

Häiriötallennin- ja suojaletietojen hyödyntäminen katkaisijoiden kunnonvalvonnassa

Tuomas Haila

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 25.1.2016.

Työn valvoja:

Prof. Matti Lehtonen

Työn ohjaaja:

DI Tuomas Laitinen

Tekijä: Tuomas Haila		
Työn nimi: Häiriötallennin- ja suojaletietojen hyödyntäminen katkaisijoiden kunnonvalvonnassa		
Päivämäärä: 25.1.2016	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 7+64
Sähkötekniikan laitos		
Professori: Sähköverkot ja suurjännitetekniikka		
Työn valvoja: Prof. Matti Lehtonen		
Työn ohjaaja: DI Tuomas Laitinen		
<p>Työssä tutkittiin onko häiriötallentimia sekä releiden sisäisiä häiriötallennustoimintoja mahdollista käyttää duplex-kytkinlaitosten erottavien katkaisijoiden auki- ja kiinniohjaustapahtumien tallentamiseen, sekä voidaanko tallenteista laskea katkaisijoiden toiminta-aikoja, katkaistun virran summaa sekä muita toimintaa kuvaavia tunnuslukuja.</p> <p>Asennustavoista johtuen Fingridin duplex-kytkinlaitoksilla mikään suojalet ei tällä hetkellä pysty mittaamaan kaikkia tarvittavia tietoja. Hajautetut kiskonsuojaleet on mahdollista asetella mittaamaan tapahtumat pienin muutoksin, muut laitteet vaativat suurempia muutoksia. Asemille voidaan asentaa erillinen häiriötallennin mittaamaan tarvittavat tiedot. Laitteita itsessään on mahdollista käyttää katkaisijoiden tapahtumien tallentamiseen. Mittausten tarkkuus jää heikommaksi kuin nykyisiä katkaisijan mittalaitteita käytettäessä. Lisäksi työssä esitetään laskenta-algoritmit katkaisijan toimintaa kuvaavien tunnuslukujen laskemiseksi tallenteista ja suunnitellaan tallenteiden avulla suoritettavan katkaisijoiden kunnonvalvonnan pilotointi Fingridin Liedon sähköasemalle.</p>		
Avainsanat: katkaisija, häiriötallennus, kunnonvalvonta, ennakoiva kunnossapito		

Author: Tuomas Haila

Title: Utilising relay and disturbance recorder data in on-line condition monitoring of circuit breakers

Date: 25.1.2016

Language: Finnish

Number of pages: 7+64

Electric Power Systems

Professorship: High voltage engineering

Supervisor: Prof. Matti Lehtonen

Advisor: M.Sc. (Tech.) Tuomas Laitinen

In this master thesis ability to use relay's internal fault recording functions and disturbance recorders to record breaking and closing events of disconnecting circuit breakers at substations build using 2-busbar 2-breaker configuration is analysed. Also possibility to calculate circuit breaker operating speeds and sum of interrupted currents from these recordings are analysed.

Protective relays are not able to record desired samples due to installation methods used in Fingrid's 2-bus-bar 2-breaker substations. Decentralized bus bar protection relays can be modified to record events with the smallest modifications. Other protective relays require larger modifications. Separate disturbance recorder can be installed at substation to measure all desired parameters. If installation methods are not taken into account devices are capable of recording all desired parameters to support calculation of operating parameters. Accuracy of these measurements is lower than the accuracy of measurements done with traditional circuit breaker analyser. Operating value calculation algorithms and plan for set-up of pilot testing of circuit breaker monitoring with recorders are also presented in this thesis.

Keywords: circuit breaker, disturbance recording, on-line condition monitoring, preventive maintenance

Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty Fingrid Oyj:n verkon hoito -yksikössä opinnäytteeksi Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoululle. Erityisesti kiitokset työn ohjaajalle DI Tuomas Laitiselle työn ohjaamisesta sekä katkaisijoihin liittyvän tietotaidon jakamisesta kanssani. Kiitos myös työn valvojalle Professori Matti Lehtoselle.

Iso kiitos myös kaikille muille työssä mukana olleille sekä erityisesti Jari Tiusaselle, Jaana Suontaustalle ja Antti Vainionpäälle, jotka ovat auttaneet minua monien työhön liittyvien ongelmien ratkomisessa.

Lisäksi kiitokset perheelleni sekä ystäväilleni tuesta opintojeni ja tämän työn tekemisen aikana.

Helsinki, 24.1.2016

Tuomas Haila

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	ii
Tiivistelmä (englanniksi)	iii
Esipuhe	iv
Sisällysluettelo	v
Symbolit ja lyhenteet	vii
1 Johdanto	1
1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	1
1.2 Työn sisältö ja rajaukset	2
2 Katkaisijat	3
2.1 Rakenne ja toiminta	3
2.1.1 Katkaisijoiden laiteryhvät	3
2.1.2 Osat	5
2.1.3 Toiminta	6
2.1.4 Viat	9
2.2 Erottavat katkaisijat	11
2.3 Nykyinen kunnonhallinta	12
2.3.1 Aikaperustaiset huollot ja tarkastukset	13
2.3.2 Mittaushuolto	13
2.3.3 Kaasunpainevalvonta	17
2.3.4 Erottavien katkaisijoiden kunnossapito	18
2.4 Kunnonvalvontamahdollisuudet	19
2.4.1 Kelavirtojen mittaus	19
2.4.2 Releiden sisäiset katkaisijan kunnonvalvontatoiminnot	21
2.4.3 Katkaisijavalmistajien kiinteät mittalaitteet	22
2.4.4 Tärinän analysointi	22
2.4.5 Tallentimien käyttö katkaisijoiden kunnonvalvonnassa	22
3 Tapahtumien tallennus	24
3.1 Duplex-kiskojärjestelmä	24
3.2 Releet	25
3.2.1 Suojaus	26
3.2.2 Kentänohjaus	27
3.2.3 Releiden sisäiset häiriötallentimet	28
3.3 Häiriötallentimet	31
3.4 IEC 61850 -pohjainen hajautettu tallennus	33
3.5 Katkaisijasta kerättävät tiedot	34
3.5.1 Katkaisijan I/O-signaalit	34
3.5.2 Vaihevirratt ja jännitteet	37

3.5.3	Viritysmoottorin tiedot	39
3.5.4	Milliampeerimittaukset	39
3.5.5	Mittausten näytteenottotaajuus	39
3.6	Tietojen tallennus	40
3.6.1	Comtrade tiedostomuoto	40
3.6.2	STINA	41
3.6.3	PI-järjestelmä	42
4	Tallenteiden analysointi ja tulosten laskenta	44
4.1	Tiedonsiirto	44
4.2	Tunnuslukujen laskenta	44
4.2.1	Erytyypiset katkaisut	45
4.2.2	Katkaisuaika	45
4.2.3	Kiinniohjausaika	50
4.2.4	Vaiheiden epätahtisuus	51
4.2.5	Valokaariajat	51
4.2.6	Jälleensyttymiset	51
4.2.7	Vikavirtasummat	52
4.3	Hälytykset	52
5	Pilotoinnin suunnittelu Liedon sähköasemalle	54
5.1	Laitteiden asennukset ja muutokset	54
5.2	Tunnuslukujen laskenta	55
5.3	Analysointi	55
6	Yhteenveto	57
	Viitteet	59
A	Toiminta-aikamittauksen tulokset TM1600 mittalaitteella	63
B	Erytyyppisten katkaisijoiden toimintarajat	64

Symbolit ja lyhenteet

AK	Apukisko
COMTRADE	Common format for Transient Data Exchange for power systems, häiriöiden mittausdatan tallentamiseen
GIS	Gas Insulated Substation, kaasueristeinen kytkinlaitos
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Events, sähköaseman laitteiden välisessä viestinnässä käytettävä sanomatyyppi
JK	Jälleenkytkentä
MPLS	Multiprotocol Label Switching, tideonsiirtoprotokolla
NCIT	Non-conventional instrumental transformer, uudentyyppinen virtamuuntaja
PK	Pääkisko
PMU	Phasor Measurement Unit, osintinmittari
RTU	Remote Terminal Unit, kaukokäytön ala-asema
SAV	Sampled analog value, näytteistetty analogiarvo
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, käytönvalvontaja ohjausjärjestelmä
SF ₆	Rikkiheksafluoridi, eristekaasu
WBA	Visual Basic for Applications, ohjelmointikieli

1 Johdanto

Katkaisijat ovat voimansiirtojärjestelmän tärkeimpiä laitteita, jotka suojaavat verkko-komponentteja vikatilanteissa, irrottamalla vikaantuneen osan verkosta. Perinteisesti sähköasemilla katkaisijat on ympäröity erottimilla, jolloin katkaisijoita käytetään virran katkaisemiseen ja erottimia verkon osien fyysiseen erottamiseen toisistaan. Suojareleet mittaavat jatkuvasti verkossa kulkevia virtoja sekä verkon osien jännitteitä. Havaitessaan vian suojareleet antavat katkaisijoille käskyn irrottaa viallinen osa verkosta. Häiriötallentimet tallentavat vian käyrämuodot sekä releiden käskyt myöhempää analysointia varten.

Katkaisijoiden kunnonhallinta on haastavaa, sillä katkaisijat toimivat tyypillisesti erittäin harvoin, mutta vikatilanteessa niiden on kyettävä toimimaan nopeasti ja luotettavasti. Nykyisin kaasukatkaisijoille tehdään diagnostiset toiminta-aikamittaukset noin 10 vuoden välein. Jos katkaisija vikaantuu mittausten välillä, on epätodennäköistä, että vika havaittaisiin ennakoivasti, jos selvää visuaalista indikaatiota viasta ei ole todettavissa.

Jatkuva-aikaisessa kunnonvalvonnassa laitteen kuntoa tarkkaillaan jatkuvasti. Tällöin alkavat viat voidaan havaita jo vian alkuvaiheessa ennen kuin vika kehittyy laitteen toiminnan vaarantavaksi. Tällöin myös huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa heti kun on syytä epäillä laitteen vikaantumista.

Erottavien katkaisijoiden käyttöön ottaminen Fingrid Oyj:n duplex-asemilla on saanut aikaan päivitystarpeen katkaisijoiden kunnossapitokäytäntöihin. Erottavien katkaisijoiden ympärille ei rakenneta erottimia, joiden avulla katkaisija on mahdollista erotettua verkosta kunnonvalvontamittauksia varten. Tästä syystä erottavien katkaisijoiden tarkastustoimenpiteet täytyy kohdistaa eri tavoin, huomioiden duplex-järjestelmän ja erottavien katkaisijoiden erityispiirteet.

1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Nykyaikaisista häiriötallentimista ja mikroprosessorireleistä on mahdollista hakea huoltoväylän kautta laitteen tallentamia virta- ja jännitetietoja sisältäviä tallenteita joita laitteet tallentavat nykyisin vikatilanteissa. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää voidaanko releiden ja häiriötallentimien tallentamia tietoja hyödyntää katkaisijoiden kunnonvalvonnassa laskemalla tallenteista vastaavia katkaisijan toimintaa kuvaavia tunnuslukuja, joita nykyisin mitataan katkaisijoiden mittaushuoltojen yhteydessä. Tässä työssä on käsitelty seuraavia tutkimuskysymyksiä:

- Millainen valmius nykyisellään on saada tarvittavaa informaatiota suojareleistä ja häiriötallentimista? Tallentavatko laitteet kaikki tarvittavat tiedot? Jos ei, niin kuinka laitteet saataisiin tallentamaan nämä tiedot. Voidaanko tietojen kerääminen automatisoida?
- Millä edellytyksillä suojareleet saataisiin havahtumaan myös katkaisijoiden normaali-toiminnasta? Millaisia periaatemuutoksia tarvittavien tietojen tallennus kaikista katkaisijoiden ohjauksista vaatisi?

- Miltä osin vaihevirta- ja jännitetiedoista voidaan laskea nykyisin mittaushuollossa mitattavat katkaisijan toiminnalliset ominaisuudet?
- Saadaanko katkaisutapahtumien vikavirrat kerättyä vikavirtasummaksi, jota voidaan hyödyntää kunnossapidossa?
- Miten tulokset saadaan tallennettua keskitettyyn järjestelmään? Kuinka hälytykset saadaan välitettyä kunnossapidolle havaituista vioista? Voidaanko olemassa olevia järjestelmiä hyödyntää tähän tarkoitukseen?

1.2 Työn sisältö ja rajaukset

Tämä työ on rajattu koskemaan vain Fingrid Oyj:n 400 kilovoltin jännitteellä toimivia duplex-kytkinlaitosten SF₆-kaasueristeisiä erottavia katkaisijoita. Työssä selvitetään kuinka katkaisijat, suojaus ja häiriöntallennus toimivat nykyisin Fingridin sähköasemilla, käydään läpi mitä nykyiseen katkaisijoiden kunnonhallintaan sisältyy sekä tutkitaan, kuinka vastaavia toimenpiteitä voitaisiin tehdä jatkuva-aikaisen kunnonvalvonnan avulla releiden ja häiriötallentimien keräämiä mittaustietoja hyödyntäen. Lisäksi tutkitaan releiden ja häiriötallentimien tallennusominaisuuksien, laitteiden asennuseriaatteiden ja nykyisten toimintaperiaatteiden soveltuvuutta kunnonvalvonnan tarpeisiin. Työssä esitetään myös laskentakaavat katkaisijan toiminnallisten ominaisuuksien laskemiseen tallenteista.

Aineistona työssä käytetään releiden ja häiriötallentimien käyttöohjeita ja laitemanuaaleja, sähköasemien piirikaavioita, joista selviävät nykyiset asennustavat, asemilta kerättyjä häiriötallenteita sekä aiheeseen liittyviä tieteellisiä julkaisuja. Työssä löydettyjen parhaiden vaihtoehtojen käytännön soveltuvuutta katkaisijoiden jatkuva-aikaiseen kunnonvalvotaan tullaan arvioimaan Fingridin sähköasemalle rakennettavan koelaitteiston avulla, joka tulee perustumaan tämän työn tuloksiin.

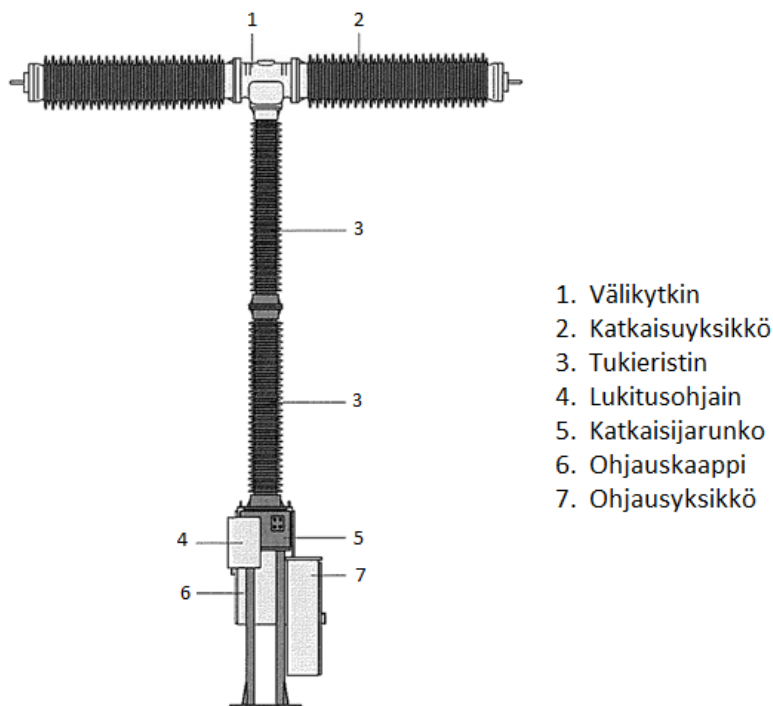
2 Katkaisijat

Katkaisijat ovat kytkinlaitteita, joita käytetään suurjännitteisessä voimansiirrossa virtapiirien avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijat voivat toimia joko käsinohjattuina tai automaattisesti. Normaalisissa kytkentätilanteissa katkaisijalle annetaan toimintakäsky, joko paikallisesti tai kaukokäytön kautta esimerkiksi valvomosta. Vikatilanteissa katkaisijan laukaisu tapahtuu automaattisesti suojarleiden antamien käskyjen perusteella. Vikatilanteissa katkaisijat pystyvät katkaisemaan tai sulkemaan moninkertaisia virtoja normaaliin kuormitusvirtaansa nähden. [1]

Tässä luvussa käsitellään katkaisijoiden rakennetta ja toimintaa, kaasukatkaisijoiden nykyistä kunnonhallintaa, sekä katkaisijoissa esiintyviä vikoja ja niiden syitä ja niiden havaitsemista kunnonvalvontamittauksien avulla ennakkoon.

2.1 Rakenne ja toiminta

Katkaisijan perusosia ovat napa, voimansiirto, tukieristin ja ohjain. Kuvassa 1 on esitetty Siemensin valmistaman 3AP2 erottavan katkaisijan rakenne sekä perusosat.



Kuva 1: Erottavan katkaisijan 3AP2 DCB rakenne [2].

2.1.1 Katkaisijoiden laiteryhmät

Katkaisijat voidaan jaotella katkaisuväliaineensa perusteella paineilmakatkaisijoihin, vähäjännitekatkaisijoihin, kaasukatkaisijoihin ja tyhjökatkaisijoihin [1]. Eri katkaisijatyyp-

pien määrät ja iät Fingridin verkossa 10.11.2015 on esitetty taulukossa 1. Taulukko sisältää myös 20 kV ja 10 kV kompensointilaitosten katkaisijat.

Taulukko 1: Fingridin katkaisijoiden määrät ja keskimääräiset iät.

Katkaisijatyppi	Määrä (kpl)	Keskimääräinen ikä (vuotta)
Paineilma	4	42
SF ₆ -kaasu	872	16
SF ₆ (erottava katkaisija)	99	4
Tyhjö	6	4
Vähäöljy	244	36

Öljy- ja vähäöljykatkaisijoissa katkaisuväliaineena käytetään mineraaliöljyä. Vähäöljykatkaisijoissa valokaaren sammutus perustuu öljyn höyrystyessä syntyvään paineeseen ja paineen vaikutuksesta syntyvään öljyn virtaukseen. Uusia vähäöljykatkaisijoita ei enää valmisteta, mutta niitä on vielä runsaasti käytössä kantaverkossa. [1]

Kaasukatkaisijoissa eristekaasuna käytetään SF₆-kaasua. Kaasulla on erinomaiset eristys, valokaaren sammutus ja jäädytys ominaisuudet. SF₆-kaasun mukaan voidaan sekoittaa tyyppiä, N₂, tai perfluorimetaania, CF₄, joiden avulla voidaan ehkäistä kaasun nesteytymistä kylmissä olosuhteissa. Suurjänniteratkaisuissa kaasukatkaisijat tarvitsevat muita katkaisijatyyppejä vähemmän katkaisupäitä katkaistavaa virtaa kohden. Lisäksi ne tarvitsevat vähemmän huoltoa. Tästä syystä kaasukatkaisijat ovat syrjäyttäneet vähäöljy- ja paineilmakatkaisijat suurjännitevoimansiirroissa. [1] Nykyään kaikki Fingridin hankkimat uudet katkaisijat ovat SF₆-eristeisiä kaasukatkaisijoita.

Tyhjökatkaisijoita on tällä hetkellä käytössä lähinnä keskijänniteverkossa, mutta myös suurjänniteratkaisuja on suunnitteilla [3]. Tyhjiökatkaisijassa katkaisu perustuu valokaaren koskettimien väliin ionisoiman metallihöyryn nopeaan ionisaation katoamiseen virran nollakohdassa. Tällöin metallikaasu tiivistyy erittäin nopeasti ja valokaari sammuu. Tyhjö on käytännössä lähes täydellinen eriste, joten jälleensyttymistä ei pääse tapahtumaan. Tyhjiökatkaisijat ovat rakenteeltaan erittäin yksinkertaisia, sillä niissä on vähän liikkuvia osia. Tästä syystä tyhjiökatkaisijat toimivat erittäin pitkällä huoltoväleillä. [1]

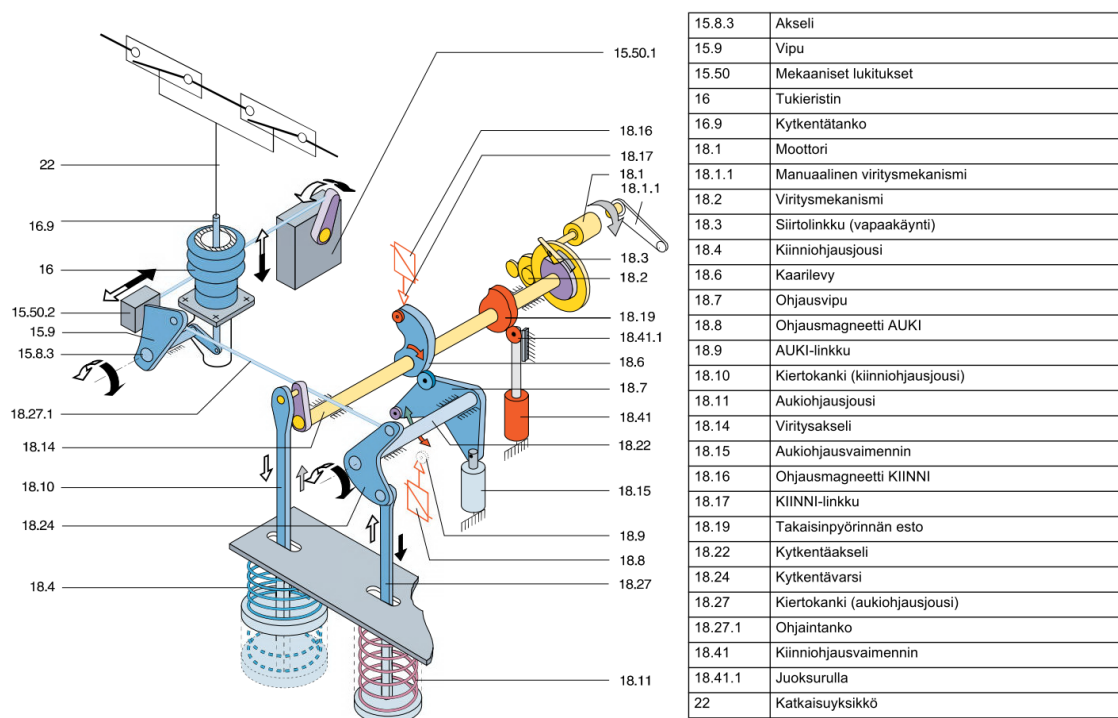
Katkaisuväliaineen lisäksi katkaisijoita voidaan jaotella käyttötarkoituksensa mukaan esimerkiksi johtokatkaisijoihin, muuntajakatkaisijoihin, kiskokatkaisijoihin, generaattorikatkaisijoihin ja kompensointikatkaisijoihin. Katkaisijan käyttötarkoitus vaikuttaa siihen, minkälaisia ominaisuuksia siltä vaaditaan. Johtokatkaisijoiden tulee kestää ukkosen aiheuttamia transienttijännitteitä, kun taas kompensointikatkaisijoiden tulee kestää lähes päivittäistä reaktiivisen virran katkaisua. [4]

Kolmas tapa jaotella katkaisijoita on sijaitseeko katkaisuyksikkö maan (dead-tank) vai suurjännitteen potentiaalissa (live-tank). Suurjännitepotentiaaliset katkaisijat ovat kustannustehokkaampia, sillä kalliita suurjänniteläpivientejä ei tarvita. Maan

potentiaaliin rakennettavien katkaisijoiden lämpötilakestävytydet ovat lisäksi suurjännitepotentiaalisia huonommat. Kaikki Fingridin käytössä olevat 110 kV, 220 kV ja 400 kV kaasukatkaisijat, ovat live-tank tyyppisiä. [1]

2.1.2 Osat

Katkaisijan ohjain ohjaa katkaisijan toimintaa ja varastoi toiminnan vaatimaa energiaa. Ohjaimia voi olla katkaisijassa olla joko yksi tai kolme. Yksi jokaiselle vaiheelle tai yksi yhteinen katkaisijan kaikille vaiheille. Kolmiohjaimisia katkaisijoita pystytään tarvittaessa avaamaan ja sulkemaan vaihe kerrallaan, kun taas yksiohjaiminen katkaisija toimii aina kolmevaiheisesti. Ohjain myös tuottaa katkaisijalle sen tarvitseman ohjausenergian. [1] Fingridin 400 kV katkaisijat ovat yleensä kolmeohjaimisia kun taas 110 ja 220 kV katkaisijat ovat yleensä yksiohjaimisia. Kaasukatkaisijoissa ohjausenergia on yleensä varastoitu mekaaniseen jouseen. Muita käytettäviä energian varastointitapoja ovat pneumaattiset ja paineilmalla toimivat ohjaimet. [4] Kuvassa 2 on esitetty tarkemmin ohjaimen ja voimansiirron rakennetta



Kuva 2: 3PA2 katkaisijan ohjain ja voimansiirto [2].

Napa on katkaisijan osa, joka sijaitsee pääpiirin yhdessä vaiheessa. Navassa sijaitsevat katkaisuyksiköt ja suurjänniteliittimet. Napaan eivät kuulu katkaisijan osat, jotka kannattelevat tai ohjaavat useampaa napaa. Katkaisuyksikkö on navan osa, joka toimii katkaisijana, katkaisten tai sulkien virtapiirin tarvittaessa, joko yksin tai sarjassa muiden vastaavien katkaisuyksiköiden kanssa. [5][6]

Katkaisuyksiköitä voi olla useampia peräkkäin sarjassa, yleensä mitä suurempia jännitteitä katkaistaan, käytetään useampaa katkaisupäätä. SF₆-kaasukatkaisijoita

käytettäessä pärjätään kahdella katkaisuyksiköllä 400 kV jännitteellä, mutta vanhoissa vähäöljykatkaisijoissa näitä on voinut olla jopa kahdeksan sarjassa. [1]

Tukieristimen tehtävänä on eristää katkaisijan suurjännitteiset osat maan potentiaalissa olevista ja kannatella suurjännitepotentiaalissa olevaa napaa.

2.1.3 Toiminta

Kun katkaisijan halutaan avautuvan, johdetaan virta kulkemaan katkaisijan laukaisupiireihin. Katkaisijassa on yleensä kaksi laukaisupiiriä, joista kumpikin pystyy itsenäisesti laukaisemaan katkaisija. Tällöin vika toisessa piirissä ei aiheuta katkaisijan toimimattomuutta. Laukaisupiireihin voidaan ohjata virta esimerkiksi suojareiden avulla. Laukaisupiireihin johdettu virta vapauttaa katkaisijan avaussalvan. Tällöin aukiohjausjouseen varastoitu energia välittyy voimansiirron avulla katkaisupäille, jossa sitä käytetään koskettimien avaamiseen. Voimansiirtoon käytetään yleensä tukieristimen sisälle sijoitettua kytkentätankoa. [7]

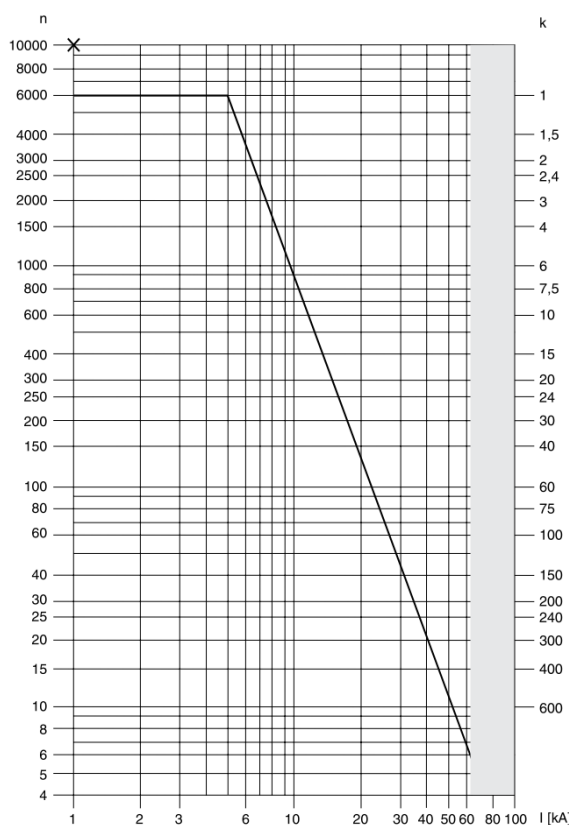
Modernissa kaasukatkaisijassa katkaisuyksiköiden sisällä sijaitsevat, SF₆-eristekaasun ympäröimänä, kahdet rinnakkaiset koskettimet, pääkoskettimet ja valokaarikoskettimet. Pääkoskettimet ovat koskettimet, joiden kautta virta kulkee katkaisijan läpi normaalissa käyttötilanteessa katkaisijan ollessa kiinni. Katkaisijan avautuessa ensin pääkoskettimet avautuvat, jolloin katkaisijan läpi kulkeva virta siirtyy valokaarikoskettimille. Katkaisijan jatkaessa avautumista myös valokaarikoskettimet irtoavat toisistaan, jolloin niiden välille syntyy valokaari.

