

Antti Moisanen

# Sähköverkon suojaustoiminnallisuuksien selvitys suunnittelun näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

26.8.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Antti Moisanen Sähköverkon suojaustoiminnallisuuksien selvitys suunnittelun näkökulmasta 44 sivua + 4 liitettä 26.8.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Sampsa Kupari Projekti-insinööri Janne Kaattari
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Infratek Finland Oy:lle suunnittelijoiden avuksi ymmärtää sähköverkon suojaustoiminnallisuuksia, koska sähköverkon relesuojaus kehittyä ja suojaukselle asetetaan yhä tarkempia vaatimuksia kehityksen myötä. Uudet sähköverkon suojaukseen käytettävät suojaruleet ovat monipuolisia ja sisältävät paljon erilaisia ominaisuuksia.</p> <p>Insinöörityössä keskityttiin Siemens 7SA6 -distanssireleeseen. Työssä käydään läpi relesuojauksia yleisesti sekä kerrotaan kantaverkon reletyyppistä ja mittamuuntajista. Työssä kerrotaan yleisiä asioita 110 kV:n johdon suojauksesta ja Fingridin vaatimuksia distanssireleille sekä käydään läpi sähköasemaprojektin distanssireleillä käytettävät binääritulot ja -lähdöt asetteluineen ja konfiguraatioineen.</p> <p>Työssä syvennyttään Siemens 7SA6 -distanssireleen toimintaan logiikkatasolla ja kerrotaan sähköasemaprojektissa 110 kV:n johtolähdön suojaukseen tarvittavat suojaustoiminnallisuudet. Suojauksen totetusmenetelmistä on keskitytty distanssisuojaukseen ja siinä tarvittaviin toimintoihin. Työssä on käyty läpi kahdella distanssireleellä suojattu 110 kV:n johtolähdön suojaus.</p> <p>Tässä työssä on luotu dokumentti, joka selventää, miksi suojaustoiminnallisuuksia tarvitaan ja millä tavoin ne voidaan toteuttaa Siemensin 7SA6 -distanssireleellä sekä miten ne tulee ottaa suunnittelussa huomioon.</p>	
Avainsanat	Distanssisuoja, Siemens, Suojarele, Kantaverkko

Author Title Number of Pages Date	Antti Moisanen The Power Grid Protection Functionalities from a Design Point of View 44 pages + 4 appendices 26 August 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Sampsa Kupari, Senior Lecturer Janne Kaattari, Project Engineer
<p>This thesis was made for Infratek Finland. The objective of this thesis was to create a document which helps designers to understand power grid's protection functionalities.</p> <p>This thesis focuses on 7SA6 -distance relay and 110 kV line protection on transmission system. This thesis first introduces the relay types, measuring transformers and principles of 110 kV line protection. The thesis also explains 7SA6 -distance relay function and configuration. The main focus in this thesis is on explaining why these protection functionalities are needed for 110 kV substation line protection and how difficulties can be solved.</p> <p>As a result, a document which explains why protection functionalities are needed and how to execute these to use with Siemens 7SA6 distance relay, was created.</p>	
Keywords	Distance relay, Siemens, Protection relay

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	1
2	Yleistä relesuojauksesta	2
2.1	Suojauksen tavoitteet	2
2.2	Relesuojauksen rakenne	2
2.3	Kantaverkon reletyypit	2
2.3.1	Ylivirtarele	3
2.3.2	Distanssirele	4
2.3.3	Differentiaalirele	6
2.3.4	Nollavirtarele ja suunnattu maasulkurele	7
2.4	Mittamuuntajat	7
2.4.1	Virtamuuntaja	7
2.4.2	Jännitemuuntaja	8
3	110 kV johdon suojaus	10
3.1	Yleistä 110 kV johdon suojauksesta	10
3.2	Fingridin yleisiä vaatimuksia 110 kV:n johtojen distanssireleille	11
4	Distanssisuoja Siemens 7SA6	14
4.1	Distanssisuojauksen toiminta	15
4.2	Ylivirtasuojauksen toiminta	15
4.3	Jälleenkytkentäautomaatiikka	16
4.4	Tahdissaolon valvonta	18
4.5	Häiriöntallennustoiminta	20
4.6	Havahtumis- ja laukaisulogiikka	20
4.7	Itsevalvontatoiminnot	21
4.8	Digsi 4 -ohjelmisto	23
4.8.1	Projektin luominen ja releen lisääminen	23
4.8.2	Releen konfigurointi ja parametointi	25

5	Projektissa käytettävien binääritulojen ja -lähtöjen toiminnot	27
5.1	JK-käytössä/estetty ja JK-on/off	27
5.2	JK-esto	30
5.3	JK-havahtuminen ja -käynnistys	31
5.4	Häiriötallentimen käynnistys	33
5.5	Laukaisun nopeutus	35
5.6	Katkaisija auki	36
5.7	Jännitteenannon vapautus	37
5.8	Jännitemuuntajan johdonsuoja-automaatti lauennut	38
5.9	JK-käynnissä	40
5.10	Katkaisija lauennut	40
5.11	Distanssireleen jännitemittausvika	41
5.12	Laukaisutoiminto	42
6	Yhteenveto	43
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. 110 kV johdon suojauksen toimintakaavio	
	Liite 2. 7SA6 -distanssireleen kytkentäkaavio	
	Liite 3. Tahdissaolon valvonnan logiikkakaavio	
	Liite 4. Distanssireleen tilausnumeron merkitykset	

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä selvitetään suojaustoiminnallisuuksia distanssireileillä suojatussa 110 kV:n johtolähdössä. Työssä käydään läpi sähköverkon relesuojausta ja 110 kV:n johdonsuojausta yleisesti sekä Fingridin suojausvaatimuksia 110 kV:n johdonsuojaukselle siltä osin kuin projektissa käytettävien binääritulojen ja -lähtöjen osalta on tarpeellista.

Työssä tutustutaan myös Siemensin 7SA6-distanssireleen toimintaan logiikkatasolla sekä miten erilaisilla binäärituloilla ja -lähdöillä saadaan toteutettuja haluttuja suojaustoiminnallisuuksia. Työssä kerrotaan myös sähköasemaprojektissa käytettävät suojaustoiminnallisuudet sekä konfigurointi Siemens 7SA6 -distanssireleelle.

Nykypäivänä 110 kV kantaverkon suojauksessa käytetään numeerisia mikroprosessorihjattuja distanssireleitä. Prosessoritekniikan ansiosta niihin voidaan sisällyttää tarpeellisia loogisia toimintoja, jotka auttavat hallitsemaan sähköverkossa tapahtuvia vikoja.

Työssä tavoitteena on tehdä sähköverkon -suojaustoiminnallisuuksien selvitys suunnittelun sekä käytännön näkökulmasta suojausalueessa, mikä kertoo lukijalle toiminnallisuuksien tarkoituksen.

## 2 Yleistä relesuojauksesta

### 2.1 Suojauksen tavoitteet

Relesuojaus on yksi osa sähköverkkojen suojausta vikatilanteilta, kuten oikosuluilta, maasuluilta, ylijännitteiltä, alijännitteiltä ja johdinkatkoksilta. Releet tarkkailevat sähköverkkojen tilaa ja tarvittaessa suorittavat kytkentöjä automaattisesti. Niitä edellytetään selektiivisyyttä, nopeutta ja sen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä. Relesuojaustekniikalla ei pyritä ehkäisemään vikoja vaan havaitsemaan viat mahdollisimman nopeasti ja luotettavasti. Relesuojauksen tärkein tehtävä on vikojen havaitseminen ja vika-alueen rajoittaminen mahdollisimman pieneksi. [1, s. 15 - 16.]

Releen havaittua ja rajoitettua vika-alueen, tehonsiirto voi jatkua verkon muissa osissa. Erityisesti maasulkuvioissa ja oikosuluissa vikavirrat ovat usein suuria ja ne on saatava erotettua mahdollisimman nopeasti. Jos maasulku- ja oikosulkuvikaa ei eroteta muusta verkosta, voivat seuraukset olla vaaralliset niin ihmisille kuin eläimillekin. Siirtoverkon viat voivat taas johtaa suurhäiriöihin. [2, s. 335 - 336.]

### 2.2 Relesuojauksen rakenne

Suojareleet eivät itsessään pysty suojaamaan sähköverkkoja, vaan ne tarvitsevat avukseen muitakin laitteita. Näitä ovat mittamuuntajat, katkaisijat, apuenergiälähteet, hälytys- ja raportointikeskukset sekä mittaus-, laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet. Suojattava alue on jaettu virtamuuntajilla rajattuihin suoja-alueisiin, jotka voidaan katkaisijoilla tehdä jännitteettömiksi. Verkon jokainen kohta kuuluu ainakin kahteen eri suojausalueeseen, jotta suojaus toimisi luotettavasti. Kahdennus on tehty joko kahdella pääsuojalla tai siten, että varasuojana on toisen releen hidastettu porras.

### 2.3 Kantaverkon reletyypit

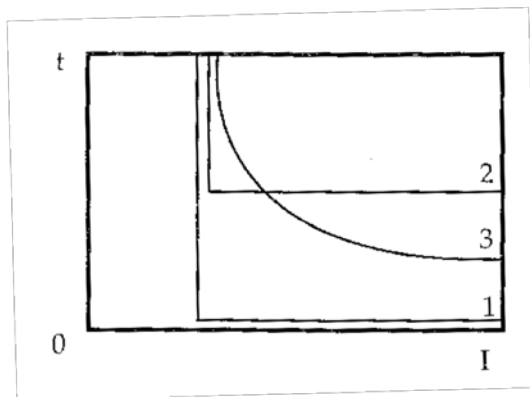
Keskeisimpiä suojausta vaativia kohteita kantaverkossa ovat muuntajat, kompensointilaitteet, johdot ja kiskot. Tärkeimmät kohteet, kuten muuntajat ja 400 kV:n johtolähdöt suojataan aina kahdennetulla pääsuojalla. Myös alemman jännitetason suojauskohteille rakennetaan pääsääntöisesti varmistava varasuojaus.

Kantaverkon suojaus on toteutettu tosioreleillä eli ensiöjännite tai -virta muutetaan mitamuuntajien avulla toisiojännitteiksi/-virroiksi. Yleisesti toisiovirrat ovat 1 A tai 5 A ja jännitteet 100 V tai 200 V.

Mikroprosessorireleet tulivat käyttöön 1980-luvun lopulla. Niiden suojausominaisuudet ovat monipuolisempia, ja niissä voi olla runsaasti erilaisia asettelumahdollisuuksia. Työssä käsitellään uudempia mikroprosessorireleitä. [3 s. 345.]

### 2.3.1 Ylivirtarele

Ylivirtarele toimii, kun virta nousee suuremmaksi kuin releeseen aseteltu arvo. Rele ei havaitse virran suuntaa, joten se ei ole paras silmukoidun verkon suojaukseen, koska silmukoidussa verkossa virta voi tulla kummasta suunnasta tahansa. Ylivirtarelettä voidaan käyttää silmukoidun verkon varasuojana. Nykyisissä ylivirtareleissä on kaksi porrasta, joista toinen on aina vakioaika-hidasteinen ja toinen porrasta voidaan valita joko vakioaika- tai käänteisaikahidasteiseksi. Kuvassa 1 esitetään hetkellisen-, vakioaika- ja käänteisaikaylivirtareleen toiminta-aikoja virran funktiona.



Kuva 1. Ylivirtareleen toiminta-aikoja virran funktiona; 1. hetkellinen ylivirtarele, 2. vakioaikaylivirtarele, 3. käänteisaikaylivirtarele [1, s. 36]

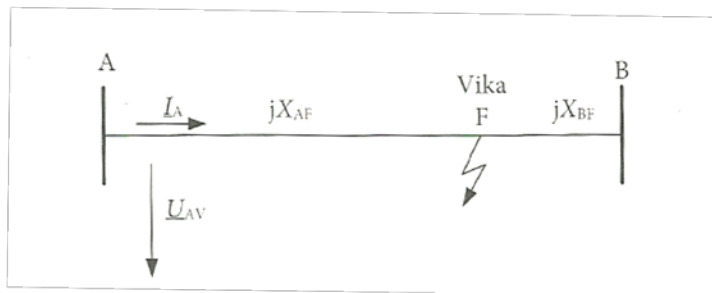
Vakioaikaylivirtarele ( $I >$ ) havahtuu mittausvirran ylitettyä asetteluarvon ja toimii, kun se on ollut havahtuneena asetteluajan. Rele palautuu virran alitettua asetteluarvon riittävästi. Vakioaikaylivirtarelettä voidaan käyttää suojaamaan reaktoria, muuntajaa, kondensaattoria, generaattoria tai säteisjohtoa.



Käänteisaikaylivirtarele ( $I/t$ ) toimii sitä nopeammin, mitä enemmän virta ylittää asetellun toiminta-arvon eli se laukaisee pienivirtaisen vian hitaammin kuin suurivirtaisen. Käänteisaikalaukaisun jyrkkyys voidaan valita valmiilta IEC-60255-3 standardikäyrltä.

### 2.3.2 Distanssirele

Distanssirelettä ( $Z$ ) käytetään silmukoidussa verkossa, koska se havaitsee vian suunnan. Distanssirele päättelee vian suunnan virran ja jännitteen vaihesiirtokulman avulla. Jos vika on edessä, on virta  $90^\circ$  jännitettä jäljessä, koska vikavirta on induktiivista loisivirtaa. Jos vika on releen takana eli ei-suojattavalla johdolla, vaan toisella johdolla, on virta  $90^\circ$  jännitettä edellä. Silmukoidussa verkossa vikavirta voi tulla mistä suunnasta tahansa ja selektiivisen toiminnan kannalta vian suunta tulee tietää. Distanssirele mittaa jännitteen ja virran avulla impedanssin ja päättelee siitä vikapaikan etäisyyden (kuva 2).

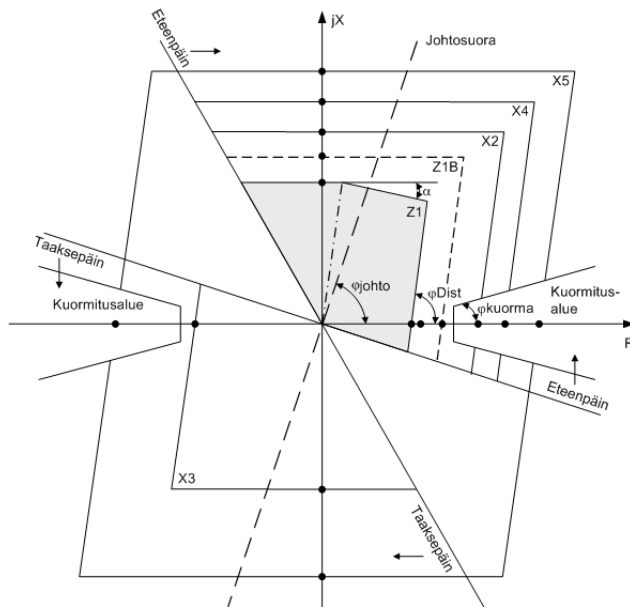


Kuva 2. Distanssisuojan vikapaikan mittaus [3, s. 349]

Suurvoimansiirrossa johdon resistanssi on reaktanssiin verrattuna hyvin pieni, joten virran suuruus ja kulma määräytyvät lähes kokonaan reaktanssin mukaan. Distanssireleiden virtaherkkyys eli releen toimintaan vaadittava virran minimiarvo on uusilla releillä 10 % releen nimellisvirrasta. Jos vikavirta on tätä pienempi, rele ei havaitse vikaa, vaikka jännite olisi nolla. Distanssirele ei erota resistiivistä vikavirtaa normaalista kuormitusvirrasta, joten rele ei havahdu jos resistanssi on suuri. Tyypillisesti distanssireleet havaitsevat viat noin  $20 \Omega$ :n vikaresistanssiin saakka.

Kantaverkoissa havahtumiselimenä käytetään ali-impedanssihavahtumiselintä, koska pienin vikavirta voi olla pienempi kuin suurin kuormitusvirta. Suurimmilla siirtojännitteillä havahtumiseen voidaan käyttää myös tietoa, että oikosulkutilanteessa virtojen ja jännitteiden väliset vaihesiirtokulmat ovat kuormitustilanteeseen verrattuna paljon suurem-

mat. Kuvassa 3 esitetään monikulmio havahtumiskäyrä, josta voi nähdä piirretyn johtosuoran, suojausvyöhykkeet ja kuormitusalueen.



Kuva 3. Ali-impedanssielimen monikulmio havahtumiskäyrä [5, s. 95]

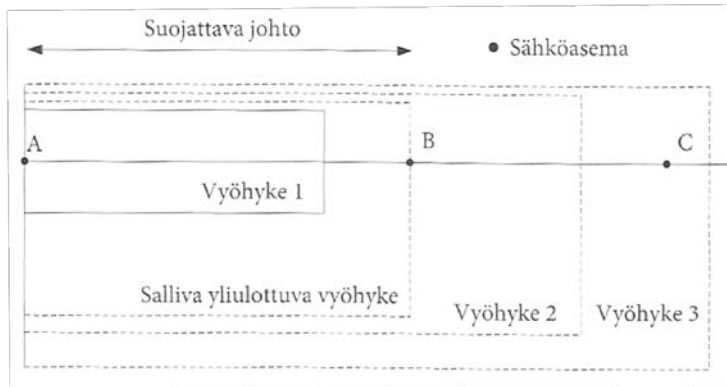
Distanssireleillä suojattava-alue toteutetaan vyöhykkeillä, joilla jokaisella on oma ulottumansa ja aikahidastus suojattavalle alueelle. Näillä asetteluilla saadaan määrättyä se, kuinka nopeasti eri paikoissa olevat viat laukaistaan. Ensimmäinen vyöhyke on releen laukaisuvyöhyke ilman aika-hidastusta ja kattaa 80 - 85 % johdosta, mikäli kyseessä on johto, jossa ei ole viestiyhteyttä. Viestiyhteyden avulla ensimmäinen vyöhyke saadaan kattamaan koko suojattava johto ilma aikahidastusta. Viestiyhteyden ollessa käytössä käytetään yleensä sallivaa yliulottuvaa suojausasettelua (POTT, *permissive overreach transfer trip*).

