



Differentiaalireleiden vakavointikäyrien mallinnus ja koestusarvojen laskenta

Laura Järvinen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2022

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Järvinen, Laura

Differentiaalireleiden vakavointikäyrien mallinnus ja koestusarvojen laskenta

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 88 sivua.

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö AMK

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Sähköasemille toimitettaville relekaapeille tehdään vastaanottokeustus ennen toimitusta. Tähän kuuluva differentiaalireleiden vakavointikäyrien koestaminen tehdään automaattikoestuksena, missä on havaittu koestuslaatuun vaikuttavia ongelmia. Automaattikoestuksessa on vaikea havaita asettelujen ja tulosten virheitä, sillä niitä ei esitetä suoraan virtoina, vaan suojauskohteen nimellisarvojen suhdelukuina. Myös koestajien osaaminen releiden vakavointiperiaatteista on heikentynyt automaattikoestuksen myötä.

Tavoitteena oli saada konkreettinen apu differentiaalireleiden koestukseen ja parantaa näin koestuksen laatua. Ratkaisuna ongelmiin päätettiin kehittää laskentapohjat, jotka piirtävät differentiaalireleen vakavointikäyrän annettujen asettelujen mukaan ja laskee koestusarvot virtoina koestajan valitsemissa testipisteille. Lisäksi tehtävänä oli kertoa laskentapohjien yhteydessä releiden vakavoinnin periaatteista.

Releiden vakavoinnin periaatteisiin tutustuttiin sekä relemanuaalien että koestuslaittevalmistaja Omicronin sovellusohjeiden perusteella. Kerätyn tiedon perusteella vastattiin asetettuihin tutkimuskysymyksiin ja rakennettiin laskentapohjat Microsoft Excel® -taulukkolaskentaohjelmalla. Laskentapohjia testattiin relekoestuksissa opinnäytetyöprosessin aikana paremman luotettavuuden saavuttamiseksi. Testauksista saadun palautteen perusteella laskentapohjiin tehtiin parannuksia sekä korjauksia.

Lopputuloksena syntyi laskentapohjat Fingridin yhdeksän tyyppiä hyväksytyyn differentiaalireleen vakavointikäyrän mallinnukseen ja koestusvirtojen laskentaan. Osaa tehdyistä laskentapohjista ehdittiin käyttää todellisissa relekoestuksissa prosessin aikana. Käytännön kokemukset olivat pääosin myönteisiä. Koestukset onnistuivat laskentapohjien avulla ja ne olivat koestuslaitteen automaattikoestusta havainnollisempia. Myös releiden vakavoinnin periaatteet tulivat koestajille tutummiksi.

Avainsanat (asiasanat)

Differentiaalisuojaus, erovirta, vakavointivirta, vakavointikäyrä

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Järvinen, Laura

Modeling of differential relay stabilization curves and calculation of test values

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 88 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Relay cabinets delivered to substations are acceptance tested before delivery. Acceptance testing includes differential protection stabilization testing, which is performed as an automatic test. Related to automatic testing there are several problems, which affect quality and end results of these tests negatively. Errors in relay settings and test results are difficult to detect. This is because of automatic testing device does not display values as electric current, instead they are displayed as ratios of nominal values of protected object. General knowledge about stabilization of differential relays has also suffered due to automatic testing procedure.

Aim of this thesis was to provide concrete help and improvement the quality of the testing. Solution to the problems was to develop spreadsheets on Microsoft Excel®, which will generate differential relay characteristic based on given settings. Spreadsheets will calculate current values of selected test points by the relay test engineer. Task was also to include information about the stabilization of differential relays to the spreadsheets.

Stabilization and characteristic of differential relays were studied from relay manuals of each relay manufacturer. Information was also gathered from application notes provided by the testing device manufacturer Omicron. Research questions were answered based on obtained information. Spreadsheets were tested during the thesis process to achieve better reliability. Spreadsheets were corrected and improved based on obtained feedback.

As a result of this study, spreadsheets for the nine type-approved relays were completed. Some of the spreadsheets were tested in actual relay tests. Experiences and first impressions were mostly positive. Tests were successfully completed using the spreadsheets. Testing with spreadsheets were better defined rather than automatic testing. Improved knowledge about the stabilization of differential relays was beneficial for relay test engineers.

Keywords/tags (subjects)

differential protection, differential current, restraint current, characteristic of differential protection

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto.....	4
2	Tutkimusasetelma	9
3	Kantaverkossa esiintyvät viat.....	12
3.1	Oikosulku.....	12
3.2	Maasulku.....	13
3.3	Johtimen katkeaminen	14
3.4	Ylikuormitus	14
4	Kantaverkon suojaus	15
4.1	Katkaisijat.....	16
4.2	Mittamuuntajat	16
4.3	Releet.....	18
4.3.1	Distanssireleet.....	19
4.3.2	Differentiaalireleet	20
4.3.3	Ylivirtareleet.....	22
4.3.4	Nollavirtarele ja maasulun suuntarele	22
4.4	Johtosuojaus.....	23
4.5	Kisko- ja katkaisijavikasuojaus.....	25
4.6	Muuntajasuojaus	26
5	Differentiaalireleiden vakavointi ja vakavointikäyrät	27
5.1	Vakavointikäyrä	30
5.2	Kiskodifferentiaalisuojat	30
5.2.1	ABB REB670.....	30
5.2.2	GE B90.....	31
5.2.3	Siemens 7SS85.....	34
5.3	Johtodifferentiaalisuojat.....	35
5.3.1	ABB RED670	35
5.3.2	GE L90	36
5.3.3	Siemens 7SL86.....	39
5.4	Muuntajadifferentiaalisuojat	41
5.4.1	ABB RET670	41
5.4.2	GE T60.....	42
5.4.3	Siemens 7UT8.....	45
6	Työn toteutus	46
6.1	Perustelut ratkaisuille ja rajauksille.....	47

6.2 Laskentapohjien testaus	49
7 Työn tulokset	51
8 Pohdinta	56
Lähteet	58
Liitteet	60
Liite 1. Vakavoinnin laskentapohja ABB REB670	60
Liite 2. Vakavoinnin laskentapohja GE B90	62
Liite 3. Vakavoinnin laskentapohja Siemens 7SS85	64
Liite 4. Vakavoinnin laskentapohja ABB RED670	66
Liite 5. Vakavoinnin laskentapohja GE L90	68
Liite 6. Vakavoinnin laskentapohja Siemens 7SL86	71
Liite 7. Vakavoinnin laskentapohja ABB RET670	74
Liite 8. Vakavoinnin laskentapohja GE T60	79
Liite 9. Vakavoinnin laskentapohja Siemens 7UT8	84
 Kuviot	
 Kuvio 1. Fingrid Oyj:n rooli sähkönsiirtojärjestelmässä	5
Kuvio 2. Suomen suurjänniteverkko	6
Kuvio 3. Periaatekuva 1) kolmivaiheisesta oikosulusta sekä 2) kaksivaiheisesta oikosulusta ...	13
Kuvio 4. Periaatekuva yksivaiheisesta maasulusta sekä kaksivaiheisesta maaosulusta	14
Kuvio 5. Differentiaalisuojauksen toimintaperiaate	21
Kuvio 6. Yd11 muuntajan kytkentäkaavio, ensiö- ja toisiokäämien vaihevirtavektorit sekä laskentakaavat vaihevirtojen kulmakompensointiin	28
Kuvio 7. REB670-releen vakavointikäyrä	31
Kuvio 8. B90-releen vakavointikäyrä	32
Kuvio 9. B90-releen vakavointikäyrä herkennystoiminnolla	33
Kuvio 10. 7SS85-releen vakavointikäyrä	34
Kuvio 11. RED670-releen vakavointikäyrä	35
Kuvio 12. L90-releen ominaisvakavointikäyrä	37
Kuvio 13. L90-releen Omicron testiympäristöön sovellettu vakavointikäyrä	38
Kuvio 14. 7SL86-releelle soveltuva vakavointikäyrä	40
Kuvio 15. RET670 Vakavointikäyrä	42
Kuvio 16. T60 Vakavointikäyrä	43
Kuvio 17. 7UT8 vakavointikäyrä	45

Kuvio 18. Esimerkki 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan asettelujen perusteella mallinnetusta vakavointikäyrästä 53

Kuvio 19. Esimerkki 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan vakavointikäyrästä ja testipisteistä ... 55

Taulukot

Taulukko 1. Opinnäytetyössä käsiteltävät relemallit..... 8

Taulukko 2. T60-releen laskentakaavat YNynd11 muuntajan vaihekulmaeron ja nollasekvenssin kompensointiin 44

Taulukko 3. Esimerkki Siemens 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan asettelutaulukosta 52

Taulukko 4. Esimerkki 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan testipistetaulukosta 54

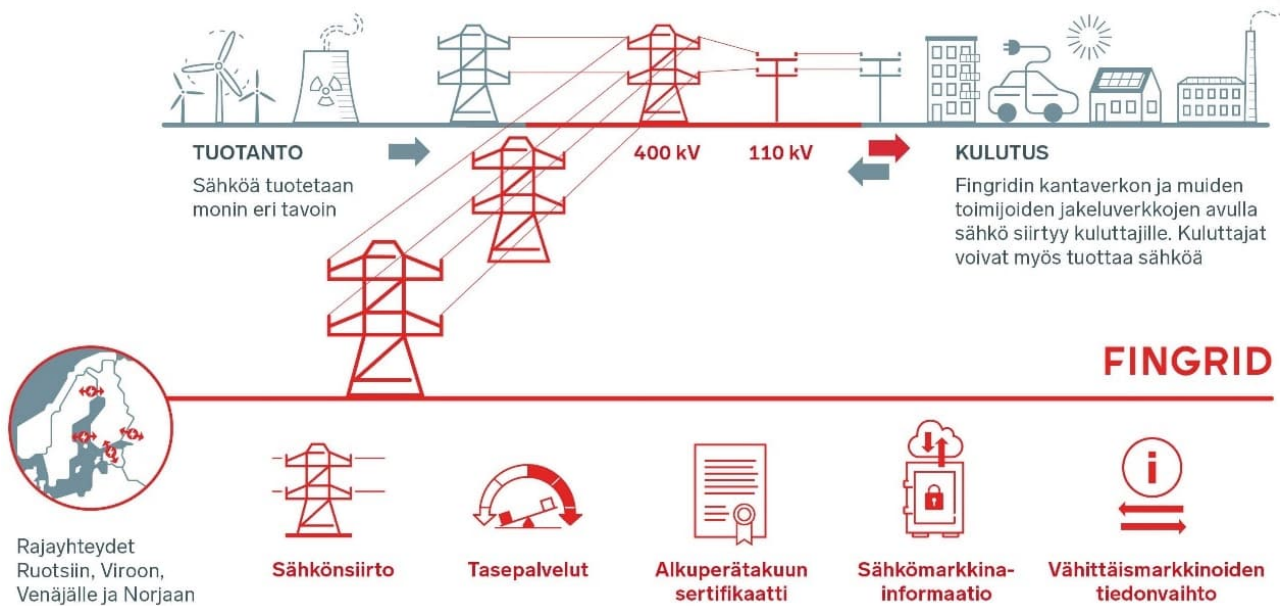
1 Johdanto

Elämme erityisen sähköriippuvaisessa maailmassa, joka sähköistyy edelleen kiihtyvällä tahdilla. Sähköjärjestelmä on yksi yhteiskuntamme tärkeimpiä infrastruktuureja ja siinä sähkönsiirtoverkot ovat merkittävässä roolissa mahdollistaessaan sähkön siirtämisen voimalaitoksilta kuluttajille. Koska lähes kaikki yhteiskuntamme toiminnot riippuvat tavalla tai toisella sähköstä, ovat sähkönsiirronhäiriöt erityisen ei-toivottuja. Häiriöistä aiheutuvat sähkökatkokset näkyvät suorana haittana käyttäjille, mutta myös suuremmassa mittakaavassa kansantaloudellisina menetyksinä.

Sähköverkon vikatilanteita on mahdotonta estää täydellisesti, joten vikojen aiheuttamat haitat pyritään minimoimaan suojausjärjestelmän avulla. Hyvin toimivan suojausjärjestelmän sanotaankin olevan käyttövarman sähköverkon edellytys. Tästä syystä suojausjärjestelmän suunnitteluun, testaamiseen sekä toimintaan kiinnitetään paljon huomiota sähköverkkoa rakennettaessa. Suojausjärjestelmän kelpoisuus varmistetaan muun muassa koestuksilla, joissa testataan sekä yksittäisiä suojausjärjestelmiä että varmistetaan kattavasti koko suojausjärjestelmän oikea toiminta.

Opinnäytetyön toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön on toimeksi antanut Fingrid Oyj. Fingrid on yhtiö, joka ylläpitää Suomen kantaverkkoa vastaten kantaverkon rakentamisesta, ylläpidosta, kehittämisestä ja valvonnasta sekä käytön suunnittelusta. Lisäksi sen vastuulla on tasepalvelu ja sähkömarkkinoiden toiminnan edistäminen. Fingrid mahdollistaa sähkön tuottajien ja kuluttajien keskinäisen kaupan koko Suomen laajuudelta sekä maan rajat ylittävän sähkökaupan. Fingridin asiakkaita ovat sähköntuottajat, sähkön suurkuluttajat, verkkoyhtiöt sekä muut sähkömarkkinatoimijat. Yhtiön rooli Suomen sähköjärjestelmässä on esitetty kuviossa 1. (Kuluttajatietoa n.d.; Pohjois-mainen sähköjärjestelmä ja liittynät muihin järjestelmiin n.d.)



Kuvio 1. Fingrid Oyj:n rooli sähkönsiirtojärjestelmässä (Kuluttajätietoa n.d.)

Kantaverkko on valtakunnan laajuinen sähkönsiirron runkoverkko, jonka välityksellä sähkö saadaan jaettua kaikkialle Suomeen. Noin 77 prosenttia kaikesta maassamme siirretystä sähköstä kulkee kantaverkon kautta. Kantaverkkoon liittyvät suuret voimalaitokset, tehtaot sekä alueelliset jakeluverkot. Kantaverkko koostuu sähköasemista ja voimajohtoista. Siihen kuuluu yhteensä noin 120 sähköasemaa ja 14 400 kilometriä voimajohtoja. (Fingridin sähkönsiirtoverkko n.d.; Kuluttajätietoa n.d.) Suomen kattava suurjänniteverkko on esitetty kuviossa 2. Fingridin omistama kantaverkko on merkitty karttaan jännitetason mukaan sinisellä, vihreällä ja punaisella värillä.



Kuvio 2. Suomen suurjänniteverkko (Fingridin Oyj:n sähkösiirtoverkko 2022)

Suomen kantaverkko kuuluu yhteispohjoismaiseen sähköjärjestelmään, jossa on mukana myös Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan sähkösiirtoverkot. Kantaverkostamme on kaksi 400 kilovoltin vaihtosähköyhteyttä Ruotsiin ja yksi 220 kilovoltin vaihtosähköyhteys Norjaan. Lisäksi kantaverkosta on tasasähköyhteyksiä Ahvenanmaalle, Ruotsiin, Viroon ja Venäjälle. (Pohjoismainen sähköjärjestelmä ja liittynät muihin järjestelmiin n.d.)

Opinnäytetyön tausta

Opinnäytetyön toimeksiantajan sähköasemille toimitettaville relekaapeille tehdään vastaanotto-koestus ennen toimitusta. Siinä suoja-releiden toiminta koestetaan perusteellisesti, jotta voidaan varmistua toimintarajojen ja asettelujen olevan määrätyn mukaisia. Relekaappien vastaanotto-koestukseen kuuluvassa differentiaalireleiden vakavointikäyrien koestamisessa on havaittu ongelmia. Vakavointikäyrät koestetaan Omicronin automaattikoestuksella. Koestuksen alussa releasettelut luetaan releen asettelutiedostosta koestuslaitteen ohjelmaan. Ohjelma ei osaa arvioida releen asettelu-arvojen oikeellisuutta, vaan se hyväksyy sekä oikeat että virheelliset asettelu-arvot. Mikäli releelle on alun perin annettu virheelliset asettelut, automaattikoestus tapahtuu näillä virheellisillä arvoilla, jolloin myös koestustulos on virheellinen.

Releasettelujen virheellisyyttä on myös vaikea huomata koestajan toimesta, sillä automaattikoestus ei näytä asettelu- ja koestusarvoja suoraan virtoina, vaan suojauskohteen nimellis-arvojen suhdelukuina. Osa koestajista tarkastaa automaattikoestuksen tulosten oikeellisuuden laskemalla käsin muutamia koestusarvoja. Käsin laskenta on kuitenkin hidasta ja hankalaa, joten siinä tulee helposti virheitä. Se ei myöskään ole yleisesti käytössä oleva tapa, eivätkä kaikki koestajat osaa tehdä laskentoja. Näin ollen tarkistuslaskenta voi jäädä kokonaan tekemättä.

Automaattikoestus ei vaadi koestajilta yhtä syvää ymmärrystä releiden toiminnasta ja laskentaperiaatteista, kuin aiemmin käytetyt manuaalisemmat menetelmät. Siirtyminen automaattikoestukseen onkin alkanut näkyä koestajien osaamisessa, mikä voidaan havaita relekoestuksen laadusta. Esimerkiksi releen toimiessa väärin on vianhaku hyvin hankalaa, mikäli koestaja ei ymmärrä releen toiminnan sekä koestusarvojen laskennan periaatteita.

Kaikille toimeksiantajan käyttämille differentiaalireleille ei myöskään ole toteutettu koestuslaittevalmistajan toimesta vakavointikäyrän mallinnusta tai mallinnus ei toimi täysin. Esimerkiksi duplex-virtojen kytkentää ei ole huomioitu lainkaan koestuslaitteiden testiohjelmissa.

Näiden edellä kuvailtujen ongelmien vuoksi toimeksiantajalla on syntynyt tarve parantaa differentiaalireleiden vakavointikäyrien koestusta. Ongelmiin on tärkeä saada ratkaisu, koska vakavoinnin koestuksella varmennetaan differentiaalireleiden oikeat asettelu-arvot ja toimintarajat, jotka ovat olennaisen tärkeitä suojauksen tarkoituksenmukaisen toiminnan kannalta.

Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää koestajille laskentapohjat, jotka piirtävät differentiaalireleen vakavointikäyrän annettujen asettelujen mukaan ja laskee koestusarvot koestajan valitsemille pisteille. Lisäksi opinnäytetyössä on tavoitteena avata releiden vakavointilaskennan perusteita ja liittää tieto laskentapohjien yhteyteen. Toteutettavat laskentapohjat ovat konkreettinen keino, jonka avulla pyritään helpottamaan koestusarvojen laskentaa ja parantamaan näin differentiaalireleiden koestusta.

Opinnäytetyön rajaus

Laskentapohjat toteutetaan toimeksiantajan siirtoverkon suojauksessa käyttämille differentiaalisuojareleille. Työ rajataan käsittelemään toimeksiantajan uudet, tyyppihyväksytyt differentiaalisuojareleet, joita on yhteensä yhdeksän kappaletta. Työhön valitut releet on esitelty taulukossa 1 valmistajittain ja suojauskohteittain.

Taulukko 1. Opinnäytetyössä käsiteltävät relemallit

	ABB	General Electric	Siemens
Johtosuoja	RED670	L90	7SL86
Kiskosuoja	REB670	B90	7SS85
Muuntajasuoja	RET670	T60	7UT8

Muuntajien osalta laskennat toteutetaan vain YNynd11 kytkentäiselle muuntajalle toimeksiantajan tehomuuntajien kytkentäryhmän ollessa lähes poikkeuksetta tämä.

Opinnäytetyön teoriaosiossa perehdytään yleisesti kantaverkon vikoihin sekä suojaukseen, jotta lukija saisi käsityksen suojauksen merkityksestä sähkönsiirrolle sekä differentiaalireleiden tehtävästä tässä kokonaisuudessa. Differentiaalireleen lisäksi työssä esitellään lyhyesti muita yleisimpiä siirtoverkon suojauksessa käytettyjä reletyyppejä.

2 Tutkimusasetelma

Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyössä on tavoitteena rakentaa laskentapohjat, jotka piirtävät differentiaalireleiden vakavointikäyrän annettujen asettelujen mukaisesti ja laskee koestusvirta-arvot valituille testipisteille. Jotta tällaiset laskentapohjat saadaan rakennettua, on vastattava seuraaviin kysymyksiin:

- Miten releen vakavointivirta määritetään?
- Mitkä asettelut määrittävät releen vakavointikäyrän muodon ja miten?

Nämä kysymykset toistuvat jokaisen työssä käsiteltävän relemallin kohdalla. Kysymyksiin vastaamalla kootaan se pohjatieto, jota tarvitaan laskentapohjien toteutuksessa.

Tutkimusote ja aineistonkeruumenetelmät

Tämä opinnäytetyö on tutkimuksellinen kehittämistyö, jonka lähtökohtana ovat työelämästä nousevat käytännön ongelmat. Nimensä mukaisesti tutkimuksellinen kehittäminen yhdistää konkreettisen kehittämistoiminnan ja tutkimukselliset menetelmät. Työelämän todelliset ongelmat ja kysymykset ohjaavat tiedon tuottamista. (Toikko & Rantanen 2009.)

Kehittämistutkimus on laadullisen ja määrällisen tutkimuksen yhdistelmä tai pelkästään laadullinen tutkimus, ja sen päämääränä on muutos. Muutoksen aikaansaamiseksi voidaan kehittää esimerkiksi tuotetta, menetelmää tai organisaatiota. (Kananen 2015a, 39–40.) Tässä opinnäytetyössä käytetään laadullista aineistonkeruumenetelmää, joka perustuu ilmiön ymmärtämiseen. Tutkittavaan ilmiöön voidaan perehtyä jo olemassa olevien aineistojen avulla tai aineistoa voidaan kerätä nimenomaista tutkimusta varten. Tutkija ei välttämättä tiedä, mitä hän tarkalleen ottaen etsii aineistosta ja mikä tuottaa ratkaisun ongelmaan. Siksi myöskään aineiston määrää ei tiedetä tarkalleen alussa, vaan aineistoa kerätään, kunnes ongelma saadaan ratkaistua. Aineiston avulla opitaan ilmiöstä ja tuotetaan vastaukset tutkimuskysymyksiin. (Kananen 2015b, 128–129).

Tässä opinnäytetyössä pyritään parantamaan differentiaalireleiden vakavoinnin koestusta kehittämällä koestajien työn laatua parantava tuote, laskentatyökalu. Aineistona käytetään jo olemassa olevia dokumentteja, kuten valmistajien relemanuaaleja ja muita teknisiä dokumentteja sekä

koestuslaitevalmistaja Omicronin sovellusohjeita. Aineistoa kerätään, kunnes ymmärretään, mitä tietoja ongelman ratkaisemiseksi tarvitaan ja saadaan vastattua asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Eettiset periaatteet

Opinnäytetyössä noudatetaan hyviä tieteellisiä käytänteitä sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun eettisiä periaatteita parhaan mukaan läpi koko prosessin. Työ toteutetaan ja raportoidaan noudattaen tarkkuutta ja huolellisuutta. Luottamuksellista tietoa käsitellään asianmukaisella huolellisuudella.

Opinnäytetyön tiedonhankinta ja lähdeviittaukset tehdään hyviä eettisiä periaatteita kunnioittaen. Asiantuntijoiden sekä tutkijoiden tekemää työtä kunnioitetaan viittaamalla asianmukaisesti heidän julkaisuihinsa. Käytettävien lähteiden luotettavuus tarkastellaan ja lähteistä käytetään mahdollisuuksien mukaan alkuperäisiä julkaisuja. Standardeihin ja lakipykäliin viitataan työssä suurin sitaatein, mutta muuten suoraa siteerausta pyritään välttämään.