Itsepuhallusperiaatteella toimivissa katkaisijoissa valokaaren sammuttamiseen tarvittava energia otetaan osin katkaistavasta virrasta. Valokaaren aikaansaama kaasun lämpeneminen nostaa painetta ja aiheuttaa kaasuun virtauksen. Valokaarikoskettimien välisen matkan kasvaessa myös valokaari pitenee. Koskettimien liike liikuttaa mäntää, jonka avulla saadaan aikaan myös voimakkaan kaasuvirtauksen. Kaasuvirtaus ja koskettimien välimatkan kasvu pidentävät valokaarta. Valokaaren pidentyessä myös sen resistanssi kasvaa. Virran saavuttaessa nollakohdan, valokaari jäähtyy nopeasti ja katkaisuväliaine muuttuu johteesta eristeeksi. Tällöin katkaisijan läpi kulkeva virta sammuu ja katkaisu on suoritettu. Ohjaustapahtuman lopussa jäljellä oleva liike-energia vaimennetaan aukiohjausvaimentimen avulla. [1][2]

Katkaisijan avautumisaika (opening time) määritellään olevan aika siitä, kun laukaisupiiriin johdetaan virtaa, siihen, kun katkaisijan valokaarikoskettimet ovat irronneet toisistaan kaikissa navoissa. Jos navassa on useampia katkaisuyksiköitä, avautumisaika lasketaan loppuvaksi kun viimeisen navan ensimmäiset valokaarikoskettimet ovat irtaantuneet. Katkaisijan avautumisaikaa kutsutaan usein katkaisijan toiminta-ajaksi. Katkaisijan mekaaninen toimintanopeus riippuu myös jonkin verran lämpötilasta. Vaiheiden epätahtisuus tarkoittaa nopeimman ja hitaimman vaiheen avautumisaikojen välistä ero. Katkaisijan katkaisuajan (break time) määritellään olevan aika siitä, kun laukaisupiiriin johdetaan virtaa, siihen kun valokaari on sammunut kaikissa navoissa.

Katkaisijan valokaariajaksi (arching time) lasketaan se aika, joka kestää siitä hetkestä jolloin valokaari syttyy ensimmäisessä navassa, siihen kun valokaari on sammunut kaikissa navoissa. [5][6] Vaihekohtainen valokaariaika saadaan laskettua

vähentämällä vaiheen katkaisuajasta avaautumisaika. Nopea valokaaren sammutus on tärkeää. Valokaaren palaminen aiheuttaa SF₆-kaasuun epäpuhtauksia. Valokaaren palaminen myös sulattaa katkaisijan koskettimista materiaalia kuluttaen katkaisijan valokaarikoskettimia. Tästä syystä katkaisijavalmistajat takaavat laitteidensa toiminnan vain tiettyyn määrään katkaisuja asti. Kuluminen voimakkuus riippuu katkaistavasta virrasta. Kuvasta 3 nähdään 3AP2 katkaisijan sallittujen aukiohjausten määrä eri virroilla tapahtuvilla laukaisuilla. Katkaisija voi katkaista normaalin kuormavirran 6 000 kertaa, mutta suuren 50 000 ampeerin vikavirran vain 10 kertaa. Eri valmistajien katkaisijoilla ja eri katkaisijatyypeillä on erilaiset koskettimien kulumista kuvaavat ominaiskäyrät.

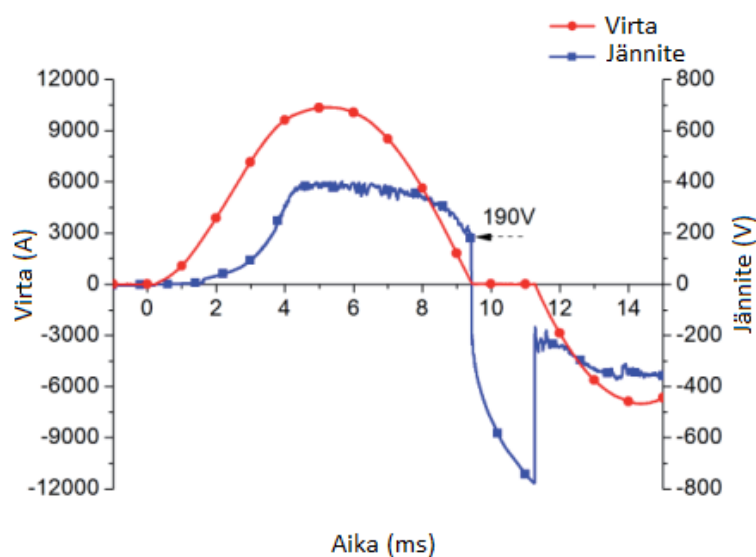


Kuva 3: 3AP2 katkaisijan sallittujen aukiohjausten lukumäärä katkaistun virran määrästä riippuen [2].

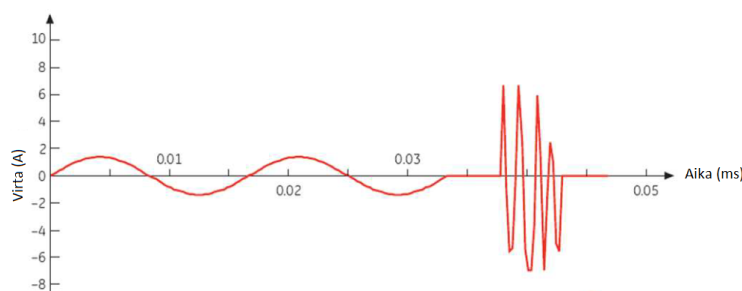
Valokaaren sammuttua, se voi myös syttyä uudelleen. Tämä ilmiö esiintyy erityisesti pienillä kuormavirroilla kapasitiivisten laukaisujen yhteydessä. Jälleensyttyminen (restrike) tarkoittaa virran palaamista koskettimien välille aikaisintaan ensimmäisen neljännesjakson jälkeen virran katkeamisen jälkeen. Uudelleensyttyminen (re-ignition) tarkoittaa virran palaamista koskettimien välille ensimmäisen neljännesjakson aikana virran katkeamisen jälkeen. [5][6]

Jälleen- ja uudelleensyttymiset ovat erityisen haitallisia erityisesti kondensaattorikatkaisijoilla, sillä jälleensyttyminen varaa kondensaattorin ja voi johtaa suuriin jännitetransientteihin [8]. Uudelleensyttymisen aiheuttamat virran ja jännitteen käy-

rämuodot pienjännitekatkaisijalla on esitelty kuvassa 4. Jälleensyttymisen virran käyrämuoto kondensaattorikatkaisijalla on kuvattu kuvassa 5. SF₆-katkaisijat ovat yleensä jälleensyttymättömiä ja sysäysvirtakestäviä [1].



Kuva 4: Uudelleensyntyminen pienjännitekatkaisijassa [9].



Kuva 5: Jälleensyntyminen kondensaattorikatkaisijalla [10].

Katkaisijan kiinniohjaus toteutetaan samantapaisella periaatteella kuin aukiohjaus. Koskettimet ohjataan kiinniohjausjousten energian avulla yhteen kiinni saadun ohjauskäskyn perusteella. Katkaisijassa kiinniohjaus piirejä on yleensä vain yksi, sillä kiinniohjaus ei ole niin kriittinen toimenpide kuin laukaisu. Kiinniohjaustapahtuman lopussa jäljelle jäänyt liike-energia vaimennetaan kiinniohjausvaimentimen avulla. Ohjauksen lopuksi katkaisijan avaussalpa lukittuu. Katkaisijan sulkeminen virittää aukiohjausjousten, jolloin katkaisija on valmis avautumaan uudelleen välittömästi sulkeuduttuaan. [7][2]

Koskettimien sulkeutumisaika (closing time) on aika siitä kun kiinniohjaus piiriin johdetaan virta, siihen kun valokaarikoskettimet koskettavat toisiaan kaikissa navoissa. Sulkeutumisaika (make time) on aika siitä, kun kiinniohjauspiiriin johdetaan virta, siihen kun virta alkaa kulkea ensimmäisessä navassa. [5][6]

Kiinniohjauskäskey käynnistää myös jousen viritysmoottorin. Kiinniohjausjousi ladataan sähkömoottorin avulla. Viritysmoottorin toiminta-aika kuvaa aikaa, joka viritysmoottorilta kestää virittää katkaisijan kiinniohjausjousi valmiiksi uutta toimintaa varten. Katkaisijan ollessa kiinni, sen kiinni- ja aukiohjausjouset ovat virittyneinä. Tällöin katkaisija on valmis auki - kiinni - auki toimintaan. [2] Viritysmoottorin toimintaan kuuluu normaalisti noin 10–20 sekuntia katkaisijatyypistä riippuen. R104023

2.1.4 Viat

Viat voidaan jaotella joko kunnossapidolla ehkäistävissä oleviin, sekä siitä riippumattomiin vikoihin. Kunnossapidon avulla ei voida ehkäistä luonnonilmiöistä aiheutuneita vikoja, eikä inhimillisiä virheitä. Katkaisijoilla tällaisia ovat muunmuassa ukkosvauriot sekä asennusvirheet. [4]

Katkaisijoiden päätoimintoja ja niiden vikaantumismuotoja on esitetty alla. Listaustaus perustuu vuonna 2002 Fingridissä tehtyyn RCM-työryhmän analyysiin: [4]

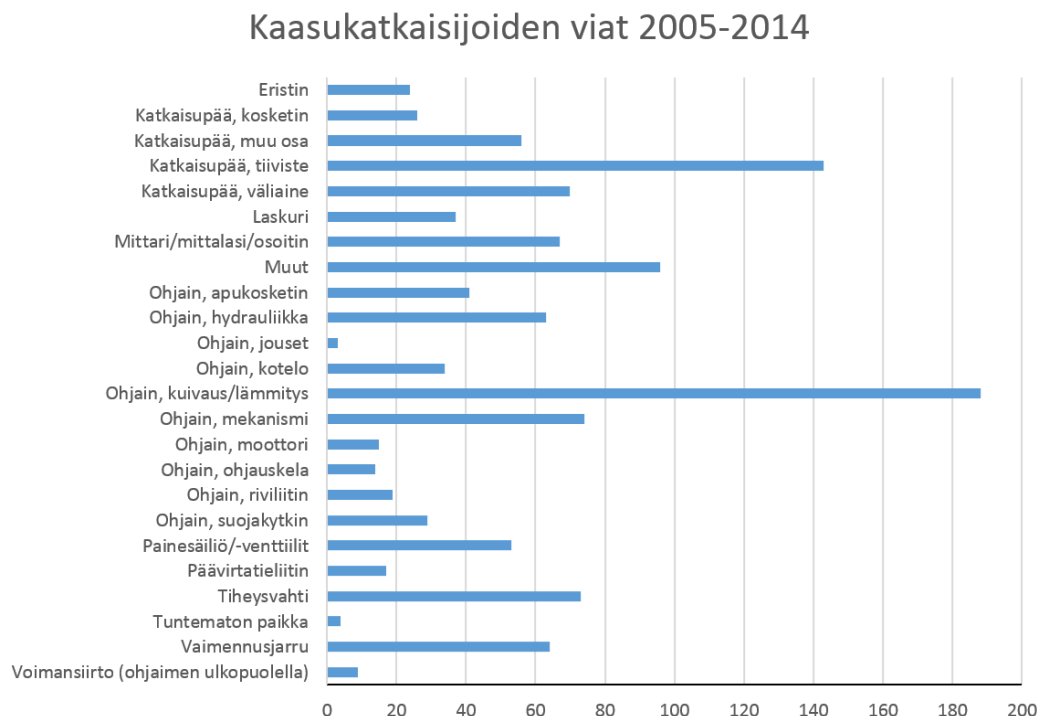
1. Katkaista virtapiiri kolmivaiheisesti
 - (a) Mikään vaihe ei aukea
 - (b) Epäsymmetrinen eli vajaanapainen katkaisu
 - (c) Virta ei katkea
 - (d) Aukeaa liian hitaasti
 - (e) Aukeaa liian suurella eriaikaisuudella
2. Sulkea virtapiiri kolmivaiheisesti
 - (a) Mikään vaihe ei sulkeudu
 - (b) Epäsymmetrinen sulkeutuminen
 - (c) Sulkeutuu epätäydellisesti (valokaari)
 - (d) Sulkeutuu liian hitaasti
 - (e) Sulkeutuu epäsymmetrisesti
3. Suorittaa jälleenkytkennät (johtokatkaisijat)
 - (a) Katkaisija ei sulkeudu avauksen jälkeen
4. Johtaa virtaa riittävän pienellä resistanssilla kiinni ollessaan
 - (a) Liian suuri resistanssi
5. Pysyä auki
 - (a) Lämpilyönti koskettimien välillä
6. Pysyä kiinni

- (a) Kaasun paine liian alhainen
- (b) Aukeaa välittömästi sulkemisen jälkeen

Kuosan vuonna 2007 tekemässä selvityksessä Fingridin kaasukatkaisijoiden vioista analysoitiin vikaantuneet osat. Jakauma on seuraava: [4]

- Eristin 1 %
- Katkaisupää 29 %
- Ohjaimen sähköiset osat 35 %
- Ohjaimen mekaaniset osat 15 %
- Päävirtatieliitin 2 %
- Painevaraaja ja venttiilit 3 %
- Mittarit ja osoittimet 14 %
- Muut 2 %

Tuloksista havaitaan että katkaisija vikaantuu useimmiten ohjainpiiristään. Katkaisijan ohjaimen toimimattomuus aiheuttaa sen, että katkaisija ei aukea tai mene kiinni toivotusti. Tämä voi johtua esimerkiksi huonosta voitelusta. Kuvassa 6 on kuvattu kaikkien Fingridin kaasukatkaisijoiden vikaantuneet osat vuosina 2005–2014 [11].



Kuva 6: Katkaisijoiden vikaantuneet osat vuosina 2005–2014.

2.2 Erottavat katkaisijat

Erottava katkaisija on katkaisija, joka sisältää myös erottimen toiminnot näkyvää avausväliä lukuun ottamatta. Kuvassa 7 on erottava katkaisija asennettuna sähköasemalle. Erottava katkaisija yhdistää katkaisijan ja erottimen toiminnot samaan SF₆-kammioon. Tämä on voitu saavuttaa mitoittamalla katkaisukammio käyttötarkoitukseen sopivaksi, jolloin myös erottimille asetetut eristyslujuusvaatimukset täyttyvät. [7][13]



Kuva 7: ABB:n erottava katkaisija HPL420B2 [12].

Katkaisijatekniikka on kehittynyt viimeisinä vuosikymmeninä huomattavasti. Vähäöljykatkaisijoista on siirrytty SF₆-katkaisijoihin. Tämä on johtanut katkaisupäiden huomattavaan vähenemiseen katkaisijoissa. Myös katkaisijan ohjaukseen vaadittavat voimat ovat vähentyneet. Kehityksen ansiosta nykyiset katkaisijat vaativat huomattavasti vähemmän kunnossapitoa vähäöljykatkaisijoihin nähden. Katkaisijoiden huoltovälit ovat kasvaneet ja vikataajuudet laskeneet. Erottimien vastaava kehitys ei ole ollut yhtä nopeaa. Nykyisin erottimet vaativat enemmän kunnossapitoa kuin SF₆-katkaisijat. Lisäksi erottimien huolloista ja vioista sekä näiden vaatimista keskeytyksistä syntyy huomattavia kustannuksia. Myös Fingridin erottimet ovat kärsineet suuresta vikataajuudesta. [12] Katkaisijoiden kehityksen myötä erottimien tarve katkaisijoiden huoltojen mahdollistamiseen on vähentynyt. Muut erottimien päätoiminnot, kuten johtojen ja muuntajien erottaminen verkosta, voidaan suorittaa myös

erottavien katkaisijoiden avulla. [14]

Ruotsissa on esitelty 1970 luvulla ja myöhemmin otettu käyttöön toimintatapa, jossa erottimet rakennetaan vain katkaisijan johdon puolelle. Kiskon puolelle on rakennettu kiinteä, nopeasti käsin avattavissa oleva erotusväli, jonka avulla katkaisija saadaan tarvittaessa irrotettua verkosta huolto- tai korjausta varten. [14] Käytettäessä erottavia katkaisijoita myös johtoerottimet voidaan jättää pois asemilta. Tällöin avattavat erotusvälit on rakennettava erottavan katkaisijan molemmille puolille.

Erottavilla katkaisijoilla ei saavuteta näkyvää erotusväliä, kuten perinteisten erottimien avulla. Erottavissa katkaisijoissa erotus tapahtuu katkaisijan koskettimien avulla suljetussa SF₆-kammiossa. Tällöin koskettimet eivät ole tekemisissä ulkoilman ja sen haitallisten ilmiöiden, kuten saasteiden ja jään kanssa. Auki ollessaan koskettimien välinen etäisyys täyttää erottimille standardeissa määrätyt eristyslujuusvaatimukset. [14] Erotuksen varmistamiseksi erottaviin katkaisijoihin on rakennettu lukitustoiminto joka estää katkaisijan kiinniohjauksen lukituksen ollessa päällä. [1]

Erottaville katkaisijoille ei hyväksytä jännitteenjakkokondensaattoreita eristysvaatimuksista johtuen. Jännitejakkokondensaattoreita ei käytetä, jotta varmennetaan pitkäaikainen jännitekestoisuus avausvälin yli, sekä se, ettei muodostu rakennetta johon lumisilta pääsee helposti kasaantumaan. [12]

Erottavia katkaisijoita on otettu käyttöön viimeisen vuosikymmenen aikana Fingridin duplex-kytkinlaitoksilla. Fingridillä on 10.11.2015 käytössä 99 erottavaa katkaisijaa, joista 83 kappaletta on käytössä 400 kV asemilla ja 16 kappaletta 110 kV asemilla. [15]

2.3 Nykyinen kunnonhallinta

Kaasukatkaisijoiden suunniteltu käyttöikä on 40 vuotta. Katkaisijan kunnonhallinnan tavoitteena on saavuttaa tämä tavoite, pitämällä laitteet toimintakuntoisina tai palauttaa ne toimintakuntoon viankorjauksen avulla. [16] Tässä luvussa kerrotaan millaisten huolto- ja kunnossapitotoimenpiteiden avulla tähän pyritään tällä hetkellä. Luvussa selvitetään lisäksi millaisia kunnonvalvontamittauksia katkaisijoille suoritetaan tällä hetkellä sekä, sekä kerrotaan mitä kuuluu tällä hetkellä Fingridin erottavien katkaisijoiden kunnonhallintaan.

Tällä hetkellä katkaisijoiden kunnossapidon pääperiaatteena käytetään huolto-politiikkaa, jossa laitteille suoritetaan jaksollisia ennakoivia huoltoja. Nykyisin katkaisijoille tehdään diagnostiset toiminta-aikamittaukset tyypillisesti noin 10 vuoden välein. Jos katkaisija vikaantuu mittausten välillä, on epätodennäköistä, että vika havaittaisiin ennakoivasti, jos selvää visuaalista indikaatiota viasta ei ole todettavissa. Kaasukatkaisijan katkaisukammio avataan vain tarvittaessa.

Kunterustaisen kunnonhallinnan periaatteiden mukaan laitteiden toimintaa valvotaan joko jatkuva-aikaisesti tai mitataan määrääjain, ja kunnossapitotoimet kohdistetaan vain tarvittaessa. Kunterustaisen kunnonhallinnan avulla pyritään parantamaan katkaisijoiden toiminnan luotettavuutta, sekä kohdistamaan kunnossapidosta aiheutuvia kustannuksia hyödyllisemmin. [17] Kaasukatkaisijoilla on tavoitteena siirtyä kohti tämänkaltaista lähestymistapaa.

2.3.1 Aikaperustaiset huollot ja tarkastukset

Kaasukatkaisijoille suoritettavia erilaisia huoltotoimenpiteitä ja niiden taajuuksia on esitetty taulukossa 2. [16]

Taulukko 2: Kaasukatkaisijoiden nykyiset kunnossapitotoimenpiteet Fingridissä.

Toimenpide	Aikaväli	Käyttötila
Kausitarkastus	Useasti vuodessa	Laite käytössä
Lämpökuvaus	1 vuotta	Laite käytössä
Mittaushuolto	4–10 vuotta	Käyttökeskeytys. Kesto noin 8 tuntia.

Katkaisijan kausitarkastus tehdään useamman kerran vuodessa samalla kertaa aseman kausitarkastuksen kanssa noin 1–3 kertaa vuodessa. Kausitarkastuksen yhteydessä tarkistetaan katkaisijan kuivaus- ja lämmitysvastusten toimivuus, tarkistetaan vaimennusjaru ja hydraulikka- ja paineilmajärjestelmä vuotojen varalta sekä varmistetaan näiden olevan ehjiä. Lisäksi katkaisijan ohjain puhdistetaan ja katkaisijan toimintalaskurien lukemat kirjataan muistiin. Kausitarkastus ei vaadi laitteelle keskeytystä, eli sitä ei tarvitse ottaa irti verkosta.

Katkaisijan lämpökuvaus suoritetaan koko sähköaseman lämpökuvauksen yhteydessä noin vuoden välein, yleensä syksyisin. Laitteiden lämpökuvauksella voidaan nähdä kuinka lämmin katkaisija sekä sen virtaliittimet ja sen katkaisupäät ovat. Ylimääräinen lämpenemä voi olla merkki viasta. Myös lämpökuvaus suoritetaan laitteen ollessa käytössä.

Kaasukatkaisijoille mittaushuolto tehdään 4–10 vuoden välein tai jos 2000 katkaisijan toiminnan raja tulee tätä ennen täyteen. Mittaushuollossa katkaisijasta mitataan sen kunnosta kertovia arvoja, kuten esimerkiksi auki- ja kiinniohjausten toiminta-ajat ja kaasukatkaisijoilta kaasun kosteus ja SF₆-pitoisuus. Lisäksi katkaisijan ohjain ja voimansiirtojärjestelmä puhdistetaan ja voidellaan. Katkaisijan koskettimien kuntoa voidaan arvioida ylimenoresistanssimittauksen avulla [4]. Mittaushuolto vaatii katkaisijalle noin 8 tunnin käyttökeskeytyksen, mutta ei vaadi katkaisijan katkaisuyksikön avaamista.

Lisäksi SF₆-katkaisijoille tehdään pistokoe- tai laitetyyppikohtaisia sisäosien, tiivisteiden ja suodattimien kuntokartoituksia ja -korjauksia sekä tarveperusteisesti täyshuoltoja, joissa katkaisupäät avataan. Täyshuolto vaatii pitkän, 3–10 päivää kestävästä keskeytyksestä laitteelle. [16]

2.3.2 Mittaushuolto

Kaasukatkaisijoille suoritetaan mittaushuolto katkaisijan tyypistä riippuvien aikavälien tai toimintakertojen mukaan. Joillekin katkaisijoille mittaukset suoritetaan tiheämmin kuin toisille johtuen katkaisijoiden erilaisesta vikaantumisherkkyydestä ja ominaisuuksista. Reaktori- ja kondensaattorikatkaisijoilla toimintakertoraja voi täytyä, johtuen lähes päivittäisistä ohjauksista, jolloin huolto mittaushuolto

täytyy suorittaa ennen täyden aikajakson täyttymistä. Uusille katkaisijoiden lajityypeille huoltoväliksi määrätään pääsääntöisesti 10 vuotta, jollei tiedossa ole erityisiä tarkastuskohteita tai oletettavaa suurempaa vikaherkkyttä.

Katkaisijoiden mittaushuollossa katkaisija kytketään irti verkosta, jolloin voidaan suorittaa seuraavat katkaisijan toimintaa tarkastelevat mittaukset [16]:

- Katkaisupäiden toiminta-aikojen mittaus huollon jälkeen: normaali auki- ja kiinniohjaus, pääkoskettimien lyhin kiinnioloaika (testilaitteiston viive tuloksesta poistettuna) sekä napojen välisen eriaikaisuuden mittaus.
- Katkaisupäiden ylimenoresistanssin mittaus ilman liittimiä ja liittimien kanssa (300 A) huollon jälkeen.
- SF₆-kaasun kosteuden, palamistuotteiden ja SF₆-pitoisuuden mittaus.
- DRM-mittaus (Dynamic Resistance Measurement) katkaisijan auki-kytkennässä liikeaikakäyrällä.
- Ohjauskelojen alimman toimintajännitteen mittaus huollon jälkeen.
- Viritysmoottorin virran mittaus sekä käyntiaika.

Mittaushuollon yhteydessä, ohjaimen ja navan huoltotoimenpiteiden jälkeen katkaisijan toiminta-ajat mitataan katkaisijan mittalaitteen avulla. Tällainen laite on esimerkiksi Megger TM1600. Laite on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8: Katkaisijan mittalaite TM1600

Laitteen avulla katkaisijan auki ja kiinnikytkentöjen toiminta-ajat voidaan mitata 0,1 ms tarkkuudella. Laitteen avulla on myös mahdollista mitata katkaisijan liikeaikakäyrä, jos katkaisijan ohjaimen liitetään liikettä mittaava mittapää. Mittausten

suorittamiseksi mittalaite kytketään katkaisijoiden suurjänniteliittimiin ja katkaisijan ohjauspiireihin kiinni. Laite lähettää aukiohjauskelalle toimintakäskyn, jolloin mittaaminen alkaa. Kun laite havaitsee, että virta ei pääse kulkemaan katkaisijan läpi katkaisijan valokaarikoskettimet ovat irronneet toisistaan ja mittaaminen loppuu. Mitattu aika on katkaisijan auki-kytkennän toiminta-aika. Esimerkki toiminta-aikamittauksen tuloksista on esitetty liitteessä A. Vastaavasti kiinniohjauskelan avulla voidaan mitata katkaisijan kiinni-kytkentäaika. Katkaisijan toiminta-ajat kertovat katkaisijan ohjaimen ja voimansiirron mekaanisesta kunnosta sekä koskettimien kulumisen vaikutuksesta katkaisijaan. Toiminta-aikojen on pysyttävä valmistajien antamissa rajoissa. Erityisesti napojen välistä eriaikaisuutta ei saa esiintyä. Pidentyneet toiminta-ajat kertovat katkaisijan ohjaimen voitelun heikentymisestä tai muista ongelmista katkaisijan ohjaimen mekaanisessa kunnossa.

Mittaushuollossa katkaisijoista mitataan myös ylimenoresistanssit. Mittauksen tarkoituksena on selvittää katkaisijan pääkoskettimien kulumista ja puhtautta. Koskettimien kulumisen havaitaan mittauksessa kohonneena ylimenoresistanssin arvona. Perinteinen ylimenoresistanssin mittausta, ei anna kuvaa valokaarikoskettimien kunnosta, sillä se suoritetaan katkaisijan ollessa kiinni. Valokaarikoskettimet on tarvittaessa tutkittu avaamalla katkaisija napa.

Kaasukatkaisijoiden mittaushuoltojen yhteydessä katkaisijoille suoritetaan lisäksi DRM-mittaus (dynamic contact resistance measurement, dynaaminen koskettimien resistanssimittaus). DRM-mittauksen avulla valokaarikoskettimien kulumista voidaan tarkastella avaamalla katkaisijaa. [17] DRM-mittauksessa katkaisijan yli näkyvää resistanssia mitataan katkaisijan auki ja kiinniohjauksen aikana syöttämällä virtaa katkaisijan läpi ja mittaamalla katkaisijassa tapahtuva jännitteen alenemaa. Katkaisijan auetessa tai sulkeutuessa resistanssi muuttuu, katkaisijan pää- ja valokaarikoskettimien liikkeen mukana virran kulkureitin muuttuessa. Virran kulkiessa pääkoskettimien läpi, resistanssi on erittäin pieni noin 30–40 $\mu\Omega$. Valokaarikoskettimillä resistanssi on huomattavasti suurempi, noin 500–000 $\mu\Omega$. Valokaarikoskettimien irrotessa toisistaan, resistanssi kohoaa hyvin suureksi. [18][19]

DRM-mittaus on erityisen tarpeellinen katkaisijoille, joilla koskettimet kuluvat paljon ja toimintakertoja on paljon. Tällaisia katkaisijoita ovat erityisesti kompensointikatkaisijat. DRM-mittauksesta voidaan havaita koskettimien kulumisen ja koskettimien asentovirheet. Liittämällä mittaukseen mukaan myös katkaisijan liikeajat DRM-mittauksen tuloksien kanssa yhteen, voidaan tarkastella tarkemmin koskettimien liikkumista. Valokaarikoskettimien liiallinen kulumisen tai vääntyminen voi heikentää katkaisijan katkaisukykyä. [17][18] DRM-mittauksista ei voida suorittaa ilman käyttökeskeytystä ja katkaisijan erottamista muusta verkosta. Jos DRM-mittaus tehdään katkaisijan käyttöönoton yhteydessä, saadaan katkaisijan koskettimien resistanssista vertailukohta, jota voidaan käyttää myöhemmissä mittauksissa referenssinä. Tällöin alkava kulumisen on helpompaa havaita vertailemalla uutta ja vanhaa mittausta keskenään. [4]

Mittaushuollon yhteydessä mitataan myös ohjauskelojen toimintajännitteet. Nämä kertovat, minkä jännitteen katkaisijan ohjaimen ohjauspiirit vaativat toimiakseen. SF₆-kaasun kosteus ja palamistuotteet heikentävät väliaineen dielektrisiä ominaisuuksia ja aiheuttavat korroosiota. Palamistuotteita muodostuu kaasuun valokaarien

vaikutuksesta. Myös viritysmoottorin jousen lataamiseen käyttämä aika mitataan. Hietaus jousen latauksessa voi kertoa voitelun puutteesta ohjaimen viritysmekanismissa. Myös moottorin toiminnan heikentyminen vaikuttaa latausaikaan. [4]

Mittausten lisäksi huollon yhteydessä suoritetaan seuraavat tarkastukset ja toimenpiteet: [16]

- Mahdollisen seoskaasun seossuhteen tarkistus SF₆-pitoisuuden perusteella.
- SF₆-tiheysvahtien toiminnan ja oikeiden asetteluarvojen tarkastus sekä kaasun paineen ja lämpötilan tarkastus.
- Kiinnityspulttien (ml. päävirtapiiriin liittimet) kireyden varmistus.
- Katkaisijaan lisätyn SF₆-kaasun määrän kirjaaminen Maximo omaisuudenhallintajärjestelmään grammoina.
- Katkaisukammioeristimen ja sen metallilaipan välisen betonisauman kunnan varmistus.
- Tangoston ja vivuston (ml. niveltapit, laakerit, jousistot ja lukitukset) puhdistus, tarkastus, säätö, voitelu ja liikuttelu.
- Ohjainkaapin puhdistus ja tiiveyden tarkistus.
- Auki- ja kiinniohjausmekanismin sekä virityslaitteiston puhdistus, toiminnan tarkistus (ml. välkykset) voitelu ja liikuttelu.
- Apukoskettimien (ml. lukituksen apureleet) toiminnan tarkastus visuaalisesti.
- Vaimentimien tarkastus (nesteet, vuodot, kiinnitys).
- Kitkakytkimen säädön tarkastus.
- Lämmitys- ja kuivausvastusten toiminnan tarkastus.
- Ohjaimen liittimien kireyden varmistus.
- Toimintakertojen kirjaaminen (huollon jälkeen).
- Katkaisijan ulkoinen visuaalinen tarkastus ja mahdollisten vikojen havainnointi sekä arvokilpien ja laitetunnusten kunnan tarkastus ja tarvittaessa puhdistus.
- Laitteen kilpitietojen vertaaminen huoltopöytäkirjaan.
- Mittarien kunnan ja mittarilukemien tarkistus.
- Eristimien puhdistus ja silmämääräinen tarkastus.
- Hälytysten (mm. kaasunpaine, lukituspaine, moottorinsuojakytkin, ohjaimen lämpötila, apusähkö, hydraulikka) toiminnan testaus ja tilatiedon tarkistus ala-aseman paikallistyöpisteelle, aseman ohjaustaululle tai hälytyskeskukseen saakka.