POTT-asettelussa johdon kummankin pään releeseen asetellaan suurempi reaktanssi kuin mitä johdolla on. Jos rele havaitsee vian, joka on asetellulla yliulottuvalla alueella, ja vasta asemalla oleva saman johdon rele havaitsee myös vian, lähettää se laukaisukäskyn katkaisijalle. Tällä tavoin aseteltu suojaus kattaa koko johdon ja vältetään vasta-aseman takana tapahtuviin vikoihin reagoiminen.

Toisen vyöhykkeen ulottuma on Suomessa 80 % siitä reaktanssista, joka saadaan laskemalla yhteen koko suojattavan johdon reaktanssi ja vasta-aseman takana olevan

lyhimmän johdon 1. vyöhykkeen asettelu. Toisen vyöhykkeen hidastus on Suomessa yleensä 0,4 s.

Kolmas vyöhyke ulottuu vielä sitä seuraavan aseman alueelle ja hidastus on 1 s. Ha-  
vahtumisvyöhyke ulottuu niin laajalle, kuin kuormitus sallii, ja hidastus on 4 s. Kuvassa  
4 esitetään distanssisuojan vyöhykkeet ja niiden ulottumat suojattavalla johdolla. [1, s  
.57 - 71; 3, s. 348 - 353.]



Kuva 4. Distanssisuojan vyöhykkeet [3, s.352]

Distanssireleessä voi olla myös vikaa vasten kytkentä -toiminto (SOTF, *Switch-on-to-fault*). SOTF-toiminnolla saadaan katkaisijan kiinnitykennän aikana distanssireleen hidastamaton vyöhyke ulottumaan vähäksi aikaa vasta-aseman yli. Näin saadaan pysyvät viat nopeasti laukaistua myös jälleenkytkennän jälkeen.

### 2.3.3 Differentiaalirele

Differentiaalireleitä (D) käytetään suojaamaan muuntajia, generaattoreita, lyhyitä johtoja ja kiskostoja. Differentiaalirele toimii erovirtaperiaatteella, mitaten sille aseteltujen virtamuuntajien välisen alueen. Kun tällä suojausalueelle ei ole vikaa virtojen summa on nolla. Differentiaalirele ei voi toimia muiden alueiden varasuojana niin kuin distanssirele. Toiminta-aika differentiaalireleellä on noin 30 ms eikä sille asetella hidastusta. [1, s. 46 - 50; 3, s. 354 - 356.]

#### 2.3.4 Nollavirtarele ja suunnattu maasulkurele

Nollavirtarele ( $I_0$ ) mittaa virtamuuntajien toisiokäämeistä vaihevirtojen summavirtaa ja toimii maasuluissa. Nollavirtareleen toiminta-aika ilman hidastusta on sama kuin ylivirtareleellä eikä se kykene tunnistamaan vikavirran suuntaa. Uusissa mikroprosessorireleissä on kaksi porrasta, jotka voivat olla karkea tai herkkä. Herkän nollavirtareleen virta-asettelu on pieni ja hidastus suuri. Karkean nollavirtareleen asetellut määritellään vikavirtalaskelmien avulla, ja niissä käytetään lyhyttä hidastusta. Nollavirtareleitä käytetään myös muuntajien maasulkusuojina. Siinä ne toimivat varasuojana muun verkon vioissa. Nollavirtareleellä voidaan laukaista myös tähtipisteen lähellä olevat viat. Näitä vikoja on vaikea havaita differentiaalireleillä, koska niiden aiheuttama epäsymmetria on pieni.

Suunnattu maasulkurele on nollavirtarele, joka vikavirran lisäksi mittaa myös vian suunnan käyttämällä hyväksi nollavirran ( $I_0$ ) ja nollajännitteen ( $U_0$ ) välistä vaihekulmaa.

### 2.4 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat virran tai jännitteen mittaamiseen suunniteltuja erikoisrakenteisia muuntajia, joiden avulla mitattavan piirin virrat tai jännitteet saadaan muunnettua paremmin käsiteltävään muotoon ja mittarit tai releet saadaan siirrettyä kauemmaksi mitattavasta piiristä. Mittamuuntajien ominaisuuksia tutkiessa voidaan käyttää tavallisen muuntajan sijaiskytkentää. On vain muistettava, että virtamuuntajien toisiokäämi on käytännössä melkein oikosuljettu, ja jännitemuuntajan toisio on melkein tyhjäkäynnissä.

#### 2.4.1 Virtamuuntaja

Virran mittaaminen on jännitteen mittaamista haasteellisempää, koska virran vaihtelu on paljon suurempaa. Vikatilanteen ja normaalien käyttötilanteiden virtojen suhde voi olla useita kymmeniä, jopa satoja, kun taas vikatilanteen jännitteiden ja normaalien käyttöjännitteiden suhde on usein pienempi kuin yksi, ja maasulun aikanakin vain maasulkukertomen mukainen.

IEC-standardi 60044-1 jakaa virtamuuntajat kahteen luokkaan: mittaustarkoituksiin valmistettuihin virtamuuntajiin ja suojaustarkoituksiin valmistettuihin virtamuuntajiin. Virtamuuntajien liitinmerkinnät on standardisoitu. Kirjain P tarkoittaa ensiötä ja S toisiota.

Virtamuuntajassa toisiojännite on alhainen, vain muutamia voltteja. Jos toisio avataan, koko ensiövirta magnetoi sydäntä, ja se kyllästyy nopeasti. Avoimien toisioliittimien välinen jännite voi nousta jopa useisiin kilovolteihin ja olla vaarallinen laitteille ja ihmisille. Tästä syystä virtamuuntajan toisioon ei saa sijoittaa varokkeita. Virtamuuntajan toisiokäämi on aina maadoitettava jommastakummasta päästä potentiaalinvousun estämiseksi.

Virtamuuntajissa voi olla myös kapasitiivinen jännitteen ulosotto. Kapasitiivista jännitteen ulosottoa ei suositella käytettäväksi suojaustarkoituksiin eikä tarkkoihin mittauksiin, vaan sitä voidaan käyttää esimerkiksi jännitteen vertailuun tahdissaolon valvonnalle.

#### 2.4.2 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntajat jaetaan virtamuuntajien tapaan mittaukseen ja suojaukseen tarkoitettuihin jännitemuuntajiin. Jännitemuuntajien tehtävänä on jännitteen syöttäminen mittaustarkoituksissa mittareille ja suojaustarkoituksissa releille. Jännitemuuntajat rakennetaan tavallisesti yksivaiheisiksi, ja ne voivat olla toimintaperiaatteeltaan induktiivisia tai kapasitiivisia. Induktiivisia jännitemuuntajia käytetään yleensä jännitteellä  $\leq 245$  kV. Kapasitiiviset jännitemuuntajat ovat tätä suuremmilla jännitteillä yleensä edullisempia.

Yleensä toisiossa on avokolmiokäämitys, josta saadaan maasulkusuojaukseen tähtipisteeseen verrannollinen jännite  $U_0$ , joka on myös samanvaiheinen tähtipisteen jännitteen kanssa. Nykyään kolmivaiheinen jännitemuuntajaryhmä koostuu aina kolmesta yksivaiheisesta jännitemuuntajasta.

Nimellistoisiojännitteet ovat Suomessa  $\frac{100}{\sqrt{3}}$  V ja  $\frac{200}{\sqrt{3}}$ , kun jännitemuuntajan ensiö on kytketty vaiheen ja maan välille. Avokolmiokäämien nimellisjännitteet ovat  $\frac{100}{3}$  V ja  $\frac{200}{3}$  V, sekä vaiheiden väliin kytkettävien 100 V ja 200 V. Yksivaiheisten jännitemuunta-

jien taakka eli mitoitus-teho on välillä 10 - 500 VA. Avokolmion mitoitus-teho ilmoitetaan muodossa S:3, jossa S on kolmen muuntajan yhteisteho.

### 3 110 kV johdon suojaus

#### 3.1 Yleistä 110 kV johdon suojauksesta

Kantaverkon johdonsuojaukseen 110 kV:n verkossa käytetään tavallisesti distanssirelettä pääsuojana ja käänteisaikahidasteista ylivirtarelettä varasuojana. Maasuluille käytetään pääsuojana ylivirtareleen suunnattua maasulkusuojaa, jolle distanssirele toimii varasuojana. Suurin osa vioista laukaistaan 110 kV:n verkoissa noin 100 ms:n kuluttua vian alkamisesta, koska suurin osa vioista kuuluu distanssisuojan ensimmäiselle vyöhykkeelle, joka kattaa noin 85 % johdon pituudesta. 110 kV:n distanssisuojauksessa ei normaalisti käytetä apuyhteyttä, joten noin 15 % johdosta jää toiseen vyöhykkeeseen.

Suurin osa avojohtojen vioista on valokaarivikoja, jotka katoavat itsekseen, kun vika-paikka tehdään jännitteettömäksi. Pikajälleenkytkentä (pjk) tehdään niin nopeasti, kun sen voidaan olettaa onnistuvan. Valokaaren deoinisoitumisaika on 110 kV:n verkossa pienimmillään n. 0,15 s. Virraton väliaika on tyypillisesti välillä 0,2 - 0,5 s. Pidempi jännitteetön väliaika parantaa pjk:n onnistumista. Aikajälleenkytkentä (ajk) tehdään pjk:n jälkeen, jos pjk on epäonnistunut. Ajk:n aika on selvästi pjk:ta hitaampi n. 30 - 90 s. 110 kV:n verkossa pjk tehdään yleensä vain distanssisuojan ensimmäisen vyöhykkeen mukaan. [1, s. 352 - 356.]

Distanssirele lähettää laukaisukäskyn katkaisijalle ja jälleenkytkentäkäskyn jälleenkytkentäreleelle. Pikajälleenkytkentä tehdään vain hidastamattomien laukaisujen jälkeen. Distanssireleen hitaampien vyöhykkeiden tai suunnatun maasulun laukaisun jälkeen tehdään vain aikajälleenkytkentä.

110 kV:n verkossa vain osa muuntajien tähtipisteistä on maadoitettu, joten maadoitusten välissä saattaa olla useampia kytkinlaitoksia. Tällaisessa tapauksessa voi terveelle johdolle mennä yhtä suuri maasulkuvirta kuin vialliselle. Selektiivisyyden varmistamiseksi 110 kV:n johdoilla käytetään suunnattua maasulkurelettä. Suunnattu maasulkurele mittaa avokolmion jännitettä ja johdon summavirtaa ja päättelee vian suunnan näiden kulma-eron avulla.

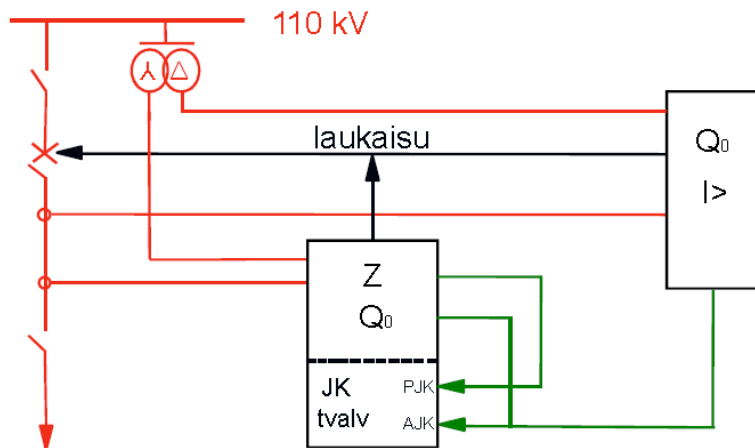
Distanssisuojan laukaisu on estettävä tilanteessa, jossa jännitemuuntajien toisiossa tapahtuu oikosulku tai johdinkatkos, koska vika ei ole tällöin voimansiirto johdolla. Virhe-

laukaisun esto jännitemuuntajan toisiopiirin viassa voidaan tehdä erillisellä jännitepiirin katkoksen valvojalla.

Säteisjohdolla suojaukseen voidaan käyttää vakioaikaylivirtarelettä, jos suojattavalla alueella ei ole suuria voimalaitoksia, ja oikosulkuvirtaa on riittävästi. Myös distanssireleitä voi käyttää säteisjohdon suojaukseen, jolloin ensimmäinen vyöhyke asetetaan johdolla oleviin muuntajiin ja toinen muuntajien läpi. Maasulkusuojauksessa käytettäviä nollavirtareleitä on hidastettava 100 - 200 ms, jotta virhelaukaisulta vältetään muuntajan kytkentäsäysvirran vuoksi. [1, s. 266 - 268; 3, s. 367 - 369.]

### 3.2 Fingridin yleisiä vaatimuksia 110 kV:n johtojen distanssireleille

Fingridin ohjeistuksen mukaan säteisjohtoja suojataan ensisijaisesti distanssireleellä, jossa on suunnattu maasulkusuojaus (kuva 5). Lyhyillä säteisjohdoilla voidaan käyttää myös kolmevaiheista vakioaikaylivirtarelettä pääsuojana. Varasuojauksena käytetään kaksiportaista käänteisaikaylivirtarelettä. Maasulkusuojana tulee käyttää ylivirtareleen suunnattua maasulkusuojaa ja näiden tulee olla kaksiportaisia. Jälleenkytkentätoiminto on tyypillisesti integroituna distanssireleeseen. Voimalaitosjohdoilla käytetään tahdisaolon valvojaa. [4.]

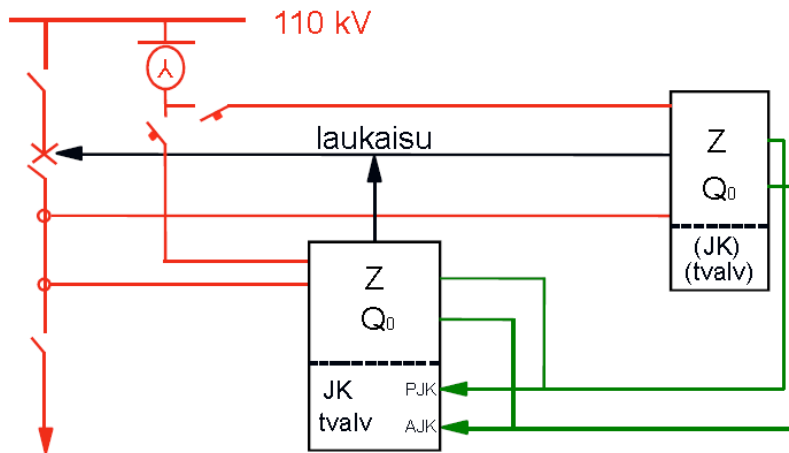


Kuva 5. 110kV säteisjohdon suojaus [4]

Yleistymässä oleva tapa on käyttää rengasverkon suojaukseen kahta pääsuojaa, jotka ovat kaksi distanssirelettä (kuva 6). Distanssireleissä käytetään samoja suojaustoimintoja, ja niiden tulee olla saman valmistajan sekä saman tyyppisiä laitteita. Kummallekin



distanssireleelle tulee omat apusähköt, sekä virtamuuntajilta käytetään eri käämejä. Jännitemittamuuntajan toisiossa käytetään johdonsuojakatkaisimia, jotka ovat erilliset kummallekin distanssireleelle. Distanssireleissä tulee olla jälleenkytkentä, tahdissa olon valvonta ja maasulkusuojaus integroituna. [4.]



Kuva 6. 110kV rengasjohdon suojausperiaate [4]

Distanssisuojassa käytettävä havahtumiselin tulisi olla impedanssihavahteinen. Impedanssiperusteinen havahtuminen sallii distanssireleen suuremman kuormituksen kuin muun tyyppiset menetelmät. Vian laukaisu aika tulee olla alle 60 ms vian ollessa ensimmäisen vyöhykkeen loppupäässä.

Liitteessä 1 esitetään 110 kV johdonsuojauksen toimintakaavio, josta nähdään automaattisen jälleenkytkennän toimintaperiaate. Automaattinen jälleenkytkentä tulisi toimia sekä pika- että aikajälleenkytkennässä. Automaattiset jälleenkytkennät tehdään kolminapaisesti ja johdon molemmissa päissä. Viivästymättömät laukaisut käynnistävät sekä pika- että aikajälleenkytkennän. Viivästetyt laukaisut käynnistävät vain aikajälleenkytkennän. Automaattinen jälleenkytkentä tulee aina varustaa tahdissaolon valvontatoiminnolla.

Pika- ja aikajälleenkytkennät on tavanomaisesti mahdollista kytkeä pois päältä kaukokäytöstä sähköaseman paikallisohjauksesta ja painonapeilla. Painonapeilla on oltava merkkilamppu, joka kertoo jälleenkytkennän estosta. Jälleenkytkennän poisohjauksen tulee keskeyttää myös käynnissä oleva jälleenkytkentä.

Lopullisen laukaisun hälytys pitää antaa, kun jälleenkytkentäohjelman jälkeen katkaisija on edelleen auki. Hälytys tulee myös antaa, jos jälleenkytkentä on ohjattu estetty-tilaan jälleenkytkennän aikana tai jos jälleenkytkentä on ollut ennen vikaa estetty -tilassa.

Jälleenkytkentärele ei saa ohjata kiinni sellaista katkaisijaa, joka oli auki jo jälleenkytkennän alkaessa. Mikäli käynnistyssignaali jää päälle esimerkiksi yli 7 s:ksi, tulee jälleenkytkentä estää. Katkaisijan käsin kiinni- tai aukiohjauksen jälkeen tulee automaattisten jälleenkytkentöjen olla estettynä määrääjän, tyypillisesti 20 s. Jälleenkytkentä tulee olla mahdollista käynnistää myös ulkoisesti johdon toiselta pää- tai varasuojareleeltä, vaikka jälleenkytkentätoiminto olisi integroitu distanssireleeseen.

Tahdissaolon valvontaa käytetään sekä pika- että aikajälleenkytkennässä. Tahdissaolon valvonnan tulee sallia katkaisijan kiinni-ohjaus, kun jännitteet ovat tahdissa tai johto on jännitteetön ja kiskossa on jännite. Aikajälleenkytkentää tulee yrittää, vaikka tahdissaolon valvonta estäisi pikajälleenkytkennän kiinniohjauksen. Aikajälleenkytkentää tulee yrittää, vaikka pikajälleenkytkennässä tahdistusehtojen täyttymistä odotettava aseteltu aika olisi kulunut umpeen.