Luotettavuus

Opinnäytetyöprosessi on altis erilaisille virheille, jotka voivat johtua opinnäytetyöntekijästä tai aineistosta. Tässä työssä aineiston luotettavuus on olettavasti hyvällä tasolla. Tutkittavana olevat releet ja niiden tekniset dokumentit ovat syntyneet pitkällisen kehitystyön tuloksena. Kyse ei ole täysin uusista tai mullistavalla tavalla aiemmista malleista poikkeavista laitteista, joten voidaan pitää todennäköisenä, että laitedokumenteissa esiintyneet virheet on jo suurimmaksi osaksi korjattu.

Tässä työssä suurin luotettavuusriski on opinnäytetyöntekijä ja tämän tekemät virheet. Mikäli opinnäytetyöntekijä ymmärtää aineiston väärin ja rakentaa releen vakavointilaskennan virheelliseen tulkintaan perustuen, ei laskentapohja toimi luotettavalla tavalla. Myös oikean tulkinnan jälkeen voi laskentakaavoihin tehdä helposti laskennallisia virheitä.

Työn tulosten luotettavuutta pyritään parantaa todentamalla tulosten paikkansa pitävyyttä. Tässä opinnäytetyössä laskentapohjien toimivuus ja laskentakaavojen oikeellisuus varmistetaan käytännön testauksilla. Laskentapohjien valmistuessa voidaan laskentojen paikkansapitävyys testata käytännössä relekoestusten sekä tyyppihyväksyntä prosessiin liittyvien testausten yhteydessä. Mikäli

laskentapohjasta ja todellisesta koestuksesta saadaan samoilla asetteluilla samat tulokset, on laskenta hyvin todennäköisesti onnistunut.

Aikataulullisista syistä laskentapohjien testausta ei kuitenkaan haluttu sisällyttää opinnäytetyöhön, vaan laskentojen toimivuus testataan tapauskohtaisesti todellisten tyyppi hyväksyntään liittyvien testausten tai vastaanottokeustusten yhteydessä. Testauksen suorittaa relekoestaja tai tyyppi hyväksynnän suorittaja, jotka raportoivat tuloksista opinnäytetyöntekijälle. Tämän perusteella mahdolliset laskentavirheet tiedetään selvittää ja korjata.

Jokaisen relemallin laskentapohjaa ei välttämättä ehditä testata opinnäytetyöprosessin aikana. Testattavat laskentapohjat määräytyvät sen mukaan, mitä releitä sattuu prosessin aikana olemaan tyyppi hyväksynnässä ja vastaanottokeustuksissa. Opinnäytetyön aikana testaamatta jäävät laskentapohjat saadaan testattua Omicronin automaattikoestusohjelmalla, jolla saadaan teoreettisella tasolla testattua, laukaisisiko kyseinen relemalli tietyillä virta-arvoilla vai ei. Opinnäytetyön aikana testaamatta jääneet laskentapohjat tulee kuitenkin testattua jälkeen päin, kun kyseisen relemallin tyyppi hyväksyntä tai vastaanottokeustus on ajankohtainen. Opinnäytetyöprosessin päättyessä laskennoissa voi siis olla vielä huomaamatta jääneitä virheitä, joita korjataan vielä myöhemmin käytännön kokemuksen antaman tiedon myötä.

Myös laskentapohjien testauksen onnistuminen vaikuttaa osaltaan laskentapohjien luotettavuuteen. Ymmärtääkö koestaja laskentapohjan toiminnan oikealla tavalla ja antaa taulukkoon oikeat asetellut. Osaako koestaja käyttää laskennasta saatuja tuloksia tarkoituksenmukaisella tavalla. Myös nämä seikat vaikuttavat tuleeko laskentapohjien toimivuus testattua oikein ja mahdolliset poikkeavuudet havaittua.

3 Kantaverkossa esiintyvät viat

Suomen sähkösiirtoverkko koostuu pääasiassa avojohdoista, jotka ovat alttiina erilaisille ulkoisten tekijöiden aiheuttamille vikaantumisille. Vikoja siirtoverkkoon aiheutuu esimerkiksi seuraavista syistä (Kantaverkon käsikirja 2011, 205.):

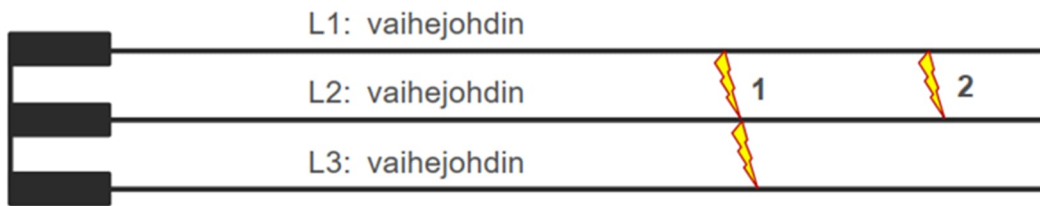
- ylijännitteen, kuten salaman aiheuttama valokaari eristysvälin yli
- eristyksen vioittuminen (vanheneminen, mekaaninen haurastuminen, vahingoittuminen kaivuutyössä, ilkivalta)
- vieras esine eristävässä ilmapälissä (lika, eläin, puunoksa tai muu esine linjalla)
- kiinni unohtuneet työmaadoitusvälineet
- virheelliset käyttötoimenpiteet (kuormitusvirrallisen erottimen avaus tai virheellinen tahdistus).

Viat voivat johtaa sähköverkon häiriöön ja aiheuttaa sähkönjakelun katkeamisen. Suurin osa siirtoverkon käyttöhäiriöistä on johtovikoja ja näistä edelleen suurin osa ilmastollisten ylijännitteiden aiheuttamia vikoja. Siirtoverkon yleisin avojohdolla tapahtuva vikatilanne on salamaniskun aiheuttama 1-vaiheinen maasulku. Kantaverkon avojohdot on pääsääntöisesti suojattu virtajohtimien yläpuolelle sijoitetuilla ukkosjohtimilla, jotka suojaavat virtajohtimia tehokkaasti suorilta salamaniskuilta. Salama voi kuitenkin iskeä suoraan ukkosjohtimeen tai pylvääseen ja aiheuttaa näin pylvään potentiaalinen nousun ympäristöön nähden. Jos pylvään ja vaihejohtimen välinen eristys ei riitä, tapahtuu ylilyönti pylväästä vaihejohtimeen. (Elovaara & Haarla 2011b, 339; Kantaverkon käsikirja 2011, 205.)

3.1 Oikosulku

Oikosulku syntyy virtapiirin johtimien joutuessa johtavaan yhteyteen keskenään. Tällainen yhteys voi syntyä esimerkiksi valokaaren kautta. Oikosulku voi olla kaksi- tai kolmivaiheinen ja siinä voi olla mukana myös maakosketus. Kuviossa 3 on havainnollistettu kolmi- ja kaksivaiheisen oikosulku. Oikosuluille ominaista on suuri virta sekä vikapaikan pieni jännite. Sähköverkon johtojen ja muuntajien impedanssit rajoittavat oikosulkuvirran suuruutta. Tästä syystä oikosulkuvirta on sitä pienempi, mitä kauempana johtoa syöttävältä asemalta oikosulku tapahtuu. Oikosulku voi syntyä siirtoverkkoon esimerkiksi myrskyn seurauksena, kun kova tuuli heilauttaa kaksi vaihejohtinta

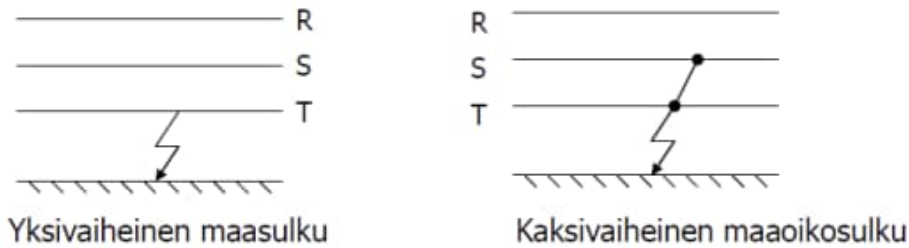
yhteen. Tällöin kahden johtimen välille muodostuu puhdas 2-vaiheinen oikosulku. Salamanisku aiheuttaa tyypillisesti kaksi- tai kolmivaiheisen maaoskosulun. (Kantaverkon käsikirja 2011, 208.)



Kuvio 3. Periaatekuva 1) kolmivaiheisesta oikosulusta sekä 2) kaksivaiheisesta oikosulusta (Puttonen 2019b, 3)

3.2 Maasulku

Maasulku syntyy, kun virtapiirin johtimelle muodostuu johtava yhteys maan kanssa, tätä on havainnollistettu kuviossa 4. Johdin voi olla suorassa kontaktissa maahan tai välillisessä kontaktissa jonkin maahan johtavassa yhteydessä olevan osan kautta. Maasulku aiheuttaa vikapaikalle hengenvaarallisen askeljännitteen sekä maasulkuvirran. Lisäksi maasulkuvirrasta aiheutuu ympäristöön tulipalon vaara. Maasulkuvirran suuruus riippuu vikaresistanssin suuruudesta sekä siitä, kuinka moni järjestelmän tähtipiste on maadoitettu ja onko tähtipisteet maadoitettu suoraan vai virtaa rajoittavan kuristimen kautta. Verkko voi toisaalta olla myös maasta erotettu tai sammutettu, jolloin maasulkuvirrat jäävät pieniksi. Siirtoverkossa johdot ja muuntajat rajoittavat maasulkuvirtaa samoin kuten oikosulkuvirtaakin. (Elovaara & Haarla 2011b, 340; Kantaverkon käsikirja 2011, 209.) Maasulku voi syntyä esimerkiksi salamaniskun aiheuttaman ylijännitteen tai eristysvian seurauksena. Myös avojohtoon kaatunut puu tai liian lähelle johtoa ulottuva työkone voivat aiheuttaa maasulun. (Kantaverkon käsikirja 2011, 209.)



Kuvio 4. Periaatekuva yksivaiheisesta maasulusta sekä kaksivaiheisesta maaokosulusta (Puttonen 2019a, 9 muokattu)

3.3 Johtimen katkeaminen

Jos avojohdon katketessa johtimen molemmat päät putoavat maahan, aiheutuu tästä vikaresistanssia sisältävä maasulku. Jos johtimen pää jää puolestaan roikkumaan siten, ettei maakosketusta synny, on kyseessä sarjavika. Siinä kuormitusvirta on epäsymmetristä ja tämä voi aiheuttaa vaurioita kulutuslaitteille. Syöttävän verkon suojaus ei aina pysty havaitsemaan sarjavikaa, koska verkossa ei tällöin ole maasulkuja eikä oikosulkuja. Tällöin suojausten toiminta riippuukin verkon rakenteesta ja kuormituksesta. Johtimen katkettua kuormitetuilla 220 kV:n ja 400 kV:n säteisjohdoilla on nollavirtaa, sillä näillä jännitetasoilla on tähtipisteestään maadoitettu muuntaja säteisjohdon molemmissa päissä. Sen sijaan 110 kV:n säteisjohdolla on johtimen katkettua vain pieni kapasitanssien aiheuttama nollavirta, koska 110 kV:n verkko on maadoitettu vain tiettyjen muuntajien tähtipisteiden kautta. Säteisjohdolla maadoitettu tähtipiste jääkin johtimen katkettua katkoskohdan toiselle puolelle, jolloin nollavirta pääsee kulkemaan vain maakapasitanssien kautta. (Elovaara & Haarla 2011b, 337–338, 341; Kantaverkon käsikirja 2011, 209.)

3.4 Ylikuormitus

Verkon ylikuormitus aiheuttaa laitteiden kuumentumista sekä johtimille lämpölaajenemisesta johtuvaa liiallista riippumaa. Laitteet, kuten muuntajat, generaattorit, kondensaattorit, reaktorit ja moottorit, voivat vaurioitua ylikuumentuessaan, joten niillä käytetään laukaisevaa ylikuormitus-suojausta. Kantaverkossa johdoilla ei tavallisesti ole laukaisevaa ylikuormitussuojausta, vaan johdoille on asetettu kuormitusrajat käytönvalvontajärjestelmään, joka antavat verkonvalvojalle hälytyksen ylikuormituksesta. Hälytyksen perusteella verkonvalvoja tietää ryhtyä toimenpiteisiin. Joillakin 110 kV:n johdoilla on ylikuormitussuojaus, joka avaa rengasverkon, ettei suojattu johto

pääse ylikuormittumaan muualla sattuneen vian vuoksi. Esimerkiksi 400 kV:n johdon irrottua verkosta voi rinnakkainen 110 kV:n johto ylikuormittua. (Elovaara & Haarla 2011b, 342.)

4 Kantaverkon suojaus

Käytännössä vikatilanteita sähköverkossa ei voida täysin estää, joten verkkoa on suojattava siten, etteivät häiriöt johtaisi vaaratilanteisiin ja laitevaurioihin. Tätä edellyttää myös sähköturvallisuuslaki, joka asettaa perusvaatimukset sähkölaitteistojen turvallisuudelle.

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;*
 - 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;*
 - 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.*
- (STL 1135/2016, §6.)*

Lisäksi lakiin on kirjattu turvallisuudesta seuraavalla tavalla:

Sähkölaitteiston on täytettävä olennaiset turvallisuusvaatimukset. Olennaiset turvallisuusvaatimukset koskevat suojausta sähköiskulta, suojausta tulipaloa ja kuumuutta vastaan, suojausta muilta haittavaikutuksilta, erityislaitteistojen sekä erityisolosuhteiden vaatimuksia, eri laitteistojen keskinäistä yhteensopivuutta sekä muita olennaisia rakennevaatimuksia. (STL 1135/2016, §31.)

Sähköverkon suojaus on kokonaisuus, joka muodostuu mittamuuntajista, suojureleistä ja katkaisijoista. Suojauksen tehtävänä on tunnistaa ja erottaa vikaantunut osa verkosta luotettavasti ja nopeasti. Kun vikaantunut osa saadaan erotettu verkosta, voi tehonsiirto jatkua turvallisesti muussa verkossa. Erityisesti oiko- ja maasulkuihin liittyy usein niin suuria vikavirtoja, että erotus on tehtävä nopeasti, jotta vältytään vaaratilanteilta ja laiterikoilta. Pitkittyessään siirtoverkon viat voivat johtaa verkon stabiiliuden menetykseen. Turvallisuusseikkojen lisäksi myös verkon jännitteen laatuvaatimukset sekä taloudelliset seikat edellyttävät verkon suojausta. Laatuun vaikuttavat mm. jännitekuoppien kesto sekä johtojen nopea käytönpalautus. Taloudelliset menetykset jäävät pienemmiksi, kun verkkoa voidaan vian aikana käyttää kuitenkin mahdollisimman laajasti. (Elovaara & Haarla 2011b, 335–337.)

Hyvä suojausjärjestelmä on selektiivinen, luotettava, herkkä ja nopea. Se toimii poikkeuksellisissa-kin käyttötilanteissa. Selektiivisyys tarkoittaa sitä, että vikatilanteessa vain vikaa lähimpänä olevat katkaisijat avataan, jolloin mahdollisimman pieni verkon osa kytkeytyy irti. Selektiivisyys tarkoittaa myös suojauksen kattavuutta, sitä että kaikki verkon osat on suojattu jollakin suojalaitteella. Luotettavuus sisältää puolestaan sekä toiminta- että käyttövarmuuden. Rele ei saa antaa laukaisukäskyä, kun sen suojaamalla alueella ei ole vikaa, ja releen tulee toimia, kun sen suojaamalla alueella on vika. Suojauksen nopea toiminta on hyvin tärkeää vian poistamisessa, jotta vian aiheuttamat vahingot ja vaara jäisivät mahdollisimman pieniksi. Vikavirrat aiheuttavat suuria rasituksia verkolle ja vika-ajan pidentyessä myös verkon stabiilius vaarantuu. Suojauksen herkkyyden tarkoittaa sitä, että suojauksen on kyettävä toimimaan silloinkin, kun vikavirrat ovat pienentyneet esimerkiksi muuttuneen käyttötilanteen vuoksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 342–343; Kantaverkon käsikirja 2011, 206–207; Network Protection & Automation Guide 2011, luku 2, 5–7.)

4.1 Katkaisijat

Katkaisijat ovat kytkinlaitteita, joita käytetään virtapiirien sulkemiseen ja avaamiseen. Katkaisijoiden avulla ohjataan sähkön kulkua ja kytketään vikoja irti verkosta. Katkaisijalle on ominaista, että se kykenee avaamaan ja kytkemään virtapiirin myös vikatilanteessa, jossa virtapiirissä on moninkertainen virta verrattuna katkaisijan omaan mitoitusvirtaan. (Elovaara & Haarla 2011b, 162–163.)

Katkaisijaa voidaan ohjata manuaalisesti ja automaattisesti. Verkon vikaantuessa katkaisijan auki-ohjaus tapahtuu automaattisesti suojarelleen ohjaamana. Myös kiinniohjaus on automaattinen ohjaussignaalin tullessa jälleenkytkentäreleeltä. Manuaalisia ohjauskäskyjä voidaan puolestaan antaa paikallisesti tai etäohjauksella verkonkäyttökeskuksesta. (Elovaara & Haarla 2011b, 162–163.)

4.2 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat, eli virta- ja jännitemuuntaja ovat hyvin tärkeässä asemassa mittaus- ja suojaustekniikassa. Ne ovat erikoisrakenteisia muuntajia, joiden tehtävänä on muuntaa päävirtapiirin virta ja jännite toisiopiiriin kytketyille releille ja mittalaitteille sopivaan suuruuteen ja suojata näitä ylikuormituksilta. Mittamuuntajat erottavat mittauspiirin galvaanisesti päävirtapiiristä ja mahdollistavat toisolaitteiden sijoittamisen etäämmäs mittauspaikasta, kuten erilliseen sähköasemarakennukseen. (Elovaara & Haarla 2011b, 198.)

Mittamuuntajan on toistettava mittaamansa suureet mahdollisimman virheettömästi normaalissa kuormituksessa. Sen tuottamassa toisiopiirin virrassa tai jännitteessä on käytännössä kuitenkin aina virhettä, jota aiheuttavat mittamuuntajan tyhjäkäyntivirta- sekä käämitysten hajaimpedanssit. (Elovaara & Haarla 2011b, 198.) Mittamuuntajien on kyettävä toimimaan riittävällä tarkkuudella myös verkossa tapahtuvien vikojen aikana, sillä suojauksen toiminta perustuu niiden välityksellä saatuun tietoon.

Sekä virta- että jännitemuuntajaa voidaan käyttää myös verkon maasulkutilanteiden indikointiin. Virtamittaukseen perustuva menetelmä on virtamuuntajien summakytkeä. Jännitteen mittaukseen perustuva menetelmässä mitataan verkon nolapisteen jännitettä. (Elovaara & Haarla 2011b, 221.)

Virtamuuntaja

Virtojen mittaaminen on haasteellista, sillä mittausalue on hyvin laaja normaalien kuormitusvirtojen ja vikavirtojen välisten erojen ollessa erittäin suuria. Erilaisiin käyttötarkoituksiin tarvitaankin erilaisia virtamuuntajia. Virtamuuntajat voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan suojaaviin ja mittaaviin. Ne eroavat toisistaan sekä vaatimuksiltaan että mitoitukseltaan. Toisaalta samassa virtamuuntajalaitteessa voi olla useampi erilaistenkin sydän, jolloin suojaus- ja mittaustarkoitukseen ei tarvitakaan eri virtamuuntajia. Esimerkiksi kantaverkon sähköasemilla käytetään paljon nelisydämiä virtamuuntajia, joilla tyypillisesti yksi sydän on erikoistunut mittaamiseen ja kolme muuta suojaamiseen. (Elovaara & Haarla 2011b, 198–199, 211; Kantaverkon käsikirja 2011, 447.)

Mittaavia virtamuuntajia käytetään mm. päto- ja loistehomittauksissa, energiamittauksissa sekä käytönvalvontamittauksissa (Viinikainen 2019). Mittaavan virtamuuntajan tulee toistaa mitattavan piirin virta mahdollisimman tarkasti normaalissa kuormituksessa. Sen mittaussydän on poikkipinta-alaltaan suhteellisen pieni. Siksi sydän kyllästyy helposti ensiövirtapiirin virran kasvaessa ja alkaa rajoittaa virtaa toisiopiirissä. Mittaussydämelle tämä ominaisuus on hyödyllinen, sillä toisiovirtaa rajoittamalla se suojaa piirin herkkiä mittalaitteita. (Aura & Tonteri 1996, 86; Viinikainen 2019.)

Suojaavan virtamuuntajan tulee pystyä toistamaan suuriakin virtoja, jotta suojaus toimisi vikatilanteessa tarkoituksen mukaisesti. Sydämen on pystyttävä tuottamaan riittävästi toisiovirtaa releiden

oikean toiminnan varmistamiseksi. Suojaus-sydämellä onkin suhteellisen suuri poikkipinta-ala, ettei se kyllästyisi suurillakaan vikavirroilla. (Aura & Tonteri 1996, 86; Viinikainen 2019.)

Jännitemuuntaja

Myös jännitemuuntajilla on erilaisia tehtäviä, jotka asettavat laitteille erilaisia vaatimuksia. Yleensä jännitemuuntajissa on ainoastaan yksi sydän, jota voi käyttää sekä mittaus- että suojaustarkoitukseen. Saman sydämen ympärille voidaan käämiä useampia käämejä. Useimmiten jännitemuuntajan toisiokäämi palvelee sekä mittaus- että suojaustarkoitusta. Mikäli toisiokäämi on kytketty avokolmioon, palvelee se ainoastaan maasulkusuojausta. (Mörsky 1993, 86–87; Kantaverkon käsikirja 2011, 440.)

4.3 Releet

Releet ovat olennainen osa sähköverkkojen suojausjärjestelmiä. Releet eivät estä vikoja tapahtumasta, vaan niiden tehtävänä on toimia ja suojata verkonosia siinä vaiheessa, kun verkossa on jo tapahtunut jotakin poikkeavaa. Releet mittaavat sähköisiä suureita ja havainnoivat siten verkon tilaa. Releille annetaan tietyt asetteluarvot, joiden ylityksestä tai alituksesta aiheutuu laukaisukäsky tai havahtuminen. Kun rele on ollut havahtuneena määrätyn ajan, se antaa hälytyksen tai laukaisukäskyn katkaisijalle tai nämä molemmat. Aikaa vian alkamisesta laukaisun tai hälytyksen antamiseen kutsutaan releen toiminta-ajaksi. Tätä voidaan hidastaa asetteluilla. Kun releen mitaama suure siirtyy pois toiminta-alueelta, rele palautuu. (Elovaara & Haarla 2011b, 344.)

Suojattava verkko on rajattu virtamuuntajilla suoja-alueisiin, jotka saadaan erotettua katkaisijoilla jännitteettömiksi. Suojauksen luotettavuutta lisää se, että verkon jokainen kohta kuuluu ainakin kahden eri releen suojausalueeseen. Varmennus on toteutettu joko kahdentamalla suojaus tai käyttämällä varasuojana toisen releen hidastettua porrasta. (Kantaverkon käsikirja 2011, 206.)

Seuraavaksi esitellään yleisimpiä siirtoverkkojen suojauksessa käytettyjä releitä. Differentiaalireleeseen perehdytään muita releitä tarkemmin, sen ollessa tämän opinnäytetyön keskiössä. Muut releet esitellään vain pintapuolisesti.

4.3.1 Distanssireleet

Distanssirele (Z-rele) on yleisin johdonsuojarele. Sen toiminta perustuu johdon impedanssin muutokseen. Rele mittaa suojattavan johdon virtaa sekä johdon alkupään jännitettä ja laskee niiden perusteella johdon impedanssin. Suurjännitteisellä johdolla on hyvin pieni resistanssi, näin ollen virran suunta ja suuruus määräytyvät lähes kokonaan reaktanssin mukaisesti. Terveessä käyttötilanteessa virtapiirin kuormitus on resistiivista ja virta pääasiassa pätövirtaa. Pieniresistanssien vian sattuessa johdolle on virta lähes kokonaan induktiivista loisvirtaa, koska tällöin virtapiiri muodostuu ainoastaan johdosta. Distanssirele ei kykene erottamaan resistiivista vikavirtaa normaalista kuormitusvirrasta, joten se ei havahdu suuren resistanssin maasulkuvioissa. Tyypillisesti distanssireleet havaitsevat vikoja noin 20 ohmin vikaresistanssin tasolle. (Elovaara & Haarla 2011b, 348–349; Haarla 2017, 15–17.)