- Mahdollisten lukitusten toiminnan testaus.
- Ympäristön lämpötilan mittaus.

2.3.3 Kaasunpainevalvonta

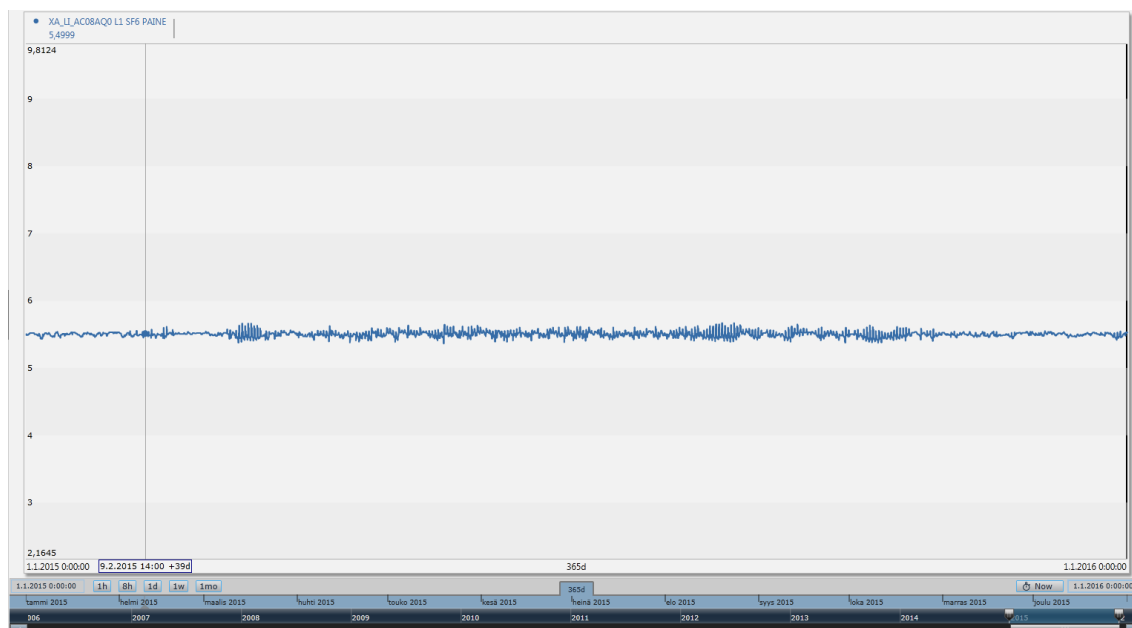
Kaasukatkaisijoissa eristeväliainekaasuna käytettävä SF₆ (rikkiheksafluoridi) on syntetttinen, huoneenlämmössä kaasuna esiintyvä yhdiste, joka on hajutonta, mautonta, väritöntä, myrkytöntä ja palamatonta sekä reagoi erittäin heikosti muiden aineiden kanssa. SF₆-kaasu on noin viisi kertaa ilmaa raskaampaa, joten se karkuun päästessään laskeutuu maan pinnalle. SF₆-molekyylillä on erittäin vahvasti elektronegatiivinen. Tästä syystä kaasun erittäin hyvä eriste. SF₆-kaasun sähkölujuus on noin kolminkertainen ilmaan verrattuna. Matalan dissosiaatiolämpötilansa ja korkean dissosiaatioenergiansa johdosta SF₆-kaasulla on hyvät ominaisuudet valokaaren sammuttamiseen. [20]

SF₆-kaasu on erittäin voimakas kasvuhuonekaasu. Sen ilmastoja lämmittävä vaikutus on monituhattakertainen hiilidioksiiniin verrattuna. Tämän takia SF₆-kaasun pääsemistä vapaaksi ilmakehään tulee välttää. SF₆-kaasu ei aiheuta otsonikatoa, sillä se ei sisällä klooria tai bromia. SF₆-kaasu on yksi Kiiton pöytäkirjassa käsiteltävistä kasvihuonekaasuista. [1][20]

Katkaisijan sisällä olevan eristekaasun tiheyden laskiessa mitoittavan kaasuntiheyden alle, jolla laitteen tyyppitestaus on suoritettu, katkaisijan toiminta heikentyy. Myös tämän takia kaasun vuodot ovat haitallisia. Katkaisijoihin rakennetaan valmistajien toimesta toiminto, joka lukitsee katkaisijan toiminnan, lämpötilakompensoidun kaasun paineen laskiessa määrätyn rajan alle. Tällöin katkaisijaa ei voida ohjata auki eikä kiinni. Fingrid haluaa aina pystyä ohjaamaan katkaisijansa auki, jolloin auki toiminnon estävä kaasunpaine lukitus poistetaan katkaisijasta sen takuuaajan jälkeen. Kaasun tiheyden laskiessa määritellyn rajan alle, katkaisijavalmistajat eivät takaa erottavien katkaisijoiden täyttävän vaadittua erotuskykyä. [21]

Alkavat kaasuvuodot voidaan havaita entistä aikaisemmassa vaiheessa kaasun tiheyden jatkuva-aikaisen valvonnan avulla. Alkavat kaasuvuodot voidaan havaita pienistä muutoksista pitkän ajan kuluessa. Jatkuva-aikainen mittaus voidaan toteuttaa katkaisijoiden kaasutilan vastapaineventtiiliin liitetyillä mA-ulostulolla varustetuilla kaasuntiheys antureilla. Mittaukset voidaan johdottaa RTU:lle (remote terminal unit, kaukokäytön ala-asema), minkä kautta tulokset saadaan lähetettyä käytönvalvontajärjestelmään. Käyttäjälle mittaukset esitetään lämpötilakorjattuina paineen arvoina. Kuvassa 9 on esitetty kaasun paineen muutokset katkaisijassa vuoden ajanjaksolla PI coresight ohjelman kautta tarkasteltuna. [12][22]

Kaasun paineen valvonta on erityisen tärkeää erottaville katkaisijoille, sillä kaasun vuoto, erityisesti laitteen toimiessa erottimena, voi aiheuttaa laitteen eristysominaisuuksien heikkenemisen. Kaasunpainevalvonta on käytössä kaikilla Fingridin erottavilla katkaisijoilla. [21]



Kuva 9: SF₆-kaasun paineen muutokset vuonna 2015 PI Coresight ohjelman kautta tarkasteltuna.

2.3.4 Erottavien katkaisijoiden kunnossapito

Erottavien katkaisijoiden käyttäminen asemilla aiheuttaa muutoksia kunnossapitokäytäntöihin perinteisiin kaasukatkaisijoihin verrattuna. Tarkastustoimenpiteet täytyy kohdistaa eri tavalla huomioiden duplex-järjestelmän ja erottavien katkaisijoiden erityispiirteet. Kaasukatkaisijoiden luotettavuus on tänä päivänä huomattavasti paremmalla tasolla kuin vanhemman tekniikan osalta, joten laitteita täytyy huoltaa ja vikoja korjata entistä harvemmin. Erottavilla katkaisijoilla tavoitteena on pyrkiä kohti käytönaikaista tarkastustoimintaa. Aikaperusteisesta huoltamisesta on tavoite siirtyä riski-, luotettavuus- ja kuntoperusteiseen kunnossapitoon ja tehdä perinteisiä keskeytyshuoltoja vain mikäli poikkeamia todetaan. Tämä edellyttää uusia ja nykyaikaisia mittaus- ja tarkastusmenetelmiä sekä työkaluja. Erottaville katkaisijoille ei toistaiseksi ole Fingridissä olemassa omaa kunnossapitopolitiikkaa. Kunnonhallinta suoritetaan kaasukatkaisijoiden eritelmien mukaan. Erottaville katkaisijoille suoritetaan mittaushuolto nykyisin 8–10 vuoden välein mallista riippuen.

Duplex-asemien erottavien katkaisijoiden huoltaminen ja viankorjaus on perinteisiä asemaratkaisuja haastavampaa erottimien puuttumisesta johtuen. Erottavan katkaisijan huolto tai viankorjaus vaatii aina sitä ympäröivien erotusvälien avaamisen. Erotusvälit on toteutettu käyttämällä irrotettavia jomppeja. Erotusvälien avaamiseen vaaditaan aina sekä johto- että kiskokeskeytykset, jolloin katkaisijaa ympäröivät erotusvälit voidaan avata. Avaaminen suoritetaan nosturin avulla. Erotusvälien avaamiseen tarvittava keskeytys kestää noin 2–4 h. Erotusvälien avaus voi maksaa jopa noin 2000–4000 euroa per avausväli. Lisäksi kuluja saattaa syntyä keskeytyksen aiheuttamista häviökustannusten kasvusta. Vastaavasti säästöä syntyy erotinhuolloista ja viankorjauksista aiheutuvien kulujen puuttumisesta. [12][1]

2.4 Kunnonvalvontamahdollisuudet

Laitteiden kuntoa voidaan valvoa kahdella tapaa: jatkuva-aikaisella kunnonvalvonnalla, tai määräajoin tehtävien mittausten avulla. IEEE:n C37.10-2011 katkaisijoiden kunnonvalvontastandardin [23] mukaan katkaisijan kuntoa voidaan valvoa seuraavin toimenpitein:

- Määräaikaisperustaisien visuaalisten tarkastusten ja katkaisijaan liittyvien ilmaisinten ja mittareiden arvojen tarkastelun avulla katkaisijan ollessa käytössä.
- Määräaikaisperustaisien mittareiden arvojen etäluvun avulla katkaisijan ollessa käytössä.
- Määräaikaisperustaisin mittauksin katkaisijaan liitettävien mittareiden avulla.
- Tallentamalla auvomaattisesti katkaisijan perustoimintoja jatkuva-aikaisesti tai ennalta määrätyn aikavälein piirtureiden, tapahtumatallentimien tai häiriötallentimien avulla.
- Katkaisijaan pysyvästi kiinni kytketyn kunnonvalvontalaitteiston avulla.
- Ulkoisten diagnostisten testien avulla. Esimerkiksi toiminta-aikatestien ja resistanssimittauksten avulla.
- Tarkastuksien avulla, jotka vaativat katkaisijan osittaista purkamista.

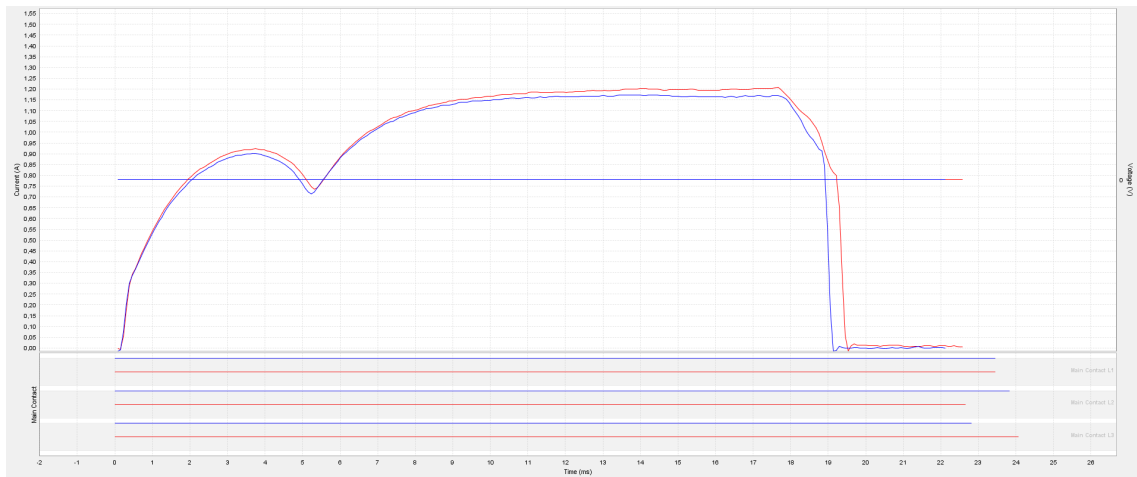
Standardissa on myös eritelty mitä asioita mittaamalla katkaisijan kuntoa voidaan valvoa. Osa mittauksista voidaan suorittaa katkaisijan käytön aikana, jotkin vaativat katkaisijan ohjaamista ja osa katkaisijan irrottamista verkosta.

2.4.1 Kelavirtojen mittaus

Katkaisijan ohjauspiireissä kulkeva virta ei ole tasainen koko ohjaustapahtuman ajan. Mittaamalla ohjauspiireissä kulkevia virtoja, voidaan katkaisijan ohjaimen toimintaa analysoida tarkasti ja havaita ongelmia ohjaimen mekaanisessa toiminnassa ennen katkaisijan vikaantumista. Kuvassa 10 on esitetty kolmeohjaimisen katkaisijan 1. laukaisupiirien virtojen käyttäytymistä katkaisijan aukiohjauksen yhteydessä. Kelavirroista voidaan uusille käyttöönotettaville katkaisijoille mitata laitteen kelavirtojen käyttäytymisen sormenjälki johon myöhempiä mittauksia voidaan verrata. Tällöin muutokset piirissä kulkevien virtojen käyttäytymisessä on helpompi havaita.

Yhdistämällä kelavirtojen mittaukseen mukaan myös virtamuuntajan toisiopiirien virtojen mittaus, saadaan myös katkaisijoiden toiminta-ajat mitattua. Mittaukset voidaan suorittaa ilman katkaisijan erottamista verkosta, mutta katkaisijaa joudutaan ohjaamaan auki ja kiinni mittausten suorittamiseksi. Myös katkaisijan ohjauspiirin jännitteet voidaan mitata samalla. Jännitteen käyttäytymisestä voidaan havaita ongelmia asemien akustoissa ja tasasähköjakelussa.

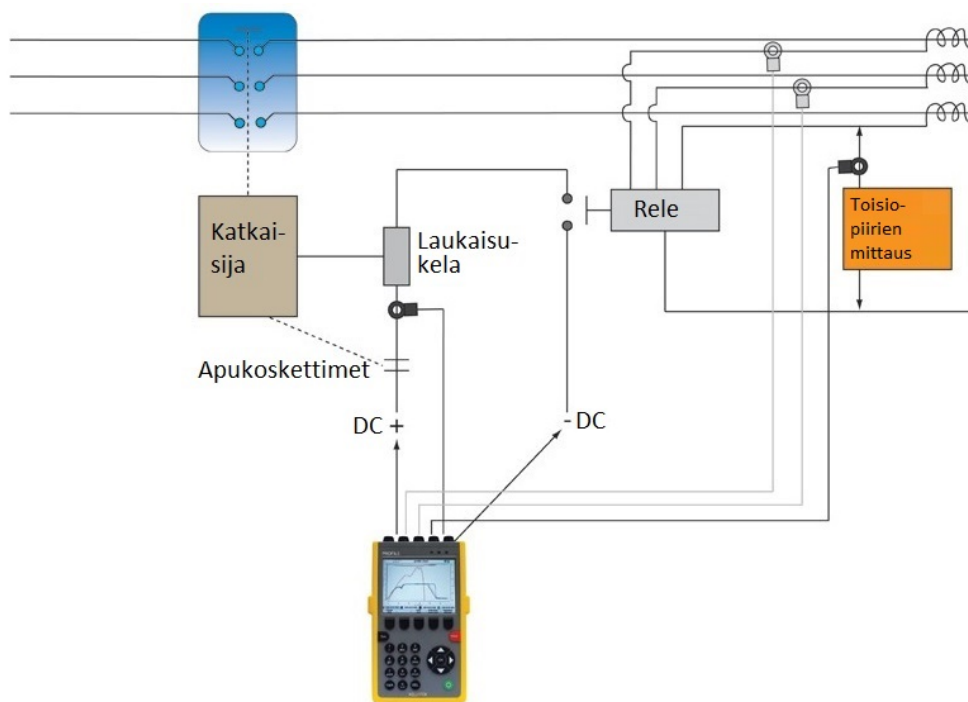
Fingridille on hankittu vuonna 2015 testikäyttöön kelavirtoja mittaava Camlin Powerin Profile P3-mittalaite. Laitteen avulla saadaan mitattua katkaisijan toiminta-ajat, ohjauspiirien kelavirtojen käyrämuodot sekä akkujen DC-jännitteet. Laitteen



Kuva 10: Kelavirtojen käyttäytyminen aukiohjaustapahtumassa.

avulla duplex-asetilla katkaisijan toiminta-ajat voidaan mitata ilman johto ja kisko-keskeytystä. P3-mittalaitteen näytteenottotaajuus on 12,8 kHz.

Mittalaitteella saadaan mitattua katkaisijan toiminta-ajat laukaisukelojen virtojen ja virtamuuntajan toisiovirtojen avulla. Toiminta-aikoja ja kelavirtojen käyrämuotoa analysoimalla saadaan arvioitua ohjausmekaniikan ja salpojen mahdollista jäykkyyttä, toiminta-riskiä ja huoltotarvetta. [21] Laitteen mittauskytKentä asemalla on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11: P3-mittalaitteen mittauskytKentä [24].

Laitteen avulla saadaan mitattua myös katkaisijan ensimmäisen toiminnan nopeus pitkän toiminnattoman ajanjakson jälkeen. Perinteisissä mittaushuolloissa katkaisijan laukaisu huoltoa varten saattaa poistaa hitaan laukaisun aiheuttaman ongelman, jolloin laukaisu mittaustilanteessa voi nopeutua todelliseen tilanteeseen verrattuna. [25]

2.4.2 Releiden sisäiset katkaisijan kunnonvalvontatoiminnot

Osassa moderneista suojarelieistä on olemassa sisäänrakennettu katkaisijoiden kunnonvalvontaan suunniteltu toiminto. Mitattujen arvojen ylittäessä määrätty rajat, rele voidaan määrätä hälyttämään asiasta.

Releet kykenevät usein mittaamaan katkaisijan valokaarikoskettimien kulumista. Releet eivät kuitenkaan pysty mittaamaan todellisia valokaariaikoja, jotka vaikuttavat koskettimien kulumiseen. Myös katkaistun virran laskentaan käytetyt laskentakaavat vaihtelevat eri valmistajien ja jopa saman valmistajan eri laitteiden välillä. Releiden mittaamaa katkaisijan kulumista voidaan käyttää vain suuntaa antavina tietoina, sillä releen käyttämät lähtötiedot ovat usein epätarkkoja. Kulumisen valvonta tulisi myös aloittaa katkaisijan käyttöönoton yhteydessä. Jos katkaisija on ollut pitkään käytössä, jälkikäteen on hankala tietää kuinka suuria vikavirtoja katkaisija on joutunut katkaisemaan ennen valvonnan aloittamista. [26]

Releet voivat myös mitata katkaisijan vian katkaisuun kuluvaa aikaa. Tämä mitataan yleensä laukaisupiirin ja katkaisijan apukoskettimien tilatiedon sekä ennalta määritellyn katkaisijan valokaariajan avulla, eikä todellista virran katkaisuaikaa vaihevirroista lasketa. Releet voivat sisältää myös laukaisu- ja kiinniohjauspiirien valvomiseen suunnitellun toiminnon. Tämä toiminto havaitsee jos laukaisu- tai kiinniohjaus piireistä katoaa ohjausjännite. [26][27]

ABB:n REF615-suojareleeseen, ja muihin saman Relion 615 -tuoteperheen releisiin, on saatavilla monipuolinen sisäänrakennettu katkaisijan kunnonvalvontaominaisuus. Jokainen rele voi mitata kahden katkaisijan toimintaa. Toiminto osaa mitata:

- katkaisijan tilaa
- viimeisestä toiminnasta kulunutta aikaa
- koskettimien toiminta-aikoja
- toimintakertojen määrää
- katkaistun virran I^n t summaa
- jäljellä olevia toimintakertoja
- jousen viritysmoottorin toiminta-aikaa
- kaasun painetta

Rele ei mittaa todellista virran katkaisuhetkeä i^n t mittausta varten vaan katkaisuhetki määritetään apukoskettimen tilanmuutoksen avulla. Tällöin katkaisuaika on jokaisessa

laukaisussa sama [26]. Myöskään SEL 451 -rele ei mittaa omissa toiminnoissaan todellista valokaariaikaa. Rele osaa mitata katkaisijan toiminta-ajan vaihevirtakäyrien avulla yhden jakson tarkkuudella. [28] Myös Siemensin Siprotec 5 tuoteperheen releisiin on saatavilla katkaisijoiden kunnonvalvontatoiminto. Toiminto osaa mitata katkaistujen virtojen erilaisia summia ja integraaleja sekä jäljellä olevia laskennallisia toimintakertoja. Myös tällä releellä valokaariaika tulee syöttää releen parametriksi, eikä se itse osaa sitä mitata. [29]

2.4.3 Katkaisijavalmistajien kiinteät mittalaitteet

Katkaisijavalmistajat tekevät myös itse laitteistoja, joiden tehtävänä on valvoa katkaisijan kuntoa. Laitteet liitetään katkaisijaan, jolloin laite pystyy tarkkailemaan kaikkea katkaisijan toimintaa. Katkaisijan kunnonvalvontalaitteistot ovat yleensä suhteellisen kalliita. Hinta on rajoittanut toistaiseksi näiden laajamittaista käyttöä. Jokaiselle katkaisijalle tarvitaan oma laite. Katkaisijavalmistajien laitteet osaavat mitata katkaisijan katkaisuyksikön sähköistä kulumista, SF₆-kaasun painetta, katkaisijan mekaanista toimintaa, ohjaimen sähköistä toimintaa ja apukoskettimia. [30]

Osana pyrkimystä kohti riski-, luotettavuus- ja kuntoperusteista kunnossapitomallia myös näidenkin järjestelmien käyttömahdollisuuksia ollaan selvittämässä erillisessä hankkeessa Fingridissä.

2.4.4 Tärinän analysointi

Katkaisijan toiminta saa energiansa jouseen varastoidusta mekaanisesta energiasta. Tämän energian hallittu vapauttaminen saa aikaan katkaisijan koskettimien ohjautumisen auki tai kiinni. Nämä toiminnot saavat aikaan tärinää katkaisijan ohjaimessa ja katkaisuyksikössä. Tämä tärinäjäälki voidaan tallentaa kiihtyvyyssantureilla. Jokaisella katkaisijatyypillä on oma ominainen tärinäjäälkensä. Eräät ongelmat katkaisijan mekanismissa, kuten esimerkiksi koskettimien virheelliset asennot tai vaimentimen virheelliset toiminnot, saavat aikaan muutoksia tärinäjääljessä. [34]

Katkaisijan toiminnasta mitattua tärinää verrataan verrokitärinäjäälkeen. Muutokset tärinäjääljessä kertovat muutoksista katkaisijan mekaanisessa kunnossa ja voivat paljastaa alkavia vikoja. Tärinää mittaamalla ei voida tarkasti määrittää millainen vika katkaisijassa on kehittymässä, mutta muuttuvasta tärinäjääljestä voidaan huomata muutokset katkaisijan kunnossa, jotka kertovat mahdollisesta tarkemman tutkimuksen tarpeesta. [35][36]

Katkaisijan tärinää ei ole analysoitu tai mitattu Fingridillä. Mutta se on mahdollista tallentaa mA-antureiden ja tallentimien avulla.

2.4.5 Tallentimien käyttö katkaisijoiden kunnonvalvonnassa

Katkaisijan toimintaa voidaan valvoa katkaisijan perustoimintojen automaattisen tallennuksen avulla. Automaattinen tallennus voi tapahtua jokaisen katkaisijan toiminnan yhteydessä, tai ennalta määrättyin aikaväleihin suoritettavien katkaisijan ohjausten avulla. Tallennus voidaan toteuttaa piirtureiden, tapahtumatallentimien tai häiriötallentimien avulla. [31]

Releet ja häiriötallentimet mittaavat jatkuvasti aseman virtamuuntajien läpi kulkevia virtoja sekä kiskojen ja 400 kV asemilla myös johtolähtöjen jännitteitä. Samat virrat kulkevat myös katkaisijoiden läpi, lähdön ja kiskon jännitteiden eron kuvatessa jännitettä katkaisijan, ja muiden kentän laitteiden yli. Tallentimien avulla on mahdollista tallentaa kyseiset virrat, jännitteet ja ohjauskäskyt.

Virran käyrämuodoista voidaan määrittää ajanhetki, jolloin katkaisijan läpi kulkeva virta katkeaa tai syttyy. Tämän hetken ja katkaisijan saaman ohjauskäskyn välinen aika kuvaa katkaisijan aukiohjauksissa katkaisuaikaa ja kiinniohjauksissa sulkeutumisaikaa. Tallenteista on mahdollista nähdä myös katkaisijan katkaiseman virran suuruus, jonka avulla voidaan arvioida kuinka paljon katkaisijan koskettimet ovat kuluneet. Myös eri vaiheiden toimintojen välinen eriaikaisuus voidaan laskea näistä lähtötiedoista. Katkaisijan yli näkyvän jännite-eron avulla on mahdollista havainnoida katkaisutapahtumassa esiintyviä jälleensyttymisiä. [32][33]

Duplex-kytkinlaitoksilla tallentimien avulla on mahdollista mitata myös katkaisijoiden valokaarikoskettimien avautumisaika. Avaamalla vain lähdön toisen duplex-puolen katkaisija, täysduplex-rakenteisilla lähdöillä, katkaisijan läpi kulkeva virta katkeaa samalla hetkellä kuin valokaarikoskettimet irtoavat toisistaan. Tämä mittaus vastaa mittaushuollossa nykyisin suoritettavaa aukiohjauksen toiminta-aikamittausta.

Tarkastelemalla katkaisijan toimintaa tallentimien avulla, erillisiä ohjauksia kunnossapitoa varten ei välttämättä tarvita, sillä mittaushuolloissa nykyisin suoritettavia mittauksia vastaavat tiedot on mahdollista kerätä katkaisijan normaaliin toimintaan liittyvistä ohjauksista katkaisijan resistanssimittausta ja kaasun kosteus ja palamistuotemittausta lukuunottamatta. Tapahtumien tallentamiseen on mahdollista käyttää myös asemilla jo käytössä olevia releitä ja häiriötallentimia. Tällöin vältetään uusien mittalaitteiden ja sensorien asennus asemalle. [32]

Katkaisutapahtumasta otettujen tallenteiden avulla voidaan havaita kaikki luvussa 2.1.4 esitetyt katkaisijan päätoimintojen vikaantumisen muodot lukuun ottamatta resistanssin kasvua ja kaasun paineen laskua. Kaasun painetta mitataan jo nykyisin jatkuva-aikaisesti, joten tämän tyyppiset viat havaitaa jo nykyisellään automaattisesti. Kaasukatkaisijoiden toimintakertamäärät ovat tyyppillisesti hyvin vähäisiä, jolloin kulumisesta aiheutuvaa ylimenoresistanssin nousua ei juurikaan esiinny.

