

6 KV:N KOJEISTON SUOJARELEIDEN MODERNISOINTI

Keskisarja Janne

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Janne Keskisarja	Vuosi	2016
Ohjaaja(t)	Ins. (AMK) Marko Kukkola		
Toimeksiantaja	Efora Oy Kari Zerni		
Työn nimi	6 kV:n kojeiston suoja-alueiden modernisointi		
Sivu- ja liitesivumäärä	67 + 1		

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin 6 kV:n kojeiston suoja-alueiden modernisointiin liittyviä asioita sekä relesuojauksen periaatetta ja sen tärkeimpiä osia. Työ on tehty Efora Oy:lle, joka vastaa Stora Enson Veitsiluodon tehtaan sisäisestä sähköjakelusta ja sen kunnossapidosta. Modernisointi kohdistuu Veitsiluodon sel-lutehtaan B11 kytkinlaitoksen relesuojaukseen. B11 kojeiston suoja-alueet ovat al-kuperäisiä 70-luvun lopulta, joten sähköjakelun luotettavuuden ja varaosien saatavuuden kannalta modernisointi on ajankohtainen.

Työssä selvitettiin relesuojauksen toimintaa sekä mitä muutoksia ja uudistuksia 6 kV:n kojeistoon täytyisi tehdä, että uusiin suoja-alueityyppeihin voidaan siirtyä. Selvitettävänä olivat sähköiset ja fyysiset muutokset sekä uuden väylän rakentamiseen liittyvät tekijät. Kartoitettavana olivat lisäksi kaikki tehdasalueella käytössä olevat suoja-alueet, ja millä reletyyypeillä ne voidaan korvata tulevaisuu-dessa, kun modernisointi on ajankohtainen. Uusia reletyypejä tiedusteltiin ABB:lta. Modernisointiin liittyviä kysymyksiä selvitettiin lukemalla ABB:n doku-mentteja sekä haastatteleamalla ABB:n asiantuntijoita.

Työn tuloksena saatiin tiivistelmä B11-kojeiston suoja-alueiden modernisointiin liit-tyvistä mahdollisuuksista, sekä listat uusista ABB:n reletyyypeistä, joilla voidaan korvata tehtaalla käytössä olevat suoja-alueet. Tiivistelmässä selviää muun mu-assa muutokset ja uudistukset, joita voidaan tehdä modernisoinnissa, sekä tar-kastellaan uusien releiden ominaisuuksia, konfigurointien tallennusta ja mahdol-lisia kustannuksia. Työtä voi hyödyntää jatkossa myös muiden tehtaan 6kV ko-jeistojen modernisoinnissa. Tiivistelmä helpottaa Eforaa päätöksenteossa sen suhteen, missä laajuudessa järjestelmää halutaan modernisoida. Suoja-alueiden modernisointi tulee lisäämään sähköjakelun luotettavuutta sekä parantamaan verkon valvontaa ja hallintaa.

Author	Janne Keskinen	Year	2016
Supervisor	Marko Kukkola (B. Eng.)		
Commissioned by	Efora Oy, Kari Zerni		
Subject of thesis	Modernization of 6 kV switchgear protection relays		
Number of pages	67 + 1		

This thesis studied matters related to the modernization of the 6 kV switchgear relays as well as the principle of the relay protection and its main components. The work was done to Efora Oy, which is responsible for Stora Enso Veitsiluoto mill's internal distribution of electricity and its maintenance. The modernization focuses on the B11 switchgear relay protection of Veitsiluoto pulp mill. B11 switchgear protection relays are original from the end of the 70 century, so in terms of electricity supply reliability and availability of the spare parts, modernization is timely.

The thesis investigated relay protection activities, as well as what changes and reforms in the 6 kV switchgear would have to be made that the new protection relay types can be introduced. The electrical and physical changes had to be examined, as well as things related to the construction of a new bus. In addition all existing factory area protection relays needed to be mapped and how they can be replaced in the future, when the modernization is timely. New relay types were enquired from ABB. Issues related to modernization were investigated by reading the ABB documents and interviewing ABB's experts.

The result was a summary of the possibilities associated with the modernization of the B11 switchgear relays, as well as lists of new ABB relay types, which can replace the current relays used in the factory. The summary gives information about the changes and reforms that can be made in the modernization, as well as view features of the new relays, recordings of configurations and potential costs. The work can also be used in the modernization of other 6 kV switchgears in the future. The summary will ease Efora at decision-making with regard to the extent to which you want to modernize the system. The modernization of the protective relays will increase the reliability of the electricity supply and improve network monitoring and management.

Key words protection relay, modernization, electricity distribution

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	EFORA	9
3	ALKUTILANNE JA TYÖN RAJAUS	10
4	RELESUOJAUS	12
4.1	Tavoitteet ja periaatteet	12
4.2	Rakenneosat ja niiden tehtävät.....	13
5	RELETTYYPIT	16
5.1	Sähkömekaaniset releet	16
5.2	Staattiset releet.....	18
5.3	Numeeriset releet	19
6	YLEISIMMÄT SUOJAUSTYYPIT.....	23
6.1	Oikosulkusuojaus.....	23
6.2	Maasulkusuojaus	24
6.3	Yli- ja alijännitesuojaus	28
6.4	Differentiaalisuojaus	30
6.4.1	Pienimpedanssiperiaate	31
6.4.2	Suurimpedanssiperiaate.....	32
6.5	Distanssisuojaus	33
7	MITTAMUUNTAJAT	36
7.1	Jännitemuuntajat	36
7.1.1	Ominaisuudet	37
7.1.2	Käämien tarkkuusluokat.....	39
7.1.3	Jännitemuuntajan rakenne	40
7.2	Virtamuuntajat.....	41
7.2.1	Ominaisuudet	42
7.2.2	Sydämen tarkkuusluokat	43
7.2.3	Virtamuuntajan rakenne	45
8	RELEIDEN KOMMUNIKAATIO	46
8.1	SPA-väylä	46
8.2	IEC 61850 –kommunikaatio.....	47

8.3	GOOSE.....	47
8.4	MicroSCADA.....	48
9	KOJEISTON B11 RELEET	49
9.1	Käytössä olevat reletyypit	49
9.2	Korvaavat reletyypit	50
9.2.1	Itsevalvonta	51
9.2.2	Häiriötallenteet	51
9.2.3	Salasanatunnistus	52
9.2.4	Integroitu valokaarisuojaus.....	53
10	MODERNISOINTI.....	54
10.1	Mittamuuntajat	54
10.2	Riviliittimet	55
10.3	Johdotusten kunto	56
10.4	Asennusaukon muutokset	56
10.5	Väylän uusinta	57
10.6	Uuden väylän kaapelointi	59
10.7	MicroSCADA Veitsiluotoon	60
10.8	Releasettelujen tallennukset.....	60
10.9	Kustannukset.....	62
10.10	Modernisoinnin tuomat edut	62
11	POHDINTA	63
	LÄHTEET.....	64
	LIITTEET	66

ALKUSANAT

Haluan kiittää Efora Oyj:tä ja työn valvojana toiminutta kunnossapitoinsinööri Kari Zerniä, että sain mahdollisuuden tehdä heille opinnäytetyön tästä aiheesta. Haluan kiittää myös koulun puolesta ohjaajana toiminutta Ins Marko Kukkolaa avustamisesta opinnäytetyön korjaamisessa.

Erityiskiitokset ABB:n asiantuntijoille (Timo Vedenjuoksu, Timo J. Niemi, Janne Sillanpää, Lasse Autio) heidän antamistaan neuvoista ja vastauksista kysymyksiini.

Kemi 30.11.2016

Janne Keskisarja

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

IEC 61850	International Electrotechnical Commission = sähkö- asema-automaation globaali kommunikaatiostandardi
IED	Intelligent Electronic Device = älykäs sähköverkon suo- jalaite
HMI	Human Machine Interface = käyttöliittymä
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Even (IEC 61850 – standardin määrittelemä kommunikaatioprotokolla)
MicroSCADA	ABB:n käytönvalvontajärjestelmä
PCM600	ABB:n relion tuoteperheen konfigurointiohjelma

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on Stora Enson Veitsiluodon tehtaan keskijännitekojeiston suojarleiden modernisointi ja siihen liittyvät asiat. Työssä käsitellään myös relesuojausta ja sen tärkeimpiä elementtejä. Työ on tehty Eforalle, joka vastaa Stora Enson Veitsiluodon tehtaan sisäisestä sähköjakelusta ja sen kunnossapidosta. Aiheena releiden modernisointi on ajankohtainen, sillä Veitsiluodon tehtaan suojarleistys alkaa tulla elinkaarensa päähän. Suojareleet tullaan modernisoimaan kaikkiin tehdasalueen kojeistoihin kriittisyysprioriteetin mukaan yksi kojeisto kerrallaan. Modernisointi kohdistuu ensimmäisenä Veitsiluodon selutehtaan B11 kojeistoon, jota tässä työssä käsitellään. Suojareleiden modernisointi tulee lisäämään sähköjakelun luotettavuutta sekä parantamaan verkon valvontaa ja hallintaa.

Tehtävänä on selvittää, minkälaisia reletyyppejä ABB:lla on tarjota käytössä olevien releiden tilalle ja mitä muutoksia sekä uudistuksia modernisoinnissa voidaan toteuttaa. Selvitettävänä ovat kojeiston sähköiset ja fyysiset muutokset sekä uuden väylän rakentamiseen liittyvät tekijät. Samalla kartoitetaan myös mm. uusien releiden ominaisuuksia, konfigurointien tallennusta ja mahdollisia kustannuksia. Näistä asioista on laadittu Eforalle tiivistelmä. Työn pohjalta Eforan on helpompi tehdä päätös, missä laajuudessa modernisointi halutaan toteuttaa.

2 EFORA

Efora Oy on teollisuuden kunnossapito- ja Engineering-palveluihin erikoistunut yritys. Yritys tarjoaa jatkuvia kunnossapitosopimuksia, engineering-palveluita sekä erikoispalveluita kuten tela- ja pumppuhuoltoja. Efora hallitsee teollisuuden tuotantolinjojen elinkaaren, maksimoi tuotantotehokkuuden sekä turvaa häiriöttömän käynnin älykkäillä ratkaisuilla. Älykkäämpi kunnossapito perustuu tuotantolinjasta saatavan tiedon hallintaan. (Efora Oy 2016)

Efora vastaa muun muassa paperi- ja kartonkikonelinjojen, sellutehtaiden, arkituslinjojen sekä tehtaiden kunnossapidosta. Toimipisteet sijaitsevat Heinolassa, Helsingissä, Honkalahdella, Imatralla, Kiteellä, Oulussa, Uimaharjussa, Varkaudessa ja Veitsiluodossa. (Efora Oy 2016)

Kunnossapidon lisäksi Eforan toimintoihin kuuluu suunnittelu- ja projektitoiminnot, tekninen osto, varastotoiminta ja dokumenttien hallinta. Yhtiön palveluksessa on noin 920 työntekijää. Eforan liikevaihto oli vuonna 2015 noin 204 M€. (Efora Oy 2016)

3 ALKUTILANNE JA TYÖN RAJAUS

Veitsiluodon tehtaassa keskijännitekojeiston suojarileet alkavat olla vanhaa tekniikkaa ja tulevat pikkuhiljaa elinkaarensa päähän, joten sähköjakelun luotettavuuden lisäämiseksi releiden modernisointi on ajankohtainen. Vanhimmat käytössä olevat suojarileet ovat peräisin 70-luvun loppupuolelta. Suojarileet modernisoidaan kaikkiin tehdasalueen kojeistoihin lähivuosina yksi kojeisto kerrallaan. Modernisointi olisi tarkoitus aloittaa B11 kytkinlaitokselta, jossa on käytössä alkuperäiset, tyypiltään staattiset suojarileet. Modernisointityö on suunniteltu aloitettavaksi vuonna 2017 tai 2018. Modernisoinnin yhteydessä suojarileiden kommunikaatiotapa on mahdollista uusia SPA-väylästä nopeampaan ja nykyaikaisempaan IEC 61850 -standardin väylään. Eforan kanssa sovittiin, että uusia releitä tiedustellaan ABB:lta.

Tehtävänä oli listata kaikki Veitsiluodon tehtaalla käytössä olevat suojarileet ja selvittää, minkälaisia reletyyppejä ABB:lla on tarjota niiden tilalle. Näiden tietojen pohjalta laaditaan lista, jossa näkyy kojeistokohtaisesti käytössä olevat reletyypit ja minkälaiset uudet reletyypit tulevat korvaamaan vanhat. Veitsiluodon tehtaalla on käytössä n. 400 suojarilettä, joista suurin osa vaatii modernisointia lähivuosina. Vanhimmat ja kriittisimmät suojarileet tullaan uusimaan ensimmäisenä.

Relelistojen lisäksi tarkoituksena oli tehdä tiivistelmä B11 kojeiston suojarileiden modernisointiin liittyvistä asioista. Tehtävänä oli selvittää, mitä muutoksia uusiin releisiin siirtyminen vaatii. Tarkastettavana oli myös kojeistossa olevien riviliittimien, kaapelointien ja johdonsuojakatkaisijoiden kunto. Huonokuntoiset tai vialliset komponentit vaihdetaan releiden modernisoinnin yhteydessä jos tarve vaatii. Tiivistelmässä tarkastellaan myös uusien reletyypien ominaisuuksia ja miten niitä voisi hyödyntää. Uudet releet tulevat olemaan mikroprosessoripohjaisia, joten selvitettiin myös mihin tulevien releiden asetellut (parametrit) tallennetaan. Tämä tehdään siksi, että suojarileen vikaantuessa voidaan uuteen releeseen nopeasti ajaa tallennetut parametrit, jonka jälkeen se on käyttövalmis ja näin ollen käyttökatkos jäisi mahdollisimman lyhyeksi.

Työn tarkoituksena on selvittää ja tehdä Eforalle dokumentit seuraavista asioista:

- Mitä reletyyppejä on käytössä?
- Minkälaiset releet uusitaan vanhojen tilalle?
- Tiivistelmä B11 kojeiston releiden modernisointiin liittyvistä asioista
 - o Kommunikaation uusiminen (Laitteisto ja kaapelointi)
 - o Kojeston komponenttien kunto
 - o Uusien releiden asettelujen varmuuskopiointi
 - o Kustannuksia budjetointia varten
 - o MicroSCADA käytönvalvontajärjestelmän mahdollisuudet
 - o Muita kehitysehdotuksia

Työn alussa perehdytään relesuojaukseen ja sen tärkeimpiin osiin. Teorian tarkoituksena on antaa lyhyt informaatio relesuojauksen periaatteesta.

