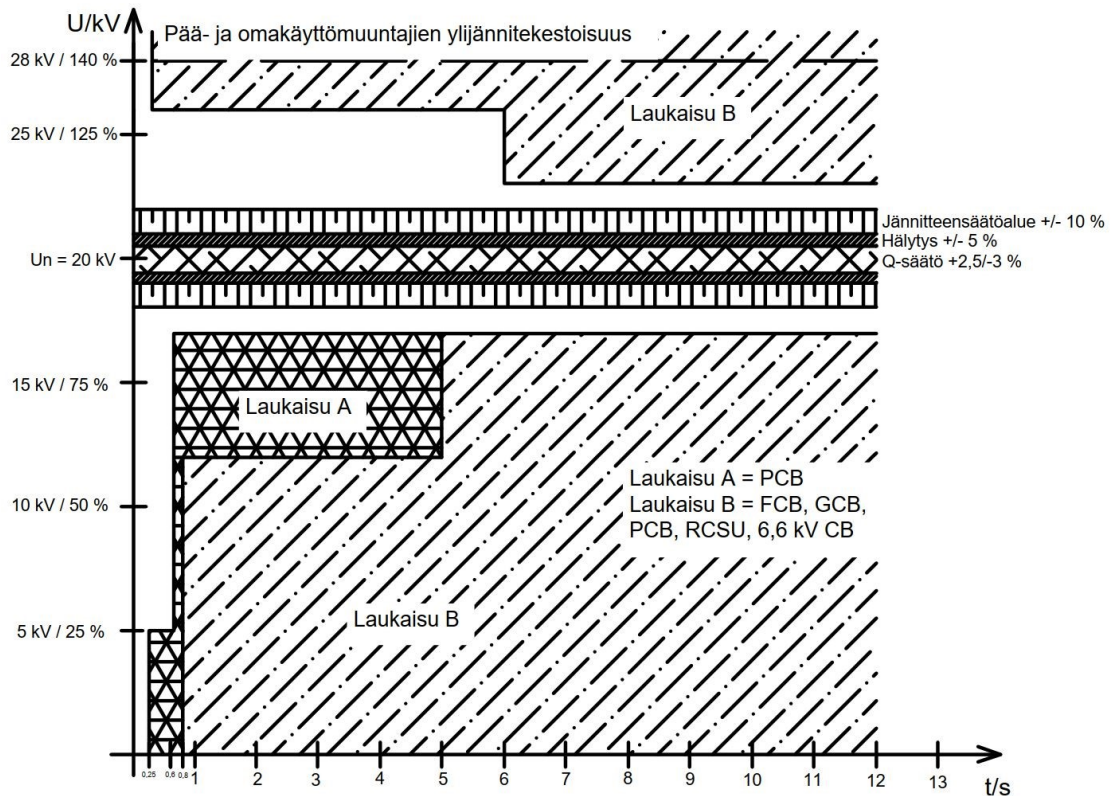
Jännitesuojaus on kahdennettu täysin ja laitteistot ovat samat A- ja C-subissa. Suojalaitteiden toiminnot, asetteluarvot ja toiminta-ajat ovat koottu taulukkoon 14. Jännitettä mitataan generaattorikatkaisijan molemmilta puolilta, jolloin lähes kaikki suojaustoiminnot on mahdollista toteuttaa riippumatta eri kytkentätilanteista. Jännitereleet F31/F41 antavat generaattorijännitteestä vain hälytystietoja, jotka siirtyvät apureiden kautta hälytysjärjestelmään. F32/F42 releet ovat osa ylijännitesuojausta ja toimivat varasuojana F15/25 releen toiminnoille. Alijännitesuojaus on toteutettu yhdessä F33/F43 ja F34/F44 releiden sekä Siemensin Simatic S5 logiikan avulla. Jännitereleiltä annetaan myös ohjausehto katkaisijoille ja maadoituserottimille. F31/F41 releistä annetaan kiinni ohjausehto generaattorikatkaisijalle silloin, kun jännite on vähintään 80 % nimellisjännitteestä generaattorin puolella. Vastaavasti kiinniehto maadoituserottimelle 631Z101 annetaan, jos jännite on alle 20 %. F33/F43 releistä annetaan kiinni ohjausehdot laitoskatkaisijalle ja generaattorikatkaisijalle jännitteen ollessa yli 80 %. Samoille katkaisijoille annetaan myös tieto jännitteen ollessa alle 20 %. Myös maadoituserottimelle 631Z102 annetaan kiinni ohjaustieto jännitteen ollessa alle 20 %.

Taulukko 14. Jännitesuojien asetteluarvot ja toiminta-ajat.

Suoja-rele/Jännite-muuntaja	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Toimenpiteet	Katkaisijat
<i>F31/631U102</i> <i>F41/631U103</i>	U> 105 %	-	Hälytys	-
	U> 115 %	-	Hälytys	-
	U> 80 %	-	Ehto	Ohjausehto GCB
	U< 20 %	-	Ehto	Ohjausehto 631Z101
<i>F32/631U102</i> <i>F42/631U103</i>	U> 115 %	8 s	Laukaisu	FCB, GCB
	U>> 130 %	0,3 s	Laukaisu	FCB, GCB
<i>F33/631U101</i> <i>F43/631U101</i>	U< 95 %	-	Logiikkaan	Hälytys
	U< 85 %	-	Logiikkaan	Laukaisu
	U> 80 %	-	Ehto	Ohjausehto GCB, PCB
	U< 20 %	-	Ehto	Ohjausehto GCB, PCB, 631Z102
<i>F34/631U101</i> <i>F44/631U101</i>	U< 60 %	-	Logiikkaan	
	U< 25 %	-	Logiikkaan	
<i>Simatic S5</i> <i>logiikka</i> <i>U< Trip A</i>	U< 85 %	0,6 s	Laukaisu	PCB
	U< 60 %	0,6 s	Laukaisu	PCB
	U< 25 %	0,25 s	Laukaisu	PCB
<i>Simatic S5</i> <i>logiikka</i> <i>U< Trip B</i>	U< 85 %	5 s	Laukaisu	FCB, GCB, PCB, (6,6 kV CB)
	U< 60 %	0,8 s	Laukaisu	FCB, GCB, PCB, (6,6 kV CB)
	U< 25 %	0,8 s	Laukaisu	FCB, GCB, PCB, (6,6 kV CB)
<i>F15/631U101</i> <i>F25/631U101</i>	U> 115 %	6 s	Laukaisu	FCB, TS, GCB, PCB, (6,6 kV CB)
	U> 115 %	7 s	Laukaisu	FCB, GCB, PCB, (6,6 kV CB)
	U> 130 %	0,3 s	Laukaisu	FCB, GCB, PCB, (6,6 kV CB)

Olkiluodon ydinvoimalaitosten jänniterajat on esitetty kuvassa 12. Tarkastellaan ensiksi ylijännitesuojausta normaalissa kytkentätilanteessa. Ylijännitetilanteista annetaan sekä hälytyksiä että suoritetaan laukaisu toimenpiteitä. Jännitteen noustessa 105 % nimellisjännitteestä annetaan hälytys valvomoon. Generaattorin jännitteensäätöalue on +/- 10 % nimellisjännitteestä. Jos jännite nousee 115 %, niin annetaan tilanteesta hälytys. Jännitteen pysyessä kuusi sekuntia yli 115 % laukaistaan katkaisijat (FCB, TS, GCB, PCB, (6,6 kV CB)). Tälle varasuojana toimii kahdeksan sekunnin porras, joka suojaaa etenkin generaattoria ja laukaisee generaattorikatkaisijan sekä magnetoinnin kenttäkatkaisijan. F15/25 releessä on lisäksi seitsemän sekunnin porras, joka laukaisee samat katkaisijat kuin 6 sekunnin porras. Aikaisemmin 6 sekunnin porras laukaisi vain laitoskatkaisijan, jonka jälkeen yritettiin ensin jäädä saarikäytölle. Viimeisten ylijännitesuojauksen asettelumuutosten jälkeen nähtiin kuitenkin parhaaksi nopeuttaa ylijännitesuojausta, jonka seurauksena 7 sekunnin porras on jäänyt tarpeettomaksi. Viimeisenä suojaus portaana on 130 %, joka toimii 0,3 sekunnissa. Laukaisun suorittaa sekä F15/F25 releet että F32/42 releet. Omakäyttötilanteessa suojat toimivat samalla tavalla.

Vuosihuoltoseisakin aikana releet, jotka saavat jännitetietonsa 631U101 jännitemuuntajalta ovat toiminnassa. Ylijännitesuojauksessa tehdään siis releen F15/F25 suojausportailta. Tässä kytkentätilanteessa jänniteportaista 105 % ja 115 % ei saada lainkaan hälytyksiä. Portaiden laukaisu tapahtuu kuitenkin samalla aikaviivästyksellä eli 115 % porttas toimii 6 sekunnissa. Vastaavasti 130 % porttas toimii 0,3 sekunnissa.



Kuva 12. OL1/2 Jänniterajat [6].

Alijännitesuojauksessa on toteutettu Siemens Simatic logiikan avulla, jossa suoritetaan portaiden aktivoiminen ja laukaisujen viivästykset. Logiikassa on kaksi alijännitelaukaisulinjaa Trip A ja Trip B. A-linja laukaisee vain laitoskatkaisijan, jolloin pyritään ensin jäämään saarikäytölle. B-linja taas aukaisee generaattori-, magnetointi-, laitos- sekä 6,6 kV:n kiskojen katkaisijat. Normaalissa kytkentätilanteessa sekä saarikäytöllä suojaus toimii samalla tavalla. Jännitteen laskiessa 95 % nimellisjännitteestä annetaan hälytys logiikasta hälytysjärjestelmään. Seuraavana portaana on 85 %, jolloin laukaistaan 0,6 sekunnissa A-linja eli pelkkä laitoskatkaisija. Jos saarikäytölle ei pystytä jäämään, laukaistaan B-linja 5 sekunnin kuluttua. Jännitteen laskiessa alle 60 % nimellisjännitteestä, laukaistaan A-linja 0,6 sekunnissa. Samalla tavalla kuin edellisessä portaassa B-linja laukaistaan 0,8 sekunnissa, jos säarikäyttö ei onnistu. Viimeisenä portaana on 25 %, jossa A-linja laukaistaan 0,25 sekunnissa ja B-linja 0,8 sekunnissa. Myös vuosihuollon aikaisessa kytkentätilanteessa jännitesuojaus

pysyy laukaisujen osalta samana, koska kaikki laukaisukäskyt saavat mittaustietonsa 631U101 jännitemuuntajalta.

5.2 Releyksiköt

Blokkisuojaan tuodaan myös ulkopuolisista järjestelmistä laukaisusignaaleja. Nämä tiedot tuodaan binääritietoina releyksiköihin, joista ne ohjataan laukaisumatriiseihin. Releyksiköitä on molemmissa subeissa kaksi kappaletta. A-subin moduulien tunnuksot ovat A51 ja A52. C- subin tunnuksot taas ovat A53 ja A54. Jokaisessa releyksikössä on kymmenen laukaisukosketinta. Releyksiköihin tuotavat tiedot eivät ole samanlaiset. Vain omakäyttömuuntajilta tuotavat suojauksen tiedot ovat kahdennettu. Taulukkoon 15 on koottu releyksiköihin tuotavat laukaisusignaalit. Osa niistä on kuvattu jo verkkoliityntäluvussa komponenttien yhteydessä. Loput signaalit käsitellään seuraavaksi.

Taulukko 15. Releyksiköihin tuotavat laukaisusignaalit.