Distanssirele soveltuu hyvin silmukoidun verkon johtosuojaksi, koska se pystyy määrittämään vian suunnan ja etäisyyden mittauspisteestä. Distanssireleen mittaaman impedanssin ja johdon ominaisimpedanssin perusteella saadaan laskettua suhteellisen tarkasti vikapaikan etäisyys mittauspaikasta. Vian suunnan rele päättelee vikavirran ja jännitteen välisen vaihekulmaeron perusteella. Viikatilanteessa vaihekulma on noin 90 astetta. Kun vikapaikka on releen etupuolella, on virta jännitettä jäljessä, ja vian ollessa releen takana on virta jännitteen edellä. (Elovaara & Haarla 2011b, 348–349.)

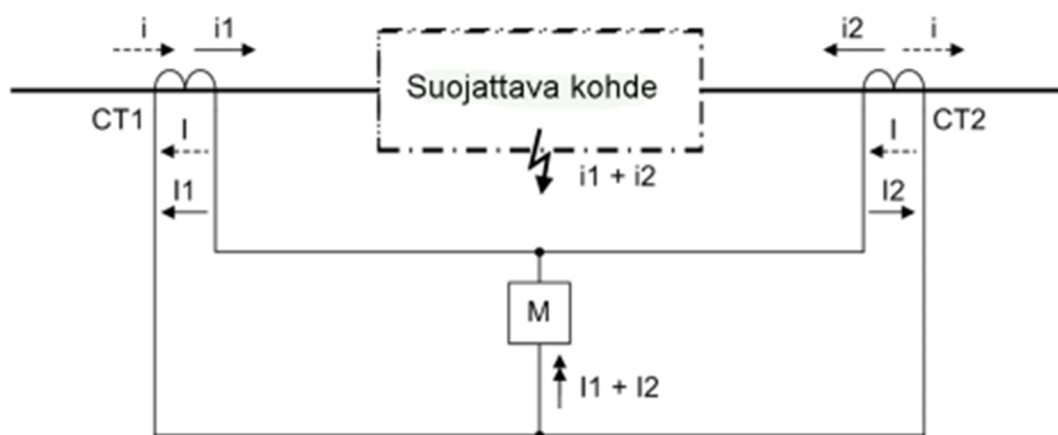
Distanssirelesuojaus toteutetaan vyöhykkein. Releelle asetellaan vyöhykkeitä, joista jokaisella on oma ulottuma ja aikahidastus. Asettelyt määrittävät sen, kuinka nopeasti vika missäkin suojausalueen kohdassa laukaistaan. Tyypillisessä suojaustoteutuksessa ensimmäinen vyöhyke kattaa suurimman osan johtoa ja rele laukaisee viat viiveettömästi. Toinen vyöhyke ulottuu vasta-aseman yli ja sen laukaisu on hidastettu yleensä 400 millisekuntiin. Kolmannen vyöhykkeen ulottuma voidaan asetella jopa releen vasta-asemalla olevien johtojen taakse. Sen tyypillinen toiminta-aika on yhden sekunnin. Koska eri distanssireleiden vyöhykkeet menevät osittain päällekkäisesti, ne voivat toimia myös toistensa varasuojina. (Elovaara & Haarla 2011b, 350.)

4.3.2 Differentiaalireleet

Differentiaali- eli erovirtasuojaus soveltuu kaikkien verkon osien suojaukseen. Kantaverkossa sitä käytetään suojaamaan muuntajia, kiskojärjestelmiä ja johtoja. Se on täysin selektiivinen suojaustapa, joka toimii ainoastaan suojausalueensa sisäisissä vioissa. Differentiaalisuojien etuina on erityisen hyvä toimintanopeus sekä suuri herkkyys. Releet voidaan asetella toimimaan hyvinkin pienillä, vain muutaman prosentin nimellisvirrasta olevilla vikavirroilla. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–7 n.d., 33; Kantaverkon käsikirja 2011, 218.)

Differentiaalirele suojaa niiden virtamuuntajien väliin jäävän alueen, joiden virtoja se vertailee. Suojauksen toiminta perustuu Kirchoffin virtalakiin, jonka mukaan virtapiirin solmukohtaan tulevien virtojen summa on yhtä suuri kuin solmukohdasta lähtevien virtojen summa. Differentiaalisuoja mittaa suojausalueensa erovirtaa, eli alueelle tulevien ja siltä lähtevien virtojen erotusta. Normaalitylanteessa tulevien virtojen summa on yhtä suuri, kuin lähtevien virtojen summa. Mikäli virtojen välillä on ero, joka ylittää releelle asetetun toiminta-arvon, on tämä merkki suojausalueen sisäisestä viasta ja aiheuttaa releen toiminnan. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–7 n.d., 33; Busbar protection REB670 2017, 104.)

Kuviossa 5 on esitetty yksivaiheinen sijaiskytkentä differentiaalireleen suojausalueella tapahtuvasta oikosulusta. Normaalityllassa suojausalueen läpi kulkee virta i . Häiriön sattuessa suojausalueelle esiintyy virta i_1+i_2 , mikä aiheutuu vikavirroista I_1+I_2 . Kun mittauspiirin M kautta kulkee asetettua toiminta-arvoa suurempi erovirta, suoja toimii. (Siprotec Erovirtasuojaja 7UT613/63x 2007, 106).



Kuvio 5. Differentiaalisuojauksen toimintaperiaate (Siprotec Erovirtasuojaja 7UT613/63x 2007, 106)

Differentiaalireleet voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan pien- ja suurimpedanssisuojoihin. Fingridin verkon suojauksessa käytetään enimmäkseen pienimpedanssiperiaatteella toimivia differentiaalireleitä. Myös joitakin suurimpedanssisuojia on vielä käytössä, mutta ne ovat poistumassa. Pienimpedanssiperiaatteella toimiva differentiaalisuoja mittaa suojattavaan kohteeseen tulevia sekä sieltä lähteviä virtoja muodostaen näistä erovirran. Käytännössä erovirta ei olekaan nolla, vaikka suojausalueella ei olisi vikaa. Tällöin erovirtaa kutsutaan näennäiseksi erovirraksi. Näennäistä erovirtaa aiheuttaa muun muassa virtamuuntajien mittausvirheet. Niiden lisäksi muuntajan suojauksessa näennäistä erovirtaa aiheuttaa muuntajan tyhjäkäyntivirta, käämikytkimen asento sekä muuntajan kytkentävirtasysäys. Näennäinen erovirta kasvaa kuormitusvirran kasvaessa. Virtamuuntajien mittausvirheiden ja käämikytkimen asennon aiheuttaman erovirran suuruus on suoraan verrannollinen muuntajan läpi kulkevan virran suuruuteen. Esimerkiksi tilanteessa, jossa vika tapahtuu suojausalueen ulkopuolella, mutta hyvin lähellä sitä, suojausalueen virtoja mittaavat virtamuuntajat voivat kyllästyä eriaikaisesti ja aiheuttaa erovirtaa. Näennäisen erovirran vuoksi differentiaalireleiden toiminta on vakavoitu kuormitusvirran suhteen. Mitä enemmän virtaa suojauskohteen läpi kulkee, sitä suurempi erovirta releen laukaisuun tarvitaan. Vakavoinnin avulla vältetään suojauksen virheelliseltä toiminnalta. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–7 n.d., 33–34.)

Suurimpedanssisuojat vakavoidsaan erillisellä stabilointivastuksella, joka kytketään sarjaan relepiirin kanssa. Vastus estää suojauksen virheellisen toiminnan suojausalueen ulkopuolisessa viassa, jossa virtamuuntajat kyllästyvät eriaikaisesti aiheuttaen näennäistä erovirtaa. Kyllästyneen virta-

muuntajan impedanssi on pieni ja relepiirin resistanssi vastuksen ansiosta suuri. Näin ollen näennäinen erovirta ohjautuu kulkemaan relepiirin sijaan kyllästyneen virtamuuntajan mittauspiirin kautta. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–7 n.d., 35–36.)

4.3.3 Ylivirtareleet

Ylivirtarele havahtuu ja antaa asetellun viiveen jälkeen laukaisusignaalin virran ylittäessä releelle asetetun asetteluarvon. Ylivirtareleitä käytetään suojaamaan säteittäisiä johtoja, joilla pienin vikavirta on suurempi kuin suurin kuormitusvirta. Useimmiten näin onkin, mutta tyypillisiä johtoja, missä ehto ei toteudu ovat pitkät säteittäisjohdot, joilla on paljon kuormaa alkupäässään. Perinteisesti ylivirtareleet eivät ole osanneet tunnistaa vian suuntaa, joten ne eivät ole yksinään soveltuneet silmukoidun verkon suojaukseen. Tällöin niitä voidaan käyttää kuitenkin varasuojina. (Elovaara & Haarla 2011b, 346.) Nykyisin on saatavilla myös suunnattuja ylivirtareleitä, mutta sellaisia ei ole käytössä toimeksiantajan johdoilla.

Ylivirtareleet ovat kaksiporlaisia. Toinen porras on aina vakioaikahidasteinen ja toinen valittavissa vakioaika- tai käänteishidasteiseksi. Vakioaikaylivirta-rele ($I>$ -rele) havahtuu virran ylittäessä asetellun arvon ja toimii asetellun toimintaviiveen kuluttua. Käänteisaikahidasteinen (I/t -rele) rele toimii puolestaan sitä nopeammin, mitä suuremman vikavirran se mittaa. (Elovaara & Haarla 2011b, 346.)

4.3.4 Nollavirtarele ja maasulun suuntarele

Nollavirtarele (I_0 -rele) on vaihevirtojen summavirtaa mittaava ylivirtarele. Summavirran perusteella se havaitsee maasulun, mutta se ei pysty yksinään tunnistamaan vikavirran suuntaa ilman nollajännitettä. Nollavirtareleitä käytetään johtojen ja muuntajien maasulkusuojina. Niillä saadaan laukaistua tähtipisteen lähellä tapahtuvat viat, joita on vaikea havaita differentiaalireleellä. Ne tunnistavat myös tehollisesti maadoitetun verkon pienivirtaiset maasulut, joissa maasulun suuntarele ei toimi aseman nollajännitteen jäädessä liian pieneksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 353–354; Haarla 2017, 24.)

Johdonsuojina käytetään sekä karkeita että herkkiä nollavirtareleitä. Nykyisin nämä voivat olla samassa laitteessa. Herkällä nollavirtareleellä on pieni virta-asettelu ja suuri hidastus. Sen virta asetellaan 500 ohmin vikaresistanssin mukaan. Karkean nollavirtareleen virta-asettelut määritetään puolestaan vikavirtalaskelmien perusteella ja sen hidastus on pieni. Karkealla releellä on kuitenkin herkkää nollavirtarelettä suurempi virta-asettelu. (Elovaara & Haarla 2011b, 353–354.)

Maasulun suuntarele (Q_0 -rele) on nollavirtarele, joka pystyy mittaamaan sekä vikavirran suuruuden että sen suunnan. Rele mittaa nollavirtaa ja nollajännitettä ja pääättelee vian suunnan niiden välisen vaihekulman perusteella. Maasulun suuntareleitä käytetään kantaverkossa 110 kV johtosuojauksessa. (Elovaara & Haarla 2011b, 354; Haarla 2017, 25.) Lisäksi suunnattua maasulkutoimintoa käytetään kaikilla 400 kV johdoilla suojauksen viestiyhteydellä sekä yleensä muuntajilla 110 kV puolella. (Viinikainen 2022).

4.4 Johtosuojaus

Johtosuojauksessa differentiaalireleitä käytetään tyypillisesti suojaamaan sellaisia johtoja, joiden suojauksesta tulisi distanssireleillä turhan monimutkainen. Tällaisia ovat sarjakompensoidut johdot, T-haarajohdot, kaksoisjohdot sekä lyhyet johdot. Johtosuojauksessa tulee mittauspisteiden välisten virtojen vertailun vuoksi olla viestiyhteys johdon eri päissä olevien releiden välillä. Viestiyhteyden tulee olla riittävän nopea ja releen on huomioitava virtojen vertailussa viestin siirtoon kulunut aika. (Kantaverkon käsikirja, s. 208 & 218.) Viestiyhteytenä käytetään nykyisin pelkästään valokuituja (Viinikainen 2022).

Eri jännitetason verkoilla on erilaiset suojauksen vaatimukset ja toteutus. Kaikista nopeinta ja luotettavinta vian laukaisua vaaditaan 400 kV verkossa, sillä siellä oikosulku ja vian pitkittyminen voivat johtaa verkon stabiiliuden menetykseen ja jopa suurhäiriöön. Pienemmillä jännitteillä, 110 kV ja 220 kV verkoissa, vikojen seuraukset ovat puolestaan paikallisempia ja niissä esiintyvät oikosulkutehot ovat pienempiä, joten voidaan hyväksyä hitaampi relesuojaus. (Haarla 2017, 35.)

400 kV johtosuojaus

Tyypillisesti 400 kV johtosuojaus muodostuu kahdesta distanssireleestä, nollavirtareleestä, jälleenykytkentäreleestä ja tahdissaolonvalvojusta. Distanssireleet toimivat pääsuojana ja niiden välillä on oltava viestiyhteys, jotta kaikki johtoviat voidaan laukaista viiveettä myös vasta-asemaa lähellä

olevissa vioissa. Pääsuojana voidaan käyttää myös distanssi- ja differentiaalireleen yhdistelmää. Tällaista toteutusta käytetään sarjakompensoidussa verkossa ja lyhyillä johdoilla, sillä niissä distanssisuojauksen soveltaminen on hankalaa. Pääsuojaus pyritään toteuttamaan täysin kahdennettuna. Tämä tarkoittaa sitä, että johtoa suojataan kahdella erillisellä ja toisistaan riippumattomalla suojausjärjestelmällä. Käytännössä kahdennus toteutetaan sijoittamalla releet eri relekaappeihin, kytkemällä releet mittamuuntajilla eri toisiokäämeihin, syöttämällä releitä eri akustoista sekä kahdentamalla releiden vaatima viestiyhteys. Tällöin minkä tahansa suojausjärjestelmään kuuluvan laitteen vikaantuminen estää vain toisen releen toiminnan, ei molempien. (Elovaara & Haarla 2011b, 361–362; Sähköasemien koulutuspaketti relesuojaus 2011, 12–13.)

Tavallisissa 400 kV verkon maasuluissa vikavirtaa on riittävästi ja vika saadaan laukaistua distanssi-releellä. Joskus vikapaikassa voi kuitenkin olla niin paljon vikaresistanssia, että distanssireleen mitaama impedanssi joutuu releen toiminta-alueen ulkopuolelle. Suuren resistanssin maasulut laukaistaankin herkällä nollavirtareleellä, joka tunnistaa maasulkuviat 500 ohmista alkaen. Tavalliset johtoviat laukaistaan alle 100 millisekunnissa, mutta suuren resistanssin maasulut voivat johtaa pidempään vika-aikaan, koska laukaisevalla nollavirtareleellä on aina hidastus. Nollavirtarele voi olla erillinen rele tai pääsuojareleeseen integroitu. (Elovaara & Haarla 2011b, 362; Sähköasemien koulutuspaketti relesuojaus 2011, 12–13.)

Jälleenkytkentöjä varten käytetään erillistä jälleenkytkentärelettä ja tahdissaolon valvojaa. Jälleenkytkentä tarkoittaa katkaisijan automaattista kiinnikytkemistä suojareleen tekemän laukaisun jälkeen. Tahdissaolon valvoja sallii jälleenkytkennän vain silloin, kun jännitteet ovat tahdissa tai johto on jännitteetön. Suomessa on yleisesti käytössä pikajälleenkytkentä (PJK) ja aikajälleenkytkentä (AJK). Pikajälleenkytkentä suoritetaan vain johtosuojan hidastamattoman laukaisun jälkeen. Epäonnistuneen pikajälleenkytkennän tai johtosuojan hidastetun laukaisun jälkeen suoritetaan aikajälleenkytkentä. Mikäli aikajälleenkytkentäkään ei onnistu, seuraa lopullinen laukaisu ja vika todetaan pysyväksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 356 & 361.)

110 kV johtosuojaus

Tyypillisesti 110 kV johdoilla käytetään pääsuojana kahta samanlaista distanssirelettä, joissa on myös suunnattu maasulkusuoja (Viinikainen 2022). Viestiyhteys ei ole 110 kV verkon distanssisuojauksessa välttämätön. Mikäli viestiyhteyttä ei ole, saattaa johdon loppupäässä oleva vika laueta

vasta distanssireleen toisen vyöhykkeen hidastuksella. Lyhyillä rengasjohdoilla ja t-haarajohdoilla voi selektiivisyyden toteuttaminen distanssireleillä olla kuitenkin hankalaa, joten pääsuojana voidaan käyttää myös johtodifferentiaalirelettä. Tällöin distanssirele toimii varasuojana ja johdon päiden välille tarvitaan viestiyhteys. (Elovaara & Haarla 2011b, 367.)

Kantaverkossa vain osa muuntajien tähtipisteistä on maadoitettu. Siksi maasulkusuojauksen selektiivisyyden saavuttamiseksi onkin käytettävä suunnattua maasulkusuojausta, joka päättelee vian suunnan vertaamalla mittaamansa virran ja jännitteen kulmaeroja. Selektiivisyyden vuoksi eri paikoissa sijaitsevien releiden laukaisuajat on myös porrastettava. (Elovaara & Haarla 2011b, 368.) Uusissa distanssireleissä on oltava integroituna suunnattu maasulkusuojaustoiminto. Myös jälleenyhteyksien toiminnot on nykyisin integroituna pääsuojaan. (Sähköasemien koulutuspaketti relesuojaus 2011, 51 & 54.)

4.5 Kisko- ja katkaisijavikasuojaus

Kokoojakiskot yhdistävät sähköaseman muuntajat ja sinne liittyvät johdot kytkinlaitteiden välityksellä. Kiskoilla mahdollistetaan erilaiset kytkentäratkaisut, joita tarvitaan erilaisissa tehonsiirtotilanteissa. Kokoojakiskon suojausalueeseen kuuluu eri johtojen tai tehomuuntajien virtamuuntajien väliin jäävä alue. (Elovaara & Haarla 2011b, 102 & 381.) Virtamuuntajat toimivat sähköasemilla kisko- ja johtovikojen fyysisenä rajana. Kiskovika tapahtuu virtamuuntajasta katsottuna kiskonpuolella ja johtovika johdon puolella. Kiskoviassa kisko kytketään jännitteettömäksi laukaisemalla kaikki siihen liitetyt katkaisijat auki. (Mörsky 1993, 207.)

Kiskosuojana käytetään differentiaalirelettä, joka vertailee kiskoon tulevien ja kiskosta lähtevien virtojen eroa. Mikäli erovirta ylittää releelle määritetyn asetteluarvon, laukaisee rele kaikki katkaisijat, jotka ovat kytkettyinä vikaantuneeseen kiskoon. Jos johto on kytkeytynyt omalla katkaisijalla kahteen kiskoon, rele laukaisee vain vikaantuneen kiskon irti ja johto jää käyttöön ehjään kiskoon kytkeytyneenä. Esimerkiksi duplex-kiskojärjestelmässä on kaksi pääkiskoa ja jokaisella johtolähdöllä kaksi katkaisijaa. Tällöin toisen kiskon vikaantuminen ja irti kytkeminen ei aiheuta lainkaan johtokeskeytystä. (Elovaara & Haarla 2011b, 382; Sähköasemien koulutuspaketti relesuojaus 2011, 94 & 96.)

Kantaverkon kaikilla 400 kV sähköasemilla on kiskonsuojareleet, sillä kiskoviat on poistettava nopeasti ja varmasti, jottei verkon stabiilius vaarantuisi. Sen sijaan 220 kV ja 110 kV jännitteillä vain osalla muuntoasemista ja kaikilla SF₆-kaasueristeisillä sisäkytkinlaitoksilla on kiskosuojareleet. Näissä tapauksissa kiskosuojareleelle on tarve selektiivisyyden ja nopean vian selvityksen kannalta. Sähköaseman kiskosuojarele irrottaa vikaantuneen kiskon verkosta noin 100 millisekunnin kuluttua vian alkamisesta. Mikäli asemalla ei ole kiskosuojarelettä, hoituu suojaus vasta-asemien distanssireleiden toimesta. Tällöin vikaantuneen kiskon erotus verkosta kestää kauemmin ja suojaus irrottaa koko aseman verkosta. (Elovaara & Haarla 2011b, 381–382.)

Kiskosuojaus varmennetaan lisäksi katkaisijavikareleellä, joka on yleensä osa kiskosuojaa. Sitä käytetään varmistuksena, mikäli ensisijainen katkaisija ei vikatilanteessa toimikaan. Minkä tahansa suojareleen laukaisusignaali käynnistää katkaisijavikareleen ajastimen. Jos katkaisija ei avaudu ja katkaise vikavirtaa määrätyn ajan kuluessa, katkaisijavikasuoja antaa laukaisukäskyn kaikille vikaantuneen katkaisijan kanssa samaan kiskoon kytkeytyneille katkaisijoille. Katkaisijavikasuojuuksessa 400 kV verkossa, laukaisukäsky lähetetään myös johdon toisessa päässä olevalle suojareleelle. Tämä laukaisee johdon viiveettä, jos se on havahtunut. (Elovaara & Haarla 2011b, 382.)

4.6 Muuntajasuojaus

Tehomuuntajia suojataan varsin kattavasti, vaikka ne vikaantuvat harvoin. Tähän syynä on se, että vian sattuessa seuraukset ovat tuhoisia muuntajalle ja vikaantuneen muuntajan korjaus erittäin kallista ja hidasta. Suojauksen kattavuus vaihtelee muuntajan koon mukaan ja kattavimmin suojataan suurimmat tehomuuntajat. Muuntajien suojuuksessa käytetään sekä sähköisiin että muihin mittauksiin perustuvia suojalaitteita. Ei-sähköisillä mittauksilla seurataan muun muassa muuntajan öljyn kaasuuntumista, virtausta ja lämpötilaa. (Elovaara & Haarla 2011b, 378; Mörsky 1993, 189.)

Muuntajan suojausalue rajautuu muuntajan ylä- että alajännitepuolella sijaitseviin virtamuuntajiin. Niiden välisellä alueella havaitut viat laukaisevat välittömästi kaikki muuntajakatkaisijat. Muuntajan pääsuojana on differentiaalirele, joka mittaa muuntajaan tulevien ja sieltä lähtevien virtojen erotusta. Erovirran asetteluarvon ylittyessä rele antaa laukaisusignaalin. Muuntajan varasuojana toimii ylivirtareleet, joiden päätehtävä on suojata kisko- ja johto-oikosuluissa. Jos muuntaja on tähtipisteestä maadoitettu, sitä suojataan aina myös tähtipisteen virtamuuntajaan kytketyllä nolla-

virtareleellä. Tähtipisteestä maadoittamattoman muuntajan nollavirtarele on asennettu vaihevirtamuuntajien paluujohtimeen, jolloin rele toimii ainoastaan muuntajavioissa. (Elovaara & Haarla 2011b, 378–380.)

Kun muuntaja kytketään verkkoon, se ottaa suuren kytkentävirrän, joka näkyy differentiaalireleelle kokonaisuudessaan erovirtana. Tähtipistevirtamuuntajiin kytketyt releet on tämän vuoksi varustettu kytkentävirtasysäyksen tunnistavilla salpareilla, jotta välttyttäisiin aiheettomilta laukaisuilta. Differentiaalirele tunnistaa kytkentäsystemissä mukana olevan 100 Hz taajuisen komponentin. Tämän tunnistessaan rele lukkiutuu aiheettoman laukaisun estämiseksi. (Kantaverkon käsikirja 2011, 228–229.)