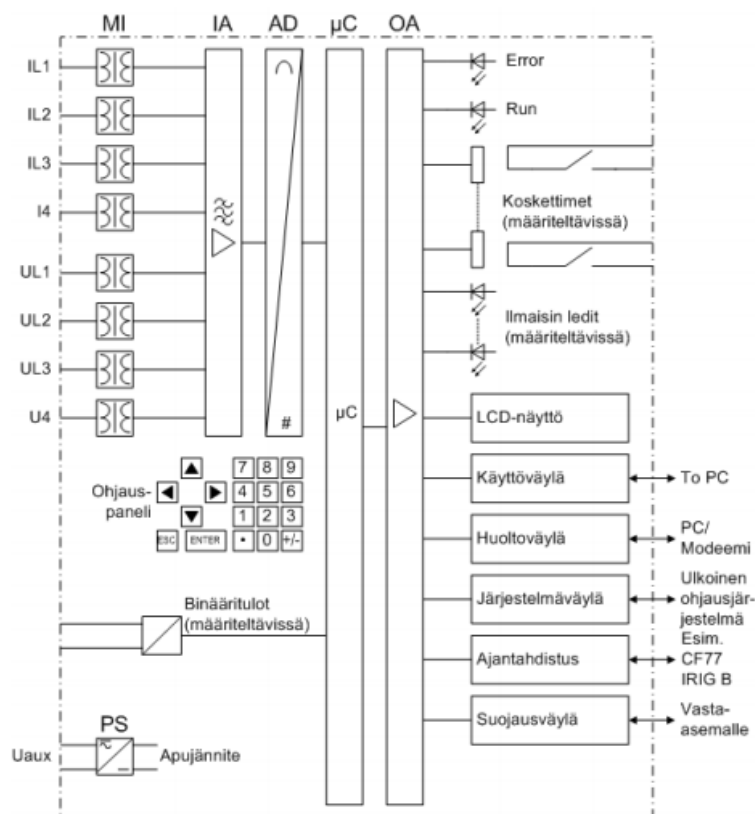
Vikaa vasten kiinnikytkentä -toiminto (SOTF, *Switch-on-to-fault*) tulee olla toiminnassa sekä automaattisissa jälleenkytkennöissä ja käsin kiinni kytkettäessä. SOTF-toiminnon tulee käynnistyä, kun ulkoiselta apureleeltä tuodaan katkaisijan kiinni-ohjaustieto distanssireleen binäärituloon. SOTF-toiminto käynnistetään apureleellä, joka on kytketty katkaisijan kiinniohjauspiiriin. Apurele kytketään siten, että se toimii automaattisten jälleenkytkentöjen aikana sekä käsin kiinni kytkettäessä. SOTF-toiminto ei ole pakollinen paikallishjauksessa, jossa katkaisijaa käytetään painonapista kytkinkentällä. Vaihtoehtoisesti SOTF-toiminto voidaan aktivoida käyttämällä releelle johdotettua katkaisija auki -tilatietoa.

Jännitemuuntajien toisiopiireissä tulee olla yksivaiheiset johdonsuojakatkaisijat, joilla on apukoskettimet distanssisuojan lukitusta varten. Johdonsuojakatkaisijan apukoskettimien tulee olla sulkeutuvia. Ne sulkeutuvat, kun johdonsuojakatkaisija laukeaa. Kummallekin distanssisuojalle tulee olla omat johdonsuojakatkaisijat. Sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta johtuen distanssisuojan lukituspiirissä tulee käyttää apureleitä. [4.]

#### 4 Distanssisuoja Siemens 7SA6

Siprotec 4 7SA6 -distanssirele on ei-kytkävä rele sisältäen kaikki tarpeelliset toiminnot ilmajohtojen ja kaapelien suojaukseen jännitetasoilla 5 - 765 kV. Numeerisesti toimiva 7AS6 -distanssirele on varustettu nopealla mikroprosessorijärjestelmällä ja sen avulla kaikki suojan toiminnot mittaussuureiden vastaanotosta aina katkaisijan auki - ohjaukseen saakka suoritetaan täysin numeerisesti. [5.]

7SA6 on ns. *full scheme* -rele eli se on varustettu kuudella impedanssisilmukalla. Yksi mittauselin käsittää suunnan määrittämisen ja etäisyyden mittaamisen. Eri havahtumistavat mahdollistavat suojan käytön erilaisissa verkoissa ja käyttötavoissa. Käytössä on ylivirta-, jännite-, vaihekulmaohjattu- tai impedanssihavahtuminen. Kuvassa 7 esitetään 7SA6-distanssisuojan periaatteellinen rakenne.



Kuva 7. 7SA6 Distanssisuojan periaatekaavio [6, s.20]

Suojan ylivirtasuojastoimintoa voidaan käyttää halutessa varasuojana. Varasuojainaisuus kytkeytyy käyttöön, jos distanssisuojalta katoaa mittausjännitteet, rele havait-

see jännitteiden puuttuvan ja kytkee päälle varaylivirtasuojan, joka tarvitsee toimiakseen vain virrat. [1, s. 60; 6, s. 20.]

Lisäksi distanssisuojaan on saatavilla optiona erilaisia suojaustoiminnallisuusmahdollisuuksia, kuten suunnattu tai suuntaamaton maasulkusuojaus, jälleenkytkentäautomaatiikka, tahdissaolon ja jännitteen valvonta, ali- ja ylijännitesuoja, taajuussuoja, katkaisijavikasuoja ja ylikuormitussuoja. [6, s. 20 - 22.]

#### 4.1 Distanssisuojauksen toiminta

7SA6-distanssireleen perustoiminto on vikapaikan etäisyyden määrittäminen ja distanssisuojaus. Suoja on varustettu stabiloidulla maasulkuvirran mittauksella, nollavirran ja virtojen vastakomponentin vertailulla sekä avokolmiojännitteen tunnistuksella. Lisäksi on mahdollista käyttää erikoistoimintoja, joilla voidaan välttää yksivaiheiset havahtumiset eristetyssä tai sammutetussa järjestelmässä.

Distanssisuojan impedanssilaskenta toimii kuudella mittaussilmukalla L1-E, L2-E, L3-E, L1-L2, L2-L3, L3-L1. Näillä kaikilla silmukoilla on oma erillinen mittausjärjestelmänsä. [6, s. 61 - 129.]

#### 4.2 Ylivirtasuojauksen toiminta

Distanssisuoja 7SA6 releen ominaisuuksiin kuuluu ylivirtasuoja, joka voi toimia vara- tai hätäsuojana. Ylivirtasuojaus toimii hätäsuojana, jos mittausjännitteet katoavat tai se voidaan asettaa toimimaan varasuojana. Ylivirtasuojalle voi asettaa neljä porrasta vaihe- ja maasulkuvirroille. Nämä neljä porrasta ovat toisistaan riippumattomia ja ne voidaan määrittää käyttöön halutulla tavalla. Nämä portaat vaihe- ja maasulkuvirroille ovat

- kaksi vakioaikaista ylivirtaporrasta
- yksi käänteisaikainen ylivirtaporrasta
- yksi lisäylivirtaporrasta, joka toimii ns. päätesuojana, jota voidaan myös käyttää yleisesti ylimääräisenä vakioaikaisena ylivirtaporttana.

Ylivirtasuojan portaat on myös mahdollista lukita binääritulojen avulla, joita ulkoiset laitteet voivat ohjata.

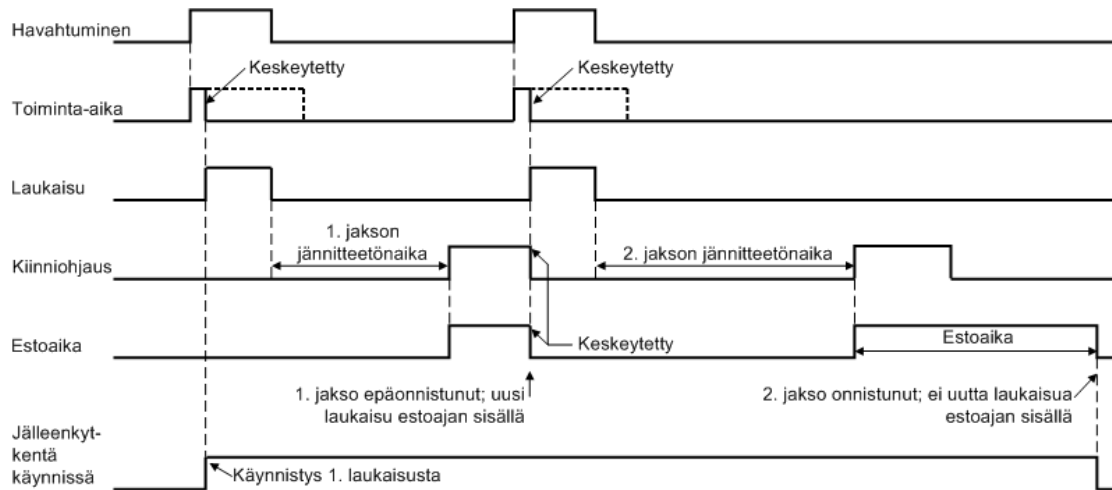
Ylivirtasuoja toimii automaattisesti hätäsuojana, jos distanssisuojauksen tarvitsemat jännitemuuntajalta tulevat mittausjännitteet katoavat. Näin voi käydä esimerkiksi katkoksen tai oikosulun sattuessa jännitemuuntajien toisiopiireissä, jolloin sisäisen mittausjännitteen valvontatoiminta havahtuu tai binäärituloon on asetettu jännitemuuntajien johdonsuoja-automaatti lauennut -ohjaus. Toisen näiden ehtojen täytyessä lukittuu distanssisuoja välittömästi, jolloin ylivirtasuojaus-toiminto siirtyy hätäsuoja käyttöön ja antaa hälytyksen.

Ylivirtasuojan voi myös määritellä varasuojakäyttöön, jolloin se toimii riippumatta muista suojaus- ja valvontatoiminnoista distanssisuojaus mukaan lukien. Käyttöönottotilanteessa varaylivirtasuojaa voi käyttää yksin oikosulkusuojana jos jännitemuuntajat eivät ole vielä käytössä. [6, s. 242 - 257.]

#### 4.3 Jälleenkytkentäautomaatiikka

Automaattista jälleenkytkentää käytetään avojohtojen vioissa, koska niissä on mahdollista, että viat poistuvat itsenäisesti. Jälleenkytkentä voi toimia kolmivaiheissa vioissa sekä yksivaiheisissa vioissa, jos katkaisijan vaiheita voidaan ohjata toisistaan riippumatta.

Jälleenkytkentäautomaatiikan avulla voidaan suorittaa kahdeksan jälleenkytkentäyritystä. Näistä neljälle ensimmäiselle voidaan määritellä toimintaparametrit. Neljännen jakson asetteluja käytetään viidennestä portaasta eteenpäin. Kuvassa 8 esitetään kaksiportaisen jälleenkytkennän kulkuajakaavio.



Kuva 8. Jälleenkytkennän kuluaikakaavio [6, s. 267]

Jälleenkytkentäautomaattika käynnistyy ensimmäisestä laukaisusta. Tämä vaatii katkaisijalta tilatiedon siitä, onko se valmis suorittamaan vähintään auki-kiinni-auki-toimintajakson. Myös mahdollinen aseteltu toiminta-ajan ylitys estää jälleenkytkennän käynnistymisen.

Toiminta-aika käynnistyy aina suojan yleishavahtumasta, ja laskenta keskeytyy mahdolliseen laukaisuun. Jos toiminta-aika ylittyy, suoja ei käynnistä jälleenkytkentää enää samalla jaksolla.

Katkaisijan kiinniohjauksessa käynnistyy myös estoaika. Estoajan aikana tuleva mahdollinen laukaisu käynnistää uuden jakson, mikäli niitä on aseteltu. Jos niitä ei ole enää jäljellä, lukittuu jälleenkytkentäautomaattika dynaamisesti.

Dynaaminen lukitus estää jälleenkytkennät dynaamisen lukitusajan 0,5 s ajaksi. Ajan kuluttua loppuun palaavat jälleenkytkentä toiminnot lepotilaan ja toimivat taas uuden verkkohäiriön aikana.

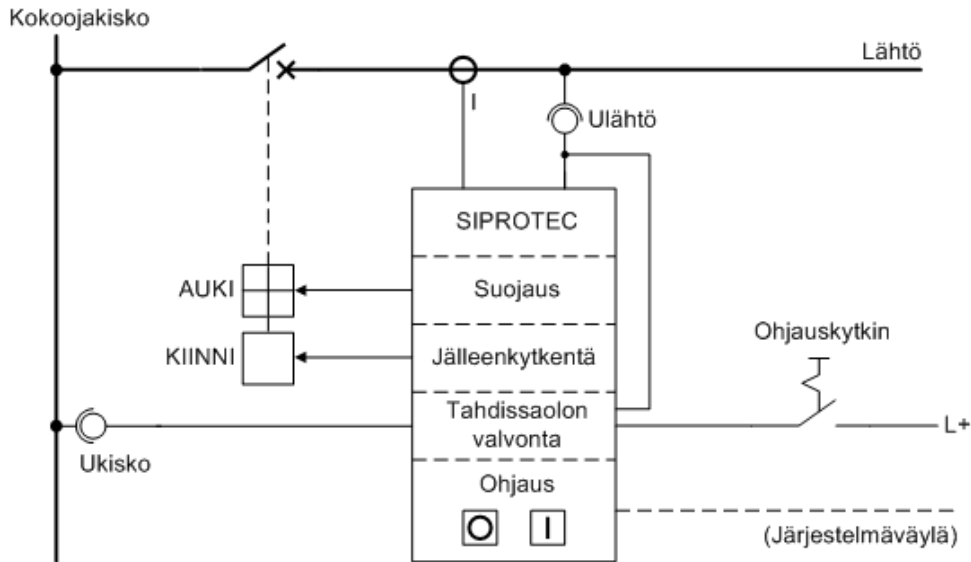
Kun jälleenkytkennällä aseteltu suojaustoiminto aktivoituu, käynnistetään jälleenkytkentä. Katkaisijan auetessa käynnistyy aseteltu jännitteetön aika, jonka jälkeen katkaisijalle lähetetään kiinniohjauskäsky. Samalla käynnistyy aseteltu estoaika. Eri suojaustoimintojen havahtumille voidaan määritellä toisistaan riippumattomat jännitteettömät ajat.

Mikäli jälleenkytkentä onnistuu, eikä uutta laukaisua tule estoajan aikana, palaa jälleenkytkentä lepotilaan. Tällöin verkkohäiriö on poistunut. [6, s. 267 - 296.]

#### 4.4 Tahdissaolon valvonta

Tahdissaolon valvontatoiminto tarkastaa, että johtolähdön ja kokoojakiskon jännitteet ovat tahdissa johtolähdön kiinnikytöntähetkellä. Tahdissaolon valvonta tehdään, jotta verkon stabiilius ei vaarantuisi tai sähkökentän komponentit kuten katkaisijat eivät vaurioituisi. Kytettävän lähdön jännitettä verrataan kokoojakiskon jännitteeseen tarkastamalla, että jännitteiden amplitudit, vaihekulma ja taajuudet ovat aseteltujen rajojen sisällä. Tahdissaolon valvonta voidaan suorittaa käsinohjauksissa tai automaattisten jälleenkytkentöjen aikana tai molemmissa. Kiinniohjauksen vapautus voidaan tehdä, jos verkon osat ovat tahdissa. Jos verkon osat eivät ole tahdissa, määrittelee tahdissaolon valvonta kiinnikytöntähetken katkaisijalle verkon osien ollessa tahdissa.

Tahdissaolon valvonnan jännite tuodaan analogitulon UI4 liittimille R13 - R14 (liite 2). Jos suojaustoimintojen jännitemuuntajat  $U_{sy1}$  ovat kokoojakiskon puolella, tulee tahdissaolon valvonnan mittauspiiri  $U_{sy2}$  sijoittaa lähdönpuolella. Kuvassa 9 esitetään tahdissaolon valvonta kiinnikytettäessä, kun  $U_{sy1}$  on asetettu johdon puolelle ja  $U_{sy2}$  kiskonpuolelle.



Kuva 9. Tahdissaolon valvonnan toiminta [6, s. 325]

Katkaisijan kiinniohjaukset ovat mahdollisia verkon osien ollessa tahdissa tai epätahdissa. Tahdissa olevan verkon osat kytetään välittömästi, kun jännite-ero, kulma-ero ja taajuusero ovat aseteltujen rajojen sisällä.

Epätahdissa olevat verkon osat kytketään laitteen lasketun kytkentähetken mukaan. Tämä tehdään kulmaeron ja taajuuseron avulla, jolloin kulmaero jännitteiden välillä on lähes 0° katkaisijan sulkeutuessa. Tätä toimintoa varten laitteelle tulee asetella katkaisijan kiinnikytöntäaika.

Tahdissaolon valvonta toimii jos se on saanut mittauspyynnön. Käytettävissä on seuraavanlaisia toimintatapoja:

- sisäiseltä jälleenkytkentäautomaatiikalta tuleva mittauspyyntö
- ulkoisen ohjauksen mittauspyyntö.
- laitteen käsin kiinni ohjaustoiminnolta tuleva mittauspyyntö
- mittauspyyntö etulevyn painikkeilla, sarjaliikenneväylän kautta tai järjestelmäväylästä ulkoiselta ohjausjärjestelmästä.

Tahdissaolon valvonnalle on mahdollista määritellä automaattiselle jälleenkytkennälle ja käsin kiinni kytkennälle omat vapautusehdot. Automaattiselle jälleenkytkennälle tulee määritellä tahdissaolon valvonta päälle niille jaksoille, joilla sen halutaan toimivan. Jaksojen tahdissaolon valvonnan asetukselle *nro. 3460 1.AR SynRequest* asetelluksi tulee valita *YES*, jolloin tahdissaolon valvonta on päällä ensimmäisellä jaksolla. Vastaavasti muille jaksoille on samat asetellut. Jaksolle, jolla tahdissaolon valvonta on asetettu toimimaan, tehdään jälleenkytkentä tahdissaolon valvonnan vapautuksen jälkeen. Tahdissaolon valvonnalle on määritettävissä seuraavanlaisia vapautusehtoja:

- *AR sync-check nro. 3515*, jossa molempien mittauspiirien  $U_{sy1}$  ja  $U_{sy2}$  tulee olla jännitteisiä
- *AR  $U_{sy1} < U_{sy2}$  nro. 3516*, jossa mittauspiirin  $U_{sy1}$  tulee olla jännitteetön ja mittauspiirin  $U_{sy2}$  jännitteinen
- *AR  $U_{sy1} > U_{sy2}$  nro. 3517*, jossa mittauspiirin  $U_{sy1}$  tulee olla jännitteetön ja mittauspiirin  $U_{sy2}$  jännitteinen
- *AR  $U_{sy1} < U_{sy2}$  nro. 3518*, jossa molempien mittauspiirien tulee olla jännitteettömiä
- *AR override nro. 3519*, jossa automaattinen jälleenkytkentä suoritetaan ilman tahdissaolon valvontaa.