SUB	Tunnus	Toiminto
A	A51	K1 - Vika generaattorin jäähdytyksessä
A	A52	K1 - Kenttäkatkaisijan sisäinen laukaisu
A	A52	K2 - Ylivirtalaukaisu (400 kV)
A	A52	K3 - Katkaisijavikasuoja 1 (400 kV)
A	A52	K5 - Roottorin ylijännite
A	A52	K7 - 613T101 Differentiaalisuoja, ylivirtasuoja, kaasuvahti, öljyn lämpötila
A	A52	K8 - 613T201 Differentiaalisuoja, ylivirtasuoja, kaasuvahti, öljyn lämpötila
C	A53	K1 - Vika generaattorin jäähdytyksessä
C	A54	K1 - 611T101 öljyn lämpö ja bucholzian laukaisu
C	A54	K2 - 613T101 Differentiaalisuoja, ylivirtasuoja, kaasuvahti, öljyn lämpötila
C	A54	K3 - 613T201 Differentiaalisuoja, ylivirtasuoja, kaasuvahti, öljyn lämpötila
C	A54	K4 - Katkaisijavikasuoja 2 (400 kV)

Komponenttien yhteydessä käsiteltiin generaattorin jäähdytyksen vikasignaali. Myös päämuuntajan sekä omakäyttömuuntajien muuntajasuojat antavat laukaisusignaalit releyksiköihin. Niihin kuuluvat öljyn lämpötilan raja arvojen ylittyminen sekä kaasureleen toiminta. Näiden lisäksi omakäyttömuuntajien omilta suojaroleilta tuodaan laukaisutiedot differentiaalisuojauksen sekä ylivirtasuojan toiminnasta.

Magnetointikoneen katkaisijan sisäinen laukaisu ja roottorin ylijännitesuoja antavat toiminnastaan laukaisusignaalin releyksiköihin. Magnetointikoneen sisäinen laukaisu syntyy tilanteessa, jossa jännitteensäätäjän ylivirta-, alijännite- ja ylikuormasuojat

laukeavat. Roottorin ylijännitesuoja on toteutettu magnetointikoneen diodisillassa, jossa jännitteensäätäjän tuottama vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi. Ylijännitesuoja sisältää virranrajoitusvastuksen, joka on sarjankytkennässä tyristori- ja sytytyspiirin kanssa. Suojassa on yksi vastus ja kaksi tyristoriyksikköä. Jännitettä mitataan purkausvastuksen yli ja se on yhdistetty releyksikköön harjojen kautta. [10]

400 kV kytkinkentältä tuodaan blokkisuojaan laukaisevia signaaleja. Ulkopuolisen verkon distanssisuojien laukeamisesta annetaan tieto. Tämän lisäksi laitoskatkaisijan vikaantumisesta annetaan tieto katkaisivikareleen avulla.

5.3 Laukaisumatriisi

Laukaisumatriisi on suoraviivainen laite, jolla on helppo toteuttaa sekä muokata erilaisia laukaisuja. Sen avulla siis yhdistetään releiden lähettämät laukaisusignaalit määräytyiksi toiminnoiksi. Blokkisuojaissa toiminnot ovat yleensä katkaisijoiden aukaisuja, mutta myös ohjausehtoja annetaan eri komponenteille kuten maadoituserottimille. Kuvassa 13 on esitetty Siemens Siprotec 7UW50 laukaisumatriisi, mikä on myös käytössä OL1/OL2 laitoksilla. Kuvassa tulo- ja lähtösignaalit yhdistetään matriisissa mustien diodien avulla. Punaisella diodilla otetaan tulosignaali käyttöön.



Kuva 13. Siemens Siprotec 7UW50 laukaisumatriisi [44].

Laukaisumatriiseja on yhteensä neljä kappaletta voimalaitosta kohden. Kummassakin subissa on kaksi laukaisumatriisia. Laukaisumatriisissa on yhteensä 10 lähtökanavaa ja 28 tulokanavaa. Laukaisumatriisin avulla toteutetut lähtökanavat ovat:

- A: Generaattorin kenttäkatkaisijan laukaisu (FCB)
- B: Generaattorikatkaisijan laukaisu (GCB)
- C: Turbiinin pikasulku (TS)
- D: 400 kV laitосkatkaisijan laukaisu (PCB)
- E: 613-syöttökatkaisijoiden laukaisu (6,6 kV)
- F: Pikavaihtoautomaatiikan (järj. 683) käynnistys (RCSU)
- G: Maadoituserottimen 631Z101 ohjausehdot
- H: Maadoituserottimen 631Z102 ohjausehdot
- J: Generaattorikatkaisijan ohjaustiedot
- K: Laitосkatkaisijan ohjaustiedot

Laukaisumatriisi saa tulokanaviinsa tiedot suojustareleiltä, jännitteenvälvontareleiltä, releyksiköiltä sekä logiikasta. A-subin matriiseihin tulee yhteensä 33 tulosignaalia ja C-subiin 31. Joitain signaaleja on yhdistetty suojustareleissa, jos niiden toiminnolle on määritetty samanlaiset laukaisutoiminnot. Laukaisumatriiseihin tulevat signaalit ja niille määritellyt toiminnot on esitetty liitteessä B.

Molempien osajärjestelmien laukaisumatriisien lähtölinjat on yhdistetty keskenään, josta ne siirtyvät nopeille laukaisureleille. Laukaisureleet ovat osa katkaisijoiden laukaisupiiriä. A-subin laukaisureleet ovat releyksikössä A70 ja C-subin vastaavasti releyksikössä A75. Laukaisupiirin mennessä kiinni katkaisijalle annetaan aukaisu -komento.

5.4 Hälytykset, huoltoväylä ja DC-syöttö

Siemensin suojustareleet ovat liitetty väyläliittynän avulla DIGSI- huoltoväylään. Suojustareleet ovat kytkettyinä valokuidulla yhteiseen tähtihaaroittimeen, josta tiedot siirtyvät valvomoon huoltopäätteelle. Huoltoväylä toimii PROFIBUS-protokollan avulla. Huoltopäätteeltä on nähtävissä releiden tiedot sekä asetteluarvot. Huoltopäätettä käytetään vain häiriötallenteiden, mittausten ja asetteluarvojen tarkasteluun. Huoltoväylään on liitetty myös laitoksen muita suojustareleita. [5, s. 11]

Hälytykset ja tiedot laukaisuista tulevat suojustalaitteiden hälytys- ja laukaisukoskettimilta potentiaalivapaana tietona johdotettuna reلهuoneiden kautta valvomoon. Suurin osa

hälytyksistä menee yleiseen hälytyksien rekisteröintijärjestelmään. Käyttöhenkilökunta näkee sieltä aikaleimattuna hälytystapahtumat. Joitain hälytyksiä menee myös hälytysjärjestelmään. Siellä ne ilmaistaan valvomossa hälytystauluissa vilkkuvalohälytyksinä. Hälytystauluihin menee hälytyksiä suojaustoimintojen havahtumisista ja hälytysrajojen ylityksistä. Suojien laukaisuista menee tiedot vain hälytysten rekisteröintijärjestelmään. Esimerkiksi generaattorin ylikuormasuojan hälytysrajasta annetaan tieto hälytysjärjestelmään ja laukaisun tieto menee yleiseen hälytysten rekisteröintijärjestelmään. Suojalaitteiden vikaantumisista annetaan myös tiedot hälytystauluihin.

Suojareleiden ja muiden apujärjestelmien apusähköä käytetään 110 V DC jännitettä. Jännitteensyöttö A- ja C-subiin tapahtuu eri järjestelmistä, jolloin toisen järjestelmän vikaantuminen ei vaikuta koko suojaukseen.

5.5 Suojauksen laajuuden yhteenveto

Nykyisessä blokkisuojaossa on kaikki tarvittavat suojaustoiminnot, joita generaattorin ja muuntajien suojauksissa olisi hyvä olla. Tämä voidaan todeta luvun 3.3 yhteenvetotaulukon 7 sekä nykytoteutuksen kuvauksen perusteella. Suojien kahdennuksen taso ja varasuojauksien määrä on myös hyvällä tasolla muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Suojauksen uusinnassa on kuitenkin muutamia parannus- ja muutostarpeita, joita kannattaa pohtia.

Nykyisessä suojauksessa vain laitoskatkaisijalla on toteutettu katkaisijavikasuojaus. Tämä toiminto olisi mahdollista lisätä myös generaattorikatkaisijalle. Ainakin muutama suojaustoiminto avaa vain generaattorikatkaisijan, jolloin sen vikaantuessa saattaa syntyä vaurioita komponenteissa. Generaattorin staattorin käämityksen oikosuluille, joissa vaihe menee itsensä kanssa oikosulkuun, on mahdollista käyttää kierrossulkusuojaa. Viat ovat harvinaisempia ja riippuvat yleensä generaattorin käämityksen rakenteesta. Myös käämityksen ikääntyminen sekä lämpö- ja mekaaniset rasitukset saattavat johtaa vian syntymiseen. Suoja on teknisesti haastava toteuttaa uusinnan yhteydessä. Vika kehittyy yleensä maasulkuksi, jolloin 80 % maasulkusuoja tunnistaa tilanteen siinä vaiheessa.

Nykyisessä toteutuksessa aivan kaikkia suojaustoimintoja ei ole kahdennettu eri osajärjestelmiin. Generaattorin differentiaalisuoja on vain A-subissa. Suojaustoiminto on generaattorin staattorin oikosulkujen kannalta hyvin tärkeä, joten se kannattaa uusinnan yhteydessä kahdentaa molempiin osajärjestelmiin. Samalla tavalla staattorin 80 %

maasulkusuoja on vain C-subissa. Myös tämä suoja kannattaa tuoda uusinnan yhteydessä molempiin osajärjestelmiin.

Staattorin 100 % ja roottorin maasulkusuojat ovat vain yhdessä osajärjestelmässä. Niiden toteutuksessa tarvitaan apujärjestelmiä, joiden kahdentaminen on teknisesti hankalaa sekä kallista. Suojia voisi pyrkiä kahdentamaan pelkästään suojareleen osalta, jolloin releen vikaantuessa varasuojaus olisi olemassa. Vikoja voi kuitenkin tapahtua myös apujärjestelmissä. Apujärjestelmien samanaikainen toiminta ja kahdentaminen on teknisesti vaikea toteuttaa. Yhtenä vaihtoehtona voisi olla myös toisen apujärjestelmän sijoittaminen rinnalle, jolloin se kytkettäisiin toimimaan ensisijaisen järjestelmän vikaantuessa. Ilman suojien kahdentamista tärkeimpänä tehtävänä on varautua laitevikaantumiseen niin, että varaosat ovat aina valmiina ja niiden uusinta on suunniteltu jo etukäteen. Näin saadaan minimoitua käyttökeskeytyksen aika.

Taajuussuojauksen osalta parannuskohteena on suojauksen laajentaminen kattamaan myös vuosihuoltokytkennän. Tällä hetkellä suojaus saa tiedot jännitemuuntajilta 631U102 ja 631U103, jotka ovat generaattorikatkaisijan ja generaattorin välillä. Yhtenä vaihtoehtona olisi siirtää nämä suojat toimimaan jännitemuuntajan 631U101 tiedoilla, jolloin myös vuosihuoltokytkennässä olisi taajuussuojaus. Toisena vaihtoehtona olisi lisätä yhteen suojareleeseen varasuojat taajuudelle.

Nykyisessä toteutuksessa vinokuorma- ja takatehosuojat on kahdennettu subin sisäisesti. Jos suojat tarvitsevat varasuojia eri laitteeseen subin sisällä niin, se tarvitsee ottaa huomioon uusinnan yhteydessä. Tällaisella ratkaisulla saadaan subin sisäinen suojaus taso nousemaan erilaisissa laitevioissa. Samalla periaatteella myös epätahti- ja ali-impedanssisuojille olisi kannattavaa laittaa varasuojat subin sisälle toiseen laitteeseen.