4 RELESUOJAUS

4.1 Tavoitteet ja periaatteet

Sähköverkoissa tapahtuvia vikatilanteita, kuten oikosulkuja, maasulkuja, ylikuormituksia, ylijännitteitä, alijännitteitä ja johdinkatkoksia varten voimalaitokset, sähköasemat ja kytkinlaitokset varustetaan suojalaitteilla, joista osan muodostavat releet. Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja tarpeen vaatiessa suorittavat kytkentöjä automaattisesti, luotettavasti ja nopeasti. (Mörsky 1992, 15)

Relesuojaukselta edellytetään seuraavaa:

- Toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä.
- Toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuuden tulee säilyä kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
- Se on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen.
- Käytettävyyden tulee olla hyvä.
- Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla.
- Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen. (Mörsky 1992,15)

Suojareleet ja niiden ohjaamat katkaisijat muodostavat suoja-alueita. Jos vierekkäiset suoja-alueet osaksi peittävät toisensa, on suojaus aukoton. Suoja on absoluuttisesti selektiivinen, kun se toimii vain omalla suoja-alueellaan tapahtuvissa vioissa. Aikaan perustuvaa selektiivisyyttä sanotaan aikaselektiivisyydeksi, ja vastaavasti puhutaan virtaselektiivisyydestä. Suoja-alueita voivat olla esimerkiksi johdot, muuntajat, generaattorit ja moottorit. Selektiivisyys on ominaisuus, jonka avulla rele havaitsee vian suoja-alueella, muttei toimi, jos vikaa ei ole tai vika on suoja-alueen ulkopuolella. (Mörsky 1992, 16)

Varsinaisen suojauksen vikaantumisen varalta suojausta täydennetään usein varasuojauksella. Toisarvoiset kohteet saattavat jäädä vaille varasuojasta. (Mörsky 1992, 16)

Relesuojauksen päätehtävä on vikojen havaitseminen ja vika-alueen rajoittaminen mahdollisimman pieneksi. Eräät releet kuten ylikuormitusreleet, epäsymmetriareleet ja muuntajan kaasusuoja pyrkivät ennakoimaan mahdollisen vian syntymisen. Relesuojaus kehittyy jatkuvasti vikojen ennakoivaan torjumiseen. (Mörsky 1992, 16)

4.2 Rakenneosat ja niiden tehtävät

Releet eivät yksin pysty suoriutumaan suojaustehtävistä, vaan ne tarvitsevat avukseen muitakin komponentteja. Tällaisia ovat mittamuuntajat, katkaisijat, apuenergiälähteet, hälytys- ja raportointikeskukset sekä mittaus-, laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet. (Mörsky 1992, 16)

Mittamuuntajat, joita ovat virta- ja jännitemuuntajat, muuntavat sähköverkon primäärisuureet, virran ja jännitteet, releille sopivaan muotoon. Releet ovat mittarien kaltaisia instrumentteja, jotka on varustettu kytkentäelimillä ja standardoitu tietyille virroille ja jännitteille. Hyvinkin suurista ja erilaisista sähköverkon primäärisuureista huolimatta tullaan toimeen harvoilla ja pienikokoisilla releillä mittamuuntajien ansiosta. Lisäksi releet voidaan sijoittaa etäällekin suojattavasta kohteesta. (Mörsky 1992, 16)

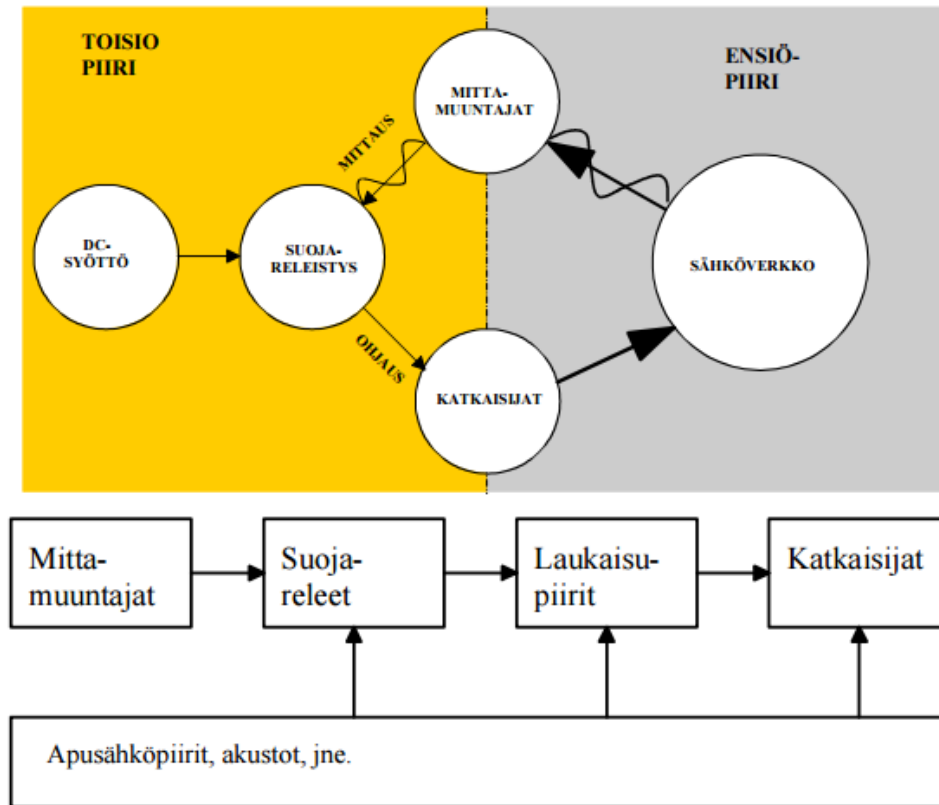
Katkaisija on sähköverkon primääripiirin osa, jolle releet antavat sulku- ja avauskoskettimiensa välityksellä toimintaohjeita. Katkaisija kykenee suorittamaan kaikki tarvittavat kytkentätoimenpiteet sähköverkossa. Releen tehtävä on ohjata apuenergiälähteestä saatava apujännite katkaisijan auki- tai kiinnikytkentäkelalle oikea-aikaisesti. Vikatilanteessa suojarele ohjaa katkaisijan auki ja erottaa sähköverkon viallisen osan muusta sähköverkosta. (Mörsky 1992, 16)

Apuenergiälähdettä, yleensä tasasuuntaajalla syötettyä akustoa, tarvitaan tyydyttämään sähköverkon vikatilanteidenkin aikana tiettyjen laitteiden tarvitsema

jännite, mm. katkaisijoiden ohjaaminen auki ja kiinni. Apuenergialähde on keskeinen osa ns. apusähköjärjestelmää, jonka tärkein tehtävä on täydentää relesuojauksen muodostama kokonaisuus sähkön tarpeen osalta. (Mörsky 1992, 17)

Hälytys- ja raportointikeskuksia tarvitaan, jotta vikatilanteista saataisiin mahdollisimman nopeasti ja luotettavasti oikea kuva. Releitä on usein suuriakin määriä tarkasteltavassa kohteessa, jolloin releiden toimintatietojen keskitetty kerääminen on tarpeellista. Tapahtumien jälkianalyysissä selkeästä ja oikea-aikaisesta raportoinnista saattaa olla suurtakin hyötyä. (Mörsky 1992, 17)

Relesuojauksen muodostamassa kokonaisuudessa tarvitaan luonnollisesti komponenttien välisiä johdotuksia. Johdotukset eivät nykyään rajoitu tietyn rajatun alueen, esimerkiksi voimalaitoksen tai sähköaseman virtojen ja jännitteiden siirtoon, vaan käsittävät ko. alueen relesuojausta palvelevia tietojensiirtoyhteyksiä ja vieläpä eri alueiden välisiä mittaus- ja kytkentätietoja siirtäviä tietoliikenneyhteyksiä. Tiedonsiirtoyhteyksien ja tietokoneiden avulla relesuojaustekniikasta on tullut kansallisella ja jopa kansainväliselläkin tasolla integroitunutta tekniikkaa. Kuviossa 1 on havainnollistettu relesuojausjärjestelmän liitynnät ja rakenne. (Mörsky 1992, 17)



Kuvio 1. Relesuojauksen rakenneosat (Martimo 2014)

5 RELETTYYPIT

5.1 Sähkömekaaniset releet

Ensimmäiset suojareleet olivat suojattavaan päävirtapiiriin suoraan kytkettäviä ensiö- eli primäärireleitä, jotka virran ylittäessä asetteluarvon vapauttivat välitangon avulla katkaisijan laukaisujousen. Ensiöreleitä parempaan tekniseen ja taloudelliseen tulokseen päästään mittamuuntajien toisioon liitettävillä toisioreleillä. Toisioreleitä on myös mahdollista koestaa käytön aikana toisin kuin ensiöreleitä. Sähkömekaaniset releet ottavat kaiken toimintaan tarvitsemansa energian mittamuuntajista. Tästä syystä mittamuuntajille aiheutuva taakka saattaa olla useita kymmeniä volttiampeereita. Eniten tästä on haittaa virtamuuntajien toistokyvylle varsinkin silloin, kun vikavirta sisältää tasakomponentin. Toisaalta suuren taakan vuoksi mekaaniset releet eivät ole herkkiä ulkoisille häiriöille. (Mörsky 1992, 22)

Mekaanisten releiden asettelutarkkuus on muutamiin sovellutuksiin täysin riittämätön ja niitä on vaikea saada riittävän herkiksi. Maasulkusuojausta varten on rakennettu erikoisherkkiä releitä, mistä aiheutuu, että ne ovat herkkiä myös termisesti, joten ne eivät saa olla jatkuvasti toimineena. (Mörsky 1992, 22-23)

Mekaanisessa releessä on paljon liikkuvia osia, jotka vaativat runsaasti huoltoa. Säännöllisesti huollettuna mekaaninen rele toimii suhteellisen luotettavasti. (Mörsky 1992, 23)

Kuvassa 1 on sähkömekaaninen ylivirtarele. Se toimii ylivirtasuojana vain yhdelle vaiheelle. Näitä releitä on yhdessä kennossa kolme, jotta saadaan toimiva ylivirtasuojaus kaikille vaiheille.



Kuva 1. Sähkömekaaninen ylivirtarele Brown Boverin valmistama ISM21

Vaikka sähkömekaaniset releet ovat vanhimpia releytyyppejä, tullaan niitä käyttämään sähköverkossa vielä vuosikymmeniä. Mekaanisia releitä ei nykyisin valmisteta niin paljon ja valmistusmäärä onkin kokoajan vähenemään päin.

5.2 Staattiset releet

Staattiset releet ottavat apuenergiansa erillisestä apusähköliitännästä, joten mitauspiirin kuormitus jää hyvin vähäiseksi, tyypillisesti 0,5 VA, nimellisvirralla 5A. Koska rele ottaa apuenergiansa erillisestä apuenergiälähteestä, voidaan lähtöreleenä käyttää apurelettä, jossa on riittävästi koskettimia sekä laukaisua että hälytystä varten. Erillisiä välireleitä ei tarvita, vaan lähtökoskettimilla voidaan suoraan ohjata katkaisijaa. Varsinkin nopeissa releissä tämä on tärkeää, sillä välireleet saattavat hidastaa suojausta 20...40 ms. Differentiaalireleen tai ylivirtareleen pikalaukaisun yhteydessä tämä merkitsisi releiden toiminta-ajan kaksinkertaistamista, mitä ei voida aina sallia. (Mörsky 1992, 24)

Staattisista releistä on mahdollista tehdä huomattavasti tarkempia ja nopeampia kuin mekaanisista releistä. Lisäksi staattisten releiden asettelualueet ovat laajoja. Suurimman asetteluarvon suhde pienimpään asetteluarvoon, eli releen dynamiikka, voi tarkkuuden heikentymättä olla kymmenen. (Mörsky 1992, 24)

Staattiset releet tulivat markkinoille 1960-luvulla ja ne voidaan toteuttaa joko analogia- tai digitaalitekniikkaa hyödyntäen. Digitaalitekniikan käyttäminen ei kuitenkaan merkitse mikroprosessoriin perustuvaa relettä, jolla tarkoitetaan numeerista relettä. (Mörsky 1992, 25)

Kuvassa 2 on Stora Enson Veitsiluodon tehtaalla käytössä oleva staattinen ylivirtarele SPAJ 3A5 J3.



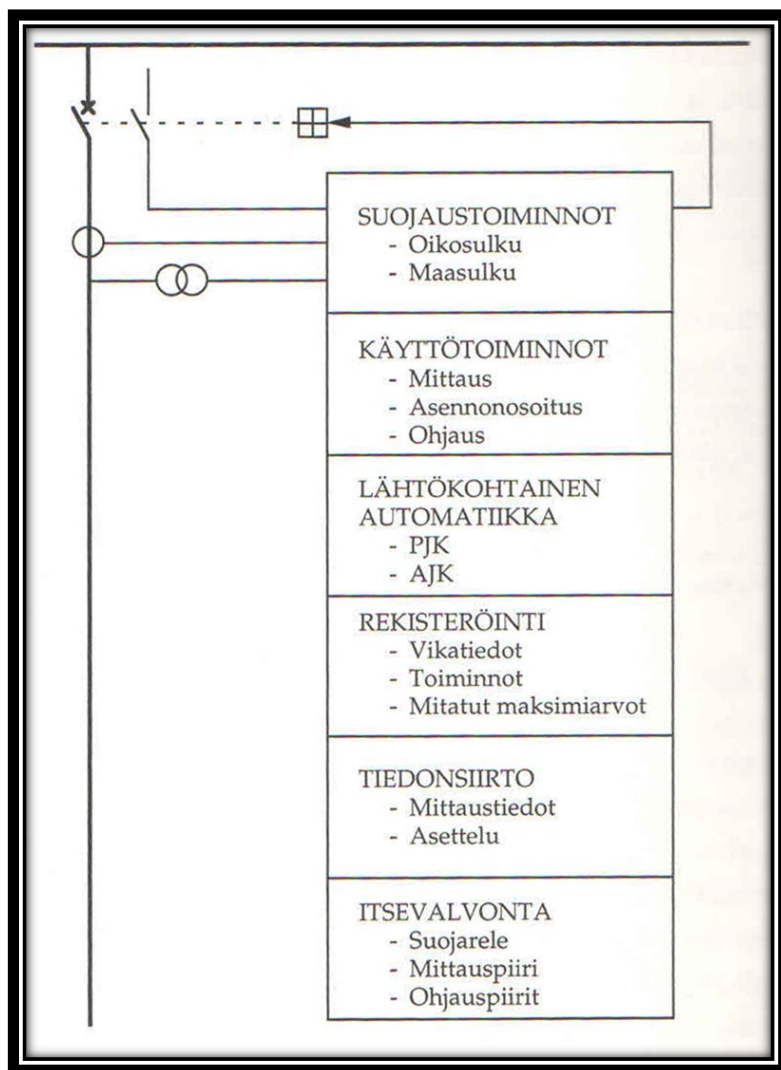
Kuva 2. Staattinen ylivirtasuojarele SPAJ 3A5 J3

5.3 Numeeriset releet

Mikroprosessorien myötä digitaalinen signaalinkäsittely on syrjäyttänyt aiemman staattisten suojarleiden toteutustekniikan. Ensimmäisen sukupolven prosessorireleille tai numeerisille releille oli tunnusomaista, että suojauskohteen eri suojaustoiminnot integroitiin samaan releeseen. Tällöin esimerkiksi johdonsuojaan oli integroitu oikosulkusuoja, maasulkusuoja ja jälleenkytkentäreleistys. Johdonsuojasta ulos lähtevät tiedot olivat pelkkiä kosketintietoja. Ehkä merkittävin uusi ominaisuus oli itsevalvonta. (Mörsky 1992, 25)

Toisen sukupolven numeerisille releille on tunnusomaista, että kosketintietojen ohella ne välittävät myös muuta tietoa. Tiedon kulku on kaksisuuntaista: releeltä

voidaan lukea mittaus-, tila- ja asetteluarvoja, ja rele vastaanottaa ohjaus- ja aset-
telutietoja. Suojarele toimii siis suojaustoimintojen ohella myös tiedonkeruuyksik-
könä muille järjestelmille. Releyksikön monipuolisuudesta johtuen puhutaan ken-
noterminalista, jonka toiminnot on havainnollistettu kuviossa 2. (Mörsky 1992,
25-26)



Kuvio 2. Kennoterminali johtosuojasovelluksessa. (Mörsky 1992, 26)

Mikroprosessorin ansiosta suojareleet voidaan tehdä hyvin monipuolisiksi, sama
rele soveltuu moneen suojauskohteeseen tarvitsematta tinkiä suojaustasosta.
Esimerkiksi ylikuormitussuojausta varten samaan lämpöreleeseen voidaan sisäl-
lyttää useita eri lämpenemiskäyrätyyppejä, jotka antavat optimaalisen ylikuormi-
tussuojauksen eri käyttökohteille. Vastaavasti rele voi toimia monipuolisesti oiko-
sulkuvirta-, epäsymmetria- tai maasulkureleenä. (Mörsky 1992, 29)

Releen asettelut voidaan tehdä henkilökohtaisen tietokoneen avulla, mikä nopeuttaa asettelua ja vähentää virhemahdollisuuksia. Releessä olevan näytön avulla nähdään myös asetteluarvot ja releen mittaamien suureiden arvot normaalissa käyttötilanteessa. Releen asetteluja voidaan vaihtaa näytöltä myös valintakytkimien avulla. (Mörsky 1992, 32-33)

Numeerisen releen yksi tunnusomaisin piirre on itsetestaus. Itsetestauksen avulla valvotaan, että rele on toimintakuntoinen ja että epäkuntoinen rele ei aiheuta virhetoimintaa. Prosessorissa itsessään on mittava testausohjelma, jonka avulla testataan prosessorin etupiirien toiminta samoin kuin asettelupotentiometrit. Muutaman sekunnin välein rele koestaa myös lähtöpiirien toiminnan. Apusähköpiirejä valvotaan jatkuvasti. (Mörsky 1992, 34)

Numeeristen releiden itsetestauksella on merkittävä vaikutus suojausten käytettävyyteen, koska releen sisäinen itsetestaus hälyttää välittömästi laitteen vikaantuessa pysyvästi. Toisin sanoen käytössä ei voi olla viallisia releitä käyttäjän tietämättä, eikä rele toisaalta voi sisäisen laitevian seurauksena aiheuttaa virhelaukaisua. Kuvassa 1 näkyy nykyaikainen ABB:n johtolähdön suojarele REF 615 (Mörsky 1992, 34-35)



Kuva 1. ABB:n mikroprosessoripohjainen suojarile johtolähdön suojaukseen (ABB 2016b)