Tahdissaolon valvonnan kulku on esitetty tahdissaolon valvonnan logiikkakaaviossa (liite 3). Logiikkakaaviosta voi nähdä, että mikäli jokin jännitteenmittauspiirin  $U_{sy1}$  val-



vonnan toiminnoista on aktiivinen, lukitsee se tahdissaolon valvonnan. Laitteen sisäinen merkinanto *AR meas.request* käynnistää tahdissaolon valvonnan laitteen sisäiseltä jälleenkytkennältä. Tahdissaolon valvonnan käynnistyksestä tulee informaatio *sync.running nro. 2941* aktiiviseksi, ja sama signaali menee myös tahdissaolon valvonnan ehtojen jälkeisille *AND*-piireille, ja mahdollistaa tahdissaolon valvonnan vapautuksen, mikäli muut ehdot täyttyvät. [6, s. 298 - 310.]

#### 4.5 Häiriöntallennustoiminta

Distanssisuoja sisältää myös häiriöntallennus-toiminnon. Häiriöntallennus tallentaa mittaussuureiden hetkellisarvoja 1 ms:n välein muistiin. Tiedot tallennetaan asetellulta aikaväliltä, joka voi maksimissaan olla 5 s ja ne tallennetaan häiriötilanteessa. Muistissa voi olla enintään kahdeksan tilannetta, joiden kokonaisaika voi olla 15 s. Häiriöntallennus voidaan käynnistää suojaustoimintojen havahtumisesta, binääritulolta tai järjestelmävyältä. Tallenteet voidaan lukea DIGSI- ja SIGRA 4 -ohjelmistojen avulla.

Häiriötallennetiedot voidaan siirtää myös ulkoiselle valvonta tai ohjausyksikölle järjestelmävyälän kautta. Tällä tavalla häiriö tietoja voidaan käsitellä keskitetysti keskusyksiköltä. [6, s. 425 - 426.]

#### 4.6 Havahtumis- ja laukaisulogiikka

Havahtumislogiikka kokoaa yhteen kaikkien suojaustoimintojen havahtumissignaalit. Suojan yleishavahtumistieto on useiden sisäisten ja ulkoisten suojaustoimintojen käynnistykseen edellytys. Suojaustoimintojen havahtumissignaalit on liitetty yhteen TAI-piirillä, joka kytkee laitteen yleishavahtumisen informaation relay pickup aktiiviseksi. Yleishavahtumismerkinannolla voidaan ohjata esimerkiksi

- häiriöpäiväkirjan käynnistystä
- häiriötallennuksen aktivointia
- automaattisen jälleenkytkennän toiminta-ajan käynnistystä.

Laitteen laukaisulogiikka voi toimia yksi- tai kolmivaiheisena riippuen suojareleen tyypistä. Yleensä laite suorittaa verkkohäiriössä kolmivaiheisen laukaisun. Kolmivaihei-

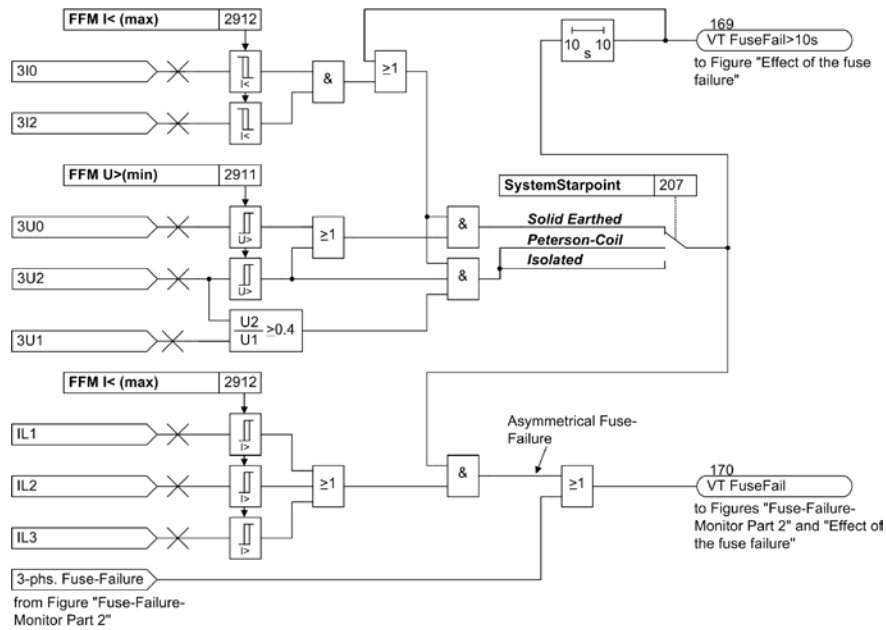
sessä laukaisussa voidaan käyttää *Relay TRIP* -informaatioita ledien ja binäärilähtöjen ohjaukseen. Kaikki laitteen suojaustoimintojen laukaisut on kytketty yhteen loogisella OR-piirillä, josta on muodostettu informaatio *Relay TRIP*. [6, s. 398 - 403.]

#### 4.7 Itsevalvontatoiminnot

Suojarele valvoo elektroniikkaa ja ohjelmiston toimintaa itsevalvontaominaisuuksien avulla. Myös mittaus suureita valvotaan tarkasti, ja myös virta- ja jännitemittauspiirit voidaan sisällyttää valvontaan. Laitteen suojaustoimintoja valvotaan mittauselimiltä aina ulostuloreleelle asti. Katkokset ja oikosulut virta- ja jännitemuuntajien toisiopiireissä havaitaan ja ilmaistaan valvonnan avulla, myös johdinkatkokset voidaan havaita.

Mittausjännitteitä valvotaan distanssireleessä monella tapaa, joita ovat epäsymmetrinen jännitteenmittaus (FFM, *fuse failure monitor*), jännitteen mittaushäiriön lisävalvonta ja valvonta johdonsuoja-automaatilla. Näitä valvontoja voidaan käyttää rinnan toistensa kanssa.

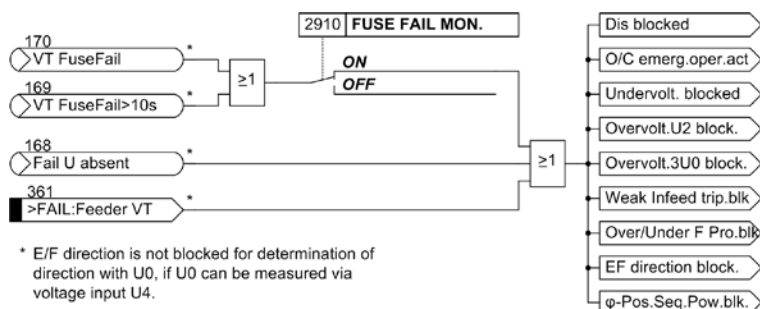
FFM valvoo jännitteen mittauspiiriä jännite-epäsymmetrioiden avulla. Kun jännitteenmittaus suureissa on epäsymmetria, jota ei esiinny virroissa, määritellään tilanne jännitemuuntajan toisiopiiriin häiriöksi. Informaatiot tälle ovat *VT fusefail nro. 170* ja *VT fusefail > 10s nro. 169*. *VT fusefail* aktivoituu välittömästi kun se havaitsee epäsymmetristä mittausjännitettä ja yhden vaiheen virta ylittää sille asetellun arvon. Jos nolla- tai vastajärjestelmän virta nousee 10 s aikana *VT fusefail:n* aktivoitumisesta, palautuu informaatio ja lukitus poistuu, koska tällöin johdolla on vika. Jos jännite on yli 10 s poissa, aktivoituu informaatio *VT fusefail < 10s* (kuva 10).



Kuva 10. Distanssireleen sisäinen logiikkakaavio FFM (*fuse failure monitor*) toiminnalle [6, s. 373.]

Jännitteenmittaushäiriön lisävalvonta aktivoi merkinannon *fail u absent*, jos kaikki kolme vaihejännitettä ovat pienempiä kuin aseteltu arvo, vähintään yhdenvaiheen virta on suurempi kuin aseteltu arvo eikä mikään suojaustoiminto ole havahtunut sekä nämä ehdot ovat voimassa asetellun ajan.

Valvonnassa voidaan käyttää myös suoja-automaatteja jännitemuuntajan toisiossa, joiden apukoskettimilta voidaan tieto tuoda distanssireleelle. Kuvassa 11 esitetään edellä olevien mittausjännitteen valvonta-toimintojen ja suoja-automaatin merkinannon *fail: feeder VT*-toiminnan lukitukset. [6, s. 370 - 377.]



Kuva 11. Mittausjännitteen valvonnan suorittamat lukitukset [6, s. 377]

## 4.8 Digi 4 -ohjelmisto

Tässä osiossa kerrotaan Digi 4 -ohjelmistosta ja käydään läpi lyhyesti projektin luominen, releen lisäys projektiin ja konfigurointi I/O-matriisissa. Digi 4 on graafinen, windows-pohjainen ohjelmisto siprotec-laitteille. Siprotec-laitteet voidaan asettaa Digi 4 -ohjelmistoa käyttäen. Digi 4 -ohjelmisto on jaettu seuraaviin komponentteihin:

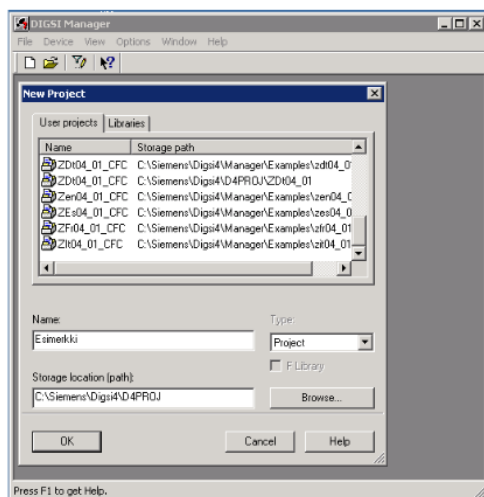
- Digi 4 Manager, jolla onnistuu siprotec-laitteiden laitetiedostojen ja kommunikointiominaisuuksien hallinnointi
- Digi 4 device configuration, komponentilla voi liittää uusia laitteita projektiin ja määrittellä laitteen toiminnallisuus, informaatiot, asetteluarvot ja liikkovälit
- Digi 4 display editor, komponentilla voi piirtää ja hallita graafisella näytöllä varustettujen SIPROTEC 4-laitteiden perus- ja ohjausnäyttöjä
- Digi 4 CFC, jossa on käytettävissä erityyppisiä logiikkapiirejä, joilla voidaan muodostaa käyttökohteen vaatimia toimintoja
- Digi 4 remote -optiopaketti mahdollistaa kommunikoinnin SIPROTEC-laitteiden kanssa modeemiyhteydellä
- Siga 4 -ohjelmistolla on mahdollista analysoida verkkohäiriöistä tallennettuja häiriötallenteita. Siinä käsitellään häiriötaphtumaa graafisessa muodossa.

Laitteen ohjelmointi voidaan tehdä offline- tai online-tilassa. Offline-tilassa ohjelmoitavan laitteen tiedot syötetään manuaalisesti ohjelmistoon ja tehty ohjelma voidaan myöhemmin ladata releeseen. Online-tilassa ohjelmisto hakee releen tiedot ja ohjelmointi tehdään suoraan releeseen. Käyttöä helpottaa se, että ohjelmisto antaa valita vain niitä parametrintiasetuksia, jotka on määritetty releeseen. [7, s. 72 - 73.]

### 4.8.1 Projektin luominen ja releen lisääminen

Projekti luodaan Digi 4 manager -ohjelmistolla, jolla määritellään projektin rakenne. Projektirakenteeseen voidaan lisätä objekteja, ja muokata sitä poistamalla, siirtämällä ja kopioimalla objekteja. Objektit ovat projektirakenteeseen sijoitettavia ikoneita, joita voivat olla kansiot ja siprotec-laitteet.

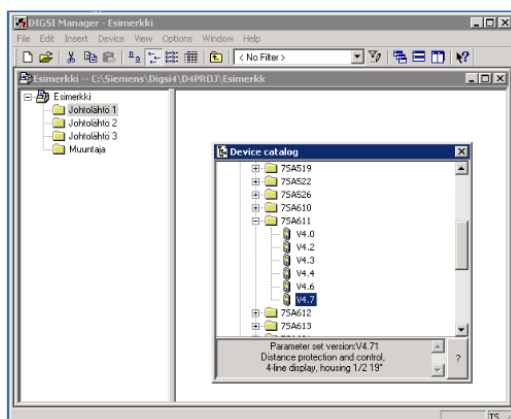
Ensimmäiseksi, ennen kuin releitä voidaan konfiguroida, pitää luoda uusi projekti ja tehdä haluttu projektirakenne, johon releet voidaan sijoittaa. Uuden projektin luominen aloitetaan antamalla projektille nimi ja valitaan haluttu tallennuspaikka (kuva 12).



Kuva 12. Uuden projektin luominen

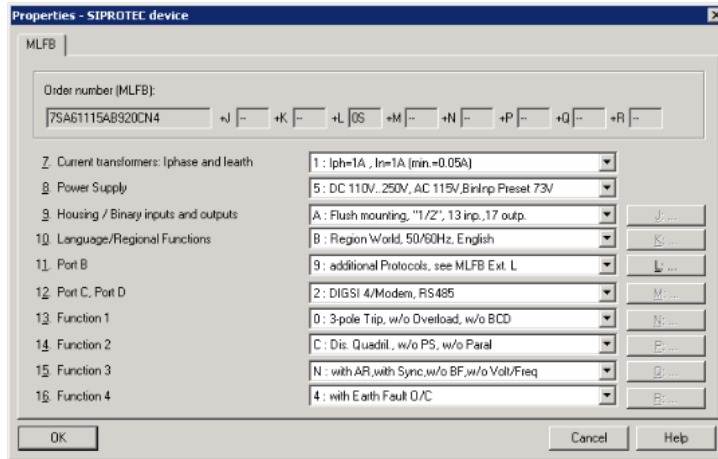
Projektin luomisen jälkeen projektirakenteeseen voi lisätä kansioita halutulle tasolle. Tämä onnistuu valitsemalla haluttu taso, jolle uusi kansio halutaan liittää ja valitaan kansio-objekti valintaluetteloikkunasta.

Projektirakenteen luomisen jälkeen halutulle tasolle voidaan liittää haluttu Siprotec-laite. Siprotec-laite lisätään drag&drop-menetelmällä laiteluettelosta (*device catalog*) (kuva 13). Laite lisätään laiteluettelosta ja siirretään se haluttuun kohdekansioon.



Kuva 13. Laiteluettelo

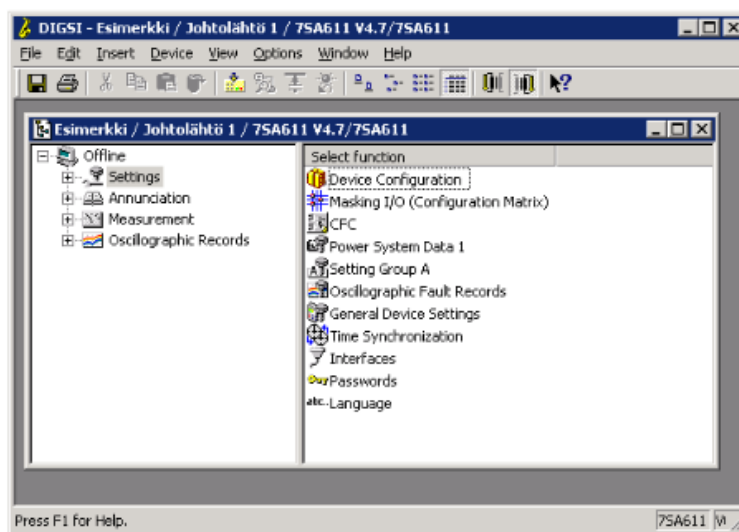
Halutun laitteen siirtämisen jälkeen näytölle aukeaa properties - Siprotec device - ikkuna, jossa voidaan määrittellä laitteen ominaisuudet. Laitteen tilausnumero (MLFB, *Maschinenlesbare Fabrikatebezeichnung*) määrittelee laitteen tyyppin ja toiminnallisuudet (kuva 14). [7, s. 74 - 102.]



Kuva 14. Siprotec device valikon MLFB-sivu

#### 4.8.2 Releen konfigurointi ja parametointi

Siprotec-suojareleeseen voidaan asettaa haluttuja toimintoja käyttäen Digsi-ohjelmistoa. Kuvasta 15 nähdään konfigurointi- ja parametointimahdollisuuksia, joiden avulla laitteen toiminnallisuudet määritellään.



Kuva 15. Konfigurointi ja parametointi digsi-ohjelmistossa

Siprotec 4 -laitteen kaikki käytettävissä olevat toiminnot on esitetty *Device Configuration* -valikkoikkunassa. Ikkunassa voidaan määrittellä, mitkä käytettävissä olevat toiminnot tulevat käyttöön ja samalla määrittellä myös toimintojen perusasetteluita, kuten esimerkiksi ylivirtaportaan laukaisuaikaominaiskäyrän tyyppi. Toiminnallisuuden määrittely vaikuttaa myöhemmin näkyvissä oleviin asettelu mahdollisuuksiin ja käytettävissä oleviin informaatioihin.

I/O-matriisi (*masking I/O*) on työkalu, jonka avulla binäärituloja ja -lähtöjä voidaan liittää haluttuihin suojausalueen toimintoihin kuten havahtumisiin, laukaisuihin, hälytyksiin, ledeihin tai CFC-logiikkaan. Tällöin saadaan aseteltu suojausalueen toiminto aktivoitua sille määrittelystä binääritulosta tai suojausalueen toiminnosta saadaan aktivoitua binäärilähtö.

CFC (*continuous function chart*) -ohjelmalla voi tehdä käyttäjän määrittelemiä logiikka-toimintoja graafisesti. Halutut informaatiot voidaan liittää logiikkatoiminnan tuloksi tai lähdöiksi, jonka jälkeen kääntää ja ladata logiikkakaavio releelle käytettäväksi.