Uusinnan yhteydessä nykyiset suojausasettelut tulee tarkastaa. Suojaustoimintojen toimintaperiaatteen muuttuessa on myös laskettava uudet asetellut. Suojausasettelun laskennan avulla pystytään jatkossa helpommin toteamaan erilaisten muutoksien aiheuttamat vaikutukset aseteluihin.

6. UUSINNAN VAIHTOEHDOT

Tässä luvussa tarkastellaan suojauksen uusinnan erilaisia toteutusvaihtoehtoja sekä laajuutta ja rajapintoja. Vaihtoehtojen avulla vertaillaan ja analysoidaan haittoja sekä hyötyjä, joiden perusteella pystytään valitsemaan sopivin ratkaisu uusintaa varten. Vaihtoehtoja tarkastellaan kolmelta eri alueelta. Aluksi tarkastellaan suojalaitteiden määrän ja suojaustoimintojen sijoittamisen toteutusvaihtoehtoja. Tämän jälkeen pohditaan vaihtoehtoja mittauksien, tilatietojen sekä hälytyksien siirrolle. Myös huoltoväyläliityntää pohditaan samassa yhteydessä. Viimeisenä ratkaisuna vertaillaan fyysisen laukaisumatriisin sekä ohjelmoitavan laukaisumatriisiin eroja.

Luvussa pohditaan myös muita uusintaan vaikuttavia tekijöitä kuten laitteiden elinikää ja varaosasaatavuutta sekä uusinnan aikataulutusta laitoksen huoltoseisakkiin.

6.1 Uusinnan rajapinnat ja laajuus

Suojauksen uusinnan laajuuteen vaikuttaa useat eri tekijät kuten investointiin budjetoitu rahamäärä, huoltoseisakin pituus sekä voimalaitoksen muut suunnitellut projektit. Suojauksen uusinnan rajapintoja ja laajuutta voidaan pohtia muutamasta eri näkökulmasta. Suojaus voidaan uusida kokonaisuudessaan, jolloin suojalaitteet, mittamuuntajat, kaapelit sekä apujärjestelmät vaihdetaan. Tällöin usein uusitaan vanhat suojauskaapit rakentamalla uudet tilalle. Uusinta voidaan myös tehdä niin, että vain osa edellä mainituista vaihdetaan. Yleensä vaihdetaan suojalaitteet, apujärjestelmät ja kaapin sisäinen kaapelointi. Suojausta saatetaan myös vain parantaa vaihtamalla pelkkä suojalaite tai lisäämällä uusi suojaustoiminto.

OL1 ja OL2 laitosesyksiköillä suojauksen uusinnan laajuuteen vaikuttaa etenkin vuosihuoltoseisakin pituus. Huoltoseisakin kesto vaikuttaa asennukselle ja käyttöönotolle varattuun aikaan. Myös muut käynnissä olevat projektit kuten generaattorikiskon virtamuuntajien uusinta vaikuttaa laajuuteen. Tämän takia mittamuuntajiin sekä niiden kaapelointeihin pyritään koskemaan mahdollisimman vähän. Suojauskaappeihin jätetään siis virta- ja jännitepiirit ennalleen. Sen avulla asennusta ja käyttöönottoa saadaan helpotettua sekä aikaa säästetään. Tässä ratkaisussa vanhat suojauskaapit jätetään ennalleen. Tällöin vanhat suojalaitteet ja apureleet puretaan kaapista ja uudet asennetaan tilalle. Suojauksen uusinnan laajuuteen kuuluu siis

suojalaitteet sekä apureleet. Myös huoltoväylä sekä hälytys, mittaus ja tilatietojen vienti ohjausjärjestelmään uusitaan.

Staattorin 100 % ja roottorin maasulkusuojauksessa vaadittavien apujärjestelmien uusinta kuuluu myös laajuuteen. Nämä järjestelmät täytyy uusita kokonaisuudessaan, jolloin vanhasta järjestelmästä ei säily muuta kuin korkeintaan laitteiden sijaintipaikat.

Uusinnan rajapintoina toimivat siis virta- ja jännitepiirit suojauskaapissa sekä katkaisijoiden ja toimilaitteiden laukaisupiirit. Hälytysten osalta rajapintana toimii hälytys- ja ohjausjärjestelmät, joihin uusilla laitteilla liitytään. Suojalaitteiden parempien ominaisuuksien takia myös uusia toimintoja otetaan käyttöön, joita vanhassa järjestelmässä ei ollut.

6.2 Suojareleet

Suojausjärjestelmän uusinnan kahdennuksen toteutuksessa on huomioitava luotettavuuden kaksi eri näkökulmaa. Luotettavan järjestelmän pitää pystyä havaitsemaan vikatilanne ja poistamaan se vaaditussa ajassa. Toisaalta suojausjärjestelmä ei saa myöskään aiheuttaa virheellisiä laukaisuja väärissä tilanteissa. Suojauskonseptin valinta on näiden näkökulmien välistä tasapainoilua. Seuraavaksi pohditaan tarkemmin ratkaisuja, joilla voidaan vaikuttaa näihin. Tämän lisäksi tarkastellaan suojausjärjestelmän toteutuksen vaihtoehtoja vika-analyysin avulla. Lopuksi tehdään johtopäätökset pohdintojen avulla.

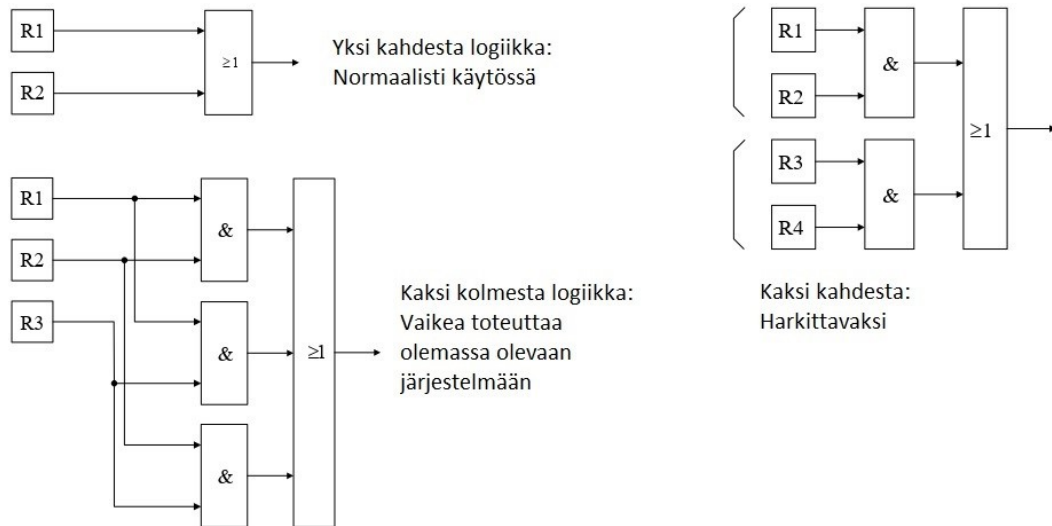
6.2.1 Kahdennus ja luotettavuus

Suojauksen kahdennus pyritään toteuttamaan suojalaitteiden määrän, suojaustoimintojen sijoittelun sekä mittamuuntajien jaottelulla. Kahdella täysin rinnakkaisella järjestelmällä pystytään vikatilanteet tunnistamaan, vaikka yksi laite vikaantuisi. Täysin rinnakkaisten järjestelmien suunnittelemiseen vaikuttaa mittamuuntajien määrä sekä myös injektointi-periaatteella toimivat apujärjestelmät. Myös laitteiden apusähköpiirien määrä vaikuttaa ratkaisuun. Suojalaitteiden määrän ja suojaustoimintojen sijoittelun rajoittavana tekijänä on releiden analogiakanavien määrä eli se kuinka monta virta- ja jännitetietoa pystytään tuomaan yhteen releeseen. Valintaan vaikuttaa myös järjestelmän koestettavuus. Tämän lisäksi laitteisto täytyy suunnitella niin, että vikantuneen laitteen vaihto pystytään suorittamaan laitoksen käynnin aikana.

Suojauksen kahdennus nostaa kuitenkin riskiä laitteiden virheelliselle toiminnalle, koska laitteiden määrä kasvaa. Suojausjärjestelmä ei saa aiheuttaa tarpeettomia laukaisuja normaaleissa tilanteissa. Suurien tuotantoyksikköjen tarpeeton verkosta irtoaminen

täydellä kuormalla voi johtaa koko sähköjärjestelmän stabiilisuuden menetykseen. Tarpeettomia laukaisuja voidaan ehkäistä laukaisuperiaatetta muuttamalla.

Yleensä kahdennetuissa suojausjärjestelmässä laukaisut suoritetaan yksi kahdesta periaatteella. Tällöin yhden releen väärä toiminta tai vikaantuminen voi aiheuttaa tarpeettoman laukaisun. Tarpeettomien laukaisujen todennäköisyyttä pystytään vähentämään laukaisuperiaatetta muuttamalla ja rinnakkaisia järjestelmiä lisäämällä. Kuvassa 14 on esitetty muutama vaihtoehto virheellisten laukaisuiden vähentämiseen.



Kuva 14. Laukaisulogiikat. Muokattu lähteestä [2]

Luotettavuuden näkökulmasta parhain ratkaisu olisi, jos laukaisuperiaatteena toimisi kaksi kolmesta menetelmä. Tällöin yhden laitteen vikaantuminen ei aiheuttaisi järjestelmän toimimattomuutta vikatilanteessa. Myöskään yhden laitteen virheellinen toiminta ei aiheuttaisi tarpeetonta laukaisua. Tässä ratkaisussa suojausjärjestelmän täytyy koostua kolmesta erillisestä järjestelmästä. Kuten kuvassa 14 on todettu, kaksi kolmesta laukaisulogiikka on vaikea toteuttaa olemassa olemaan järjestelmään modernisoinnin yhteydessä. [2]

Yhtenä vaihtoehtona olisi kaksi kahdesta periaate yhden osajärjestelmän osalta [2]. Tässä ratkaisussa järjestelmässä tarvitsi olla neljä suojausrelettä, joissa on kaikki samat suojaustoiminnot. Laukaisukäsky annetaan vain jos osajärjestelmän molemmat laitteet ovat havainneet vian. Tällöin toinen osajärjestelmä voi vikaantua kokonaan, mutta laukaisut menevät silti läpi. Ratkaisu vähentää virheellisten laukaisuiden määrää, mutta kasvattaa laitteiden määrää. Ratkaisun toteuttaminen ei ole myöskään kovin suoraviivaista.

Laukaisuperiaatteiden muokkaaminen voi kuitenkin pahimmassa tapauksessa estää oikean vikatilanteen tunnistuksen, jolloin se muodostuu riskiksi. Vanhasta yksi kahdesta periaatteesta on hyvät käyttökokemukset, joiden perusteella ei ole syytä vaihtaa monimutkaisempaan logiikkaan. Suojauksen tärkein tehtävä on kuitenkin havaita ja poistaa vikatilanteet. Tällä perusteella on parempi ratkaisu suojautua varmasti vikatilanteilta ja ottaa hieman korkeampi riski virheelliselle laukaisulle.