5 Differentiaalireleiden vakavointi ja vakavointikäyrät

Kuten aiemmin on jo mainittu differentiaalireleen mittaama erovirta ei käytännössä olekaan nolla, vaikka sen suojausalueella ei vikaa olisikaan, sillä epäideaalisuudet aiheuttavat näennäistä erovirtaa. Näennäistä erovirtaa aiheutuu muun muassa virtamuuntajien mittausvirheistä sekä eri aikaisesta kyllästymisestä. Esimerkiksi jos vika tapahtuu suojausalueen ulkopuolella, mutta hyvin lähellä suojausaluetta, voivat virtamuuntajat kyllästyä eriaikaisesti ja aiheuttaa näin näennäistä erovirtaa. Muuntajasuojauksessa näennäistä erovirtaa aiheuttavat lisäksi muuntajan tyhjäkäyntivirta, käämi-kytkimen asento sekä muuntajan kytkentävirtasysäys. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–7 n.d., 33–34.)

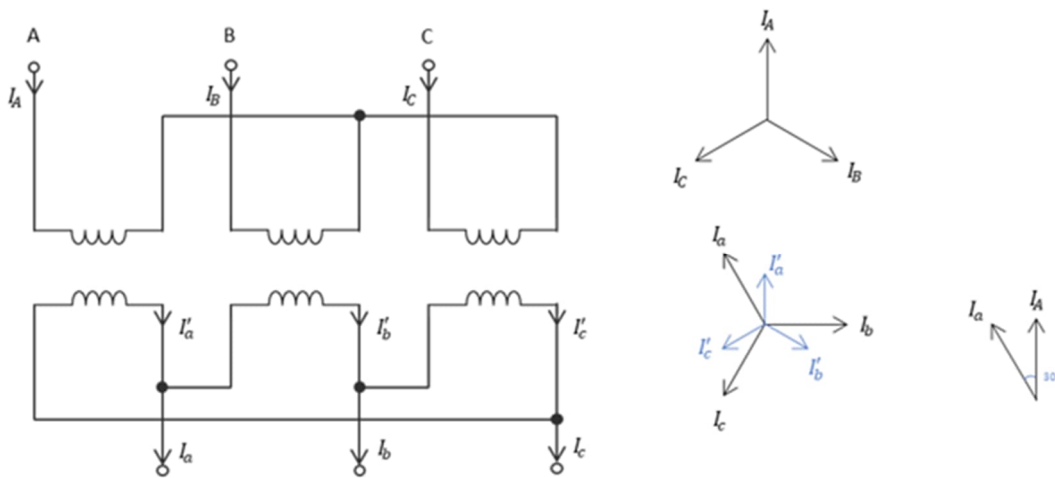
Näennäiselle erovirralla on ominaista, että se kasvaa kuormitusvirran kasvaessa. Siksi differentiaalireleiden toiminta on vakavoitu kuormitusvirran suhteen. Mitä suurempi virta suojauskohteen läpi kulkee, sitä suurempi erovirta releen laukaisuun vaaditaan. Vakavoitu differentiaalirele on siis tehty juuri sopivasti epäherkäksi, ettei se toimisi aiheetta. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–7 n.d., 33–34.)

Kytkentäryhmän ja vaihesiirron sovitukset

Muuntajadifferentiaalisuojaus vaatii virtojen sovituksen, jotta muuntajan eri puolilta mitattuja virtoja voi verrata keskenään. Teho- ja virtamuuntajien muuntosuhteet sekä kytkentäryhmän aiheuttamat vaihekulmaerot on sovitettava valitun referenssin mukaiseksi. Nykyisin käytettävät digitaaliset releet tekevät sovituksen ohjelmallisesti. (SIPROTEC 4 Erovirtasuojat 7UT613/63x 2007, 115,

11.) Tässä opinnäytetyössä virtojen sovitus on huomioitava laskukaavoissa laskentapohjia rakennettaessa.

Fingridin tehomuuntajien kytkentäryhmä on yleensä YNynd11. Ensiö- ja toisiokäämi ovat kytketty tähteen ja niiden välillä ei ole vaihe-eroa. Kolmansiokäämi on puolestaan kytketty kolmioon ja sillä on +30 asteen vaihesiirto tähtikytkentäisiin käämeihin nähden. Kuviossa 6 on annettu laskentakaavat Yd11 kytkentäisen muuntajan vaihesiirron sovittukseen.



$$I_a = I'_a - I'_b = \frac{I_a}{\sqrt{3}} - \frac{I_b}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_a - I_b)$$

$$I_b = I'_b - I'_c = \frac{I_b}{\sqrt{3}} - \frac{I_c}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_b - I_c)$$

$$I_c = I'_c - I'_a = \frac{I_c}{\sqrt{3}} - \frac{I_a}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_c - I_a)$$

$$I'_a = \frac{I_a}{\sqrt{3}}$$

$$I'_b = \frac{I_b}{\sqrt{3}}$$

$$I'_c = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

Kuvio 6. Yd11 muuntajan kytkentäkaavio, ensiö- ja toisiokäämien vaihevirtavektorit sekä laskentakaavat vaihevirtojen kulmakompensointiin (Suontausta 2020, 14).

Nollavirran eliminointi

Muuntajadifferentiaalisuojauksessa on huomioitava myös mahdollinen nollakomponentti. Jos muuntajan käämien tähtipiste on maadoitettu, voi sen kautta kulkea virtaa suojausalueen läpi suojausalueen ulkopuolisessa maasulkuvuorissa. Tämä nollavirta näkyy releelle erovirtana, joka on eliminointava, jotta vältetään releen virheellinen toiminta. (SIPROTEC 4 Erovirtasuojia 7UT613/63x 2007, 117–118.) Nollavirran eliminoinnissa haittapuolena on, että se tekee suojauksesta epäherkemman

suojausalueen sisäisissä maasulkuvioissa. Eliminointia ei tehdä, jos tähtipiste on maadoittamaton tai tähtipisteen kautta kulkeva nollavirta saadaan mitattua. (SIPROTEC 4 Erovirtasuojat 7UT613/63x 2007, 120.)

Ulkopuolisessa maasulussa nollavirta tulee eliminoida laskennallisesti, mikäli nollavirran mittausta ei ole tuotu differentiaalireleelle. Ulkopuolisessa maasulussa nollajärjestelmän virta kulkee suojausalueelta ulospäin ja samanaikaisesti vastaavan suuruinen virta kulkee tähtipisteestä muuntaajaan eli suojausalueelle päin. Nämä virrat kumoavat toisensa, mikäli tähtipisteen kautta kulkeva nollavirta saadaan mitattua. (SIPROTEC 4 Erovirtasuojat 7UT613/63x 2007, 118.) Nollakomponentti täytyy siis poistaa erovirrasta, jos muuntajan tähtipiste on maadoitettu ja tähtipisteen virtaa ei ole tuotu differentiaalireleen mittaukseen. Myös kolmiokytkentä eliminoi nollakomponentin. Automaattikoestuksessa nollavirtaa ei päästä mittaamaan, joten se on eliminointava laskennallisesti vaihevirroista.

Nollakomponentti (I_0) saadaan laskettua alla kaavalla 1 (Suontausta 2020, 15)

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (1)$$

missä I_0 on nollavirta
 I_a , I_b ja I_c ovat vaihevirrät.

Virran nollakomponentti vähennetään tähteen kytkettyjen käämien vaihevirroista. Näin ollen nollakomponentin suhteen kompensoiduille vaihevirroille saadaan yhtälöt 2–4. (Suontausta 2020, 15.)

$$I_a - \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3}I_a - \frac{1}{3}I_b - \frac{1}{3}I_c \quad (2)$$

$$I_b - \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3}I_b - \frac{1}{3}I_a - \frac{1}{3}I_c \quad (3)$$

$$I_c - \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3}I_c - \frac{1}{3}I_a - \frac{1}{3}I_b \quad (4)$$

5.1 Vakavointikäyrä

Vakavoidun differentiaalireleen vakavointikäyrä esittää releen laukaisuun johtavan erovirran ja vakavointivirran suhteen. Tyypillisesti erovirta on esitetty pystyakselilla ja vakavointivirta vaaka-akselilla. Käyrältä voidaan lukea, kuinka suuren erovirran rele vaatii laukaisuun kullakin vakavointivirralla. Releen vakavointikäyrän muoto määräytyy releelle aseteltavien parametrien perusteella. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–7 n.d., 34.)

Perusasettelu on pienin erovirran arvo, jolla suoja toimii. Perusasettelulla kompensoidaan virtamuuntajien virheiden aiheuttamaa näennäistä erovirtaa. Vakavointikertoimella kompensoidaan virtamuuntajien kyllästymisestä aiheutuvaa näennäistä erovirtaa. Vakavointikerroin määrittää suojauksen toimintaherkkyuden.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävien differentiaalireleiden valmistajat käyttävät kukin erilaista tapaa releen vakavointivirran määrittämisessä. Myös releiden vakavointikäyrät asetteluineen eroavat huomattavasti toisistaan. Seuraavaksi selvitetään, miten kunkin releen vakavointivirta määritetään ja miten vakavointikäyrät muodostuvat.

5.2 Kiskodifferentiaalisuojat

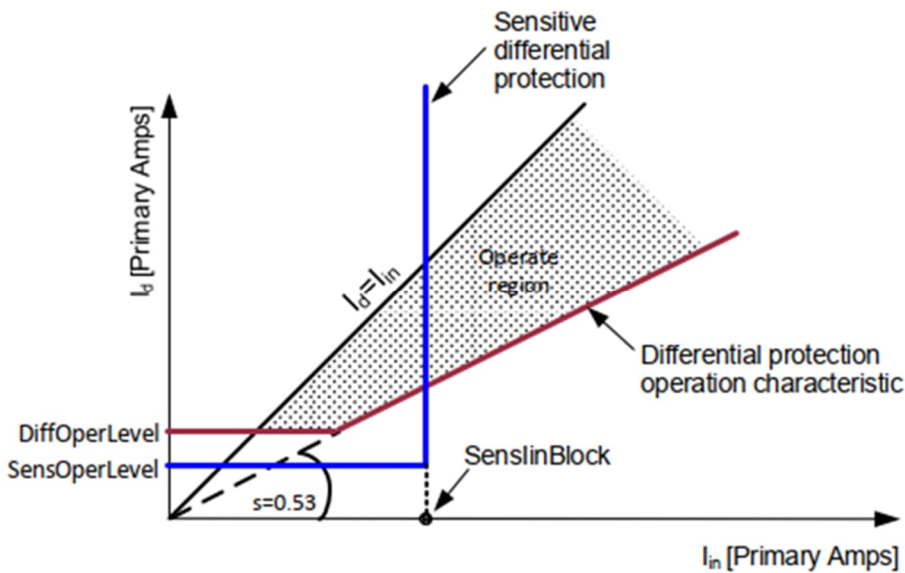
5.2.1 ABB REB670

Vakavointi

REB670-kiskosuoja operoi tulevien ja lähtevien virtojen erotuksella. Suojausalueella esiintyy kahden suuntaisia virtoja, positiivisia ja negatiivisia. Näistä sisään tulevaksi virraksi määräytyy se, kumman suuntaisten virtojen summa on suurempi. Vakavointivirta on suojausalueelle tulevien virtojen summa. (Busbar protection REB670 2017, 104–106.)

Vakavointikäyrä

ABB:n REB670-releellä on kaksi erillistä suojaustoimintoa: vakavoitu ja herkennetty erovirtasuojaus. Nämä suojaustoiminnot on esitetty kuviossa 7. Vakavoidun erovirtasuojauksen vakavointikäyrä on esitetty ruskealla värillä ja herkennetyn suojauksen käyrä sinisellä. REB670-releen vakavointikäyrällä erovirta (I_d) ja vakavointivirta (I_{in}) esitetään primäärivirtoina. (Busbar protection REB670 2017, 107–108).



Kuvio 7. REB670-releen vakavointikäyrä (Busbar protection REB670 2017, 108)

Vakavoidun erovirtasuojauksen vakavointikäyrän muodon määrää erovirran perusasettelu (DiffOperLevel) ja vakavointikerroin (Slope, s). Erovirran perusasettelu määrittää pienimmän erovirran, jolla suojaus toimii. Perusasettelu annetaan releelle suoraan primäärivirtana. Vakavointikertoimeksi on REB670-releelle määritetty kiinteästi 0,53. (Busbar protection REB670 2017, 107–108.)

Herkennetty erovirtasuojaus aktivoituu maasuluissa esimerkiksi kiskon nolajännitetoiminnon havaitumisella. SensOperLevel-asettelulla määritetään herkennetyin alueen erovirta, jolla suojaus toimii. SenslinBlock-asettelu määrittää herkennyksen pituuden, eli sen vakavointivirran, johon saakka herkennystä jatketaan. Tätä suuremmilla vakavointivirroilla vakavointikäyrä siirtyy noudattamaan vakavoidun erovirtasuojauksen vakavointikäyrää. (Busbar protection REB670 2017, 108.)

5.2.2 GE B90

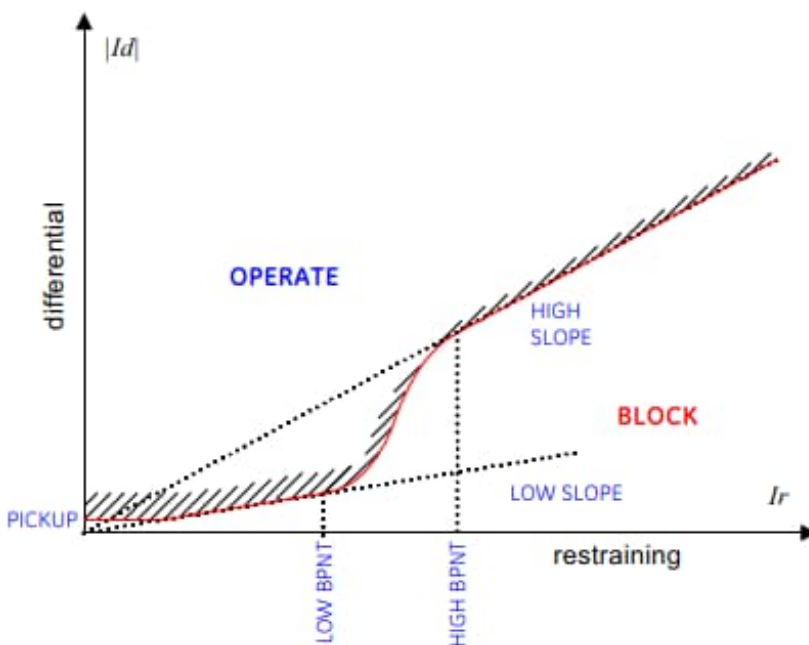
Vakavointi

B90-rele käyttää vakavointivirtana on suurinta suojausalueelle tulevaa virtaa (B90 Low Impedance Bus Differential System 2018, luku 9 s.4).

Vakavointikäyrä

B90-releen vakavointikäyrä on esitetty kuviossa 8. Käyrä on kaksiportainen ja adaptiivinen. Käyrän muodon määrittää viisiasetusta (B90 Low Impedance Bus Differential System 2018, luku 9 s.3–4):

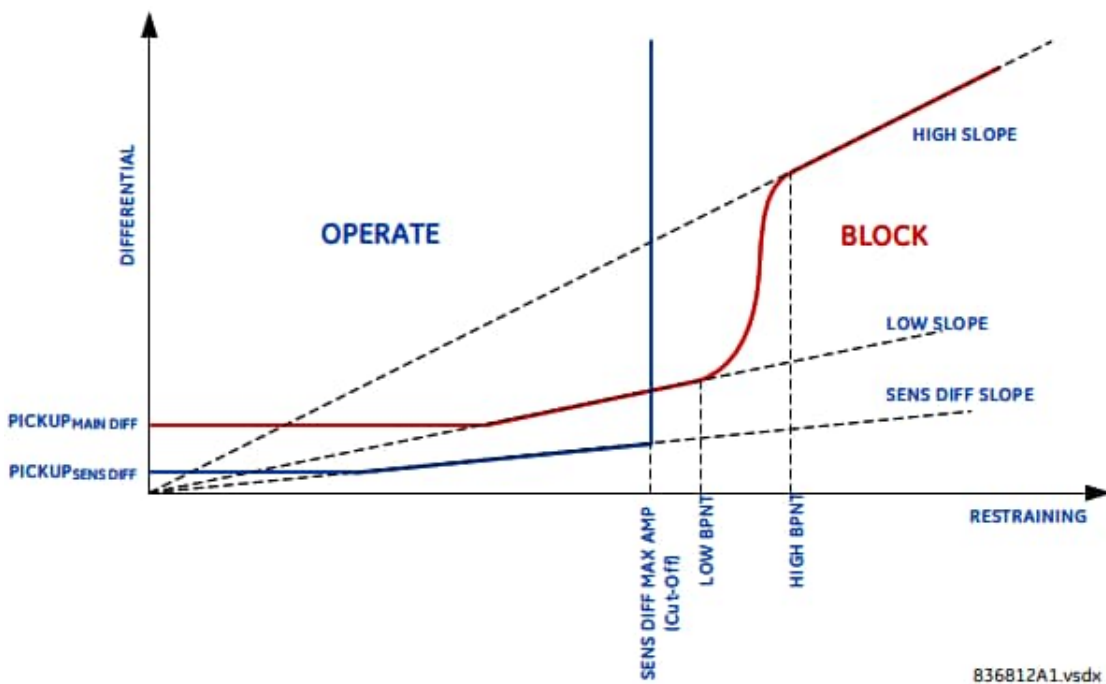
1. Pickup, pienin erovirta, jolla suojaus toimii
2. Low slope, matalamman portaan vakavointikerroin
3. High slope, ylemmän portaan vakavointikerroin
4. Low BPNT taitepiste, johon matalampi porras päättyy
5. High BPNT taitepiste, josta ylempi porras alkaa.



Kuvio 8. B90-releen vakavointikäyrä (B60 Low impedance bus differential system. 2018 luku 9 s. 4)

Matalamman ja korkeamman portaan väliin jäävän alueen käyrää ei ole määritelty tarkoin, tällä alueella käyrä mukautuu likimääräisesti portaiden välille (B90 Low Impedance Bus Differential System 2018, luku 9 s.4). Lisäksi releen asetteluissa on annettu erovirrälle katto (high set), jota ei ole esitetty oheisessa kuviossa. Kattoa käytetään erittäin suurilla erovirroilla, jolloin vika on selvästi suojausalueella.

B90-releellä on myös herkennetty erovirtatoiminto, joka aktivoituu maasuluissa. Herkennys on esitetty sinisenä käyränä kuviossa 9. PICKUPSENS DIFF -asettelulla määritetään herkennetyin alueen pienin erovirta, jolla suojaus toimii. SENS DIFF SLOPE -asettelulla voidaan asettaa herkennetyin käyrän portaalille kerroin, jolla kompensoidaan virtamuuntajien epätarkkuudesta aiheutuvaa erovirtaa. SENS DIFF MAX AMP -asettelu määrittää herkennyksen pituuden. Tätä suuremmilla vakavointivirroilla vakavointikäyrä siirtyy noudattamaan vakavoidun erovirtasuojauksen käyrää. (B90 Low Impedance Bus Differential System 2021, luku 5 s. 169–170.)



Kuvio 9. B90-releen vakavointikäyrä herkennystoiminnolla (B90 Low Impedance Bus Differential System 2021, luku 5 s. 169)

Releen erikoisuutena ovat suuntatarkastus ja virtamuuntajan kyllästystoiminto. Suuntatarkastus estää laukaisun, mikäli jossain kentässä kulkee paljon virtaa kiskosta pois päin. Kyllästystoiminto voi estää laukaisun suurilla virroilla. (B90 Low Impedance Bus Differential System 2018, luku 9 s. 6–8.) Katto (high set) ja herkennys eivät käytä näitä varmistuksia. Ne laukaisevat suoraan, kun erovirta ylittää asetetun arvon.

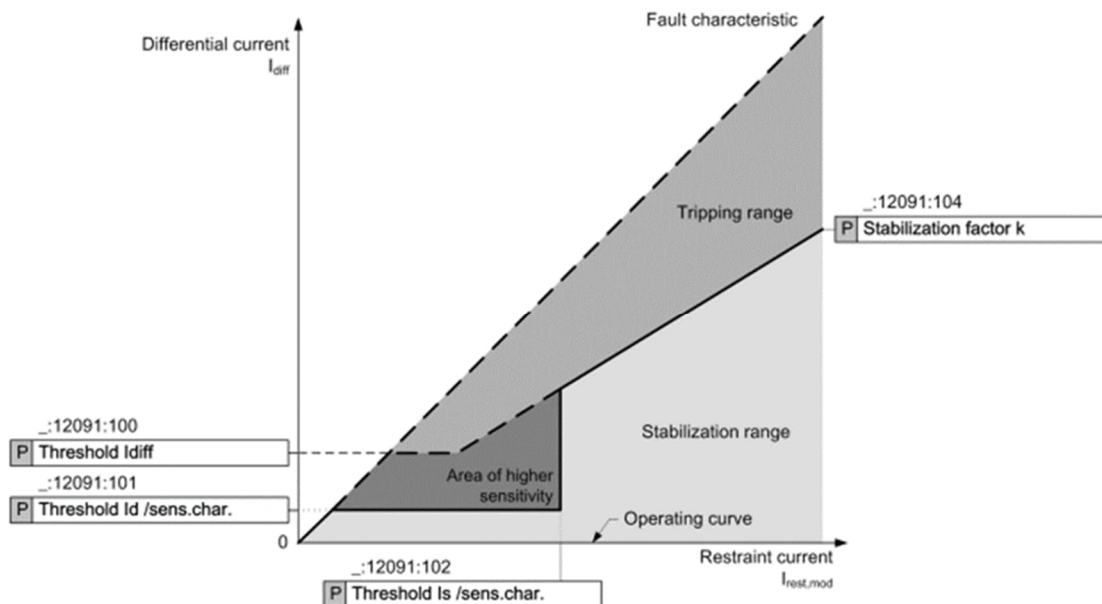
5.2.3 Siemens 7SS85

Vakavointi

Siemensin 7SS85-releen vakavointikäyrä on esitetty kuviossa 10. Vaaka-akselilla on esitetty vakavointivirta, joka on kaikkien kiskon kautta kulkevien virtojen itseisarvojen summa. Pystyakselilla on esitetty näiden virtojen vektorisumma eli erovirta. Vaaka- ja pystyakselin skaalaus on sama. (SIPROTEC 5. Low-Impedance Busbar Protection 7SS85 2020, 303–304.)

Vakavointikäyrä

7SS85-releellä on kaksi erillistä suojaustoimintoa: vakavoitu ja herkennetty erovirtasuojaus. Herkennetty erovirtasuojaus aktivoituu matalavirtaisissa kiskovioissa, kuten maasuluissa. Vakavointikäyrän muotoon vaikuttaa kaksi säädettävää parametriä: vakavointikerroin, k ja perusasettelu Threshold I_{diff} . Kuten kuviossa 10 on nähtävissä, Threshold $I_{diff}/sens.char.$ -asettelulla määritetään herkennetyn alueen erovirta, jolla suojaus toimii. Threshold $I_s/sens.char.$ -asettelu määrittää herkennyksen pituuden, eli sen vakavointivirran, johon saakka herkennystä jatketaan. (SIPROTEC 5. Low-Impedance Busbar Protection 7SS85 2020, 304–305.)