*Power system data 1* valikkoikkunassa määrittellään tarvittavat tiedot suojattavasta verkosta ja kojeistosta. Näitä tietoja ovat esimerkiksi kojeiston ja mittamuuntajien nimellisarvot.

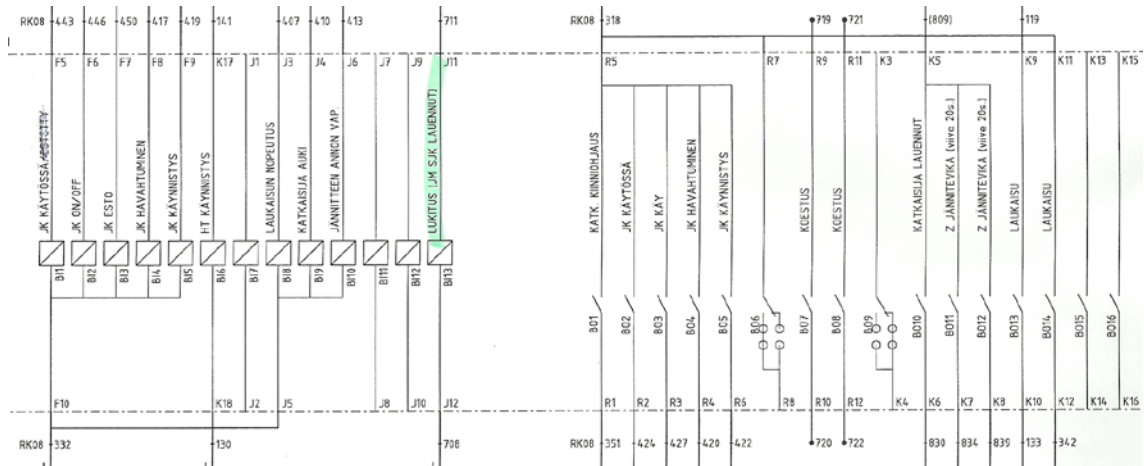
*Setting group A* -valikkoikkunassa voi määrittellä suojaustoimintojen asetteluarvot ryhmälle A. Asetteluryhmiä voi 7SA6-releessä olla neljä. Suojaustoimintojen asetteluarvot ja toiminnallisuudet voidaan määrittellä asetteluryhmiin toisistaan riippumattomasti, mutta toimintojen laajuus määrittelyt ovat samat kaikille ryhmille.

*Oscillographic fault record* -valikkoikkunasta voi katsoa tallentuneita vikatietoja Digsi -ohjelmistolla. *General device setting* -valikossa tehdään laitteen perusominaisuuksien määrittely asetteluryhmistä riippumattomasti. [7, s. 168 - 205.]

## 5 Projektissa käytettävien binääritulojen ja -lähtöjen toiminnot

7SA6 distanssirele sisältää binäärituloja ja -lähtöjä tilatun mallin mukaan (liite 4). Käsiteltävä distanssirele on mallia 7SA6111-5AB92-0CN4-L0S, jossa on binäärituloja 13 kpl ja binäärilähtöjä 16 kpl. Binäärituloille voidaan tuoda tilatietoja sähköaseman prosessista, ja lähdoilla voidaan ohjata haluttuja toimintoja sekä siirtää hälytyksiä.

Tässä luvussa on käyty läpi Infratekin projektin 110 kV johtolähdön distanssireleen tulot ja lähdöt sekä kerrottu niiden konfiguroinnista ja tarvittavista asetteluista. Kuvassa 16 esitetään distanssirele 1:n binääritulot ja -lähdöt, joiden tarkoitus ja toiminta käydään läpi. [8, s. 3 - 4.]



Kuva 16. Projektin distanssireleen binääritulot ja -lähdöt

### 5.1 JK-käytössä/estetty ja JK-on/off

JK-käytössä/estetty toimintoa käytetään jälleenkytkentöjen estämiseen. Jälleenkytkentöjen estäminen voi tulla tarpeelliseksi johdolle suoritettavien huoltotoimenpiteiden vuoksi. Myös sähköaseman kiskojärjestelmän viassa kiskosuoja tai katkaisijanviassa katkaisijavikasuoja estää jälleenkytkennät ohjaamalla JK-käytössä/estetty -toimintoa.

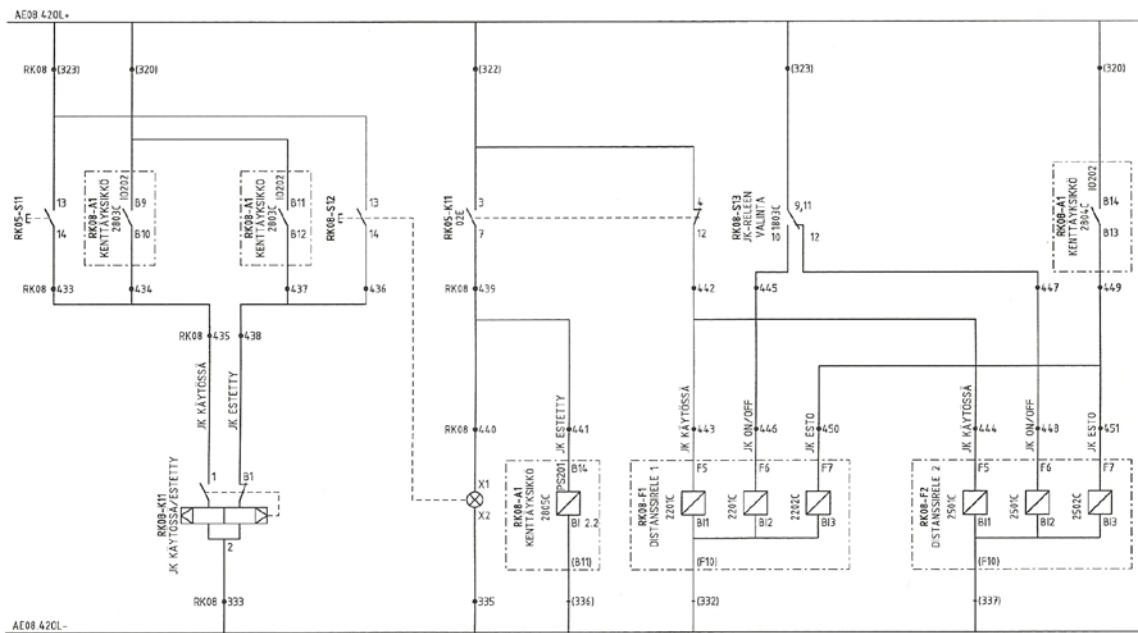
Jälleenkytkentää varten on distanssireleelle tuotava tieto siitä, halutaanko jälleenkytkentää käyttää. I/O-matriisiin suojausalueen binääritulolle B11 pitää asettaa signaali JK-käytössä ja toimintaperiaatteeksi valitaan H eli työvirtaperiaate (kuva 17). Työvirtaperiaatteella (H) binääritulo aktivoituu, kun siihen tuodaan jännite.



Information				Source												
Number	Display text	Long text	Type	BI												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	JK ON/OFF	JK ON/OFF	SP		H											
	JK käytössä	JK käytössä	SP	H												
	JK Esto	JK Esto	SP			H										

Kuva 17. I/O-matriisiin asettelu signaalille JK-käytössä/estetty (B11)

JK-käytössä/estetty signaalin avulla voidaan ohjata jälleenkytkentä -toiminto pois käytöstä kenttäyksikön tai painonappien avulla. Kenttäyksiköt ovat ohjauksissa ja valvonnoissa käytettäviä laitteita, joissa ei ole suojaustoimintoja ja joiden avulla saadaan välitettyä tietoa laitteiden välillä. Kenttäyksiköltä tuodaan JK-käytössä (BO 1.1) ja JK-estetty (BO 1.2) signaalit kippireleelle ja näiden signaalien avulla kippirele K-11 saadaan vaihtamaan asentoa ohjattuna kenttäyksiköltä. JK-estetty-toiminnolla sytty merkkilamppu ja kenttäyksikölle menee signaali JK-estetty (BI 2.2). Relekaapissa on painonapit S11 ja S12, käytössä ja estetty toiminnalle. Distanssisuojille kippireleeltä K-11 menee vain JK-käytössä signaali (kuva 18).



Kuva 18. JK käytössä/estetty ohjaus

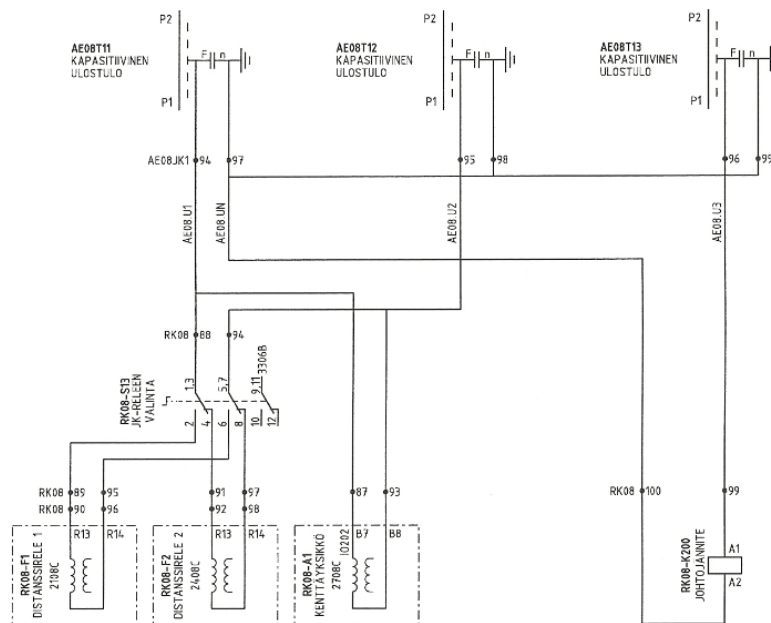
Binäärilähdöstä JK-käytössä (BO2) annetaan signaali kenttäyksikön binäärituloon BI2.1. Tämän merkinannon ollessa aktiivinen voidaan todeta jälleenkytkentäautomatiikan olevan käytössä toisella distanssireleistä. JK-käytössä (BO2) signaali asetetaan toimimaan distanssireleen sisäiseltä informaatiolta AR on nro. 2782 toimintaperiaatteen

la U eli ilman pitotoimintaa (kuva 19). Ilman pitotoimintaa lähtö aktivoituu ja palautuu välittömästi siihen määritellyn merkinannon mukaan.

Information				Source																								
Number	Display text	Long text	Type	BI													F	S	C	BO								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				1	2	3	4	5	6	7	8	9
02781	AR off	AR: Auto-reclose is switched off	OUT																									
02782	AR on	AR: Auto-reclose is switched on	InSP																X									
02783	AR is blocked	AR: Auto-reclose is blocked	InIT																									

Kuva 19. JK-käytössä binäärilähdön I/O-matriisin asettelu

JK-on/off toimii relekaapissa sijaitsevalla nokkakytkimellä. Nokkakytkimellä voidaan valita kummalla distanssireleellä jälleenkytkentä ja tahdistus on toiminnassa (kuva 20). Jälleenkytkennästä vastaavaa distanssirelettä voidaan joutua vaihtamaan esimerkiksi releviassa, jolloin toisen distanssireleen jälleenkytkentä otetaan käyttöön. Nokkakytkin vaihtaa myös virtamuuntajien kapasitiivisesta jännitteen ulosotosta mitattavan johdonjännitteen jälleenkytkevälle distanssireleelle. I/O-matriisiin JK-on/off signaali määritellään binääritulolle BI2 toimintaperiaatteella H (kuva 17).



Kuva 20. Virtamuuntajien kapasitiivinen ulostulo

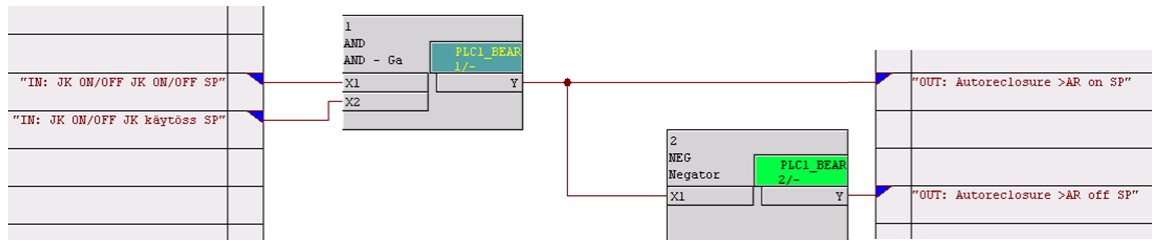
Signaalien JK-käytössä ja JK-on/off:n avulla määritetään automaattisen jälleenkytkennän päälle- ja pois -toiminta. Tämä voidaan tehdä CFC-logiikkatoiminnolla asettelemalla I/O-matriisissa signaalit >AR on ja >AR off CFC-logiikan lähteeksi (source) (kuva

21). Signaalit >AR on ja >AR off ovat laitteen sisäisen jälleenytkentälogiikan signaaleja, joiden avulla jälleenytkentä toimintaa voidaan ohjata päälle tai pois.

Information				Source																
Number	Display text	Long text	Type	BI													F	S	C	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
02701	>AR on	>AR: Switch on auto-reclose function	SP																	X
02702	>AR off	>AR: Switch off auto-reclose function	SP																	X
02703	>AR block	>AR: Block auto-reclose function	SP			H														
02711	>AR Start	>External start of internal Auto reclose	SP				H													
02716	>Trip 3pole AR	>AR: External 3pole trip for AR start	SP					H												

Kuva 21. Automaattisen jälleenytkennän informaatioiden asetteluja

CFC-logiikan tuloiksi valitaan JK-on/off (BI2) ja JK-käytössä (BI1) signaalit, koska riippuen edellä mainittujen signaalien tiloista, tulee jälleenytkentöjen kytkeytyä päälle tai pois. Kuvassa 22 esitetään JK-käytössä/estetty toiminnalle tehty logiikkakaavio, josta nähdään, että nokkakytkimen signaalin JK-on/off tulee olla päällä, jotta jälleenytkentätoiminnon voi saada päälle kenttäyksiköltä tai painonapeilta. Jos toinen loogisen AND-piirin ehtoista katkeaa muuttuu >AR off -signaali aktiiviseksi ja automaattinen jälleenytkentä -toiminto kytkeytyy pois päältä.



Kuva 22. JK-käytössä/estetty logiikkakaavio

## 5.2 JK-esto

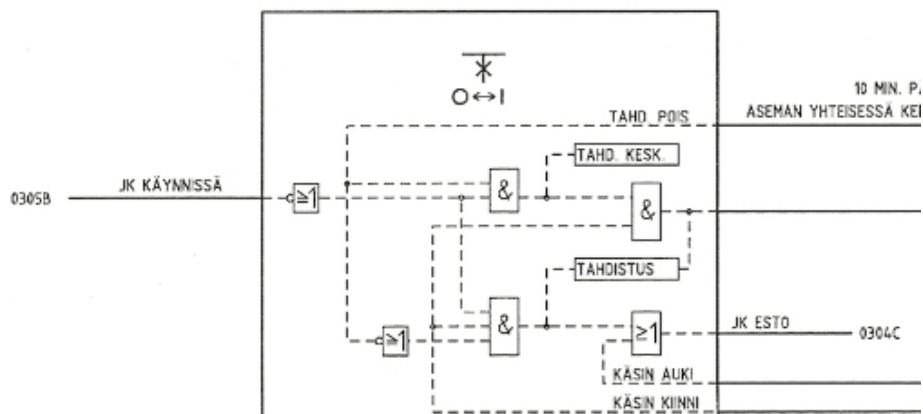
Jälleenytkentä estetään katkaisijalle käsin tehdyn kiinniohjauksen jälkeen. Myös käsin tehdystä aukiohjauksesta estetään jälleenytkennät mahdollisten suojareleen häiriötoimintojen estämiseksi. JK-estotoiminnolla voidaan myös keskeyttää käynnissä oleva jälleenytkentäohjelma ohjaamalla katkaisija auki-asentoon. JK-estotoimintoa voidaan käyttää myös estämään jälleenytkennät, jos esimerkiksi katkaisijavikasuoja on lau-  
kaissut johtolähdön katkaisijan.

JK-eston (BI3) avulla ohjataan distanssisuojan jälleenkytkennän -esto (*AR block*) päälle kenttäyksiköltä. JK-estosiinaalin toimintaperiaatteeksi I/O-matriisissa valitaan H. Binääritulolla BI3 tulee toimia myös releen sisäinen informaatio *>AR block nro. 2703*, joten sille tulee merkata BI3:n kohdalle toimintaperiaate H (kuva 23).

Number	Display text	Information Long text	Type	Source BI														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
02702	>AR off	>AR: Switch off auto-reclose function	SP															
02703	>AR block	>AR: Block auto-reclose function	SP				H											
02711	>AR Start	>External start of internal Auto reclose	SP					H										
	JK Esto	JK Esto	SP				H											

Kuva 23. JK-esto asettelut I/O-matriisiin

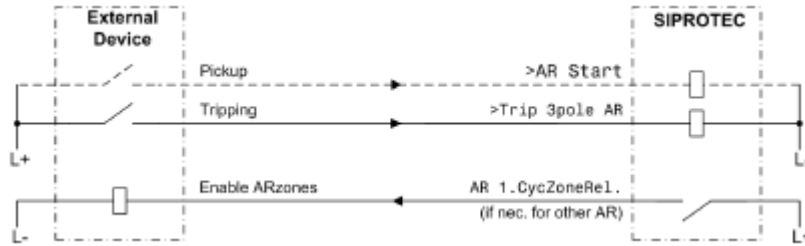
Kuvasta 24 nähdään kenttäyksikön sisäinen logiikkakaavio katkaisijan käsinohjaukselle. Logiikkakaaviosta nähdään että katkaisijan käsinauki -ohjaus kytkee JK-esto signaalin, jolloin jälleenkytkentä keskeytyy ja siirtyy estotilaan.