3 Tapahtumien tallennus

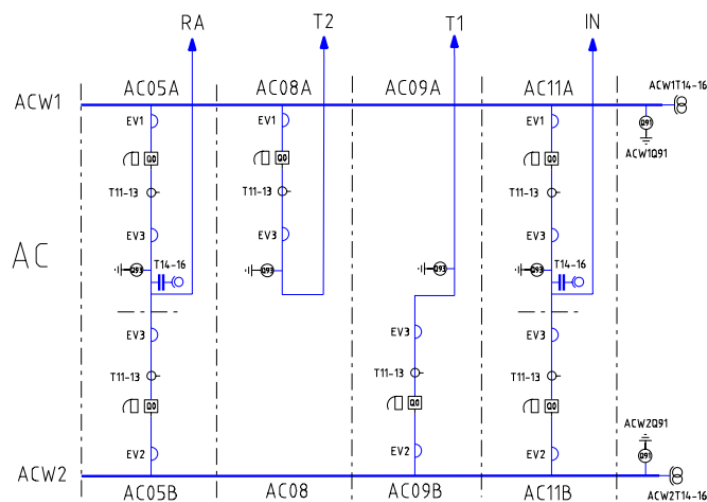
Tässä luvussa tutkitaan kuinka releet ja häiriötallentimet toimivat Fingridin asemilla. Lisäksi selvitetään mitä tietoja releet ja häiriötallentimet tallentavat tällä hetkellä ja millaisia katkaisijan toimintaan liittyviä tietoja ne voivat tallentaa tulevaisuudessa.

Releiden nykyisen toiminnan ja asennustapojen soveltuvuutta katkaisijoiden kunnonvalvontaan on tutkittu asemien piirikaavioiden sekä laitteiden käyttöohjeiden avulla. Erityyppisten releiden ja häiriötallentimien soveltuvuutta tapahtumien tallennukseen on selvitetty tutkimalla laitteiden teknisiä tietoja sekä käyttöohjeita.

3.1 Duplex-kiskojärjestelmä

Suomen kantaverkossa on aikoinaan valittu käytettäväksi suurimmilla ja tärkeämmillä sähköasemilla kahden pääkiskon ja yhden apukiskon 2 PK + AK kiskojärjestelmä sekä pienemmillä ja vähemmän tärkeillä asemilla yhden pääkiskon ja yhden apukiskon 1 PK + AK kiskojärjestelmä. Näillä kiskojärjestelmillä on mahdollista yhden kentän käyttökeskeytys ilman vaikutuksia muuhun verkkoon. Kiskovika 2 PK + AK laitoksella kuitenkin laukaisee kaikki vikaantuneeseen kiskoon liittyvät lähdöt. Kiskovika yhden kiskon asemalla, laukaisee koko aseman irti muusta verkosta. Lisäksi 2 PK + AK järjestelmällä toteutettu kytkinlaitos vaatii paljon erottimia ja monimutkaisen suojausjärjestelmän kiskokatkaisijan käytöstä johtuen. [1]

Duplex-kiskojärjestelmällä toteutetussa kytkinlaitoksessa kaksi erillistä kiskoa on yhdistetty toisiinsa kahden peräkkäisen katkaisijan muodostamalla kentällä. Katkaisijoiden väliin on liitetty lähdöt. Vika tai huolto toisella kiskolla ei keskeytä käyttöä toisella puolella. Kuvassa 12 on esitetty kaaviokuva duplex-kytkinlaitoksesta. Käyttämällä erottavia katkaisijoita sekä duplex-kiskoratkaisua, kentän vaatimaa tilaa voidaan pienentää perinteisen 2 PK + AK järjestelmän vaatimasta noin 88 metristä jopa 65 metriin. [12]



Kuva 12: Duplex-kiskojärjestelmä.

Duplex-asemalle joudutaan hankkimaan enemmän katkaisijoita kuin muilla kiskoratkaisuilla toteutetuille asemille. Duplex-ratkaisussa katkaisijoita tarvitaan kaksi jokaista lähtöä kohden. Muuntajakenttiin on joillain Fingridin asemilla käytetty puoliduplex-rakennetta. Tällöin muuntaja on kytketty vain toiseen aseman kiskoista. Lisäksi jos asemalla johtolähtöjä on vain yksi tai kaksi, myös nämä on voitu toteuttaa puoliduplex-rakenteella. Tällöin asema vastaa perinteistä yhden pääkiskon laitosta. Kuvassa 12 kentät AC08A ja AC09B ovat puoli-duplex-rakenteisia muuntajakenttiä.

Kiskoviassa duplex-laitoksella vain vikaantunut kisko ja mahdollinen vain tähän kiskoon puoliduplex-rakenteella liittyvä muuntaja irtoavat verkosta. Duplex-ratkaisu mahdollistaa suuremman siirtokyvyn verkossa, sillä tällöin ei tarvitse varautua usean johdon menetykseen samanaikaisesti. Nykyisin kaikki Fingridin 400 kV avokytkeinlaitokset rakennetaan duplex-järjestelmällä ilman kiskoerottimia. Käytettäessä erottavia katkaisijoita, myös johtoerottimet voidaan jättää pois. Duplex-järjestelmän etuja on käytön ja huoltojärjestelyjen selväpiirteisyys, hyvä käyttövarmuus ja helppo laajennettavuus. Myös suojaus on selkeä ja yksinkertainen, koska duplex-järjestelmässä ei ole käytössä apukiskoja eikä kiskokatkaisijoita. [37]

3.2 Releet

Suojareleet ovat laitteita, jotka havaitsevat viat ja muut epänormaalit tilanteet voimajärjestelmässä sekä lähettävät näiden perusteella laukaisukäskyt katkaisijoille, jotta vialliset verkonosat saadaan erotettua muusta järjestelmästä. Releen mittaamien arvojen täyttäessä releelle asetellut ehdot releen koskettimet sulkeutuvat ja virta alkaa kulkea releen läpi. Virta johdetaan suoraan katkaisijan laukaisupiireille, joka saa aikaan katkaisijan avautumisen. Releet voivat myös lähettää hälytyksiä verkon valvojalle ja ohjata jälleenkytkentöjä. [1][38]

Suojareleet sekä muut toisilaitteet, kuten energiamittarit ja häiriötallentimet, ovat yhteydessä verkon primääripiiriin mittamuuntajien eli jännite- ja virtamuuntajien kautta. Mittamuuntajat muuntavat sähköaseman ensiöpiirissä kulkevan sähkövirran ja jännitteen pienemmiksi, helpommin mitattaviksi ja käsiteltäviksi toisiosuureiksi. Nämä toisioarvot ovat yleensä virralla 1 tai 5 ampeeria ja jännitteellä 100 tai 173 voltia. Toisioarvoista on kerrottu tarkemmin luvussa 3.5.2.

Releet voidaan jaotella rakenteensa mukaan sähkömekaanisiin, staattisiin ja digitaalisiin releisiin. Sähkömekaaniset releet toimivat sähkö- ja magneettikenttien fysikaalisten muutosten perusteella, esimerkiksi riittävän suuren virran kasvun aiheuttama magneettikentän muutos laukaisee releen. Staattiset releet toimivat puoli-johdekomponenttien avulla. Digitaaliset releet puolestaan toimivat mikroprosessorien avulla, jolloin niiden avulla on mahdollista rakentaa huomattavasti monimutkaisempia toimintoja. Nykyisissä moderneissa digitaalisissa releissä voi olla monia lisätoimintoja päätoiminnon lisäksi. [1]

Releitä voidaan jaotella myös suojauksessa käytettävän päätoimintonsa mukaan esimerkiksi distanssireleisiin, ylivirtareleisiin ja maasulkureleisiin. [1] Fingridin releomaisuus on hyvin monipuolista. Erilaisia releitä on käytössä 334 eri mallia. [15]

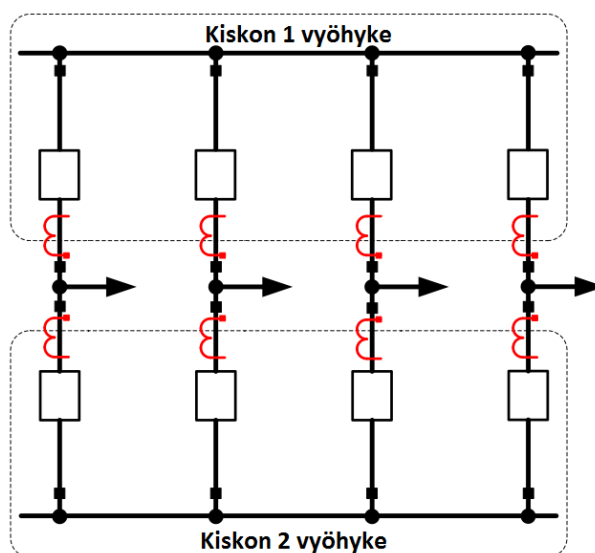
3.2.1 Suojaus

Suojauksen pääperiaatteet riippuvat suojattavan kohteen tyypistä. Fingridin asemien 400 kV johtolähtöjen suojaus on toteutettu kahdella pääsuojareleena toimivalla distanssireleellä, sekä yhdellä suuntaamattomalla maasulkureleellä. Johtolähtöihin on rakennettu tahdissaolon valvonta ja tahdistus- sekä jälleenkytkentätoiminnot omana releenään. Sarjakompensoituilla johdoilla, sekä lyhyillä johdoilla käytetään toisena pääsuojareleena differentiaali, eli erovirtarelettä. Distanssirele tarkkailee ja havaitsee muutokset verkon impedanssissa. Distanssireleiden avulla suojaus saadaan selektiiviseksi myös silmukoidussa verkossa, jossa vikavirrat voivat olla kuormavirtoja pienemmät. Suuntaamattoman maasulkureleen tehtävä on havaita suuriohmiset maasulut 500 omhiin asti ja erottaa nämä verkosta. Jälleenkytkentäreleen tehtävä on kytkeä verkosta irronnut avojohto takaisin verkkoon ennalta määritellyn jännitteettömän ajan jälkeen automaattisesti, sillä suurin osa verkossa esiintyvistä vioista on nopeasti ohimeneviä. Johdoilla on yleensä käytössä pikajälleenkytkentä muutaman sekunnin ja aikajälleenkytkentä 30–60 sekunnin kuluttua laukaisusta. Tahdissaolon valvojan ja tahdistimen tehtävä on valvoa katkaisijaa kiinni kytkettäessä, että molemmilla puolilla olevat verkon osat käyvät samassa tahdissa riittävän pienellä kulmaerolla. Muuntajien suojaukseen käytetään yleensä differentiaalirelettä, ylivirtarelettä sekä nollavirtarelettä. [37]

Duplex-aseilla distanssi-, differentiaali-, maasulku- ja ylivirtasuojaus on toteutettu samoin kuin muillakin kiskotyypeillä. Ainoa erityispiirre on vaihevirtojen summaus, joka on tehtävä duplex-kenttien eri puolien virroille, jotta releille saadaan johdotettua todellinen suojattavan kohteen läpi kulkeva virta. Summaus voidaan tehdä joko fyysisesti yhdistämällä eri duplex-puolten virtamuuntajien toisiopiirit, tai johdottamalla molempien puolten virrat erikseen releelle, jolloin releen sisäinen logiikka laskee suojattavan kohteen virran. Lähes kaikilla Fingridin aseilla virtojen summaus on toteutettu yhdistämällä toisiopiirit kentän jakokaapilla. Kaikki releet eivät myöskään kykene sisäiseen summaukseen. Tällä hetkellä virrat on tuotu erillään releelle asti ja summaus suoritettu sisäisesti vain muutamalla johtodifferentiaalireleellä. Fyysisesti summattu releiden mittaama virta ei kuvaa todellista katkaisijan läpi kulkevaa virtaa jolloin katkaisijan tietojen mittaaminen ei ole mahdollista tällaisen virran avulla. Lisäksi duplex-aseilla vian tulee laukaista kaksi katkaisijaa, duplex-kentän molempien kenttäpuolien katkaisijat, perinteisen aseman yhden katkaisijan sijaan. Fingridin verkossa viat laukaistaan yleensä kolmivaiheisesti. Eräiden voimalaitosten liityntäjohdoilla ja rajajohdoilla on kuitenkin käytössä yksivaiheiset laukaisut ja jälleenkytkennät. [37][12]

400 kV kiskot on suojattu kiskonsuojareilla, jotka toimivat yleensä myös katkaisijavikareleinä. Kiskonsuojarele toimii kuten differentiaalirele, mitaten kiskoon tulevien ja lähtevien virtojen erotusta. Jos riittävän suuri erovirta esiintyy liian pitkään, vioittunut kisko laukaistaan irti verkosta. Katkaisijavikatoiminto vahtii että katkaisija aukeaa sille annetun laukaisukäskyn jälkeen riittävän nopeasti. Kahden pääkiskon ja apukiskon ratkaisuissa kiskonsuojaukseen joudutaan ohjelmoimaan logiikka, joka tarkastelee joka hetki kumpaan kiskoon mikäkin lähtö on kiinnittynyt. Duplex-ratkaisussa tällaista ei tarvita, sillä molemmilla puolilla on omat

virtamittauksensa. Molemmat kiskot muodostavat itsenäisen vyöhykkeensä, jolloin kiskoviassa vain vikaantuneen kiskon puolen katkaisijat aukeavat ja toinen kisko säilyy toiminnassa. Katkaisijavian tapauksessa kytketään irti vikaantuneen katkaisijan puoleinen duplex-kisko, sekä lähdön toisen duplex-kentän puolen katkaisija. Muut lähdöt säilyvät käytössä. Kuvassa 13 on havainnollistettu kiskonsuojauksen toimintaa duplex-asemalla. Kuva on muokattu vastaamaan Fingridin asemarakennetta. Kiskonsuojareleet ovat duplex-asemien ainoat releet, joille on johdotettu suoraan katkaisijan läpi kulkeva virta. Fingridin asennuksissa kiskonsuojareileiltä puuttuu tällä hetkellä tieto katkaisijoiden kunnonvalvontaan tarvittavista katkaisijan manuaalisista aukiohjauksista. Joiltain kiskosuojilta puuttuu myös tieto kiinniohjauksista. Puuttuvien ohjauksikäskyjen johdotus on huomattavasti helpompaa kuin puuttuvien vaihevirtojen tuominen, jotka muille suojareille vaadittaisiin katkaisijoiden mittaamista varten. Näin ollen kiskonsuojareiden voidaan todeta olevan parhaiten hyödynnettävissä olevia releitä katkaisijoiden kunnonvalvonnan tarpeisiin.



Kuva 13: Kiskonsuojaus duplex-asemalla [23].

Kiskonsuojia on toteutettu kahdella eri pääperiaatteella, keskitetyn tai hajautetun ratkaisun avulla. Yksi keskitetty ABB:n REB670 rele vastaa yksin kaikista kiskoon liittyvistä lähdöistä, kun taas hajautetut 7SS52 ja P740 releet koostuvat erillisistä, jokaista kenttää valvovista kenttäyksiköstä, sekä yhdestä erillisestä keskusyksiköstä, joka ohjaa kenttäyksiköiden toimintaa.

3.2.2 Kentänohjaus

Perinteisesti kytkinlaitteita on ohjattu RTU:n eli kaukokäytön ala-aseman kautta. Fingridin viimeaikoina rakennetuille ja perusparannetuille asemille on rakennettu hajautettu kaukokäytön ala-asema. Ratkaisu sisältää jokaiseen kenttään lisätyt kentänohjausyksiköinä toimivat releet, jotka välittävät ohjauksia kaukokäytöstä ohjattaville laitteille, kuten erottimille, maadoituskytkimille ja katkaisijoille. Ken-

tänohjausyksikkö huolehtii tarvittaessa myös kytkinlaitteiden lukituksista. Kentänohjausyksikön kautta saadaan välitettyä myös tiedot katkaisijoiden SF₆-kaasun tiheydestä. [39]

Kentänohjausyksiköt ovat ainoat releet joille on tällä hetkellä johdotettu sekä katkaisijan käsinohjauksen auki- että kiinniohjauskäskyt. Katkaisijan toiminnan mittaauksessa kentänohjausyksiköiden ongelmaksi olemassa olevilla asemilla muodostuu tarvittavien vaihevirtatietojen puuttuminen. Laitteilla ei perinteisessä käyttötarkoituksessaan ole tarvittu duplex-asemien katkaisijoiden läpi kulkevaa virtaa, joten eri duplex-kentän puolten virtamittaukset on yhdistetty kentän jakokaapilla. Virrat on lisäksi johdotettu virtamuuntajien 1. sydämiltä, eli mittaussydämiltä, jotka eivät kykene toistamaan vikavirtoja tarkasti, sillä ne on suunniteltu kuormitusvirran tarkkaan muuntoon. Releillä ei usein myöskään ole tarvittavaa määrää virtamittausten sisääntuloja, jotta virrat voitaisiin johdottaa myöhemmin muilta sydämiltä katkaisijoiden kunnonvalvonnan tarpeita varten. Myöskään releiden laukaisukäskyjä ei ole johdotettu kentänohjausyksiköille.

Fingridillä on käytössä periaate, jonka mukaan suojaukseen käytetyt laitteet eivät saa olla yhteydessä ohjaukseen käytettäviin laitteisiin tiedon siirtoon käytettävien väylien kautta. Ohjausväylässä toimivaa kentänohjausyksikköä ei voida yhdistää suojausväylän suojareleisiin vaihevirtojen siirtämiseksi IEC 61850 väylän avulla kentänohjausyksiköille, eikä kentänohjausyksiköltä saada käsin suoritettuja kiinni- ja aukiohjauskäskyjä välitettyä suojareleille. Kentänohjausyksikköä ei saa myöskään yhdistää aseman huoltoväylään, jonka kautta releiden häiriötallenteet on normaalisti noudettu analysoitaviksi. [39]

3.2.3 Releiden sisäiset häiriötallentimet

Digitaalisissa releissä on usein releen sisäinen häiriötallennus ominaisuus, jonka avulla rele itsessään voi tallentaa verkon tapahtumat häiriön aikana. Releen sisäinen häiriötallennin voi tallentaa myös tapahtumia, joita suojaustoiminnot eivät ole havainneet. [1] Rele voidaan asetella aloittamaan tallennus esimerkiksi kaikista katkaisijalle välitettävistä kiinni- ja aukiohjauskäskyistä. Tällöin laite tallentaa kaikki katkaisijan ohjaukset.

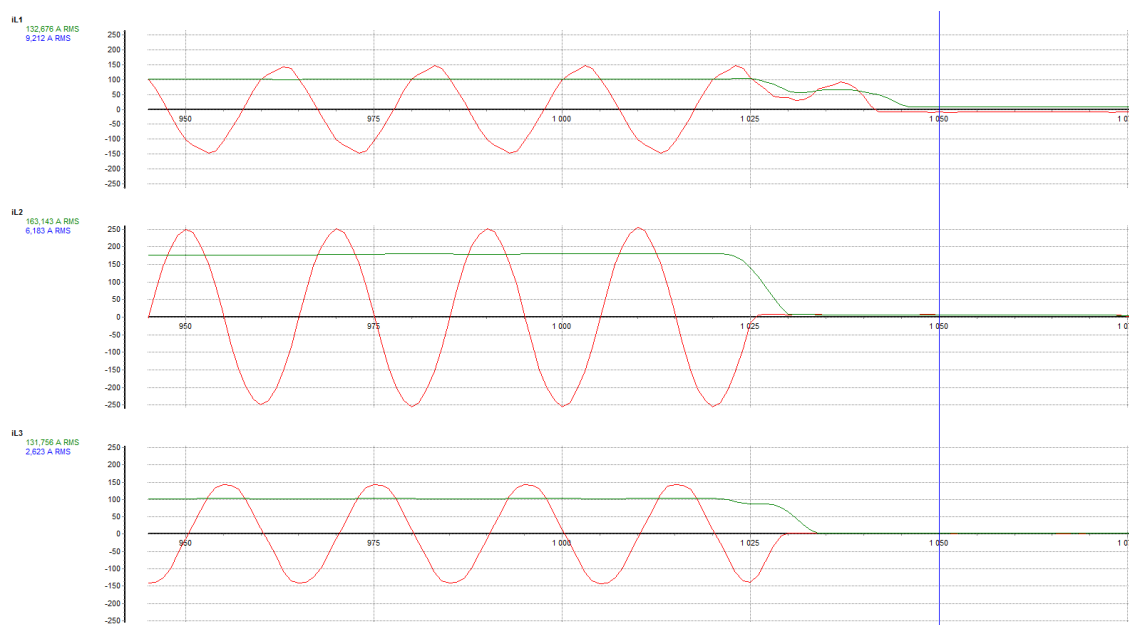
Suurimmassa osassa nykyisin käytössä olevista releistä tallennin toimii 1 kHz taajuudella. Poikkeuksen tekevät ABB:n Relion 615 perheessä oleva 1,6 kHz taajuudella toimiva tallennin, sekä Siemensin Siprotec 5 tuoteperheen releissä oleva ohjelmoitava, enintään 1–8 kHz taajuudella toimiva, tallennin [26][29]. Tällä hetkellä Siprotec 5 releet lähettää kuitenkin mittauksensa eteenpäin vain 1 kHz taajuudella, joten korkeammasta näytteenottotaajuudesta ei päästä hyötymään. Tämä ongelma tullaan luultavasti myös korjaamaan ajan myötä. Lisäksi joissain releissä on myös alle 1 kHz taajuudella toimivia tallentimia. Esimerkiksi Schneiderin P740 kiskosuojassa tallennin toimii 600 Hz näytteenottotaajuudella [40]. Taulukossa 3 on esitetty eri suojareleperheiden häiriötallentimien näytteenottotaajuuksia. Päälle tai pois päältä -tyyppistä tietoa välittävien binäärisignaaleiden näytteenottotaajuus voi poiketa jatkuvaa mittaustietoa välittävien analogisignaalien vastaavasta. Esimerkiksi ABB:n 615 sarjan releet mittaavat binäärikanavia vain 400 Hz taajuudella. Releissä voi olla

myös sisäinen tapahtumatalennin. Tapahtumatalentimet tallentavat vain tiedon binäärikanavien tilanmuutoksista, sekä muutosten ajanhetkistä. [26]

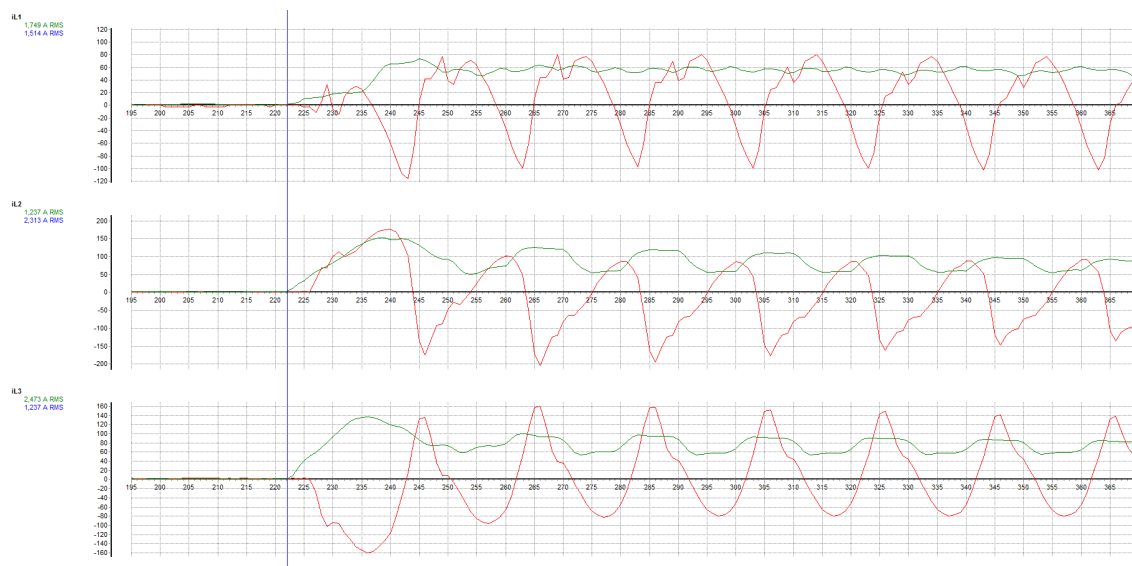
Taulukko 3: Suojareleperheiden sisäisten häiriötallentimien näytteenottotaajuuudet.

Valmistaja	Malli	Näytteenottotaajuus (Hz)	Tallenteen pituus (s)
SIEMENS	Siprotec 4	1000	5
SIEMENS	Siprotec 5	1000—8000	20
ABB	Relion 670	1000	10
ABB	Relion 615	1600	10

Kuvassa 14 on esitetty vian katkaisusta saatavat virtakäyrät Ontojoen aseman erään kentän Siprotec 4 perheen 7SA6 releen tallentamana, STINA-järjestelmän kautta katsottuna. Releen näytteenottotaajuus on 1 kHz. Kuvassa 15 on kuvattu saman katkaisijan tekemä aikajälleenkytkentä minuutin kuluttua katkaisusta. Punainen viiva kuvaa vaihevirran hetkellistä arvoa, vihreä tehollisarvoa ja sininen pystyviiva katkaisijan lähettämää kiinni/auki tilatietoa.



Kuva 14: Katkaisu ONT-TIH voimajohdolla johdolla.



Kuva 15: Aikajälleenkytkentä ONT-TIH johdolla.

Kiskonsuojareiden hyödyntäminen on helpoin vaihtoehto releiden häiriötal-
lentimien avulla toteutettavissa katkaisijan kunnonvalvontamittauksissa todellisten
katkaisijan läpi kulkevien vaihevirtojen mittaamisesta johtuen. Tämän takia kiskon-
suojareiden sisäisiä tallentimia on syytä tarkastella tarkemmin. Taulukossa 4 on
listattu tällä hetkellä käytössä olevien kisko- ja katkaisijavikasuojareiden häiriö-
tallentimien ominaisuuksia. Siemensin Siprotec 5 reletuoteperheen kiskonsuojarele
7SS85 tukee 2000 Hz näytteenottotaajuutta. Tätä relettä ei ole vielä käytössä Fingri-
din verkossa. Siprotec 5 perheen muut releet tukevat 8000 Hz näytteenottotaajuutta,
joten tämä on odotettavissa saatavaksi myös kiskonsuojaan versiopäivitysten kautta
tulevaisuudessa.

Taulukko 4: Digitaaliset kiskonsuojareleet ja niiden tärkeimmät ominaisuudet.

Valmistaja	Malli	Näytteenottotaajuus (Hz)	Rakenne
ABB	REB670	1000	Keskitetty
SIEMENS	7SS52	1000	Hajautettu
AREVA	P740	600	Hajautettu
SIEMENS	7SS85	2000	Keskitetty
ABB	REB500	1000 (vain tapahtuma- tallennin)	Hajautettu

Kentänohjausyksiköillä on usein kiskonsuojareita parempi näytteenottotaajuus.
Erityisesti Siemensin Siprotec 5 tuoteperheen 6MD85 kentänohjausyksikön 8 kHz
näytteenottotaajuus on erinomainen. Fingridillä käytössä olevien kentänohjausyksi-
köiden häiriötallentimia on vertailtu taulukossa 5.

Taulukko 5: Fingridin käyttämien digitaalisten kentänohjausyksiköiden sisäisten häiriötallentimien näyttteenottotaajuudet.

Valmistaja	Malli	Näytteenottotaajuus
ABB	REC670	1000 Hz
SIEMENS	6MD85	1000-8000 Hz
AREVA	C264	1600 Hz
ABB	REF630	1000 Hz

3.3 Häiriötallentimet

Häiriötallentimet ovat laitteita, joiden tehtävänä on tallentaa verkon vikavirtojen ja -jännitteiden käyttäytyminen vikatapauksissa. Näiden avulla voidaan selvittää häiriötapahtuman kulkua ja päätellä voidaanko verkosta irronnut osa kytkeä takaisin jännitteelliseksi tai rajata viallinen verkon osa irti muusta verkosta. Häiriöntalennin on Fingridin voimajärjestelmäkeskuksen ensisijainen työkalu vianselvitykseen. Häiriötallentimien keräämiä tietoja voidaan käyttää myös vikapaikanlaskennassa. Tarkan vianpaikannuksen avulla voidaan lähettää vikapartio suoraan oikeaan paikkaan jolloin pysyvät viat saadaan selvitettyä nopeammin ja ohimenevässä viassa voidaan löytää mahdolliset verkon heikkoudet jo ennen komponentin tai muun vian aiheuttamaa suurempaa häiriötä. Lisäksi häiriötallentimen avulla voidaan tarkastella suojauksen toiminnan oikeellisuutta vikojen yhteydessä. Häiriötallentimien näyttteenottotaajuudet ovat huomattavasti releiden sisäisiä tallentimia paremmat, jolloin ne soveltuvat tarkempaan katkaisijoiden mittaamiseen. [41]

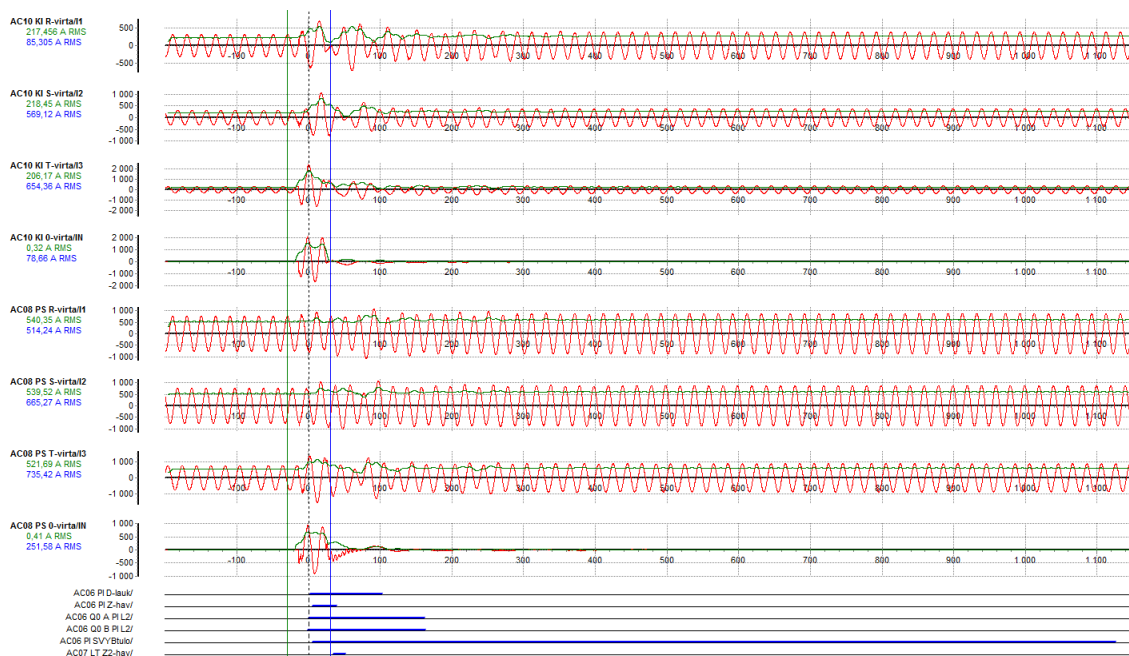
Fingridillä on häiriötalennin käytössä lähes kaikilla 400 kV asemilla, sekä tärkeimmillä 220 kV ja 110 kV asemilla [41]. Taulukossa 6 on eritetty Fingridin käyttämät häiriötallentimet sekä niiden määrät 15.6.2015 ja näyttteenottotaajuudet. Siemensin uusi 7KE85 häiriötalennin on tulossa Fingridille koekäyttöön vuonna 2016. Laite tallentaa binäärisignaalien tilanmuutokset vain 4 kHz taajuudella.