Kuvio 10. 7SS85-releen vakavointikäyrä (SIPROTEC 5. Low-Impedance Busbar Protection 7SS85 2020, 305)

5.3 Johtodifferentiaalisuojat

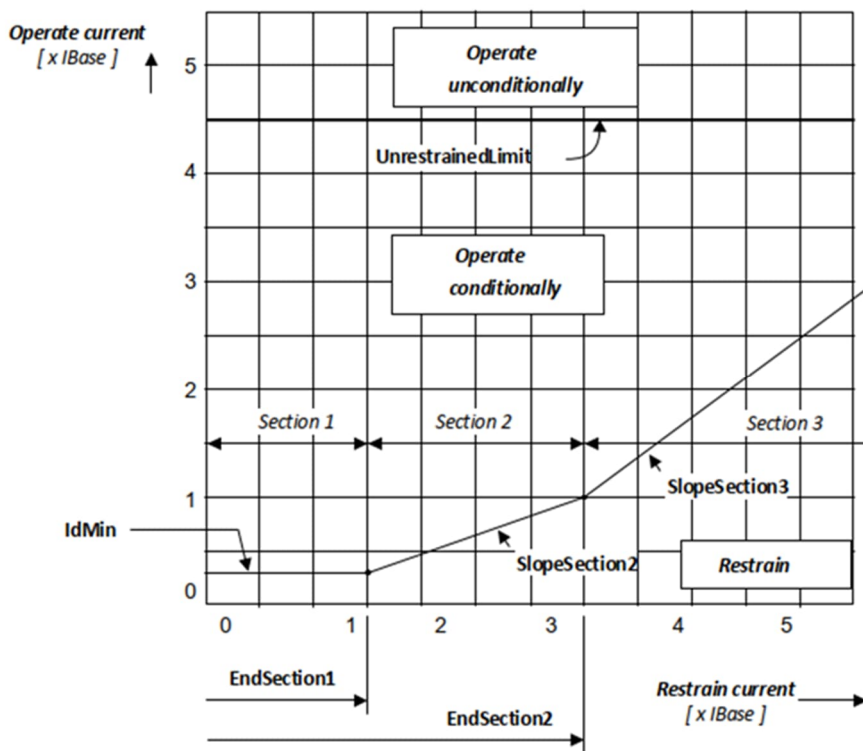
5.3.1 ABB RED670

Vakavointi

RED670-releen vakavointivirta on suurin suojausalueelta mitattu vaihevirta (Line differential protection RED670 2018, 193). Esimerkiksi duplex-kentässä, jossa virta jakautuu kahteen haaraan ennen virtamittausta, haarojen virrat käsitellään erillisinä.

Vakavointikäyrä

ABB:n RED670-releen vakavointikäyrä on esitetty kuviossa 11. Vakavointikäyrä esittää virrat perusvirran (I_{base}) kerrannaisina. Perusvirta on referenssi virtamuuntajan nimellisvirta. Kuten kuviosta on nähtävissä, releellä on kaksi erillistä rajaa: rajoitettu ja rajoittamaton.



Kuvio 11. RED670-releen vakavointikäyrä (Line differential protection RED670 2018, 175)

Unrestrained Limit on stabiloimaton tai niin sanotusti rajoittamaton raja, jota käytetään erittäin suurilla erovirroilla, joilla vika on selvästi suojausalueella. Tämä raja on vakio. Rajatun tai toisin sanoen stabiloidun rajan vakavointikäyrä jakaantuu kolmeen osaan, missä on kolme kaltevuutta ja

kaksi taitepistettä. Käyrän muodon määrittää viisi asetusta (Line differential protection RED670 2018, 175):

1. IdMin perusasettelu, eli pienin erovirta, jolla suojaus toimii
2. EndSection1 ensimmäisen osan, eli perusasettelun päätepiste
3. EndSection 2 toisen osan päätepiste
4. SlopeSection2 toisen osan vakavointikerroin
5. SlopeSection3 kolmannen osan vakavointikerroin.

Section 1 eli osio 1 on vakavointikäyrän herkin osa, sen kaltevuus on aina nolla prosenttia. Tällä alueella normaalit virrat kulkevat suojatussa virtapiirissä ja suurempien erovirtojen riski on suhteellisen matala. Herkkyytaso on oletusarvona 0,3 kertaa perusvirta (I_{base}) ja pituus 1,0 kertaa perusvirta (I_{base}). (Line differential protection RED670 2018, 175–176)

Section 2 eli osiossa 2 on pieni kaltevuus, joka on oletuksena 50 %. Kaltevuus auttaa selviytymään virheellisistä erovirroista, jotka ovat verrannollisia virtamuuntajien läpi kulkeviin normaalia suurempiin virtoihin. Osion 2 oletuspituus on 2,00 kertaa perusvirta (I_{base}). (Line differential protection RED670 2018, 176)

Section 3 eli osiossa 3 on edellisiä osioita suurempi kaltevuus. Kaltevuus on oletuksena 100 %. Tämä osio tuottaa suurilla virroilla suuremman toleranssin virtamuuntajien saturaatiolle. (Line differential protection RED670 2018, 176)

5.3.2 GE L90

Vakavointi

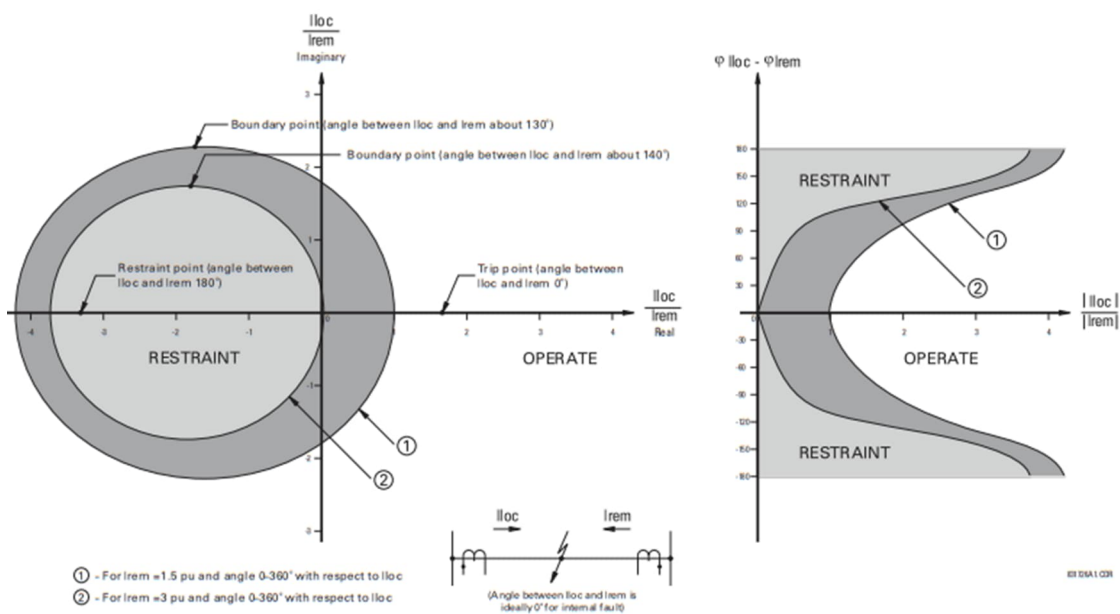
L90 releen vakavointivirta on suurin suojausalueelta mitattu virta

$$I_{bias} = \max(I_L, I_R), \quad (5)$$

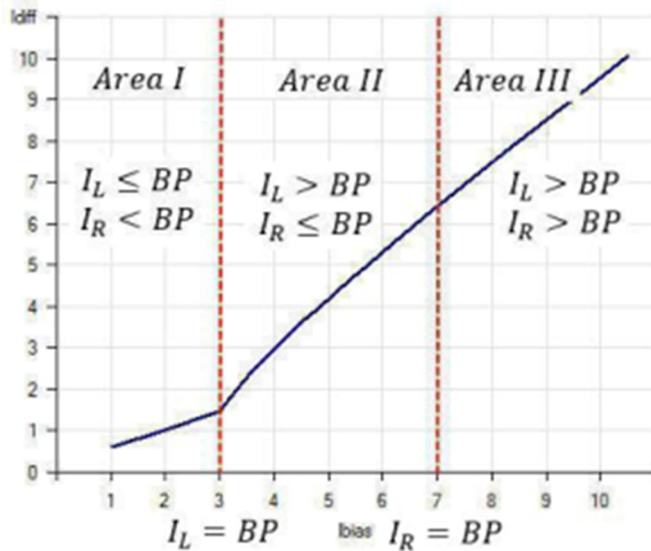
missä I_{bias} on vakavointivirta, I_L paikallinen virta ja I_R johdon vastakkaisesta päästä mitattu virta (Eldmrdash 2015, 8).

Vakavointikäyrä

L90-releen manuaalissa annettu vakavoinnin ominaiskäyrä on esitetty kuviossa 12. Tämän tyyppistä adaptiivista ominaiskäyrää ei voi testata suoraan Omicronin testiympäristössä. Joten releelle on toteutettu erikseen Omicronin testiympäristöön soveltuva vakavoinnin ominaiskäyrä, joka on esitetty kuviossa 13. (Eldmrdash 2015, 5.)



Kuvio 12. L90-releen ominaisvakavointikäyrä (L90. Line Current Differential System 2020, luku 10 s. 18)



Kuvio 13. L90-releen Omicron testiympäristöön sovellettu vakavointikäyrä (Eldmrdash 2015, 8)

L90-releen vakavointikäyrän muoto määräytyy neljän asetuksen perusteella: pickup, restraint 1, restraint 2 ja breakpoint (BP). Pickup määrittää vakavointikäyrän lähtötason, eli suojauksen herkyyden korkean impedanssin vioille. Jos johdon päissä on eri muuntosuhteella varustetut virtamuuntajat, tulee aseteltu pickup-arvo sellaisenaan releelle, jonka paikallisella virtamuuntajalla on suurempi primäärivirta. Vastakkaisen pään releelle saadaan pickup-arvo muuntamalla se virtamuuntajien muuntosuhteiden perusteella vastaamaan suuremmalle virtamuuntajalle annettua pickup-arvoa. (L90. Line Current Differential System 2020, luku 8 s.4)

Restraint 1 ja 2 määrittävät vakavointikäyrän kaltevuuden. Restraint 1 määrää käyrän kaltevuuden, kun virta on pienempi kuin breakpoint. Asetus toimii herkennyksenä korkean impedanssin sisäisissä vioissa ja kun kokoonpano rajoittaa vikavirrat pieniksi. Restraint 2 määrää käyrän kaltevuuden, kun virta on suurempi kuin breakpoint, missä virtamuuntajan virheiden ja saturaation voidaan olettaa olevan merkittäviä. Asetusta käytetään suojaamaan suurilta ulkoisilta vioilta. Breakpoint asetuksella säädetään raja-arvoa, missä rele siirtyy ominaisvakavointikäyrällä kaltevuudesta 1 kaltevuuteen 2. (L90. Line Current Differential System 2020, luku 8 s.4.)

Vakavointi jakautuu kolmeen alueeseen. Alueella 1 sekä paikallinen virta että johdon vastakkaisesta päästä mitattu virta ovat pienempiä kuin aseteltu breakpoint. Alueella 2 paikallinen virta on

suurempi ja vastakkaisen pään virta on pienempi kuin aseteltu breakpoint. Alueella 3 sekä paikallinen että vastakkaisen pään virta ovat suurempia kuin aseteltu breakpoint. Vakavointikäyrän laskentakaavat on esitetty liitteessä 5. Vakavoinnin laskentapohja GE L90.

5.3.3 Siemens 7SL86

7SL86-releen vakavointia ja vakavointikäyrän määrittystä jouduttiin tarkastelemaan edellisen sukupolven releelle Omicron testiympäristöön toteutettuja laskentojen perusteella, sillä kyseiselle releelle ei ollut vastaavia saatavilla. 7SL86-releen tiedettiin kuitenkin toimivan vastaavalla tavalla kuin edellisen sukupolven rele ja näin ollen laskentakaavojen käyttö oli mahdollista.

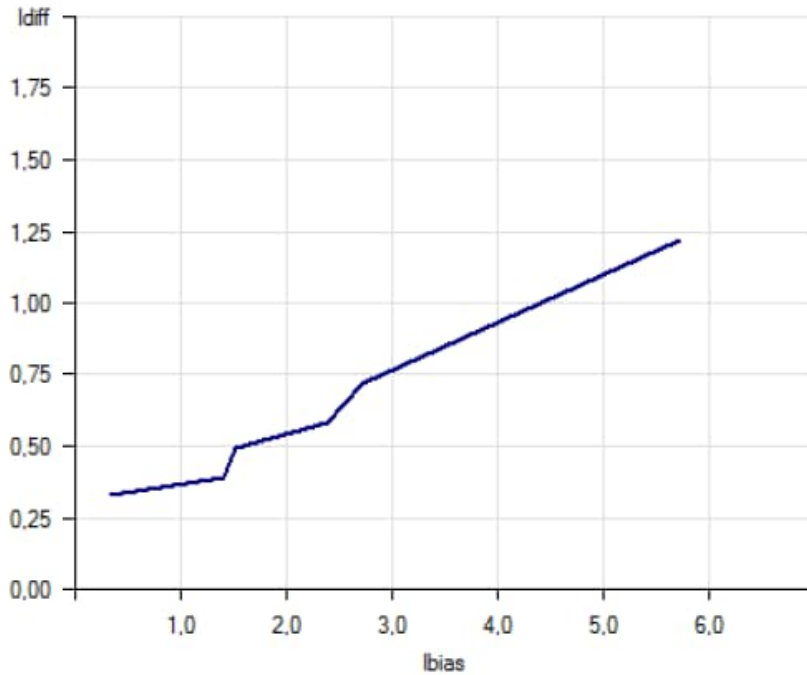
Vakavointi

Vakavointivirta, I_{bias} on suojausalueelle tulevan ja siltä lähtevän virran itseisarvojen summa (Eldmrdash 2014, 7).

$$I_{bias} = (|I_1| + |I_2|) \quad (6)$$

Vakavointikäyrä

Releellä toteutettu erikseen Omicron testiympäristöön soveltuva vakavoinnin ominaiskäyrä, joka on esitetty kuviossa 14. Kuvaaja esittää erovirran I_{diff} ja vakavointivirran I_{bias} suhteellisina arvoina, joista saadaan ampeereita, kun kerrotaan virtamuuntajan nimellisvirralla.



Kuvio 14. 7SL86-releelle soveltuva vakavointikäyrä (Eldmrdash 2014, 7)

Vakavointikäyrä saadaan muodostettua määrittämällä kuusi pistettä, joiden välille vakavointikäyrän muodostavat viisisuoraa piirtyy. Pisteiden sijaintiin ja samalla vakavointikäyrän muotoon vaikuttaa asetellut:

$I_{diff>}$	Threshold Idiff
$I_{diff>>}$	Threshold Idiff Fast 2
K_1 ja K_2	CT error changeover
f_1 ja f_2	CT error A
f_1' ja f_2'	CT error B
	SystemError.

CT Error asetellut huomioivat virtamuuntajien virheet. CT Error changeover -parametri määrittelee kohdan, jossa muuntajan virhe siirtyy matalasta korkeampaan virtaan, herkenetty alue päättyy. (SIPROTEC 5, Distance Protection, Line Differential Protection, and Overcurrent Protection for 3-Pole Tripping 2018, 368-369.) System error -asetuksella huomioidaan mahdolliset signaali- ja synkronointivirheet releiden välisessä tietoliikennetyhteessä. Asetteluista CT error changeover,

CT error A ja CT error B voidaan antaa erikseen paikalliselle ja vastakkaisessa päässä olevalle virtamuuntajalle. Laskentapohja rakennettiin siten, että virtamuuntajien oletettiin olevan samanlaiset ja sisältävän samat asetukset.

Vakavointikäyrän määrittävien pisteiden laskukaavat on esitetty liitteessä 6. Vakavoinnin laskentapohja Siemens 7SL86.

5.4 Muuntajadifferentiaalisuojat

5.4.1 ABB RET670

Vakavointi

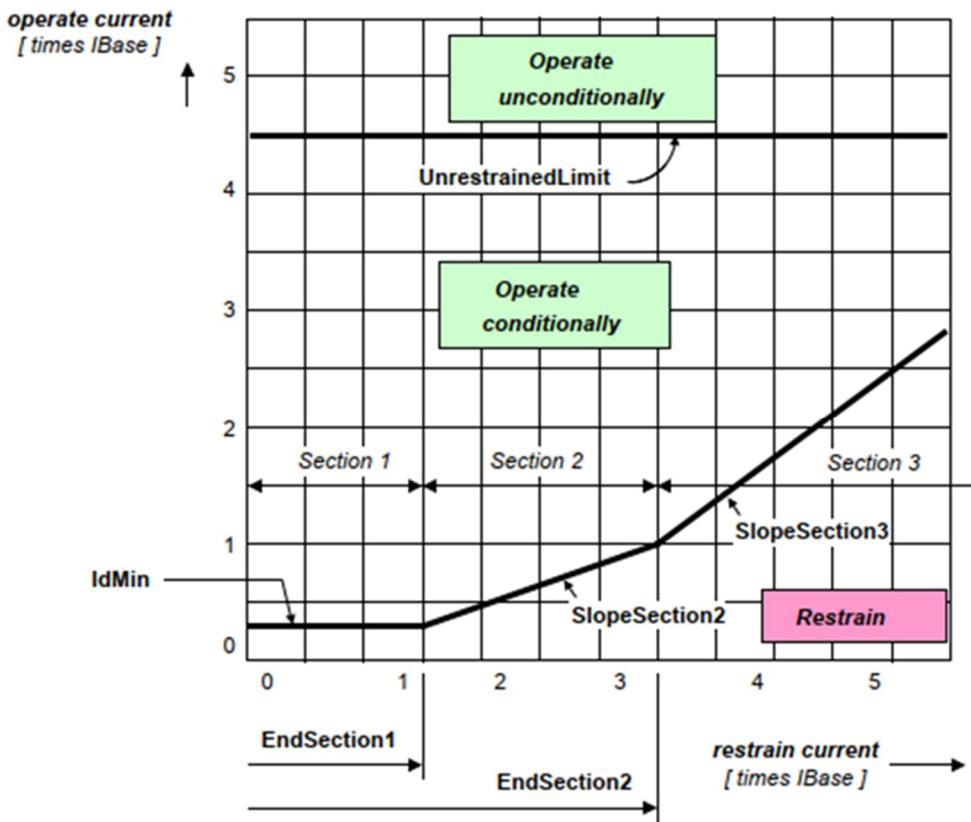
RET670-releen vakavointivirta on muuntajan suurimman käämin vaihevirta. Valittua vakavointivirtaa käytetään kaikille kolmelle vaiheelle. Esimerkiksi kolmikäämiseltä muuntajalta mitatuista yhdeksästä vaihevirrasta suurinta käytetään releen vakavointivirtana kaikille yhdeksälle vaiheelle. (Transformer protection RET670 2018, 168.) Duplex-kentässä, jossa virta jakautuu kahteen haaraan ennen virtamittausta, haarojen virtoja käsitellään summavirtana.

Vakavointikäyrä

RET-670-releen vakavointikäyrä on esitetty kuviossa 15. Se vastaa RED670- johtodifferentiaalireleen vakavointikäyrää, jonka tavoin releellä on kaksi erillistä rajaa: rajoitettu ja rajoittamaton. Stabiloimatonta raja on vakio ja sitä käytetään erittäin suurilla erovirroilla, kun vika on selvästi suojausalueella. Stabiloidun rajan vakavointikäyrän muodon määrittää viisi asetusta (Line differential protection RED670 2018, 175):

1. IdMin perusasettelu, eli pienin erovirta, jolla suojaus toimii
2. EndSection1 ensimmäisen osan, eli perusasettelun päätepiste
3. EndSection 2 toisen osan päätepiste
4. SlopeSection2 toisen osan vakavointikerroin
5. SlopeSection3 kolmannen osan vakavointikerroin.

Vakavointikäyrä esittää sekä vakavointivirran että erovirran suhteessa suojattavan kohteen, eli muuntajan, nimellisvirtaan nähden.



Kuvio 15. RET670 Vakavointikäyrä (Transformer protection RET670 2018, 171)

Virtojen sovitus

Kulmareferenssinä on ensisijaisesti muuntajan ensimmäinen tähteenkytketty käämi. Virtojen suuruudet sovitaan muuntajan ensimmäisen käämin mukaiseksi. (Transformer protection RET670 2018, 163.)

5.4.2 GE T60

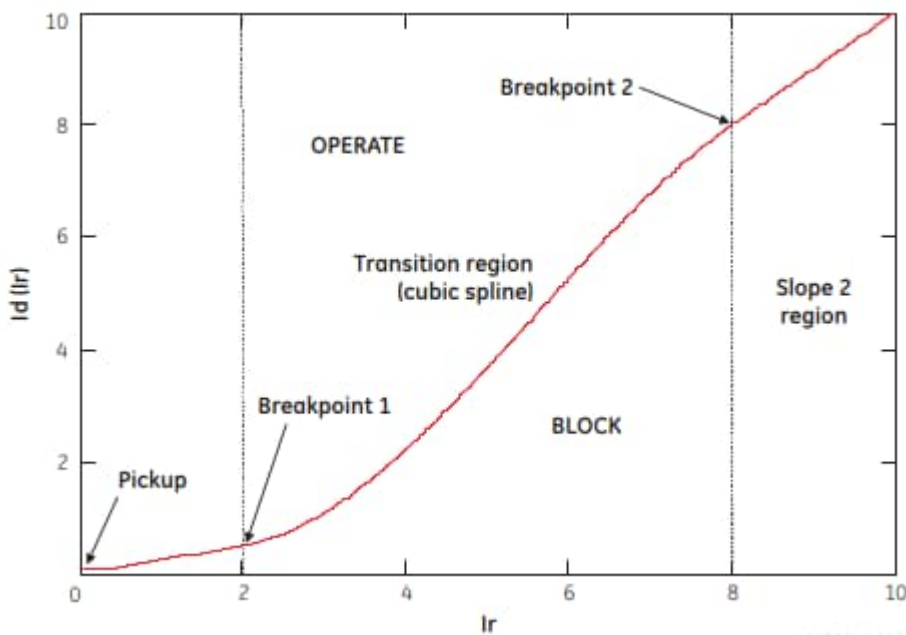
Vakavointi

T60-rele käyttää vakavointivirtana suurinta vaihevirtaa. Sen vakavointi on vaihekohtainen. (T60 Transformer Protection System 2020, luku 5 s. 168.) Duplex-kentässä virta jakautuu kahteen haaraan ennen virtamittausta, jolloin haarojen virrat käsitellään erillisinä.

Vakavointikäyrä

T60-rele antaa ero- ja vakavointivirran suhteessa referenssivirtamuuntajan nimellisvirtaan, ei suojattavaan kohteeseen kuten kaksi muuta työssä tutkittua muuntajadifferentiaalisuojaa (T60 Transformer Protection System 2020, luku 5 s. 164). Vakavointikäyrä on esitetty kuviossa 16. Käyrän muodon määrittää viisiasetusta:

1. Pickup, pienin erovirta, jolla suojaus toimii
2. Slope 1, matalamman portaan vakavointikerroin
3. Slope 2, ylemmän portaan vakavointikerroin
4. Breakpoint 1 taitepiste, johon matalampi porras päättyy
5. Breakpoint 2 taitepiste, josta ylempi porras alkaa.



Kuvio 16. T60 Vakavointikäyrä (T60 Transformer Protection System 2020, luku 5 s. 294)

Matalamman ja korkeamman portaan väliin jää siirtymäalue, jolla käyrä mukautuu likimääräisesti portaiden välille. Lisäksi releen asetteluissa on annettu erovirralla katto, jota ei ole esitetty oheisessa kuviossa. Kattoa käytetään erittäin suurilla erovirroilla, jolloin vika on selvästi suojausalueella.

Virtojen sovitus

Virtojen suuruus sovitetaan referenssi käämin puolelle. Referenssikäämi voidaan valita automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattivalinta valitsee käämin, jossa virtamuuntajan ja muuntajan nimellisvirran suhdeluku on pienin. (T60 Transformer Protection System 2020, luku 5 s. 164.) Opinäytetyön toimeksiantaja käyttää manuaalista referenssikäämin valintaa. Referenssikäämiksi on valittu 400 kV käämi, jolloin 1 pu vastaa tavallisimmin 1500 A:n virtaa. (Suontausta 2020, 22.)