Kuva 24. Kenttäyksikön sisäinen logiikkakaavio katkaisijan käsinohjaus toiminnalle

### 5.3 JK-havahtuminen ja -käynnistys

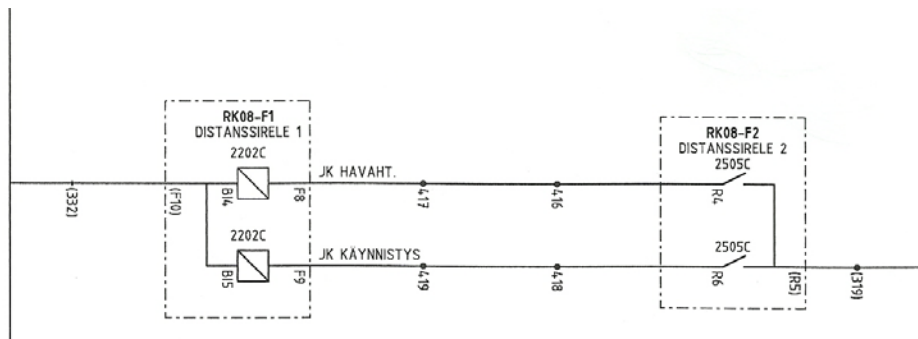
Kahdennettua suojausta käytettäessä tulee toisenkin suojan pystyä ohjaamaan jälleenkytkentä päälle, koska vain toisella suojalla on jälleenkytkentä käytössä. Ulkoiselta suojalta eli toiselta distanssireleeltä tulee määrittellä havahtumis- ja laukaisusignaalit binäärituloille. 7SA6-distanssireleen informaatio *>AR start nro. 2711* on jälleenkytkentäautomatiikan käynnistys ulkoisen suojan havahtumisesta. Laukaisu informaatio on *>Trip 3pole AR nro. 2716* (kuva 25).



Kuva 25. Ulkoisen suojalaitteen havahtumis- ja laukaisusignaalit kun jälleenkytkentä toimii laukaisusta [6, s. 279]

Binääritulot BI4 JK-havahtuminen ja BI5 JK-käynnistys tarvitaan, jotta toiselta distanssisuojalta tulevat havahtumisen ja jälleenkytkennän -käynnistys signaalit voidaan huomata myös toisella distanssisuojalla, koska jälleenkytkentä voi olla käytössä kummalla tahansa distanssisuojalla, mutta ei kummallakin yhtä aikaa. Distanssireleen jälleenkytkentä automatiikka aloittaa toiminta-ajan laskemisen havahtumis-signaalista ja suorittaa pika- tai aikajälleenkytkennän asettelujen mukaan.

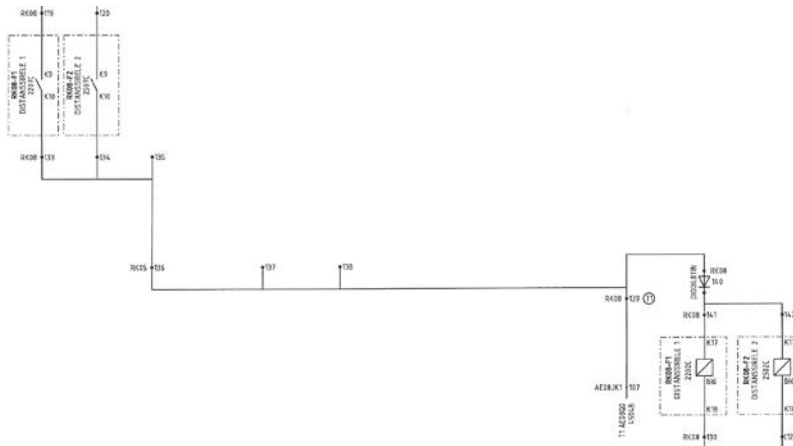
Kuvasta 26 voidaan nähdä, että binäärituloille BI4 ja BI5 tuodaan signaalit toisen distanssireleen binäärilähtöjen BO4 ja BO5 liittimiltä R4 ja R6.



Kuva 26. Distanssisuojien välinen kommunikointi jälleenkytkennässä

Kuvasta 27 nähdään, että BO4 on asetettu informaatiolle *relay pickup nro. 501*, joka on releen yleishavahtuman informaatio ja on aktiivisena minkä tahansa suojaustoiminnon havahtumisen yhteydessä, jolloin kuvassa 26 oleva distanssirele 2:n sulkeutuva kosketin menee kiinni ja distanssirele 1 saa JK-havahtuminen signaalin. BO5 on aseteltu *relay trip nro. 511* informaatiolle, joka on releen yleislaukaisu ja on aktiivisena suojan laukaistessa.





Kuva 29. Laukaisupiiri 1:n piirikaavio

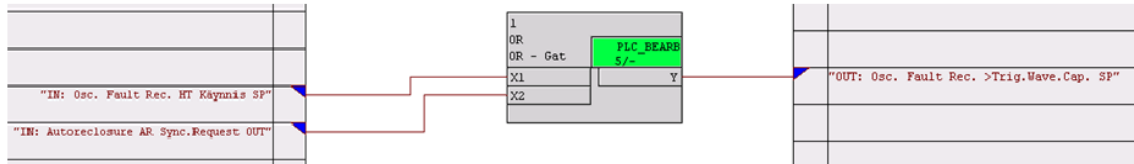
Kuvasta 30 nähdään häiriötallennintoiminnolle määritelty käynnistysinformaatio HT-käynnistys, jonka toimintaperiaatteeksi merkataan H, tulon BI6 kohdalle.

Information				Source											
Number	Display text	Long text	Type	BI											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	HT Käynnistys	HT Käynnistys	SP						H						
00379	>LB 3p Closed	>LB aux. contact 3pole Closed	SP										L		
00380	>CR 3n Onen	>CR aux. contact 3nole Onen	SP										H		

Kuva 30. Häiriötallentimen signaali HT-käynnistys (BI6) asettelu I/O-matriisissa

AR sync request on distanssireleen sisäinen informaatio ja mittauspyyntö ulkoiselle tahdissaolon valvontalaitteelle, joka aktivoituu jännitteettömän ajan kuluttua umpeen kolmivaiheisen laukaisun jälkeen, jos tahdissaolon valvonta halutaan suorittaa kyseiselle jaksolle. Tämän informaation avulla saadaan jälleenkytkennät tallennettua häiriötallennukseen.

Informaatioista HT-käynnistys ja *AR sync request* tulee näin ollen tehdä looginen OR-piiri, jonka ulostulossa on häiriötallentimen käynnistysinformaatio *>trig.wave.cap*, joka käynnistää häiriötallennuksen. Kuvassa 31 esitetään häiriötallennustoiminnon käynnistykseen tehty CFC-logiikkakaavio.



Kuva 31. Häiriötallennuksen CFC-logiikkakaavio

## 5.5 Laukaisun nopeutus

Laukaisun nopeutus eli vikaa vasten kytkentä (SOTF) tulee toimia kytkettäessä katkaisija kiinni. Yliulottuvan vyöhykkeen käyttöönotolla kiinnikytentätilanteessa saadaan johdolla, vasta-aseamalla tai oman aseman kiskostossa olevat viat laukaistua nopeasti.

Distanssireleen informaatio *>enable Z1Binst nro. 3613* vapauttaa yliulottuvan vyöhykkeen Z1B toimimaan ilman vasteaikaa. Näin saadaan pysyvät viat laukaistua nopeasti myös jälleenkytkennän jälkeen.

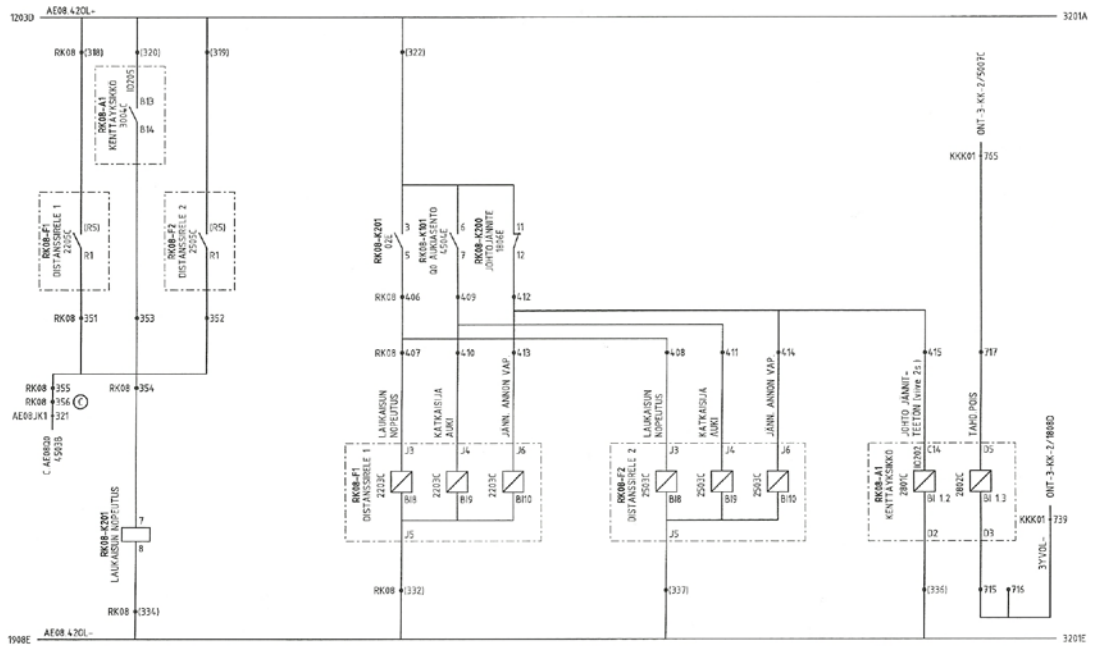
Jälleenkytkennän ja tahdissaolon valvonnalle täytyy asettaa informaatio *>Manual close nro. 356* toimimaan katkaisijan kiinnikytentän signaalista. 7SA6 distanssirele, jossa on integroitu jälleenkytkentä ja tahdissaolon valvonta -toiminto, päättelee itsenäisesti, onko kytkentä tapahtunut käsin vai laitteen ohjaamana. Informaatioiden *>enable Z1Binst* ja *>Manual close* asettelut I/O-matriisissa esitetään kuvassa 32.

Information				Source												
Number	Display text	Long text	Type	BI												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00356	>Manual Close	>Manual close signal	SP									H				
00357	>Blk Man. Close	>Block manual close cmd. from external	SP													
03611	>ENABLE Z1B	>ENABLE Z1B (with setted Time Delay)	SP													
03613	>ENABLE Z1Binst	>ENABLE Z1B instantaneous (w/o T-Delay)	SP									H				
03617	>BLOCK Z4-Trip	>BLOCK Z4-Trip	SP													

Kuva 32. Laukaisun nopeutuksen (BI8) asettelu I/O-matriisissa

Distanssireleen ohjatessa katkaisija-kiinni binäärilähdön BO1 avulla menee signaali myös laukaisun nopeutuksen apureleelle K-201, jonka sulkeutuvilta koskettimilta saadaan tieto distanssisuojan binäärituloon BI8. Myös kenttäyksikön ohjatessa katkaisija kiinni laukaisun nopeutuksen apurele toimii (kuva 33).





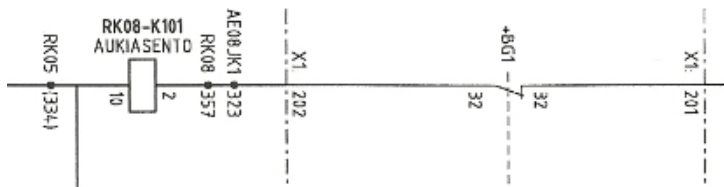
Kuva 33. Katkaisijan kiinni-ohjauksen ja tahdistuksen piirikaavio

## 5.6 Katkaisija auki

Katkaisija-auki-toimintoa tarvitaan jälleenkytkentäautomaatiikan toimintaan sekä kentän erottimien lukituslogiikkaan. Lukituksien avulla estetään erottimien tai katkaisijoiden ohjaamista virheellisesti.

Jälleenkytkentäautomaatiikka tarvitsee tiedon siitä, onko katkaisija auki-asennossa sillä laite valvoo jatkuvasti katkaisijan tilaa ja niin kauan aikaa, kun apukoskettimet ilmaisevat, että katkaisija ei ole kolmivaiheisesti kiinni, ei jälleenkytkentä voi käynnistyä. Tämä takaa, että kiinniohjauskäsky voidaan aktivoida ainoastaan, jos katkaisija on ensin laukaistu kiinni-asennostaan. Jälleenkytkentä jaksoa vastaava jännitteetön aika käynnistyy, kun laukaisuohjaus poistuu tai apukoskettimet ilmaisevat katkaisijan navan tai napojen olevan auki.

Katkaisija-auki binääritulo BI9 saa signaalin apureleen K-101 sulkeutuvilta koskettimilta (kuva 33). Apurele K-101 toimii kun katkaisija on auki-asennossa, koska katkaisijan-ohjaimen apukärki +BG1 sulkeutuu katkaisijan auetessa (kuva 34).



Kuva 34. Katkaisijan -ohjaimen K-101 releen ohjaus

Katkaisija-auki-informaatio distanssireleessä on *>CB 3p open nro. 380* ja sille tulee asetella I/O-matriisiin toimintaperiaate H. Informaatiolle *>CB 3p closed nro.379* täytyy myös asettaa sama binääritulo, mutta toimintaperiaatteella L (kuva 35). Tällöin distanssirele tietää, milloin katkaisija on 3-vaiheisesti auki ja milloin kiinni. Lepovirtaperiaatteessa (L) binääritulo aktivoituu, kun jännite poistuu binääritulosta.

Number	Display text	Long text	Type	BI										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	HT Käynnistys	HT Käynnistys	SP							H				
00379	>CB 3p Closed	>CB aux. contact 3pole Closed	SP											L
00380	>CB 3p Open	>CB aux. contact 3pole Open	SP											H
00356	>Manual Close	>Manual close signal	SP										H	

Kuva 35. Distanssireleen katkaisijan tilatietojen asetellut I/O-matriisissa

Informaatiot katkaisijan toiminnalle ovat *>CB1 3pole open nro.411* ja *>CB1 3pole closed nro.410*, kun käytössä on kolmivaiheisesti toimiva katkaisija. Katkaisijan tilatieto tuodaan yhteen binäärituloon, joten auki ja kiinni -asento saadaan asettelemalla toimintaperiaatteeksi auki asennolle on H ja kiinni asennolle L (kuva 36).

Number	Display text	Long text	Type	BI										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
00410	>CB1 3p Closed	>CB1 aux. 3p Closed (for AR, CB-Test)	SP											L
00411	>CB1 3p Open	>CB1 aux. 3p Open (for AR, CB-Test)	SP											H

Kuva 36. Jälleenkytkentä-toiminnon katkaisijan tilatietojen asetellu I/O-matriisissa

## 5.7 Jännitteenannon vapautus

Lähdön johtojännitteen mittausta, jota käytetään tahdissaolon valvonnan jännitteen ( $U_{sy2}$ ) mittaukseen, saadaan virtamuuntajien kapasitiivisesta ulosotosta. Jos johdolla ei ole jännitettä voidaan kiinni-kytkentä eli jännitteen anto suorittaa.

Jännitteenannon vapautus vapauttaa kiinnikytkenän toimimaan ilman tahdistusta. Tämä tehdään informaatiolla  $>U_{sy1}>U_{sy2}<$  nro.2908, joka on määritelty matriisissa binäärituloon BI10, toimintaperiaatteella H (kuva 37).

Information				Source												
Number	Display text	Long text	Type	BI												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
02907	>Sync synch	>Sync-Prog. Live bus / live line / Sync	SP													
02908	>U <sub>sy1</sub> >U <sub>sy2</sub> <	>Sync-Prog. U <sub>sy1</sub> >U <sub>sy2</sub> <	SP											H		
02909	>U <sub>sy1</sub> <U <sub>sy2</sub> >	>Sync-Prog. U <sub>sy1</sub> <U <sub>sy2</sub> >	SP													

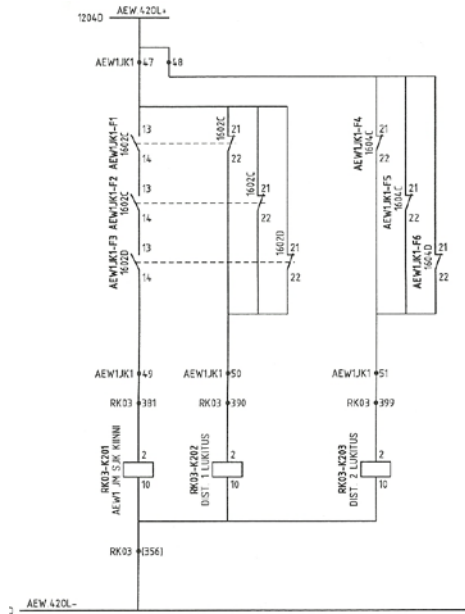
Kuva 37. I/O-matriisi jälleenkytkentöjen ja tahdissaolon valvonnan asetteluista

Johdon jännitteen mittauspiirissä on kontaktori K-200, joka on vetäenä, jos johdolla on jännite (kuva 20). Kuvasta 33 voitiin nähdä, että kontaktorin K-200 avautuvalta koskettimelta signaali menee distanssireleen binäärituloon BI10, kun kontaktori K-200 on jännitteetön ja aktivoi näin jännitteen annon vapautuksen (BI10).

## 5.8 Jännitemuuntajan johdonsuoja-automaatti lauennut

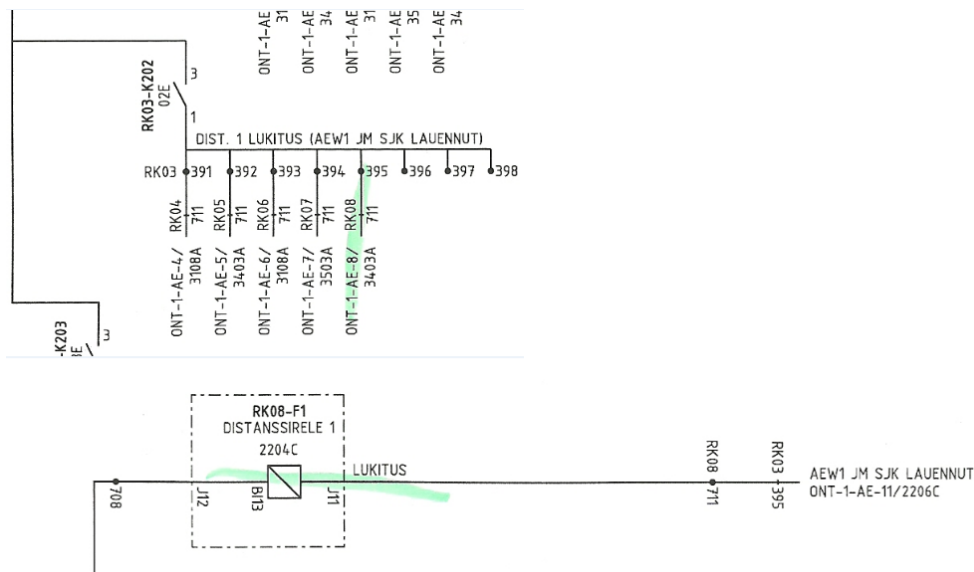
Distanssisuojille on omat jännitteenmittauspiirit, jotka on suojattu johdonsuoja-automaatein. Jännitteenmittauspiiristä distanssirele mittaa jännitettä, jota se käyttää impedanssin laskemiseen yhdessä virran kanssa. Jos mittausjännite katoaa, se johtaa ilman mittauspiirin valvontaa virhelaukaisuun.