Taulukko 6: Fingridin häiriötallentimien määrät ja näyttteenottotaajuudet.

Valmistaja	Malli	Määrä (kpl)	Näytteenottotaajuus (Hz)
ARTUS	SOREL EP	26	1000
SIEMENS	SIMEAS R (7KE6x)	28	12800
SIEMENS	Oscillostore (P53x)	10	5000
HATHAWAY	IDM T3 MK III	1	6400
SIEMENS	7KE85	0	16000

Häiriöntalennin on ollut koko aseman jännitetasolle yhteinen. Laitteiden tallentamien kanavien määrä yleensä hyvin rajallinen. Fingridillä laajasti käytössä oleva

SIMEAS R pystyy tallentamaan vain 32 analogista ja 64 binääristä signaalia [42]. Kaikkien kenttien vaihevirtoja ei ole tästä syystä voitu tallentaa. Yleensä häiriötallentimet tallentavat vain kenttien nollavirrat ja kiskojäännitteet sekä releiden havahtumiset, laukaisukäskyt ja suojauksen viestisignaalit. Lisäksi 400 kV järjestelmissä on tallennettu myös johtolähtöjen vaihevirtoja, jos näitä on mahtunut tallentimelle. [41] Esimerkki häiriötallenteesta on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16: Häiriötallenne STINA Comtrade Viewer -ohjelman kautta luettuna.

Duplex-järjestelmän tapauksessa sekä nolla- että vaihevirrat ovat eri duplex-kentän eri puolten virtamuuntajien mittausten summia, jolloin nämä eivät vastaa katkaisijan läpi kulkevia virtoja. Häiriötallentimet eivät myöskään tallenna tällä hetkellä katkaisijoiden kunnonvalvontaan tarvittavien käsin-aukiohjausten ja -kiinniohjausten käyrämuotoja.

Häiriötallentimet aloittavat nykyisin tallennuksensa suojareleiden havahtumisesta, laukaisuista ja suojauksen viestiyhteys signaaleista. Tallentimet asetellaan tallentamaan myös havahtumista edeltäviä tapahtumia. Fingridin tallentimet on yleisimmin aseteltu aloittamaan tallennus 0,2 sekuntia ennen vikaa, ja jatkavan tallennusta 3 sekuntia, tai niin kauan kuin käynnistyssignaali on voimassa. [41]

Katkaisijoiden kunnonvalvontaa varten asemille on mahdollista hankkia omat erilliset häiriötallentimet. Tällöin laitteiden tilausvaiheessa voidaan määrittää miten paljon kanavia tarvitaan, jotta kaikki tarvittavat tiedot katkaisijasta saadaan tallennettua. Tällöin valituksi tulee laite, joka tukee kunnonvalvonnan vaatimia mittauksia. Lisäksi laite voidaan asettaa tallentamaan jokainen katkaisijan toiminta, eikä laite häiritse häiriönselvitystä.

3.4 IEC 61850 -pohjainen hajautettu tallennus

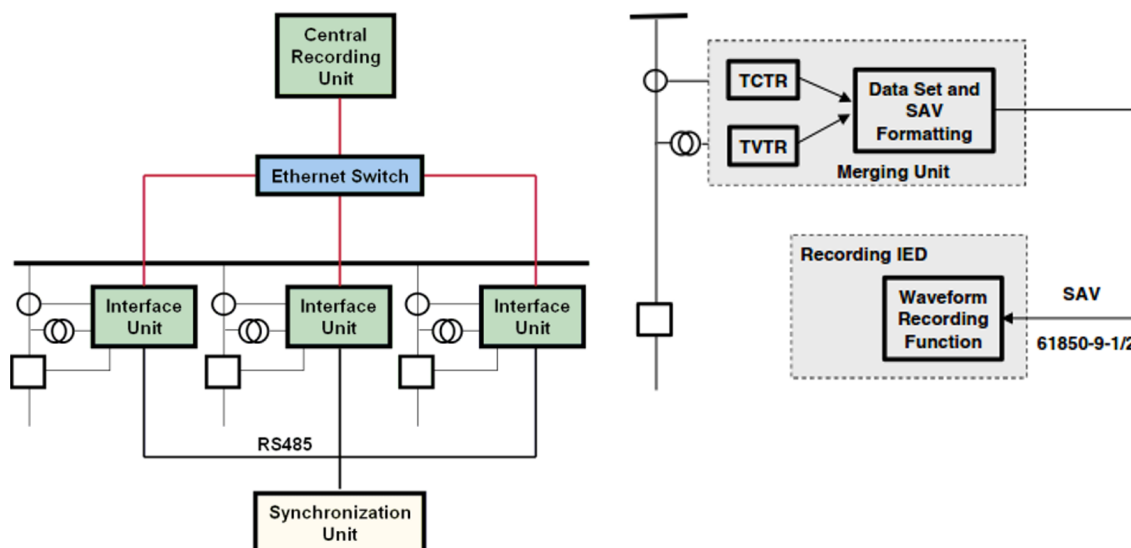
IEC 61850 -standardi tarjoaa sähköasemille Ethernet-pohjaisen, valmistajariippumattoman tiedonsiirto- ja automaatioväylän, jonka avulla laitteet voivat välittää tietoa keskenään. Käyttämällä IEC 61850 -väylää tiedonsiirtoon asemilla laitteiden välillä, laitteiden välisiä kuparijohdotuksia on mahdollista vähentää. [43]

IEC 61850 -standardissa määritetään laitteiden välisten sanomien muodot, joiden avulla saavutetaan valmistajariippumaton yhteensopivuus kaikkien eri valmistajien laitteiden kesken. IEC 61850 -väylän kautta voidaan lähettää tilan muutoksista kertovia GOOSE-viesteinä (Generic Object Oriented Substation Event) ja jatkuvaa mittaustietoa SAV-viesteinä (Sampled Analog Value). Joidenkin releiden sisäiset häiriötallentimet voidaan asettaa käynnistymään väylän kautta saaduista signaaleista. Myös tallennettuja signaaleja voidaan välittää väylän kautta. [44]

Virta- ja jännitemuuntajien toisiopiireissä kulkevat virrat ja jännitteet voidaan muuttaa digitaalisiksi IEC 61850 -väylässä kulkeviksi SAV-viesteiksi esimerkiksi Alstomin MU320-digitaalimuuntimella. Laitteeseen voidaan kytkeä kahdeksan virta- ja kahdeksan jännitesignaalia. Myös muilta valmistajilta on saatavilla vastaavia laitteita, esimerkiksi Siemensin Siprotec 5 7SC805, jonka avulla voidaan muuntaa neljä virta- ja neljä jännitemittausta digitaaliseen muotoon. Molemmat laitteet toimivat 4 kHz näytteenottotaajuudella. Mittaustiedon muuntamiseen digitaaliseen muotoon voidaan käyttää myös NCIT-mittamuuntajia (Non-Conventional Instrumental Transformer) , jotka muuntavat mittaustulokset suoraan IEC 61850 väylässä kulkeviksi SAV-viesteiksi. Fingrid on hankkimassa yhden NCIT-mittamuuntajan testikäyttöön Varkauden GIS-laitoksen rakentamisen yhteydessä vuonna 2016. IEC 61850 -standardissa ei itsessään ole määritelty mittausten näytteenottotaajuutta, mutta IEC 61850-9-2LE ohjeistuksessa on määritetty näytteenottotaajuudeksi 4 kHz, 80 näytettä jaksossa, suojauksen ja mittauksen tarpeisiin sekä 12,8 kHz, 256 näytettä, sähkölaatumittauksiin [45].

IEC 61850 standardin mukaisella järjestelmällä katkaisijan tapahtumien tallennus on mahdollista toteuttaa myös hajautetun järjestelmän avulla. Tällöin eri laitteet vastaavat arvojen mittaamisesta ja tallentamisesta. Laitteiden sisäisten kellojen synkronoinnista tulee myös huolehtia, jotta samalla hetkellä tapahtuvat eri laitteiden mittaamat ilmiöt näkyvät myös tallenteessa samalla ajanhetkellä. [46] Hajautetun tallennuksen periaate on esitetty kuvassa 17. Kenttiin liittyvät laitteet, esimerkiksi kentän suojareleet, mittaavat kentän tietoja ja lähettävät ne tallentavalle laitteelle IEC 61850-väylää pitkin.

Katkaisijoiden tapahtumien tallennus olisi mahdollista toteuttaa hajautetun tallennuksen avulla ilman uusia johdotuksia niillä asemilla joille on rakennettu IEC 61850 pohjainen yhdistetty suojaus- ja ohjausväylä. Fingridin tietosuojakäytäntöjen mukaan suojaus- ja ohjausväyliä ei kuitenkaan saa yhdistää toisiinsa, joten tällaisia asemia, joissa virtamittaukset ja katkaisijan ohjaukset olisivat saatavilla samoille laitteille, ei ole olemassa. [39] Jos suojaus ja ohjauslaitteiden yhdistyminen samaan väylään sallittaisiin, kiskonsuojareleiden mittaamat virtatiedot voitaisiin lähettää kentänohjausyksiköille tallennettaviksi. Lisäksi jokainen suojarele voisi lähettää omat laukaisukäskynsä kentänohjausyksikölle, jolloin kaikki katkaisijan toiminnan



Kuva 17: Hajautetun häiriötallennuksen periaate [46].

mittaamiseen tarvittavat tiedot olisi mahdollista tallentaa kentänohjausyksiköllä. Tämä vaatii laitteilta yhteensopivuutta keskenään. Fingridillä suositellaan kaikkien toistensa kanssa viestivien IEC 61850 -laitteiden olevan saman valmistajien tuotteita yhteensopivuusongelmien minimoimiseksi.

3.5 Katkaisijasta kerättävät tiedot

Releille ja häiriötallentimille on perinteisesti johdotettu mittamuuntajien toisiovirtoja ja -jännitteitä sekä binäärisignaaleja. Mittausten käyrämuotoja on tallennettu vain vikatilanteista. Tallenteisiin voidaan tietyn edellytyksin ottaa mukaan myös muita tietoja. Nämä täytyy usein muuttaa vastaamaan joko toisiosuureita, tai binäärisignaaleja. Esimerkiksi jos halutaan tallentaa katkaisijan ohjaimen liikettä, tieto on muutettava ensin virraksi tai jännitteeksi. Signaalit voidaan tuoda tallentimelle joko perinteisesti virta- tai jännitetietoina, tai sähköasema-automaation avulla dataa. Tallenteet voidaan ohjelmoida käynnistymään myös muista kuin vikatilanteista muuttamalla laitteen asetteluja.

Luvussa käydään läpi mitä tietoja katkaisijan toiminnasta on mahdollista tallentaa, mitä signaaleja täytyy liittää tallentimelle ja mistä ne saadaan otettua, jotta katkaisijoiden toiminnasta saataisiin mitattua halutut tunnusluvut.

3.5.1 Katkaisijan I/O-signaalit

Aseman I/O-signaaleja (input/output) voidaan tallentaa johdottamalla haluttu signaali kulkemaan tallentimen kautta. Näiden aseman binäärisignaalien avulla saadaan välitettyä päällä tai pois päältä -tyyppistä dataa tallenteeseen. Signaaleja saadaan monistettua apureiden avulla. Apureiden käytöstä aiheutuu kopioituun signaaliin viive, johtuen apureiden toiminnan hitaudesta. Signaali voidaan monistaa myös kytkemällä uusi piiri suoraan vanhan rinnalle. Diodin avulla tehdyllä rinnalle

kytkennällä signaali saadaan erotettua alkuperäisestä, jolloin uuteen piiriin syötetty signaali ei pääse vaikuttamaan vanhan signaalin toimintaa. Fingridin asennuksissa häiriötallentimille haetut katkaisijan laukaisukäskyt on otettu diodin avulla suoraan katkaisijan laukaisupiiriltä. Katkaisijan toiminta-aikojen mittaamista varten mitatun signaalin ja todellisen signaalin yhtäaikaisuus on tärkeää. Tästä syystä apureleitä ei voida käyttää signaalien erottamiseen mitattavista piireistä. Apureleiden aiheuttamat viiveet voivat aiheuttaa suuria virheitä mittaustuloksissa.

Katkaisijan kunnonvalvontaa ajatellen tärkeimpiä binäärisignaaleja ovat katkaisijan aukiohjauskäskyt ja kiinniohjauskäskyt. Tallennus katkaisijan toiminnasta saadaan ohjelmoitua käynnistymään näiden signaalien avulla. Mittaustulosten analysoinnin helpottamiseksi tulee tallenteessa erottaa toisistaan käsin annetut käskyt sekä vikojen aiheuttamat releiden laukaisut ja jälleenkytkennät. Tällöin hallitut toiminta-aikakokeet ja vikatilanteet saadaan eroteltua tallenteista. Duplex-asemien kohdalla käskyt on tärkeää erottaa johtuen virran katkeamisesta eri kohdassa jaksoa erityyppisissä ohjauksissa. Hallitussa yhden duplex-kentän puolen katkaisijan avaamisessa virta vaiheessa katkeaa samalla hetkellä kun katkaisijan valokaarikoskettimet irtoavat toisistaan virran siirtyessä rinnakkaiselle piirille. Avattaessa katkaisijaa vikavirtaa vasten, virta katkeaa vasta virran nollakohdassa.

Aukiohjauskäskyjen avulla saadaan tallennettua ajanhetki, jolloin katkaisijalle on annettu käsky avautua. Releiden laukaisukäskyt saadaan haettua todellisen laukaisukäskyn kanssa yhtäaikaisesti, joko hakemalla signaalit suoraan releiden vapailta koskettimilta ja ohjelmoimalla rele lähettämään laukaisukäsky myös tähän ulostuloon, tai erottamalla signaali jo olemassa olevilta laukaisupiireiltä. Fingridin käytäntöjen mukaan katkaisijoiden 1. laukaisupiiriin on johdotettu releiltä saatavat laukaisukäskyt ja kaukokäytön kautta suoritettut käsinohjaukset. Tähän piiriin ei haluta lisättävän uusia johdotuksia katkaisijan toiminnan varmistamiseksi. Tästä syystä 1. laukaisupiiriä ei voida käyttää katkaisijan kunnonvalvontaan. Tällä hetkellä 2. laukaisupiiriin johdotetaan vain releiden laukaisukäskyt. Tästä piiristä on vanhastaan otettu diodin avulla häiriötallentimelle tieto katkaisijan laukaisukäskystä. Samaa signaalia, tai samasta laukaisupiiristä erotettua signaalia voidaan hyvin käyttää myös katkaisijoiden kunnonvalvontaan. Releiden laukaisukäskyt on koottu yhteen myös KVR käynnistys binäärisignaaliin, jota kiskonsuojarele käyttää toiminnassaan. Myös tämän signaalin monistus on mahdollista. Tähän signaaliin liittyvät laukaisukäskyt eivät kuitenkaan aina ole täysin yhtäaikaisia todellisen laukaisukäskyn kanssa mahdollisista apureleistä johtuen. Kaukokäytön kautta suoritettut aukiohjaukset kulkevat kaukokäytön ala-asemalta 1. laukaisupiirille joko suoraan tai apureleen avulla. Jos signaali kulkee apureleen kautta, saadaan saman apureleen muilta koskettimilta samanaikainen signaali todellisen aukiohjauksen kanssa, joka voidaan tallentaa. Jos ala-aseman on hajautettu kentänohjausyksiköihin, aukiohjauskäsky saadaan haettua samanaikaisesti releen vapailta ulostuloilta.

Kiinniohjauskäskyjen avulla saadaan tallennettua hetki, jolloin katkaisijan kiinniohjaus käynnistyy. Kiinniohjauskäskyn katkaisijalle voi antaa joko jälleenkytkentä-rele suoja-releiden laukaiseman vian jälkeen tai verkon valvoja kaukokäytön kautta kun katkaisija halutaan ohjata kiinni suunnitellun keskeytyksen jälkeen. Kiinniohjauskäskyt voivat kulkea katkaisijalle joko suoraan tai tahdistimen kautta. Tahdistuksesta

aiheutuu viive signaalin kulkuun. Tahdistin välittää ohjauksikäskyn kiinniohjauspiiriin vasta kun tahdistimelle asetellut ehdot täyttyvät.

Käytettäessä RTU:ta ohjausten välittämiseen, jälleenkytkentärele antaa kiinniohjauskäskyn eri koskettimilta riippuen siitä onko ohjaus tahdistettu vai tahdistamaton. Tahdistettaessa käsin-kiinniohjausta, jälleenkytkentärele suorittaa myös tähän käskyn tahdistuksen. Tällöin käsin-kiinniohjauskäsky tulee kiinniohjauspiiriin saman signaalin kautta kuin JK releen tekemä tahdistettu kiinniohjaus. Kiinniohjauspiiriin liittyy tällöin kolme eri kiinniohjaus signaalia: tahdistamaton JK releen kiinniohjaus, tahdistamaton kaukokäytön kautta suoritettu kiinniohjaus sekä tahdistettu kiinniohjaus. Käsin ohjattuja ja JK-releen kiinniohjauksia ei ole mahdollista eriyttää omiksi signaaleikseen, jotka olisivat yhtäaikaista todellisen ohjauksen kanssa, johtuen yhteisestä tahdistuksesta. Tällaisissa ratkaisuissa paras tapa hakea kiinniohjauskäsky on ottaa signaali suoraan ohjauspiiristä diodin avulla samoin kuin on tehty aukiohjausten kanssa. Tällöin käsinsuoritetut ja releiden antamat ohjaukset ovat samassa signaalissa. Esimerkiksi Fingridin Liedon 400 kV järjestelmä on toteutettu näin. Kentänohjausyksiköillä toteutetuissa ratkaisuissa kiinniohjauspiiriin liittyy vain kaksi signaalia: jälleenkytkentäreleen suorittama kiinniohjaus ja kentänohjausyksikön kautta suoritettu käsin-kiinniohjaus. Tahdistukset on hoidettu molempien releiden sisällä itsenäisesti. Tässä ratkaisussa on mahdollista tarpeen vaatiessa eriyttää käsin ja JK-releen kiinniohjaukset omiksi signaaleikseen tallentimeen. Tätä ratkaisua on käytetty esimerkiksi Ulvilan 400 kV kytkinlaitoksella. Kiinniohjauksessa ei esiinny vastaavaa toiminta-aikojen eroa erityyppisten ohjausten välillä kuin aukiohjauksissa, joten käsin annettuja ja jälleenkytkentäreleiden kiinniohjauksia ei ole välttämätöntä erottaa tallenteessa. Katkaisijaa voidaan ohjata myös suoraan ohjaimelta. Nämä ohjaukset näkyvät käsitellyistä vaihtoehdoista vain katkaisijan ohjauspiiristä. Tiedot releiden laukaisu- ja kiinniohjauskäskyistä on mahdollista saada liikkumaan laitteiden välillä myös IEC 61850 -väylää pitkin.

Myös katkaisijan apukoskettimien tilatiedon avulla katkaisijan toiminnasta saadaan kerättyä tietoa, jota voidaan hyödyntää muun muassa valokaariaikojen osalta. Näitä ei Fingridillä yleisesti ole kaapeloitu releille tai häiriötallentimille asti. Releille on usein johdotettu katkaisijan auki/kiinni -tilatieto. Tämä signaali ilmoittaa katkaisijan olevan auki, silloin kun katkaisijan ohjaus on päättynyt. Tästä syystä katkaisijan tilatietoa ei voida käyttää katkaisijan koskettimien erkanemisen, tai valo-kaaren sammumisen havainnointiin. Tämä havaitaan myös kuvasta 14, jossa sininen pysty viiva kuvaa katkaisijan auki/kiinni -tilatiedon muutosta.

Eri releille on mahdollista yhdistää eri määrä binäärisignaaleja, mallista riippuen. Lisäksi kiskonsuojareleiden erilaiset rakenteet vaikuttavat binäärisignaalien tallenusmahdollisuuksiin. Kenttäyksiköihin perustuvissa hajautetuissa suojissa binäärisisääntuloista ei yleensä ole pulaa, sillä releille on vanhastaan johdotettu vain kentän lukitusten indikoinnit sekä katkaisijan laukaisukäskyt. Kun nämä tiedot kaikista lähdeistä johdotetaan yhteen keskitettyyn laitteeseen, signaaleiden määrä laitetta kohden kasvaa. Tästä syystä yhteen keskitettyyn REB670 kiskonsuojareleeseen voi olla vaikeaa saada johdotettua kaikkien katkaisijoiden kunnonvalvontaan tarvittavia katkaisijoiden ohjauksikäskyjä puuttuvan tilan vuoksi. Tämä ongelma koskee varsinkin suuria asemia.

3.5.2 Vaihevirrat ja jännitteet

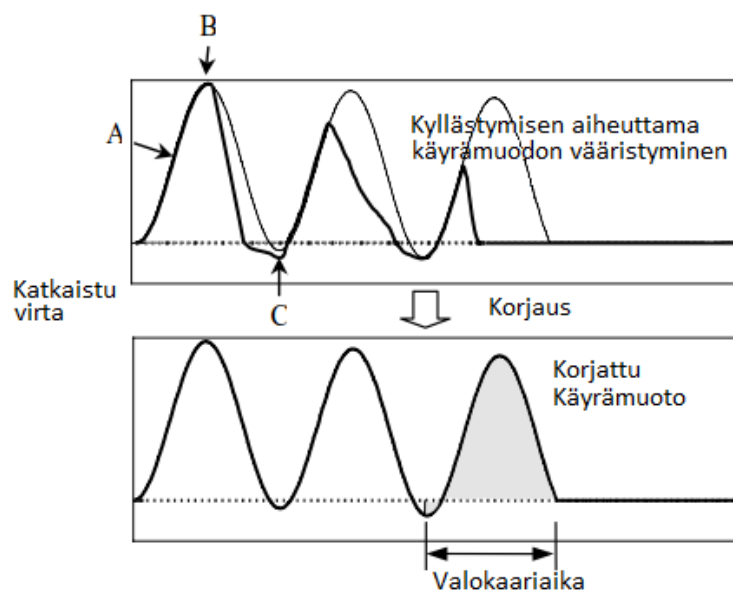
Virtamuuntajien tehtävänä on muuntaa virtamuuntajien läpi kulkevat ensiövirrat helpommin mitattaviksi ja käsiteltäviksi toisiovirroiksi. Virtamuuntajien nimellinen toisiovirta on yleensä 1 tai 5 ampeeria. Virtamuuntajat ovat pääsääntöisesti öljypaperi-, SF₆-kaasu- tai kuivaeristeisiä. Virtamuuntajat sisältävät erilliset mittausta- ja suojaussydämet, sillä virtamuuntajilta vaadittavat ominaisuudet mittausta- ja suojaustarkoitukseen ovat erilaiset. Kantaverkossa käytettävissä virtamuuntajissa on pääsääntöisesti yksi mittaussydän ja kolme suojaussydäntä. Mittaussydäimestä saatava virtamittaus on tarkempi kuormitusvirralla kuin suojaussydäimestä saatava, kun taas suojaussydämet kykenevät tarkemmin toistamaan vikavirrat. Mittaussydän leikkaa virran transienttipiikit pois toisioirroista. Tämä johtuu sydämien erilaisista kyllästymisominaisuuksista. Tästä johtuen mittaussydämiä ei voida käyttää vikavirtojen mittaamiseen. Duplex-kentillä virtamuuntajan 1. sydäntä käytetään mittaukseen, 2. ja 3. sydämiä lähdön suojaamiseen ja 4. sydäntä kisko- ja katkaisijavikasuojan tarpeisiin. [37]

Duplex-asevilla virtamuuntajat on asennettu lähdön molempiin kenttiin. Tällöin virtamuuntajalla mitattu virta kuvaa katkaisijan läpi kulkevaa virtaa. Lähdön kokonaisvirta, jota tarvitaan suojausten ja energiamittauksen toteutuksessa, saadaan summaamalla molempien duplex-puolien virtamuuntajien mitaamat virrat yhteen. Tämä on nykyisin toteutettu 1., 2. ja 3. sydämen osalta pääsääntöisesti kentällä sijaitsevassa jakokaapissa, jonka jälkeen yhdistetyt virtamittaukset tuodaan asemarakennuksessa sijaitseville releille. 4. sydämen virrat on johdotettu molemmilta puolilta erikseen asemarakennukselle. [37]

Toisin kuin suojauksessa, katkaisijoiden kunnonvalvontaa ajatellen johdolla kulkeva virta ei ole merkitsevä suure vaan kiinnostuksen kohde on katkaisijan läpi kulkeva virta. Tällä hetkellä duplex-asemien suojauksessa ainoastaan 4. sydämen virta tuodaan asemarakennukseen suoraan tällaisenaan, muiden sydämien duplex-puolien virrat summataan jo kentän jakokaapilla. Katkaisijan kunnonvalvonnan kannalta ainut mahdollisuus on käyttää 4. suojaussydämen virtaa. Tällöin tallennin joudutaan kytkemään samaan toisiopiiriin sarjaan kiskonsuojareleen kanssa. Tämä alentaa kiskonsuojareleen toimintavarmuutta. Toinen vaihtoehto on käyttää itse kiskonsuojarelettä tallennukseen. Myöskään tulevissa ratkaisuissa 1., 2. ja 3. sydämien virtoja ei haluta tuoda erillään asemarakennukselle asti.

Myös summavirroista on mahdollista havaita katkaisijan katkaisuaajan raju piteneminen, sillä summavirta katkeaa vasta kun hitaampi katkaisijoista avautuu. Tällöin ei kuitenkaan voida tietää kumpi lähdön katkaisijoista katkaisi virran hitaasti. Kiinniohjauksissa vastaavaa ilmiötä ei havaita, sillä virta alkaa kulkea välittömästi nopeamman katkaisijan sulkeuduttua.

Joissain tapauksissa vikavirran sisältämä tasavirtakomponentti voi aiheuttaa virtamuuntajan kyllästymistä. Tällöin toisiopiirissä kulkeva virta ei vastaa todellista katkaisijan läpi kulkevaa virtaa. Laskettaessa vikavirran arvoja ja toiminta-aikoja virtamuuntajien kyllästyminen on otettava huomioon. [47] Tätä on selvitetty kuvassa 18, jossa on esitetty todellisen ja mitatun virran ero kyllästyneessä mittausspiirissä sekä kyllästymisen vaikutus valokaariajan laskentaan.



Kuva 18: Virtamuuntajan kyllästymisen vaikutus toisiovirtaan [47].

Jännitemittauksiin käytetään magneettisia- eli induktiivisia- tai kapasitiivisiä jännitemuuntajia. Jännitemuuntajissa on yleensä vain yksi sydän, jota käytetään sekä mittaus- että suojaustoimintoihin. Sydämelle on yleensä kytketty kaksi toisiokäämiä. Tähtikytketty käämi, jota käytetään sekä mittaukseen että suojaukseen, sekä avokolmioon kytketty suojauskäämi, jota käytetään erityisesti suojauksessa maasulkujen havaitsemiseen. 400 kV:n duplex-järjestelmissä jännitteenmuuntaja on yleensä rakennettu jokaiseen johtolähtöön, jännitemuuntajan ollessa aina uloimmaisten erottimien tai erotusvälien johdon puolella. Muuntajakentissä erillisiä jännitemuuntajia ei käytetä. Lisäksi jokaisella kiskoilla on omat jännitemuuntajansa. 110 kV järjestelmissä lähtökohtaisia jännitemuuntajia ei yleensä käytetä, vaan jännitemuuntajat sijoitetaan vain jokaiselle pääkiskolle. Johdon jännitteen mittaukseen käytetään tällöin virtamuuntajien kapasitiivisiä jännite-ulostuloja. Näistä mitattava jännitearvo ei ole kovin tarkka ja sitä ei voida käyttää tarkkoja mittauksia vaativiin toimintoihin, mutta siitä voidaan esimerkiksi todeta onko johto jännitteellinen vai ei.

