

7.5. Relesuojauksen toteuttamisperiaatteet

Suojaustavan valinnalla voidaan vaikuttaa suojauksen toimintanopeuteen, jolla on merkittävä vaikutus oikosulun aiheuttamiin haittoihin. Mitä nopeammin suojaus toimii sitä pienemmiksi jäävät aiheutuvat vaaratekijät ja vahingot sekä verkon termiset rasitukset. Lisäksi oikosulusta aiheutuvan vian aikaisen jännitekuopan kesto jää sitä lyhyemmäksi mitä nopeammin suojaus toimii. Tällöin alijännitteen aiheuttama haitta muille verkon osille on mahdollisimman pieni. Suojauksen nopea toiminta pienentää myös vian jälkeisen tilanteen kuormitussysäyksiä, jotka yhdessä jännitekuopan kanssa lisäävät häiriön leviämiskärsiä verkon terveisiin osiin. Siirtoverkossa suojauksen toimintanopeuden parantaminen mahdollistaa johtojen kuormitusasteiden nostamisen ilman, että stabiilisuuden menettämisen riski kasvaa. Suojauksen toimintanopeuteen on siis kiinnitettävä huomiota.

Selektiivinen oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla:

- Aikaselektiivinen suojaus
- Aika- ja virtaselektiivinen suojaus
- Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus
- Virta- tai impedanssiselektiivinen suojaus
- Lukitussuojaus
- Differentiaalisuojaus
- Distanssi- ja vertosuojaus

7.5.1. Aikaselektiivinen suojaus

Yksinkertaisin tapa toteuttaa selektiivinen suojaus on käyttää *aikaselektiivisyyttä*. Periaatteena on porrastaa suojauksen toiminta-aikoja siten, että aina lähimpänä vikakohtaa oleva rele ehtii toimia ensin. Aikaselektiivinen suojaus toteutetaan ylivirtareleillä, jotka toimivat joko *vakioaikaisina*, jolloin toimintanopeus ei ole riippuvainen mitatun virran suuruudesta, tai *käänteisaikaisina*, jolloin toiminta on sitä nopeampaa mitä suurempi mitattu virta on. Aikaselektiivinen suojaus soveltuu parhaiten säteittäisverkkoihin.

Käänteisaikasuojaukseen soveltuu erityisen hyvin säteittäisverkkoihin, joissa kytkentätilanteiden muutosten aiheuttamat oikosulkuvirtatasojen vaihtelut ovat pienehköjä tai erot oikosulkuvirtatasoissa johtojen päiden välillä ovat suurehkoja. Tällöin käänteisaikasuojauksen käytöllä voidaan yleensä nopeuttaa suojauksen toimintaa suurilla vikavirroilla verrattuna vastaavan vakioaikasuojauksen käyttöön. Selektiivisen suojauksen toteuttaminen varokkeiden kanssa on myös helppoa käyttämällä käänteisaikaista suojausta. Mainittujen tekijöiden lisäksi ottaen huomioon esim. verkon komponenttien oikosulkukestoisuudet voi verkon suojaus käänteisaikaisilla suojilla olla perusteltua.

Standardit IEC 60255 -3, IEC 60255 -4 ja BS 142 määrittelevät neljä käänteisaikatoiminta-käyrästä:

- Normal inverse
- Long time inverse
- Very inverse
- Extremely inverse

Käänteisaikakäyrien mukainen laukaisuaika voidaan laskea lausekkeesta:

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I>} \right)^\alpha - 1} \quad [\text{s}] \quad (1)$$

- k** = aseteltava aikakerroin
- I** = vaihevirran arvo
- I >** = virta-asettelu
- α, β** = toimintakäyräkohtaiset vakiot

Standardien mukaan normal, very tai extremely inverse-toimintakäyriä käytettäessä suo-
jauksen tulee havahtua viimeistään, kun mitattu virta ylittää 1,3-kertaisesti virta-asettelun.
Mikäli käytetään long time inverse-toimintakäyrää, havahtumisen tulee tapahtua 1,1-kertai-
sella virta-asettelulla.

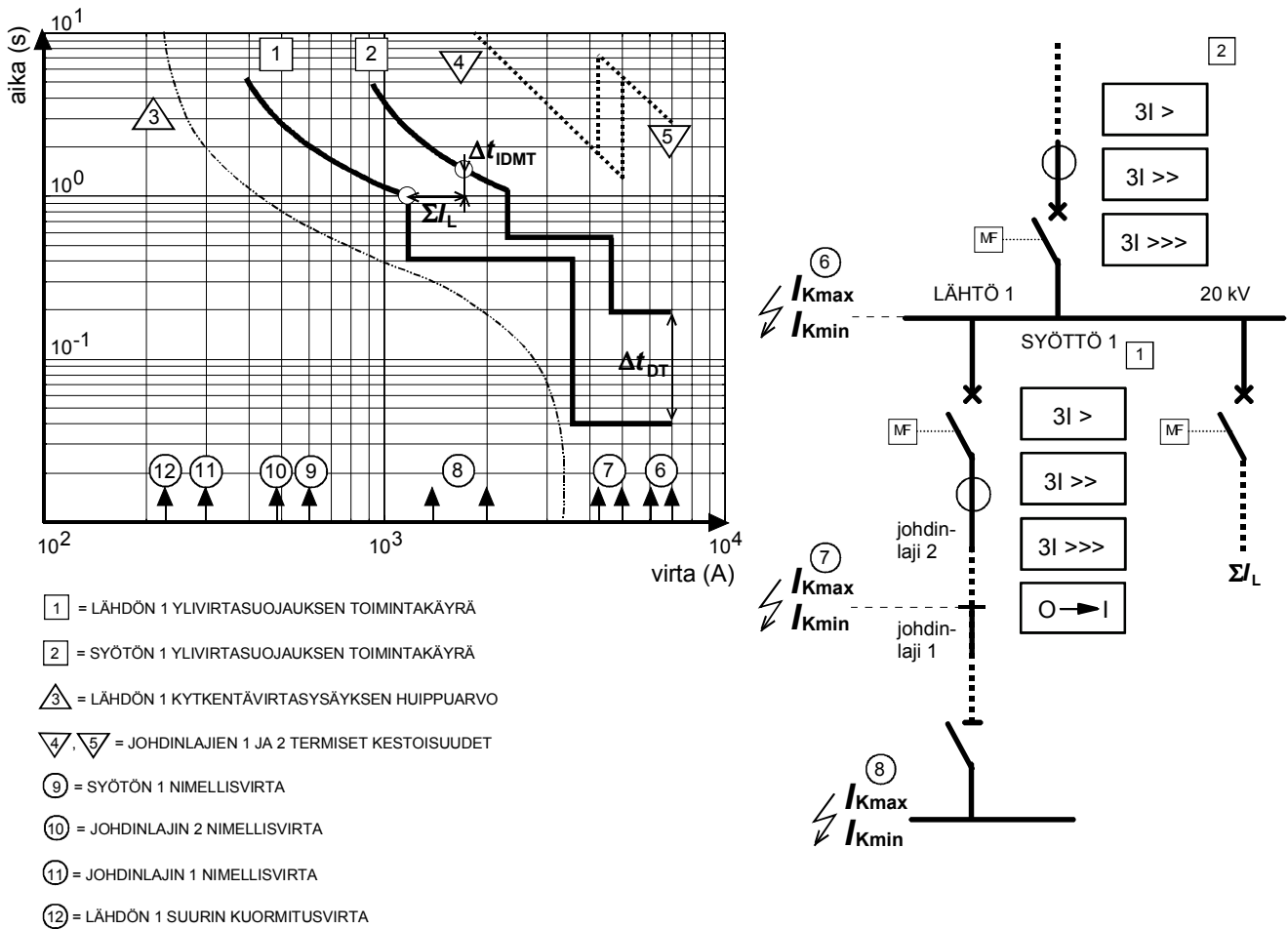
Kertoimet α ja β määrittelevät käänteisaikakäyrän jyrkkyyden seuraavasti:

	α	β
Normal inverse	0,02	0,14
Very inverse	1,0	13,5
Extremely inverse	2,0	80,0
Long time inverse	1,0	120,0

Kuvassa 7.5a on esitetty esimerkki säteittäisverkon aikaselektiivisestä suojauksesta. Esi-
merkkiverkossa on käytetty *kolmiportaista suojausta*, jonka *alin porras* ($3I>$) voi toimia joko
käänteisaikaisena tai vakioaikaisena. *Ylemmät portaat* ($3I>>$ ja $3I>>>$) toimivat vakioaikai-
sina ja niiden tarkoitus on nopeuttaa suojauksen toimintaa vioissa, joissa vikavirta on suuri.
Usein on välttämätöntä käyttää moniportaista suojausta, jotta suojauksen herkkyy- ja toi-
mintanopeusvaatimukset voidaan täyttää riittävän hyvin sekä saavuttaa hyvä ja luotettava
selektiivisyys, kuva 7.5a.

Aikaselektiivisen suojauksen toiminnan suunnittelu ja tarkastelu on helppoa *selektiivi-
syyskäyrästä* avulla. Selektiivisyyskäyrästä on virta-aika ominaiskäyrästä, jossa on esitet-
ty kaikkien *suojausketjuun* kuuluvien suojien *toimintakäyrät*. Kuvan 7.5a esimerkissä tarkas-
teltavaan suojausketjuun kuuluu kaksi relettä. Selektiivisyyskäyrästä esitetään myös suo-
jauksen toimintaan ja suunnitteluun vaikuttavat tekijät kuten esimerkiksi suojien sijaintipaik-
kojen suurimmat ja pienimmät vikavirtatasot, suurimmat kuormitusvirrat, verkon kompo-
nenttien nimellisvirrat ja oikosulkukestoisuudet sekä mahdollisten kytkentävirtasysäysten tai
käynnistysvirtojen raja-arvot.

Kuvan 7.5a selektiivisyyskäyrästä nähdään, että esimerkiksi vian tapahtuessa releen 1
(lähtö 1) suojaaman johdon loppupäässä on vikavirta pisteen 8 osoittamalla tasolla. Tällöin
kyseisessä viassa havahtuu releen 1 lisäksi rele 2 (syöttö 1). Kyseinen johto kuuluu siis
releen 1 *suojausalueen* lisäksi releen 2 suojausalueeseen, jolloin varasuojaus muodostuu
luonnostaan. Releen 1 tai sen ohjaaman katkaisijan toimimattomuus johtaa releen 2 suorit-
tamaan laukaisuun.



KUVA 7.5a. Esimerkki säteittäisverkon ylivirtasuojauksesta ja sen selektiivisyyskäyrästä.

Selektiivisyyden kannalta tärkeä seikka on oikean *porrasajan* valinta. Porrasaika on peräkkäisten *suojausportaiden* toiminta-aikojen erotus. Suojauksen toiminta-aika lähellä syötöpistettä, jossa oikosulkuteho on suurin, ei saa muodostua tarpeettoman pitkäksi ja toisaalta marginaalin on oltava riittävä selektiivisyyden luotettavaan toteutumiseen. Käänteisaikasuojauksessa joudutaan yleensä käyttämään pitempiä porrasaikoja kuin vakioaikasuojauksessa, koska joudutaan mm. ottamaan huomioon myös virranmittauksen epätarkkuuden vaikutus toiminta-aikaan.

Kuvan 7.5a esimerkissä porrasaika on määritetty kullekin portaalle erikseen. Käänteisaikaisten portaiden välistä porrasaikaa on merkitty Δt_{IDMT} :llä ja vastaavasti vakioaikaportaiden välistä Δt_{DT} :llä. On huomattava, että alemmilla vikavirtatasoilla porrasajan määrittämisessä on otettava huomioon tietyssä määrin myös terveiden lähtöjen kuormitusvirrat vian aikana, ΣI_L , kuva 7.5a, jotka summautuvat esimerkin releen 2 mittaamaan vikavirtaan vian ollessa lähdössä 1.

Tarvittavia porrasaikoja numeerisille suojoille voidaan arvioida lausekkeista (2) ja (3). Kuva 7.5b esittää kaaviollisesti porrasaikojen muodostumisen sekä siihen vaikuttavat tekijät.