6 YLEISIMMÄT SUOJAUSTYYPIT

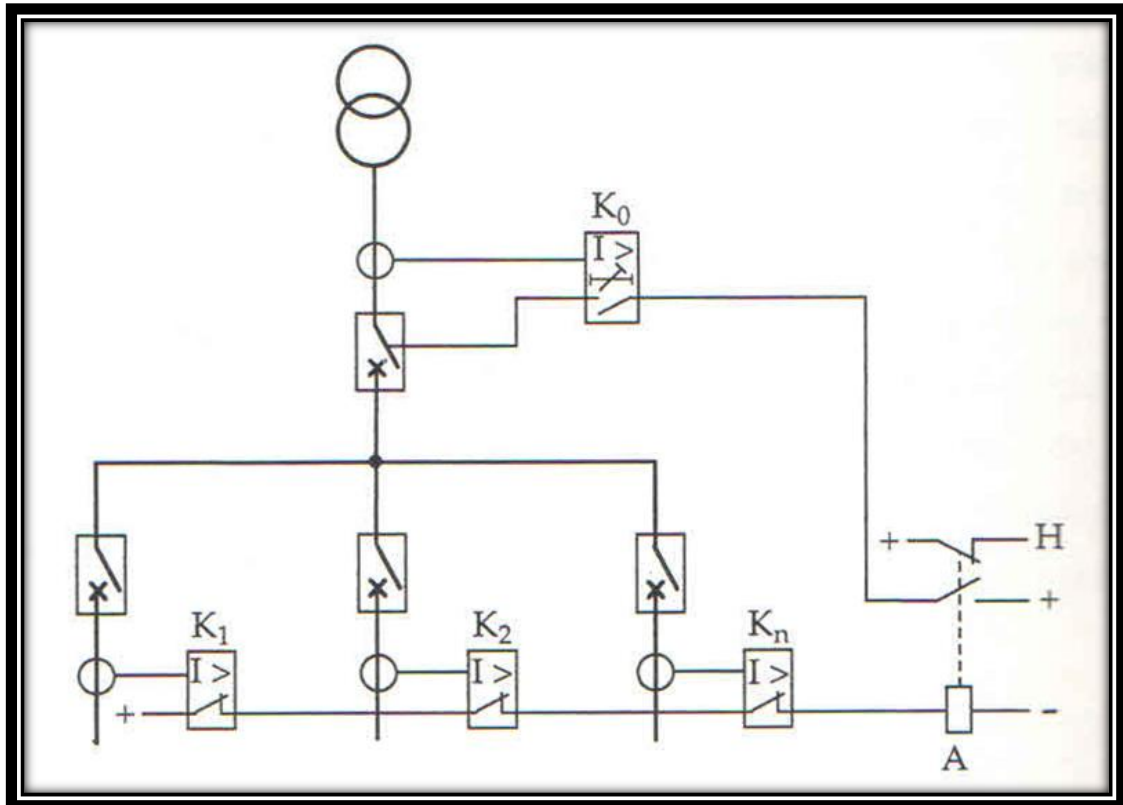
6.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojaus on ehkäistä oikosulkuvirran johdoille ja laitteille aiheuttamat lämpenemisvauriot sekä erottaa vioittunut johto-osa verkosta. Toisena tavoitteena on taata järjestelmän turvallisuus myös vikatilanteissa sekä käyttäjille että ulkopuolisille. Tarkoitukseen käytetään Suomessa vakioaikaylivirtarelettä. Rele sisältää usein isolla virralla hetkellislaukaisun aikaansaavan toiminnon. Samat releet toimivat myös ylivirtasuojina. (Lakervi & Partanen 2008, 176)

Keskijänniteverkoissa, joissa tehon siirtosuunta on ennalta määrätty, on usein yksinkertaisinta käyttää kiskosuojaana ylivirtareleitä (Kuvio 3). Tällöin releet $K_1 \dots K_n$ sijoitetaan jokaiseen lähtöön ja ne toimivat vain kiskon ulkopuolisissa vi-oissa. Syöttävä katkaisija varustetaan ylivirtareleellä K_0 , jonka hetkellislaukaisu toimii 100 ms:n hidastuksella kokoojakiskon oikosulussa. Mikäli vika on jollakin lähdöllä, tämä hetkellislaukaisu lukitaan lähtevien johtojen ylivirtareleiden havahduttua. Syötön hidastettu ylivirtalaukaisu toimii aikaselektiivisenä varasuojana lähtöjen ylivirtareleille. (Mörsky 1992, 211-212)

Kuvion 3 mukainen suoja toimii lepovirtaperiaatteella. Johtolähtöjen releet on varustettu avauskoskettimilla, jotka avautuvat kun releen asettelu-arvo ylittyy. Tällöin apurele A sulkee hälytyspiirin H koskettimen aiheuttaen hälytyksen ja toinen avautuva kosketin estää syöttävän katkaisijan nopean toiminnan. Releiden $K_1 \dots K_n$ apukoskettimien sarjaan kytkennällä saadaan aikaan relepiirin jatkuva valvonta. (Mörsky 1992, 212)

Kiskoviassa syöttökatkaisijan rele K_0 antaa nopeasti laukaisujännitteen katkaisijansa aukiohjauskelalle ja katkaisija toimii. (Mörsky 1992, 212)



Kuvio 3. Kiskosuojaus ylivirtareleperiaatteella. K_0 on syöttävän muuntajan ylivirtarele, $K_1 \dots K_n$ johtolähdön ylivirtareleet, A apurele ja H hälytyspiiri. (Mörsky 1992, 212)

Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirta ei riitä aiheuttamaan ylivirtareleen toimintaa. Tällöin kiskon maasulkusuojaus toteutetaan käyttämällä kiskoon liitettyjen jännitemuuntajien avokolmioon kytkettyä nollajänniterelettä. (Mörsky 1992, 212)

6.2 Maasulkusuojaus

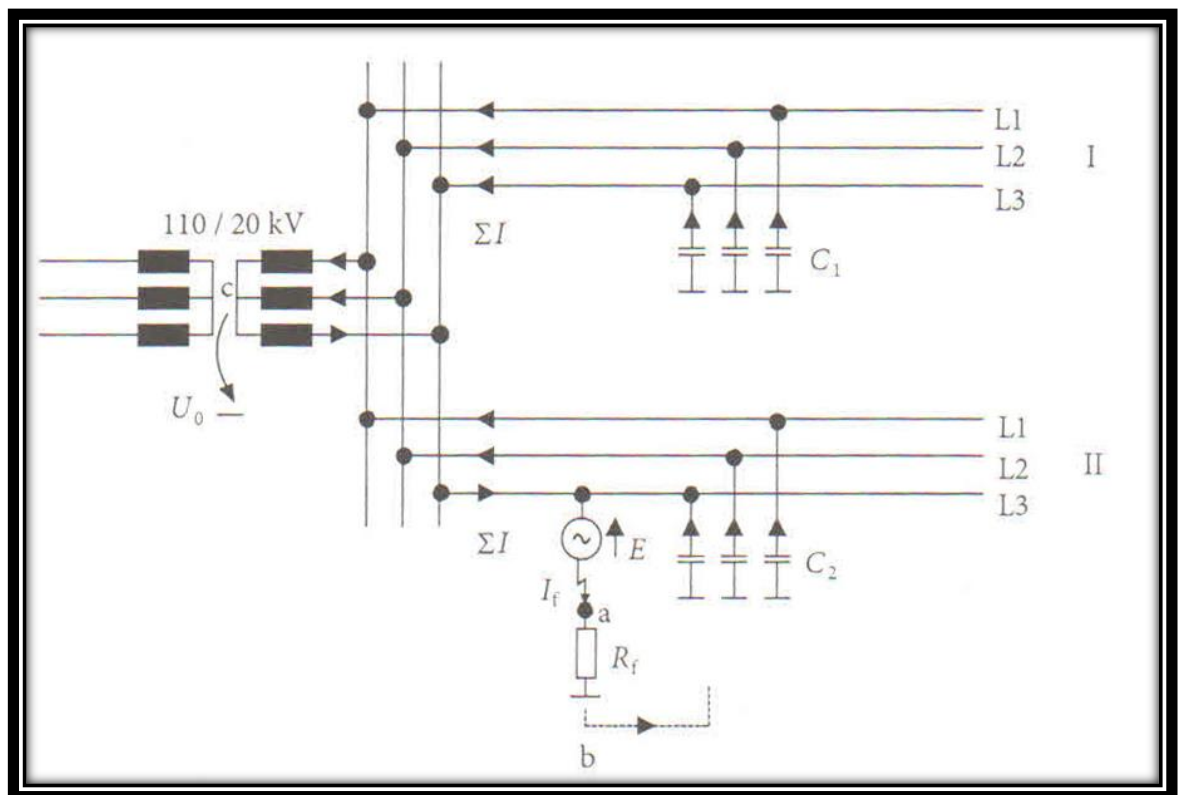
Teollisuuden sähkönjakelussa käytetään yleensä tähtipisteestään maasta erotettua verkkoa tai ns. sammutettua verkkoa. Tällöin maasta erotetussa verkossa maasulkusuojausta ei voida perustaa oikosulkusuojausten tavoin ylivirtasuojien käyttöön. Vikavirta on pieni, yleensä kuormitusvirtaakin pienempi. Mahdollisia maasulun indikaattoreita on kuitenkin useita; seuraavassa on esitetty muutamia niistä:

- perustajuisen tähtipistejännitteen muutos

- perustaajuisen vaihejännitteen muutos
- perustaajuinen summavirta
- virran ja jännitteen yliaallot
- suurtaajuiset muutosvirrat. (Lakervi & Partanen 2008, 190)

Maasta erotetun verkon maasulkutilanteessa verkon kaikkien vaiheiden ja verkon tähtipisteen jännitteet muuttuvat ja verkon eri osissa esiintyy johtojen maakapasitanssien kautta kulkevia kapasitiivisia vikavirtoja.

Tähtipisteistään maasta erotetussa verkossa maasulkuvirralla on kulkureitti vika-
paikasta maahan (useasti vikaresistanssin kautta), johtojen maakapasitanssien
ja vaihejohtimien impedanssien kautta 110/20 kV:n päämuuntajan käämityksiin
ja sieltä viallisen vaiheen impedanssin kautta vikapaikkaan (Kuvio 4). (Lakervi &
Partanen 2008, 183)



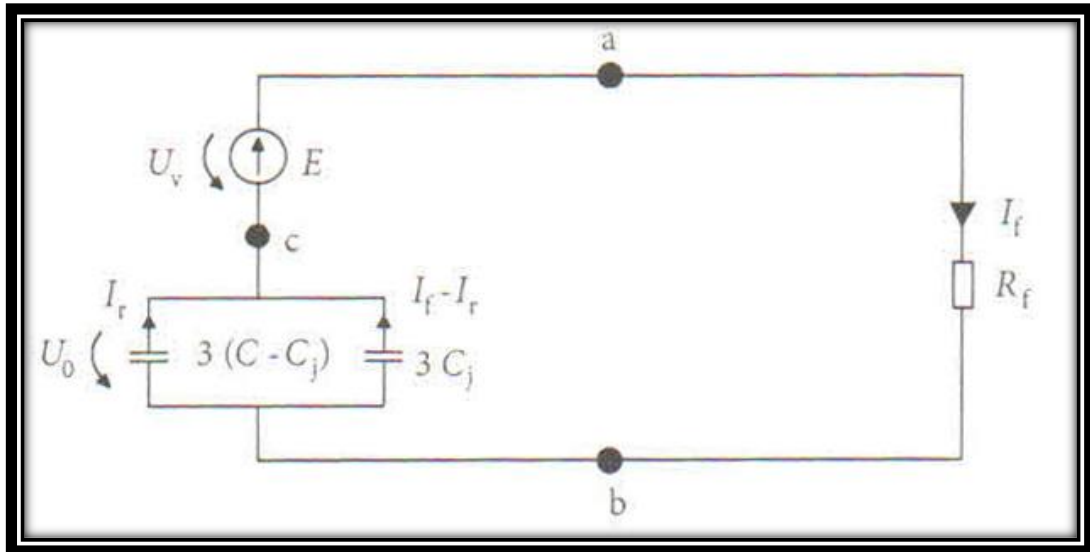
Kuvio 4. Maasta erotetun kolmivaihejärjestelmän yksivaiheinen maasulku. (Lakervi & Partanen 2008, 183)

Maasulun aikana virrassa esiintyy 5 yliaaltoa. Muutosvirtoja syntyy maasulun alkuhetkinä viallisen vaiheen maakapasitanssien purkautuessa ja terveiden vaiheiden maakapasitanssien varautuessa. (Lakervi & Partanen 2008, 190)

Käytännön maasulkusuojaus toteutetaan maasulun suuntareileillä. Suojaus perustuu maasulun aiheuttamaan vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen kohoamiseen. Virtaepäsymmetriaa kuvaava nollavirta saadaan johtolähdön vaihevirtojen osoitinsummasta. Tämän muodostaa kolmen vaiheen virtamuuntajien summakytkentä tai kaapelivirtamuuntaja. (Lakervi & Partanen 2008, 190-191)

Tähtipistejännite mitataan tavallisesti vaihejännitteisiin kytkettyjen jännitemuuntajien toisiokäämien avokolmiokytkennästä. Maasulkureleen tulee havahtua vain siinä tapauksessa, että maasulku on juuri tämän releen suojaamalla lähdöllä. Vioittuneen lähdön alkupäässä sijaitsevan summavirtamuuntajan mittaama nollavirta on pienempi kuin vikapaikan maasulkuvirta I_f . Vioittuneen lähdön maakapasitanssien vaikutus on vähennettävä alkupään summavirtaa laskettaessa, sillä tämän lähdön maakapasitanssien määräämä vikavirran komponentti kulkee summavirtamuuntajan läpi molempiin suuntiin (Kuvio 5). (Lakervi & Partanen 2008, 191)

Maasta erotetussa verkossa vioittuneen lähdön kennon kautta kulkeva maasulkuvirta I_f voidaan määrittää sijaiskytkennän avulla kuvion 5 mukaisesti.



Kuvio 5. Useampilähtöisen maasulkupiirin sijaiskytkentä. (Lakervi & Partanen 2008, 191)

Kuviossa C edustaa koko verkon ja C_j vioittuneen lähdön maakapasitanssia. Merkitsemällä tähtipistejännite yhtä suureksi kummankin haaran kautta laskettuna saadaan

$$-I \left[\frac{1}{j3\omega(C - C_j)} \right] = -(I_f - I_r) \frac{1}{j3\omega C_j} \quad (1)$$

missä

I	on	kokonaisvirta [A]
j	on	galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituus [km]
ω	on	$2 \pi f$
C	on	koko verkon maakapasitanssi [F]
C_j	on	vioittuneen lähdön maakapasitanssi [F]
I_f	on	verkon kokonaismaasulkuvirta [A]
I_r	on	vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta [A]

Tästä ratkaisemalla

$$I_r = \frac{C - C_j}{C} * I_f \quad (2)$$

missä

I_r on vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta [A]

C on koko verkon maakapasitanssi [F]

C_j on vioittuneen lähdön maakapasitanssi [F]

I_f on verkon kokonaismaasulkuvirta [A]

Maasulun suuntareleen toiminnan ehtona on, että sekä virta I_r että tähtipistejännite U_0 ylittävät tietyt asetteluarvot. Maasulun sattuessa kuvion 4 mukaisesti lähdössä II suuri osa vikavirrasta kulkee maakapasitanssin C_1 ja lähdön I kautta kiskostoon ja sieltä edelleen lähtöön II. Ehtona lähdössä II sijaitsevan releen havah-tumiselle pitää olla, että nollavirta kulkee summavirtamuuntajan kautta vikapaikkaan eikä kiskostoon päin. Kuvion 5 sijaiskytkennässä C-C_j kuvaa piirroksen 4 maakapasitanssia C_1 , joten virta I_r kulkee lähtöä I ja muita mahdollisia vioittumattomia lähtöjä pitkin kiskostoon ja edelleen lähdön II kautta vikapaikkaan. Vikavirran suunnan tarkistamiseksi täytyy verrata jänniteosoittimen $-U_0$ ja summavirtamuuntajan läpi kulkevan virran I_r osoittimen välistä kulmaa. Virran tulee olla noin 90° edellä maan ja tähtipisteen välistä jännitettä $-U_0$. Täten releen kolmanneksi ja vian sijaintilähdön tunnistavaksi toimintaehdoksi tulee $90^\circ - \Delta\varphi < \varphi < 90^\circ + \Delta\varphi$. (Lakervi & Partanen 2008, 192)