Vain toisen duplex-puolen katkaisijan avaamisen yhteydessä jännitemuuntajien mittaamat arvot eivät muutu, sillä katkaisijan eri puolet ovat yhteydessä aseman muiden kenttien kautta myös katkaisijan avaamisen jälkeen, jolloin jälleensyöttymisten havaitseminen jännitteen perusteella muuttuu mahdottomaksi. Vikatilanteissa vaihejännitteiden avulla voidaan havaita katkaisijan jälleensyöttymisiä, tosin Duplex- asemalla ei voida tietää kummassa katkaisijassa jälleensyöttymisiä esiintyy. Jännitemittauksia ei näin ollen ole mahdollista käyttää katkaisijoiden kunnonvalvonnan apuna duplex- asemilla.

Laitteelle vaaditaan paljon mittauskanavia. Tarvittava määrä riippuu mitattavien katkaisijoiden määrästä ja siitä mitä kaikkea katkaisijan toiminnasta halutaan tallentaa. Jos mitataan vain vaihevirtoja, analogikanavia tarvitaan 3 jokaista katkaisijaa kohden. Jos mukaan lisätään kisko- tai johtojännitemittaukset, tarvittavien

mittauskanavien määrä kasvaa nopeasti hyvin suureksi.

3.5.3 Viritysmoottorin tiedot

Viritysmoottorin läpi kulkeva virta voidaan muuntaa erillisellä virtamuuntajalla tallentimelle sopivaksi, jotta myös viritysmoottorin virtakäyrä saadaan tallennettua. Lataukseen kuluva aika, noin 10–20 sekuntia, on kuitenkin pidempi kuin tallennuksen maksimipituus suurimmalla osalla laitteista. Kuitenkin esimerkiksi Siprotec 5 tuoteperheen releet pystyvät tallentamaan maksimissaan 20 sekunnin mittaisia tallenteita, joilla viritysmoottorin läpi kulkevan virran tallentaminen on mahdollista. Virrasta voidaan analysoida piikkejä, jotka voivat johtua esimerkiksi moottorin epätasaisesta kuormituksesta viritysjakson sisällä. Tämä kertoo ongelmista katkaisijan ohjaimen voimansiirrossa.

Lyhyemmän tallennuskapasiteetin omaavilla laitteilla jousen viritykseen kuluva aika saadaan laskettua tallenteista asettelemalla tallennin tallentamaan lyhyt tallenne jousen latausjakson alusta sekä lopusta. Tallenteiden välisestä ajasta on mahdollista laskea viritysmoottorin käynnissäoloaika, eli kiinnikytöntäjousen kokonaislatausaika. Viritysmoottorin kokonaiskäyntiajan tallentamiseen voidaan käyttää myös tapahtumatallementimia. Tarvittavat signaalit saadaan johdotettua tallentimelle esimerkiksi monistamalla viritysmoottorille kulkevasta virrasta apureleen avulla binäärisignaali, joka kuvaa moottorin käymistä. Apureleistä aiheutuu signaaliin muutaman millisekunnin viive mutta viritysmoottorin toiminta-ajassa millisekuntiluokan erot ovat merkityksettömän pieniä, joten apureleiden käyttäminen on hyväksyttävää.

3.5.4 Milliampeerimittaukset

Jotkin uusimmista tallentimista kykenevät tallentamaan mA-mittauksia. Näiden avulla saadaan tallennettua esimerkiksi kelavirtoja, akkujen jännitteitä, liikeaikaikäyriä ja viritysmoottorin virtaa. Mittauksia varten mitattava signaali joudutaan muuntamaan mA-mittaukseksi erillisen mA-anturin avulla. Anturit muuntavat mitattamansa tiedot 4–20 mA virtasignaaliiksi. Antureiden avulla voidaan tallentaa muun muassa liikettä, erisuuruksia virtoja ja jännitteitä.

Katkaisijan ohjaimen liikeaikaikäyrä on mahdollista mitata mA-mittausten avulla. Ohjaimen liike saadaan liikeanturilla muutettua mA-virraksi. Tämä voidaan johdottaa suoraan tähän kykeneville releille tai vahvistimen kautta kaikille releille. Myöskään liikeaikaikäyrän tallentamiseksi 1 kHz taajuus ei ole riittävä.

Myös katkaisijan kelavirrat ja kelajännitteet voidaan muuntaa mA-mittaukseksi ja johdottaa tallenteelle. Näin on mahdollista saada P3-mittalaitteen mitaamaan käyrän kaltainen tallenne jokaisesta katkaisijan ohjauksesta ja havaita mahdollisia alkavia ongelmia katkaisijan ohjaimen toiminnassa.

3.5.5 Mittausten näytteenottotaajuus

Katkaisijoiden kunnonvalvonnan kannalta tärkeää on myös aikaresoluutio. Millisekuntiluokan ilmiöitä on hankala kyetä havaitsemaan, jos tallennin tallentaa katkaisijan tapahtuman liian alhaisella näytteenottotaajuudella.

Nyqvistin teorian mukaan näytteenottotaajuuden tulee olla vähintään kaksi kertaa suurempi kuin analysoitavan signaalin korkein taajuus. Esimerkiksi 1 kHz tallentimella varustetulla releellä voidaan näin ollen tarkastella vain alle 500 Hz taajuudella tapahtuvia ilmiöitä. [48] Jälleensyöttymisvirta voi sisältää jopa 100–1000 kHz komponentteja [49]. Jälleensyöttymisiä on hankala havaita tallenteista, jollei tallentimen näytteenottotaajuus ole erittäin suuri, tai jälleensyöttyminen pitkäkestoinen. Tämän vuoksi jälleensyöttymisten analysointiin vaaditaan korkean näytteenottotaajuuden omaava tallennin. Tutkimuksessa [8] jälleensyöttymisten analysointia varten suositellaan näytteenottotaajuuden olevan vähintään 64 näytettä jaksoa kohti. Tätä varten vaaditaan vähintään 3200 Hz taajuudella toimiva tallennin.

Monissa reletallentimissa käytetään 1 kHz näytteenottotaajuutta. Näiden releiden käyttäminen katkaisijoiden kunnonvalvontaan rajoittaa mitattavien tulosten tarkkuutta. Kaikki tällä hetkellä käytössä olevat kiskonsuojareleet jäävät alle suositellun 3200 Hz rajan näytteenottotaajuudelle.

Katkaisijoiden nykyisessä mittaushuollossa käytettävät mittalaitteet mittaavat toiminta-ajat 0,1 millisekunnin tarkkuudella. Jotta vastaavaan tarkkuuteen päästäisiin, pitää analogi- ja binäärikanavien tiedot tallentaa vähintään 10 kHz näytteenottotaajuudella. Tähän päästään vain häiriötallentimien avulla. Jos toiminta-aikamittauksissa sallitaan tarkkuuden aleneminen 1 millisekuntiin, voidaan myös releiden tallentimia käyttää mittausten suorittamiseen. Myös heikomman näytteenottotaajuuden omaavilla laitteilla on mahdollista havaita toiminnan huomattava hidastuminen.

3.6 Tietojen tallennus

Jotta mitattuja tietoja voidaan analysoida myöhemmin, tiedot on tallennettava. Häiriötallenteet on ennestään Fingridillä tallennettu STINA-järjestelmän avulla ja jatkuva-aikaisen kunnossapitomittausten tallentamiseen on käytetty PI-järjestelmää.

3.6.1 Comtrade tiedostomuoto

Releet ja häiriötallentimet tallentavat tapahtumista ottamansa tallenteet IEEE C37.111 statardin mukaisessa COMTRADE-muodossa (Common format for Transient Data Exchange for power systems). Muoto sisältää seuraavat neljä tiedostomuotoa, jotka tallennetaan häiriön tallennuksen yhteydessä. Otsikkotiedosto (.HDR), joka sisältää verkon sähköisiä arvoja sekä selostuksia tapahtuneesta. Tiedosto ei ole pakollinen, eivätkä Fingirin tallentimet muodosta näitä tiedostoja. Konfiguraatitiedosto (.CFG), joka sisältää laitteen tallentamien kanavien nimet, muuntosuhteet, mittausvälin sekä laitteen näytteenottotaajuuden ja tallenteen ajanhetken. Tiedosto on tallenteen luettavuuden kannalta olennainen, sillä tässä tiedostossa selitetään mikä sarake datatiedostossa vastaa mitäkin mittauskanavaa. Datatiedosto (.DAT) sisältää itse mittausdatan. Binäärikanavien mittaukset tallennetaan muodossa, jossa 1 kuvaa tilaa päällä ja 0 tilaa pois päältä. Analogi-kanavista mitatut tiedot on datatiedostossa skaalattuna mittausvälin suhteen. Lisätietotiedosto (.INF) sisältää lisätietoja. Myöskään tämä tiedosto ei ole pakollinen eikä Fingridin laitteet muodosta näitä. [50]

Mittaukset voidaan tallentaa Comtrade-tiedostoihin joko binääri- tai ASCII-muotoisena. ASCII-muotoiset tiedostot ovat luettavissa suoraan avaamalla tiedosto, kun taas binääritiedostojen lukemiseen vaaditaan erillinen ohjelma, joka osaa kääntää binääritekstin luettavaan muotoon. [50] Jotta tuloksia voidaan lukea myös muilla kuin häiriötallenteiden avaamiseen suunnitelluilla ohjelmilla, tallentaa tulee tallentaa ASCII-muodossa. Näin on tähänkin asti toimittu suurimmalla osalla Fingridin laitteista.

3.6.2 STINA

Fingridin sähköasemilla häiriötallenteiden keruu on toteutettu STINA-häiriötallenteidenkeruuhjelman avulla. Ohjelman avulla kaikki verkosta mitattavat tallenteet saadaan yhteen ohjelmaan analysoitavaksi automaattisesti ja nopeasti vikatilanteiden jälkeen. STINAn avulla verkon valvoja tai häiriönselvittäjä voi käydä helposti tarkastelemassa häiriöstä tallennettuja tallenteita. [41]

Releiden sisäisten häiriötallentimien tallenteiden keruu suoritetaan Engineering PC -tietokoneiden avulla. Releet on yhdistetty Engineering PC -tietokoneeseen releiden huoltoväylien avulla. Näillä tietokoneilla toimivat relevalmistajien tallenteiden keruuhjelmot seuraavat jatkuvasti aseman releiden tallentimia. Kyseisiä ohjelmia ovat muun muassa Simensillä SICAM PQS ja SICAM Recpro. Myös Arevalla ja ABB:lla on omat ohjelmansa. Kun rele tallentaa uuden häiriötallenteen, Engineering PC havaitsee uuden tallenteen releellä ja noutaa sen levyilleen. Engineering PC on kytketty TCP/IP-yhteydellä STINA-häiriötallenteidenkeruuhjelmaan. Erilliset häiriötallentimet on kytketty suoraan STINAan TCP/IP-yhteydellä, ilman välissä olevaa Engineering PC -tietokonetta.

STINA noutaa laitteiden tallenteet saatuaan käytönvalvontajärjestelmästä tiedon katkaisijan laukaisusta. STINA noutaa tallenteet laukaistun johdon pääteasemien, tai lähimpien asemien Engineering PC:iltä ja erillistallentimilta. Lisäksi STINA hakee kaikki tallenteet joka yö, jolloin voidaan varmistua, että kaikki tallenteet tulevat kerätyiksi. Myös tallenteiden manuaalinen haku tarvittaessa on mahdollista. Kuvassa 19 on ruutukaappaus STINA-häiriötallenteidenkeruuhjelmasta. Tallenteet saadaan ohjelman avulla tallennettua verkkolevyille, josta niitä voidaan hyödyntää muiden ohjelmien tarpeisiin. Tällöin tallenteita on mahdollista analysoida esimerkiksi Excel-tilukkolaskentaohjelman tai MatLabin avulla, jolloin katkaisijan toimintaa kuvaavien tunnuslukujen laskeminen on mahdollista automaattisesti.

Paivamaara / Kellonaika	Tyyppi	Asema	Osoitus	Laitteen nimi	K/L:Tiedosto	Hakupolku	Ti:Kansio
19.10.2015	HT	Vajukoski 110	VC DAU 1, Voltage +dM/dt, AEW1 Summa Uo	VAJ 110	1082	\\TINA\STINADATA\2015\COM6602015101911102189.CFG	Tiedosto
19.10.2015	HT	Valajaskoski		AE07 VLJ	69	\\TINA\STINADATA\2015\COM138120151019111244180.CFG	Tiedosto
19.10.2015	HT	Valajaskoski		VL Dakon	619	\\TINA\STINADATA\2015\COM140120151019111373380.CFG	Tiedosto
18.10.2015	HT	Vajukoski 110	VC DAU 1, Voltage high, AEW1 Summa Uo	VAJ 110	1285	\\TINA\STINADATA\2015\COM6602015101911103777.CFG	Tiedosto
18.10.2015	HT	Valajaskoski		AE07 VLJ	89	\\TINA\STINADATA\2015\COM13812015101911124418.CFG	Tiedosto
18.10.2015	HT	Valajaskoski		VL Dakon	645	\\TINA\STINADATA\2015\COM14012015101911137311.CFG	Tiedosto
16.10.2015	HT	Kemimaa	VCD AU 1, Binary high, TVM1 kk, toim.	KI 400 kv	1495	\\TINA\STINADATA\2015\COM412015101705211940.CFG	Tiedosto
16.10.2015	HT	Uvilva	CDAU 2, Binary high, AE17 KAP Z HAV.	UL 110 kv	1338	\\TINA\STINADATA\2015\COM17412015101704113189.CFG	Tiedosto
16.10.2015 9:23:56.039	HT	Ventusneva 1		AE13 KJ 7SA522 V4.1	41	\\TINA\STINADATA\2015\COM14542015101702591436.CFG	Tiedosto

Kuva 19: STINA-ohjelma.

STINA on Fingridin häiriönselvityksen päätyökalu. Jos katkaisijoiden toiminnasta

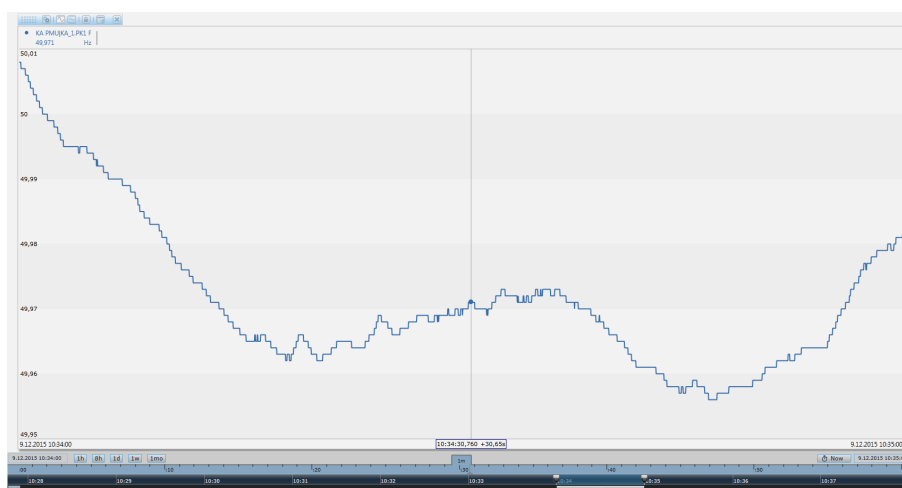
syntyviä tallenteita aletaan tallentamaan STINA-järjestelmään, täytyy varmistua siitä, ettei tämä häiritse häiriönselvitystä. Katkaisijoiden normaalista toiminnasta syntyvät tallenteet tulee pystyä selkeästi erottamaan todellisissa vikatilanteissa syntyneistä tallenteista.

3.6.3 PI-järjestelmä

Osisoft PI on teknisten aikasarjatietojen tietovarasto ja raportointijärjestelmä. Fingridissä PI:tä käytetään käytönvalvontajärjestelmän sekä jatkuva-aikaisen kunnonvalvonnan aikasarjatietojen tallentamiseen. Järjestelmän tallentamia tietoja voidaan tarkastella selaimella PI coresight -ohjelman kautta, PI ProcessBook -sovelluksella tai Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla.

PI-järjestelmää käytetään SCADA-järjestelmän historian seuraamiseen. Järjestelmään tallennetaan kaikkien käytönvalvontajärjestelmään tulevat mittaukset ja laitteiden tilatiedot ja käytönvalvontajärjestelmän laskentojen tulokset. Näiden tietojen avulla on mahdollista mallintaa vanhoja tilanteita. PI-järjestelmää voidaan hyödyntää myös laitteiden kunnonvalvonnassa. Fingridissä PI-järjestelmää käytetään muuntajien, katkaisijoiden kaasunpaineen, kompensointilaitteiden sekä varavoimalaistosten jatkuva-aikaiseen kunnonvalvontaan.

PI-järjestelmää käytetään myös PMU-laitteiden (Phason Measurement Unit - osoitinmittari) mittausten tallentamiseen. PMU mittaa jännitteitä ja virtoja, yleensä 50 Hz näytteenottotaajuudella, jolloin saadaan mitattua yksi näyte jokaista jaksoa kohden. Näiden mittausten avulla lasketaan verkon osien kulmaeroja ja taajuutta. Laitteiden tarkoituksena on havaita huonosti vaimentuvat tehoheilahtelut järjestelmässä sekä järjestelmän merkittävästi huonontunut vaimennustaso. PMU-laitteita voidaan käyttää myös muihin tarkkuutta vaativiin mittaustarkoituksiin. Mittausdataa käytetään esimerkiksi häiriöiden jälkianalysointiin. Kuvassa 20 on esitetty taajuuden hetkelliset arvot minuutin ajanjaksolla PMU-laitteilla mitattuna PI Coresight -ohjelman kautta katsottuna. PMU-dataa säilytetään PI-järjestelmässä vuoden ajan.



Kuva 20: Verkon taajuuden PMU mittaus minuutin ajalta.

PI-järjestelmään on saatavilla useita tiedonsiirtorajapintoja, joiden avulla mittausdataa voidaan muuntaa aikasarjoiksi. Myös COMTRADE-tiedostoille on saatavilla rajapinta, jonka avulla tiedostot saadaan suoraan luettua aikasarjoiksi. PI kykenee tällä hetkellä tallentamaan näytteitä vain 1 ms välein. Tästä syystä järjestelmää ei voida käyttää yli 1000 Hz näytteenottotaajuudella suoritettujen mittausten tallentamiseen ilman mittaustiedon laadun heikentymistä. PI-järjestelmä on suunniteltu jatkuvien mittausten tallentamiseen, joten häiriötallenteiden tallentaminen sellaisenaan ei vastaa järjestelmän käyttötarkoitusta. Järjestelmään on järkevämpää tallentaa suoraan jonkin muun ohjelman avulla lasketut katkaisijan toiminta-ajat. Näiden avulla saadaan tallennettua trendi katkaisijan toiminta-aikojen kehittymisestä ajan myötä. Tosin tällöinkään mittaukset ei ole jatkuvia vaan näyteluontoisia vaihtelevin aikavälein. Toiminta-aikojen laskentaan voidaan käyttää esimerkiksi MatLab-ohjelmaa tai Excel-taulukkolaskentaohjelmaa ja sen VBA-makroja. Myöskään katkaisun tyyppiä tai jälleensyttymisten esiintymistä ei saada suoraan tallennettua liittymään katkaisuun. Voidaankin todeta, että PI-järjestelmä ei sovellu katkaisijoiden kunnonvalvontaan sellaisenaan. Rinnalle tarvitaan erillinen tallennusjärjestelmä muiden kuin toiminta-aikamittausten tulosten tallentamiseen.

4 Tallenteiden analysointi ja tulosten laskenta

Katkaisijan toimintojen mittauksen lisäksi vähintään yhtä tärkeää on mittausten automatisoitu analysointi. Käyttäjällä ei ole aikaa alkaa tutkimaan virta ja jännitekäyriä jokaisesta toiminnasta, vaan järjestelmän on kyettävä analysoimaan mitaukset, laskettava tunnusluvut luotettavasti, esittämään tiedot käyttäjälle jokaisesta toiminnasta sekä hälyttämään viallisista katkaisijan toiminnoista.

Tässä luvussa esitetyt laskentasäännöt on muodostettu käyttämällä apuna Fingridin olemassa olevien häiriötallenteita vanhoista vikatilanteista sekä P3-mittalaitteen tallentamia vaihevirtojen arvoja duplex-asemien katkaisijoiden ohjauksista kuormavirroilla.

4.1 Tiedonsiirto

Tiedon siirtoon sähköaseman katkaisijoiden tapahtumia tallentavan laitteen ja keskitetyn tietovaraston välillä voidaan käyttää STINA-ohjelmiston tallenteiden nouto-toimintoa. Tämän avulla kaikki tallenteet saadaan koottua yhdelle serverille, josta laskentamoottori voi hakea tarvittavat tallenteet. Laskentamoottori saadaan tunnistamaan kyseiset tallenteet yhdistämällä se STINA:n tietokantaan, josta voidaan hakea tieto uuden tallenteen saapumisesta sellaiselta laitteelta, joka on määritetty laskentamoottorin seuraamien laitteiden joukkoon. Vain tallenteet jotka sisältävät katkaisijan läpi kulkevien vaihevirtojen ja laukaisu- sekä kiinniohjauskäsäkyjen arvot ovat kiinnostavia katkaisijan kunnonvalvonnan kannalta.

Tallenteiden tiedonsiirtoon voidaan käyttää myös Fingridin MPLS-verkkoa. Tallenteet siirretään suoraan Fingridin verkkolevylle, jossa toimintaa kuvaavien tunnuslukujen laskenta suoritetaan. Laskentaan käytetään Excel-taulukkolaskentaohjelmaa ja siihen rakennettuja WBA-makroja. Myös MatLab-ohjelmiston käyttö tunnuslukujen laskentaan on mahdollista.

4.2 Tunnuslukujen laskenta

Tunnuslukujen laskentaa varten järjestelmän on kyettävä päättelemään mitkä tunnusluvut mistäkin tallenteesta on laskettava. Esimerkiksi kiinni-kytkennän tallenteesta ei tule laskea katkaisu-aikoja. Yksi tallenne voi myös sisältää useamman katkaisijan tapahtuman. Esimerkiksi releet laukaisevat aina molemmat duplex-puolen katkaisijat samanaikaisesti. Tällöin kaikkia aseman katkaisijoita valvova häiriötallennin tallentaa samaan tallenteeseen molempien katkaisijoiden käyttäytymisen. Kiskosuojan laukaisun tapauksessa tapahtumia voi olla enemmänkin kaikkien kiskoon liittyvien katkaisijoiden toimiessa.

Tapahtumia kannattaakin tarkastella tallenteen sisältämien signaalien avulla ja havainnoida aina kaikki mahdolliset tapahtumat. Laskennan kannattaa käydä läpi kaikki ohjauskäskyt tallenteista. Riippuen siitä, minkä tyyppinen ohjauskäsky tallenteesta löytyy, voidaan suorittaa sitä vastaava laskenta ja jatkaa eteenpäin seuraavan ohjauskäskyn tarkasteluun. Esimerkiksi, jos tallenteessa havaitaan katkaisijan kiinniohjauskäsky, tulee vastaavalle katkaisijalle suorittaa kiinniohjauksen toiminta-ajan

laskenta.

4.2.1 Erityyppiset katkaisut

Duplex-kenttien katkaisutapahtumat voidaan jaotella kolmeksi erityyppiseksi katkaisuksi, joissa katkaisijan läpi kulkevat virrat käyttäytyvät eri tavoin.

1. Katkaisu, jossa ohjataan auki vain toisen duplex-puolen katkaisija. Tällöin katkaisuajaksi muodostuu sama aika kun mittaushuollossa nykyisin mitattava mekaaninen toiminta-aika, eli aika, joka katkaisijalla kestää ohjauskäskyn saamisesta valokaarikoskettimien irtoamiseen toisistaan. Koskettimien irrotesa toisistaan, virta alkaa kiertää saman lähdön toisen duplex-puolen kentän kautta, jolloin valokaari sammuu välittömästi.
2. Jälkimmäisen duplex-puolen katkaisijan avaus. Tällöin katkaisijan täytyy todella katkaista kuormavirta. Virran katkeaminen hidastuu valokaariajan verran, verrattuna ensimmäisen puolen ohjaukseen. Virta katkeaa vasta nollakohdassaan. Tarkkaa valokaariaikaa ei voida mitata tallenteiden avulla, joten tallenteet eivät ole vertailukelpoisia ensimmäisen duplex-katkaisijan avaamisen kanssa.
3. Todellisessa vikatilanteessa molemmat katkaisijat avautuvat samanaikaisesti, jolloin molempien puolten virran katkaisuaajat sisältävät valokaariajan. Tästä syystä näiden tapahtumien katkaisuaajat täytyy pystyä erottamaan toisistaan myös jälkikäteen.

Eri katkaisutapahtumien vertailemiseksi keskenään on tärkeä pystyä erottamaan tuloksista, minkä tyyppinen katkaisu on ollut milloinkin kyseessä. Tätä varten on rakennettava laskenta. Tämä voidaan toteuttaa vertailemalla vastakkaisen duplex-katkaisijan läpi kulkevaa virtaa ennalta määrättyihin sääntöihin. Jos vastakkaisen duplex-kentän puolen läpi kulkee virta hetkellä, jolloin laukaisukäsky annetaan ja vastaava virta kulkee myös 5 jaksonajan päästä, tapahtuma lasketaan tyyppin 1. mukaiseksi yhden duplex-puolen aukiohjaukseksi. Jos vastakkaisen duplex-puolen läpi ei kulje virta aukiohjauksikäskyn hetkellä, kyseessä on tyyppin 2. ohjaus. Jos ohjauskäskyn hetkellä, molempien puolien läpi kulkee virta, jotka molemmat sammuvat vähintään 5. jakson sisällä, kyseessä on 3. tyyppin todellinen vian katkaisu. Rakenteestaan johtuen puoliduplex-kentissä ja muuntotyyppisten kytkinlaitosten kentissä katkaisijoilla esiintyy vain 2. ja 3. tyyppin katkaisuja.

4.2.2 Katkaisuaika

Toiminta-aikojen automaattinen laskenta voidaan suorittaa laskemalla tallenteesta laukaisukäskyn saamisen ja virran katkaisun ajanhetket. Näiden hetkien välisestä erotuksesta saadaan suoraan katkaisijan katkaisuaika.

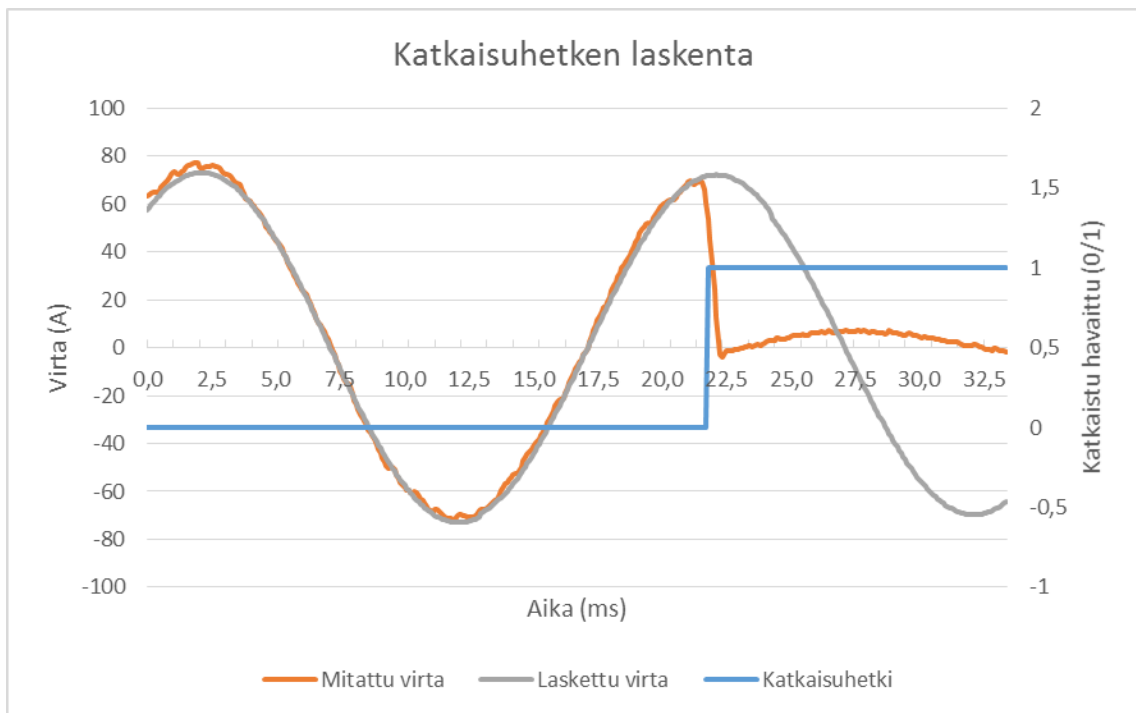
Laukaisukäskyn ajanhetken laskemista varten järjestelmän täytyy havaita hetki, jolloin katkaisija saa ohjauskäskyn. Käskyn saadessaan vastaavaa käskyä tallentava binääri-signaali vaihtuu tallenteessa arvosta 0 arvoon 1. Tämä hetki voidaan laskea

vertaamalla tallennettua katkaisijan laukaisukäskyn arvoa käskyn seuraavan ajanhetken arvoon. Jos arvo on tietyllä ajanhetkellä 0 ja seuraava arvo on 1, kyseinen arvon 1 ensimmäisen esiintymän ajanhetki on laukaisuhetki. Jos laukaisupiirissä esiintyy häiriötä, tallentimen mittaama arvo voi käydä arvossa 1 ilman, että katkaisija toimii. Laukaisukäskyn ajanhetken laskenta voidaan varmentaa vaatimalla laukaisupulssin arvon olevan 1 tarpeeksi monen näytteen ajan, ennen kuin katkaisijan tulkitaan saaneen käskyn. Käskyn ajanhetkeksi määritetään silti ensimmäisen 1 arvon ajanhetki.