T60-rele käyttää kulmareferenssinä muuntajan kolmiokäämiä. Mikäli muuntajassa ei ole kolmiokäämiä, käyttää rele kulmareferenssinä ensimmäistä käämiä. (T60 Transformer Protection System 2020, luku 5 s. 165.) Esimerkiksi Fingridin tyyppimuuntajassa YNyd11 referenssinä käytetään kolmioon kytkettyä kolmansiokeämiä. Rele asettaa referenssikäämin kulmaksi 0° ja muut virtavektorit ilmoitetaan suhteessa referenssikäämiin. T60-releen vaihevirtojen kulmasovituksessa käytettävät kaavat on annettu taulukossa 2. Rele käyttää 400 kV ja 110 kV vaihevirtojen laskentaan taulukon ylemmän rivin kaavoja ja 20 kV vaihevirtojen määrittämiseen alemman rivin kaavoja.

Taulukko 2. T60-releen laskentakaavat YNyd11 muuntajan vaihekulmaeron ja nollasekvenssin kompensointiin (T60 Transformer Protection System 2020, luku 5 s. 166-167 muokattu)

$I_A[w]$ = uncompensated winding 'w' phase A current
 $I_A^P[w]$ = phase and zero sequence compensated winding 'w' phase A current

$\Phi_{comp}[w]$	Grounding[w] = "Not within zone"	Grounding[w] = "Within zone"
0°	$I_A^P[w] = I_A[w]$ $I_B^P[w] = I_B[w]$ $I_C^P[w] = I_C[w]$	$I_A^P[w] = \frac{2}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_B^P[w] = \frac{2}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_C^P[w] = \frac{2}{3}I_C[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w]$
330° lag	$I_A^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_B^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_C^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$	$I_A^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_B^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_C^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$

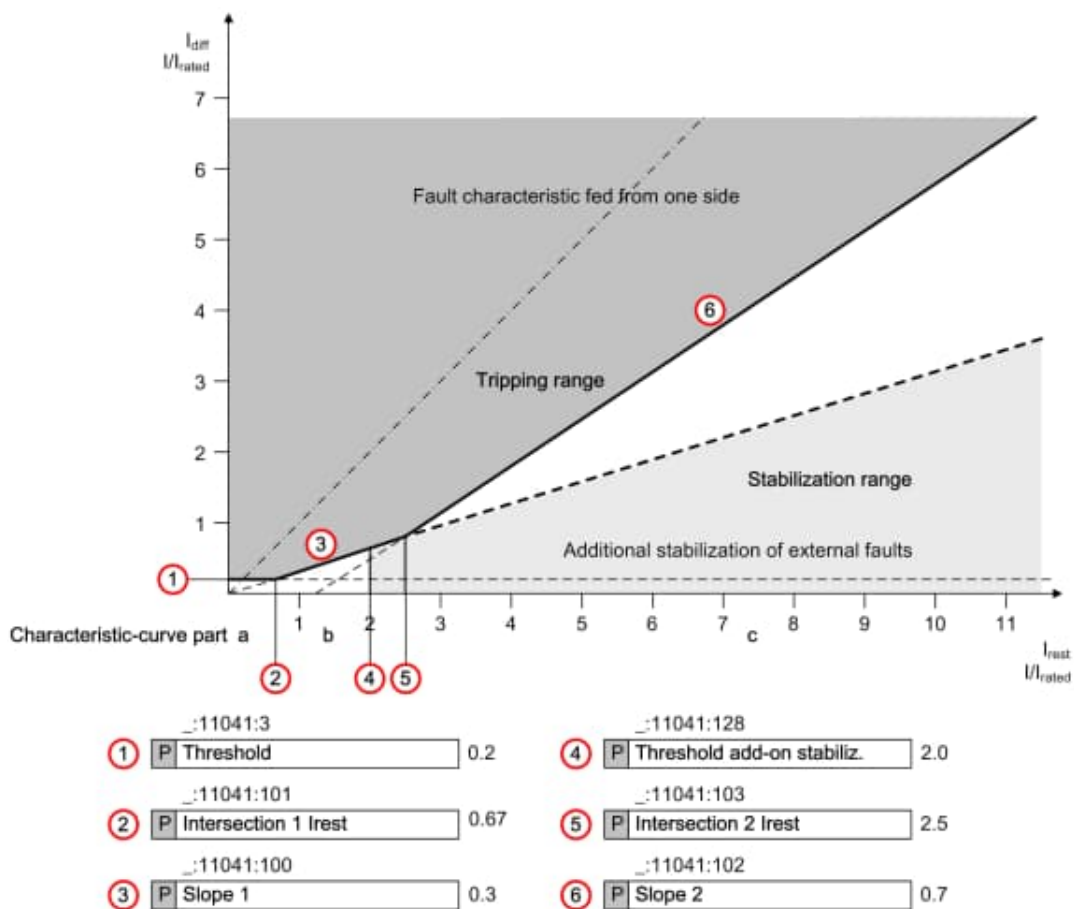
5.4.3 Siemens 7UT8

Vakavointi

7UT8-releen käyttämä vakavointivirta on mittauspisteiltä mitatuista virroista suurin. Vakavointivirta on vaihekohtainen, eli rele antaa jokaiselle vaiheelle oman vakavointivirran. (SIPROTEC 5 Transformer differential protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87 2018, 448–449.) Esimerkiksi duplex-kentässä virta jakautuu kahteen haaraan ennen virtamittausta, jolloin haarojen virrat käsitellään erillisinä.

Vakavointikäyrä

7UT8-releen vakavointikäyrä antaa sekä vakavoinnin että erovirran suhteessa suojattavan kohteen, eli muuntajan, nimellisvirtaan nähden. Siemens 7UT8 -releen vakavointikäyrä jakautuu kolmeen osaan, jotka on merkitty kuvioon 17 kirjaimin a, b ja c.



Kuvio 17. 7UT8 vakavointikäyrä (SIPROTEC 5 Transformer differential protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87 2018, 460)

Osassa a huomioidaan muuntajan tyhjäkäyntivirta, joka näkyy releelle kokonaan erovirtana. Releelle annetaan erovirran havahtumisarvo Threshold-asettelulla, joka asetellaan suuremmaksi kuin muuntajan normaalitilanteen tyhjäkäyntivirta. (SIPROTEC 5 Transformer differential protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87 2018, 460.)

Osa b huomioi virtamuuntajien muuntovirheet sekä jännitteen säädöllä varustettujen muuntajien muuntovirheet normaaleissa käyttöolosuhteissa. Lisäksi b-osassa voidaan huomioida muuntajan käämikytkimen asennon aiheuttama erovirta, jos sitä ei ole huomioitu muuten differentiaalisuojauksessa. (SIPROTEC 5 Transformer differential protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87 2018, 460.) Asettelu Intersection 1 Irest määrittää vakavoinnin, mistä vakavointikäyrän b-osa alkaa, ja Slope 1 määrittää b-osan suoran kaltevuuden.

Osa c huomioi suurilla virroilla esiintyvät virtamuuntajien kyllästymisestä aiheutuvat virheet sekä suurivirtaisen, suojausalueen ulkopuolisen vian. Asettelu Intersection 2 Irest määrittää vakavoinnin, mistä vakavointikäyrän c-osa alkaa, ja Slope 2 määrittää c-osan suoran kaltevuuden. (SIPROTEC 5 Transformer differential protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87 2018, 460.)

Virtojen sovitus

Rele käyttää referenssinä muuntajan 400 kV käämin nimellisvirtaa (Suontausta 2020, 24). Virrat muunnetaan vektoriryhmään 0 (SIPROTEC 5 Transformer differential protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87 2018, 454).

6 Työn toteutus

Asetettuihin tutkimuskysymyksiin etsittiin vastauksia ensisijaisesti relemanuaaleista. Lisäksi apuna käytettiin koestuslaittevalmistaja Omicronin releille tekemiä sovellusohjeita. Näiden tietojen perusteella kirjoitettiin opinnäytetyön teoriaosion luvut 5.2–5.4, joissa kerrotaan kunkin työssä käsitellyn differentiaalireleen vakavoinnin periaatteet ja esitellään näiden vakavointikäyrät. Tämän pohjatiedon perusteella pystyttiin rakentamaan myös laskentapohjat vakavointikäyrien mallinnukseen sekä koestusarvojen laskentaan.

6.1 Perustelut ratkaisuille ja rajauksille

Laskentapohjat päätettiin rakentaa Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, sillä ohjelma on laajalti käytössä ja sen käyttö on sekä opinnäytetyöntekijällä että laskentapohjien loppukäyttäjillä entuudestaan hallinnassa. Excelin arvioitiin myös taipuvan toivottuun lopputulokseen.

Laskentapohjien haluttiin toimivan siten, että koestajan syötettyä releen asettelut taulukkoon laskentapohja muodostaa automaattisesti releen vakavointikäyrän. Koestajan valitsee vakavointikäyrältä testauspisteet ja syöttää pistettä vastaavan vakavointiarvon laskentapohjaan. Laskentapohja laskee automaattisesti testipisteelle koestusarvot alle ja yli laukaisun. Testipisteiden toleranssi, eli laukaisurajavirran ja testauspisteiden välinen erotus, tuli olla määriteltävissä.

Eri relevalmistajat laskevat differentiaalireleen vakavointivirran eri tavoin. Myös vakavointikäyrän muotoon vaikuttavat asettelut vaihtelevat sekä relevalmistajittain että suojauskohteittain. Näiden tietojen pohjalta oli perusteltua ja tulevan käytön kannalta selkeintä, että kullekin opinnäytetyössä käsiteltävälle relemallille luotiin oma laskentapohja. Laskentapohjan yhteyteen haluttiin lisäksi opastavaa tietoa kyseisen releen laskennan periaatteista. Tämä tieto lisättiin selkeyden vuoksi laskentapohjaan eri välilehdelle.

Eri reletyyppien laskentapohjista pyrittiin tekemään mahdollisimman yhdenmukaisia. Laskentaperiaatteiden eroavaisuudet sekä eri tavoin nimetyt asettelut pystyttiin yhdenmukaistamaan vain osittain. Laskentapohjissa käytettiin tarkoituksella sekaisin suomen- ja englanninkielisiä termejä, jotta laskentataulukon käyttäminen olisi loppukäyttäjille mahdollisimman helppoa. Releasettelut on nimetty englanniksi, joten niiden suomentaminen aiheuttaisi laskentapohjien käytössä helposti sekaannuksia. Toimeksiantajan toiveesta laskentapohjissa käytettiin releasetteluille samoja nimiä ja yksiköitä, mitä releen asettelutiedostossa on käytetty. Näin asettelujen siirtäminen laskentapohjalle olisi käyttäjälle mahdollisimman helppoa. Toisaalta haluttiin myös helpottaa Omicronin koestuslaitteeseen syötettävien arvojen havaittavuutta.

Laskennan vaatimat asetteluarvot korostettiin laskentapohjiin värein, jotta käyttäjän olisi helppo havaita kyseiset solut ja tietää, mitä arvoja laskenta koestajalta vaatii. Lisäksi laskennan tuloksena saatavat koestusvirrat korostettiin taulukossa eri värillä, jotta ne korostuisivat muiden virta-arvojen seasta ja ne olisi helpompi havaita ja syöttää koestuslaitteen ohjelmaan.

Opinnäytetyössä tehtyjä laskentapohjia testattiin todellisten relekoestusten ja tyyppihyväksyntätestien ohessa opinnäytetyöprosessin aikana. Työmäärän rajauksen vuoksi testausta ei kuitenkaan sisällytetty itse opinnäytetyöhön.

Kiskosuojat

Todellisessa käyttötilanteessa virtakiskolla on yleensä useita sisään tulevia sekä uloslähteviä virtoja. Vakavoinnin automaattikoestuksessa syötetään kuitenkin käytännössä vain yksi virta sisään ja toinen virta tulee ulos. Näin ollen laskentapohja voitiin rakentaa todellista tilannetta yksinkertaistuen yhdellä sisään tulevalla ja yhdellä ulos lähtevällä virralla. Poikkeuksena tähän oli GE:n B90 rele, joka on suuntatarkastusominaisuuden vuoksi koestettava muista poikkeavalla tavalla. Suuntatarkastus estää laukaisun, mikäli jossain kentässä kulkee paljon virtaa kiskosta pois päin. Tämän vuoksi B90-releen koestuksessa ulostulovirta jaetaan useampaan osaan. Käytännössä laskentapohjassa tämä ratkaistiin jakamalla toisiopuolen ulostulovirta kolmeen yhtä suureen osaan. Tällöin yksittäinen ulostulovirta ei ole niin suuri, että se aiheuttaisi releen lukituksen. Toiveesta eri ulostulovirroille rakennettiin laskentapohjaan mahdollisuus syöttää myös eri muuntosuhteet.

Johtosuojat

Laskennassa oli tarpeen huomioida myös kahdennetut eli duplex-järjestelmät. Tällöin vakavointivirran määrittelystä riippuen voi laskennassa joutua jakamaan suojausalueelle tulevat ja siltä lähtevät virrat useampaan osaan, jotta laskenta saadaan toimimaan oikein.

Muuntajasuojat

Fingridin tehomuuntajien kytkentäryhmä on pääsääntöisesti YNynd11. 400, 220 ja 110 kilovoltin käämit on kytketty tähteen ja tähtikytkentöjen välillä ei ole vaihekulmaa. Yleensä 20 kilovoltin käämi on kytketty kolmioon 30 asteen vaihekulmalla tähtikytkentäiseen käämiin nähden. Laskentapohjissa tarkastellaan muuntajia kaksikäämisinä, sillä automaattikoestus tehdään kaksikäämisinä. Myös kytkennät rajattiin laskentapohjissa YNynd11 muuntajan mukaan, jotta laskentoja saatiin yksinkertaistettua.

Laskennassa tähtikytkentäiset käämit oletetaan aina tähtipisteestä maadoitetuiksi. Tähtikytkentäiset käämit asetellaan aina maadoitetuiksi, vaikka todellisuudessa 400 kV käämit ovat aina maadoitettu ja 110 kV käämeistä vain osa. Siten myös laskenta oli perusteltua rajata samalla tavalla.

6.2 Laskentapohjien testaus

Laskentapohjien testauksia suoritettiin tyyppi hyväksyntätestien, FAT-koestusten sekä erikseen laskentapohjan testaukseen järjestetyn relekoestuksen yhteydessä. Lukuun ottamatta GE:n muuntajadifferentiaalisuojaa kaikki laskentapohjat ehdittiin testata jollakin tasolla opinnäytetyöprosessin aikana.

Kiskosuojat

ABB:n REB670-kiskosuojan laskenta oli ensimmäinen testattu laskentapohja. Testaus suoritettiin opinnäytetyön ohjaajan toimesta suojan tyyppi hyväksyntätestien yhteydessä. Laskenta toimi moitteetta, mutta visualisoinnista ja käytettävyydestä saadun palautteen perusteella tehtiin muutoksia laskentapohjaan. Laskentapohjassa käytettyjä termejä korjattiin. Solut, joista saadaan koestuksessa testiohjelmaan syötettävät virrat, korostettiin taustavärillä. Kuvaaja sekä kuvaajan fontit suurennettiin siten, että tulosteen saa asemoitua hyvin näkyväksi yhdelle A3-lehdelle.

GE:n B90-kiskosuojan laskentapohjaa testattiin releen tyyppi hyväksyntätestien yhteydessä opinnäytetyön ohjaajan toimesta. Testeissä havaittiin, että releen suuntatarkastus estää laukaisun, mikäli jossain kentässä kulkee paljon virtaa kiskosta pois päin. Kyllästystoiminto voi puolestaan estää laukaisun suurilla virroilla. Koestus onnistuu suorittaa laskentapohjaa käyttäen suuntatarkastuksesta huolimatta, kun ulostulovirrat on jaettu useampaan kenttään. Joskaan suurilla virroilla tästä ei ole apua, jolloin suuntatarkastus tai virtamuuntajan kyllästystoiminto voivat estää laukaisun. Laskentapohjaan lisättiin ulostulovirtojen jako kolmeen yhtä suureen osaan. Koestuksessa saatiin myös uutena tietona, että releelle on lisätty herkennystoiminto. Herkennys lisättiin testauksen jälkeen laskentapohjaan sekä opinnäytetyöraporttiin.

Siemensin 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan testaus suoritettiin releen tyyppi hyväksyntätestien yhteydessä opinnäytetyön ohjaajan toimesta. Lisäksi laskentapohjaa on testattu useamman kerran vanhemman, samalla periaatteella toimivan 7SS52-kiskosuojan FAT-testauksen yhteydessä. Näissä testeissä laskentapohja on toiminut hyvin ja suoja tarkasti pienellä toleranssilla.

Johtosuojat

ABB:n RED670-johtosuojan laskentapohja testattiin releen tyyppi hyväksyntätestien yhteydessä. Laskenta toimi muutoin oikein, mutta se ei huomionnut tapausta, jossa virrat syötetään yhtä aikaa

duplexin molempiin A ja B puolikkaiden virtamittauksiin rinnakkain, jolloin esim. syötetty kahden ampeerin virta jakaantuu siten, että yksi ampeeri A-puolelle ja yksi ampeeri B-puolelle, jolloin rele ottaa vakavointivirraksi yhden ampeerin. Tämän palautteen perusteella laskentapohjaan lisättiin valittavaksi duplex/puoliduplex ja laskentakaavoja muokattiin siten, että se huomioi myös duplexin puolikkaisiin jakautuvat virrat.

GE:n L90-johtosuojan laskentapohjaa testattiin releen tyyppihyväksyntättestien yhteydessä. Laskenta toimi moitteetta, kun virtaa syötettiin vain duplexin toiseen puolikkaaseen. Testauksessa huomattiin, että virran jakautuessa duplexin puolikkaille vakavointikäyrä alkaa nousta hieman jyrkemmin alkaen I_{Bias} 3 kA kohdalta. Tähän ei löydetty syytä ja ratkaisua tämän opinnäytetyön puitteissa, joten poikkeaman tarkempi selvitys ja laskentapohjan päivitys jäi jatkokehityksen varaan.

Siemensin 7LS86-johtosuojan laskentapohja testattiin vanhemman relemallin 7SD52 FAT-koestuksen yhteydessä sähköasemaaurakoitsijan toimesta. Kyseisen releen toiminnan todettiin olevan sama kuin releellä 7LS86, sillä releet voidaan laittaa vastakkain johdolle. Laskentapohja toimi koestuksessa, eikä siihen tullut tämän testauksen yhteydessä korjaus- tai jatkokehitystarpeita. Laskentapohjaa testattiin lisäksi 7SL86-releellä. Tällöin syötettäessä virrat duplexin toiseen puoleen laskentapohja toimi hyvin. Toisaalta testeissä havaittiin, että virtojen jakautuessa duplexin molempiin puoliin käyrän alku- ja loppuosa toimivat normaalisti, mutta käyrän keskiosa vaati CT error asettelujen jakamisen kahdella. Tätä ei ole huomioitu laskentapohjassa, sillä toteutus vaatii täsmällisempää tietoa releen käyttäytymisestä, millä kohtaa tarkalleen ottaen muutos käyrän keskiosalla tapahtuu. Myös tämän poikkeaman tarkastelu ja laskentapohjan päivitys jäi jatkokehityksen varaan.

Muuntajasuojat

ABB:n RET670-muuntajadifferentiaalisuojan laskentapohjaa testattiin tätä varten järjestetyssä relekoestuksessa. Toimivuus testattiin koestamalla käytännössä releen vakavointikäyrä käyttäen laskentapohjan antamia koestusvirtoja. Laskentapohjan antamat koestusvirrat alle ja yli laukaisun syötettiin Omicron-koestuslaitteen ohjelmaan ja virtoja syötettiin koestuslaitteella releelle. Näin testattiin, laukaiseeko rele laskentapohjan mukaisilla virroilla. Laskentapohja toimi moitteetta, eikä siihen tullut tämän testauksen perusteella korjaus- tai jatkokehitystarpeita.

Myös Siemensin 7UT8-muuntajadifferentiaalisuojan laskentapohjaa testattiin tätä varten järjestetyssä relekoestuksessa vastaavalla tavalla kuin ABB:n RET670-releen laskentapohjaa. Laskentapohja toimi hyvin puolikkaalla duplexilla oikosulkuvioissa. Myös koko duplex YDyd kytkennällä toimi oikosulkuvikojen laskennan osalta. Sen sijaan maasuluissa rele käyttäytyi odottamattomalla tavalla. Syötettäessä maasulkuvirtaa esim. L1-vaiheelle, laukaisi rele laskentapohjan antamaa vakavointivirtaa pienemmällä virralla vaiheilla L2 ja L3. Releen käyttäytyminen maasuluissa vaatiikin vielä tarkempaa selvittelyä sekä laskentapohja päivityksen.

GE:n T60-muuntajadifferentiaalisuojan laskentapohja jäi kokonaan testaamatta. Kyseinen suoja oli toiminnaltaan monimutkaisin, haasteellisin ymmärtää sekä sen laskenta hankalin toteuttaa, joten on mahdollista, ettei tehty laskentapohja toimi lainkaan toivotulla tavalla. Laskentapohjan testaus ja kehitys jää opinnäytetyön jatkokehityksen varaan.

7 Työn tulokset

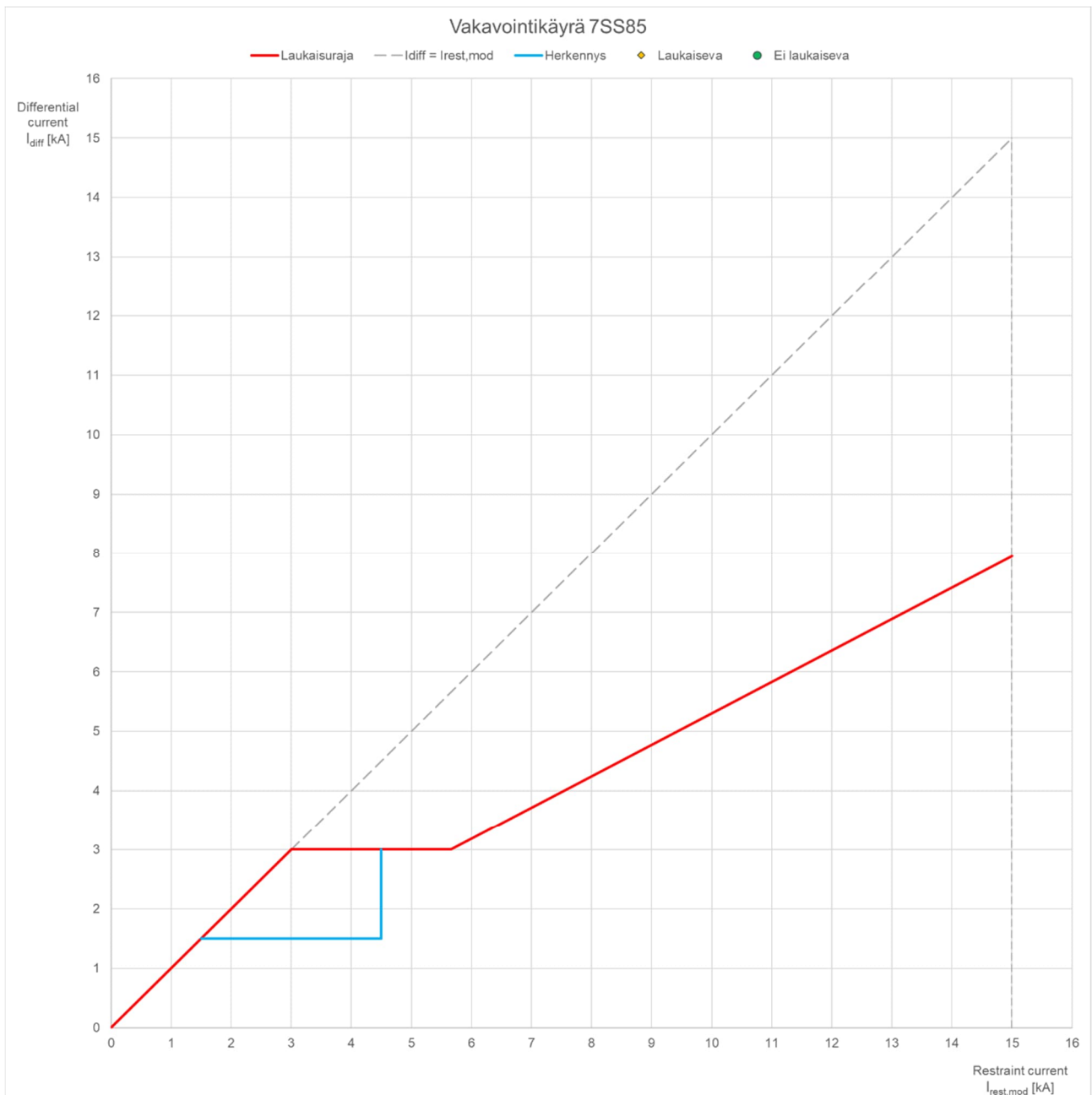
Työn tuloksena syntyi yhdeksän erillistä laskentapohjaa releiden vakavoinnin laskentaan. Laskentapohjat on esitetty liitteissä 1–9. Esimerkin vuoksi näihin on annettu asettelu- ja vakavointiarvot.