Porrasaika Δt_{DT} vakioaikaisille suojoille saadaan lausekkeesta (2):

$$\Delta t_{DT} = 2 \cdot t_E + t_R + t_{CB} + t_M \quad (2)$$

t_E = releen toiminta-ajan toleranssi

t_{CB} = katkaisijan toiminta-aika

t_R = retardaatio- eli pyörtöaika

t_M = varmuusmarginaali

Varmuusmarginaalilla otetaan huomioon mm. suojauksen toiminnan mahdollinen viivästyminen vikavirran DC-komponentin aiheuttaman virtamuuntajan kyllästymisen seurauksena. Näin syntyvän mahdollisen lisäviiveen pituuteen vaikuttavat vikatyyppin lisäksi vikavirran suuruuden ja virtamuuntajan toistokyvyn suhde aseteltuun virta-arvoon. Teoriassa tämä viive voi olla jopa DC-komponentin aikavakion pituinen, mikäli vikavirta ylittää vain hieman asetteluarvon ja mikäli asetteluarvo on valittu vain hieman virtamuuntajan toistokykyä pienemmäksi. Käytännössä kuitenkin molempien suojausketjussa peräkkäin olevien suojien virtamuuntajat kyllästyvät tietyllä vikavirta-alueella, joten suojien toiminta viivästyy likimain yhtä paljon. Tästä syystä varmuusmarginaaliksi riittää tyyppillisesti noin vaihtovirran jakson aika.

Mikäli kuitenkin ero suojausketjun peräkkäisten virtamuuntajien toistokyvyssä portaiden toimintavirta-alueilla on suurehko, voi olla perusteltua kasvattaa varmuusmarginaalia suhteessa DC-komponentin aikavakioon. Varmuusmarginaalia tulee myös lisätä, mikäli katkaisijan laukaisupiireissä käytetään apureleitä.

Porrassaika Δt_{IDMT} käänteisaikaisille suojuille saadaan lausekkeesta 3:

$$\Delta t_{IDMT} = t_1 \cdot \left(\frac{(1 + E_1 / 100)}{(1 - E_2 / 100)} - 1 \right) + t_R + t_{CB} + t_M \quad (3)$$

E_1 = tekijä, jolla otetaan huomioon virranmittauksen epätarkkuuden aiheuttaman toiminta-aikavirheen ja toiminta-ajan toleranssin yhteisvaikutus lähempänä vikakohtaa olevassa releessä (%) ¹⁾

E_2 = tekijä, jolla otetaan huomioon virranmittauksen epätarkkuuden aiheuttaman toiminta-aikavirheen ja toiminta-ajan toleranssin yhteisvaikutus suojausketjussa seuraavana olevassa releessä (%) ¹⁾

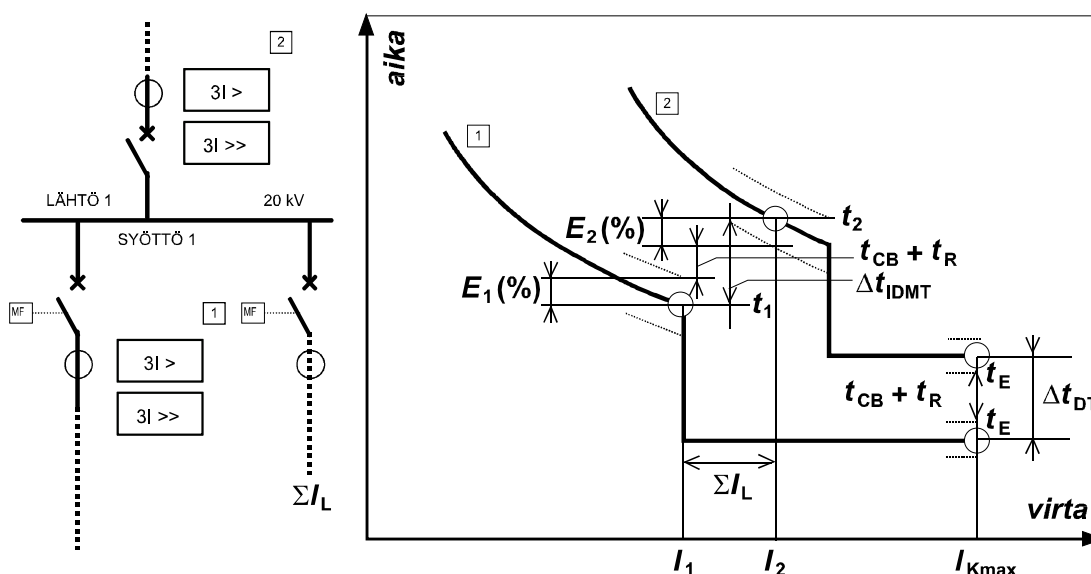
t_{CB} = katkaisijan toiminta-aika

t_R = retardaatio- eli pyörtöaika

t_M = varmuusmarginaali

t_1 = vikakohtaa lähempänä olevan releen laskennallinen toiminta-aika ¹⁾

¹⁾ vastaa virta-arvoa, jonka avulla porrassaika määritetään, kuva 7.5b.



KUVA 7.5b. Porrassaikojen muodostuminen ja siihen vaikuttavat tekijät. Merkinnot: I_1, I_2 = virta-arvot, joiden avulla alempien portaiden (3I>) välinen porrassaika määritetään, I_{kmax} = suurin oikosulkuvirta. Muut merkinnot katso lausekkeet (2) ja (3).

Toiminta-ajan toleranssien raja-arvot on standardoitu ja ne on esitetty taulukossa 7.5a.

Taulukko 7.5a. Standardin BS 142 mukaiset toiminta-ajan toleranssien raja-arvot prosentteina. E = tarkkuusluokkaindeksi.

I / I>	Normal inverse	Very inverse	Extremely inverse	Long time inverse
2	2,22*E	2,34*E	2,44*E	2,34*E
5	1,13*E	1,26*E	1,48*E	1,26*E
7	-	-	-	1,00*E
10	1,01*E	1,01*E	1,02*E	-
20	1,00*E	1,00*E	1,00*E	-

Lisäksi tulee ottaa huomioon mahdollisen virranmittauksen epätarkkuuden vaikutus käänteisaikaisen suojan toiminta-aikaan ja sitä voidaan arvioida lausekkeen (1) avulla antamalla vaihevirralla kulloinkin käytetyn mittausepätarkkuuden mukaisia arvoja. Mittausepätarkkuuteen vaikuttaa reletyypin lisäksi myös mittamuuntajan tarkkuus. Lisäämällä taulukon 7.5a arvoihin näin saadut prosentuaaliset toiminta-aikojen epätarkkuudet, saadaan lausekkeen (3) tekijöiden E_1 ja E_2 arvot selville.

Esimerkki porrassajan Δt_{DT} määrittämisestä

Määritetään kuvan 7.5a esimerkin numeeristen suojien ylempien portaiden välinen porrassaja käyttäen lauseketta (2):

2 x toiminta-ajan toleranssi:	2 x 25 ms
katkaisijan toiminta-aika:	50 ms
retardaatioaika:	30 ms
varmuusmarginaali:	+ 20 ms
	150 ms

Varmuusmarginaaliksi on valittu pienin mahdollinen, joten porrassajaksi Δt_{DT} voidaan valita 150 ms, kuva 7.5a.

Esimerkki porrassajan Δt_{IDMT} määrittämisestä

Määritetään kuvan 7.5a esimerkin numeeristen suojien alempien portaiden välinen porrassaja käyttäen lauseketta (3):

Virta-arvot, joiden avulla porrassaja määritetään:
rele 1: $I_1 = 1200 \text{ A} \approx 4,0 \text{ x portaan virta-asettelu ja}$
rele 2: $I_2 = 1700 \text{ A} \approx 2,4 \text{ x portaan virta-asettelu}$

Käyrätyypiksi oli valittu normal inverse ja tarkkuusluokaksi E = 5%.

Käytetään taulukkoa 7.5a ja valitaan toiminta-ajan toleranssit vastaamaan ym. virtoja I_1 ja I_2 . Taulukosta 7.5a nähdään, että lähimpänä kyseisiä virta-arvoja vastaavat toleranssit ovat 1,13E (rele 1) eli noin 6 % ja 2,22E (rele 2) eli noin 11 %.

Määritetään virranmittauksen epätarkkuuden vaikutus toiminta-aikoihin prosentteina laskennallisista toiminta-ajoista t_1 ja t_2 käyttäen lauseketta (1), kun reletyypin ja mittamuuntajan yhteiseksi virranmittauksen epätarkkuudeksi oletetaan $\pm 3 \%$, taulukko 7.5b. Lisäksi on huomattava, että näin syntyvä toiminta-aikavirhe on riippumaton käänteisaikakäyrän aikaker-toimen k asettelusta.

Taulukko 7.5b. Virranmittauksen epätarkkuuden vaikutus toiminta-aikoihin suhteessa releiden 1 ja 2 laskennallisiin toiminta-aikoihin t_1 ja t_2 virroilla I_1 ja I_2 .

rele 1		
I_1 (x virta-asettelu)	virranmittausvirhe (%)	toiminta-aikavirhe $(t - t_1) / t_1 \times 100$ (%)
4,0	+ 3	- 2
4,0	- 3	+2

rele 2		
I_2 (x virta-asettelu)	virranmittausvirhe (%)	toiminta-aikavirhe $(t - t_2) / t_2 \times 100$ (%)
2,4	+ 3	- 3
2,4	- 3	+ 3

Lasketaan tekijät E_1 ja E_2 ym. virheiden itseisarvojen summana, jolloin saadaan

rele 1: $E_1 = 8 \%$

rele 2: $E_2 = 14 \%$

Sijoitetaan tekijät E_1 ja E_2 lausekkeeseen (3) ja otetaan huomioon, että releen 1 laskennallinen toiminta-aika t_1 virralla 1200 A (4 x virta-asettelu) on 1000 ms, voidaan tarvittava porrasaika laskea seuraavasti:

$t_1 \cdot ((1+E_1/100)/(1-E_2/100) - 1)$:	260 ms
katkaisijan toiminta-aika:	50 ms
retardaatioaika:	30 ms
varmuusmarginaali:	+ <u>20 ms</u>
	360 ms

Porrasajaksi Δt_{IDMT} on tämän perusteella valittava vähintään 360 ms, kuva 7.5a.