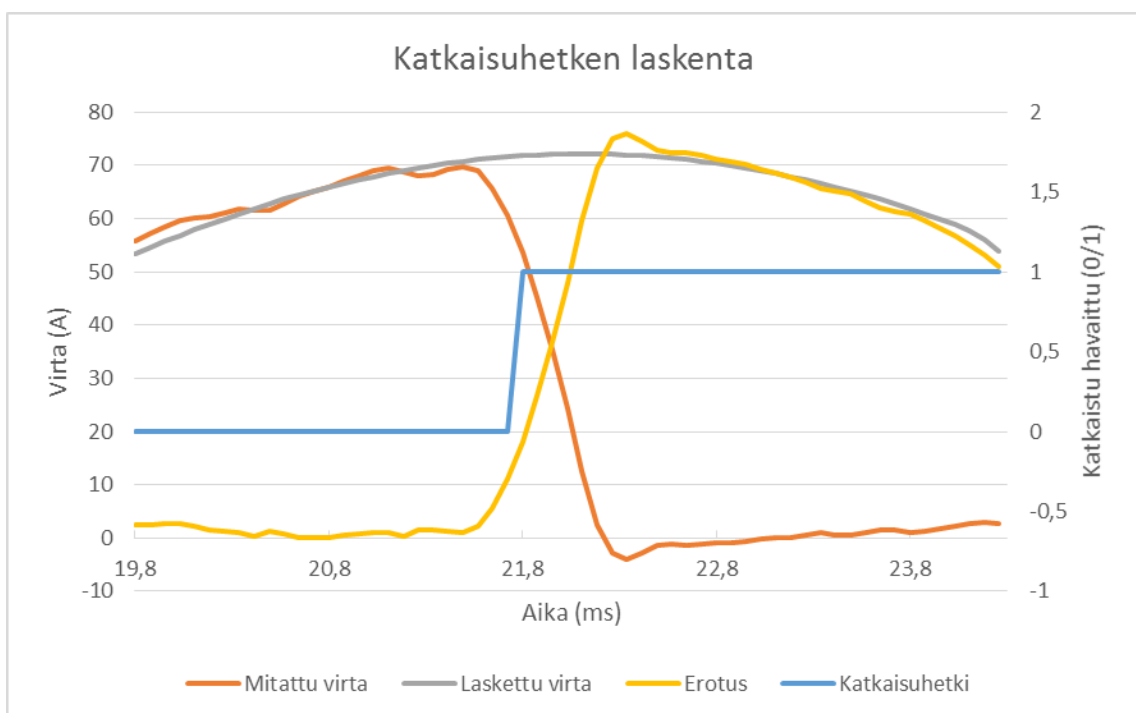
Virran katkaisuhetki saadaan laskettua määrittämällä milloin virran kulku katkaisijan läpi lakkaa. Katkaisuhetken määrittämiseksi on rakennettava monimutkaisempi logiikka, sillä virran hetkellinen arvo ei tallenteessa laske tasan noltaan, vaikka virran kulku todellisuudessa katkeaa. Myös virtakäyrän erilainen käyttäytyminen vikatilanteiden ja kuormavirran katkaisujen välillä aiheuttaa haasteita katkaisuhetken laskentaan. Katkaisuhetken laskenta voidaan suorittaa esimerkiksi tilastollisten tunnuslukujen tai Fourier-analyysin avulla.

Kuormavirtoja katkaistaessa, tyyppin 1 ja 2 katkaisuissa katkaisijan läpi kulkeva virta pysyy lähes vakiona ennen katkaisua. Tällöin katkaisuhetki voidaan määrittää vertaamalla mitattua virtaa sekä odotusarvoista virran arvoa keskenään. Kun käyrät eroavat toisistaan tarpeeksi paljon voidaan kyseisen hetken sanoa olevan katkaisuhetki. Tällä laskentatavalla tarkka katkaisuhetki saadaan laskettua myös jos virta katkeaa muualla kuin virran luonnollisessa nollakohdassa. Tässä työssä katkaisuhetken laskemiseen käytetään mitatun käyrän ja edellisen puolijakson suurimmalla arvolla kerrotun 50 Hz siniaallon välistä erotusta. Simuloitu sinikäyrä saadaan vastaamaan mahdollisimman hyvin mitattua käyrää katkaisuhetkellä määrittämällä myös simuloidun käyrän nollakohta katkaisua edeltävään mitatun virran nollakohtaan. Hetki, jolloin todellisen ja lasketun käyrän erotus kasvaa viisi kertaa suuremmaksi kuin erotusten keskiarvo, on tutkimuksessa [32] todettu olevan katkaisuhetki. Tätä kerrointa käytetään myös tässä työssä.

Tätä laskentatapaa käyttäessä laskentaan tarvitaan vain katkaisua edeltäviä arvoja joten katkaisun jälkeen mahdollisesti tapahtuvilla jälleensyttymisillä ei ole vaikutusta katkaisuhetken laskentaan. Virran todellisen arvon ja lasketun virta-arvon käyttäytymistä on havainnollistettu kuvissa 21 ja 22. Kyseisen P3-mittalaitteella tallennetun 3AP2 erottavan katkaisijan L1 vaiheen 1. tyyppin katkaisun katkaisuajaksi saadaan tällä algoritmilla 21,72 ms. Vertailun vuoksi P3 laitteen oma ohjelmisto on laskenut kyseisen toiminnan toiminta-ajaksi 22,42 ms. L2 vaiheessa algoritmi laskee toiminta-ajaksi 21,95 ms P3-mittalaitteen antaessa tulokseksi 22,5 ms. Tuloksista havaitaan P3 laitteen määrittävän virran katkaistuksi vasta, kun virran arvo laskee noltaan. Tämän työn algoritmi puolestaan laskee virran katkaistuksi jo, kun virran mitattu arvo alkaa laskea. Voidaan todeta, että tässä työssä kehitetty algoritmi on tarkempi, kuin P3-mittalaitteen käyttämä.



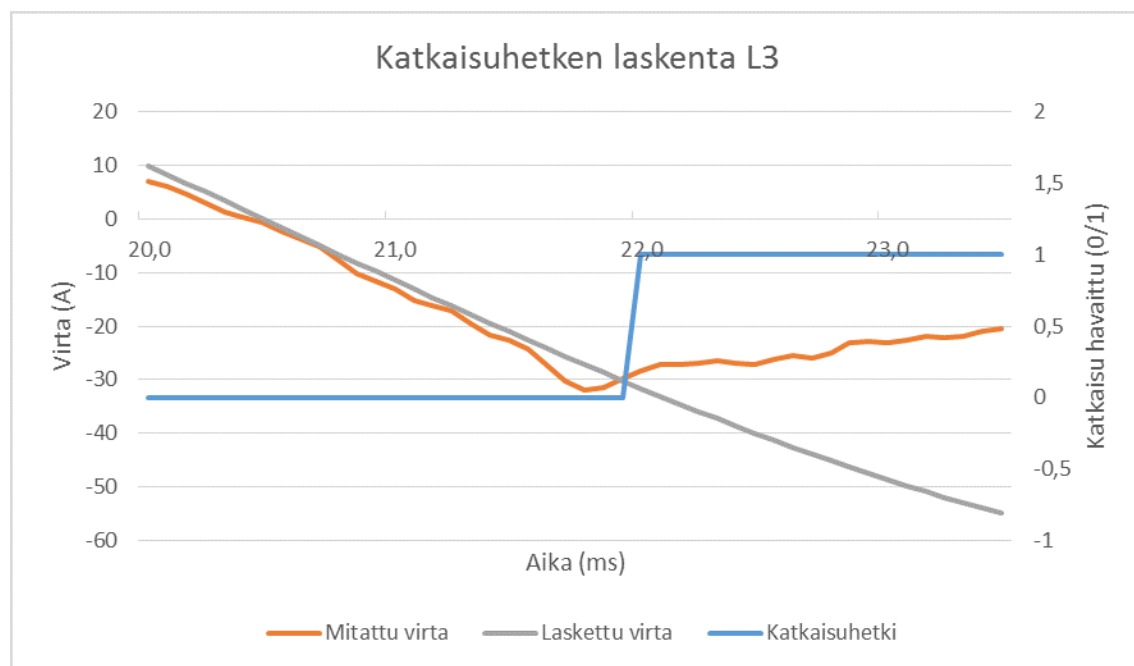
Kuva 21: Mitattu ja simuloitu virta.



Kuva 22: Mitattu ja simuloitu virta sekä niiden erotus katkaisuhetkellä.

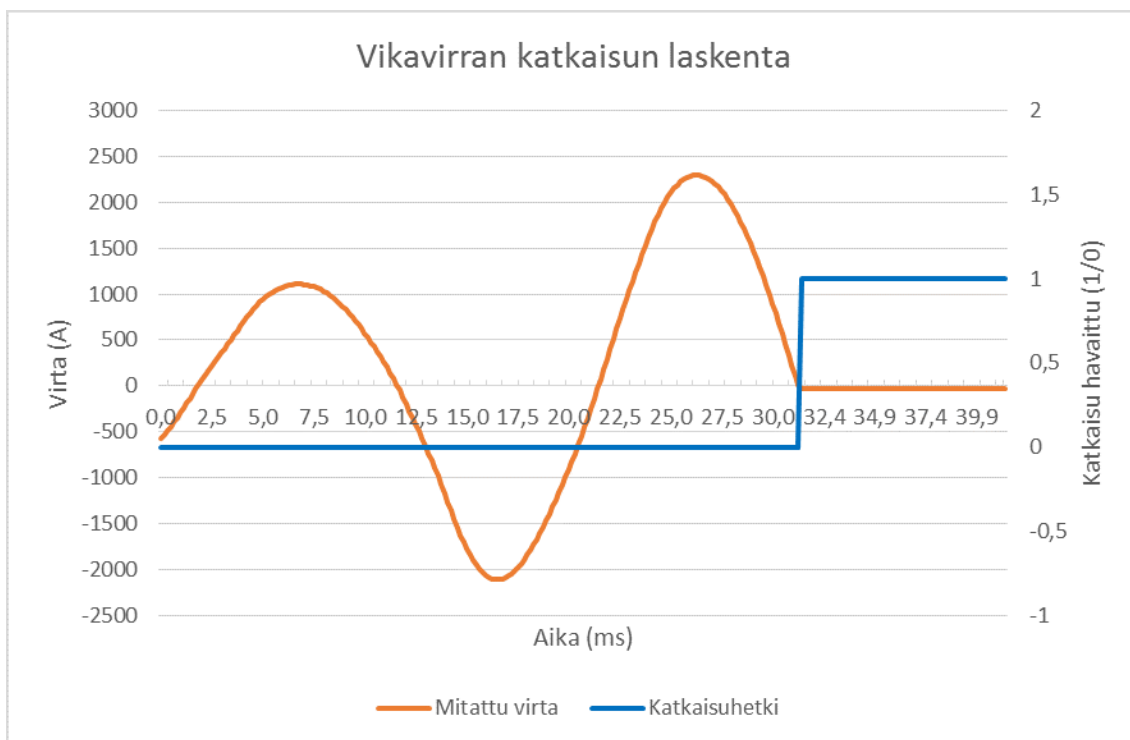
Kuvassa 23 on kuvattu algoritmin käyttäytyminen saman katkaisijan saman katkaisutapahtuman L3 vaiheen katkaisussa. Simuloitu ja mitattu käyrä eroavat

toisistaan hiukan katkaisuhetkellä. Lisäksi mitattu virtakäyrä kääntyy simuloitun käyrän yli, jolloin erotus alkaa kasvaa vasta ylitettyään simuloitun käyrän ja pääsee kasvamaan tarpeeksi suureksi, vasta noin 0,2 ms todellisen katkaisuhetken jälkeen. Tällaiset katkaisut ovat vaikeita algoritmin kannalta. 0,2 ms ero todellisen ja lasketun katkaisuhetken välillä on kuitenkin pienempi kuin ohjauskäskyn tallentamiseen käytetyn kanavan näytteenottotaajuus uusimmassa 7KE85 häiriötallentimessa. P3-mittalaite on laskenut tämän katkaisun toiminta-ajaksi 21,88 ms tämän algoritmin antaessa tulokseksi 22,11 ms.

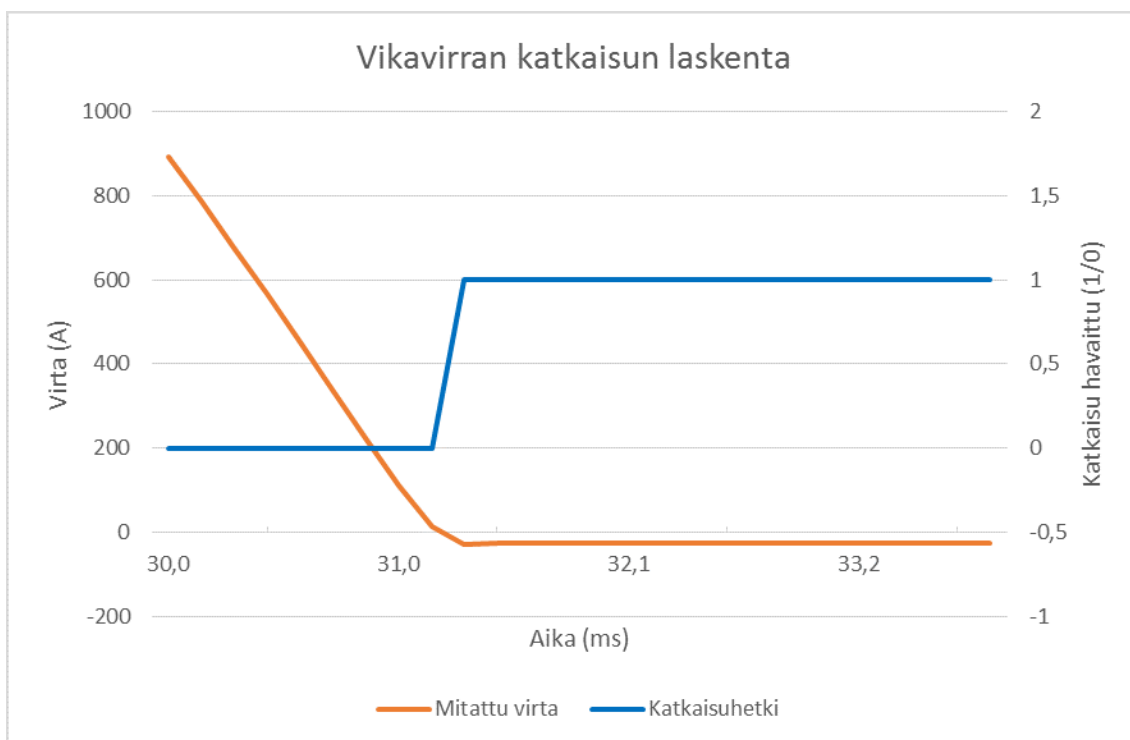


Kuva 23: Mitattu ja simuloitu virta katkaisuhetkellä.

Vikavirtoja katkaistaessa 3. tyyppin katkaisuissa samaa algoritmiä ei voida käyttää katkaisuhetken laskentaan, sillä virran ei voida olettaa olevan vakio koko tallenteen ajan. Vikavirran katkaisuissa katkaisuhetken voidaan arvioida olevan hetki jolloin seuraavan jakson maksimiarvo on alle 10 % edellisen jakson maksimiarvosta ja jolloin virran muutos loppuu. Jos halutaan analysoida myös jälleensyttymisiä joudutaan arvioimaan katkaisua vain seuraavan 1/8 jakson avulla. Jos seuraavan 1/8 jakson maksimi on vähintään 10 % pienempi kuin edellisen vastaavan jaksonhetken ja virtakäyrän suunta kääntyy kyseinen hetki on katkaisuhetki. Kuvissa 24 ja 25 on esitetty vikavirran katkaisun käyränmuoto, sekä hetki, jolloin algoritmi havaitsee katkaisun. Kuvien katkaisun katkaisuaajaksi saadaan laskettua 31,36 ms.



Kuva 24: Mitattu vikavirta ja katkaisuhetki.

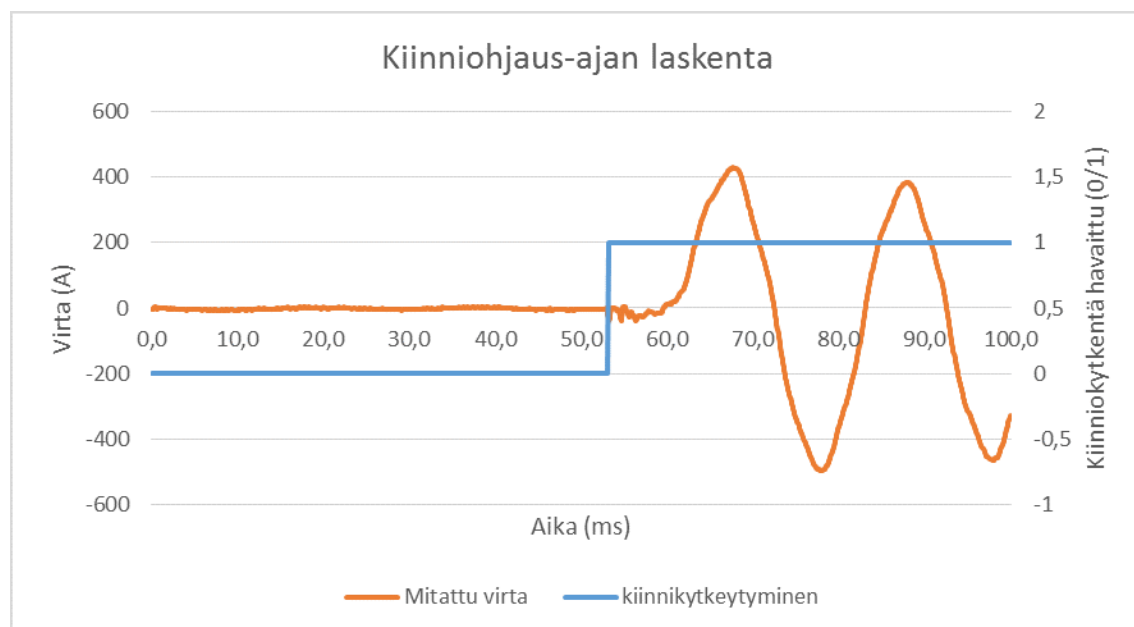


Kuva 25: Vikavirran katkaisuhetki.

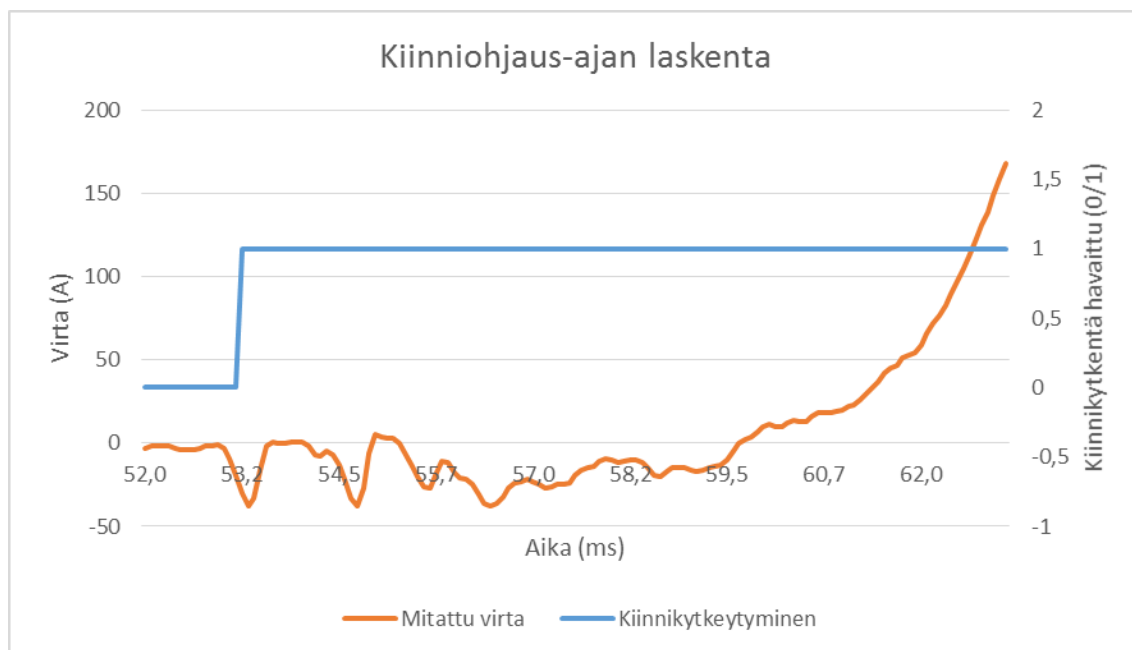
4.2.3 Kiinniohjausaika

Kiinniohjausaika saadaan laskettua määrittämällä tallenteista ohjauskäskyn annon hetki, sekä hetki, jolloin virta alkaa kulkea katkaisijan läpi. Ohjaushetki voidaan laskea samalla algoritmilla kuin aukiohjaustenkin osalta. Käskyn tallennettu arvo muuttuu arvosta 0 arvoon 1 hetkellä, jolloin katkaisijalle annetaan käsky ohjautua kiinni.

Hetki, jolloin virta alkaa kulkea, voidaan määrittää olevan silloin, kun virta on 10 kertaa suurempi kuin edellisten näytteiden itseisarvojen keskiarvo. Kiinnikytkeytymis hetken virtakäyrän käyttäytymistä ja algoritmin toimintaa on esitetty kuvissa 26 ja 27. Tallenteet on tallennettu P3-mittalaitteella. Kuvissa olevan kiinniohjauksen toiminta-ajaksi saadaan 53,28 ms mikä on täsmälleen sama aika kuin P3-mittalaitteen mittaama aika. Kuvista huomataan, että kiinniohjauksessa esiintyy virtapulsseja jo ennen kuin virtakäyrä alkaa lopullisesti kohoamaan. Jos näitä ei haluta huomioida kiinni-kytkennän toiminta-aikojen laskennassa, voidaan näytteen ja keskiarvon välistä kerrointa nostaa suuremmaksi, jolloin pieniä heilahteluja virtakäyrässä ei tulkita koskettimien sulkeutumiseksi.



Kuva 26: Kiinniohjaushetken laskenta.



Kuva 27: Kiinniohjaushetki.

4.2.4 Vaiheiden epätahtisuus

Eri vaiheiden avautumisaikojen ero ei saa olla suurempi kuin katkaisijavalmistajan määrittämän raja-arvo. Vaiheiden toiminta-aikojen mittaamisen jälkeen vaiheiden toiminta-aikojen ero on helppo laskea. Vaiheiden eriaikaisuus voidaan laskea tallenteista samalla tavoin kuin nykyisin tehdään mittaushuoltojen yhteydessä. Hitaimman vaiheen toiminta-ajasta vähennetään nopeimman vaiheen toiminta-aika.

Katkaisijan vaiheiden aukiohjausten epätahtisuus voidaan määrittää vain 1. tyyppin aukiohjauksista, sillä tällöin virta katkeaa ennen virran nollakohtaa lähes samanaikaisesti jokaisessa vaiheessa. Muun tyyppisissä aukiohjauksissa virta katkeaa vasta virran luonnollisessa nollakohdassa. Tällöin eri vaiheista mitattujen katkaisuaikojen eriaikaisuus ei kuvaa katkaisijan vaiheiden aukiohjausten epätahtisuutta, vaan virran luonnollista vaihe-eroa eri vaiheissa.

4.2.5 Valokaariajat

Todellisia valokaariaikoja ei saada tällä hetkellä laskettua tallenteista apukoskettimien tilatiedon puuttumisen vuoksi, mutta valokaariajat voidaan arvioida vikatilanteissa olettamalla että katkaisijan mekaaninen toiminta on vakio. Tällöin saadaan laskettua valokaariaika vähentämällä vian katkaisuajasta aiemmin mitattu mekaaninen toiminta-aika tai 1. tyyppin katkaisun toiminta-aika.

4.2.6 Jälleensyöttymiset

Jälleensyöttymiset, on mahdollista havaita laskemalla, syttyykö virta kulkemaan katkaisijan läpi uudelleen, onnistuneen katkaisun jälkeen. Jos virta katkeaa, jonka

jälkeen se palaa vähintään 20 % katkaistusta arvosta, kyseessä on jälleensyntyminen. Jälleensyntymisistä ei ole tähän työhön ole saatavilla tallennetta, joten tätä algoritmin toimivuutta ei ole onnistuttu testaamaan käytännössä.

4.2.7 Vikavirtasummat

Katkaistujen virtojen summat voidaan määrittää tallenteista. Katkaistun virran arvon voidaan olettaa olevan katkaisua edeltävän puolijakson suurin virran arvo. Kuvasta 24 katkaistuksi virraksi saadaan laskettua 2296 A ja kuvasta 21 72 A.

Katkaisijavalmistajat kuvaavat katkaisijoiden vikavirtasummien maksimiarvoa eri tavoin. Tästä syystä vikavirtasummien ja katkaisijan jäljellä olevien ohjauskertojen laskemiseksi algorimiin täytyy määrittää eri katkaisijamalleille erilaiset laskentakaavat käyttäen katkaisijoiden käyttöohjeista löytyviä sallittujen katkaisukertojen määrää kuvaavia yhtälöitä.

Jäljellä olevien katkaisujen lukumäärä n_x virralla I_x saadaan laskettua 3AP2 katkaisijalle laitteen manuaalissa esitetyllä kaavalla 1, jossa k_i kuvaa virran I painotuskerrointa, k_x virran I_x painotuskerrointa ja n_i virralla I suoritettujen aukiohjausten määrää. [2] Katkaisijan jäljellä olevan katkaisukykyyn määrittämiseksi algoritmi täytyy rakentaa ottamaan huomioon painotuskertoimet kuvan 3 mukaisesti.

$$n_x = \frac{6000 - \sum_{i=1}^m (n_i * k_i)}{k_x} \quad (1)$$

Vertailun vuoksi ABB:n HPL katkaisijan katkaisuyksikön avaaminen ja valokaarikoskettimien huolto suositellaan tehtäväksi katkaistun virran summan lähestyessä kaavan 2 määräämää arvoa, jossa n kuvaa oikosulkukertojen määrää ja I oikosulkuvirtaa (RMS) kiloampeereina. [7]

$$\sum n * I^{1,8} = 20000 \quad (2)$$

Myös muiden katkaisijavalmistajien katkaisijoille on esitetty erilaisia malleja kuvaamaan katkaisijoiden kokonaiskatkaisukykyä.

4.3 Hälytykset

Jotta ongelmat katkaisijan toiminnassa saadaan tietoon ilman jokaisen katkaisun manuaalista tarkastelua, järjestelmä täytyy rakentaa hälyttämään kun katkaisijan toiminnan havaitaan heikenneen. Hälytykset on mahdollista toteuttaa Fingridin PI-järjestelmällä.

Valmistajat ovat ilmoittaneet katkaisijoilleen kytkentä-ajat, joiden sisällä katkaisijoiden odotetaan toimivan. Näitä rajoja on hyvä käyttää pohjana toiminta-aikojen hälytysrajojen määrittämiseen. Taulukossa 7 on esitetty Siemensin erottavan 3AP2 katkaisijan kytkentäajat. Taulukossa 8 on esitetty ABB:n HPL katkaisijan kytkentäajat. Kuvan 22 3AP2 katkaisijan auki-aika havaitaan olevan valmistajan antamien rajojen sisällä.

Taulukko 7: 3AP2 katkaisijan kytkentäajat.

Ohjauksen vähimmäiskesto (kiinniohjaus)	80 ms
Ohjauksen vähimmäiskesto (aukiohjaus)	80 ms
Kiinni-aika	63 ± 6 ms
Auki-aika	21 ± 2 ms
Nimellinen katkaisuaika	≤ 60 ms
Kiinni-auki-kytkentäaika	43 ± 10 ms
Jännitteetön aika	300 ms

Taulukko 8: HPL katkaisijan kytkentäajat.

Sulkeutumisaika	< 65 ms
Avautumisaika	19 ± 3 ms
Moottorin kuormitusaika	< 20 s

Katkaistun virran lähestyessä luvussa 4.2.7 kuvattujen vikavirtasummien maksimiarvoja, tulee myös antaa hälytys. Hälytysrajaksi voidaan määrätä hetki, jolloin katkaisijalla on katkaisukykyä jäljellä yhteen, suurimmalla mitoitetulla oikosulkuvirralla suoritettuun ohjaukseen. Liitteessä B on kuvattu lisää erityyppisten katkaisijoiden toiminnan sallittuja arvoja.