Esimerkki laskentapohjan käytöstä

Taulukossa 3 on annettu esimerkki Siemensin 7SS85-kiskosuojan laskentapohjaan annettavista asetteluista. Koestaja on täydentänyt sinisellä pohjalla korostetut asettelusolut. Kuviossa 18 on esimerkki laskentapohjan mallintamasta vakavointikäyrästä, joka muodostuu asettelujen perusteella.

Taulukko 3. Esimerkki Siemens 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan asettelutaulukosta

Vakavointilaskennan asettelut	Asettelut		(laskettu)	
Rated object current, IrObj - Virtamuuntajan primäärivirta	3000	A	3	kA
Threshold Idiff - Kynnyserovirta	1	pu	3	kA
Threshold Id /sens.char. - Herkennyksen alaraja	0,5	pu	1,5	kA
Threshold Is /sens.char. - Herkennyksen pituus	1,5	pu	4,5	kA
Onko herkennys käytössä? (on/off)	off			
Stabilization factor, k - Stabilointikerroin	0,53			
Testipisteiden toleranssi	0,2	kA		
Vakavointikäyrän asetukset				
	Asetukset			
Vakavointikäyrän X (aseteltavissa)		kA		
Vakavointikäyrän X	15	kA		
Vakavointikäyrän Y (laskettu)	7,95	kA		
Aloituspiste	0			
Kaavion apupiste (laskettu)	5,66			
Kaavion apupiste (laskettu)	3			
Virtamuuntajien muuntosuhteet				
	Kenttätunnus	Ensiövirta	Toisiovirta	
Kiskolle tuleva	AE05	1200	A	1 A
Kiskolta lähtevä	AE07	1200	A	1 A

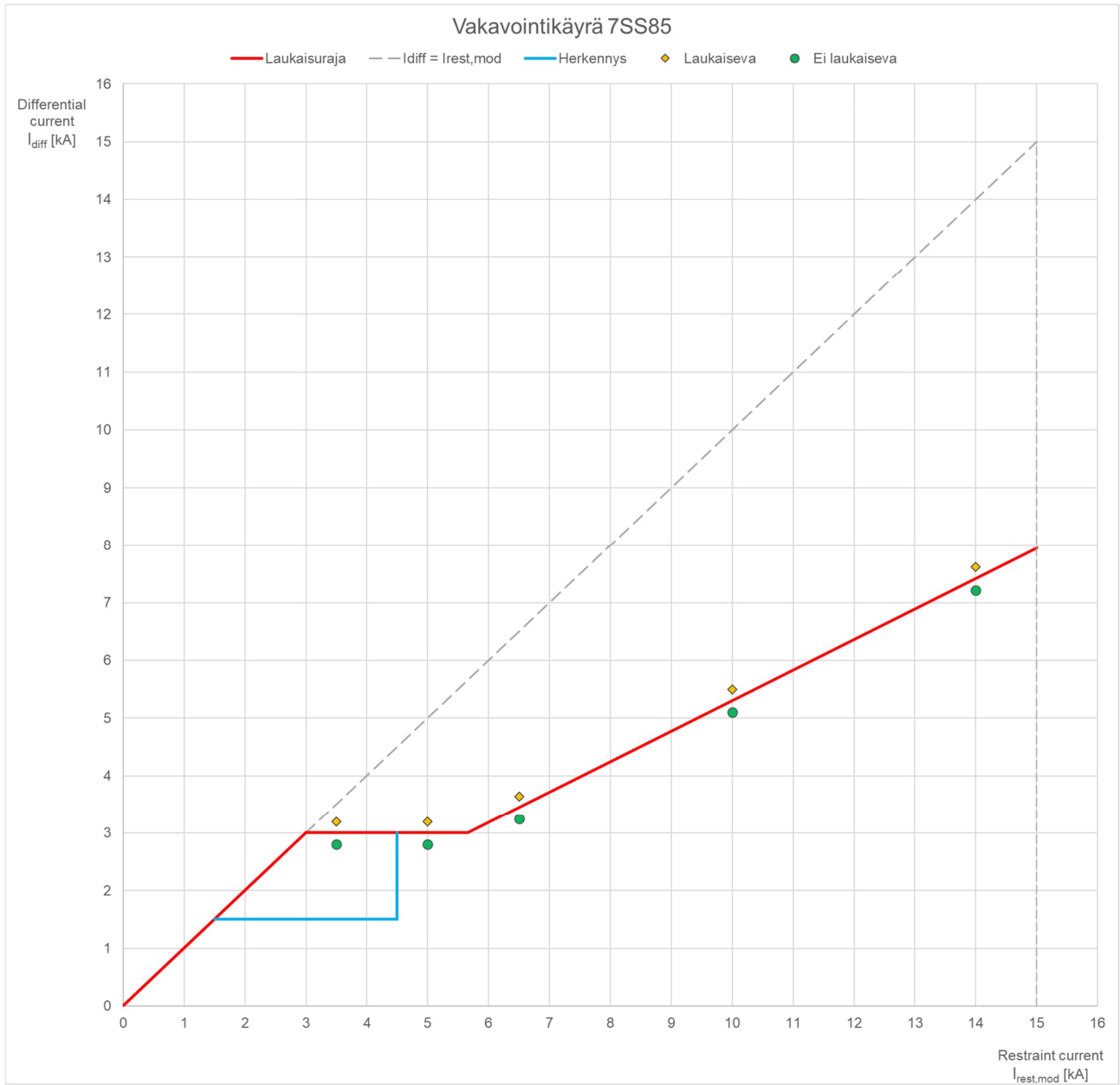


Kuvio 18. Esimerkki 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan asettelujen perusteella mallinnetusta vakavointikäyrästä

Koestaja valitsee yllä olevan käyrän perusteella koestettavat vakavointipisteet ja syöttää valitut vakavointivirrat testipisteille taulukon 4 mukaisesti sinisellä taustavärillä korostettuihin soluihin. Laskentapohja laskee automaattisesti koestusvirrat testipisteille. Kyseiset solut on korostettu taulukossa keltaisella taustavärillä. Samalla laukaiseva ja ei laukaiseva piste ilmestyvät vakavointikäyrän yhteyteen, kuten kuviossa 19 on esitetty. Laskennan tuloksena saatuja virtoja voidaan syöttää koestuslaitteella releelle ja testata näin, toimiiko rele oikein kyseisillä virroilla.

Taulukko 4. Esimerkki 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan testipistetaulukosta

Testipisteet														
Piste 1	Vakavointivirta, $I_{rest,mod}$		3,5	kA										
	Testipisteiden toleranssi		0,2	kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti									
			Ensiövirta				Toisiovirta							
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	3,25	kA	3,25	kA	3,25	kA	2,708	A	2,708	A	2,708	A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE07	0,25	kA	0,45	kA	0,05	kA	0,208	A	0,375	A	0,042	A
Erovirta, I_{diff}		3	kA	2,8	kA	3,2	kA							
Piste 2	Vakavointivirta, $I_{rest,mod}$		5	kA										
	Testipisteiden toleranssi		0,2	kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti									
			Ensiövirta				Toisiovirta							
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	4	kA	4	kA	4	kA	3,333	A	3,333	A	3,333	A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE07	1	kA	1,2	kA	0,8	kA	0,833	A	1,000	A	0,667	A
Erovirta, I_{diff}		3	kA	2,8	kA	3,2	kA							
Piste 3	Vakavointivirta, $I_{rest,mod}$		6,5	kA										
	Testipisteiden toleranssi		0,2	kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti									
			Ensiövirta				Toisiovirta							
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	4,9725	kA	4,9725	kA	4,9725	kA	4,144	A	4,144	A	4,144	A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE07	1,5275	kA	1,7275	kA	1,3275	kA	1,273	A	1,440	A	1,106	A
Erovirta, I_{diff}		3,445	kA	3,245	kA	3,645	kA							
Piste 4	Vakavointivirta, $I_{rest,mod}$		10	kA										
	Testipisteiden toleranssi		0,2	kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti									
			Ensiövirta				Toisiovirta							
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	7,65	kA	7,65	kA	7,65	kA	6,375	A	6,375	A	6,375	A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE07	2,35	kA	2,55	kA	2,15	kA	1,958	A	2,125	A	1,792	A
Erovirta, I_{diff}		5,3	kA	5,1	kA	5,5	kA							
Piste 5	Vakavointivirta, $I_{rest,mod}$		14	kA										
	Testipisteiden toleranssi		0,2	kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti									
			Ensiövirta				Toisiovirta							
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	10,71	kA	10,71	kA	10,71	kA	8,925	A	8,925	A	8,925	A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE07	3,29	kA	3,49	kA	3,09	kA	2,742	A	2,908	A	2,575	A
Erovirta, I_{diff}		7,42	kA	7,22	kA	7,62	kA							



Kuvio 19. Esimerkki 7SS85-kiskosuojan laskentapohjan vakavointikäyrästä ja testipisteistä

8 Pohdinta

Opinnäytetyössä tutkittiin toimeksiantajan yhdeksän tyyppihyväksytyyn suojarileen vakavointia. Tavoitteena oli vastata kunkin releen osalta seuraaviin kysymyksiin, miten releen vakavointivirta määritetään ja mitkä asetellut määrittävät releen vakavointikäyrän muodon ja miten. Tehtävänä oli rakentaa tämän tiedon perusteella laskentapohja kunkin releen vakavoinninlaskentaan, helpottaa releiden vakavoinnin koestamista ja vaikuttaa näin myönteisesti koestuksen laatuun.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi yhdeksän erillistä laskentapohjaa, jotka mallintavat releen vakavointikäyrän releasettelujen perusteella ja laskevat koestusvirrat valituille vakavointivirroille. Lisäksi kuhunkin laskentapohjaan lisättiin erillinen välilehti, jossa kerrottiin kyseisen releen vakavoinnista sekä vakavointilaskennan perusteista.

Suurinta osaa laskentapohjista ehdittiin testata käytännössä opinnäytetyön teon aikana. Testauksista saadun palautteen perusteella laskentapohjiin tehtiin korjauksia sekä käytettävyyttä parantavia muutoksia. Testauksen tuloksista ja laskentapohjiin tehdyistä muutoksista on kerrottu tarkemmin kappaleessa 6.2 laskentapohjien testaus. Osa laskentapohjista on testattu kattavammin ja osa pintapuoleisesti. Testaus ei ollut systemaattista, joten laskentapohjiin on voinut jäädä virheitä sekä aukkoja releiden erikoistoimintojen osalta. Myös eri testaajien kokemus koestuksesta ja laskentapohjien käytöstä voivat vaikuttaa testaustuloksiin ja niiden luotettavuuteen.

Opinnäytetyön aihepiiri oli osittain vaikeaselkoinen ja hyvin haastava. Relemanuaalien ja Omicronin sovellusohjeiden ymmärrettävyys asettivat haastetta. Opinnäytetyöntekijän tekemät virheet ja väärinymmärrykset ovat siis mahdollisia, mikä voi osaltaan heikentää työn tulosten luotettavuutta.

Opinnäytetyössä onnistuttiin vastaamaan asetettuihin tutkimuskysymyksiin sekä rakentamaan kullekin suojarieleelle laskentapohjat vakavoinnin laskentaan. Kaikkia laskentapohjia ei kuitenkaan saatu toimimaan täysin kaikissa käyttötilanteissa. GE:n ja Siemensin muuntajasuojarieleille ei onnistuttu rakentamaan laskentaa, joka toimisi täysin, kun virrat jakautuvat duplexin kumpaankin puolikkaaseen ja ulostulovirrasta tulee vakavointivirta. Siemensin muuntajasuojarileen käyttäytyminen oikosulkuvioissa jäi avoimeksi kysymykseksi. Lisäksi GE:n sekä Siemensin johtosuojien käyttäytyminen laskentapohjasta poikkeavasti virtojen jakautuessa duplexin puolikkaisiin jäi ratkaisematta. Näiden tapausten syvällisempi tarkastelu sekä päivittäminen laskentapohjiin jäikin

opinnäytetyön jatkokehityskohteiksi. Muita jatkokehitysideoita tässä opinnäytetyössä on laskentapohjien jalkauttaminen relekoestuksiin sekä laskentapohjien systemaattinen testaus. Lisäksi koestusta helpottaisi suuresti, mikäli testausvirrat saataisiin vietyä Omicron koestuslaitteelle automaattisesti laskentapohjasta.

Laskentapohjia voidaan hyödyntää releiden vakavoinnin koestuksessa. Laskentapohjat tekevät vakavoinnin laskennasta aiempaa helpompaa ja nopeampaa. Laskentavirheiden mahdollisuus pienee ja mahdolliset virheelliset releasettelut tulevat helpommin havaituiksi. Laskentapohjia käyttämällä koestajien on helppo tarkistaa koestuksen virrat eri asetteluarvoilla. Laskenta onnistuu myös koestajilta, jotka eivät aiemmin ole perehtyneet vakavointilaskentaan. Toisaalta myös laskentaperusteet ovat jatkossa helposti saatavilla laskentapohjien yhteydessä.

Osa tehdyistä laskentapohjista on ehditty käyttää todellisissa relekoestuksissa. Käytännön kokemukset ovat olleet myönteisiä. Testit onnistuvat ja ne ovat koestuslaitteen automaattikoestusta havainnollisempia. Releiden vakavoinnin periaatteet tulevat tutummiksi koestajille ja myös asettelunlaskijat voivat tarkastella releiden eroavaisuuksia vakavoinnin suhteen sekä miettiä, kuinka releet kannattaa asetella. Laskentapohjat ovat nyt usein käytössä relekaappien tehdaskoestuksissa. Vaikka pääosin kokemukset laskentapohjien käytöstä ja toimivuudesta olivat positiivisia, jäi osaan laskentapohjista puutteita, kuten pohdinnassa on jo aiemmin todettu.

Lähteet

ABB:n TTT-käsikirja 2000–7. N.d. Materiaali Oulun ammattikorkeakoulun verkkosivulla. Viitattu 21.10.2020.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_5_Oikosulkusuojaus-releill%84.pdf

Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. Porvoo: WSOY.

B90 Low impedance bus differential system. 2018. Käyttöohje. Versio 7.8x. General Electric.

Busbar protection REB670. 2017. Käyttöohje. Versio 2.2 IEC. ABB.

Eldmrdash, S. 2014. Testing the Adaptive Characteristics of a SIEMENS 7SDxxx Line Differential Protection Relay using Test Universe. Sovellusohje. OMICRON

Eldmrdash, S. 2015. Testing the Adaptive Characteristic of the GE L90 Line Differential Protection Relay using Test Universe. Sovellusohje. OMICRON

Elovaara & Haarla. 2011. Sähköverkot I. Helsinki: Otatieto.

Fingridin Oyj:n sähkösiirtoverkko. 2022. Tiedosto Fingrid Oyj:n verkkosivustolla. Viitattu 14.4.2022. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/sahkon-siirto/a3_kartta_selite_22.pdf

Fingridin sähkösiirtoverkko. N.d. Artikkelit Fingrid Oyj:n verkkosivustolla. Viitattu 21.10.2020. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>

Kananen, J. 2015a. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, J. 2015b. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kantaverkon käsikirja. 2011. Helsinki: Fingrid Oyj.

Kuluttajatietoa. N.d. Artikkelit Fingrid Oyj:n verkkosivustolla. Viitattu 21.10.2020. <https://www.fingrid.fi/asiakkaille/kuluttajatietoa/>

Line differential protection RED670. 2017. Käyttöohje. Versio 2.2 IEC. ABB.

L90 Line Current Differential System. 2020. Käyttöohje. Versio 8.0x. General Electric.

Mörsky, J. 1993. Relesuojaustekniikka. 2. korj. p. Hämeenlinna: Otatieto.

Network Protection & Automation Guide. 2011. Alstom Grid

Pohjoismainen sähköjärjestelmä ja liittynät muihin järjestelmiin. N.d. Artikkelit Fingrid Oyj:n verkkosivustolla. Viitattu 21.10.2020.

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/pohjoismainen-sahkojarjestelma-ja-liitynnat-muihin-jarjestelmiin/>

Puttonen, P.2019a. Maasulku. Luentomateriaali. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Puttonen, P.2019b. Oikosulku. Luentomateriaali. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

SIPROTEC 4 Erovirtasuojaja 7UT613/63X. 2007. Käyttöohje. Versio 4.60. Siemens.

SIPROTEC 5 Distance Protection, Line Differential Protection, and Overcurrent Protection for 3-Pole Tripping. 2018. Käyttöohje. Versio 7.80. Siemens.

SIPROTEC 5. Low-Impedance Busbar Protection 7SS85. 2020. Käyttöohje. Versio 8.01. Siemens.

SIPROTEC 5 Transformer differential protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87. 2018. Käyttöohje. Versio 7.80. Siemens.

STL 1135/2016. Sähköturvallisuuslaki. Annettu 12.16.2016. Viitattu 18.10.2020.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135#Pidp448186448>

Suomen sähköjärjestelmä. N.d. Artikkelijingrid Oyj:n verkkosivustolla. Viitattu 21.10.2020.

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>

Suontausta, J. 2020. Muuntajadifferentiaalireleet. Tutkimusraportti Fingrid Oyj:lle. Sisäinen. Rejlers Finland Oy.

Sähköasemien koulutuspaketti relesuojaus, spesifikaatiot urakoitsijoille. 2011. Esitysmateriaali. Teemu Viinikainen muokannut JAMK:lle opetuskäyttöön 2019. Fingrid Oyj.

T60 Transformer Protection System. 2020. Käyttöohje. Versio 8.0x. General Electric.

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Tampere: Tampereen yliopistopaino.

Transformer protection RET670. 2018. Käyttöohje. Versio 2.2. ABB.

Viinikainen, T. 2019. Relesuojauksen erikoisasantuntija. Fingrid Oyj. Henkilökohtainen tiedonanto 19.12.2019

Viinikainen, T. 2022. Relesuojauksen erikoisasantuntija. Fingrid Oyj. Henkilökohtainen tiedonanto 5.4.2022

Liitteet

Liite 1. Vakavoinnin laskentapohja ABB REB670

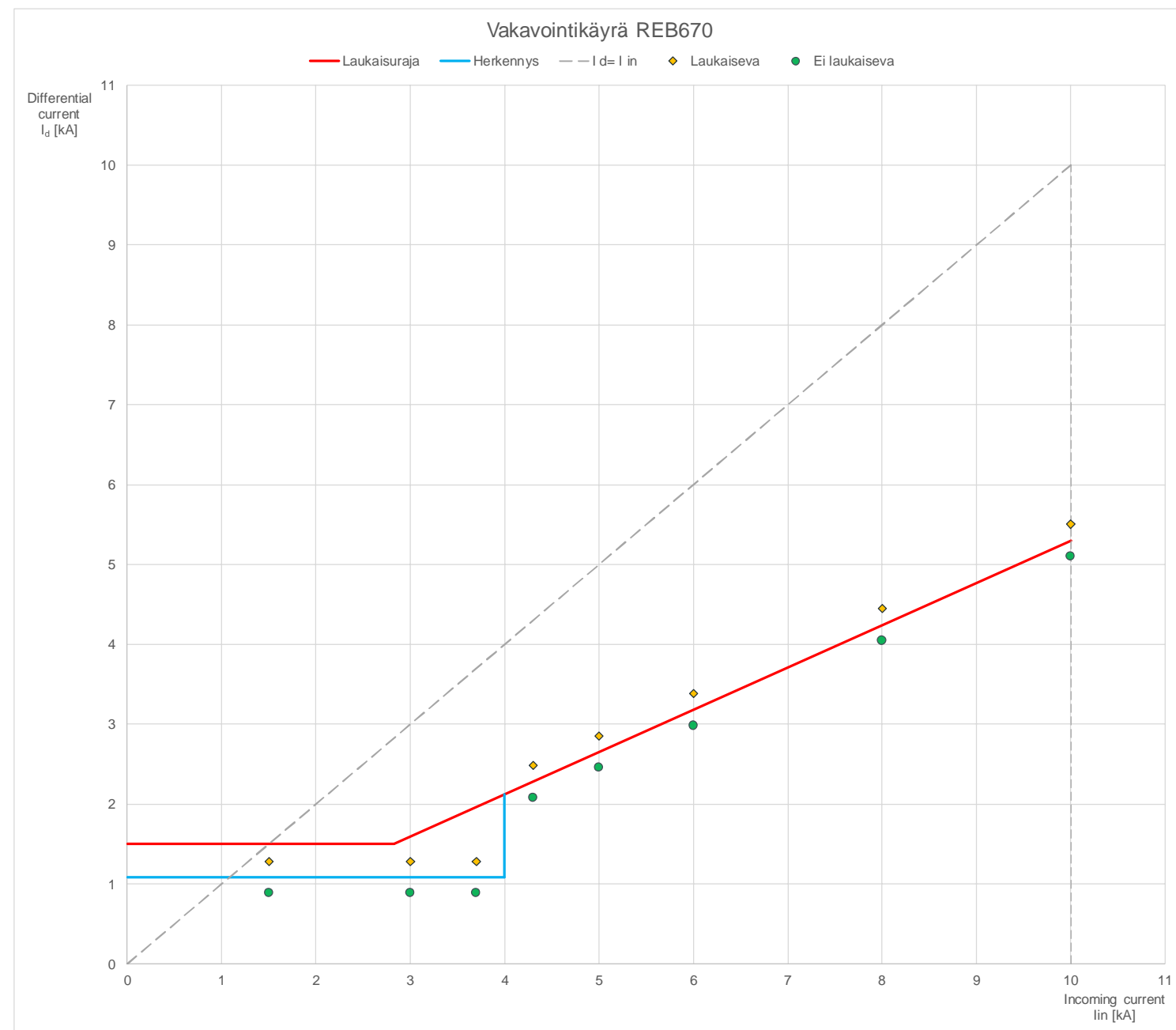
Vakavointilaskennan asettelut		Asettelut
DiffOperLevel - Kynnysvirtoja		1,5 kA
SensOperLevel - Herkennyksen alaraja		1,08 kA
SensInBlock - Herkennyksen pituus		4 kA
SensDiffOper - Onko herkennys käytössä? (on/off)		on
Slope, s - kulmakerto		0,53
Testipisteiden toleranssi		0,2 kA
Vakavointikäyrän asetukset		Asetukset
Vakavointikäyrän X (aseteltavissa)		10 kA
Vakavointikäyrän Y		10 kA
Vakavointikäyrän Y (laskettu)		5,3 kA
Aloituspiste		0
Kaavion apupiste (laskettu)		2,830189
Kaavion apupiste (laskettu)		2,12
Virtamuuntajien muuntosuhteet		
Kiskolle tuleva	AE05	3000 A
Kiskolta lähtevä	AE06	3000 A