6.2.2 Vaihtoehdot

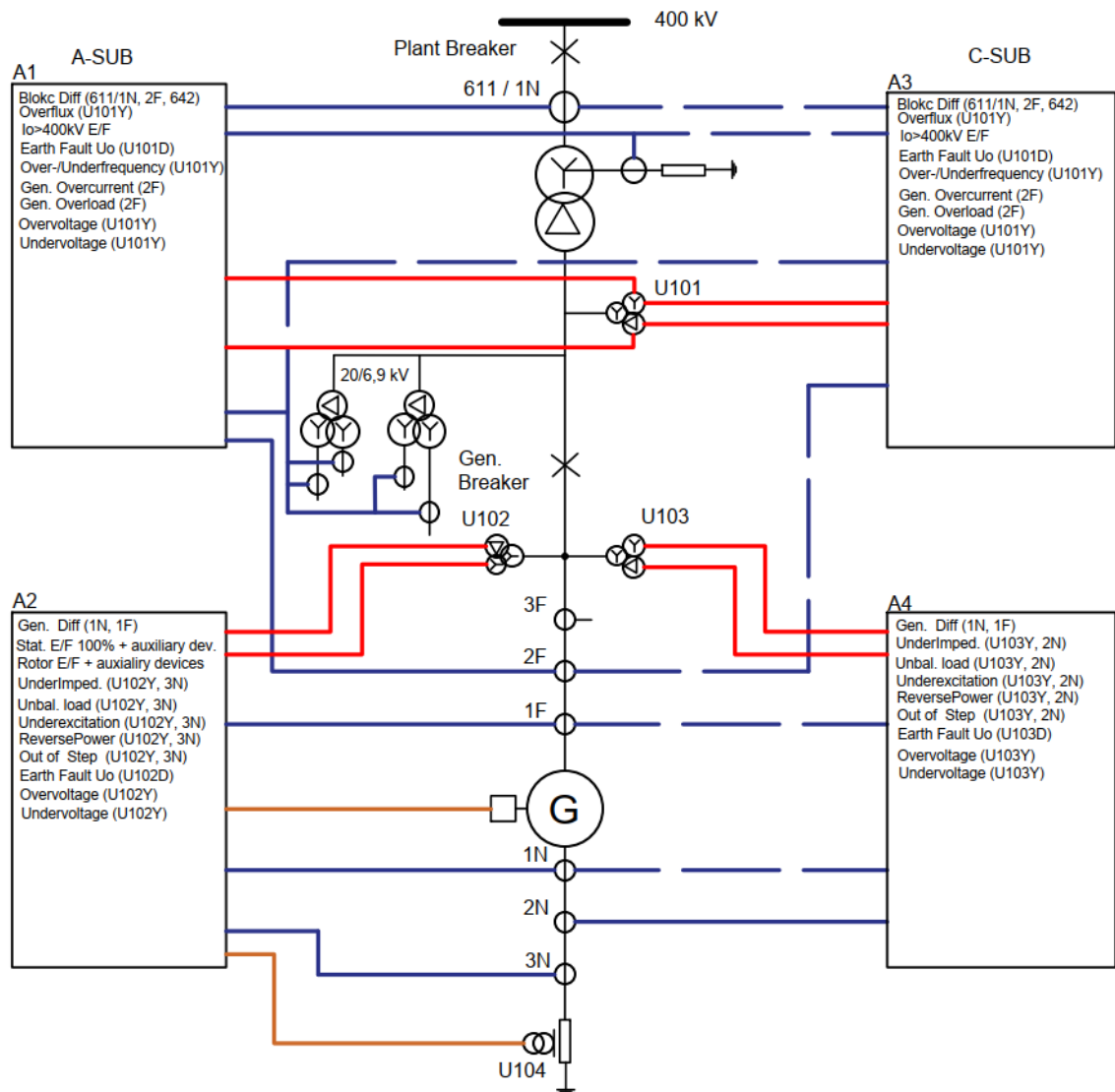
OL1 ja OL2 laitousyksiköillä blokkisuojaus on haluttu kahdentaa eri osajärjestelmien avulla. Suunnitteluperusteena käytetään N-1 periaatetta. Osajärjestelmät pystyvät siis toimimaan täysin riippumattomina toisistaan. Tämän lisäksi myös osajärjestelmän sisäistä suojaustasoa on pyritty nostamaan mahdollisimman korkealla, jolloin ne sisältävät osittaista kahdennusta. Kuitenkin niin, ettei käytettävyys ja testaus kärsi. Nykyisen laitemäärän vähentämisen avulla myös eri tyyppisten varaosien tarve vähenee. Laitteiston määrälle ja suojaustoimintojen sijoittelulle löytyy lukuisia erilaisia vaihtoehtoja, jotka riippuvat mm. voimalaitoksen koosta, sen tärkeydestä sekä verkkoliityntäkaaviosta. Myös käyttäjän aikaisemmat kokemukset käytetystä suojauskonseptista sekä vikatilanteista ovat merkittävässä roolissa.

Seuraavaksi esitellään kolme vaihtoehtoa suojalaitteille ja suojaustoimintojen sijoittelulle. Jokaisessa vaihtoehdossa järjestelmä koostuu generaattorisuojasta ja muuntajasuojasta, jotka on kahdennettu eri osajärjestelmiin. Ulkopuoliset laukausignaalit tuodaan myös jokaiselle releelle binäärituloina. Vaihtoehdoissa suojaustoimintojen sijainnin sekä virtatietojen valinnan avulla pystytään vaikuttamaan eri laitevioista selviämiseen. Vaihtoehdot käydään läpi laitevikaantumisanalyysin avulla. Jokaisen vaihtoehdon kohdalla tutkitaan suojauksen tasoa tietyn suojalaitteen vikaantuessa. Analyysissä käytetään taulukon 7 vikatilanteita ja suojaustoimintoja. Laitteen vikaantuessa tarkastellaan ensin osajärjestelmän sisäistä suojaustasoa ja sen riittävyttä eri vikatilanteissa. Jos osajärjestelmä selviää vikatilanteesta ilman toisen osajärjestelmän apua, taulukkoon on merkattu OK. Kun osajärjestelmä ei selviä vikatilanteesta ilman toisen osajärjestelmän apua, taulukkoon on merkattu SUB. Staattorin 100 % ja roottorin maasulkusuojauksen kahdennusta pohditaan johtopäätökset -luvussa. Lähtökohtaisesti niitä ei ole kahdennettuna suojauksessa.

Suojausvaihtoehdoissa on otettu huomioon edellisessä luvussa 5.5 mainitut parannusehdotukset. Suurin osa muutoksista on kaikissa vaihtoehdoissa, mutta esimerkiksi takatehon-, vinokuorma-, epätahti- ja ali-impedanssisuojan subin sisäinen kahdennus on toteutettu vain vaihtoehdossa C.

Vaihtoehto A

Vaihtoehdossa A suojalaitteita on kaksi kappaletta kummassakin osajärjestelmässä. Laitteet ja suojaustoiminnot on esitetty kuvassa 15. Laitteet A1 ja A2 kuuluvat A-Subiin, kun taas laitteet A3 ja A4 kuuluvat C-Subiin. Tällöin A- ja C-Subien suojaustoiminnot ovat samanlaiset.



Kuva 15. Vaihtoehto A suojaustoimintojen sijoittelulle.

Vaihtoehdossa muuntajasuojat A1 ja A3 suojaavat pääasiassa pää- ja omakäyttömuuntajia, generaattorikiskoa sekä 400 kV:n johtoa. Generaattorisuojat A2 ja A4 suojaavat pääasiassa generaattoria, mutta niissä on myös järjestelmätason varasuojat. Osajärjestelmät on jaoteltu niin, että laitteet A1 ja A2 kuuluvat A-subiin ja laitteet A3 ja A4 C-subiin. Suojalaitteiden suojaustoiminnot on esitetty kuvassa 15. Sinisellä katkoviivalla olevat virtatiedot on ketjutettu C-subiin A-subin laitteen kautta.

Taulukossa 16 on analysoitu osajärjestelmän sisäinen suojausten taso eri vikatilanteissa suojalaitteen ollessa epäkuntoinen.

Taulukko 16. Suojauksen taso erilaisissa laitevicioissa vaihtoehdossa A.

Vikatilanne/Vika	A1 (A-Sub)/A3 (C-Sub) laite	A2 (A-Sub)/A4 (C-Sub) laite
<i>Oikosulku Gen. Staattorissa</i>	OK	SUB + Ylivirta, alijännite
<i>Oikosulku PM-Kisko-OKM</i>	Ali-impedanssi varasuojana + SUB	OK
<i>Oikosulku 400 kV verkossa</i>	OK	OK Huom. Saarikäyttö!
<i>Staattorin ylikuorma</i>	SUB + lämpötila-anturit	OK
<i>Roottorin ylikuorma</i>	OK	OK
<i>Maasulku Staattori</i>	OK	A2 laiteviassa 80 % suojaus + SUB
<i>Maasulku Roottori</i>	OK	A2 laiteviassa => varaosan vaihto
<i>Maasulku 400 kV</i>	OK Huom. Saarikäyttö!	OK
<i>Maasulku PM-Kisko-OKM</i>	OK Huom. vuosihuoltokytKentä!	OK
<i>Alimagnetointi</i>	OK	SUB
<i>Ylimagnetointi</i>	SUB	OK
<i>Vinokuorma</i>	OK	SUB
<i>Tahtinopeuden menetytys</i>	OK	SUB
<i>Takateho</i>	OK	SUB
<i>Yli- ja alijännitteet</i>	Vara + SUB	OK
<i>Yli- ja alitaajuudet</i>	SUB	OK

Taulukosta huomataan, että A1 tai A3 laitteen vikaantuessa osajärjestelmän sisältä puuttuu suojaus epänormaaleita taajuuksia sekä ylimagnetointitilannetta vastaan. Myös staattorin ylikuormasuojauksessa tarvitaan toisen osajärjestelmän apua. Generaattorikiskossa tapahtuvassa maasulussa on huomioitava kytkentätilanne. Vuosihuoltokytkenässä tarvitaan aina toisen subin apua. Laitteiden A1 ja A3 samanaikainen vikaantuminen, johtaa siis käyttökatkoon. Tilannetta pystytään

parantamaan esimerkiksi sijoittamalla ylimagnetointisuoja ja taajuussuojat myös generaattorisuojalaitteisiin A2 ja A4.