5 Pilotoinnin suunnittelu Liedon sähköasemalle

Releiden ja häiriötallentimien käyttämistä katkaisijoiden kunnonvalvontaan tullaan kokeilemaan Fingridin Liedon muuntoaseman 400 kV duplex-kytkinlaitoksella. Tässä luvussa on selvitetty kuinka laitteet tulee asentaa sekä asetella asemalle, jotta niiden avulla saadaan tallennettua kaikki tarvittavat tiedot aseman kuuden erottavan katkaisijan toiminnan mittaamiseksi.

Asemalla tullaan keväällä 2016 asentamaan uusi 7KE85 häiriötallennin mittaamaan katkaisijoiden toimintaa. Samassa yhteydessä aseman 400 kV kiskojen 7SS52 kiskonsuojareleet asetellaan tallentamaan vastaavat tiedot. Näiden laitteiden mittamien tietojen pohjalta on tarkoitus tutkia, onko tallenteiden käyttäminen tehokas tapa mitata katkaisijoiden toimintaa sekä mitä etuja saavutetaan erillisen häiriötallentimen käytöllä kiskonsuojareleen käyttöön verrattuna.

5.1 Laitteiden asennukset ja muutokset

Asemalla on ennestään käytössä Siemensin kaksi 7SS52-kiskosuojaa, yksi kutakin 400 kV kiskoa kohden. Molemmat näistä koostuvat 7SS522-keskusyksiköstä ja kolmesta 7SS523-kenttäyksiköstä. Kiskosuojan kenttäyksiköt mittaavat kiskolle kulkevaa virtaa ja lähettävät tiedot keskusyksikölle. Virtamittaus on johdotettu releille virtamuuntajien 4. sydämeltä. Keskusyksikkö laskee vaiheiden erovirrat ja vikatilanteessa antaa laukaisukäskyn kaikille kiskoon liittyville katkaisijoille. Nykyisin releen sisäinen häiriötallennin käynnistyy vain releen toiminnasta.

Katkaisijoiden toiminnan mittaamista varten releet asetellaan käynnistämään tallennus ja tallentamaan katkaisijan läpi kulkevien vaihevirtojen käyrämuodot sekä katkaisijoiden ohjauskäskyt kaikissa releen suojaamaan kiskoon liittyvien katkaisijoiden toiminnoista. Suojareleiden laukaisuista tapahtuva käynnistys saadaan asetelamalla releelle tuleva "KVR-START" -binäärisisääntulo aloittamaan tallennus. Tämä signaali kertoo releelle milloin sen katkaisijavikasuojatoiminnon tulee aloittaa mittaus. Signaali syntyy aina muiden suojareleiden antaessa katkaisijalle laukaisukäskyn. Distanssireleiden antamat käskyt on yhdistetty tähän signaaliin suoraan, mutta maasulkureleiden laukaisukäsky on yhdistetty signaaliin apureleen kautta. Tästä syntyy viive maasulkureleiden antamien laukaisukäskyjen ja kiskonsuojareleelle tulevan laukaisukäskytiedon välillä. Tämän apureleen viive on noin 16 ms. Katkaisijan kaukokäytön kautta tapahtuvista aukiohjauksista ei ennestään tullut kiskonsuojareleelle tietoa. Nämä käskyt joudutaan johdottamaan kaukokäytön ala-asemalta kiskonsuojareleelle. Ohjauskäsky tulee ottaa samalta apureleeltä katkaisijalle kulkevan ohjauskäskyn kanssa, jolloin apureleestä johtuvaa viivettä ei esiinny. Tätä varten aseman "Katkaisija auki" -apureleet tulee vaihtaa sellaisiksi, joilla on riittävä määrä koskettimia. Myös nämä käskyt aseteltiin aloittamaan tallenteen nauhoitus. Katkaisijan kiinniohjaukset on johdotettu kiskonsuojareleelle jo valmiiksi "Laukaisunnopeutus" -apureleen kautta "Katkaisijan kiinniohjaus" -binäärisisääntuloon. Myös kiinniohjauksissa esiintyy apureleen aiheuttama noin 16 ms signaalin viivästymä, mutta tämä vaikuttaa kaikkiin kiinniohjauksiin, jolloin tämä voidaan vähentää kiskonsuojareleen mittamien kiinniohjausten toiminta-ajoista. Myös tämä signaali tulee määrätä aloittamaan

tallennus.

Varsinainen tapahtuman tallennus voidaan toteuttaa katkaisijavikasuojan kenttäyksiköissä. Kiskonsuojan tallennin toimii normaalikäytössä erittäin harvoin, joten releiden tallentimia ei ole yhdistetty STINA:an, vaan tallenteet on noudettu tarvittaessa Engineering PC:n kautta manuaalisesti etäyhteyden avulla. Tallenteiden noutoa laskentaa varten tarvitaan automaattinen tiedonkeruujärjestelmä, joten releet tulee lisätä STINA:ssa käsiteltävien joukkoon.

Nykyisten kiskosuojien muutosten lisäksi asemalle hankitaan erillinen Siemensin 7KE85 häiriötallennin. Häiriötallentimen tulee tallentaa vastaavat tiedot katkaisijoiden toiminnasta kiskosuojareleen kanssa. Häiriötallentimelle tulee johdottaa samat virtamuuntajien 4. suojaussydämien vaihevirratt kiskosuojareleiden kanssa. Häiriötallentimen binäärituloille tulee johdottaa katkaisijoiden 2. laukaisupiireiltä katkaisijakohtaiset laukaisukäskyt diodin välityksellä nykyisen häiriötallentimelle tulevan signaalin rinnalta oman diodin kautta. Kaukokäytön kautta suoritettavat aukiohjaukset tulee ottaa samalta "Katkaisija auki" -apureleelta, jota käytetään todellisten aukiohjausten, ja kiskosuojareleelle johdottettavia käsin-auki -tietojen välittämiseen. Kiinniohjauskäskyt tulee myös ottaa katkaisijan kiinniohjauspiiristä diodin välityksellä Tällöin vältetään apureleen aihtuttama viive signaaliin. Häiriötallentimen tulee asetella toimimaan mahdollisimman korkealla 16 kHz näytteenottotaajuudella. Häiriötallennin tulee olla varustettu vähintään 30 analogivirtamittaustulolla ja 30 binäärisääntulolla, jolloin kaikki vaadittavat signaalit on mahdollista tallentaa. Tällöin on mahdollista laajentaa tallennusta myös asemalle tulevaisuudessa rakennettavaan uuteen johtolähtökenttään.

5.2 Tunnuslukujen laskenta

Jokaisesta asemalla suoritetusta katkaisijan ohjauksesta tullaan muutosten jälkeen saamaan kaksi erillistä häiriötallennetta. Yksi kiskosuojareleelta ja toinen häiriötallentimelta. Näistä tallenteista tullaan luvussa 4.2 esitettyjen algoritmien avulla laskemaan katkaisijoiden auki- ja kiinniohjausajat, vaiheiden epätahtisuus sekä virtasummat. Pilottivaiheessa tietoja ei tulla yhdistämään PI-järjestelmään, vaan tiedot lasketaan erillisellä Excel-taulukkolaskentaohjelmaan rakennetulla VBA-koodilla. Jatkokehityshankkeeksi jää tietojen automaattisen PI tallennuksen rakentaminen, sekä automaattinen tiedonkeräys ja laskentajärjestelmä. Nämä kannattaa rakentaa vasta kun ollaan varmistettu, että mittausten tiedot ovat varmasti hyödynnettävissä katkaisijoiden toiminta-aikojen valvontaan. Kehityskohteeksi jää myös hälytysrajojen toteutus järjestelmään, sekä hälytysten käytännön toteutus PI-järjestelmässä.

5.3 Analysointi

Aseman katkaisijat tulee mitata myös P3-mittalaitteella sekä perinteisellä katkaisijan mittalaitteella tulosten vertailemiseksi. Tällöin voidaan todentaa algoritmin suorittamien katkaisijan toiminnan mittausten oikeellisuus sekä verrata tallenteiden avulla mitattuja tuloksia perinteisiin mittalaitteisiin nähden. Tallentimilla ja P3-mittalaitteella saadaan mitattua samojen ohjausten toiminta-ajat. Perinteisellä

katkaisijan mittalaitteella mitattuja toimintoja ei saada mitattua tallentimilla tai P3-mittalaitteella, sillä virtamuuntajan läpi ei kulke virtaa jota nämä käyttävät toiminta-aikojen laskennassa.

Vertaamalla kiskonsuojareleen ja häiriötallentimen avulla mitattuja toiminta-aikoja keskenään voidaan havaita millaisia eroja toiminta-aikoihin muodostuu laitteiden erilaisista näytteenottotaajuuksista johtuen. Näiden avulla on mahdollista verrata, ovatko releiden tallentimet riittävän tarkkoja katkaisijoiden mittaamiseen halutulla tarkkuudella vai vaaditaanko tarkempi laite. Sama vertailu voidaan tehdä P3-mittalaitteen ja häiriötallentimen välillä. Tulosten avulla voidaan määrittää, kuinka katkaisijoiden jatkuva-aikaista kunnonvalvontaa kannattaa kehittää Fingridin muille sähköasemille.

6 Yhteenveto

Releiden ja häiriötallentimien avulla on mahdollista mitata katkaisijoiden toiminta-aikoja, jälleensyttymisten esiintymistä ja katkaistun virran summaa käyttämällä tapahtumien tallentamiseen laitteita, jotka mittaavat kaikkia katkaisijan auki- ja kiinniohjauskäskyjä sekä todellista katkaisijan läpi kulkevaa virtaa eri duplex-puolien virtamuuntajien summavirran sijaan. Mikään yksittäinen laite ei tällä hetkellä tallenna kaikkia vaadittavia tietoja Fingridin duplex-kytkinlaitoksilla.

Käytössä olevilla asemilla paras vaihtoehto olemassa olevien laitteiden hyödyntämiseksi on kiskonsuojareleiden käyttäminen katkaisijan toiminnan mittaamiseen. Tällä hetkellä nämä ovat ainoita laitteita, jotka mittaavat todellista katkaisijan läpi kulkevaa virtaa. Kiskonsuojareleiden hyödyntäminen on mahdollista vain jos laitteella on vapaana koskettimia joihin puuttuvat ohjauskäskyt saadaan yhdistettyä. Duplex asemien kentänohjausyksiköiden käyttöä rajoittaa lisäksi virtamuuntajien mittaussydämien käyttäminen virran mittaamiseen, sillä nämä eivät toista vikavirtaa tarkasti. Lisäksi kentänohjausyksiköiden tallenteita ei voida siirtää huoltoväylän kautta STINA:aa, sillä Fingridin sääntöjen mukaan suojaukseen ja ohjaukseen käytettävät laitteet eivät saa liittyä samaan väylään. Tämä estää myös virtamittauksien lähettämisen IEC 61850 väylän kautta kiskonsuojareleiltä kentänohjausyksiköille. Releiden käyttämistä katkaisijoiden kunnonvalvontaan rajoittaa myös releiden sisäisten tallentimien matalahko, usein vain 1 kHz näytteenottotaajuus. Heikosta näytteenottotaajuudesta johtuen toiminta-aika mittausten tarkkuus jää huomattavasti pienemmäksi kuin perinteisiä katkaisijoiden mittalaitteita käytettäessä. Myöskään nykyisten asemien erillisiä häiriötallentimia ei voida käyttää katkaisijoiden kunnonvalvontaan niiden vähäisestä mittauskanavien määrästä johtuen. Häiriötallentimilla on tällä hetkellä tallennettu vain kenttien nollavirtoja ja tärkeimpien kenttien vaihevirtoja. Myös nämä mittaukset ovat duplex-asemilla eri kentänpuolien summavirtoja, jotka eivät vastaa katkaisijan läpi kulkevaa todellista virtaa.

Toinen vaihtoehto on hankkia asemalle uusi laite, jonka ainoa tehtävä on katkaisijoiden toiminnan mittaaminen. Tähän tarkoitukseen on järkevintä käyttää erillistä häiriötallenninta. Laitteelle voidaan johdottaa katkaisijoiden läpi kulkevat virrat sekä ohjauskäskyt, jolloin se voi tallentaa jokaisen katkaisijan tapahtuman. Laitteelle tarvitaan paljon mittauskanavia. Tarvittava määrä riippuu mitattavien katkaisijoiden määrästä ja siitä mitä kaikkea tallenteiden avulla halutaan mitata. Jos tallennetaan vain vaihevirrat, analogikanavia tarvitaan kolme jokaista katkaisijaa kohden. Jos mukaan lisätään kisko- tai johtojännitemittauksia, mA mittauksia tai viritysmoottorin mittauksia, tarvittavien mittauskanavien määrä kasvaa nopeasti hyvin suureksi.

Määriteltäessä uusia sähköasemia tai vanhojen perusparannuksia katkaisijoiden toiminnan mittaaminen voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kiskonsuojareleille voidaan liittää kaikki tarvittavat katkaisijan auki- ja kiinniohjaussignaalit eriytettyinä jo rakennusvaiheessa. Myös joillekin suojareleille on mahdollista johdottaa duplex-puolien virrat erillisinä mittauksina ja hoitaa virtojen summaus laitteen sisäisesti. Tällöin myös näiden laitteiden käyttäminen katkaisijoiden kunnonvalvontaan on mahdollista. Myös osalle kentänohjausyksiköistä on mahdollista johdottaa molempien puolien virrat erillisinä. Tällöin myös kentänohjausyksiköitä voitaisiin

käyttää katkaisijan toiminnan tallentamiseen. Vikavirtasummia kentänohjausyksiköllä ei silti voida mitata, sillä kentänohjausyksikön virtamittauksen on tultava virtamuuntajan mittaussydämeltä. Myös tallenteiden keruu on hoidettava ilman huoltoväylää. Asemille voidaan hankkia myös erillinen katkaisijan toimintaa mittaava häiriötallennin.

Tallenteista on mahdollista laskea automaattisesti katkaisijan mittaushuollossa suoritettavia mittauksia vastaavat tiedot lukuunottamatta katkaisijan resistanssimittauksia. Katkaisijan ohjauskäskyjen on oltava yhtäaikaisia todellisten katkaisijaa ohjaavien käskyjen kanssa. Jotta tallenteista voidaan laskea halutut tunnusluvut, on huolehdittava, että laitteet tallentavat tallenteet ASCII-muotoisina. Toiminta-aikamittausten tarkkuus jää joka tapauksessa heikommaksi kuin nykyisissä katkaisijan toiminta-aikamittauksissa. Tehokkaimman 7KE85 häiriötallentimen binäärisignaalin muutokset tallennetaan vain 4 kHz näytteenottotaajuudella, kun perinteiset katkaisijan mittalaitteet mittaavat toiminta-ajat 10 kHz näytteenottotaajuudella. Järjestelmän tehokkaaksi hyödyntämiseksi katkaisijan toimintaa kuvaavat tunnusluvut tulee laskea automaattisesti jokaisen tapahtuman yhteydessä, havaita poikkeamat katkaisijoiden toiminnassa sekä hälyttää näistä kunnossapitoa.

Viitteet

- [1] Haarla, L., Elovaara, J. *Sähköverkot II: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto, 2011. 551 s. ISBN 978-951-672-363-4.
- [2] Siemens AG *Katkaisija 3AP2 FI-DCB*. Käyttöohje. Berliini. 2010. 124 s.
- [3] Alstom Grid *Think Grid 11 Replacing SF6 in high voltage circuit breakers*. Internet julkaisu, viitattu 16.7.2015. 2011. Saatavissa: <http://www.alstom.com/Global/CleanGrid/Resources/Documents/Think-Grid-11-Replacing-SF6-in-high-voltage-circuit-breakers.pdf>
- [4] Kuosa, D. *Vika- ja kunnossapitotietojen hyödyntäminen suurjännitekytkinlaitteiden kunnonhallinnassa*. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Helsinki. 2007. 91 s.
- [5] IEC 62271-100 *High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating current circuit-breakers*, 2. painos. 2008. 695 s.
- [6] IEC 60050-441 *International Electrotechnical Vocabulary. Switchgear, controlgear and fuses*, 1984. 90 s.
- [7] ABB Power Technologies AB *Erottava katkaisija, ABB HPL 362-420B2*. Käyttöohje. Ludvika. 2009. 330 s.
- [8] Kasztenny, B., Voloh, I., Depew, A., Wolet, J., Pickett, B., Signo-Diaz, M., Meinardi, J. *Re-strike and Breaker Failure Conditions for Circuit Breakers Connecting Capacitor Banks*. 61st Annual Conference for Protective Relay Engineers. College Station. Texas, USA, 1-3.4.2008. S. 180-195. ISBN: 978-1-4244-1949-4. DOI: 10.1109/CPRE.2008.4515054.
- [9] Hauer, W., Zhou, X. *Re-ignition and Post Arc Current Phenomena in Low Voltage Circuit Breaker*. Proceedings of ICEC 2014; 27th International Conference on Electrical Contacts. Dresden, Saksa, 22-26.6.2014. S. 1-6. ISBN: 978-3-8007-3624-9.
- [10] Wester, C., Smith, T. *Fully Monitoring Industrial Protection and Control Systems* Conference Record of 2012 Annual IEEE Pulp and Paper Industry Technical Conference (PPIC). Portland, Oregon, USA, 17-21.6.2012. S. 1-7. ISBN: 978-1-4673-0406-1. DOI: 10.1109/PPIC.2012.6292998.
- [11] Kuosa, D. *Viat 2005-2014*. Fingrid Oyj, 2015. Sisäinen dokumentti. Rajoitettu saatavuus.
- [12] Laitinen, T. *Disconnecting circuit breakers in 400 kV substation renovations*. Cigré Session. Nagoya, Japani, 28.9-2.10.2015. 6 s.

- [13] Larsson, J.R., ABB Power Products, Ludvika, Sweden, Sölver, C.-E., Haglund, L. *Disconnecting Circuit Breaker Enables Smarter Substation Design*. 2010 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. New Orleans, Louisiana USA, 19-22.4.2010. S. 1-5. ISBN: 978-1-4244-6546-0. DOI: 10.1109/TDC.2010.5484375.
- [14] Andersson, P.-O., Olovsson, H.-E., Franzén, B., Lager, U., Lundquist, J. *Application of disconnecting circuit breakers*. Report A3-201, Cigré Session. Parisi, Ranska, 2004. 8 s.
- [15] Fingrid Oyj. *Maximo omaisuudenhallintajärjestelmä*. Sisäinen järjestelmä. Rajoitettu saatavuus.
- [16] Fingrid Oyj *Tekninen eritelmä S52104-E2*, 2014.
- [17] Landry, M., Mercier, A., Ouellet, G., Rajotte, C., Caron, J., Roy, M., Brikci, F. *A New Measurement Method of the Dynamic Contact Resistance of HV Circuit Breakers*. TDC '06. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America. Caracas, Venezuela, 15-18.8.2006. S. 1-8. ISBN: 1-4244-0287-5. DOI: 10.1109/TDCLA.2006.311501.
- [18] Sodha, N.S., Singh, S., Victor, S., Tyagi, R.K. *Condition Assessment of EHV class Circuit Breakers using Dynamic Contact Resistance Measurement Technique*. Report A3-205, Cigré Session. Pariisi, Ranska, 26-31.8.2012. 11 s.
- [19] Stanisic, Z. *Method for static and dynamic resistance measurements of HV circuit breaker*. 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe). Manchester, Iso-britannia, 5-7.12.2011. S. 1-5. ISBN:978-1-4577-1422-1. DOI:10.1109/ISGTEurope.2011.6162618.
- [20] IEC 62271-1 *High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications*. 2007. 251 s.
- [21] Laitinen, T. *Haastattelu*, Erikoisasantuntija, Fingrid Oyj. 2015.
- [22] Laitinen, T., Nepola, K., Mertanen, J. *Fingrid's Asset Care Reaches the Next level*. T&D World Magazine. 2013. Viitattu 1.10.2015. Saatavissa: <http://tdworld.com/overhead-transmission/fingrid-s-asset-care-reaches-next-level>
- [23] C37.234-2009 *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power System Buses*, 2009. 115 s. DOI:10.1109/IEEESTD.2009.5325912.
- [24] Camlin Power *PROFILE P3*. Internet julkaisu. Viitattu 26.11.2015. Saatavissa: <http://www.camlinpower.com/profile.php>

- [25] Strachan, S.M., McArthur, S.D.J., Stephen, B., McDonald, J.R., Campbell, A. *Providing Decision Support for the Condition-Based Maintenance of Circuit Breakers Through Data Mining of Trip Coil Current Signatures*. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007. Vol. 22:1. S 178-186. ISSN: 0885-8977. DOI: 10.1109/TPWRD.2006.883001.
- [26] ABB Inc. *Feeder protection and control REF615 ANSI Product guide*. Tuoteopas. 2011. 68 s.
- [27] Dalke, G., Horak, J. *Application of Numeric Protective Relay Circuit Breaker Duty Monitoring*. IEEE Transactions on Industry Applications, 2005. Vol.41:4. S. 1118-1124. DOI:10.1109/TIA.2005.851568.
- [28] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. *SEL-451-5 Relay Protection, Automation, and Control System*. Käyttöohje. 2011. 1174 s.
- [29] Siemens AG *SIPROTEC 5 High-Voltage Bay Controller 6MD85/86*. Käyttöohje. 2013. 848 s.
- [30] ABB *Circuit Breaker SentinelTM (CBS)*. Internet julkaisu. Viitattu: 26.11.2015. Saatavilla: <http://new.abb.com/high-voltage/monitoring/cbs>
- [31] C37.10-2011 *IEEE Guide for Investigation, Analysis, and Reporting of Power Circuit Breaker Failures*, 2010. 59 s. DOI:10.1109/IEEESTD.2010.6107460.
- [32] Sheng, S., Li, K.K., Chan, W.L., Zeng, X.J., Xianzhong, D. *A practical circuit breaker monitoring system*. Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference, 2005. Vol. 2. S. 867-872. ISBN: 0-7803-9208-6. DOI: 10.1109/IAS.2005.1518440.
- [33] Hensman, G.O., Gale, P.F. *The application of disturbance recorders for cost effective protection and switchgear monitoring and maintenance* CIRED. 12th International Conference on Electricity Distribution Birmingham, Iso-britannia, 17-21.5.1993. Vol 4. S. 4.17/1-4.17/5. ISBN: 0-85296-561-3.
- [34] Beattie, S. *Circuit breaker condition assessment by vibration and trip coil analysis*. IEE Colloquium on Monitors and Condition Assessment Equipment (Digest No. 1996/186). Leatherhead, Iso-britannia, 5.12.1996. S. 9/1 - 9/5. DOI: 10.1049/ic:19961072.
- [35] Hoidalén, M., Runde, M. *Continuous monitoring of circuit breakers using vibration analysis*. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005. Vol. 20:4. S. 2458-2465. DOI: 10.1109/TPWRD.2005.855486.
- [36] Wang, Z. *Use vibration monitoring to identify circuit breakers for condition assessment*. PSCE '09. IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition. Seattle, Washington, USA, 15-18.3.2009. S. 1-5. ISBN: 978-1-4244-3810-5. DOI: 10.1109/PSCE.2009.4839936.

- [37] Fingrid Oyj *Tekninen eritelmä S22400*, 2015.
- [38] Bakshi, M.V., Bakshi, U.A. *Protection and Switchgear, Fourth Revised Edition*. Technical Publications Pune, 2009. ISBN 978-81-8431-639-1.
- [39] Fingrid Oyj *Tekninen eritelmä S22510-E1*, 2014.
- [40] Areva *MiCOM P740 Differential Busbar Protection Relay Technical Manual*. Käyttöohje. 2005. 484 s.
- [41] Vainionpää, A. *Haastattelu*. Suunnittelija, Fingrid Oyj. 2015.
- [42] Siemens AG. *SIMEAS R Digital Fault and Power Quality Recorder*. Käyttöohje. 2011. 254 s.
- [43] Sidhu, T., Kanabar, M., Parikh, P. *Configuration and Performance Testing of IEC 61850 GOOSE*. International Conference on Advanced Power System Automation and Protection. Peking, Kiina, 16-20.10.2011. Vol. 2. S. 1384-1389. DOI:10.1109/APAP.2011.6180593.
- [44] ABB inc. *Technical reference manual Bay control IED REC 670*. Käyttöohje. 2007. 852 s.
- [45] Santos, L-F. *Substation Automation Process Bus System design and experiences with IEC 61850-9-2 and NCITs*. Internet julkaisu. Viitattu 15.10.2015. Esitys 2.8.2012. ABB.
- [46] Apostolov, A., Auperrin, F., Passet, R., Guenego, M., Gilles, F. *IEC 61850 process bus based distributed waveform recording*. 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. Montreal, Kanada, 2006. DOI: 10.1109/PES.2006.1709631.
- [47] Miyake, K., Akedani, T., Ota, H., Kumai, T., Nakajima, T., Matsushita, K., Akazaki, M. *External Diagnosis of Gas Circuit Breaker Contact Wearing*. 2005 IEEE Russia Power Tech. Pietari, Venäjä, 27-30.6.2005. S. 1-4. DOI:10.1109/PTC.2005.4524379.
- [48] Nyqvist, H. *Certain Topics in Telegraph Transmission Theory*. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 1928. Vol. 47:2. S. 617-644. DOI:10.1109/T-AIEE.1928.5055024.
- [49] Ma, Z., Bliss, C.A., Penfold, A.R., Harris, A.F.W., Tennakoon, S.B. *An investigation of transient overvoltage generation when switching high voltage shunt reactors by SF6 circuit breaker*. IEEE Transactions on Power Delivery, 1998. Vol.13:2. S. 472-479. ISSN: 0885-8977. DOI: 10.1109/61.660917
- [50] C37.111-1999 *IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems*, 1999. 55 s. DOI:10.1109/IEEESTD.1999.90571.

A Toiminta-aikamittauksen tulokset TM1600 mittalaitteella

2 MITTAUSTULOKSET KANAVAJÄRJÄSTYKSESSÄ

Tulostetut tapahtumat:

Ensimmäinen kosketus sulkeutumisessa ja viimeinenkoskettimen eroaminen avautumisessa.

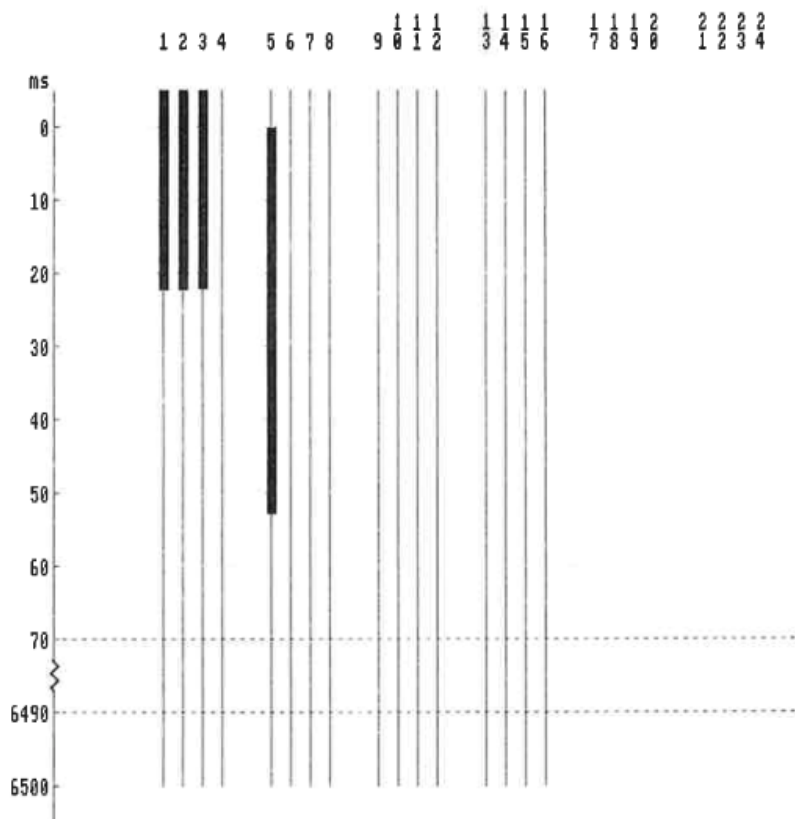
Alle 10 ns katkoja ei tulosteta.

Kanava 1	Kanava 2	Kanava 3	Kanava 4
22.3 ns Auki	22.3 ns Auki	22.1 ns Auki	

Kanava 5	Kanava 6	Kanava 7	Kanava 8
0.0 ns Kiinni 52.0 ns Auki			

3 TAPAHTUMAESIIVYS - SUPISTETTU AIKA-ASTEIKKO

Tulostetut tapahtumat: Kaikki



Kuva A1: Esimerkki mittaustuloksista.

B Erityyppisten katkaisijoiden toimintarajat

Taulukko B1: Mittausten sallitut arvot.

Katkisijan ja ohjaimen tyyppi	Ylimenovastus) (ilman liittimiä) [$\mu\Omega$]	Toiminta-aika (kiinni/auki) [ms]	Ohjaimen viritysaika [s]	Kelan vetojännite ($U_n=110V/220V$) [V]
HGF116/2B (FKF2-6)	<100	130-150/25-30	8-15	-/<165
HPL245/25B1 (BLG1002)	<70	55-70/19-25	10-15	-/<140
HGF111/1C (FKF2-6)	<60	120-140/22-30	8-15	<85/<165
HPF511M/2F (FKF1-6)	<180	140-150/20-25	10-18	-/<130
HPF516T/8C (FKF1-6)	-	140-150/22-30	10-15	-/<150
HLR123/2501E1 (BLG352)	<90	105-120/25-35	10-15	<85/<165