6.3 Yli- ja alijännitesuojaus

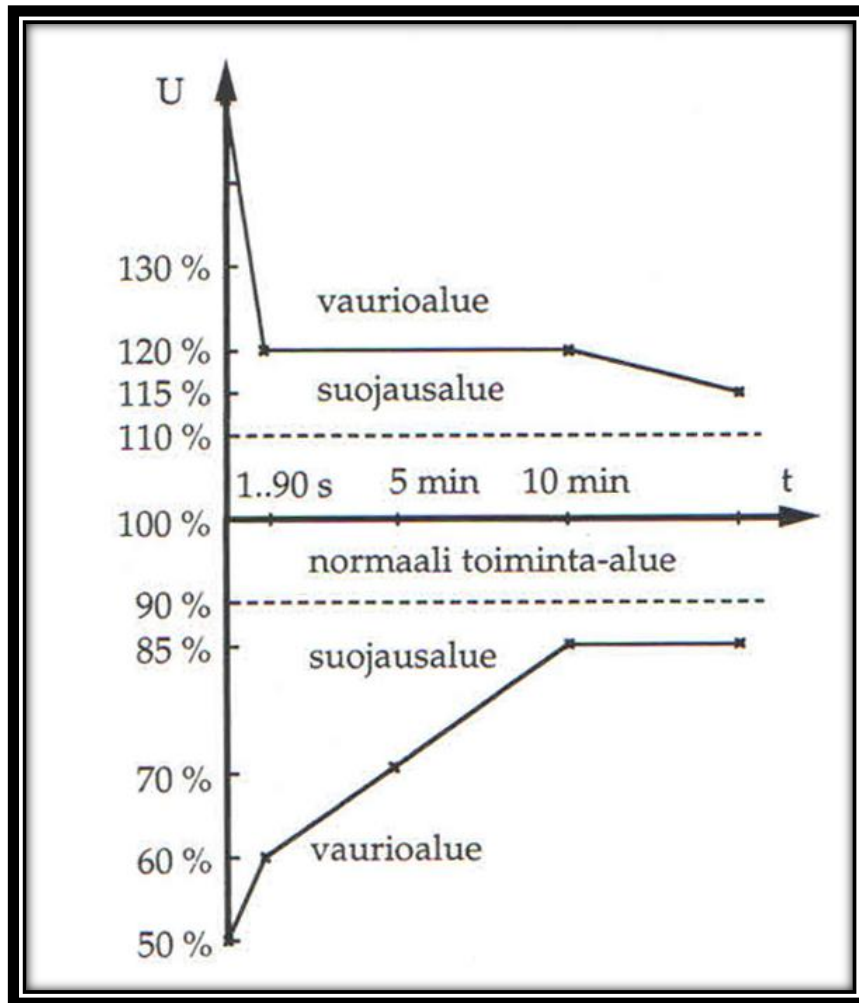
Liian kauan vaikuttavat yli- ja alijännitteet aiheuttavat sähköä käyttävien kulutuslaitteiden vaurioita. Jännitettä säädetään jakeluverkkoa syöttävän muuntajan käämikytkimen avulla, mutta pelkästään käämikytkimellä ja jännitteensäätäjällä ei yli- ja alijännitesuojausta voi toteuttaa, koska ne eivät ole tarpeeksi nopeita eikä niiden jännitteen säätöalue ole riittävä. Tarvitaan kiskojännitteiden valvoja,

jolla yli- ja alijännitteiden vaikutusaikaa voidaan lyhentää. Kiskojännitteiden valvoja antaa laukaisukäskyn muuntajakatkaisijalle. (Mörsky 1992, 232)

Ylijänniterele toimii jännitteen ylittäessä asetellun arvon. Niitä käytetään laajasti havaitsemaan maasulkuja useimmiten aikahidastettuina. (Mörsky 1992, 39)

Alijänniterele toimii, kun jännite alittaa sen toiminta-arvon. Alijännitereleitä käytetään varsinkin suurten moottorien yhteydessä erottamaan moottori verkosta, kun jännite poistuu tai pienenee niin paljon, että moottoria uhkaa pysähtyminen. (Mörsky 1992, 38)

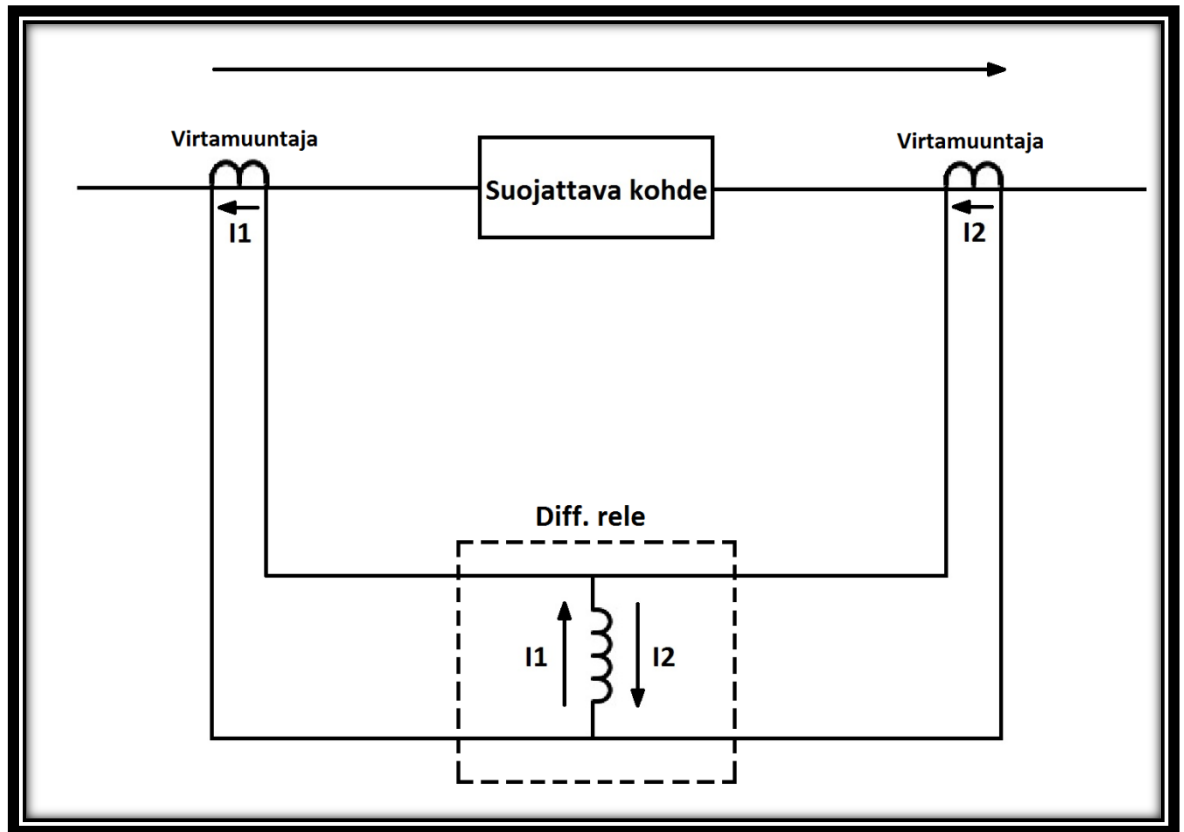
Kuvion 6 vaurioalueilla sähkölaitteet vikaantuvat todennäköisesti ja laajamittaisesti. Sen sijaan suojausalueilla vahingon ovat vähäisiä, joten kiskojännitteen tulee toimia suojausalueella. Kiskojännitteiden valvoja koostuu ylijännite (alijännite) –releestä ja aikareleestä. (Mörsky 1992, 232-233)



Kuvio 6. Yli- ja alijännitteen jännite/aika-alueet laitevaurioiden kannalta. (Mörsky 1992, 232)

6.4 Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojaus on monikäyttöinen suojaustapa. Sitä voidaan soveltaa kaikkien verkon osien eli muuntajien, koneiden, kiskostojen sekä johtojen suojaukseen. Differentiaalisuoja vertaa suojattavaan kohteeseen tulevia vaihevirtoja siitä lähteviin kuten kuviossa 7 on esitetty. Jos nämä virrat poikkeavat toisistaan joko amplitudin tai vaihekulman tai näiden molempien suhteen enemmän kuin suojaan aseteltujen arvojen verran, seuraa laukaisu. (ABB 2000)



Kuvio 7. Differentiaalisuojauksen periaate

Mittausperiaatteen ansiosta suojaus toimii ainoastaan suojausalueella tapahtuvissa vioissa, jolloin suojaus on absoluuttisesti selektiivinen. Tästä syystä suojausten toimintanopeus on erittäin hyvä, jopa alle puolijakson. Suojausalue muodostuu virranmittauspaikkojen väliin jäävästä alueesta. Toinen mittausperiaatteen tuoma etu on suuri herkkyys: suojaus voi toimia jopa muutaman prosentin nimellisvirrasta olevilla vikavirroilla. Toimintaperiaatteen mukaan differentiaalisuojat jaetaan ns. pien- ja suurimpedanssidifferentiaalisuojiiin. (ABB 2000)

6.4.1 Pienimpedanssiperiaate

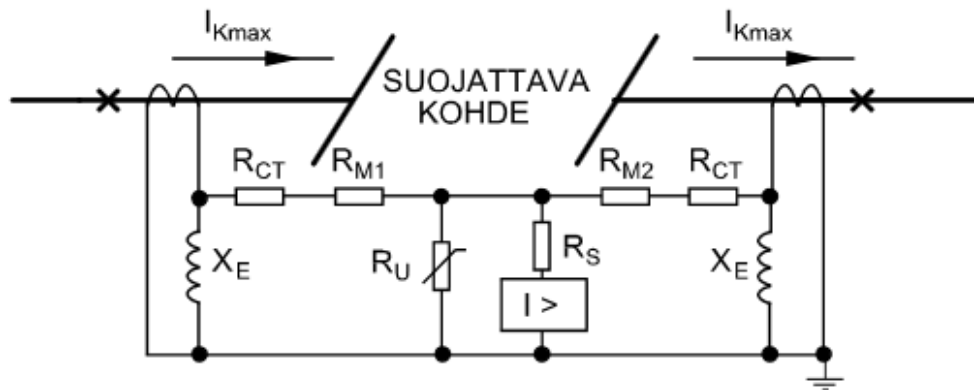
Pienimpedanssidifferentiaalisuoja mittaa virtoja suojattavan kohteen molemmin puolin ja muodostaa näistä erovirran, joka käytännössä ei ole nolla, vaikka suojausalueella ei vikaa olisikaan. Tämä johtuu lähinnä virtamuuntajien mittausvirheistä. Muuntajansuojauksessa tällaista ns. näennäistä erovirtaa aiheuttavat lisäksi muuntajan tyhjäkäyntivirta, käämikytkimen asento sekä hetkellisesti muuntajan kytkentävirrasysäys, joka näkyy kokonaan erovirtana. Mittausvirheistä ja

käämikytkimen asennosta aiheutuvan erovirran suuruus on suoraan verrannollinen muuntajan läpi menevän virran suuruuteen. Näennäisen erovirran kannalta erityisen paha tilanne on silloin, kun vika on juuri suojausalueen ulkopuolella. Tällöin läpimenevä virta on suuri ja se voi sisältää DC-komponentin, minkä mahdollisesti aiheuttama virtamuuntajien eriaikainen kyllästyminen kasvattaa hetkellisesti erovirtaa. Jotta suojan virheelliseltä toiminnalta vältytään, on suoja sopivasti vakavoitava, jolloin laukaisuun vaaditaan sitä suurempi erovirta mitä suurempi on läpimenevä virta. (ABB 2000)

6.4.2 Suurimpedanssiperiaate

Suurimpedanssidifferentiaalisuojaus on toimintaperiaatteensa ansiosta erityisen yksinkertainen toteuttaa ja asetella sekä toiminnaltaan erittäin luotettava ja käytövarma (Kuvio 8). Suurimpedanssisuojan vakavointi suoritetaan erillisen stabilointivastuksen avulla. Nimensä mukaisesti tämän vastuksen avulla estetään virtamuuntajien eriaikaisesta kyllästyisestä aiheutuvan näennäisen erovirran aiheuttama suojausvirhetoiminta suojausalueen ulkopuolisessa viassa. Koska virranmittauspiirit ovat galvaanisesti yhdessä, on kaikkien suojaan kuuluvien virtamuuntajien muuntosuhteiden oltava samat. Suurimpedanssiperiaate sopii erityisen hyvin koneiden, johtojen sekä kiskostojen oikosulkusuojaukseen, sekä niiden ja muuntajien maasulkusuojaukseen tehollisesti tai pienen impedanssi kautta maadoitetuissa verkoissa. (ABB 2000)

Suurimpedanssisuojan stabiloinnin mitoitus perustuu siihen, että oletetaan yhden suojan virtamuuntajista kyllästyvän täydellisesti suojausalueen ulkopuolisessa viassa, kun taas muut virtamuuntajat eivät kyllästyisi lainkaan. Tarkoituksena on ohjata em. tavalla muodostuva näennäinen erovirta kiertämään relepiirin sijasta kyllästyneen virtamuuntajan kautta. Koska kyllästyneen virtamuuntajan impedanssi on pieni, kytketään relepiirin kanssa sarjaan suuri resistanssi eli stabilointivastus. Tällöin näennäinen erovirta kokonaisuudessaan kulkee kyllästyneen virtamuuntajan mittauspiirin kautta, jonka yli vaikuttava jännitehäviö on sama, joka vaikuttaa relepiirin yli. Tämä stabilointijännite ei saa aiheuttaa suojausvirhetoimintaa. (ABB 2000)



$$U_S = (R_{Mmax} + R_{CT}) * (I_{kmax} / n)$$

U_S = stabilointijännite

R_{Mmax} = mittaussilmukan suurin kokonaisresistanssi $I. \max(R_{M1}, R_{M2})$

I_{kmax} = suurin läpimenevä vikavirta

n = virtamuuntajien muuntosuhde

R_{CT} = virtamuuntajan toisiokäämin resistanssi

Kuvio 8. Suurimpedanssisuojan yksivaiheinen sijaiskytkentä ja toimintaperiaate, kun tapahtuu suojausalueen ulkopuolinen vika. $X_E * R_S$ = stabilointivastus, R_U = varistori. (ABB 2000)

Suojausalueen sisäpuolisessa vikatilanteessa virtamuuntajat yrittävät syöttää relepiirin oikosulkuvirtaa vastaavan toisiovirran. Mutta koska relepiirin impedanssi on suuri, voi toisiojännite ylittää releen ja johdotuksen kestokyvyn. Tästä syystä on relepiirin rinnalle kytkettävä varistori, joka rajoittaa jännitteen turvalliselle tasolle. Suurimpedanssisuojaukseen käytettävien virtamuuntajien toistokyvyn on oltava riittävä, jotta ne pystyvät syöttämään relepiiriin riittävästi virtaa vian ollessa suojausalueella. (ABB 2000)

6.5 Distanssisuojaus

Distanssisuojauksessa rele mittaa sijoituspaikkansa ja vikapaikan välistä impedanssia. Distanssireleessä vian sattuessa havahtumiselin, joka mittaa verkon sisäistä impedanssia, havahtuu ja mittauselin mittaa etäisyyden vikapaikkaan. Releen havahtumiselin asettaa laukaisuaian sitä lyhemmäksi, mitä lähempänä vikapaikka on. (Martimo 2014)

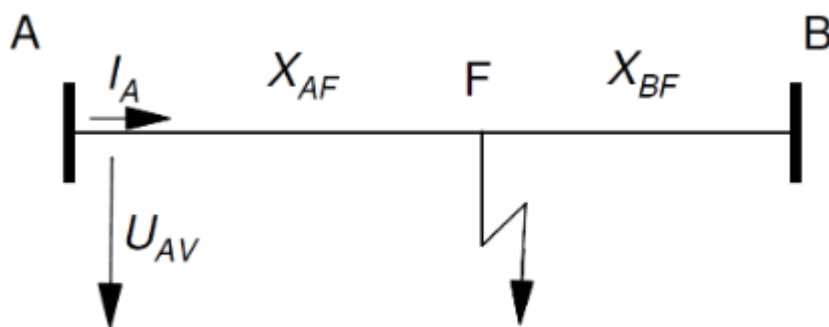
Releen mittausalue on jaettu siten, että mittauspisteestä kauemmaksi eteenpäin ja jonkin matkaa taaksepäin ulottuu ns. havahtumisalue, jonka sisäpuolella olevat viat rele yleensä ottaen havaitsee. Sen sisäpuolella on useimmissa tapauksissa kolme vyöhykettä. Vyöhykkeet ulottuvat normaalisti vain eteenpäin ja mittauspisteestä alkaen sisäkkäin niin, että ensimmäinen vyöhyke on suppein ja kolmas laajin (Taulukko 1). Mitä suppeamman vyöhykkeen alueella vika on sitä nopeammin rele toimii. (Martimo 2014)

Taulukko 1. Distanssireleen vyöhykkeiden asettelu. (Martimo 2014)

Vyöhyke	Hidastus s	Ulottuma
1	0 s	85 % suojattavasta johdosta
2	0.4 s	>120 % suojattavasta sekä 50 % <1< 85 % seuraavasta johdosta ¹⁾
3	1 s	Sitä seuraavalle johdon alueelle
hav	5 s	Niin laajalle kuin kuormitus sallii

Rele laskee virran ja jännitteen avulla etäisyyden vikapaikkaan. Kuvion 9 esimerkki valaisee asiaa. (Martimo 2014)

Asemien A ja B välissä on vika paikassa F.