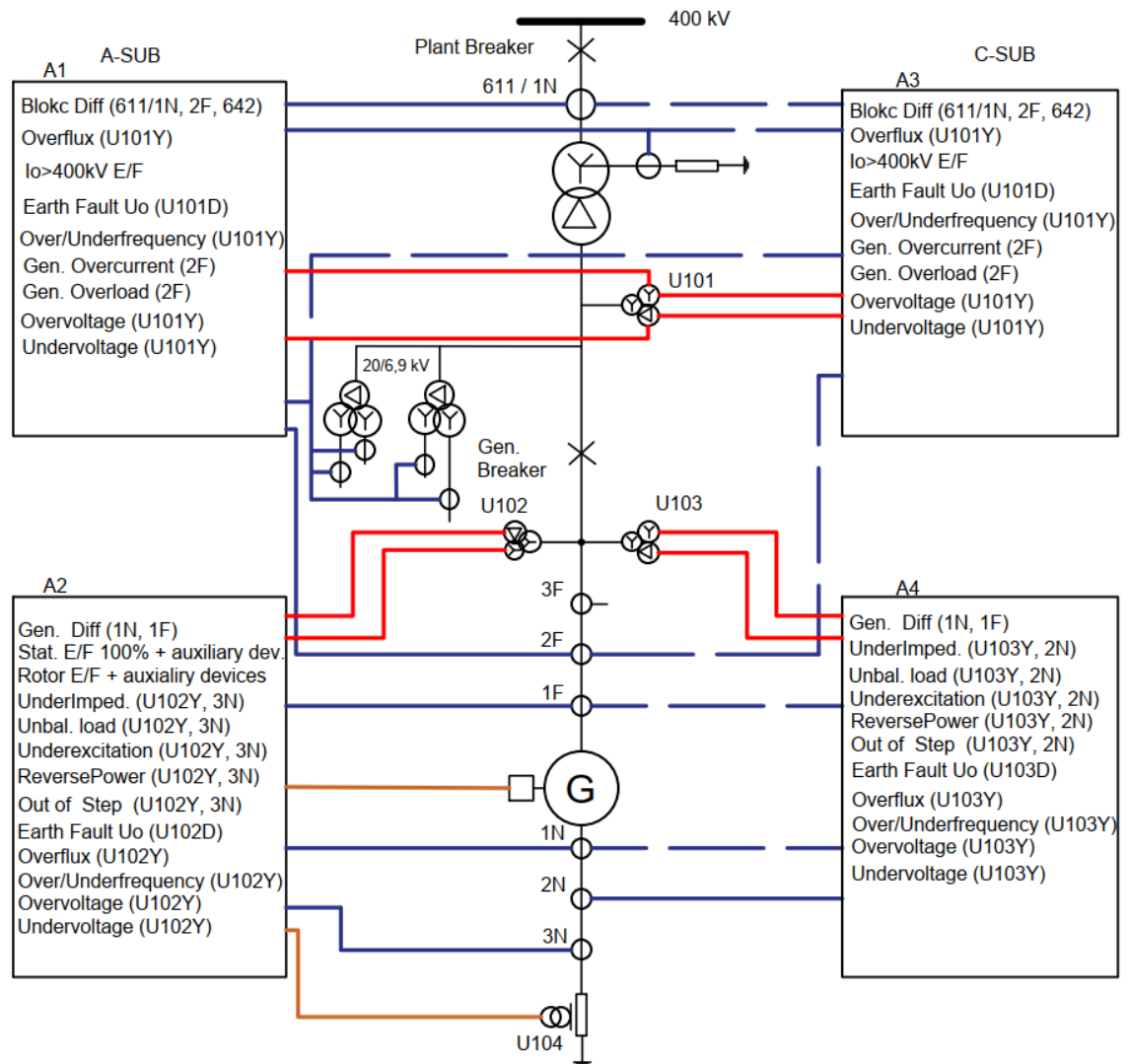
Laitteen A2 tai A4 vikaantuessa tarvitaan monissa vikatilanteissa toisen osajärjestelmän apua. Näitä ovat vinokuormitus, tahdistusputoaminen, takateho sekä alimagnetointi. Subin sisäisen suojaustason parantamiseen näissä tilanteissa on muutamia vaihtoehtoja. Laitemäärää voidaan nostaa, jolloin varasuojat sijoitettaisiin subin sisälle kolmanteen laitteeseen. Tämä kasvattaa laitekustannusten määrää sekä lisää releiden välisiä kaapelointeja. Toisena vaihtoehtona on lisätä suojat muuntajasuojalaitteeseen. Tällöin mittamuuntajien johdotuksia täytyy jaotella hieman eri tavalla. Tämä ratkaisu on esitetty vaihtoehdossa C.

A2 laitteen vikaantuessa staattorin 100 % maasulkusuojaus on pois käytöstä. Staattorin maasulkusuojaus on tällöin 80 % maasulkusuojauksen varassa. Suojan avulla pystytään asetteluista riippuen havaitsemaan maasulkutilanteet noin 80-95 % alueella staattorin käämityksessä. Tällöin suojaustaso on vielä kohtuullinen. Suuremmaksi ongelmaksi muodostuu roottorin maasulkusuojauksen vikaantuminen. Tällöin roottorin maasulkuja ei pystytä tunnistamaan kattavasti millään suojaustoiminnolla. Suojauksen tason kannalta suurin vaikutus yhden laitteen vikaantumisella on sillä laitteella, jossa roottorin maasulkusuoja on.

Vaihtoehdossa suojauksen taso pysyy siis riittävän korkeana, vaikka A1 ja A4 tai A4 ja A3 laitteet vikaantuisivat. Laitteen A2 vikaantuminen aiheuttaa ongelmia ainoastaan staattorin 100 %- ja roottorin maasulkusuojauksessa.

Vaihtoehto B

Vaihtoehto B on muuten samanlainen kuin A, mutta siihen on lisätty ylimagnetointisuoja ja taajuussuoja myös laitteisiin A2 ja A4. Kuvassa 16 on esitetty vaihtoehdon suojaustoimintojen sijoittelu.



Kuva 16. Vaihtoehto B suojaustoimintojen sijoittelulle.

Taulukossa 17 on vastaavasti tutkittu vaihtoehdon B laitevikaantumisen vaikutuksia suojaustasoon eri vikatilanteissa.

Taulukko 17. Suojauksen taso erilaisissa laitevikoissa vaihtoehdossa B.

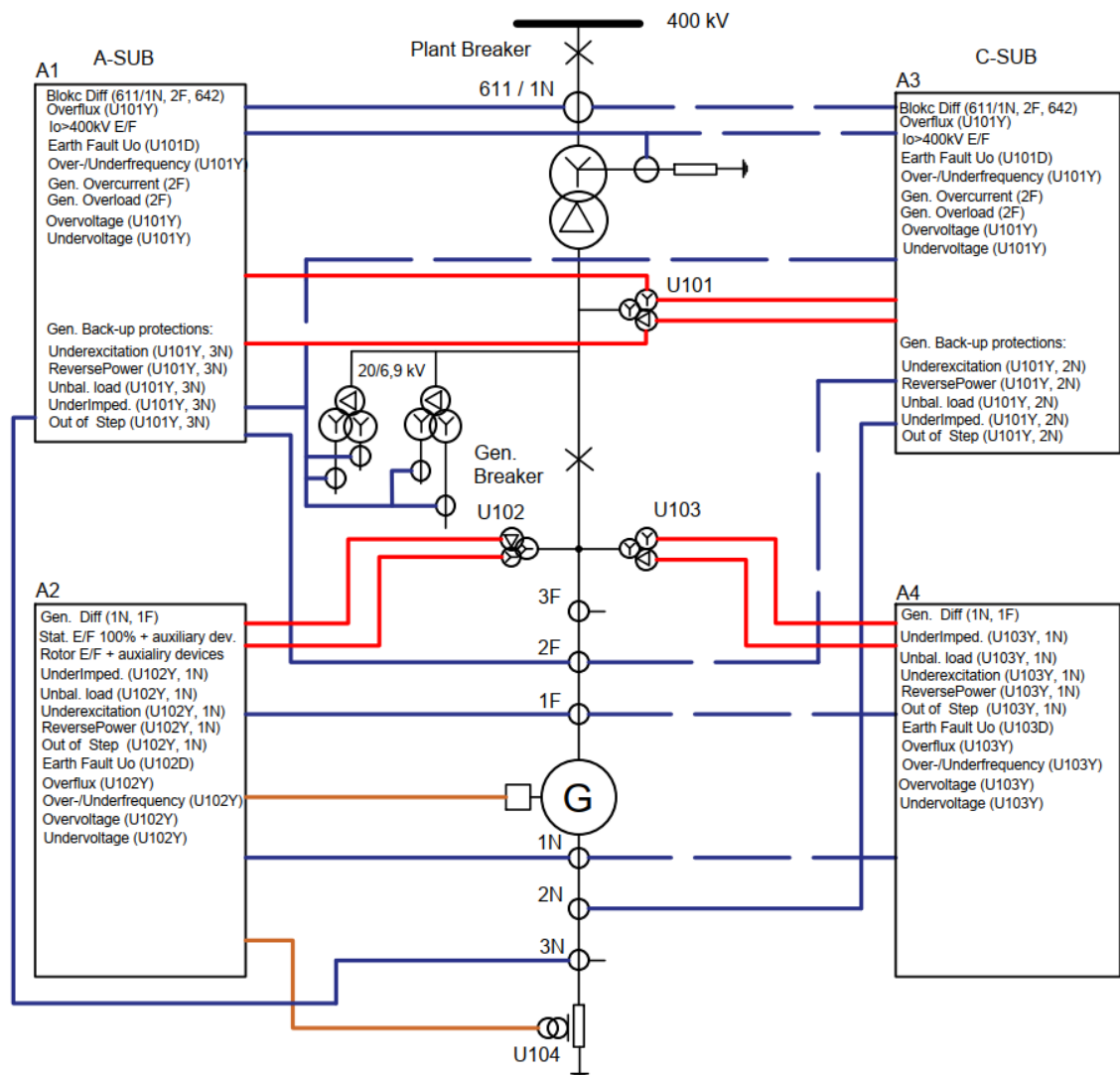
Vikatilanne/Vika	A1 (A-Sub)/A3 (C-Sub) laite	A2 (A-Sub)/A4 (C-Sub) laite
<i>Oikosulku Gen. Staattorissa</i>	OK	SUB + Ylivirta, alijännite
<i>Oikosulku PM-Kisko-OKM</i>	Ali-impedanssi varasuojana + SUB	OK
<i>Oikosulku 400 kV verkossa</i>	OK	OK Huom. Saarikäyttö!
<i>Staattorin ylikuorma</i>	SUB + lämpötila-anturit	OK
<i>Roottorin ylikuorma</i>	OK	OK
<i>Maasulku Staattori</i>	OK	A2 laiteviassa 80 % suojaus + SUB
<i>Maasulku Roottori</i>	OK	A2 laiteviassa => vara- osan vaihto
<i>Maasulku 400 kV</i>	OK Huom. Saarikäyttö!	OK
<i>Maasulku PM-Kisko-OKM</i>	OK Huom. vuosihuoltokytkenä!	OK
<i>Alimagnetointi</i>	OK	SUB
<i>Ylimagnetointi</i>	OK	OK
<i>Vinokuorma</i>	OK	SUB
<i>Tahtinopeuden mene- tys</i>	OK	SUB
<i>Takateho</i>	OK	OK
<i>Yli- ja alijännitteet</i>	Vara + SUB	OK
<i>Yli- ja alitaajuudet</i>	OK	OK

Vaihtoehdossa B on parannettu laitteiden A1 ja A3 samanaikaisen vikaantumisen jälkeistä suojaustasoa. Molempien laitteiden vikaantuessa sekä myös A4 laitteen vikaantuessa käyttöä pystytään jatkamaan. Vikaantunut laite on kuitenkin tärkeä pystyä vaihtamaan käytön aikana, jolloin suojauskokonaisuus saadaan takaisin korkealle tasolle. Tässä vaihtoehdossa vaikein tilanne syntyy laitteen A2 vikaantuessa samalla tavalla kuin edellisessäkin vaihtoehdossa.

Vaihtoehto C

Vaihtoehdossa C laitteisiin A1 ja A3 on lisätty generaattorin varasuojia, jolloin A2 ja A4 laitteen vikaantuessa suojaustaso olisi riittävän korkealla. Kuvassa 17 on esitetty C vaihtoehdon suojaustoimintojen sijoittelu. Varasuojien lisäämisen vuoksi myös virtamuuntajien tietoja tarvitsee johdottaa eri tavalla. Vaihtoehtoihin A ja B verrattuna virtamuuntajien 3N ja 2N tiedot on siirretty muuntajasuojille. Tällöin generaattorisuojat käyttävät 1N virtatietoja suojaustoimintaan.

Taulukossa 18 on vastaavasti tutkittu vaihtoehdon C laitevikaantumisen vaikutuksia suojaustasoon eri vikatilanteissa.



Kuva 17. Vaihtoehto C suojaustoimintojen sijoittelulle.

Taulukko 18. Suojauksen taso erilaisissa laitevikoissa vaihtoehdossa C.