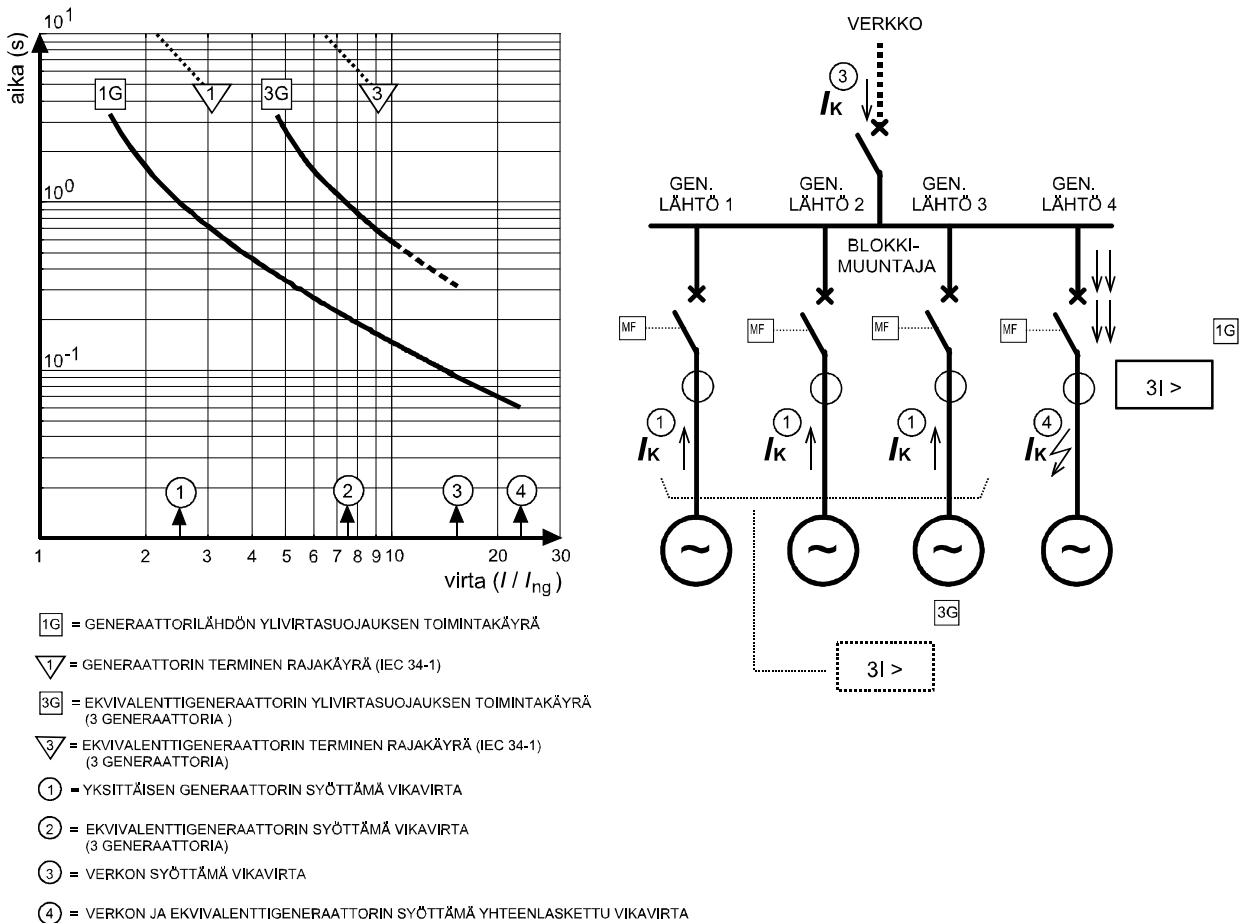
Aikaselektiivinen suojaus voidaan toteuttaa myös vakioaikaisilla *ali-impedanssisuojilla*. Suoja mittaa vaihevirtoja sekä pää- tai vaihejännitteitä ja määrittää näiden avulla verkon näennäisen impedanssin, joka näkyy suojan sijaintipaikalta. Suoja toimii, mikäli sen mitaama impedanssi on alle asetteluarvon. Suojan asetteluarvo määrää ns. *ulottuman*, joka määrittelee, kuinka kaukana releen sijaintipaikalta katsottuna tapahtuvat viat vielä havaitaan. Johtuen mittausperiaatteesta impedanssisuojan etuna on, että sen toiminta on riippumaton verkon oikosulkutehon vaihtelusta ts. vikavirran määrästä. Suojan ulottuma ja toiminta-aika eivät muutu, vaikka syöttävän verkon impedanssi muuttuisi esim. kytkentätilanteen muuttuessa. Näin releen toiminta on luotettavaa, vaikka oikosulkuvirran suuruus olisi erityisen pieni. Tästä syystä ali-impedanssisuojaa käytetään yleisesti johtosuojina heikoissa verkoissa, joissa oikosulkuteho on pieni. Toinen tyypillinen sovellutus on ali-impedanssisuojan käyttö verkon varasuojana voimalaitoksella, jonka syöttämä vikavirta voi generaattorien vaikutuksesta vaimentua alle ylivirtasuojien virta-asetteluiden. Mikäli voimalaitokselta lähtevien johtojen suojat toimivat myös impedanssiperiaatteella, on releiden välinen selektiivisyys helppo saavuttaa. Edellä mainitut aikaselektiivisyyden keskeiset periaatteet pätevät myös ali-impedanssisuojauksessa.

7.5.2. Aika- ja virtaselektiivinen suojaus

Aika- ja virtaselektiivistä ylivirtasuojausta voidaan soveltaa tapauksissa, joissa vikavirran suuruus on erilainen riippuen siitä, onko vian sijainti suojan edessä vai takana. Tällöin vikavirtatasojen erilaisuudesta johtuen voidaan erityisesti käänteisaikaisen suojauksen, mutta myös moniportaisen vakioaikasuojauksen, käytöllä saavuttaa erilaiset suojauksen toimintaajat eri suuntiin, ja näin toteuttaa tarvittava aikaselektiivisyys sekä täyttää asetetut toimintanopeusvaatimukset.

Kuvassa 7.5c on esitetty eräs aika- ja virtaselektiivisen ylivirtasuojauksen sovellutus. Selektiivisyyden tarkastelu yksittäiseen generaattorilähtöön päin on havainnollista, mikäli muiden kytkettynä olevien generaattorilähtöjen suojauksen toimintakäyrä korvataan ns. ekvivalenttisen generaattorilähdön toimintakäyrällä. Tämä saadaan kertomalla kulloinkin käytössä olevien generaattorien lukumäärällä yksittäisen generaattorin suojan toimintakäyrän virta-arvot, toimintakäyrä 3G, kuva 7.5c. Selektiivisyyskäyrästä nähdään, että vian tapahtuessa generaattorilähdössä 4, on verkosta ja muista lähdoistä syötetty vikavirta yhteensä pisteen 4 osoittamalla tasolla. Suojauksen toiminta-ajaksi voi tällöin tulla jopa alle 100 ms. Ekvivalenttgeneraattorin syöttämä vikavirta on vähintään pisteen 2 osoittamalla tasolla. Selvästi nähdään, että näin saavutetaan luotettava aikaselektiivisyys generaattorilähtöjen välillä, vaikka verkosta päin tuleva vikavirta olisi erityisen pieni, tai vaikka yksi generaattori olisi pois käytöstä. Samantyyppistä tarkastelutapaa voidaan myös soveltaa suunniteltaessa aikaselektiivisyyttä blokkimuuntajan ja generaattorilähtöjen suojien välille vian tapahtuessa verkossa. Tällöin tulee erityisesti ottaa huomioon käytössä olevien generaattorien lukumäärän vaikutus selektiivisyyden toteutumiseen. Mikäli käytöstä otetaan pois koneita, voi aikaselektiivisyys verkkoon päin vaarantua, ellei blokkimuuntajan suojan asetteluja mukauteta kulloiseenkin käyttötilanteeseen sopiviksi.

Mainittua suojaustapaa voidaan soveltaa myös ylivirtasuojaukseen silmukka- tai rengasverkossa. Toinen sovellutusalue on tehollisesti maadoitetun silmukka- tai rengasverkon maasulkusuojaus.



KUVA 7.5c. Esimerkki voimalaitoksen ylivirtasuojauksesta, jossa aika- ja virtaselektiivisyys toteutuu generaattorilähtöihin päin. Generaattorit ovat teholtaan yhtäsuuria ja niiden käännteisaikaylivirtareleillä on samat asetelut. I_{ng} = yksittäisen generaattorin nimellisvirta.

7.5.3. Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus

Rengas- ja silmukkaverkkojen selektiivinen suojaus voidaan toteuttaa suunnattujen ylivirtasuojien avulla. Suunnattua suojausta tarvitaan, koska suojaukselta vaaditaan erilaisia toiminta-aikoja riippuen siitä, onko vikapaikka suojan edessä johdolla vai suojan takana esim. syöttävällä johdolla tai kiskostossa.

Suunnattu ylivirtasuojaus toimii, mikäli vikavirta ylittää virta-asettelun ja vikavirran suunta vastaa asetelua. Tällöin selektiivisyys perustuu sekä aikaan että vikavirran suuntaan. Suunnattu ylivirtasuoja voi toimia joko vakioaikaisena tai käännteisaikaisena, ja edellä mainitut aikaselektiivisyyden keskeiset periaatteet pätevät myös suunnatussa ylivirtasuojauksessa.

Tyypillisiä sovellutuksia, joissa käytetään suunnattuja suoja, on esitetty kuvassa 7.5d.

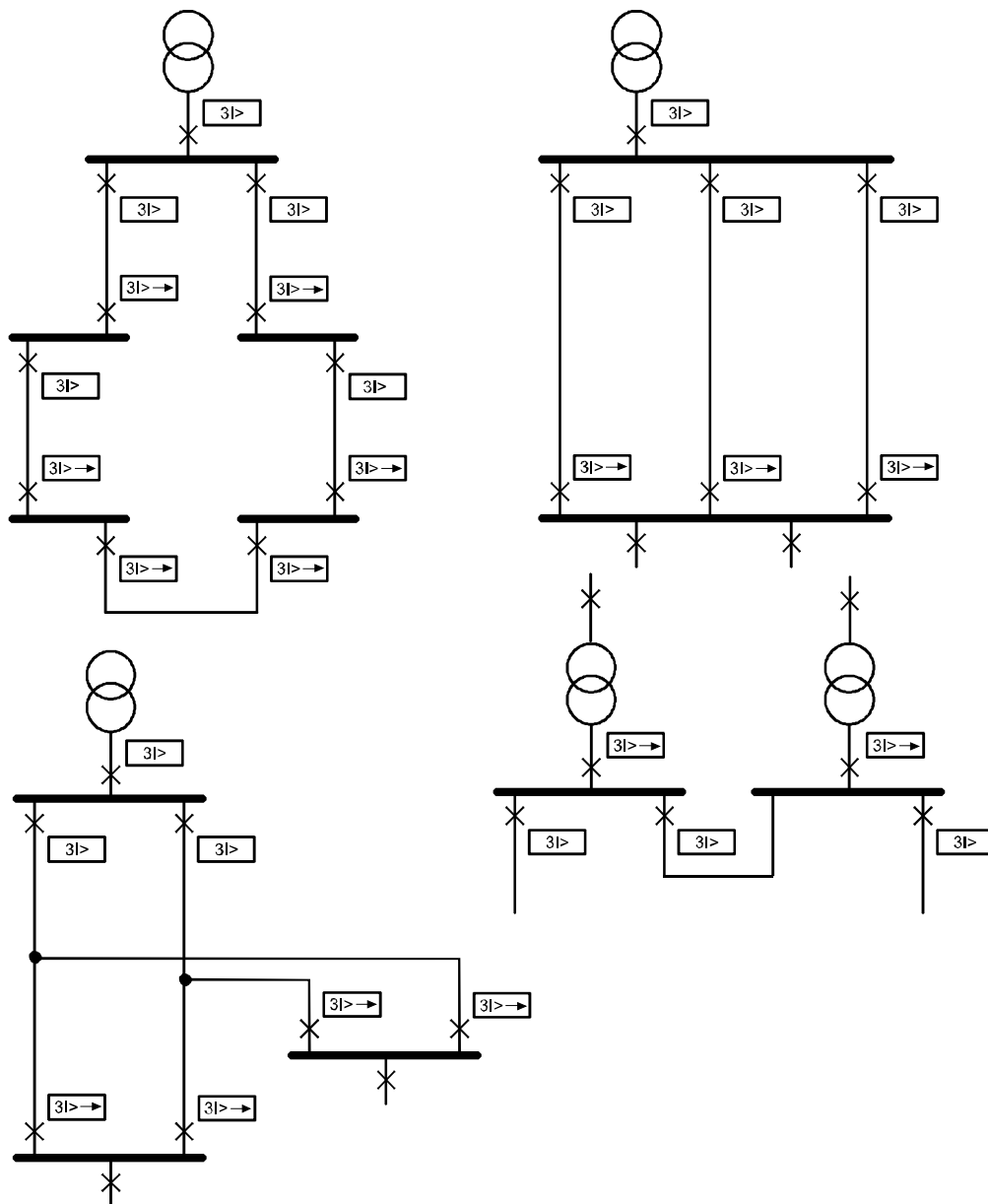
Vikavirran suunnan määrittämiseen käytetään erilaisia periaatteita. Yksi perinteisesti käytetty tapa on tehdä suunnan määrittäminen vaihekohtaisesti siten, että kunkin viallisen vaiheen virran osoittinta verrataan kahden muun vaiheen välisen pääjännitteen osoittimeen, esim. vaihevirran osoittimen \overline{I}_{L1} suuntaa verrataan ns. vastakkaisen pääjännitteen osoittimen \overline{U}_{23} suuntaan. Tällöin rele laukaisee, jos yksikin vaihekohtaisista vertailuista osoittaa vian olevan releen toimintasuunnassa *myötäsuuntaan* tai asettelusta riippuen *vastasuuntaan*.