Johdonsuoja-automaateilla on avautuvat apukoskettimet, joiden avulla ohjataan kontaktoria K-202 tai K-203 riippuen kumman distanssireleen suojaus on toiminut (kuva 38).



Kuva 38. Johdonsuoja- automaatin apukoskettimet

Kontaktorin sulkeutuvalta koskettimelta menee signaali distanssisuojan binäärituloon BI13 (kuva 39).



Kuva 39. Kontaktorin apukoskettimilta tuleva signaali distanssisuojalle

Kuvasta 40 nähdään I/O-matriisin asettelu signaalille lukitus (JM SJK lauennut), ja se määritellään informaatioksi *Feeder VT nro. 361* ja binäärituloksi asetellaan BI13 ja toimintaperiaatteksi H.

Information				Source												
Number	Display text	Long text	Type	BI												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00357	>Blk Man. Close	>Block manual close cmd. from external	SP													
00361	>FAIL:Feeder VT	>Failure: Feeder VT (MCB tripped)	SP													H
00362	>FAIL:U4 VT	>Failure: U4 VT (MCB tripped)	SP													

Kuva 40. Jännitemuuntajan suoja-automaatti lauennut -lukituksen asettelu I/O-matriisissa

## 5.9 JK-käynnissä

Jälleenkytkennän käynnissäolosta on lähetettävä tieto kenttäyksikölle, jotta katkaisijan käsinkiinni -ohjausta ei voi suorittaa jälleenkytkennän käynnissäolon aikana.

Distanssirele aktivoi jälleenkytkennän alkaessa sisäisen informaation *AR in progress nro. 2801*, jonka avulla saadaan annettua kenttäyksikölle signaali asettelemalla se binäärilähdölle BO3 I/O-matriisissa (kuva 41).

Information				Source																									
Number	Display text	Long text	Type	BI													F	S	C	BO									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
02801	AR in progress	AR: Auto-reclose in progress	OUT																		U								
02809	ΔR T-Stat Evn	ΔR: Stat-signal monitoring time expired	OUT																										

Kuva 41. JK-käynnissä signaalin asettelu I/O-matriisiin

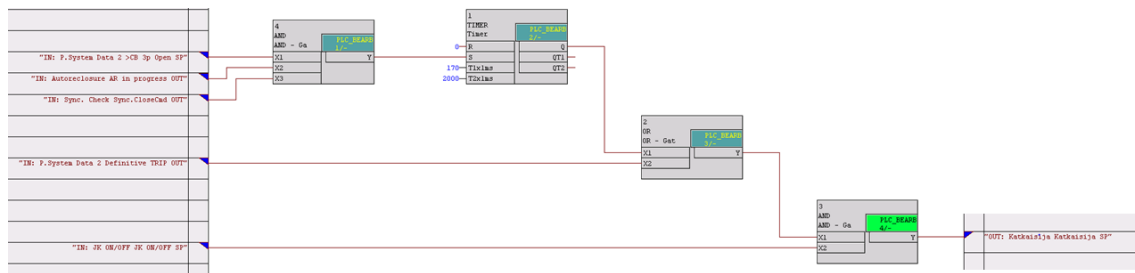
Kuvasta 24 voitiin nähdä, että kun JK-käynnissä (BO3) signaali aktivoituu niin kenttäyksikkö estää katkaisijan käsinkiinni -ohjauksen omalla sisäisellä logiikallaan.

## 5.10 Katkaisija lauennut

Katkaisija lauennut -merkinanto annetaan lopullisesta laukaisusta. Lopullinen laukaisu tulee epäonnistuneen jälleenkytkennän jälkeen, käsin kiinni kytkettäessä vikaa vasten tai katkaisija ei toimi. Tämä on toteutettu logiikkatoiminnolla, koska ohjaavia toimintoja on useita, jonka mukaan merkinanto on annettava.

Jälleenkytkennän toiminnassaolon aikana katkaisija on auki (*>CP 3p open*), jälleenkytkentä on käynnissä (*AR in progress*) ja tahdissaolon valvonnan tulee antaa kiinnityskemisen vapautussignaali (*Sync.closeCmd*) tai distanssirele antaa lopullinen laukaisu informaation (*Definitive TRIP*). Näiden ehtojen lisäksi merkinannon saa antaa vain

toinen distanssirele eli se jolle jälleenkytkentä on asetettu päälle, ja se saadaan nokka-  
kytkimen asennosta (JK-on/off) (kuva 42).

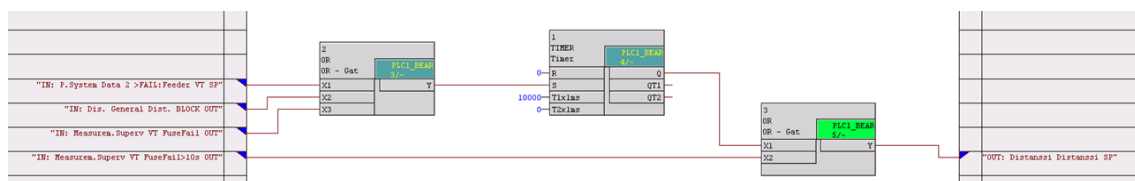


Kuva 42. Katkaisijan laukaisun merkinannon logiikkakaavio

### 5.11 Distanssireleen jännitemittausvika

Distanssireleen jännitemittausvian informaation Z-jännitevika avulla saadaan kenttäyk-  
sikölle tieto jännitteenmittausviasta. Tämä merkinanto annetaan, jos distanssisuojatoi-  
minto lukittuu tai jokin jännitteenmittauspiirin valvonnan toiminnoista havaitsee vikaa  
mitattavassa jännitteessä.

Kuvasta 43 nähdään jännitemittausvian hälytykselle tehty CFC-logiikkakaavio, jonka  
tulosten toiminnoista on kerrottu kappaleessa 4.7. Logiikkakaaviossa nämä tulot on viety  
loogiseen OR-piiriin kautta ajastimelle, joka 10 s kuluttua signaalista aktivoi hälytyksen.  
Poikkeuksena VT fusefail<10s, jolla on jo 10 s aika sisäisessä logiikassaan. Asettele-  
malla aika saadaan vältettyä ns. turhia hälytyksiä, jotka voivat poistua ennen 10 s ai-  
kaa, jolloin hälytys ei aktivoidu.

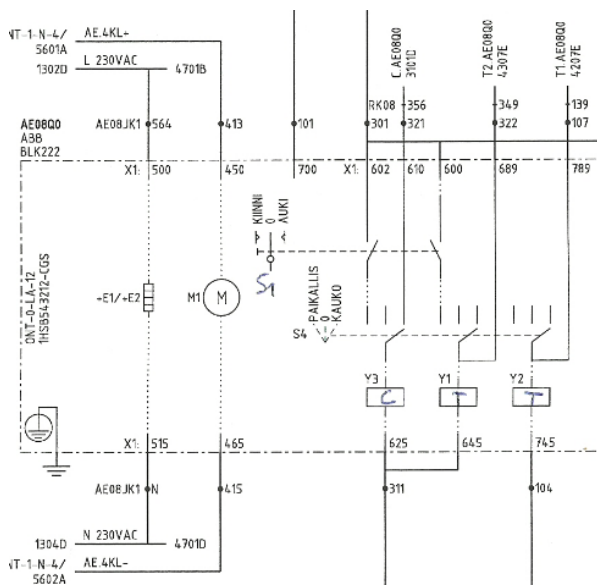


Kuva 43. Jännitemittausvian logiikkakaavio

## 5.12 Laukaisutoiminto

Kaikki laukaisuun johtavat suojaustoiminnot on distanssireleessä kytketty yhteen TAI-piirillä. Yleisimmin laukaisu tyyppinä käytetään kolmivaiheista laukaisua. Kolmivaiheinen laukaisu aktivoi informaation *relay trip*, joka voidaan liittää halutulle lähdölle ja ledeille. Distanssireleellä on mallista riippuen ns. nopeita lähtöjä, joita on tarkoitettu käytettäväksi laukaisu toimintaan. Projektissa käytetyssä distanssireleessä nopeita lähtöjä on 7 kpl, joita ovat binäärilähdöt 10 - 16.

Projektissa laukaisupiiri on toteutettu kahdelta eri tasasähkön syöttöpiiriltä, joten myös distanssireleeltä lähtee laukaisukäsky kahdelta eri binäärilähdöltä, jotka ohjaavat katkaisijan ohjaimessa olevia laukaisukeloja. Kuvasta 44 nähdään, että distanssireleet voivat laukaista katkaisijan myös siinä tapauksessa, jos katkaisijan ohjain on käännetty paikallisohjaukselle, laukaisukelat ovat Y1 ja Y2.



Kuva 44. Katkaisijan -ohjaimen laukaisun piirikaavio.

## 6 Yhteenveto

Infratek Finland Oy:ltä saamani aihe oli mielenkiintoinen ja opiskelemaani alaan suoraan liittyvä. Opin työn suorituksen aikana paljon sähköverkon suojauksesta ja sen monipuolisuudesta. Työn aikana syvennyin sähköverkon suojauksen yleisiin ratkaisuihin ja Fingridin kantaverkon spesifikaatioihin työssä käydyn projektin osalta.

Distanssirele 7SA6:n osalta käsittelin yleisimmin käytössä olevia, ja projektin binääritulojen ja -lähtöjen selvityksen osalta olennaisia toimintoja. Distanssireleessä on paljon toiminnallisuuksia riippuen tilatusta tyyppistä ja käyttökohteesta. Selvitin distanssireleen toiminnot ja binääritulot ja -lähdöt riittävän tarkasti suojaustoiminnallisuuden ymmärtämisen kannalta.

Uskon tehneeni tästä hyvän ja selventävän dokumentin, jonka avulla oppii ymmärtämään enemmän distanssisuojauksesta ja siinä tarvittavista toiminnoista. Uskon myös tämän auttavan ymmärtämään distanssirele 7SA6:n sisäistä yhteen sekä sen konfigurointia.

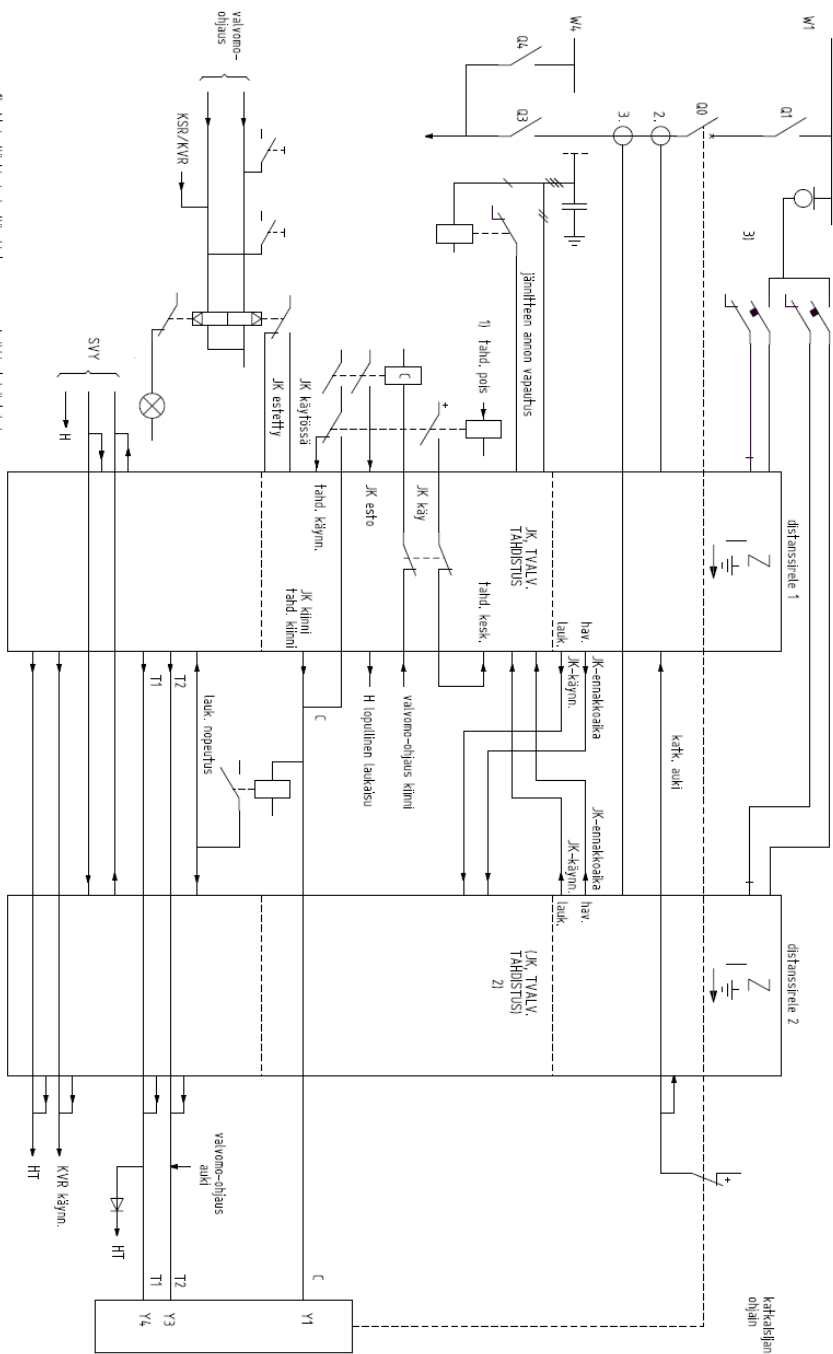
Työ on auttanut tekijäänsä ymmärtämään distanssireleen konfigurointia ja toimintaa sekä 110 kV johdon suojauksessa tarvittavien toiminnallisuuden merkityksen sähköverkon suojauksessa.



## Lähteet

- 1 Mörsky, Jorma, 1993, Relesuojaustekniikka, Helsinki: Otatieto Oy.
- 2 Elovaara, Jarmo, Haarla, Liisa, 2011, Sähköverkot 2, Helsinki: Otatieto Oy.
- 3 Tiesmäki, Ville, 2006, Kantaverkon ABC Relesuojaus, Fingrid Oyj:n lehti, 2/2006 s. 26-27.
- 4 Fingrid Oy, Sähköasemien koulutus, S22400 relesuojaus, Fingrid Oy, 2013.
- 5 Siemens AG, Application for siprotec protection relays, Siemens AG, 2005.
- 6 Siemens AG, Distance protection 7SA6 manual V4.70, Siemens AG, 2011.
- 7 Siemens AG, Siprotec 4 Digi 4 system manual B6, Siemens AG, 2013.
- 8 Siemens SIP, 7SA6 Catalog SIP E7, Siemens SIP, 2013.

# 110 kV johdon suojausten toiminta-kaavio



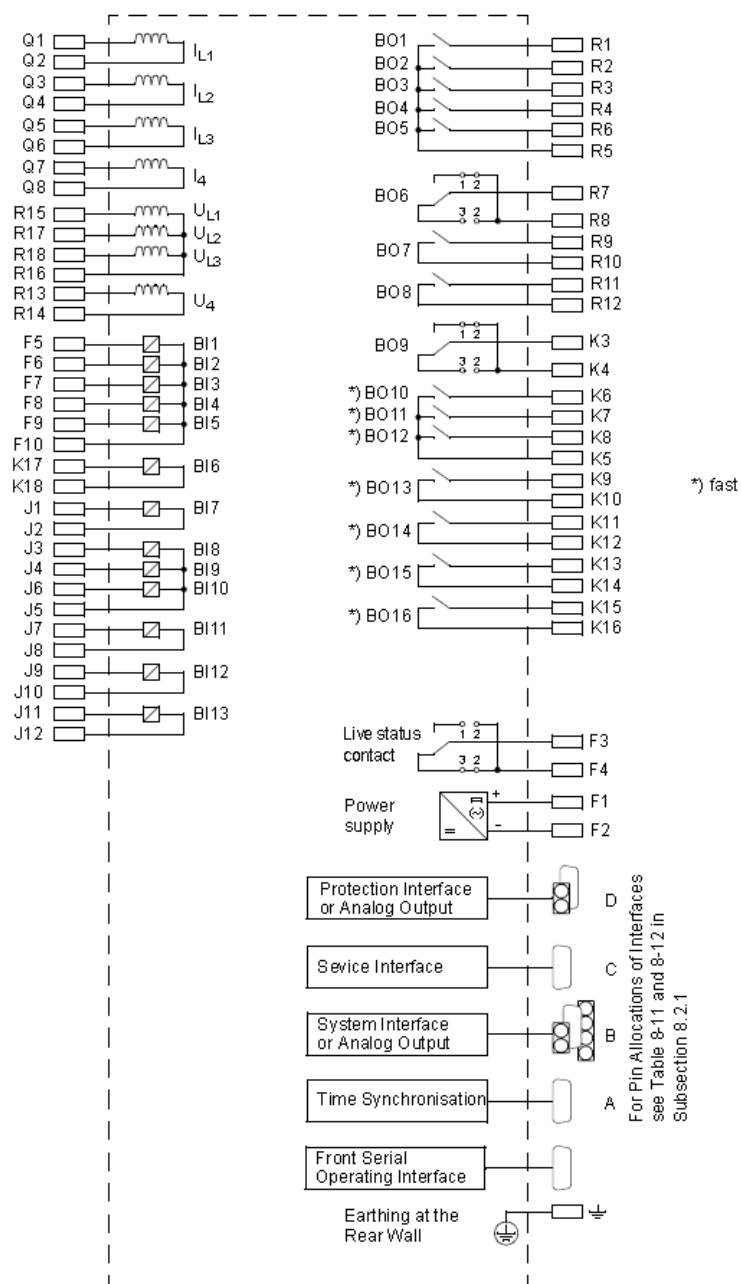
- 1) yhteisellä kynnereillä ohjataan aseman kaikkia tällistuksia
- 2) otetaan käyttöön, jos distanssirele 1 ei ole käytössä, valitus on rakennettu väyläosalla tällistus toiminnan keskeytyksessä
- 3) jännitteessä kaksi suojakytkintä, yksi 110 kV distanssireleille 1 ja yksi distanssireleille 2