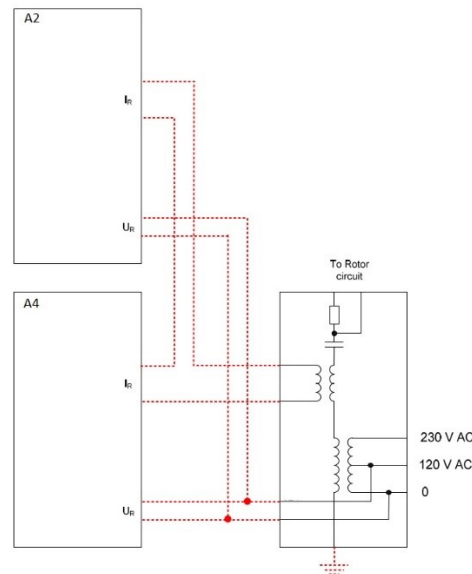
Vikatilanne/Vika	A1 (A-Sub)/A3 (C-Sub) laite	A2 (A-Sub)/A4 (C-Sub) laite
<i>Oikosulku Gen. Staattorissa</i>	OK	(Ali-impedanssi, Ylivirta) OK
<i>Oikosulku PM-Kisko-OKM</i>	Ali-impedanssi varasuojana + SUB	OK
<i>Oikosulku 400 kV verkossa</i>	OK	OK Huom. Saarikäyttö!
<i>Staattorin ylikuorma</i>	SUB + lämpötila-anturit	OK
<i>Roottorin ylikuorma</i>	OK	OK
<i>Maasulku Staattori</i>	OK	A2 laiteviassa 80 % suojaus + SUB
<i>Maasulku Roottori</i>	OK	A2 laiteviassa => vara- osan vaihto
<i>Maasulku 400 kV</i>	OK Huom. Saarikäyttö!	OK
<i>Maasulku PM-Kisko-OKM</i>	OK Huom. vuosihuoltokytkenä!	OK
<i>Alimagnetointi</i>	OK	OK
<i>Ylimagnetointi</i>	OK	OK
<i>Vinokuorma</i>	OK	OK
<i>Tahtinopeuden mene- tys</i>	OK	OK
<i>Takateho</i>	OK	OK
<i>Yli- ja alijännitteet</i>	Vara + SUB	OK
<i>Yli- ja alitaajuudet</i>	OK	OK

Tässä ratkaisussa laitteiden A1 tai A3 vikaantumiseen ei tullut muutoksia. Vastaavasti laitteiden A2 ja A4 vikaantumisessa ainoa rajoittava tekijä on enää roottorin ja staattorin 100 % maasulkusuojaus. Varasuojien lisäämisellä ei kuitenkaan saada merkittäviä hyötyjä, koska maasulkusuojaukset ovat edelleen rajoittavana tekijänä.

6.2.3 Johtopäätökset

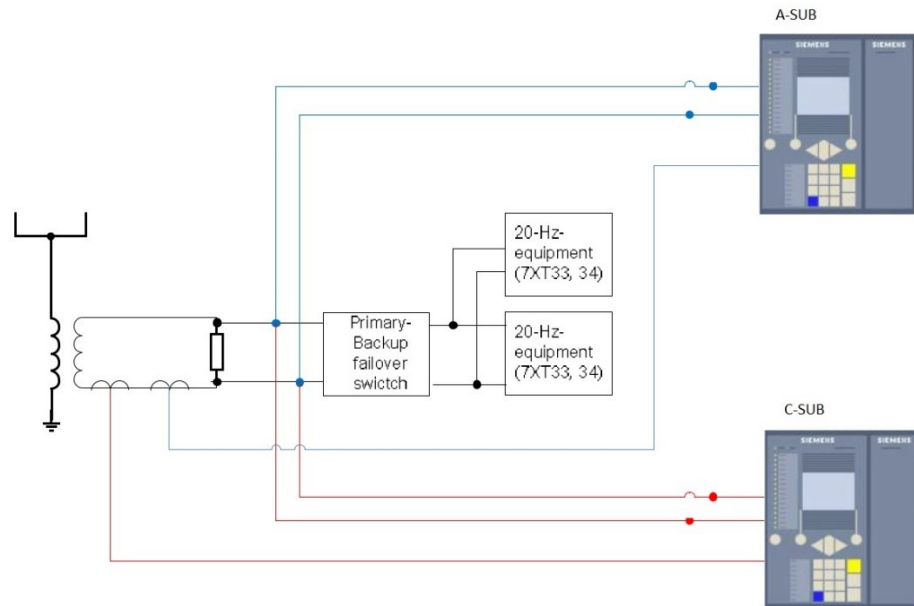
Vaihtoehdoissa merkittävimäksi tekijäksi nousi staattorin 100 % ja roottorin maasulkusuojaus. Näistä merkittävimpänä ongelmana on roottorin maasulkusuoja, jonka vikaantuessa varaosa täytyy vaihtaa. Suojien toteutukselle on muutama erilainen

vaihtoehto. Ensimmäinen ja yleisin ratkaisu on se, että suojat on vain yhdessä laitteessa. Toisena vaihtoehtona olisi apujärjestelmistä tulevien signaalien vienti myös toiseen laitteeseen. Kuvassa 18 on esitetty signaalien kahdennus roottorin maasulkusuojan osalta. Tällöin suojarleen vikaantuessa suojaustoiminnot säilyisivät. Tämän avulla saataisiin suojalaitteiden osalta täydellinen kahdennus aikaiseksi. Ratkaisu ei kuitenkaan poista apujärjestelmien vikaantumisesta aiheutuvaa käyttökatoa. Myös virheellisen toiminnan todennäköisyys kasvaa tässä ratkaisussa.



Kuva 18. *Roottorin maasulkusuojauksen kahdennus suojarleen osalta. Muokattu lähteestä [45]*

Viimeisenä vaihtoehtona olisi kahdentaa myös suojien tarvitsemat apujärjestelmät. Niiden samanaikainen toiminta on kuitenkin teknisesti mahdoton toteuttaa [46]. Apujärjestelmien kahdennus olisi mahdollista toteuttaa niin, että toinen järjestelmä olisi valmiina toisen rinnalla. Jos apujärjestelmässä tapahtuisi vika niin, silloin kytkettäisiin rinnalla oleva järjestelmä käyttöön. Kuvassa 19 on esitetty periaatteellinen ratkaisu staattorin 100 % apujärjestelmän kahdennuksesta. Ratkaisussa apujärjestelmien välillä olisi valintakytkin, jonka avulla vaihdetaan apujärjestelmien toimintaa.



Kuva 19. Staattorin 100% apujärjestelmien kahdennus. Muokattu lähteestä [47]

Jos maasulkusuoja ei kahdenneta niin parhain ratkaisu vaihtoehdoista on B. Tällöin kaikki muut laitteet voivat vikaantua lukuun ottamatta laitetta A2 tai sen apujärjestelmiä. Myös A ratkaisu on toimiva, mutta silloin laitteiden A1 ja A3 saman aikainen vikaantuminen johtaa käyttökatkoon. Maasulkusuoja kahdentaminen suojalaitteiden osalta parantaa kahdennuksen tasoa. Ratkaisu ei kuitenkaan muuta vaihtoehdon valintaa, koska laitteiden A2 ja A4 samanaikainen vikaantuminen johtaa kaikissa ratkaisussa käyttökatkoon. Vaihtoehdosta C ei saada parempaa ratkaisua maasulkusuoja kahdennuksella.

Kahdentamisen teknisen toteutuksen hankaluuden sekä luotettavuuden takia suojat laitetaan vain yhteen laitteeseen. Tämä ratkaisu on yleisesti käytössä suurissakin voimalaitoksissa. Myös aikaisemmat käyttökokemukset tästä ratkaisusta puoltavat näkemystä.

Vaihtoehdossa B täytyy siis varautua laitteen A2 vikaantumiseen. Varaosan vaihto on suoritettava mahdollisimman nopeasti, joten vaihto kannattaa suunnitella valmiiksi. Myös roottorin maasulkusuojaus apujärjestelmän vikaantumiseen ja varaosan vaihtoon täytyy varautua. Pohdittavaksi jää, voidaanko laite tai apujärjestelmä vaihtaa käytön aikana, jolloin roottorilla ei ole lainkaan maasulkusuojausta.

6.3 Jännitesuojaus

Jännitesuojauksen tämän hetkessä toteutuksessa käytetään lukuisia laitteita. Uusinnan yhteydessä tarkoituksena on siirtää logiikoiden ja jännitteenvälvoimareiden toiminnot generaattori- ja muuntajasuojoihin. Uusiin suojalaitteisiin pystytään tekemään alijännitesuojausta varten logiikkatoiminnot sekä silti suorittamaan nopeat suojausportaat. Uusista suojauslaitteista saadaan myös hälytysportaat aseteltua mittauslohkoihin, jolloin vältetään turhat laukaisuhälytykset sekä ylimääräisten suojausportaiden käyttö.

Ylijännitesuojauksessa ensisijaiset suojat sijoitetaan muuntajasuojaan ja varasuojat generaattorisuojaan. Jännitetiedot tulevat suojille eri puolilta generaattorikatkaisijaa, jolloin jännitesuojaus toimii kaikissa kytkentätilanteissa.

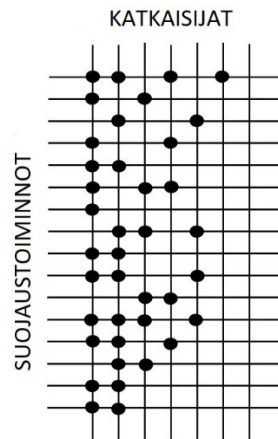
Alijännitesuojaus voidaan toteuttaa nykyisillä asetteluilla. Muuntajasuojaan voidaan asetella nykyiset linjat kahdelle suojauslohkolle, joissa molemmissa on käytössä kaksi nopeaa suojausportaa. Hälytykset tehdään mittauslohkojen avulla. Alijännitetilanteita varten lisätään myös varasuojaukset generaattorisuojaan. Alijännitesuojauksien asettelussa tulee tarkistaa suojausportaiden toimintasuureet ja ajat. Näissä tulee ottaa huomioon voimalaitoksen järjestelmätekniiset vaatimukset, jotka on käyty läpi luvussa 3.4.

6.4 Laukaisumatriisin toteutus

OL1 ja OL2 voimalaitosyksiköillä blokkisuojauksen avulla avataan useita eri katkaisijoita, jotka ovat kuvattu luvussa 5.3. Uusinnan yhteydessä blokkisuojauksen laukaisujen toteutukselle on kaksi vaihtoehtoa. Laukaisut voidaan suorittaa jokaiseen releeseen ohjelmoitavalla laukaisumatriisilla tai erikseen molempiin suojauskaappeihin sijoitetulla fyysisellä laukaisumatriisilla. Seuraavaksi kuvataan molemmat vaihtoehdot sekä niiden edut ja haitat.

Ohjelmoitavan laukaisumatriisin avulla laitteen suojaustoiminnoille ja ulkopuolelta tuleville laukaisukäskyille määritellään ohjattavat katkaisijat. Kuvassa 20 on esitetty periaatteellinen idea ohjelmoitavasta laukaisumatriisista. Jokaiselle releelle ohjelmoidaan oma laukaisumatriisi, joka ei ole riippuvainen muiden releiden toiminnasta. Ohjelmoitavan laukaisumatriisin heikkouksia on muutosten tekeminen. Tällöin suojalaitteisiin täytyy yksitellen ottaa yhteys ja tehdä muutokset jokaiseen laitteeseen. Ohjelmoitavan laukaisumatriisin etuna on se, että yhden laitteen vikaantuminen ei

vaikuta muihin suojalaitteisiin millään tavalla. Ohjelmoitava laukaisumatriisi vähentää myös johdotuksen määrää.