Toinen tapa mitata suuntaa on ensin päätellä vialliset vaiheet vaihekohtaisten ylivirtahavaintumisten perusteella ja sitten verrata viallisten vaiheiden virtaosoittimien erotusta kah-

den muun pääjännitteen osoittimien erotukseen, esim. osoittimen $\bar{I}_{L1} - \bar{I}_{L2}$ suuntaa verrataan osoittimen $\bar{U}_{23} - \bar{U}_{31}$ suuntaan.

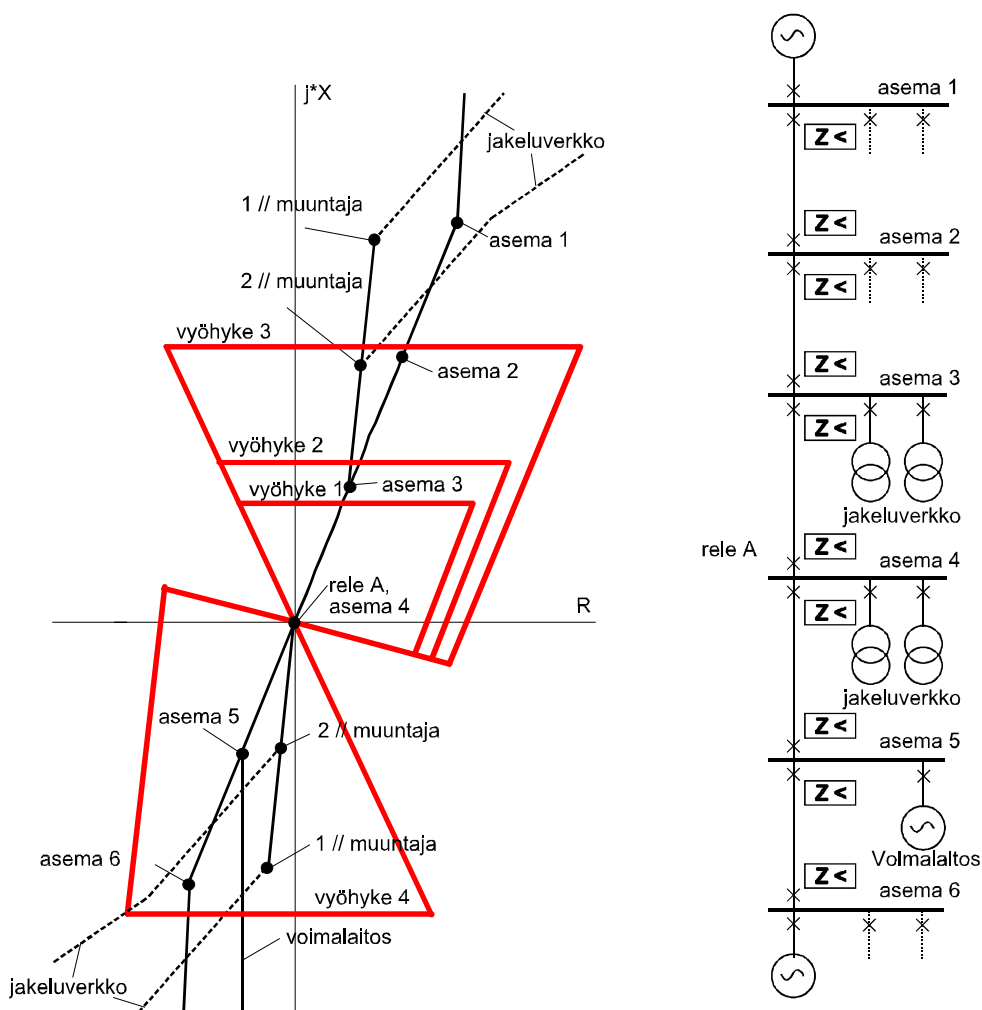
Kolmas tapa on ensin päätellä vialliset vaiheet vaihekohtaisten ylivirtahavahtumisten perusteella ja sitten verrata viallisten vaiheiden virtojen osoittimien erotusta vastaavaan pääjännitteeseen, esim. osoittimen $\bar{I}_{L1} - \bar{I}_{L2}$ suuntaa verrataan osoittimen \bar{U}_{12} suuntaan.

Mainitut suunnanpäättelytavat tarvitsevat tuekseen *jännitemuistia*, joka tallentaa ennen vikaa vailinneiden jännitteiden osoittimet. Rele käyttää tätä tietoa vikavirran suunnan määrittämiseen silloin, kun viallisten vaiheiden välinen pääjännite on liian alhainen mitattavaksi releen sijaintipaikkaa lähellä tapahtuvassa oikosulussa. Menetelmien yksi ja kaksi etuna on, että jännitemuistia tarvitaan ainoastaan kolmivaiheisissa lähioikosuluissa, sillä suuntapäättelyyn käytettävät jännitteet ovat kaksivaiheisissa oikosuluissa aina riittävän suuria mitattaviksi. Kolmannessa suuntapäättelytavassa jännitemuistia tarvitaan myös kaksivaiheisissa lähioikosuluissa. Viimeksi mainitun menetelmän etuna on kuitenkin se, että suunnan päättely tapahtuu oikein riippumatta verkon vaihejärjestyksestä.



KUVA 7.5d. Esimerkkejä suunnattujen ylivirtasuojien käytöstä yhdeltä asemalta syötettyjen rengasverkkojen oikosulkusuojaukseen.

Rengas- ja silmukkaverkkojen suojaus voidaan toteuttaa myös suunnatuilla vakioaikaisilla ali-impedanssi- eli *distanssisuojilla*. Tätä suojaustapaa käytetään yleisesti siirtoverkoissa, silmukoitujen tai renkaana käytettyjen jakeluverkkojen sekä heikkojen säteittäisverkkojen suojaamiseen. Distanssisuojien käytön edut ovat kuten yleisesti ali-impedanssisuojilla ja aikaselektiivisyyden peruseriaatteet eri toimintasuuntiin pätevät myös tässä suojaustavassa. Hyvän ja luotettavan selektiivisyyden saavuttamiseksi ja suojausten toimintanopeusvaatimusten täyttämiseksi on usein tarpeen käyttää useita suunnattuja ali-impedanssiportaita, joiden määrittelemä ulottuma haluttuun toimintasuuntaan muodostaa *vyöhykkeitä*. Tästä esimerkki on kuvassa 7.5e, jossa on esitetty 4-portaiseen distanssisuojaan asetellut vyöhykkeet. Vyöhykkeet 2 ja 3 on aseteltu toimimaan aikaselektiivisesti myötäsuuntaan, jolloin ne ulottuvat suojausketjussa seuraavien suojien suojausalueille ts. vyöhykkeet ovat *yliulottuvia* ja näin varasuojauskin muodostuu luonnostaan. Vyöhyke 4 on aseteltu toimimaan aikaselektiivisesti vastasuuntaan. Tässä esimerkkitapauksessa vyöhyke 4 toimii yliulottuvana varasuojana ja havahtuu myös vioissa, jotka tapahtuvat jakeluverkkoa syöttävien muuntajien takana. Vyöhyke 1 ei ulotu suojausketjussa seuraavan suojan suojausalueelle ts. vyöhyke 1 on *aliulottuva*, jolloin aikaselektiivisyyttä ei tarvita ja suojaus voi toimia pienimmän mahdollisen toiminta-ajan mukaisesti.



KUVA 7.5e. Esimerkki 4-portaisen distanssisuojan käytöstä monelta asemalta syötetyn avorengasverkon oikosulkusuojaukseen. Merkintä 1// -muuntaja tai 2// -muuntajaa tarkoittaa jakeluverkkoa kulloinkin syöttävien rinnankytkettyjen muuntajien lukumäärää.

7.5.4. Virta- tai impedanssiselektiivinen suojaus

Virta- tai impedanssiselektiivisellä suojauskella voidaan tietyissä tapauksissa oleellisesti nopeuttaa suojauksen toimintaa lähellä suojan sijaintipaikkaa tapahtuvissa vioissa. Suojaus toteutetaan käyttämällä yhtä suuntaamattoman tai suunnatun ylivirta- tai ali-impedanssisuojan porrasta.

Tarkoituksena on asetella ylivirtaportaan virta-asettelu niin ylös, että vian tapahtuessa suojausketjussa seuraavana olevan suojan edessä, ei kyseinen porras havahdu, jolloin aikaselektiivisyyttä ei tarvita. Vastaavasti ali-impedanssiporrasta käytettäessä asettelu on laskettava riittävän alas, jotta saadaan aikaan vastaava toiminta. Kuvan 7.5e esimerkissä vyöhyke 1 toimii tämän periaatteen mukaisesti.

Periaatteen mukaisesti portaiden toiminta-ajat voidaan asetella selektiivisyyttä vaarantamatta minimiin, koska suojaus toimii vain virta- tai impedanssiasettelujen määräämillä suojausalueilla. Näin muodostuvat suojausalueet eivät peitä toisiaan, jolloin suojaus ei ole aukoton. Tästä syystä virta- tai impedanssiselektiivisen suojauksen rinnalla on aina oltava myös aikaselektiivinen suojaus.

Virtaselektiivisen suojauksen virta-asettelua selvitettäessä on otettava huomioon käytetyn reletyyppin toiminta epäsymmetrisellä virralla ts. aiheuttaako vikavirran DC-komponentti mahdollisesti ns. *transienttia yliulottumaa*, k_{DC} , joka määritellään:

$$k_{DC} = \frac{I_S - I_F}{I_F} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

I_S = pysyvän tilan vaihevirran tehollisarvo, jolla suojaus toimii, ts. virta-asettelu

I_F = pysyvän tilan vaihevirran tehollisarvo, johon tuleva täysi DC-komponentti saa aikaan suojan toiminnan virta-asettelulla I_S

Virtaselektiivisen ylivirtaportaan asettelun ensiöarvon tulee olla suurempi tai yhtäsuuri kuin I_{CS} :

$$I_{CS} = k_m \cdot (1 + k_{DC} / 100) \cdot I_K \quad (5)$$

k_m = varmuuskerroin, joka ottaa huomioon vikavirtalaskennan epätarkkuudet ja mittamuuntajan sekä releen mittausvirheet

I_K = suurin vikavirta, joka on laskettu suojausketjussa seuraavana olevan suojan sijaintikohdalla

Ali-impedanssisuojilla asetteluun vaikuttavat mm. seuraavat seikat: mittamuuntajien virheet, epätarkkuudet verkon impedanssitiedoissa, rinnakkaisten johtojen välisen keskinäisnollainduktanssin sekä mahdollisen vikaresistanssin aiheuttamat mittausvirheet. Nämä tekijät rajoittavat impedanssiselektiivisen portaan asettelua niin, että se voi olla yleensä luokkaa 80-90 % suojan ja suojausketjussa seuraavan suojan välisestä impedanssista, jolloin portaan suojausalueita sanotaan siis aliulottuvaksi vyöhykkeeksi.

Erityisesti virtaselektiivisen suojaustavan käyttö edellyttää riittävän pientä *lähdeimpedanssisuhdetta* ($SIR = \text{Source Impedance Ratio}$), lauseke (6), suojan sijaintipaikalla. Virtaselektiivisessä suojaustavassa tämä takaa, että ero vikavirroissa suojattavan johdon alku- ja loppupäässä, tai suojattavan muuntajan ylä- ja alapuolella on riittävän suuri, jotta suojauskelle voidaan löytää käyttökelpoinen asettelu. Virtaselektiivisen suojan ulottuvuus suhteessa lähdon kokonaispituuteen tai -impedanssiin riippuu sekä SIR -arvosta että virtaselektiivisen portaan asetteluarvosta I_{CS} . Mitä suuremmaksi SIR -arvo kasvaa, sitä pienemmäksi suojan

ulottuvuus suojattavalla lähdöllä muodostuu. Tiettyä raja-arvoa suuremmilla SIR -arvoilla virtaselektiivistä suojausta ei mainituista syistä johtuen voida käyttää.

$$SIR = \frac{\bar{Z}_S}{\bar{Z}_L} \quad (6)$$

\bar{Z}_S = suojan sijaintipaikalta nähty syöttävän verkon impedanssi ts. lähdeimpedanssi

\bar{Z}_L = suojan sijaintipaikalta nähty suojattavan lähdön impedanssi

Hyvin suuri SIR -arvo voi rajoittaa myös impedanssiselektiivisen suojaustavan soveltamista, koska tällöin suojan mittaamien virtojen ja jännitteiden suuruudet vioissa ensimmäisen vyöhykkeen päässä ja vasta-aseman välittömässä läheisyydessä voivat olla niin lähellä toisiaan, että mittausvirheet voivat saada aikaan suojauksen virheellisen toiminnan.