Kuvio 9. Distanssisuojauksen vikapaikan havaitseminen (Martimo 2014)

Koko johdon reaktanssi on X_j ja pituus l_j . Reaktanssit asemilta vikapaikkaan ovat X_{AF} ja X_{BF} . Johdon reaktanssi $X_j = X_A + X_B$. (Martimo 2014)

Symmetrisessä 3-vaiheisessa oikosulussa, jossa vikaresistanssi on 0Ω , on vikapaikan ja maan välinen jännite nolla. Rele mittaa asemalla A virran I_A ja vaihejännitteen U_{AV} . Releen laskema vikareaktanssi X_M on

$$X_M = \frac{U_{AV}}{I_A} \quad (3)$$

missä

X_M	on	vikareaktanssi [Ω]
U_{AV}	on	vaihejännite [V]
I_A	on	virta lähtöpisteessä A [A]

(Martimo 2014)

Koska vikapaikan jännite maahan nähden on 0 V eikä maassa kulje virtaa, releen mittaama aseman vaihejännite U_{AV} on yhtä suuri kuin vikavirran aiheuttama jännitehäviö reaktanssissa X_{AF} eli:

$$U_{AV} = \frac{U_A}{\sqrt{3}} = X_{AF} * I_A \Leftrightarrow X_{AF} = \frac{U_A}{\sqrt{3} * I_A} \quad (4)$$

missä

U_{AV}	on	vaihejännite [V]
U_A	on	yhden vaiheen ja maan välinen potentiaaliero [V]
X_{AF}	on	aseman A ja vikapaikan F välinen vikareaktanssi [Ω]
I_A	on	virta lähtöpisteessä A [A]

(Martimo 2014)

Distanssireleiden avulla toteutettu kiskosuojaus voidaan toteuttaa niin, että auki olevat katkaisijat ja käytöstä poissaolevat distanssireleet eivät estä suojauksen toimimista. (Mörsky 1992, 211)

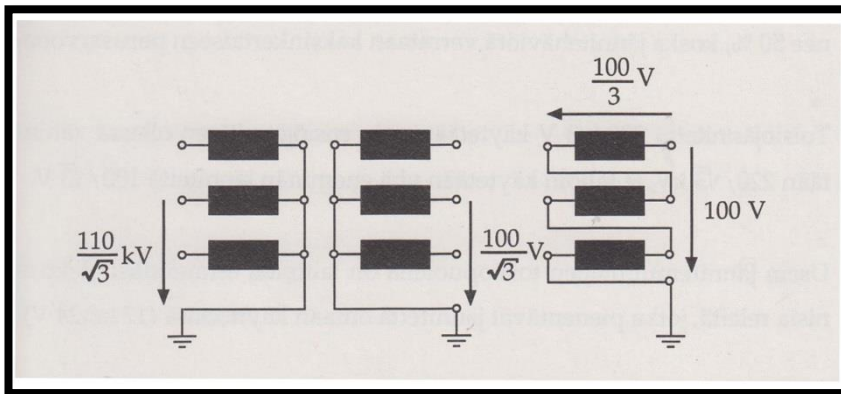
7 MITTAMUUNTAJAT

7.1 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajien tarkoituksena on muuntaa ensiöpiirin jännite toisiokojeille sopivaksi ja eristää ensiö- ja toisiopiiri toisistaan. Jännitteen mittaustapoja ovat:

- resistiivinen jännitteenjakaja (vain laboratorioissa)
- kapasitiivinen jännitteenjakaja
- magneettinen jännitemuuntaja
- kapasitiivinen jännitemuuntaja (kahden edellisen yhdistelmä). (Mörsky 1992, 86; ABB 2000)

Magneettiset jännitemuuntajat on yleensä tehty niin, että niissä on ainoastaan yksi rautasydän, joka palvelee sekä mittaus- että suojaustarkoitusta. Toision mahdollinen avokolmiokäämitys (Kuvio 10) palvelee vain maasulkusuojausta, muuten yhteisellä rautasydämellä on useimmiten toisiossa yhteinen mittaus- ja suojauskäämi. Ensiökäämitys on yhteinen. (Mörsky 1992, 86-87)



Kuvio 10. Jännitemuuntaja, jossa vaihekäämien lisäksi on avokolmiokäämitys. Kuvaan merkitty 100 V edellyttää vikaimpedanssitonta yksivaiheista maasulkua 110 kV verkossa. (Mörsky 1992, 87)

Jännitemuuntajan toisiopiiriin yksi piste on maadoitettava toisioon siirtyvien vaarallisten ylijännitteiden estämiseksi, samoin kaikki kosketeltavissa olevat osat.

Jännitemuuntajien toisiota ei saa koskaan oikosulkea. Toision vaiheet tulee varustaa ylivirta- ja oikosulkusuojauksella, jonka toimimisesta saadaan hälytys. (Mörsky 1992, 87)

7.1.1 Ominaisuuudet

Jännitemuuntajan tärkeimmät teknilliset arvot ovat:

- eristystaso
- mitoitustaajuus
- mitoitusensiöjännite
- mitoitusjännitekerroin
- mitoitustoisiojännite
- mitoitustaakka
- tarkkuusluokka. (ABB 2000)

Mitoitusensiöjännite: Jos jännitemuuntaja on kytkettävä 3-vaiheverkon vaiheiden väliin, ilmoitetaan mitoitusensiöjännite pääjännitteenä, esim. 20000 V. Jos jännitemuuntaja on kytkettävä vaiheen ja tähtipisteen väliin tai verkontähtipisteen ja maan väliin, ilmoitetaan mitoitusensiöjännite vaihejännitteenä, esim. $20000:\sqrt{3}$ V. (ABB 2000)

Mitoitusjännitekerroin: Mitoitusjännitekertoimen ja mitoitusensiöjännitteen tulo ilmoittaa suurimman ensiöjännitteen, jolla muuntajaa on voitava käyttää tietyn ajan. Lämpenemä ei tällöin saa ylittää sallittua arvoa ja mittaustarkkuuden on pysyttävä määrättyissä rajoissa. Jännitekertoimen suuruus riippuu verkon maadoituksesta ja siitä, miten muuntajan ensiökäämi on kytketty verkkoon. Jännitekertoimen standardiarvot ilmenevät taulukosta 2, jossa on mainittu myös sallittu käyttöaika ko. jännitteellä. (ABB 2000)

Taulukko 2. Mitoitusjännitekertoimen arvoja. (ABB 2000)

Nimellisjännitekerroin	Aika	Ensiön kytkentä ja verkon maadoitus
1,2	Jatkuva	Vaiheiden välissä kaikissa verkoissa. Tehomuuntajan tähtipisteen ja maan välissä kaikissa verkoissa
1,2	Jatkuva	Vaiheen ja maan välissä tehollisesti maadoitetuissa verkoissa
1,5	30 s	
1,2	Jatkuva	Vaiheen ja maan välissä ei-tehollisesti maadoitetussa verkossa, jossa on automaattinen maasulkulaukaisu
1,9	30 s	
1,2	Jatkuva	Vaiheen ja maan välissä maasta erotetussa tai sammutetussa verkossa, jossa ei ole automaattista maasulkulaukaisua.
1,9	8 h	

Mitoitustoisiojännite: Mitoitustoisiojännitteen standardiarvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Toisiojännitteen standardiarvot. (ABB 2000)

	Ensiökäämi kytketty kahden vaiheen väliin tai verkon tähtipisteen ja maan väliin.	Ensiökäämi kytketty vaiheen ja maan väliin
Mittaus- ja suojauskäämeille	100 V , 110 V ja 200 V	$100 : \sqrt{3}\text{ V}$, $110 : \sqrt{3}$ ja $200 : \sqrt{3}\text{ V}$
Avokolmiokäämille		$100 : 3\text{ V}$, $110 : 3$ ja $200 : 3\text{ V}$

Suomessa suositellaan käytettäväksi vain alleviivattuja arvoja. Jos avokolmiokäämin mitoitusjännite on $100 : \sqrt{3}\text{ V}$, tarkoittaa se yksivaihemuuntajan ko. toisiokäämin jännitettä normaalikäytössä. Kun kolme yksivaihemuuntajaa on kytketty kolmivaiheryhmäksi ja avokolmiokäämit on kytketty yhdestä kulmasta avoimeksi kolmioksi, niin ko. kulman liittimien välillä on 100 V jännite verkon yksivaiheisessa täydessä maasulussa. (ABB 2000)

Mitoitustaakka: Mitoitustaakka on suurin kuormituksen admittanssi (johtavuus), jolla jännitemuuntajaa voidaan kuormittaa kyseessä olevassa tarkkuusluokassa. Tavallisesti mitoitustaakka ilmoitetaan kuitenkin näennäistehona $S\text{ [VA]}$, joka on mitoitustaakan admittanssi $Y\text{ [S]}$ kerrottuna mitoitustoisiojännitteen $U\text{ [V]}$ neliöllä.

Mitoitustaakan standardiarvot ovat: 10 - 15 - 25 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 400 - 500 VA. (ABB 2000)

7.1.2 Käämien tarkkuusluokat

Mittauskäämin tarkkuusluokat määräytyvät suurimpien sallittujen jännite- ja kulmavirheiden avulla. Jännitevirhe määritellään yhtälöllä

$$Jännitevirhe = \frac{K_n U_s - U_p}{U_p} * 100\%, \quad (5)$$

jossa K_n = mitoitusmuuntosuhde

U_p = todellinen ensiöjännite ja

U_s = todellinen toisiojännite, kun ensiökäämi on kytketty jännitteeseen U_p

Kulmavirhe on ensiö- ja toisiojännitteen ajallinen vaihesiirtokulma. Se on positiivinen, jos toisiojännite on ensiöjännitteen edellä. (ABB 2000)

Mittauskäämille sallitut virheiden maksimiarvot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Jännitemuuntajan jännite- ja kulmavirheet eri tarkkuusluokissa. (ABB 2000)

Luokka	Jännitevirhe ± %	Kulmavirhe ± min
0.1	0,1	5
0.2	0,2	10
0.5	0,5	20
1	1,0	40
3	3,0	-

Tarkkuusluokka valitaan energiamittauksessa standardin SFS 3383 mukaan. (ABB 2000)

Suojaus- ja avokolmiokäämin tarkkuusvaatimukset on esitetty taulukossa 5. Suojuskäämille (ei avokolmiokäämille) on määrättävä myös jokin mittauskäämin tarkkuusluokka. Avokolmiokäämille suositellaan tarkkuusluokaksi 6P. (ABB 2000)

Taulukko 5. Suojaus- ja avokolmiokäämien tarkkuus. (ABB 2000)

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

Mainitut virherajat pätevät jännitteellä 5 % mitoitusjännitteestä ja mitoitusjännitekerroimen mukaisella jännitteellä. 2 %:n jännitteellä on virheraja kaksinkertainen. Taakan edellytetään olevan 25...100 % mitoitustaakasta ja sen tehokerroimen 0,8 (ind). (ABB 2000)

7.1.3 Jännitemuuntajan rakenne

Jännitemuuntajan rakenneperiaate on aivan sama kuin tavallisella tehomuuntajalla. Jännitemuuntaja on vain voimamuuntajaan verrattuna paljon pienitehosempi. Jännitemuuntajia rakennetaan sekä öljy- että valuhartsieristeisinä. Öljyeristeisiä jännitemuuntajia valmistetaan kaikille jännitetasoille. Valuhartsieristeiset jännitemuuntajat on tarkoitettu lähinnä sisäasennuksiin. (Uski 2001)

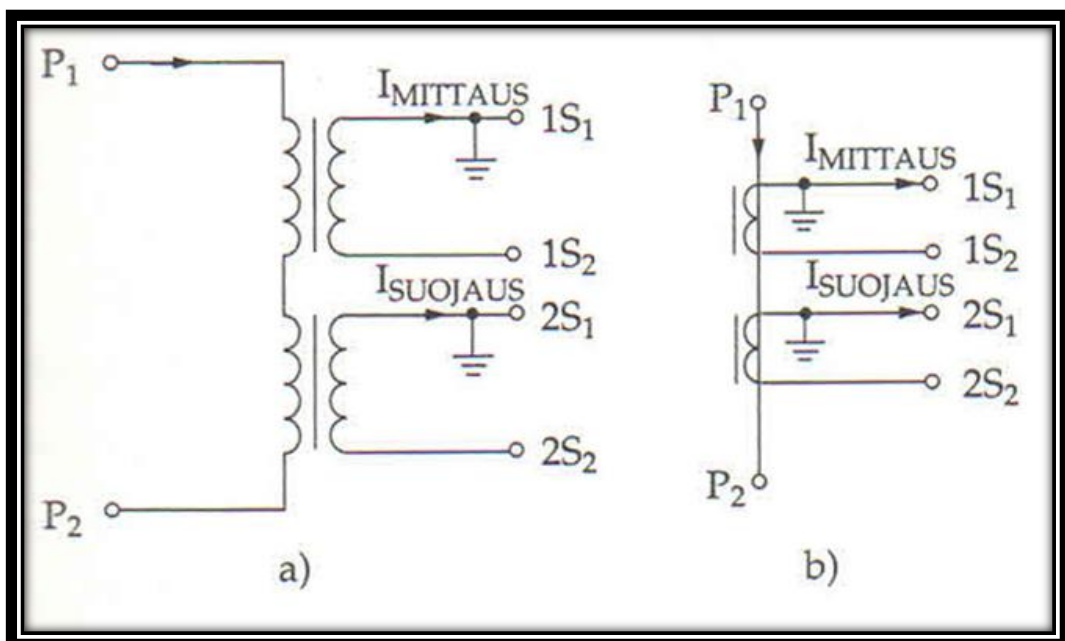


Kuva 3. Sisäasennuksiin tarkoitettuja valuhartsieristeisiä jännitemuuntajia. (ABB 2016d)

7.2 Virtamuuntajat

Virtamuuntajan tarkoituksena on muuntaa piirin virta ko. piirin suojauksessa, valvonnassa ja mittauksessa käytettäville pienjännitteisille maan potentiaalissa oleville releille ja mittareille sopiviksi virroiksi sekä eristää ensiö- ja toisiopiirit toisistaan. Virran mittaus on vaikeampaa kuin jännitteen, koska virran vaihtelu on paljon suurempaa. Virtamuuntajan nimellisarvot poikkeavat toisistaan hyvin paljon riippuen siitä, käytetäänkö sitä suojaus- vai mittaustarkoitukseen. (ABB 2000; Mörsky 1992, 101-105)

Virtamuuntajassa on joko yksi tai useampia sydämiä. Jos sydämiä on useita, on niillä yhteinen ensiökäämi, mutta kullakin sydämellä on oma toisiokääminsä (Kuvio 11). Mittaukseen käytettävää sydäntä nimitetään mittaussydämeksi ja suojaukseen käytettävää sydäntä suojaussydämeksi. Suojaustarkoituksiin tulevien virtamuuntajien vaatimukset ovat erilaiset kuin mittaustarkoituksiin ja siitä syystä niillä on erilaiset sydämet. (ABB 2000; Mörsky 1992, 101-102)



Kuvio 11. Virtamuuntaja, jossa erilliset mittaus- ja suojaussydämet, a) kytkentä, b) piirrosmerkki. (Mörsky 1992, 101)

Virtamuuntajat jaetaan mittausvirtamuuntajiin ja suojausvirtamuuntajiin. Erityyppisillä virtamuuntajilla on omat nimityksensä ja käyttötarkoituksensa. Erityyppisiä virtamuuntajia ovat mm:

- Rengasvirtamuuntajat
 - Kaapelivirtamuuntajat
- Välivirtamuuntajat
- Virta-jännitemuuntaja
- Sekoitusvirtamuuntaja.