110 kV JOHDON SUOJAUS  
TOIMINTAKAAVIO

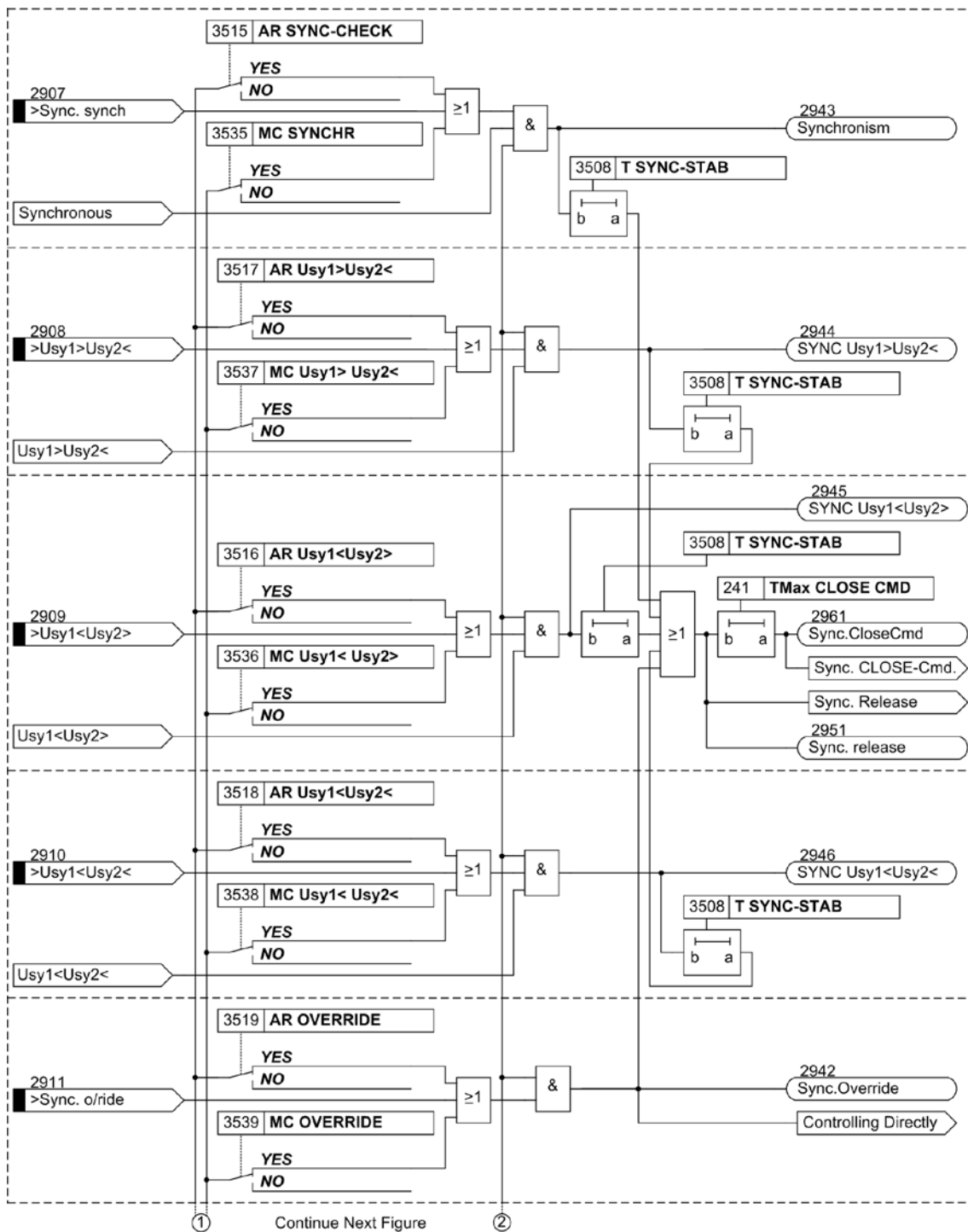
Liite/Appendix S224-101.3  
23.04.2013

## 7SA6 -distanssireleen kytkentäkaavio

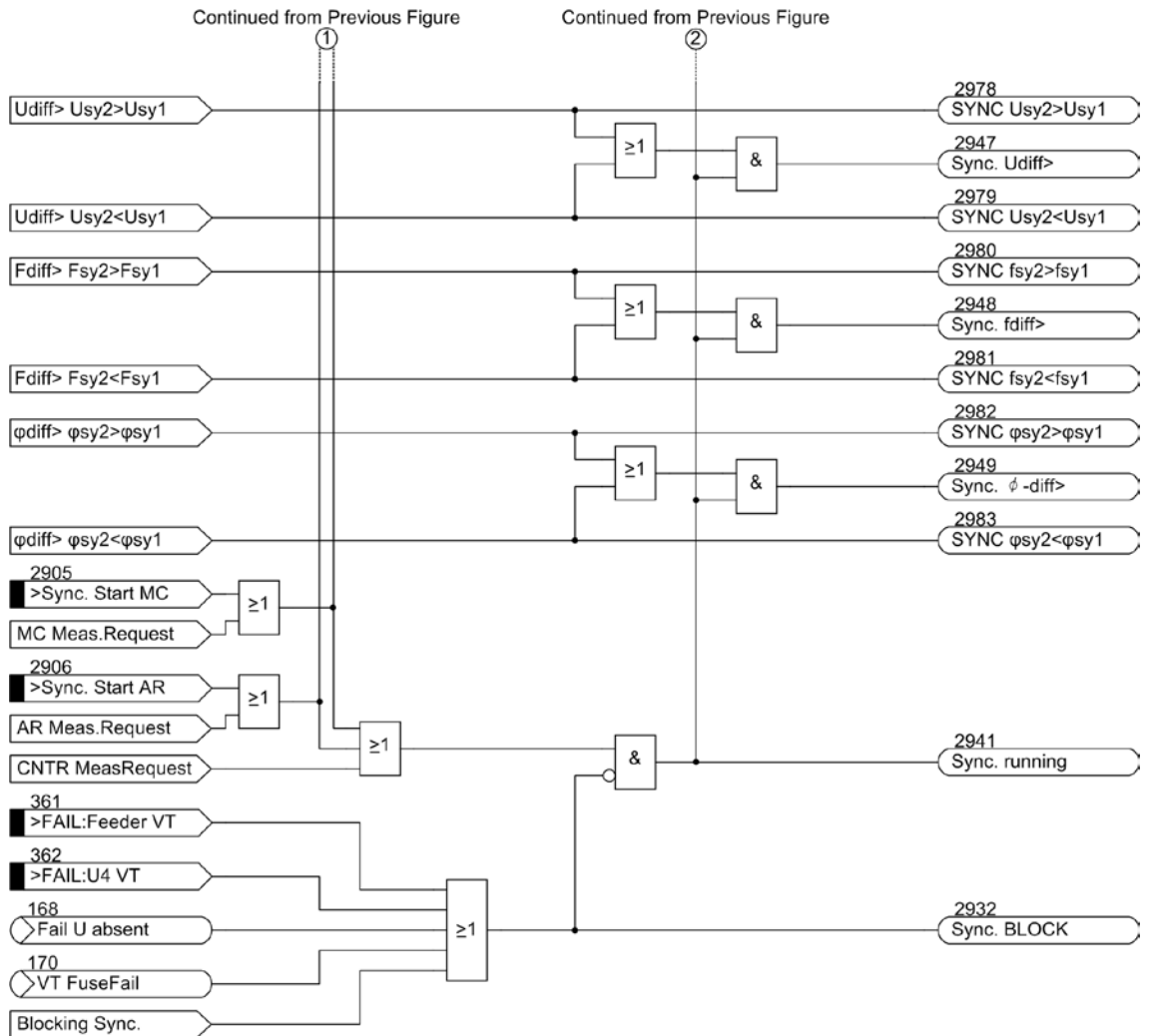
7SA6\*1\*~\*AJ



### Tahdissaolon valvonnan logiikkakaavio



### Tahdissaolon valvonnan logiikkakaavio



## Distanssireleen tilausnumeron merkitykset

Description		Order No.						
7SA61 distance protection relay for all voltage levels		7SA61	□-□-□-□-□-□-□-□					
Housing, number of LEDs								
Housing width $\frac{1}{2}$ 19", 7 LEDs		0						
Housing width $\frac{1}{2}$ 19", 14 LEDs		1						
Housing width $\frac{1}{2}$ 19", 14 LEDs		2						
Housing width $\frac{1}{2}$ 19", 14 LEDs		3						
Measuring inputs (4 x $\frac{1}{4}$ x I)								
$I_{ph} = 1 A^{1)}$ , $I_q = 1 A^{1)}$ (min. = 0,05 A)		1						
$I_{ph} = 1 A^{1)}$ , $I_q = sensitive$ (min. = 0,003 A)		2						
$I_{ph} = 5 A^{1)}$ , $I_q = 5 A$ (min. = 0,25 A)		5						
$I_{ph} = 5 A^{1)}$ , $I_q = sensitive$ (min. = 0,003 A)		6						
Rated auxiliary voltage (power supply, binary inputs)								
DC 24 to 48 V, binary input threshold 17 V <sup>3)</sup>		2						
DC 60 to 125 V <sup>2)</sup> , binary input threshold 17 V <sup>3)</sup>		4						
DC 110 to 250 V <sup>2)</sup> , AC 115 to 230 V, binary input threshold 73 V <sup>3)</sup>		5						
Binary/ indication inputs	Indication/ command outputs incl. live status contact	Fast relay <sup>4)</sup>	High- speed trip output	Power relay <sup>5)</sup>	Flush- mounting housing/ screw-type terminals	Flush- mounting housing/ plug-in terminals	Surface- mounting housing/ screw-type terminals	
For 7SA 610								
5	4	5			■			A
5	4	5					■	E
5	4	5				■		J
7	6				■			B
7	6						■	F
7	6					■		K
For 7SA 611								
13	5	12			■			A
13	5	12					■	E
13	5	12				■		J
13	4	8	5		■			M
13	4	8	5				■	N
13	4	8	5			■		P
20	9			4	■			B
20	9			4			■	F
20	9			4		■		K
For 7SA 612								
21	13	12			■			A
21	13	12					■	E
21	13	12				■		J
21	12	8	5		■			M
21	12	8	5				■	P
21	12	8	5			■		B
29	21	12			■			B
29	21	12					■	F
29	21	12				■		K
29	20	8	5		■			N
29	20	8	5				■	Q
29	20	8	5			■		S
33	12			8	■			C
33	12			8			■	G
33	12			8		■		L
For 7SA 613								
21	13	12			■			A
21	12	8	5		■			M

see pages 6/32  
to 6/35

## Distanssireleen tilausnumeron merkitykset

Description	Order No.	Order code	
7SA6 distance protection relay for all voltage levels	7SA6□□□-□□□□□□-□□□□□□□□□□		
Region-specific default settings / language settings <sup>1)</sup>		see pages 6/33 to 6/35	
Region DE, language: German		A	
Region World, language: English (GB)		B	
Region US, language: English (US)		C	
Region FR, French		D	
Region World, Spanish		E	
Region World, Italian		F	
Region World, language: Russian		G	
Region World, language: Polish		H	
Port B			
Empty		0	
System interface, IEC 60870-5-103 protocol, electrical RS232		1	
System interface, IEC 60870-5-103 protocol, electrical RS485		2	
System interface, IEC 60870-5-103 protocol, optical 820 nm, ST connector		3	
System interface, PROFIBUS-FMS Slave <sup>2)</sup> , electrical RS485		4	
System interface, PROFIBUS-FMS Slave <sup>2)</sup> , optical <sup>3)</sup> , double ring <sup>3)</sup> , ST connector		6	
2 analog outputs, each 0...20 mA		7	
System interface, PROFIBUS-DP, electrical RS485		9	L O A
System interface, PROFIBUS-DP, optical 820 nm, double ring <sup>3)</sup> , ST connector		9	L O B
System interface, DNP 3.0, electrical RS485		9	L O G
System interface, DNP 3.0, optical 820 nm, ST connector <sup>3)</sup>		9	L O H
System interface, IEC 61850, 100 Mbit/s Ethernet, electrical, duplicate, RJ45 plug connectors		9	L O F
System interface, IEC 61850, 100 Mbit/s Ethernet, optical, double, LC connector <sup>4)</sup>		9	L O S

### 1) Definitions for region-specific default settings and functions:

**Region DE:** preset to  $f = 50$  Hz and line length in km, only IEC inverse characteristic can be selected, directional earth (ground) fault protection: no logarithmic inverse characteristic, no direction decision with zero-sequence power  $S_0$ ; distance protection can be selected with quadrilateral or circle characteristic.

**Region US:** preset to  $f = 60$  Hz and line length in miles, ANSI inverse characteristic only, directional earth (ground) fault protection: no logarithmic inverse characteristic, no direction decision with zero-sequence power  $S_0$ , no  $U_0$  inverse characteristic.

**Region World:** preset to  $f = 50$  Hz and line length in km, directional earth (ground) fault protection: no direction decision with zero-sequence power  $S_0$ , no  $U_0$  inverse characteristic.

**Region FR:** preset to  $f = 50$  Hz and line length in km, directional earth (ground) fault protection: no  $U_0$  inverse characteristic, no logarithmic inverse characteristic, weak infeed logic selectable between French specification and world specification.

2) For SICAM energy automation systems.

3) Optical double ring interfaces are not available with surface mounting housings.

4) For surface mounting housing applications please order the relay with electrical Ethernet interface and use a separate fiber-optic switch.

## Distanssireleen tilausnumeron merkitykset

Description	Order No.	Order code
7SA6 distance protection relay for all voltage levels	7SA6□□□□-□□□□□□□□□□	
Port C and port D		
Port C: DIGSI/modem, electrical RS232, Port D: empty		1
Port C: DIGSI/modem, electrical RS485, Port D: empty		2
Port C and Port D installed		9
		M □ □
Port C		
DIGSI/modem, electrical RS232		1
DIGSI/modem, electrical RS485		2
Port D		
Protection data interface: optical 820 nm, two ST connectors, FO cable length up to 1.5 km For direct connection via multi-mode FO cable or communication networks <sup>1)</sup>		A
Protection data interface: optical 820 nm, two ST connectors, FO cable length up to 3.5 km For direct connection via multi-mode FO cable		B
Two analog outputs, each 0...20 mA		K
Protection data interface: optical 1300 nm, LC-Duplex connector FO cable length up to 24 km for direct connection via mono-mode FO cable <sup>2)</sup>		G
Protection data interface: optical 1300 nm, LC-Duplex connector FO cable length up to 60 km for direct connection via mono-mode FO cable <sup>2)</sup>		H
Protection data interface: optical 1550 nm, LC-Duplex connector FO cable length up to 100 km for direct connection via mono-mode FO cable <sup>2)4)</sup>		J
FO80 optical 820 nm, 2-ST-connector, length of optical fibre up to 1.5 km for multimode fibre, for communication networks with IEEE87.94 interface or direct optical fibre connection (not available for surface-mounted housing)		S

1) For suitable communication converters 7XV5662 (optical to G70B.11X21/RS422 or optical to pilot wire) see "Accessories".

2) For surface-mounting housing applications an internal fiber-optic module 820 nm will be delivered in combination with an external repeater.

3) For distances less than 25 km, two optical attenuators 7XV5107-0A400 are required to avoid optical saturation of the receiver element.

4) For distances less than 50 km, two optical attenuators 7XV5107-0A400 are required to avoid optical saturation of the receiver element.



## Distanssireleen tilausnumeron merkitykset

Description				Order No.
75A6 distance protection relay for all voltage levels				75A6 □□□-□□□□□-□□□□
<b>Functions 1</b>				
Trip mode	Thermal overload protection (ANSI 49)	BCD-coded output for fault location		
3-pole				0
3-pole		■		1
3-pole	■			2
3-pole	■	■		3
1 1/3-pole				4
1 1/3-pole		■		5
1 1/3-pole	■			6
1 1/3-pole	■	■		7
<b>Functions 2</b>				
Distance protection pickup (ANSI 21, 21N)		Power swing detection (ANSI 68, 68T)	Parallel line compensation	
$I >$				A
$V < 1.5$				B
Quadrilateral ( $Z <$ )				C
Quadrilateral ( $Z <$ ), $V < 1.5$ / $\varphi$				D
Quadrilateral ( $Z <$ )		■		F
Quadrilateral ( $Z <$ ), $V < 1.5$ / $\varphi$		■		G
$V < 1.5$			■ 0	J
Quadrilateral ( $Z <$ )			■ 0	K
Quadrilateral ( $Z <$ ), $V < 1.5$ / $\varphi$			■ 0	L
Quadrilateral ( $Z <$ )		■	■ 0	N
Quadrilateral ( $Z <$ ), $V < 1.5$ / $\varphi$		■	■ 0	P
<b>Functions 3</b>				
Auto-reclosure (ANSI 79)	Synchro-check (ANSI 25)	Breaker failure protection (ANSI 50BF)	Over/undervoltage protection $V >$ , $V <$ (ANSI 27, 59) Over/underfrequency protection (ANSI 81)	
				A
			■	B
		■		C
		■		D
	■			E
	■			F
	■	■		G
	■	■		H
■			■	J
■			■	K
■		■		L
■		■		M
■	■			N
■	■		■	P
■	■	■		Q
■	■	■	■	R
<b>Functions 4</b>				
Directional ground-fault protection, grounded networks (ANSI 50N, 51N, 67N)	Ground-fault detection compensated/ isolated networks	Measured values extended Min, max, mean		
				0
		■		1
	■ 2)			2
	■ 2)	■		3
■				4
■		■		5
■	■ 2)			6
■	■ 2)	■		7

1) Only with position 7 of Order No. = 1 or 5.

2) Only with position 7 of Order No. = 2 or 6.