7.5.5. Lukitussuojaus

Lukitussuojauksen tarkoituksena on nopeuttaa suojauksen toimintaa. Periaate soveltuu erityisesti kiskostojen suojaukseen, mutta sitä voidaan käyttää myös lyhyehköjen johtojen, muuntajan alajännitepuolen napojen sekä kojeiston syöttöhaaran suojaukseen. Perusperiaatteena on käyttää hyväksi suojausketjussa peräkkäisten suojien välisiä lukituksia, kuva 7.5f. Yleisesti tämä suojaustapa on käytössä ylivirtareleiden yhteydessä.

Kuvan 7.5f esimerkissä suojattavana kohteena on kiskosto, jonka kiskokatkaisija on normaalisti auki. Vian ollessa lähdössä havahtuvat sekä lähdön että syötön ylivirtasuojat. Viallisen lähdön suoja lukitsee syötön suojan lukittavan portaan toiminnan ja laukaisee katkaisijan asetellussa ajassa. Vian ollessa suojausalueella eli kiskostossa lukituksia ei tule ja syötön suojan lukittava porras laukaisee katkaisijan asetellussa ajassa, joka on lyhyempi kuin mitä vaadittaisiin aikaselektiivisyyden toteuttamiseen vastaavassa tilanteessa. Ottamalla lukitusketjuun mukaan myös kiskokatkaisijan rele, toimii suojaus selektiivisesti myös siinä tapauksessa, että kiskokatkaisija on kiinni.

Parhaiten lukitussuoja soveltuu käytettäväksi säteittäisverkoissa, joissa oikosulkuvirrat ovat huomattavasti suurempia kuin kuormitusvirrat. Tällöin virta-asettelun löytäminen lukituksen antavalle ylivirtaportalle on yleensä helppoa. On myös varmistuttava siitä, että lukituksen antava porras ei havahdu suojausalueella tapahtuvassa viassa, mikäli vikavirtasyöttöä on mahdollista tulla myös kyseisestä lähdöstä (takasyöttö). Tällöin lukituksen antavan portaan virta-asettelu on valittava riittävästi suuremmaksi kuin takasyötön vikavirta (vrt. virtaselektiivinen suojaus) tai on käytettävä suuntarelettä lukitussignaalin muodostamiseen.

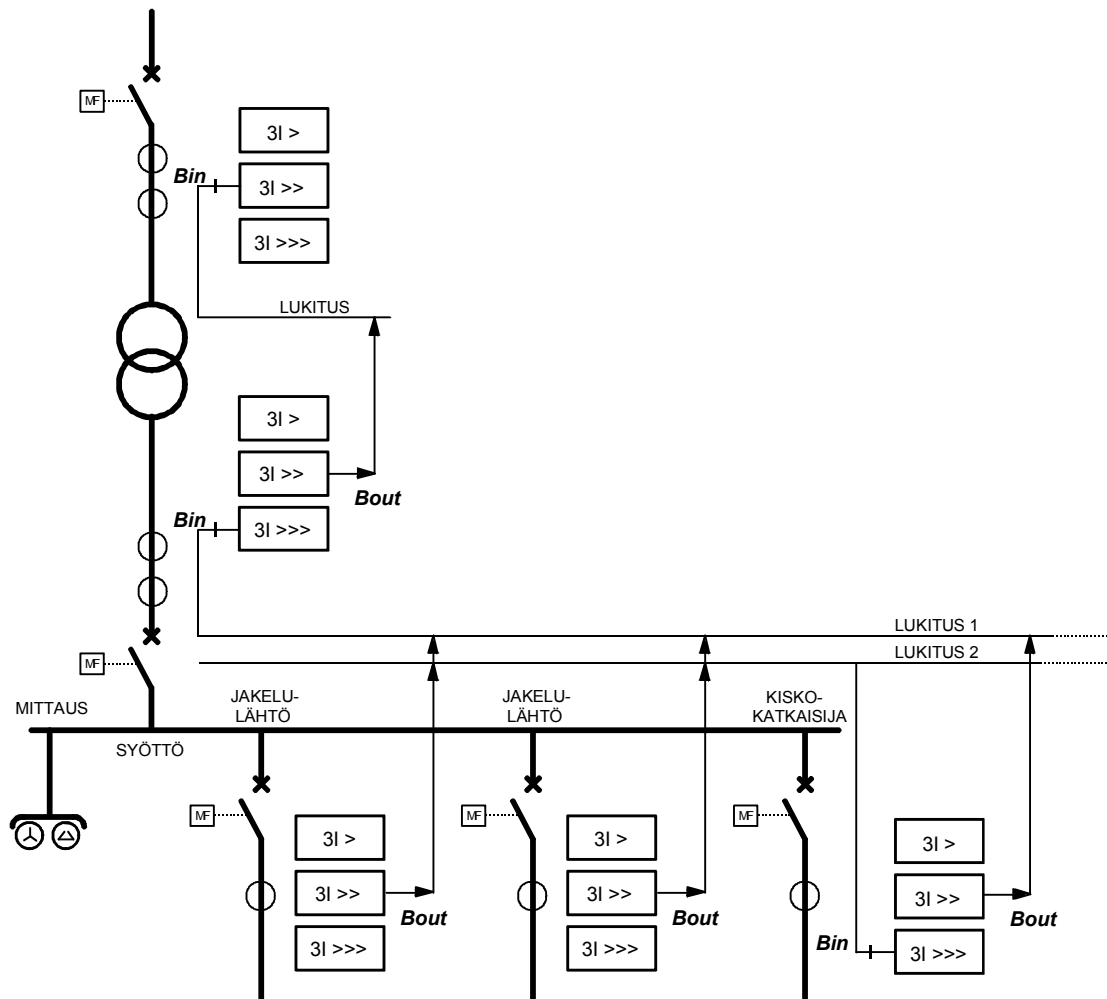
Jotta lukitussuojauksen selektiivisyys toteutuu luotettavasti, on lukittavan ylivirtaportaan toimintaa kuitenkin jonkin verran hidastettava. Tämä aseteltava toimintaviive riippuu käytettävien reletyyppien ominaisuuksista, virtamuuntajien toistokyvystä sekä lukituskanavan toteuttamistavasta. Tarvittavaa toimintaviivettä voidaan arvioida ottamalla huomioon seuraavat toiminta-ajat:

- lukituksen antavan suojausportaan havahtumisaika, joka sisältää sekä havahtumisviiveen että lähtöreleen toimintaviiveen,
- lukittavan suojan sisäänmenopiirien vasteaika ja
- lukittavan suojausportaan retardaatio- eli pyörtöaika.

Laskemalla em. ajat yhteen saadaan lyhin mahdollinen aika-asettelu lukittavalle ylivirtaportalle. Tyypillisesti tämä aika on luokkaa 100 ms, mikäli lukituspiirissä ei käytetä apureleitä.

Lukitus suojaus voidaan toteuttaa myös rengas- tai silmukkaverkossa, jolloin toteuttamiseen tarvitaan suunnattuja ylivirtasuojaus- tai distanssisuojia.

Koska lukitus suojausalueet eivät peitä toisiaan, ja koska ne eivät myöskään ulotu suojausketjussa seuraavien suojausalueille, on niiden rinnalla aina käytettävä myöskin aikaselektiivistä suojausta, kuva 7.5f.



KUVA 7.5f. Lukitus suojaus käyttö kiskoston ja muuntajan suojaukseen. B_{out} = ulostuleva havahtumissignaali, B_{in} = sisäänmenevä havahtumissignaali, joka lukitsee ko. suojausportaan toiminnan.

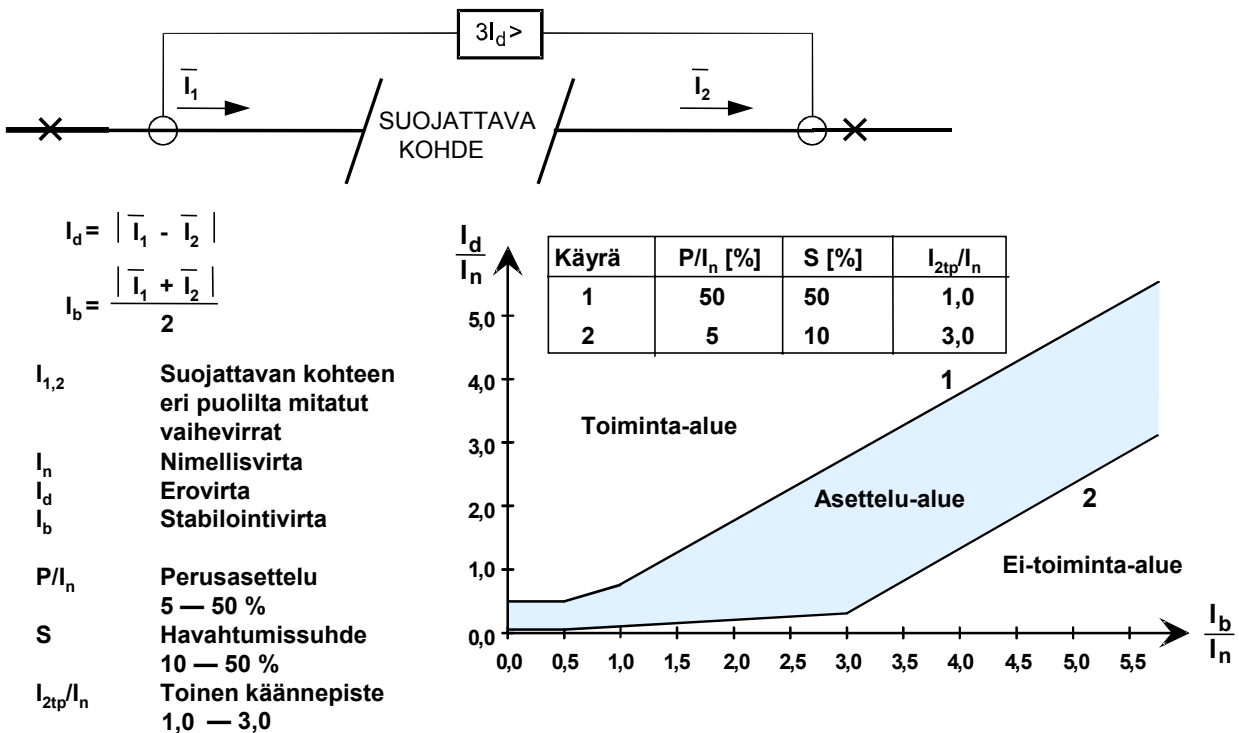
7.5.6. Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojaus on monikäyttöinen suojaustapa. Sitä voidaan soveltaa kaikkien verkon osien eli muuntajien, koneiden, kiskostojen sekä johtojen suojaukseen. Differentiaalisuoja vertaa suojattavaan kohteeseen tulevia vaihevirtoja siitä lähteviin. Jos nämä virrat poikkeavat toisistaan joko amplitudin tai vaihekulman tai näiden molempien suhteen enemmän kuin suojaan aseteltujen arvojen verran, seuraa laukaisu. Mittausperiaatteen ansiosta suojaus toimii ainoastaan suojausalueella tapahtuvissa vioissa, jolloin suojaus on *absoluuttisesti selektiivinen*. Tästä syystä suojaus toimintanopeus on erittäin hyvä, jopa alle puolijakson. Suojausalue muodostuu virranmittauspaikkojen väliin jäävästä alueesta. Toinen mittausperiaatteen tuoma etu on suuri herkkyys: suojaus voi toimia jopa muutaman prosentin nimellisvirrasta olevilla vikavirroilla. Saavutettava herkkyys riippuu toimintanopeuden tavoin käytetystä reletyypistä, virtamuuntajien ominaisuuksista sekä suojattavasta kohteesta.