Kuva 20. Periaatteellinen laukaisumatriisi. Muokattu lähteestä [48]

Fyysistä laukaisumatriisia on käytetty suojausjärjestelmissä enimmäkseen vanhojen staattisten releiden sekä useammasta suojareleesta koostuvien järjestelmien suojaustoimintojen kokoamiseen. Uusissa suojalaitteissa kaikki suojaustoiminnot ovat samassa laitteessa, jolloin tarve fyysiselle laukaisumatriisille vähenee. Fyysisen laukaisumatriisin etuna on suoraviivaisuus, muutoksien tekeminen sekä havainnollisuus. Laitteen avulla nähdään nopeasti mikä suojaustoiminto on aiheuttanut laukaisun. Muutoksia on helppo myös tehdä. Jos esimerkiksi halutaan ottaa yksi suojaustoiminto pois käytöstä, otetaan vain yksi diodi pois matriisista. Fyysisen laukaisumatriisin heikkoutena on laitevikaantumisen aiheuttamat riskit sekä kallis hinta ja varaosien saatavuus. Fyysisen laukaisumatriisin vikaantuessa yhden osajärjestelmän kaikki suojaukset ovat pois käytöstä. Laitteita ei nykyään myöskään valmisteta suuria määriä, jolloin varaosien saatavuus on heikompi sekä laitteen hinta korkea. Fyysinen laukaisumatriisi lisää myös johdotusten määrää sekä hankaloittaa suojausjärjestelmän koestettavuutta ja käyttöönottoa.

Vaihtoehtoisista parempina ratkaisuna voidaan pitää hyödyt ja haitat huomioon ottaen ohjelmoitavaa laukaisumatriisia. Fyysisen laukaisumatriisin etuja voidaan lisätä myös ohjelmoitavaan matriisiin. Esimerkiksi havainnollisuutta voidaan lisätä erilaisia ledi valoja käyttäen sekä suojalaitteiden näyttöjä ja kommunikointi tapoja hyödyntäen. Myöskään muutosten helpommalla tekemisellä ei ole juurikaan merkitystä, koska käytön aikaisten muutosten määrä on hyvin pieni.

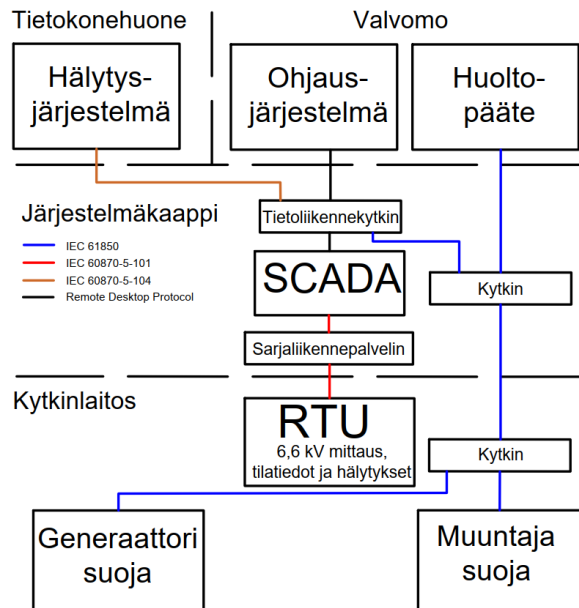
6.5 Huoltoväylä sekä tiedonsiirto

Uusinnan yhteydessä myös huoltoväylä sekä hälytysten, mittausten ja tilatietojen siirtotapa uusitaan. Nykyisessä toteutuksessa kaikki hälytykset ovat johdotettuina erikseen hälytysjärjestelmiin. Nämä tiedot pystytään siirtämään uusissa suojaroleissa erilaisia väyläratkaisuja käyttäen. Tällöin johdotusten määrää saadaan vähennettyä runsaasti. Jos joitakin hälytystaulujen vilkkuvalohälytyksiä halutaan jättää toimimaan, on niiden johdotukset säilytettävä ja huomioitava releiden suunnittelussa.

OL1 ja OL2 laitoksilla 6,6 kV kiskojen ohjausjärjestelmä on uusittu lähiaikoina ja suojalaitteet on tarkoitus yhdistää tähän järjestelmään. Ohjausjärjestelmä koostuu RTU ala-aseamista, joita on kussakin subissa yksi. Ala-asemilta tiedot siirtyy monimuotokuitua pitkin SCADA järjestelmään IEC 60870-5-101 protokollaa käyttäen. SCADA järjestelmä on taas kiinni laitoksen tietoliikenneverkossa. Tähän verkkoon on liitetty yleinen hälytystenrekisteröintijärjestelmä sekä ohjausjärjestelmä. Hälytysjärjestelmä kommunikoi Ethernet-verkossa IEC 60870-5-104 protokollaa käyttäen. Ohjausjärjestelmän työasemat ovat yhteydessä SCADA:n järjestelmäpalvelimeen etätyöpöytäyhteyden avulla. Järjestelmäkaappi on kahdennettu sen jatkuvan toiminnan varmistamiseksi.

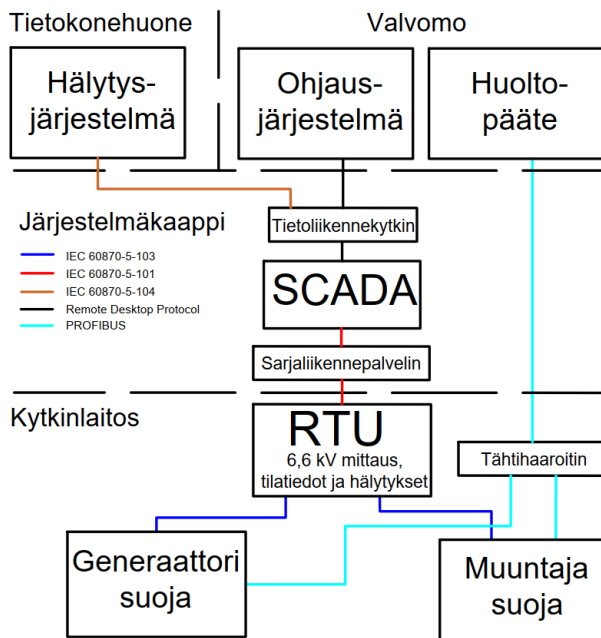
Suojalaitteiden uusinnan yhteydessä releet on tarkoitus yhdistää ohjausjärjestelmään. Tällä ratkaisulla saadaan blokkisuojan mittaukset, tilatiedot ja hälytykset siirrettyä ohjaus- ja hälytysjärjestelmiin. Suojalaitteiden yhdistämiselle on kaksi vaihtoehtoa. Järjestelmään voidaan liittyä joko käyttäen uusinta IEC 61850 tai IEC 60870-5-103 (IEC 103) standardia. Seuraavaksi esitellään vaihtoehdot ja vertaillaan niitä.

Kuvassa 21 on esitetty generaattori- ja muuntajasuojien liittäminen ohjausjärjestelmään IEC 61850 standardia käyttäen. Kuvassa liityntä on esitetty vain toisen subin avulla. Liitynnässä tarvitaan kaksi uutta kytkintä, joista toinen on kytkinlaitosrakennuksessa ja toinen järjestelmäkaapissa. Vaihtoehdon avulla myös huoltopäätteelle pystytään liittymään samaa väylää käyttäen.



Kuva 21. Suojareleiden liityntä ohjausjärjestelmään IEC 61850 protokollan avulla.

Kuvassa 22 on taas esitetty suojalaitteiden liityntä IEC 103 standardia käyttäen. Laitteet on yhdistetty suoraan RTU ala-asemiin, joista tiedot siirtyvät eteenpäin. Tässä ratkaisussa huoltopäätteelle täytyy liittyä vanhaa PROFIBUS väylää pitkin. Ratkaisun heikkoutena on tulevaisuudessa tehtävä ala-asemien uusinta.



Kuva 22. Suojareleiden liityntä ohjausjärjestelmään IEC 60870-5-103 protokollan sekä vanhan PROFIBUS-väylän avulla.

Molemmat ratkaisut soveltuvat hyvin tiedonsiirtoon. IEC 61850 standardin käytössä tarvitaan hieman enemmän laitteita sekä valokuitua verrattuna toiseen ratkaisuun.

Molemmissa ratkaisuissa tarvitaan myös lisäksi uusi lisenssiominaisuus järjestelmäpalvelimelle. IEC 61850 standardin käyttö on häiriötallenteiden analysoinnin sekä asettelujen tarkastelun perusteella parempi ratkaisu. Sen konfigurointi on myös suoraviivaisempaa ja helpompaa verrattuna IEC 103 standardin käyttöön. Myös tulevaisuuden uusintasuunnitelmien perusteella on parempi käyttää uusinta standardia. Ratkaisua suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon yhteyksien kahdentaminen eri osajärjestelmiin. Näin varaudutaan myös tiedonsiirrossa tapahtuviin yhden laitteen vikaantumisiin.

6.6 Elinkaari

Uusittavan suojalaitteiston elinkaarella ja varaosasaatavuudella on tärkeä merkitys järjestelmän käytön kannalta. OL1 ja OL2 laitosyksiköiden tämän hetkinen käyttöluupa ulottuu vuoteen 2038. Suojalaitteiden elinkaari ja varaosasaatavuus on siis taattava vähintään tähän asti. Jos järjestelmien varaosasaatavuus loppuu ennen tätä niin, se on huomioitava varaosien hankinnassa ja niiden riittävydessä. Myös varaosien säilyvyys ja niiden käyttökunto on varmistettava määritellyin toimenpitein.

Laitevalmistajilla on erilaisia määritelmiä tuotteiden elinkaarelle ja varaosien myynnille. Tuote- ja varaosatuki taataan yleensä vähintään noin 10 vuodeksi. Tämä ajanjakso alkaa siitä, kun tuote on otettu pois myynnistä. Tämä tapahtuu yleisesti silloin, kun tuotteesta on esitelty uusi versio. Uusinnan yhteydessä on siis otettava huomioon hankittavien laitteiden elinkaaren tilanne.

7. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää miten Olkiluodon ydinvoimalaitoksen blokkisuojaus kannattaisi uusia ja mitä asioita uusinnassa tulee ottaa huomioon. Työssä tutkittiin blokkisuojaalla suojattavia komponentteja sekä niiden teknisiä ominaisuuksia. Lisäksi työssä tarkasteltiin voimalaitoksen suojauksen perusteita sekä vaatimuksia, jotka täytyy ottaa uusinnan yhteydessä huomioon. Tämän lisäksi tutkittiin voimalaitoksen komponenteissa ja sähköverkossa tapahtuvia vika- ja häiriötilanteita, niiden vaikutuksia sekä mahdollisia suojautumistapoja. Työssä pohdittiin myös uusien suojalaitteiden tiedonsiirto- ja kommunikointimahdollisuuksia sekä niiden liittämistä voimalaitoksen olemassa oleviin järjestelmiin. Näiden lisäksi käytiin läpi tämän hetkinen blokkisuojan toteutus sekä pohdittiin siihen liittyviä parannuksia. Viimeisenä käsiteltiin uusinnan vaihtoehtoja laitetasolla.

Voimalaitoksen suojauksen kannalta olennaisimmaksi perusteiksi nousivat suojausjärjestelmän kahdennus sekä sen luotettava ja käyttövarma toiminta. Suojausjärjestelmän täytyy pystyä havaitsemaan vika ja poistamaan se, vaikka yksi komponentti olisi vikaantunutkin. Vastaavasti järjestelmän pitää olla käyttövarma eikä se saa aiheuttaa tarpeettomia laukaisuja normaalissa käyttötilanteessa. Voimalaitoksen blokkisuojaaja koskevat vika- ja häiriötilanteet koottiin yhteenvetotaulukkoon ja niille esitettiin ensisijaiset suojaustoiminnot sekä varasuojat. Taulukon avulla pystyttiin helposti tarkastelemaan suojauksen tason kattavuutta erilaisissa laitevioissa, jolloin tietty suojaustoiminto on pois käytöstä.