Käytössä olevan virtamuuntajan toisiopiiriä ei saa avata, koska tällöin koko ensiövirta magnetoi sydäntä, joka kyllästyy nopeasti. Tästä seuraa toisioliittimien välisen jännitteen huippuarvon kasvu hyvin suureksi, jopa kymmeneen kilovolttiin, mikä on sekä laitteille että ihmisille vaarallinen jännite. Virtamuuntajan, kuten jännitemuuntajankin, toisiopiirin yksi piste on maadoitettava, samoin kuin kaikki kosketeltavissa olevat metalliosat. (Mörsky 1992, 103)

7.2.1 Ominaisuuudet

Virtamuuntajan tärkeimmät teknilliset arvot ovat:

- terminen (lyhytaikainen virtakestoisuus, 1sek.) mitoitusvirta
 - dynaaminen mitoitusvirta
 - eristystaso
 - nimellisjännite
 - mitoitustaajuus
 - mitoitusensiövirta
 - mitoitustoisiovirta
 - virta-alueen laajennuskerroin (ext %)
 - mitoitustaakka
 - tarkkuusluokka
 - mittarivarmuuskerroin (mittaussydän) tai tarkkuusrajakerroin (suojaussydän).
- (ABB 2000)

Terminen mitoitusvirta on suurin ensiövirta, minkä virtamuuntaja kestää 1 s ajan termisesti vahingoittumatta (toisiokäämit oikosuljettuina). (ABB 2000)

Dynaaminen mitoitusvirta ilmoittaa, kuinka suuren ensiössä kulkevan virran aiheuttamat voimat muuntaja kestää vahingoittumatta (toisiokäämit oikosuljettuina). (ABB 2000)

Mitoitusensiövirta, minkä standardisoidut nimellisarvot ovat:

10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A

sekä näiden kymmenpotenssikerrannaiset ja –osat. Suositeltavimmat arvot on alleviivattu. (ABB 2000)

Virta-alueen laajennuskerroin ilmoittaa ensiövirran, jolla lämpenemät eivät ylitä annettuja arvoja. Ilmoitetaan prosentteina mitoitusensiövirrasta. (ABB 2000)

Mitoitustoisiovirta, jonka standardiarvot ovat 1 A, 2 A ja 5 A, joista suositeltavat arvot ovat 1 A ja 5 A. (ABB 2000)

Mitoitustaakka on suurin kuormitusimpedanssi, jolla virtamuuntajaa voidaan kuormittaa kyseessä olevassa tarkkuusluokassa. Tavallisesti nimellistaakka ilmoitetaan kuitenkin tehona (VA), joka on mitoitustaakka (Ω) kerrottuna nimellistoisiovirran (A) neliöllä. Mitoitustaakan standardiarvot ovat 2,5 – 5 – 10 – 15 ja 30 VA. Suuremmat tehot valitaan tarpeen mukaan. (ABB 2000)

7.2.2 Sydämen tarkkuusluokat

Sekä mittaus- että suojaustarkoituksiin tarkoitetuille virtamuuntajille on määritelty ns. tarkkuusluokat. Tarkkuusluokka ilmoitetaan numeroarvona, joka antaa suoraan virran mittauksessa syntyvän suurimman sallitun virtavirheen suuruuden. Mittaustarkoituksiin tulevan virtamuuntajan tarkkuuden on oltava riittävän hyvä mm. energiamittauksen kannalta. (Mörsky 1992, 103-107)

Virtamuuntajien tarkkuusluokat tarkoittavat suoraan virtamuuntajan tarkkuusvaatimusta prosentteina virroilla I_N ja $1,2 I_N$. Virtamuuntajien virhe vaihtelee, koska magnetoimiskäyrä ei ole suora. Virhe pienenee virran kasvaessa kunnes saavutetaan kohta, jossa sydän alkaa kyllästyä, jolloin virhe lähtee kasvuun virran yhä kasvaessa. Mittausvirtamuuntajalle on standardoitu taulukon 2 mukaiset tarkkuusluokat. (Mörsky 1992, 108)

Taulukko 6. Virtamuuntajan mittaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot (ABB 2000).

Luokka	Virtavirhe \pm %					Kulmavirhe \pm min			
	$I_p = I_{pn} \times$					$I_p = I_{pn} \times$			
	0,05	0,2	0,5	1,0	1,2	0,05	0,2	1,0	1,2
0.1	0,4	0,2		0,1	0,1	15	8	5	5
0.2	0,75	0,35		0,2	0,2	30	15	10	10
0.5	1,5	0,75		0,5	0,5	90	45	30	30
1	3,0	1,5		1,0	1,0	180	90	60	60
3			3,0		3,0				
5			5,0		5,0				

Tarkkuusluokilla 3 ja 5 ei ole lainkaan kulmavirhevaatimuksia, joten ne ovat puhtaasti virranosoitusta varten. (Mörsky 1992, 109)

Suojaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot ilmenevät taulukosta 3, jossa kirjain P on suojaussydämen tunnus. (ABB 2000)

Taulukko 7. Suojaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot (ABB 2000).

LUOKKA	Mitoitusensiövirtaa ja mitoitus- taakkaa vastaava	
	virtavirhe	kulmavirhe
5P	± 1 %	± 60 min
10P	± 3 %	- 1)

1) Linearisoidulla virtamuuntajalla 150 min.

7.2.3 Virtamuuntajan rakenne

Ulos asennettavat virtamuuntajat ovat tavallisesti öljytäytteisiä ja hermeettisesti suljettuja. Tällöin muuntajan öljy ei joudu alttiiksi ulkoilman kosteudelle. Tavallisesti muuntajan yläosassa oleva paisuntatila suljetaan metallipalkeella ja typpi-tyynyllä. Typpi estää öljyn hapettumisen, mutta toisaalta sitä voi liueta öljyyn ja siten heikentää öljyn jännitelujuutta. Muuntajan ulkoisena eristyksenä on yleensä posliinikuori. (Uski 2001)

Sisään asennettavat virtamuuntajat ovat nykyään useimmiten valuhartsieristeisiä. Tällaisten muuntajien etuna on suuri sähköinen ja mekaaninen lujuus sekä pieni koko. Lisäksi ne voidaan asentaa mihin asentoon hyvänsä. (Uski 2001)

Kuvassa 3 on esitetty erityyppisiä sisälle asennettavia virtamuuntajia 660V – 6kV jännitealueelle.

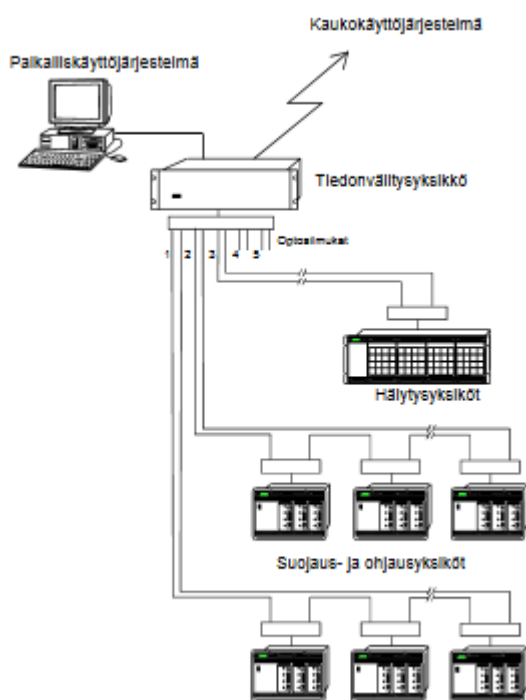


Kuva 4. Erityyppisiä virtamuuntajia 660V-6 kV jännitealueelle. (Laxmile 2016)

8 RELEIDEN KOMMUNIKAATIO

8.1 SPA-väylä

SPA-väylä on asematason kommunikaatioväylä, joka liittää sähköaseman sisällä kaikki lähtötason laitteet ja hälytysyksiköt sekä paikallisen valvonta- ja monitorointi järjestelmän keskenään. Asematasolla käytetään useimmiten kommunikointimediana valokuituja, jolloin tiedonsiirto ei ole sähköisille häiriöille herkkä. Sähköasemalla on tiedonkeruuyksikkö, joka on liitetty asematason kommunikaatioon, mistä se kerää väylään liitetyiltä laitteilta tiedot ja välittää ne edelleen jollekin ylemmän tason järjestelmälle, kuten kaukokäyttö- tai prosessivalvontajärjestelmälle (Kuvio 12). (ABB 2000)



Kuvio 12. SPA-väylän rakenne (ABB 2000)

SPA-väylästä on kehittynyt ajan myötä yleinen standardi sähköasematason kommunikaatioon. SPA on luonteeltaan pollaava. Siinä suojareleet, ohjauksyksiköt ja hälytyskeskukset on liitetty optisilla silmukoilla yhden isäntälaitteen alle. Isäntälaitteen alla kaikki laitteet eli orjat on eroteltu orjanumeroilla. Isäntälaitte kyselee vuoronperään (pollaa) orjilta halutut tiedot ja orjat vastaavat kyselyyn. Systemin

vasteajat riippuvat laitteiden lukumäärästä ja kyseltävän tiedon määrästä. Tärkeitä tietoja voidaan pollata useammin kuin muita tietoja ja tällöin päivitys tärkeälle tiedolle saadaan nopeammin. SPA-väylä on asynkroninen väylä, jolla suurin käytetty nopeus on 9,6 kbit/s. (ABB 2000)

8.2 IEC 61850 –kommunikaatio

IEC 61850 on sähköjakelun ja sähköasema-automaation globaali kommunikaatiostandardi. Protokollan tarkoitus on saada tietoliikenne kulkemaan IED –laitteiden (Intelligent Electronic Device) ja kaukokäyttöjärjestelmän ala-aseman välillä. IEC 61850 -kommunikaatiostandardi mahdollistaa eri laitevalmistajien älykkäiden laitteiden välisen yhteistoimivuuden korvaamalla laitevalmistajien omat kommunikaatioprotokollat standardoidulla protokollalla. IEC 61850 –protokollan vaatimuksena on, että ohjausviestit tapahtuvat 4 millisekunnin sisällä. Tähän vaatimukseen päästään sillä, että protokolla voi liikennöidä LAN-verkossa käyttäen nopeita verkkokytkimiä. (ABB 2010)

IEC 61850 – tietoliikennetoteutus tukee kaikkia valvonta- ja ohjaustoimintoja. Myös parametriasetuksia, häiriötiedoston tietueita sekä vikatietoja voidaan käyttää IEC 61850 –yhteyskäytännön kautta. IEC 61850 standardin täyttävät suoja-releet voivat lähettää ja vastaanottaa binaarisignaaleja muista releistä (ns. horisontaalinen tietoliikenne) käyttämällä IEC 61850-8-1 –yhteyskäytännön GOOSE-profiilia (Generic Object Oriented Substation Event), joka tukee tehokkainta suorituskykyluokkaa ja 3 millisekunnin siirtoaikaa. (ABB 2010)

8.3 GOOSE

Yksi IEC 61850 – protokollan tavoitteista on vähentää laitteiden välistä kaapelointia käyttämällä IED – laitteiden väliseen tiedonsiirtoon GOOSE toimintoa (Generic Object Oriented Substation Event). GOOSE signaaleja kutsutaan myös horisontaalisiksi signaaleiksi. GOOSE toimii ”peer-to-peer” tavalla, eli jokainen IED – laite pystyy keskustelemaan keskenään. GOOSE viestit kulkevat laitetasolla broadcast-viesteinä eli ne kulkevat kaikille lähiverkossa oleville laitteille. Tästä

syystä GOOSE viestit eivät myöskään kulje palomuurien tai kytkimien läpi, joten viestit pysyvät verkon sisällä. Tämä lisää tietoturvaa, kun GOOSE viestejä ei voi lähettää tai lukea lähiverkon ulkopuolelta. Vastaanottaja on määritelty MAC- eikä IP – osoitteen perusteella. (Mentula 2013)

8.4 MicroSCADA

MicroSCADA on mikrotietokonepohjainen, ohjelmoitava ja hajautettu käytönohjaus- ja valvontajärjestelmä. Sen pääasiallinen käyttöalue on keskijänniteverkon sähkönjakelun paikallisohtaus ja kaukokäyttö. Se soveltuu myös esimerkiksi veden- ja lämmönjakelun, erilaisten teollisuusprosessien, vedenpuhdistuksen, liikenteen yms. järjestelmien käytönohjaus- ja valvontajärjestelmäksi. (ABB 1998)

MicroSCADA mahdollistaa reaaliaikaisen sähkönjakeluverkon seurannan ja ohjauksen liitettyjen suojarleiden kautta. Suojarleiden parametrien tarkastelu ja muuttaminen onnistuu SCADA:sta helposti etänä. SCADA:sta voi myös tarkastella häiriötallenteita ja trendejä halualtaan ajalta. SCADA:an pystyy liittämään lisäksi kolmannen osapuolen dokumentteja, kuten CAD-piirustuksia ja Excel-taulukoita.(ABB 2016c)

9 KOJEISTON B11 RELEET

9.1 Käytössä olevat reletyypit

Sellutehtaan B11 kojeiston suojarleinä ovat alkuperäiset ABB:n valmistamat J-sarjan suojarleet, jotka ovat peräisin vuodelta 1977 (Kuva 2). Poikkeuksena pääkatkaisijan suojarleet, jotka on uusittu 90-luvulla. J-sarjan releet ovat tyypiltään staattisia releitä ja ikänsä puolesta ne ovat tulossa elinkaarensa päähän. Sähkönjakelun luotettavuuden kannalta releiden modernisointi on siis hyvin ajankohtaista. Tällä hetkellä käytössä on taulukon 8 mukaisia releitä:

Taulukko 8. B11 kytkinlaitoksella käytössä olevat suojarleet

Tunnus	Kenno	Reletyyppi
PM7 6kV	B11.01	SPAJ 140 C
PM7 6kV	B11.01	SPAD 346
TG4	B11.02	SPAD 346
Vara	B11.03	SPAM110
Mittaus	B11.04	SPAU 1E 100J3
Mittaus	B11.04	SPAU 1F100 J3
Mittaus	B11.04	SPAU 1G100 J3
Muuntamo 95C, 95D ja 95E	B11.05	SPAJ 3A5 J3
Muuntamo 91A ja 92A	B11.06	SPAJ 3A5 J3
Muuntamo 95A ja 95B	B11.07	SPAJ 3A5 J3
Muuntamo 91C ja 92B	B11.08	SPAJ 3A5 J3
Muuntamo 93D ja 93E	B11.09	SPAJ 3A5 J3
Muuntamo 94A ja 94B	B11.10	SPAJ 3A5 J3
Muuntamo 93A	B11.11	SPAJ 3A5 J3
Vara	B11.12	SPAJ 3A5 J3, SPAS 1B1 J3
Muuntamo 93B, 93C ja 93F	B11.13	SPAJ 3A5 J3
Muuntamo 91D	B11.14	SPAJ 3A5 J3
Vara	B11.15	SPAS 1B1 J3
1457.017 Syöttövesipumppu 1	B11.16	SPAM 150 C
6 kV:n kytkinlaitos B13.02	B11.17	SPAJ 140 C
1457.017 Syöttövesipumppu 2	B11.18	SPAJ 3R5 J6, SPAS 1F1 J3
Kondensaattoriparisto C01	B11.19	SPAJ 3A5 J3, SPAJ 1A5 J3, ISM21
6kV:n varayhteys B09.14	B11.20	SPAJ 3A5 J3
6kV:n varayhteys B23.07	B11.22	SPAJ 3A5 J3
92B / 12A	-	SPAJ 3C5 J3

ABB:n elinkaarikartoituksen mukaan J3 sarjan releet ovat Classic vaiheessa, eli tuotetta saa jälkivalmistuslinjalta edelleen uutena. Lisäksi määräaikaistoestukset sekä varaosa-, korjaus- ja ennakkohuoltopalvelut ovat saatavilla. (Niemi 2016)

B11 kytkinlaitoksen releille ei kuitenkaan huoltoja ole tehty, vaan ainoastaan määräaikaistoestukset. Tilanne ei varaosasaatavuuden ja korjauspalveluiden osalta ole luultavasti yhtä hyvä esim. 10 vuoden päästä.

9.2 Korvaavat reletyypit

Käytössä olevien suojuareiden tilalle ABB tarjosi Relionin 615 sarjan suojuareita, joita on jo Veitsiluodon tehtaalla käytössä (esim. hakepuhallin kuorimolla REM 615). Uudet releet ovat mikroprosessoripohjaisia (numeerisia) ja ne ovat yhteensopivia IEC 61850 –standardin vaatimusten kanssa. Uusien releiden täyden potentiaalin saa käyttöön vain jos väylä uusitaan modernisoinnin yhteydessä.