Toimintaperiaatteen mukaan differentiaalisuojat jaetaan ns. *pien- ja suurimpedanssidifferentiaalisuojiiin*.

Pienimpedanssiperiaate

Pienimpedanssidifferentiaalisuoja mittaa virtoja suojattavan kohteen molemmin puolin ja muodostaa näistä *erovirran* I_d , kuva 7.5g, joka käytännössä ei ole nolla, vaikka suojausalueella ei vikaa olisikaan. Tämä johtuu lähinnä virtamuuntajien mittausrvirheistä. Muuntajan suojauksessa tällaista ns. näennäistä erovirtaa aiheuttavat lisäksi muuntajan tyhjäkäyntivirta, käämikytkimen asento sekä hetkellisesti muuntajan kytkentävirtasysäys, joka näkyy kokonaan erovirtana. Mittausvirheistä ja käämikytkimen asennosta aiheutuvan erovirran suuruus on suoraan verrannollinen muuntajan läpi menevän virran suuruuteen. Näennäisen erovirran kannalta erityisen paha tilanne on silloin, kun vika on juuri suojausalueen ulkopuolella. Tällöin läpimenevä virta on suuri ja se voi sisältää DC-komponentin, minkä mahdollisesti aiheuttama virtamuuntajien eriaikainen kyllästymisen kasvattaa hetkellisesti erovirtaa. Jotta suojan virheelliseltä toiminnalta vältytään, on suoja sopivasti *vakavoitava*, jolloin laukaisuun vaaditaan sitä suurempi erovirta mitä suurempi on läpimenevä virta. *Vakavoitavirta* I_b muodostetaan suojattavan kohteen molemmin puolin mitatuista vaihevirroista, kuva 7.5g. Esimerkki vakavoidun suojan toimintakäyrästä on esitetty kuvassa 7.5g. Toimintakäyrän muodon määräävät asetteluarvot *perusasettelu*, *havahtumissuhde* sekä *toinen käännepiste*, kuva 7.5g. Toista käännepistettä suuremmilla vakavoitavirran arvoilla havahtumissuhde on kiinteä.



KUVA 7.5g. Esimerkki pienimpedanssiperiaatella toimivan erovirtasuojan toimintakäyrästä.

Perusasettelu määrää nimensä mukaisesti suojausperusherkkyden suojattavan kohteen ollessa tyhjäkäynnissä. Perusasettelun on oltava suurempi kuin esim. muuntajan magnetointivirta tai johdon varausvirta suurimmalla käyttöjännitteellä, jotta suojaus ei toimisi virheellisesti. Perusasettelu vaikuttaa myös koko ominaiskäyrän tasoon ja siten toimintaherkkyteen suuremmilla vakavoitavirran arvoilla.

Havahtumissuhde ottaa huomioon läpimenevään virtaan suoraan verrannolliset näennäisen erovirran lähteet. Lähinnä havahtumissuhde yhdessä toisen käännepisteen kanssa määrää suojausperusherkkyden muuntajien ja koneiden sisäisissä vioissa niiden ollessa

kuormitettuina. Suojaukselta suurta herkkyyttä ja toimintanopeutta vaativia sisäisiä vikoja ovat käämi- ja kierrossulut sekä käämeissä ja suojausalueella tapahtuvat maasulut.

Toisella käänneasteella on vaikutus myös suojauksen *stabiilisuuteen* suojausalueen ulkopuolella tapahtuvia vikoja vastaan: suojaus ei saa tässä tilanteessa toimia virheellisesti ja laukaista näennäisen erovirran vaikutuksesta. Mitä pienemmäksi toinen käänneaste valitaan sitä varmempi stabiilisuus saavutetaan. Toisaalta saatetaan heikentää suojauksen toimintaherkkyyttä sisäisissä vioissa varsinkin muuntajansuojauksessa. Ottamalla huomioon virtamuuntajien toistokyky, vikavirtatasot ja syöttösuunnat, sekä suojattavan kohteen asettamat herkkyyksivaatimukset, on toisen käänneasteen asettelu usein helposti löydettävissä.

Toista käänneastetta suuremmilla vakavointivirran arvoilla vaikuttavalla suurella havahtumissuhteella varmistetaan stabiilisuus suojausalueen ulkopuolella tapahtuvissa vioissa.

Vaikeuksia vakavoidun suojan toiminnan stabiilisuudelle voivat aiheuttaa kytkentävirtasysäykset. Suojattavaa muuntajaa verkkoon kytkettäessä virtasysäys näkyy kokonaan erovirtana, jolloin suojan vakavointi ei yksinään riitä estämään suojan virheellistä toimintaa. Tällöin tarvitaan erovirran *toiseen harmoniseen perustuvaa lukitustoimintoa* lukitsemaan vakavoidun portaan toiminta. Tunnetusti kytkentävirtasysäys sisältää runsaasti juuri toista harmonista.

Vaikeuksia voi aiheutua myös silloin, kun suojattavan generaattorin syöttämä muuntajan kytkentävirta on suurehko verrattuna nimellisvirtaan. Tällöin epäsymmetriset ja toista harmonista sisältävät vaihevirrattavat voivat aiheuttaa virtamuuntajien eriaikaisen kyllästymisen ja sitä kautta näennäistä erovirtaa releelle. Suojauksen virheettömän toiminnan varmistamiseksi on toiseen harmoniseen perustuvan lukitustoiminnon käyttöönotto tällaisessa tilanteessa usein perusteltua.

Muuntajansuojauksessa suojauksen stabiilisuus vaarantuu myös syöttöjännitteen hetkellisesti noustessa. Jännitteen nousu aiheuttaa magnetointivirran kasvun muuntajan kyllästymisen seurauksena, mikä näkyy kokonaan erovirtana. Mikäli erovirran ja vakavointivirran suhde ylittää asetellut on seurauksena suojauksen toiminta. Tämä voidaan estää käyttämällä erovirran *viidennen harmoniseen perustuvaa lukitustoimintoa*. Kyllästyneen muuntajan magnetointivirta sisältää runsaimmin juuri viidettä harmonista. Mikäli ylijännitetilanne pahenee, kasvaa viidennen harmonisen osuus tyypillisesti tiettyyn polvipisteeseen asti. Tällöin voi olla tarkoituksellisesti poistaa lukitus, kun viidennen harmonisen osuus on kasvanut tiettyyn pisteeseen asti ja näin sallia suojan toiminta liiallisen ylimagnetoitumisen estämiseksi. Tämä voidaan tehdä erovirran *viidennen harmoniseen perustuvan lukituksen vapautustoiminnon* avulla.

Jotta suojauksen toiminta olisi mahdollisimman nopeaa ja luotettavaa suojausalueella tapahtuvissa pahoissa vioissa, käytetään vakavoidun portaan lisäksi pikalaukaisuporrasta, jota ei voida lukita ja jonka toimintaa ei ole vakavoitu. Tällöin pikalaukaisuporrasta toimii, kun erovirta ylittää hetkellisesti asetellun.

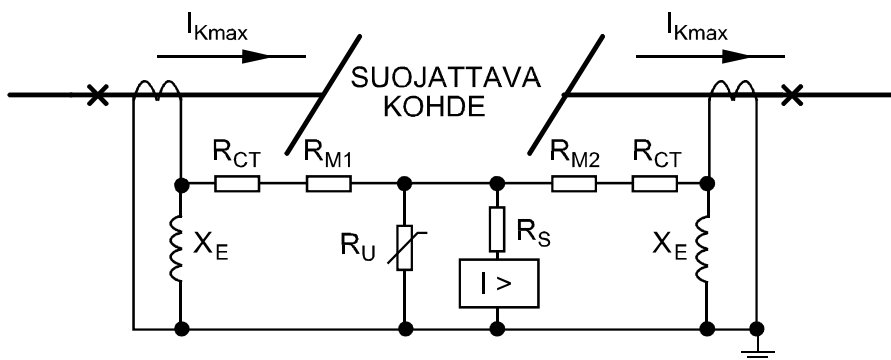
Suojaukseen käytettävien virtamuuntajien toistokykyyn on oltava riittävän hyvä, jotta suojausalueen sisäpuolisessa viassa pikalaukaisuportaan toiminta on nopeaa ja luotettavaa. Näin varmistetaan myös, että mahdollisesta kyllästymisestä aiheutuva erovirran toinen harmoninen ei saa aikaan yliaaltosalvan tarpeetonta toimintaa ja vakavoidun portaan toiminnan viivästymistä. Suojaukseen käytettyjen virtamuuntajien toistokykyyn riittävä samanlaisuus puolestaan varmistaa suojauksen stabiilina pysymisen suojausalueen ulkopuolisissa vioissa.

Suurimpedanssiperiaate

Suurimpedanssidifferentiaalisuojaus on toimintaperiaatteensa ansiosta erityisen yksinkertainen toteuttaa ja asettaa sekä toiminnaltaan erittäin luotettava ja käyttövarma, kuva 7.5h. Suurimpedanssisuojan vakavointi I. stabilointi suoritetaan erillisen *stabilointivastuksen* avulla.

Nimensä mukaisesti tämän vastuksen avulla estetään virtamuuntajien eriaikaisesta kyllästy-
misestä aiheutuvan näennäisen erovirran aiheuttama suojausalueen ulkopuolisessa viassa. Koska virranmittauspiirit ovat galvaanisesti yhdessä, on kaik-
kien suojaan kuuluvien virtamuuntajien muuntosuhteiden oltava samat. Välivirtamuuntajien
käyttöä ei suositella, koska ne kasvattavat päävirtamuuntajille asetettavia toistokyyvaati-
muksia ja heikentävät suojausalueen herkkyyttä. Toisaalta myös välivirtamuuntajille jouduttaisiin
asettamaan samat toistokyyvaatimukset kuin päävirtamuuntajillekin, joiden täyttäminen il-
man erikoismuuntajia saattaisi olla vaikeaa. Näistä syistä suurimpedanssiperiaate sopii eri-
tyisen hyvin koneiden, johtojen sekä kiskostojen oikosulkusuojaukseen, sekä niiden ja
muuntajien maasulkusuojaukseen tehollisesti tai pienen impedanssin kautta maadoitetuissa
verkoissa.

Suurimpedanssisuojan stabiloinnin mitoitus perustuu siihen, että oletetaan yhden suojan
virtamuuntajista kyllästyvän täydellisesti suojausalueen ulkopuolisessa viassa, kun taas muut
virtamuuntajat eivät kyllästyisi lainkaan. Tarkoituksena on ohjata em. tavalla muodostuva
näennäinen erovirta kiertämään relepiirin sijasta kyllästyneen virtamuuntajan kautta. Koska
kyllästyneen virtamuuntajan impedanssi on pieni, kytketään relepiirin kanssa sarjaan suuri
resistanssi eli stabilointivastus. Tällöin näennäinen erovirta kokonaisuudessaan kulkee kyl-
lästyneen virtamuuntajan mittauspiirin kautta, jonka yli vaikuttava jännitehäviö on sama, joka
vaikuttaa relepiiriin yli, kuva 7.5h. Tämä *stabilointijännite* ei saa aiheuttaa suojausalueen toiminta-



$$U_S = (R_{M_{\max}} + R_{CT}) * (I_{k_{\max}} / n)$$

U_S = stabilointijännite

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

$I_{k_{\max}}$ = suurin läpimenevä vikavirta

n = virtamuuntajien muuntosuhde

R_{CT} = virtamuuntajan toisiokäämin resistanssi

KUVA 7.5h. Suurimpedanssisuojan yksivaiheinen sijaiskytkentä ja toimintaperiaate suo-
jausalueen ulkopuolella tapahtuvassa viassa sekä asetelukriteerin muodos-
tavan stabilointijännitteen U_S laskeminen. Stabiloinnin mitoitusta varten kylläs-
tynyt virtamuuntaja kuvataan oikosulkemalla virtamuuntajan magnetointi-
reaktanssi X_E . R_S = stabilointivastus, R_U = varistori.