Uusien suojalaitteiden tiedonsiirto- ja kommunikointitavat ovat muuttuneet radikaalisti viimeisten vuosikymmenten aikana. Tämän takia myös suojauksen uusinnassa on syytä ottaa huomioon suojalaitteiden uudet ominaisuudet. Vanhoissa järjestelmissä hälytykset on viety hälytysjärjestelmiin jokainen erikseen johdotettuna. Uudet suojalaitteet taas pystyvät viemään järjestelmän mittaus-, tila- ja hälytystietoja erilaisia väyläratkaisuja käyttäen. Suojalaitteet toimivat siis älykkäinä mitta-antureina. Myös häiriötallenteiden analysointi ja tarkkuus on parantunut, jolloin niistä on merkittävästi enemmän apua erilaisten vika- ja häiriötilanteiden selvityksessä. Uusinnan yhteydessä on tärkeää ottaa huomioon olemassa olevat järjestelmät sekä niiden uusinta-aikataulut.

Nykyisen blokkisuojan toteutuksen kuvaamisen avulla saatiin selville järjestelmän tarkka toiminta, rajapinnat sekä liittynät muihin järjestelmiin. Selvityksen avulla pystyttiin antamaan myös lähtötietoja uusinnan laitetoimittajaehdokkailla. Vika- ja häiriötilanne

selvityksen avulla arvioitiin nykyisen järjestelmän toiminnan laajuutta ja parannuskohteita. Parannuskohteita löytyi tiettyjen suojaustoimintojen täydellisestä kahdennuksesta sekä taajussuojauksen kattavuudesta vuosihuoltokytkenässä. Nykyisen toteutuksen aseteluja tarkasteltaessa nousi esille niiden laskentaperusteiden osittainen puute. Suojauksen uusinnan yhteydessä onkin tärkeä tarkastaa vanhat asetelut ja laskea ne uudelleen.

Uusinnan laajuuteen vaikutti etenkin laitostyöyksiköiden vuosihuollon pituus eli purkuun, asennukseen ja käyttöönottoon varattu aika. Uusinnan laajuuden selvittyä pohdittiin toteutusvaihtoehtoja laitetasolla. Suojalaitteiden määrän sekä suojaustoimintojen sijoittamisen kannalta noudatettiin kahdennusperiaatetta. Suojalaitteiden määrää pystyttiin nykyisellä laitekannalla laskemaan reilusti 22 laitteesta vain neljään. Tällöin laitteen vikaantumisen todennäköisyys laskee ja erilaisten varaosien määrää saadaan pienennettyä. Kahdennuksen lisäksi pohdittiin ratkaisuja virheellisten laukaisuiden estämiseksi erilaisia laukaisuperiaatteita käyttäen. Suojaustoimintojen sijoittamiselle saatiin pohdittua parhain ratkaisu laitevikaantumisanalyysin avulla. Keskeisimmäksi tekijäksi nousi staattorin 100 % ja roottorin maasulkusuojauksen kahdennus. Toteutukselle esitettiin kolmea vaihtoehtoa. Muita laitetason ratkaisuja oli ohjelmallisen laukaisumatriisin käyttö fyysisen tilalla. Tärkeimpänä syynä tähän oli fyysisen laukaisumatriisin käytöstä aiheutuva yhden komponentin vikaantumisen riskin kasvu. Mittausten, hälytysten sekä häiriötallenteiden siirrolle tarkasteltiin kahta vaihtoehtoa. Ensimmäisessä käytettiin uudempaa IEC 61850 protokollaa ja toisessa IEC 60870-5-103 protokollaa. Vertailun perusteella paremmaksi ratkaisuksi todettiin IEC 61850 protokollaa käyttävä ratkaisu. Tärkeimmäksi tekijäksi nousi sen helpompi ohjelmoitavuus sekä yhdistettävyyden tulevaisuuden järjestelmäusintoihin.

Työn avulla pystytään pohtimaan etenkin suurien voimalaitosten generaattorin ja blokkimuuntajan suojauksen uusinnan keskeisiä tekijöitä sekä huomioon otettavia asioita. Voimalaitoksen suojauksen teoria soveltuu myös muihin voimalaitoksiin verkkoliityntäkaaviosta ja komponenttien teknisistä ominaisuuksista riippuen.

LÄHTEET

- [1] Toimintakertomus ja tilinpäätös 2018, Teollisuuden Voima Oyj. Saatavissa (viitattu 2.9.2019): http://vuosikertomus.tvo.fi/templates/verkkovuosikertomus2018/pdf/TVO_Toimintakertomus_ja_tilinpaaotos_2018.pdf
- [2] L. Messing, Protection interaction between nuclear power plant and external power system, Report 2019:611, Energiforsk AB. Saatavissa: <https://www.energiforsk.se/en/programme/grid-interference-on-nuclear-power-plant-operations-gino/reports/protection-interaction-between-nuclear-power-plant-and-external-power-system-2019-611/>
- [3] OL1 ja OL2, Teollisuuden Voima Oyj, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.9.2019): <https://www.tvo.fi/ol1ol2>
- [4] TVO-Konserni, Teollisuuden Voima Oyj, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.9.2019): <https://www.tvo.fi/tvokonserni>.
- [5] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 685. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 51 s.
- [6] OL1/OL2 Sähkötekniset suunnitteluperusteet. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 75 s.
- [7] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 421. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 23 s.
- [8] Yhtiöesittely- materiaali, Teollisuuden Voima Oyj. PowerPoint - esitys. Sisäinen aineisto.
- [9] IEEE Std C37.10. IEEE Guide for AC Generator Protection. 2006, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 167 s.
- [10] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 422. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 18 s.
- [11] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 462. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 25 s.

- [12] Automatic Voltage Regulator Magnostat 1x, User manual, Hymatek AS, 2008. 161 s.
- [13] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 425. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 20 s.
- [14] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 611. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 23 s.
- [15] GSU Transformer, Instruction Manual, ABB. 2015. 2ZSE460022B2076 - EN.
- [16] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 613. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 30 s.
- [17] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 631. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 22 s.
- [18] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 632. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 22 s.
- [19] J.L Blackburn, Instrument transformer, Accessscience, 2014
- [20] Network Protection & Automation guide. Levallois-Perret, France, ALSTOM, 2011. 508 s.
- [21] J. Latva, Vaatimukset ydinvoimalaitoksen kantaverkkoliittynälle, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Olkiluoto 2009, 85 s.
- [22] J.L Blackburn, Protective Relaying Principles and Applications, third edition. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2006, 664 s.
- [23] R. Rifaat, Power System Protective Relays: Principles & Practices, IEEE Protective Relays - Technical Seminar Nov 2016. Saatavissa (viitattu 21.11.2019): http://site.ieee.org/sas-pesias/files/2016/12/PowerSystemProtectiveRelays_PrinciplesAndPractices.pdf
- [24] Misoperations Report, Protection System Misoperation Task Force, NERC, April 2013, 40 s. Saatavissa (viitattu 26.2.2020): https://www.nerc.com/comm/PC/Protection%20System%20Misoperations%20Task%20Force%20PSMTF%202/PSMTF_Report.pdf

- [25] J. Das. Power System Protective Relaying. Boca Raton: CRC Press, 2018, 726 s.
- [26] I. Sandback, diplomi-insinööri, Teollisuuden Voima Oyj, Olkiluoto, Haastattelu 8.11.2019.
- [27] P. Pietilä, OL1 ja OL2 Järjestelmän 685 Blokkisuojan koestusohje, Sisäinen dokumentti. 67 s.
- [28] SIPROTEC Numerical Machine Protection 7UM515 V.3.0 Manual. Siemens AG, Germany 1996. C53000-G1176-C111
- [29] J. Elovaara, L. Haarla. Sähköverkot 2: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki, Otatieto, 2011, 550 s.
- [30] Considerations for Power Plant and Transmission System Protection Coordination, System Protection and Control Subcommittee. Rev 2, NERC, July 2015, 138 s. Saatavissa (viitattu 26.11.2019): <http://www.nerc.com/comm/PC/System%20Protection%20and%20Control%20Subcommittee%20SPCS%2020/SPCS%20Gen%20Prot%20Coordination%20Technical%20Reference%20Document.pdf>
- [31] Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset (VJV2018). Helsinki 2018, Fingrid Oyj. 117 s.
- [32] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 681. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 19 s.
- [33] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 687. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 16 s.
- [34] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 525. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 16 s.
- [35] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 517. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 41 s.
- [36] Final Safety Analysis Report (FSAR) järjestelmä 520. Teollisuuden Voima Oyj. Sisäinen dokumentaatio. 43 s.

- [37] Communications Technology for Protection Systems, Special report prepared by WG H9, Power System Relaying Committee, Relaying Communications Subcommittee, January 14, 2013, 225 s. Saatavissa (viitattu 11.12.2019): <http://www.pes-psrc.org/kb/published/reports/IEEE%20PSRC%20Subcommittee%20H9%20Understanding%20Comm%20Tech%20for%20Protection%20-20130113%20D8F.pdf>
- [38] Overview, PROFIBUS, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2019): <https://www.profibus.com/technology/profibus/overview/>
- [39] SIPROTEC Numeerinen generaattorisuoja 7UM511 V.2.0 Manuaali. Siemens Osakeyhtiö. 1993. 193 s.
- [40] SIPROTEC Numeerinen generaattorisuoja 7UM516 V.3.1 Manuaali. Siemens AG. 1995. C53000-G1176-C97-2-FI. 196 s.
- [41] SIPROTEC Numerical Differential Protection Relay 7UT51 V.3.0 Manual. Siemens AG. 1995. C53000-G1176-C99-3. 247 s.
- [42] SIPROTEC Numeerinen generaattorisuoja 7UM515 V.1.1 Manuaali. Siemens Osakeyhtiö. 1994. C73000-G1100-C84-1. 156 s.
- [43] R. Preston, J. Kandrac, Report on design, testing, and commissioning of 100% Stator Ground Fault protection at Dominion's Bath County pumped-storage station, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 2.10.2019): <https://new.siemens.com/us/en/products/energy/product-support/t-d-guardian-articles/report-on-design-testing-and-commissioning-of-100-stator-ground-fault-protection-at-dominions-bath-county-pumped-storage-station.html>
- [44] SIPROTEC tripping matrix 7UW50, manual. Siemens AG. Saatavissa (viitattu 12.12.2019): https://www.siemens.com/download?DLA06_4436
- [45] Rotor earth-fault protection with injection unit RXTTE4 and REG670, 1MRG001910. ABB. Saatavissa (viitattu 15.1.2020): https://library.e.abb.com/public/61219074be0eea7dc1257c3d002a2836/1MRG001910_E_en_Rotor_earth-fault_protection_with_injection_unit_RXTTE4_and_REG670.pdf
- [46] Applications for SIPROTEC Protection Relays, Siemens AG. 2005. Saatavissa (viitattu 15.1.2020): https://www.siemens.com/download?DLA06_4063

- [47] D, Parks. Improving Security and Reliability at a Nuclear Station, Entergy Grand Gulf Nuclear and Siemens. Saatavissa (viitattu 24.1.2020): <http://prorelay.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/3/2019/03/Improving-Security-and-Reliability-at-a-Nuclear-Station.pdf>
- [48] Application Notes on Generator Protection Schemes. Siemens AG. 2002. Saatavissa (viitattu 15.1.2020): https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&mandator=ic_sg&id1=DLA06_4017