Relion 615 sarjasta löytyy vaihtoehto joka suojuustarpeeseen:

- RED615 – Differentiaalisuojaus
- REF615 – Johtolähdön suojaus
- REG615 – Generaattorisuojaus (sis. maasulku- ja differentiaalisuojauksen)
- REM615 – Moottorisuojaus (sis. maasulku-, ylivirta-, jumi-, vinokuormitussuojaukset)
- RET615 – Muuntajan suojaus
- REU615 – Yli- ja alijännitesuojaus
- REV615 – Kondensaattoripatteriston suojaus. (ABB 2016e)

B11 kytkinlaitokselle olisi tarkoitus tulla taulukon 9 mukaisia suojuareita:

Taulukko 9. B11 kytkinlaitoksen korvaavat suojuareet (Vedenjuoksu 2016)

Tunnus	Kenno	Reletyyppi	Korvaava tyyppi
PM7 6kV	B11.01	SPAJ 140 C	ABB / REF615
PM7 6kV	B11.01	SPAD 346	ABB / RET615
TG4	B11.02	SPAD 346	ABB / RET615
Vara	B11.03	SPAM110	ABB / REM615
Mittaus	B11.04	SPAU 1E 100J3	ABB / REU615
Mittaus	B11.04	SPAU 1F100 J3	-
Mittaus	B11.04	SPAU 1G100 J3	-
Muuntamo 95C, 95D ja 95E	B11.05	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615

Muuntamo 91A ja 92A	B11.06	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Muuntamo 95A ja 95B	B11.07	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Muuntamo 91C ja 92B	B11.08	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Muuntamo 93D ja 93E	B11.09	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Muuntamo 94A ja 94B	B11.10	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Muuntamo 93A	B11.11	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Vara	B11.12	SPAJ 3A5 J3, SPAS 1B1 J3	ABB / REF615
Muuntamo 93B, 93C ja 93F	B11.13	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Muuntamo 91D	B11.14	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
Vara	B11.15	SPAS 1B1 J3	ABB / REM615.
1457.017 Syöttövesi-pumppu 1	B11.16	SPAM 150 C	ABB / REM615.
6 kV:n kytkinlaitos B13.02	B11.17	SPAJ 140 C	ABB / REF615
1457.017 Syöttövesi-pumppu 2	B11.18	SPAJ 3R5 J6, SPAS 1F1 J3	ABB / REM615.
Kondensaattoriparisto C01	B11.19	SPAJ 3A5 J3, SPAJ 1A5 J3, ISM21	ABB / REV615
6kV:n varayhteys B09.14	B11.20	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
6kV:n varayhteys B23.07	B11.22	SPAJ 3A5 J3	ABB / REF615
92B / 12A	-	SPAJ 3C5 J3	ABB / REF615

9.2.1 Itsevalvonta

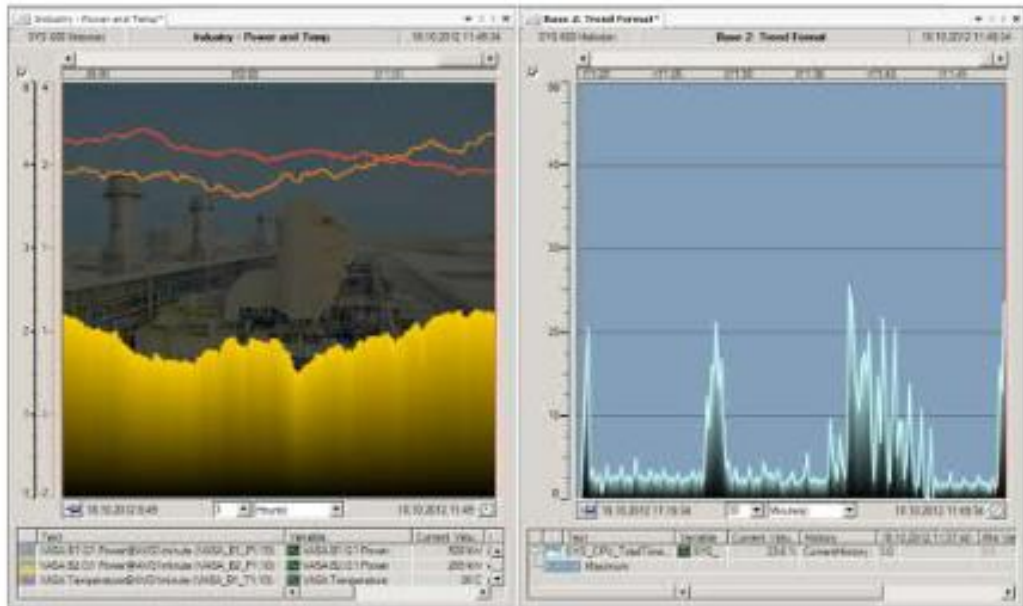
Suojareleissä on itsevalvontaominaisuus, jonka avulla valvotaan, että rele on toimintakuntoinen ja ettei epäkuntoinen rele aiheuta virhetoimintaa. Releen sisäinen itsetestaus hälyttää välittömästi laitteen vikaantuessa pysyvästi, jolloin käytössä ei voi olla viallisia releitä käyttäjän tietämättä. Sisäisestä viasta kertoo pääasiassa vilkkuva vihreä Ready-merkkivalo. (ABB 2010)

Sisäisiin vikoihin kuuluvat laitevirheet, käynninaikaiset sovellusvirheet, käyttöjärjestelmän tai tietoliikenteen virheet. Suojarele tallentaa järjestelmän rekisteröinnit, releen tilatiedot ja tapahtumat. (ABB 2010)

9.2.2 Häiriötallenteet

Suojarele kerää häiriötiedot sellaisista vikatapahtumista, jotka on asetettu käynnistämään häiriötallennin. Häiriötiedot kerätään ja tallennetaan myöhempää käyttöä ja analyysia varten. Häiriötallentimen tiedot voidaan ladata ja analysoida

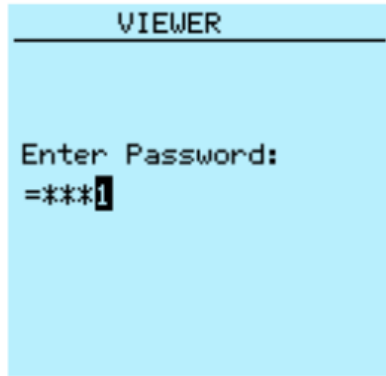
PCM600-työkalulla tai MicroSCADA:lla. Häiriötallennin-toiminto tallentaa virran, jännitteen, taajuuden ja binäärisignaalit ennen, jälkeen ja laukaisuhetkellä suo-
jauksen toimiessa. (ABB 2010) Kuviossa 13 esitetty häiriötallenteen analysointia
MicroSCADA käytönvalvontajärjestelmällä.



Kuvio 13. Häiriötallenteen analysointia MicroSCADA:n Historian työkalulla (ABB 2016c)

9.2.3 Salasanatunnistus

Releiden käyttämiselle voidaan asettaa salasanatunnistus, jolloin rele vaatii sisäänkirjautumisen asettelumuutoksiin ja ohjauksiin. Näin vältetään asiattomat konfigurointimuutokset ja paikallishjaukset. Salasanatunnistuksen voi asettaa paikalliselle käyttöliittymälle sekä web-pohjaiselle käyttöliittymälle.



Kuvio 14. Salasanatunnistus releen paneelilla. (ABB 2010)

9.2.4 Integroitu valokaarisuojaus

Relion 615 sarjan suojareleissä on linssisensoreille paikat valmiina valokaarisuojausta varten. Releen valokaarisuojaus perustuu valokaaren aiheuttaman väläyksen sekä hetkellisen vikavirran (1ms) havaitsemiseen. Tämä on uusien releiden vaihtoehtoinen ominaisuus, joka ei tuo lisäarvoa B11 kytkinlaitoksen olemassa olevalle valokaarisuojaukselle. Ominaisuus on kuitenkin hyödyllinen sellaiseen kojeistoon, johon pitää suojareleet uusia ja jos kojeistossa ei valmiiksi ole valokaarisuojausta.



Kuva 5. REF615 suojareleen valokaarisuojauksen liitännät (ABB 2010)

10 MODERNISOINTI

B11 kytkinlaitoksen suojarleiden modernisoinnissa otetaan huomioon ainakin seuraavat asiat:

- mittamuuntajien kunto
- riviliittimien kunto
- ohjaussulakkeiden kunto
- kaapeloinnin kunto
- johdotusmuutokset
- uusien suojarleiden fyysinen koko (asennusaukon suurentaminen / pienentäminen)
- IEC 61850 kommunikaatiota varten vaadittavat asennukset
 - o laitteistot, kuten kytkimet, reitittimet, palvelimet yms.
 - o kaapelointi (kuitukaapeli / parikaapeli)
- sähködokumenttien päivitys.

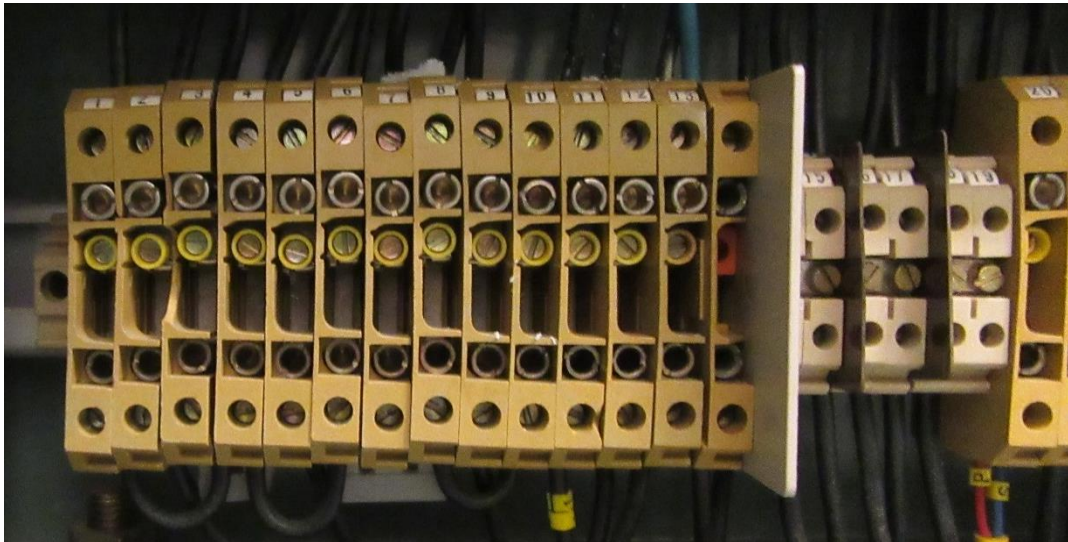
Huonokuntoiset ja vialliset komponentit vaihdetaan modernisoinnin yhteydessä tarpeen mukaan.

10.1 Mittamuuntajat

Virta- ja jännitemuuntajien kuntoa ei pääse tarkistamaan etukäteen, sillä vaunukatkaisija pitäisi päästä vetämään kokonaan ulos kennosta ja se ei onnistu tehtaan käynnin aikana. Mittamuuntajat ovat tyypiltään kiskomuuntajia. Kunto on tarkistettava mahdollisten sähkökatkojen tai huoltoseisokeiden yhteydessä jos mahdollista.

10.2 Riviliittimet

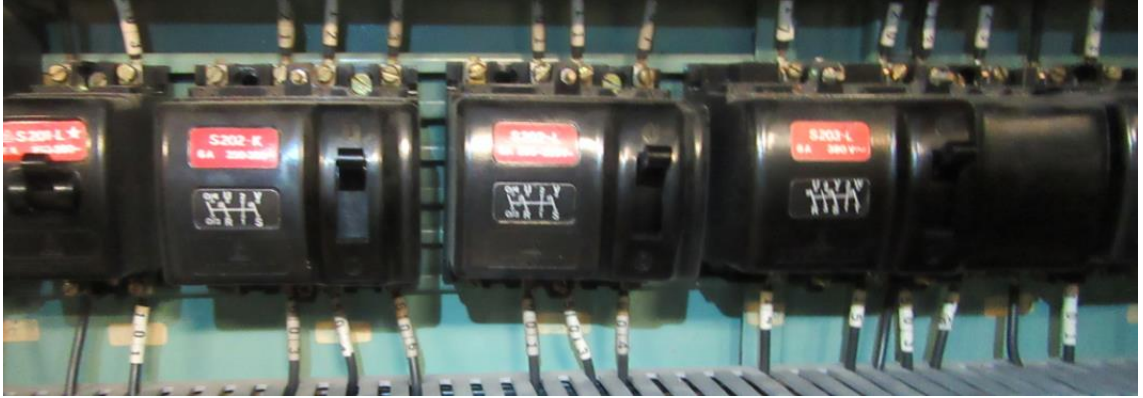
Riviliittimet ovat toimintakuntoisia eikä pahempia jälkiä näy, mutta olisi suositeltavaa vaihtaa ne releiden vaihdon yhteydessä. Riviliittimet ovat vanhoja, haperon oloisia ja vääntyneitä. Osassa riviliittimistä muoviosat ovat haljenneet ja pieniä jälkiä löytyy. Riviliittimien uusinta on suositeltavaa modernisoinnin yhteydessä, sillä se ei vaadi paljoa lisäkustannuksia. Alla esimerkki kojeiston riviliittimistä (Kuva 6):



Kuva 6. B11 kojeiston riviliittimiä

Ohjaujännitesulakkeet

Ohjaujännitesulakkeet ovat kojeistoissa päällepäin ehjän näköisiä, mutta ovat jo erittäin vanhoja ja siksi toiminnaltaan epävarmoja (Kuva 7). Modernisoinnin yhteydessä olisi suositeltavaa vaihtaa nämä uusiin malleihin, sillä se ei aiheuta paljoa lisätyötä tai kustannuksia.



Kuva 7. B11 kojeiston ohjausjännitesulakkeita

10.3 Johdotusten kunto

Kennojen johdotukset ovat päällisin puolin hyvässä kunnossa vaikka ovatkin alkuperäiset. B11 kojeiston olosuhteet ovat hyvät, joten tästä syystä johdotusten kunto on säilynyt hyvänä. Sähköjohtojen tekninen käyttöikä on noin 30-50 vuotta, joten toimeksiantajalle jää päätettäväksi, halutaanko johdotuksia uusia modernisoinnin yhteydessä. Ikää alkuperäisillä johdotuksilla on n. 40 vuotta. ABB uusii yleensä suojareleeseen liittyvät johdotukset suojareleen uusinnan yhteydessä. Suojarele johdotetaan ABB:n toimesta valmiiksi ennen asennusta ja muita johdotuksia uusitaan asiakkaan tarpeen mukaan.

10.4 Asennusaukon muutokset

Kojeiston kylkeen on tehtävä asennusaukon muutoksia modernisoinnin yhteydessä, sillä uudet releet ovat fyysiseltä kooltaan erikokoisia käytössä olevien releiden kanssa. Kennokohtaisesti asennusaukkoja joudutaan joko suurentamaan tai pienentämään ja korvaamaan tyhjätila suoja Pellillä. ABB:lla on oma aukon leikkaustyökalu asennusaukkojen laajennuksia varten (Kuva 8) ja valmiit sovittepellit mallikohtaisesti.



Kuva 8. ABB:n aukon leikkaustyökalu (ABB 2016f)

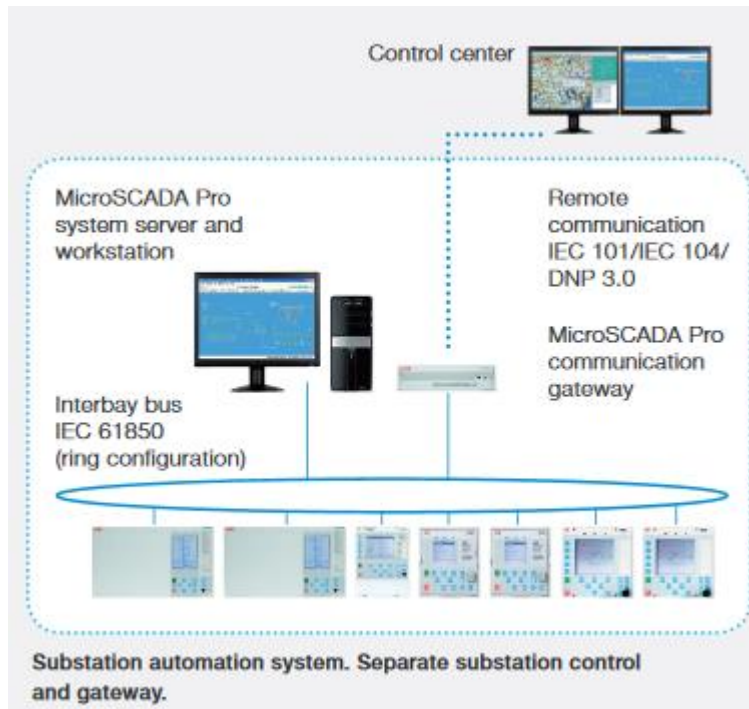
10.5 Väylän uusinta

Suojareleiden modernisoinnin yhteydessä IEC 61850 –väylä on mahdollista liittää vanhan SPA-väylän tilalle. Uusien suojarleiden potentiaalin saa täysin hyödynnettyä, jos modernisoinnin yhteydessä uusitaan myös väylä. IEC 61850 –väylä toisi huomattavasti nopeamman yhteyden suojarleiden ja kaukokäyttöjärjestelmän välille ja antaisi valmiudet myös MicroSCADA pro käytönvalvontajärjestelmälle. Vanhaa SPA-väylää voisi poistaa käytöstä sitä mukaa, kun kojeistoja ja IEC väylää uusittaisiin. B11 kytkinlaitoksen tapauksessa SPA väylän voisi jättää pois, jos tilalle uusitaan IEC 61850 – standardin mukainen väylä. Tällä hetkellä Metson DNA järjestelmään saadaan 6 kV:n kojeiston hälytykset, mittaukset ja katkaisijoiden asentotiedot, sekä pystytään ohjaamaan katkaisijoita etänä. Nämä samat tiedot ja ohjaukset voitaisi edelleen säilyttää OPC-rajapintaa tai COM600:aa hyväksikäyttäen.