Käytettäessä jänniterelettä suojan asettelu on siis oltava yhtä suuri tai suurempi kuin lasket-
tu stabilointijännite. Stabilointivastuksen arvo määräytyy tämän jänniteasettelun mukaisesti
ja se onkin yleensä integroituna releeseen. Mikäli käytetään virtarelettä, on ensin valittava
virta-arvo, jolla suojausalueen pitää toimia. Stabilointijännitteen ja virta-asettelun osamääränä
saadaan sitten tarvittavan stabilointivastuksen arvo, joka on relepiiriin erikseen kytkettävä.

Suojausalueen sisäpuolisessa vikatilanteessa virtamuuntajat yrittävät syöttää relepiiriin oiko-
sulkuvirtaa vastaavan toisiovirran. Mutta koska relepiirin impedanssi on suuri, voi toisiojän-
nite ylittää releen ja johdotuksen kestokyvyn. Tästä syystä on relepiiriin rinnalle kytkettävä
varistori, joka rajoittaa jännitteen turvalliselle tasolle.

Suurimpedanssisuojaukseen käytettävien virtamuuntajien toistokyvyn on oltava riittävä, jotta ne pystyvät syöttämään relepiiriin riittävästi virtaa vian ollessa suojausalueella. Tämä vaatimus toteutuu, mikäli virtamuuntajien käännepestejännite on vähintään kaksinkertainen verrattuna valittuun stabilointijännitteeseen. Näin suojauksen toiminta on nopeaa ja luotettavaa myös juuri asettelun ylittävillä erovirran arvoilla. Suojaukseen tarvitaan luokan X virtamuuntajat (BS 3938), joiden toistokyvyn määräävät käännepestejännite ja toisiokäämin resistanssi. Luokan X määrittämisessä ilmoitetaan myös käännepestejännitettä vastaava virtamuuntajan magnetointivirta, jota tarvitaan suojauksen herkkyuden laskemisessa.

7.5.7. Distanssi- ja suuntavertosuojaus

Distanssisuojaus peruserätykset esitettiin kohdassa 7.5.3 Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus. Kuvan 7.5e distanssisuojauksesimerkissä aliulottuvan vyöhykkeen mahdollistamalla nopealla suojauksella ei voida kattaa koko suojattavaa johtolähtöä johtuen impedanssiselektiivisen suojaustavan asettelurajoituksista. Myös suojan sijaintipaikalla vaikuttava lähdeimpedanssisuhde voi olla niin suuri, joko johdon lyhyden tai heikon syötön vuoksi, että impedanssiselektiivistä suojauserätykset ei voida sellaisenaan soveltaa. Jotta nopea suojaus ja pikajälleenkytkentöjen käyttö voitaisiin kuitenkin ulottaa koko johdolle, on käytettävä erityistä logiikkaa ja apuyhteyttä johdon päiden välillä.

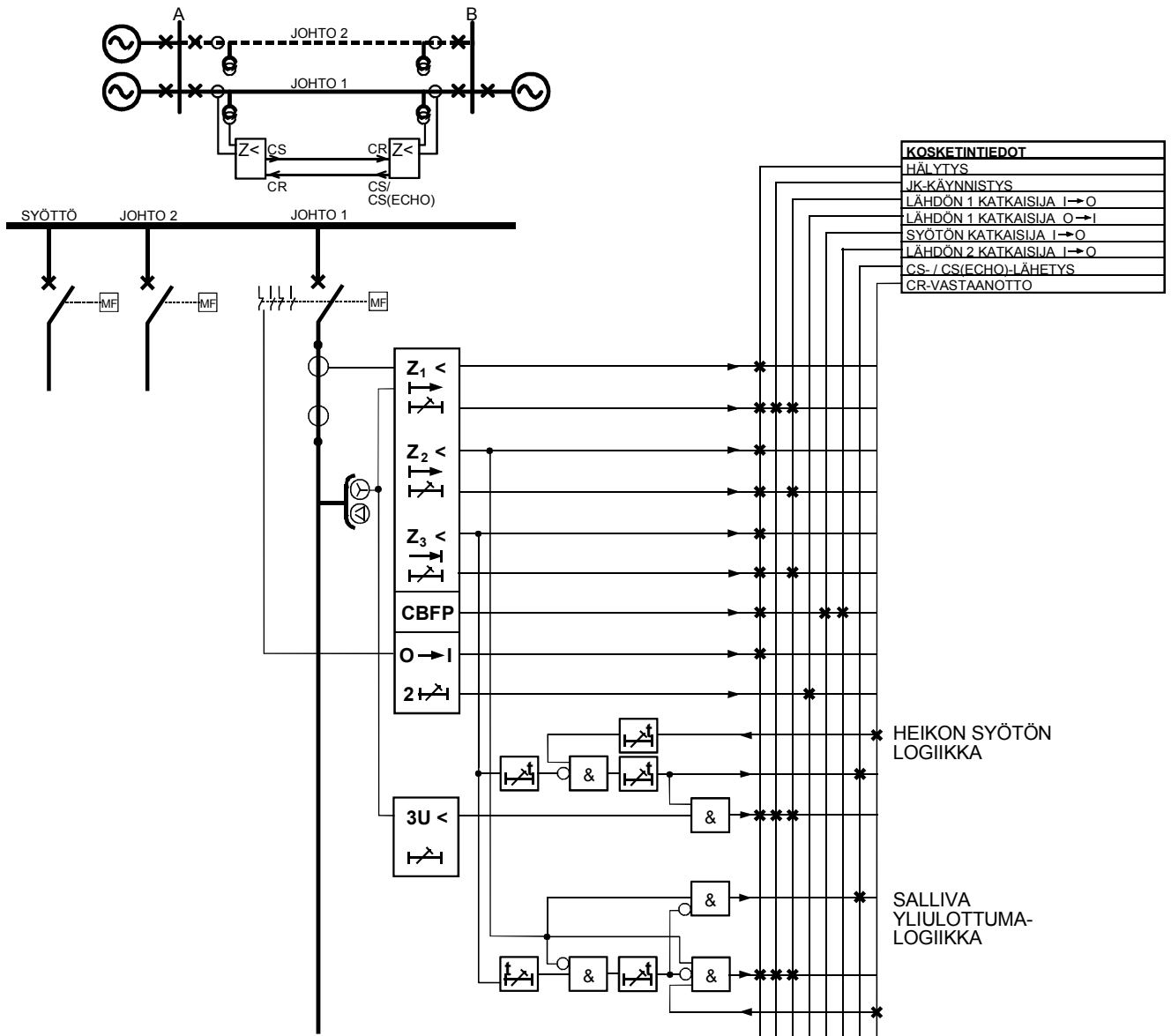
Apuyhteyttä käytetään havahtumistiedon siirtämiseen suojalta toiselle. Valitusta logiikasta riippuen signaali lähetetään vasta-asemalle, kun paikallisaseman suoja on havahtunut joko myötä- tai vastasuuntaan. Saapunutta havahtumissignaalia käytetään tavallisesti joko tietyn vyöhykkeen laukaisun sallimiseen tai lukitsemiseen. Suojilta tämä vaatii apuyhteytologiikan käyttöönottamista. Yleisimmin käytettävät logiikat perustuvat ns. *sallivaan yli- tai aliulottuvaan suojaukseen tai lukitussuojaukseen*.

Signaali voidaan lähettää vasta-asemalle myös silloin, kun paikallisaseman suoja on laukaissut vian ollessa myötäsunnassa suojattavalla johdolla. Tässä tapauksessa saapunut signaali johtaa suoraan vasta-aseman katkaisijan laukaisemiseen l. *pakkolaukaisuun*.

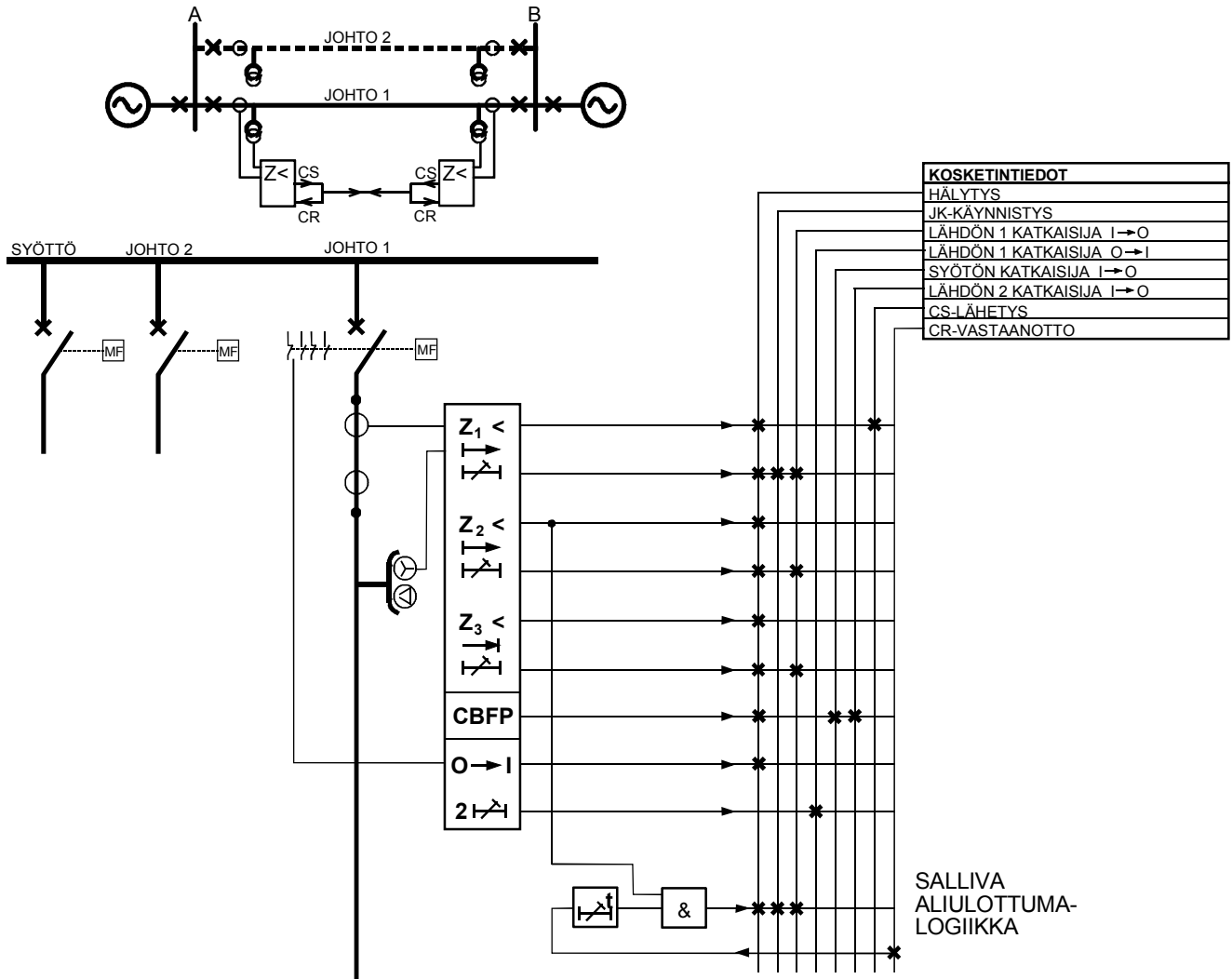
Sallivaan logiikkaan perustuvassa suojauksessa signaali (CS, kuvat 7.5j ja 7.5k) lähetetään vasta-asemalle, kun paikallisasemalla suojaus havahtuu myötäsunnassa. Laukaisu tapahtuu logiikan avulla, kun vasta-aseman lähettämä lupesignaali on vastaanotettu (CR, kuvat 7.5j ja 7.5k) ja yliulottuva vyöhyke 2 on havahtuneena. *Sallivaan yliulottumaan* perustuvassa logiikassa vasta-asemalle lähetettävä signaali saadaan yliulottuvan portaan havahtumisesta, jolloin suojauksen selektiivinen toiminta vaatii, että apuyhteys toteutetaan kaksikanavaisena, kuva 7.5j. *Sallivaan aliulottumaan* perustuvassa logiikassa vasta-asemalle lähetettävä signaali saadaan aliulottuvan portaan havahtumisesta, kuva 7.5k, jolloin apuyhteys voidaan toteuttaa yksikanavaisena.

Mikäli sallivaa yli- tai aliulottumaa sovelletaan kaksoisjohdon suojaukseen, voi viallisen johdon katkaisijoiden mahdollinen eriaikainen laukaisu saada aikaan ns. vikavirran suunnan kääntymisen rinnakkaisella terveellä johdolla välittömästi ensimmäisen katkaisijan aukeamisen jälkeen. Tämä voi johtaa terveen johdon suojauksen epäselektiiviseen toimintaan, minkä estämiseksi on peruslogiikkaa sopivasti täydennettävä. Erityistä huomiota vikavirran kääntymiseen tulee kiinnittää, mikäli kaksoisjohtoa syötetään vain yhdestä suunnasta tai mikäli toisen pään syötön oikosulkuteho on huomattavasti pienempi kuin toisen.

Sallivaan yliulottumaan perustuvaa logiikkaa on lisäksi usein täydennettävä ns. *heikon syötön logiikalla*. Logiikkaa tarvitaan asemalla, josta vikapaikkaan syötetty oikosulkuteho on pienentynyt niin, että luotettavaa impedanssimittausta ei voida enää tehdä, esim. asema B, kuva 7.5j. Heikon syötön logiikka mahdollistaa molempien päiden katkaisijoiden nopean laukaisun myös tällaisessa tilanteessa ja sen toiminta perustuu laukaisulupesignaalin kaitukseen (ECHO, kuva 7.5j).



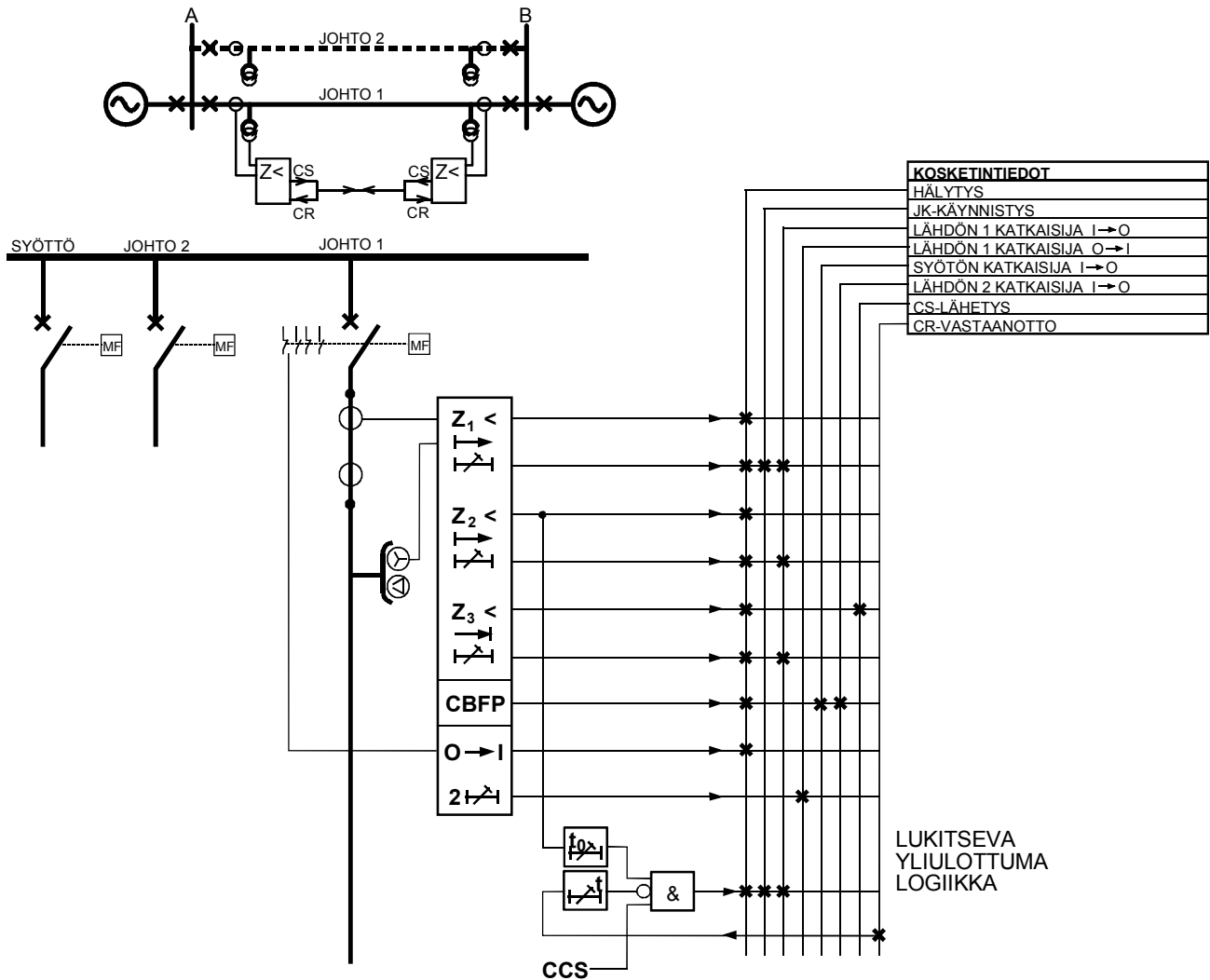
KUVA 7.5j. Lähdön distanssisuojauksen yleiskaavio. Suojausta on täydennetty sallivaan yliulottumaan perustuvalla apuyhteyslogiikalla sekä heikon syötön logiikalla asemalla B.



KUVA 7.5k. Lähdön distanssisuojauksen yleiskaavio. Suojausta on täydennetty sallivaan aliulottumaan perustuvalla apuyhteyslogiikalla.

Lukitukseen perustuvassa logiikassa lukitussignaali (CS) lähetetään vasta-asemalle, kun paikallasemalla suojaus havahtuu vastasuuntaan (porras Z_3 , kuva 7.5l). Laukaisu tapahtuu, kun yliulottuva vyöhyke on havahtuneena myötasuuntaan ja vasta-aseman lähettämää lukitussignaalia (CR) ei ole vastaanotettu ajassa t_0 , kuva 7.5l. Mikäli lukitussuojauksessa käytettäessä syntyy heikon syötön tilanne, esim. asema B, kuva 7.5l, toimii ns. vahvan syötön aseman suojaus selektiivisesti ilman lisälogiikoita vian ollessa suojattavalla johdolla tai vasta-aseman takana. Sen sijaan aseman B katkaisijan nopea laukaisu suojattavalla johdolla tapahtuvassa viassa on mahdollista ainoastaan suoralla pakkolaukaisulla asemalta A. Myös kaksoisjohdon tapauksessa on vikavirran kääntymisilmiö otettava huomioon selektiivisen toiminnan varmistamiseksi.

Lukitussuojauksessa on lisäksi erityistä huomiota kiinnitettävä apuyhteyden valvontaan, koska apuyhteyden toimimattomuus voi johtaa suojausten epäselektiiviseen toimintaan.



KUVA 7.5l. Lähdön distanssisuojauksen yleiskaavio. Suojausta on täydennetty lukitukseen perustuvalla yliulottumalogiikalla. CCS = lupa apuyhteiskanavan valvonnalta.

Pikajälleenkytkennän ulottaminen kattamaan koko suojattavan johdon pituus on mahdollista myöskin ilman apuyhteyden käyttöä, kun sovelletaan ns. vyöhykkeen 1 *ulottuman laajennuslogiikkaa*, jota automaattinen jälleenkytkentätoiminto ohjaa. Normaalissa tilassa suojattavan johdon molempien päiden vyöhyke 1 on yliulottuva. Joten vian tapahtuessa missä tahansa suojattavalla johdolla, käynnistyy jälleenkytkentä kummassakin päässä samanaikaisesti ko. vyöhykkeiden toimesta. Samanaikaisesti, kun jälleenkytkentäyksiköt ohjaavat johdon päiden katkaisijat kiinni, muutetaan vyöhykkeiden asettelua niin, että niistä tulee normaaliin tapaan aliulottuvia. Mikäli vika ei ole poistunut ja sijaitsee kummankin nyt aliulottuvan vyöhykkeen suojausalueella, seuraa selektiivinen lopullinen laukaisu tai uusi jälleenkytkentä. Mikäli vika sijaitsee lähellä vasta-asemaa paikallisaseman vyöhykkeen 1 ulottumattomissa, tulee paikallisaseman katkaisijan lopullinen laukaisu aikaselektiiviseltä vyöhykkeeltä I. varasuojalta. Logiikan haittana on kuitenkin tarpeettoman jälleenkytkennän tekeminen, mikäli vika oli alunperin vyöhykkeen 1 laajennetulla suojausalueella vasta-aseman takana olevalla johto-osuudella. Toista turhaa relettoimintaa ei kuitenkaan tule, koska vyöhykkeen 1 yliulottuma palautuu aliulottumaksi, jolloin vika, mikäli se on pysyvä, sijaitsee nyt suojausalueen ulkopuolella ja laukaisu tapahtuu aikaselektiivisesti lähimpänä vikapaikkaa olevan suojan toimesta.

Distanssisuojaus voi toimia tarpeettomasti ns. *tehonheilahtelutilanteissa*. Tehonheilahtelu johtuu järjestelmän syöttöpisteiden, yksittäisten voimalaitosten tai generaattoreiden sähkömotoristen voimien välisten vaihekulmien muutoksista ja niitä seuraavista heilahteluista toisiinsa nähden. Tällainen tilanne voi syntyä esim. kuormitusten nopeiden muutosten sekä

järjestelmän vikojen tai häiriöiden seurauksena. Tehonheilahtelun aikana jännitteen ja virran amplitudit sekä vaihekulmat järjestelmän eri osissa heilahtelevat. Myös taajuus voi vaihdella. Tämän seurauksena distanssireleen näkemä impedanssi heilahtelee pitkin tiettyä impedanssitason uraa, jonka kulku riippuu pääosin releen sijaintipaikalta nähtyjen verkon impedanssien suuruuksista sekä järjestelmän sähkömotoristen voimien suhteista ja niiden vaihekulmien muutosnopeuksista toisiinsa nähden heilahtelun aikana. Heilahtelun seurauksena impedanssiura saattaa hetkellisesti kulkea suojan toimintakarakteristikkan läpi havahduttaen tietyt vyöhykkeet. Jotta suojan tarpeeton toiminta voidaan tässä tilanteessa estää, on käytettävä erityistä *tehonheilahtelun lukitustoimintoa*, joka lukitsee suojan toiminnan heilahtelun ajaksi. Tämä lukitustoiminto tunnistaa tehonheilahtelun esimerkiksi impedanssin muutosnopeudesta ja lukitsee valitut suojan vyöhykkeet. Mikäli heilahtelu ei vaimene, voi tietty järjestelmän osa joutua *epätahtikäyttöön*, jolloin virran ja jännitteen vaihtelut voivat tulla huomattavan suuriksi. Tällöin suojauksen tulee toimia, ja mikäli tällaisessa tilanteessa distanssisuojan toimintaa järjestelmän osien erottamiseksi toisistaan ei voida taata, on suojausta täydennettävä erityisellä *tahdistaputoamissuojauksella*.

Erikoistapauksen distanssisuojausten toiminnassa muodostavat kaksoismaasulut. Kompensoitujen ja maasta erotettujen jakeluverkkojen tapauksessa voi olla perusteltua, että ainoastaan toinen kaksoismaasulussa mukana oleva lähtö laukaistaan pois. Tämä on mahdollista, mikäli suojausta täydennetään *vaihepreferenssilogiikalla*. Tällöin laukaistaan se lähtö, jonka maasulussa oleva vaihe on valitun vaihejärjestyksen mukaan ennen toisen lähdön maasulussa olevaa vaihetta.

Edellä kuvatut apuyhteyslogiikat voidaan toteuttaa myös käyttämällä suunnattuja ylivirtareleitä, jolloin puhutaan varsinaisesti ns. *suuntavertosuojauksesta*. Tämä suojaustapa soveltuu erityisen hyvin rengasmuotoisiin tai silmukoituhiin jakeluverkkoihin, joissa tarvitaan absoluuttisesti selektiivistä suojausta.