OPC-liittymä on avoimen tiedonsiirron standardi, jota käytetään teollisuuden automaatiosovelluksissa, lähinnä PC-valvomojen ja ohjelmoitavien logiikoiden välillä. OPC-rajapintaa voisi hyödyntää MicroSCADA:n tapauksessa, jolloin SCADA:n OPC-palvelin keskustelisi Metso DNA –järjestelmän kanssa. Yksi mahdollisuus on myös, ettei Metson järjestelmään enää liitettäisi uusia suojarleitä,

vaan valvomoon tuotaisi MicroSCADA pääte, josta voitaisiin valvoa verkon tilaa ja hälytyksiä.

Alla periaatekuvio releiden liittymästä MicroScadaan IEC 61850-väylän kautta:



Kuvio 15. MicroSCADA:n yksi soveltamismahdollisuus (ABB 2016c)

Uutta väylää varten tarvittavat laitteistot ja komponentit riippuvat siitä, miten modernisoinnin haluaa toteuttaa. Soveltamismahdollisuuksia on useita. Yksinkertaisuudessaan tarvitaan vähintään seuraavat asiat:

- verkkokytkin/kytkimet
- kaapelointi releiden ja kytkimen välille (optinen kuitu / RJ-45 parikaapeli)
- mahdolliset lisälaitteet, kuten esimerkiksi MicroSCADA palvelin tai COM600 sähköasemakontrolleri
- paikallinen käyttöasema ja mahdolliset etäkäyttöasemat
- kaapeliyhteys käyttöasemien ja B11 releiden välille.

10.6 Uuden väylän kaapelointi

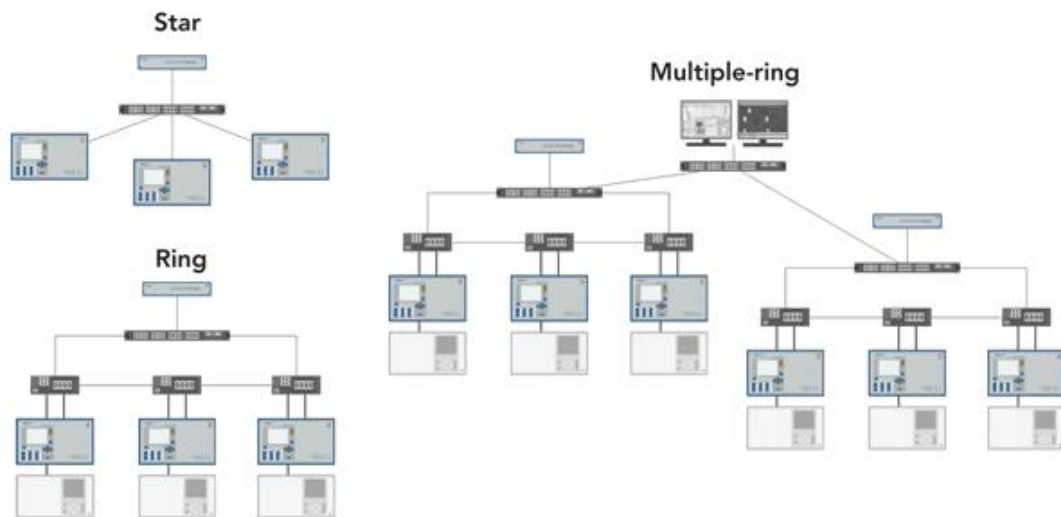
Releiden ja kaukokäyttöliittymän välinen yhteys on mahdollista toteuttaa parikaapelilla (RJ45) tai kuituohtisella yhteydellä. Kuituohtinen yhteys on luonnollisesti vähemmän altis sähköisille häiriöille. Suojattu parikaapeli toimii hyvin myös ja kestää enemmän mekaanista rasitusta.

Parikaapelilla toteutettu yhteys on halvempi vaihtoehto ja varaosat (kaapelit / kytkimet) helpommin saatavilla.

Kaapeloinnin releiden ja lähimmän kytkimen välille voi toteuttaa tähtikytkennällä tai renkaana (silmukkana).

Tähtikytkennässä joka releeltä vedetään oma kaapeli ethernet-kytkimelle. Tätä käytetään yleensä pienissä ja ei-niin-kriittisissä järjestelmissä.

Renkaassa releet on linkitetty toistensa kautta reitittimelle. Jos kahden releen välinen yhteys menee poikki, toimii yhteys edelleen toista kautta. Tämä on yksi yleisimpiä topologioita sähköasemilla, joissa on käytössä useita laitteita ja kytkimiä. Isommissa sähköasemakokonaisuuksissa järjestelmä koostuu useasta renkaasta, kuten kuviossa 16 näkyy.



Kuvio 16. Verkkotopologiat ala-asematason sähköasemilla (Electric Light & Power 2011)

10.7 MicroSCADA Veitsiluotoon

Mikäli Efora päättää releiden modernisoinnin yhteydessä siirtyä IEC 61850-väylään, niin silloin on mahdollista ottaa käyttöön myös MicroSCADA Pro käytönvalvontajärjestelmä. ABB:n asiantuntija ehdotti, että MicroSCADA:n tietoverkko rakennettaisiin Veitsiluotoon omana ulkoisena verkkonaan (erillään muista verkoista) ja sille olisi oma käyttö PC ala-asematasolla, josta voisi keskitetysti hallita ja valvoa tehtaan sähköverkkoa. Tällä yhdellä käyttö PC:llä olisi kaikki hallintaoikeudet ja tarpeen mukaan lisättäisiin muita etäkäyttömahdollisuuksia esim. valvomoihin, niin että niissä olisi rajoitetut käyttöoikeudet. MicroSCADA on helposti laajennettavissa, joten alkuun sillä voisi hallinnoida vain osaa tehtaan verkosta ja laajentaa jatkossa, kun laitteistoa modernisoidaan lisää. (Autio 2016)

Mitä parannuksia MicroSCADA toisi Veitsiluotoon?

- nopeampi yhteys suojaraleen ja kaukokäyttäjärjestelmän välillä
- vianhaun helpottuminen häiriötallenteiden ansiosta
- trendien tarkastelu
- releiden parametriasetusten tarkastelu ja muutokset etänä

MicroSCADA on käytössä tällä hetkellä kolmella Stora Enson tehtaalla Suomessa: Oulussa, Imatralla ja Varkaudessa. (Autio 2016)

10.8 Releasettelujen tallennukset

Suojareleet konfiguroidaan käyttöönottovaiheessa PCM600-työkalulla, jolla luodaan tiedosto jokaisesta releestä. PCM600 on ABB:n Relion-tuoteperheen konfigurointiohjelma. Ohjelmaa tarvitaan, kun uusia suojaraleita otetaan käyttöön. PCM600 luo releiden asetteluista SCL- tai XML-tiedoston. Tiedosto sisältää suojaraleen parametrit ja tiedot, joita voidaan hyödyntää myöhemmässä vaiheessa. Tiedostot kannattaa varmuuskopioida sellaiseen paikkaan, missä ne pysyvät varmasti tallessa ja ovat helposti saatavilla tarvittaessa. Tiedostoa voi hyödyntää

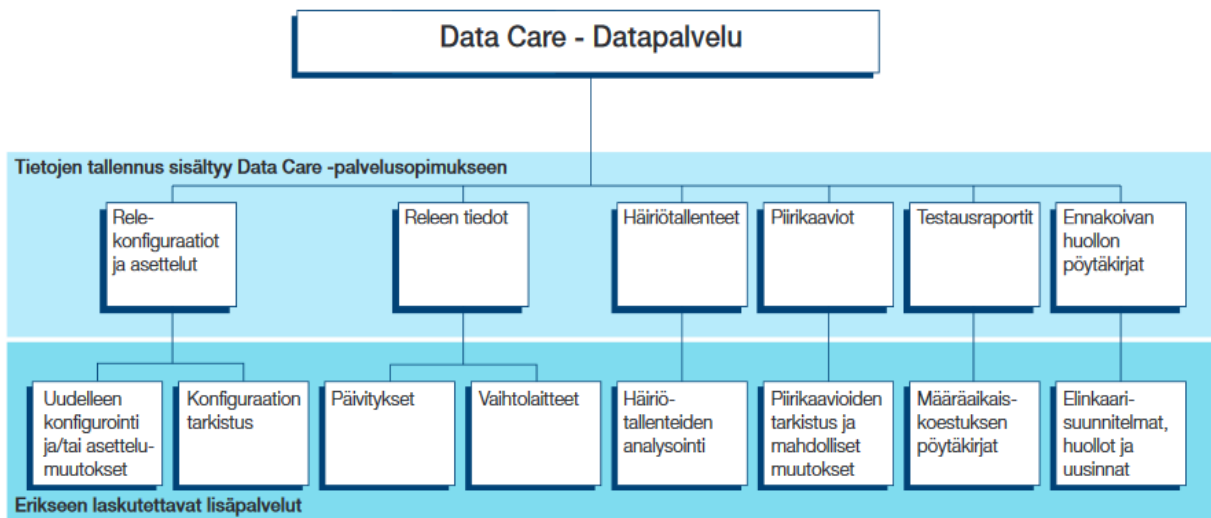
suojareleen vikatilanteessa, jolloin uuteen releeseen voidaan helposti siirtää vanhan releen asetelut, kun parametrit on varmuuskopioitu talteen. Perinteinen tapa säilyttää tietoja on PC:n kovalevy, muistitikku tai CD/DVD-levy. Tämä kuitenkin rajoittaa tietojen saatavuuksia yksittäisiin käyttäjiin.

Yksi vaihtoehto on ABB:n tarjoama Data Care – datapalvelu, jolloin ABB huolehtii kaikesta suojareleisiin liittyvästä datasta ja sen säilytyksestä.

ABB tarjoaa Data Care – palvelua, joka on tehty erityisesti suojareleiden datan hallintaan. Datapalvelun avulla varmistuu suojaus- ja ohjausreleiden sähköisten asiakirjojen säilytys (Kuvio 17) ja saatavuus koko niiden elinkaaren ajan. ABB sopii yhdessä asiakkaan kanssa, mitä tiedostoja pilvipalveluun tallennetaan. ABB tallentaa ja hallinnoi tiedostoja. Tiedostot ovat saatavilla asiakkaalle hänen halutessaan.

Data Care - Datapalvelu sisältää:

- asiakkaan sähköasemarakenteen luominen palveluun
- asiakkaan suojareleiden lisääminen palveluun
- suojareleiden konfiguraatioiden sekä asetteluiden tallentaminen palveluun
- mahdollisten muiden tiedostojen tallentaminen. (ABB 2016a)



Kuvio 17. Data Care – Datapalvelu (ABB 2016a)

10.9 Kustannukset

Tiedustelin karkeaa arviota kustannuksista ABB:lta, jotta Efora voi budjetoida modernisoinnin kustannukset ja pyytää rahoitusta modernisointia varten. Kustannukset koostuvat seuraavista asioista:

- uudet suojareleet + varareleet
- asennukset ja käyttöönotto
- muut mahdolliset laitekustannukset (COM600 ja uutta väylää varten tulevat komponentit)
- MicroSCADA
- muut palvelut (Data Care – datapalvelu, Service-etäyhteys ja tukipalvelu).

Kustannuksen luvut on määritelty toimeksiantajalle jäävässä dokumentissa.

10.10 Modernisoinnin tuomat edut

Lopulliset modernisoinnin tuomat edut määräytyvät sen mukaan, missä laajuudessa modernisointi toteutetaan. Mikäli suojareleet ja väylä uusitaan, päästään seuraaviin parannuksiin:

- sähkönjakelun luotettavuuden parantaminen
- nopeampi tiedonsiirto releiden ja kaukokäyttöjärjestelmän välillä
- releiden etähallinta ja konfigurointi
- vikojen selvittäminen ja analysointi helpompaa
- vähemmän ”kovia” johdotuksia jatkossa
- yksi uusi suojarele korvaa kahden tai useamman käytössä olevan suojareleen.

11 POHDINTA

Työssä päästiin tavoitteeseen eli tuotiin esiin suojarleiden modernisointiin liittyviä vaihtoehtoja ja näiden tietojen pohjalta toimeksiantaja voi päättää mitä haluaa uusia ja missä ajassa. Työn tuloksena syntyi tiivistelmä releiden modernisointiin liittyen sekä listat tehtaan suojarleistä, josta selviää millä uudella ABB:n reletyypillä ne voidaan korvata jatkossa. Tiivistelmässä selviää mm. muutokset ja uudistukset, joita voidaan tehdä modernisoinnissa, sekä tarkastellaan uusien releiden ominaisuuksia, konfigurointien tallennusta ja mahdollisia kustannuksia. Työtä voi hyödyntää jatkossa myös muiden tehtaan 6kV kojeistojen modernisoinnissa.

Insinööriyön tekeminen oli kokemuksena erittäin opettavainen, sillä pääsin perehtymään relesuojaukseen ja releiden kommunikaatioon todella laajasti. Relekirjallisuuden ja ABB:n dokumenttien lukeminen sekä ABB:n asiantuntijoiden haastattelu opetti paljon. Käytännössä työ oli selvittämistä ja perehtymistä edellä mainittuja menetelmiä käyttäen, joiden pohjalta työ dokumentoitiin. Tämän työn kokemuksesta on varmasti hyötyä ammatillisesti myös jatkossa.

Relesuojaus on parissa vuosikymmenessä mennyt hurjaa vauhtia eteenpäin ja kehitystä tapahtuu kokoajan lisää. Asettelumahdollisuuksia on tullut paljon lisää, häiriötallenteiden ansiosta vikojen analysointi on mennyt helpommaksi ja johdotuksia ei tarvita lähellekään yhtä paljon kuin ennen.

LÄHTEET

ABB 2000. ABB:n Teknisiä tietoja ja taulukoita 2000-07. Verkkojulkaisu 2000.

ABB 2010. ABB:n 615-sarjan käyttöohje. ABB:n manuaalit.

ABB 2016a. Data Care tuote-esite. Viitattu 22.9.2016

https://library.e.abb.com/public/969abe7d160543acbd4445cb24b6bc4f/Data-Care_datapalvelu_758375_LRFIa.pdf

ABB 2016b. Keskijännitetuotteet. Viitattu 1.4.2016.

<http://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref615-iec>

ABB 2016c. MicroSCADA tuote-esite. Viitattu 22.9.2016.

https://library.e.abb.com/public/Obda1c0ca25e4c7f82c0bf6788a62831/1MRS757502_LoRes_C_en_MicroSCADA_Pro_-_Efficient_and_reliable_power_distribution_management_for_process_industries.pdf

ABB 2016d. Mittamuuntajat ja sensorit. Viitattu 1.4.2016.

<http://www.abb.com/product/fi/9AAC720011.aspx?country=FI>

ABB 2016e. Relion 615 sarja. Viitattu 22.9.2016.

<http://new.abb.com/substation-automation/products/protection-control/relion-product-family/relion-615-series>

ABB 2016f. Suojareiden modernisointiohjelma. Viitattu 2.9.2016.

<http://new.abb.com/mediumvoltage/fi/sahkonjakeluautomaatio tuotteet-ja-ratkaisut/suojareiden-elinkaaripalvelut/laajennus-ja-modernisointi/modernisointi/suojareiden-modernisointiohjelma>

Autio, L. 2016. ABB Oy. Sähköverkon-

valvontajärjestelmät –asiantuntijan haastattelu 18.10.2016.

Efora Oy 2016. Sisäinen intranet. Viitattu 29.3.2016.

Electric Light & Power. 2011. IEC 61850 Multivendor Substation Application: What's working in Europe?. Viitattu 27.9.2016.

http://www.elp.com/articles/powergrid_international/print/volume-16/issue-2/features/iec-61850-multivendor-substation-applications-whats-working-in-europe.html

Lakervi, E & Partanen, J. 2008. Sähköjakelutekniikka. Helsinki: Otatiето

Laxmile 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 23.4.2016.

<http://www.laxmile.com/lt-current-transformer.htm>

Martimo, A. 2014. Relesuojaus. Luentomateriaali. Lapin Ammattikorkeakoulu.

Mentula, V. 2013. COM600 4.0 – Uudet ominaisuudet. Opinnäytetyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu.

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Otatieto.

Niemi, T. 2016. Suojareleiden elinkaarikysely. Email janne.keskisarja@sto-raenso.com 26.10.2016.

Tamsi, T. 2010. Verkkokatkaisija-aseman liittäminen MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmään. Opinnäytetyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu.

Uski, S. 2001. 20 kV virta- ja jännitemuuntajat. Seminaarityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Vedenjuoksu, T. 2016. Relelista Veitsiluoto. Email janne.keskisarja@sto-raenso.com 7.7.2016.

LIITTEET

Liite 1 - B11 kytkinlaitoksen yleiskaavio

Liite 1 B11 kytkinlaitoksen yleiskaavio