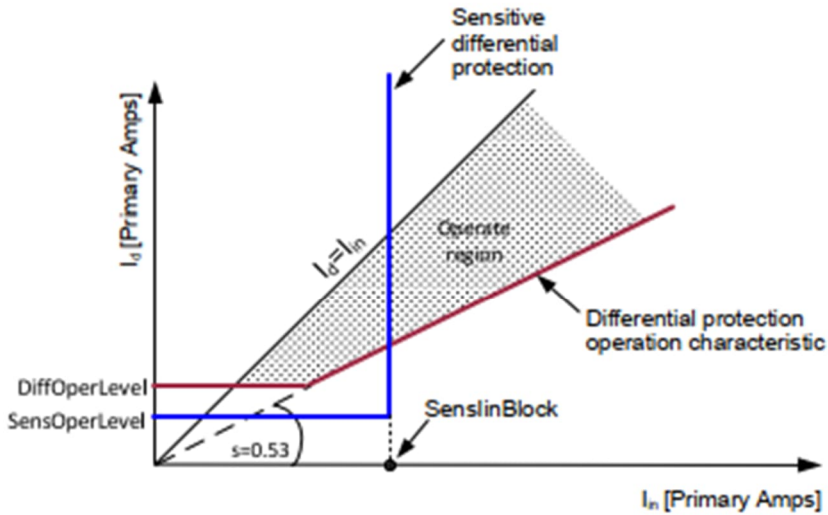
Testipisteet								
Piste 1	Incoming current, I_{in}	1,5 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	1,5 kA	1,5 kA	0,500 A	0,500 A	0,500 A	
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	0,42 kA	0,62 kA	0,22 kA	0,140 A	0,207 A	0,073 A
	Erovirta, I_d		1,08 kA	0,88 kA	1,28 kA			
Piste 2	Incoming current, I_{in}	3 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	3 kA	3 kA	3 kA	1,000 A	1,000 A	1,000 A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	1,92 kA	2,12 kA	1,72 kA	0,640 A	0,707 A	0,573 A
	Erovirta, I_d		1,08 kA	0,88 kA	1,28 kA			
Piste 3	Incoming current, I_{in}	3,7 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	3,7 kA	3,7 kA	3,7 kA	1,233 A	1,233 A	1,233 A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	2,62 kA	2,82 kA	2,42 kA	0,873 A	0,940 A	0,807 A
	Erovirta, I_d		1,08 kA	0,88 kA	1,28 kA			
Piste 4	Incoming current, I_{in}	4,3 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	4,3 kA	4,3 kA	4,3 kA	1,433 A	1,433 A	1,433 A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	2,021 kA	2,221 kA	1,821 kA	0,674 A	0,740 A	0,607 A
	Erovirta, I_d		2,279 kA	2,079 kA	2,479 kA			
Piste 5	Incoming current, I_{in}	5 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	5 kA	5 kA	5 kA	1,667 A	1,667 A	1,667 A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	2,35 kA	2,55 kA	2,15 kA	0,783 A	0,850 A	0,717 A
	Erovirta, I_d		2,65 kA	2,45 kA	2,85 kA			
Piste 6	Incoming current, I_{in}	6 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	6 kA	6 kA	6 kA	2,000 A	2,000 A	2,000 A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	2,82 kA	3,02 kA	2,62 kA	0,940 A	1,007 A	0,873 A
	Erovirta, I_d		3,18 kA	2,98 kA	3,38 kA			
Piste 7	Incoming current, I_{in}	8 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	8 kA	8 kA	8 kA	2,667 A	2,667 A	2,667 A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	3,76 kA	3,96 kA	3,56 kA	1,253 A	1,320 A	1,187 A
	Erovirta, I_d		4,24 kA	4,04 kA	4,44 kA			
Piste 8	Incoming current, I_{in}	10 kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti					
			Ensiövirta		Toisiovirta			
		Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisääntulovirta, I_{in}	AE05	10 kA	10 kA	10 kA	3,333 A	3,333 A	3,333 A
	Ulostulovirta, I_{out}	AE06	4,7 kA	4,9 kA	4,5 kA	1,567 A	1,633 A	1,500 A
	Erovirta, I_d		5,3 kA	5,1 kA	5,5 kA			

ABB REB670 - Vakavointilaskenta.xlsx

Ohjeita taulukon käyttöön

- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemäsi tiedostokopioon.
- Täytä sinisellä taustavärillä merkityt kentät. Taulukotyökalu laskee automaattisesti muut kentät, kun siniset kentät on täydennetty.
- Ilmoita, onko herkennys käytössä kirjoittamalla kenttään on tai off.
- Vakavointilaskennan asetellut -taulukossa aseteltava "Testipisteiden toleranssi" antaa toleranssin kaikille testipisteille. Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti alempana, kunkin testipisteen omassa taulukossa.
- "Vakavointikäyrän X" -kenttä määrittelee kuvaajan X-akselin pituuden. Siniseen kenttään voidaan antaa käsin arvon sen perusteella, mihin vakavointivirtaan saakka haluaa koestaa.
- Koestuksessa testiohjelmaan annettavat virta-arvot on korostettu keltaisella taustavärillä.





REB670

Vakavointi

REB670-kiskosuoja operoi tulevien ja lähtevien virtojen erotuksella. Suojausalueella esiintyy kahden suuntaisia virtoja, positiivisia ja negatiivisia. Näistä sisään tulevaksi virraksi määräytyy se, kumman suuntaisten virtojen summa on suurempi. Vakavointivirta on suojausalueelle tulevien virtojen summa.

Toimintakäyrä

ABB:n REB670-releellä on kaksi erillistä suojaustoimintoa: vakavoitu ja herkennetty erovirtasuojaus. Vakavoidun erovirtasuojauksen toimintakäyrä on esitetty kuvassa ruskealla värillä ja herkennetyn suojauksen käyrä sinisellä. REB670-releen toimintakäyrällä erovirta (I_d) ja vakavointivirta (I_{in}) esitetään primäärivirtoina.

Vakavoidun erovirtasuojauksen toimintakäyrän muodon määrää erovirran perusasettelu (DiffOperLevel) ja vakavointikerroin (Slope, s). Erovirran perusasettelu määrittää pienimmän erovirran, jolla suojaus toimii. Perusasettelu annetaan releelle suoraan primäärivirtana. Vakavointikertoimeksi on REB670-releelle määritetty kiinteästi 0,53.

Herkennetty erovirtasuojaus aktivoituu maasuluissa. SensOperLevel-asettelulla määritetään herkennetyn alueen erovirta, jolla suojaus toimii. SenslinBlock-asettelu määrittää herkennyksen pituuden, eli sen vakavointivirran, johon saakka herkennystä jatketaan. Tätä suuremmilla vakavointivirroilla toimintakäyrä siirtyy noudattamaan vakavoidun erovirtasuojauksen toimintakäyrää.

Liite 2. Vakavoinnin laskentapohja GE B90

Vakavoitilaskennan asettelut	Asettelut	(lasketu)
Normalizing current, Iprim - Virtamuuntajan suurin primaarivirta	3000 A	3 kA
Pickup - Matalin erovirta laukaisulle	1 pu	3 kA
Low Bptn - Alemman portaan pituus ("herkennys")	3 pu	9 kA
Low Slope - Alemman portaan kulmakerron ("herkennys")	53 %	0.53
High Bptn - Ylemmän portaan alkupiste	3 pu	9 kA
High Slope - Ylemmän portaan kulmakerron	53 %	0.53
High set - Vakavoinnin katto	5 pu	15 kA
Sens Diff Pickup - Herkennyksen alaraja	0.5 pu	1.5 kA
Sens Diff Max Amp - Herkennyksen pituus	1.5 pu	4.5 kA
Onko herkennys käytössä (on/off)	on	
Testipisteiden toleranssi	0.2 kA	

Vakavoitikäyrän asetukset	Asetukset
Vakavoitikäyrän X (aseteltavissa)	kA 33.30 kA
Piste 1: X, Y	0.00 kA, 3.00 kA
Piste 2: X, Y	5.66 kA, 3.00 kA
Piste 3: X, Y	9.00 kA, 4.77 kA
Piste 4: X, Y	9.00 kA, 4.77 kA
Piste 5: X, Y	28.30 kA, 15.00 kA
Piste 6: X, Y	33.30 kA, 15.00 kA
k-kerron välillä low bptn - high bptn	#####
Herkennyksen apupiste Y2	3.00 kA

Virtamuuntajien muutossuhteet	Kentätunnus	Ensiövirta	Toisiovirta
Kiskolle tuleva	AE07	3000 A	1 A
Kiskolta lähtevä 1	AE08	1200 A	1 A
Kiskolta lähtevä 2	AE10	600 A	1 A
Kiskolta lähtevä 3	AE03	1500 A	1 A

Testipisteet														
Piste 1	Vakavoitivirta, I _v	2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti											
	Testipisteiden toleranssi	0.2 kA												
	Ensiövirrat			Toisiovirrat										
		Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva							
	Sisaantulovirta, I _{in}	2 kA	2 kA	2 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	0.667 A	0.667 A	0.667 A					
	Ulostulovirta, I _{out}	0.50 kA	0.70 kA	0.30 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	0.139 A	0.194 A	0.083 A					
	Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3	0.17 kA	0.23 kA	0.10 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	0.278 A	0.389 A	0.167 A					
	Erovirta, I _d	1.50 kA	1.30 kA	1.70 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	0.111 A	0.156 A	0.067 A					
	Piste 2	Vakavoitivirta, I _v	4 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti										
		Testipisteiden toleranssi	0.2 kA											
		Ensiövirrat			Toisiovirrat									
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
		Sisaantulovirta, I _{in}	4 kA	4 kA	4 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	1.333 A	1.333 A	1.333 A				
Ulostulovirta, I _{out}		2.50 kA	2.70 kA	2.30 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	0.694 A	0.750 A	0.639 A					
Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3		0.83 kA	0.90 kA	0.77 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	1.389 A	1.500 A	1.278 A					
Erovirta, I _d		1.50 kA	1.30 kA	1.70 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	0.556 A	0.600 A	0.511 A					
Piste 3		Vakavoitivirta, I _v	5 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti										
		Testipisteiden toleranssi	0.2 kA											
		Ensiövirrat			Toisiovirrat									
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
		Sisaantulovirta, I _{in}	5 kA	5 kA	5 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	1.667 A	1.667 A	1.667 A				
	Ulostulovirta, I _{out}	2.00 kA	2.20 kA	1.80 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	0.556 A	0.611 A	0.500 A					
	Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3	0.67 kA	0.73 kA	0.60 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	1.111 A	1.222 A	1.000 A					
	Erovirta, I _d	3.00 kA	2.80 kA	3.20 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	0.444 A	0.489 A	0.400 A					
	Piste 4	Vakavoitivirta, I _v	6.5 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti										
		Testipisteiden toleranssi	0.2 kA											
		Ensiövirrat			Toisiovirrat									
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
		Sisaantulovirta, I _{in}	6.5 kA	6.5 kA	6.5 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	2.167 A	2.167 A	2.167 A				
Ulostulovirta, I _{out}		3.06 kA	3.26 kA	2.86 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	0.849 A	0.904 A	0.793 A					
Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3		1.02 kA	1.09 kA	0.95 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	1.697 A	1.808 A	1.586 A					
Erovirta, I _d		3.45 kA	3.25 kA	3.65 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	0.679 A	0.723 A	0.634 A					
Piste 5		Vakavoitivirta, I _v	9 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti										
		Testipisteiden toleranssi	0.2 kA											
		Ensiövirrat			Toisiovirrat									
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
		Sisaantulovirta, I _{in}	9 kA	9 kA	9 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	3.000 A	3.000 A	3.000 A				
	Ulostulovirta, I _{out}	4.23 kA	4.43 kA	4.03 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	1.175 A	1.231 A	1.119 A					
	Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3	1.41 kA	1.48 kA	1.34 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	2.350 A	2.461 A	2.239 A					
	Erovirta, I _d	4.77 kA	4.57 kA	4.97 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	0.940 A	0.984 A	0.896 A					
	Piste 6	Vakavoitivirta, I _v	18 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti										
		Testipisteiden toleranssi	0.2 kA											
		Ensiövirrat			Toisiovirrat									
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
		Sisaantulovirta, I _{in}	18 kA	18 kA	18 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	6.000 A	6.000 A	6.000 A				
Ulostulovirta, I _{out}		8.46 kA	8.66 kA	8.26 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	2.350 A	2.406 A	2.294 A					
Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3		2.82 kA	2.89 kA	2.75 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	4.700 A	4.811 A	4.589 A					
Erovirta, I _d		9.54 kA	9.34 kA	9.74 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	1.880 A	1.924 A	1.836 A					
Piste 7		Vakavoitivirta, I _v	27 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti										
		Testipisteiden toleranssi	0.2 kA											
		Ensiövirrat			Toisiovirrat									
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
		Sisaantulovirta, I _{in}	27 kA	27 kA	27 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	9.000 A	9.000 A	9.000 A				
	Ulostulovirta, I _{out}	12.69 kA	12.89 kA	12.49 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	3.525 A	3.581 A	3.469 A					
	Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3	4.23 kA	4.30 kA	4.16 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	7.050 A	7.161 A	6.939 A					
	Erovirta, I _d	14.31 kA	14.11 kA	14.51 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	2.820 A	2.864 A	2.776 A					
	Piste 8	Vakavoitivirta, I _v	29 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti										
		Testipisteiden toleranssi	0.2 kA											
		Ensiövirrat			Toisiovirrat									
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva						
		Sisaantulovirta, I _{in}	29 kA	29 kA	29 kA	Sisaantulovirta, I _v	AE07	9.667 A	9.667 A	9.667 A				
Ulostulovirta, I _{out}		14.00 kA	14.20 kA	13.80 kA	Ulostulovirta 1, I _{out1}	AE08	3.889 A	3.944 A	3.833 A					
Ulostulovirta per kenttä, I _{out} / 3		4.67 kA	4.73 kA	4.60 kA	Ulostulovirta 2, I _{out2}	AE10	7.778 A	7.889 A	7.667 A					
Erovirta, I _d		15.00 kA	14.80 kA	15.20 kA	Ulostulovirta 3, I _{out3}	AE03	3.111 A	3.156 A	3.067 A					

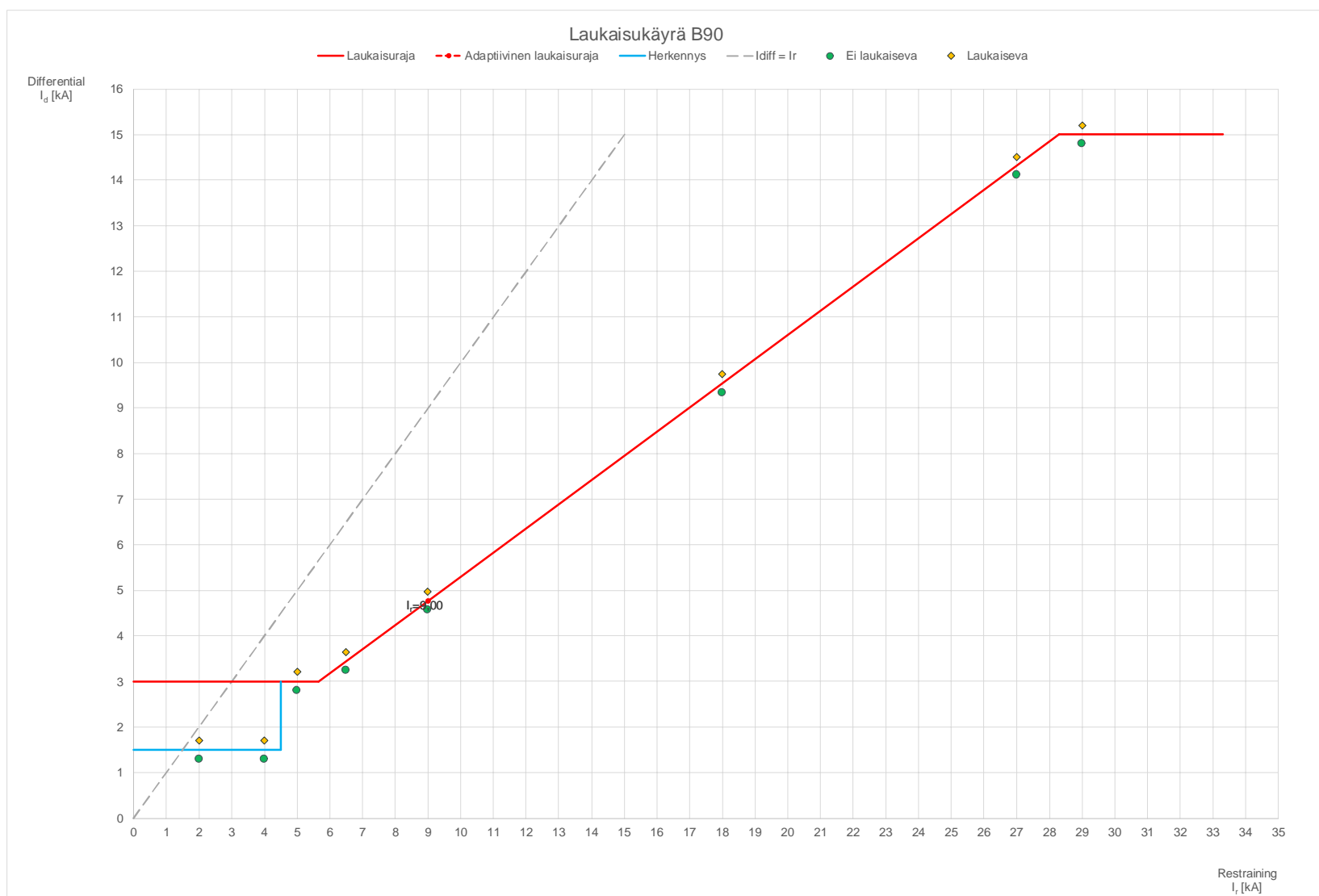
GE B90 - Vakavoitilaskenta.xlsx

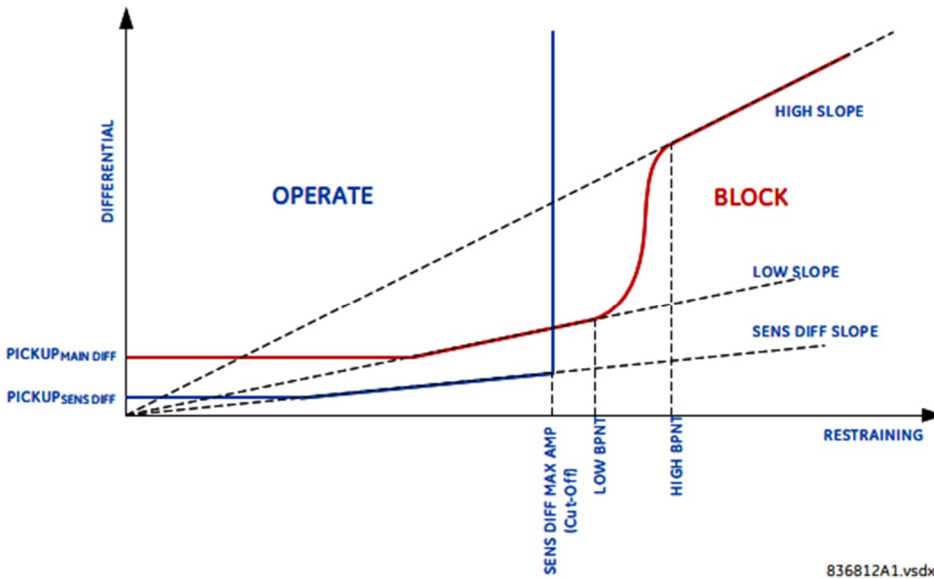
Ohjeita taulukon täyttöön

- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemäsi tiedostokopioon.
- Täytä sinisellä taustaväriä merkityt kentät. Taulukotyökalu laskee automaattisesti muut kentät, kun siniset kentät on täydennetty.
- Vakavoitikäyrän taitepisteet voidaan ilmoittaa arvoina yksikköä kohden (pu) tai kiloampeerina (kA). Yksikköä kohden ilmoitetut arvot ilmoitetaan suhteessa virtamuuntajan suurimpaan primäärvirtaan.
- Vakavoitilaskennan asetellut -taulukossa aseteltava "Testipisteiden toleranssi" antaa toleranssin kaikille testipisteille. Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti alempana, kunkin testipisteen omassa taulukoissa.
- "Vakavoitikäyrän X" -kenttä määrittelee, mihin vakavoitvirtaan saakka kuvaaja esittää vakavoitikäyrän. Sinisellä taustaväriä merkattuun kenttään voi asettaa käsin arvon, mihin saakka haluaa testata.
- Koetuksessa testiohjelman arnoitettavat virta-arvot on korostettu keltaisella taustaväriä.
- Mikäli vakavoitikäyrä näyttää kummalliselta. Tarkasta, että olet täyttänyt KAIKKI sinisellä pohjalla merkatut vakavoitilaskennan asetellut. Tarkasta myös, että olet antanut asetelluarvot siinä yksikössä, mikä kentän perään on kirjattu.

Koetuksessa huomioitavaa

- B90 releellä kaksiportainen vakavoitikäyrä. Vakavoitikäyrän mallinnus on tähän laskentapohjaan rakennettu olettaen, että kumpikin portas on käytössä. Mikäli käytössä on vain yksi portas, onnistuu vakavoitikäyrän mallinnus antamalla sekä alemmalle että ylemmälle portalle samat BPTN- ja SLOPE-arvot.
- Ulostulovirta on jaettu kolmeen kertaan releen suuntatarkastusominaisuuden vuoksi. Suurilla virroilla suuntatarkastus tai virtamuuntajan kyllästystoiminto voivat tästä huolimatta estää laukaisun.





B90

Vakavointi

B90-releen erovirta on suojausalueelle tulevien vaihevirtojen summa. Vakavointivirta on suurin suojausalueelle tuleva virta.

Toimintakäyrä

Releen vakavointikäyrä (kuvassa punaisella) on kaksiportainen ja adaptiivinen.

Käyrän muodon määrittää viisiasetusta:

1. *Pickup* pienin erovirta, jolla suojaus toimii
2. *Low slope* ensimmäinen kaltevuuskerroin prosentteina
3. *High slope* toinen kaltevuuskerroin prosentteina
4. *Low BPNT* taitepiste, johon ensimmäinen kaltevuus päättyy
5. *High BPNT* taitepiste, josta toinen kaltevuus alkaa

Herkennetty erovirtatoiminto (kuvassa sinisellä) aktivoituu maasuluissa nolajännitetoiminnolla. $PICKUP_{SENS\ DIFF}$ -asettelulla määritetään herkennetyin alueen pienin erovirta, jolla suojaus toimii. $SENS\ DIFF\ SLOPE$ -asettelulla voidaan asettaa herkennetyin käyrän portaalle kerroin, jolla kompensoidaan virtamuuntajien epätarkkuudesta aiheutuvaa erovirtaa. (Ei mahdollista asettaa tässä laskentapohjassa.) $SENS\ DIFF\ MAX\ AMP$ -asettelu määrittää herkennyksen pituuden. Tätä suuremmilla vakavointivirroilla toimintakäyrä siirtyy noudattamaan vakavoidun erovirtasuojauksen käyrää.

Suuntatarkastus ja virtamuuntajan kyllästystoiminto

Releen erikoisuutena ovat suuntatarkastus ja virtamuuntajan kyllästystoiminto. Suuntatarkastus estää laukaisun, mikäli jossain kentässä kulkee paljon virtaa kiskosta pois päin. Kyllästystoiminto saattaa estää laukaisun suurilla virroilla. High set ja herkennys eivät käytä näitä varmistuksia. Ne laukaisevat suoraan, kun erovirta ylittää asetetun arvon.

Koestus onnistuu suorittaa suuntatarkastuksesta huolimatta, kun ulostulovirrat jaetaan useampaan kenttään. Suurilla virroilla tästä ei ole apua. Silloin suuntatarkastus tai virtamuuntajan kyllästystoiminto voivat estää laukaisun.

Liite 3. Vakavoinnin laskentapohja Siemens 7SS85

Vakavointilaskennan asetellut	Asetellut	(laskettu)
Rated object current, IrObj - Virtamuuntajan primaarivirta	3000 A	3 kA
Threshold Idiff - Kynnysvirto	1 pu	3 kA
Threshold Id /sens.char. - Herkennyksen alaraja	0,5 pu	1,5 kA
Threshold Is /sens.char. - Herkennyksen pituus	1,5 pu	4,5 kA
Onko herkennys käytössä? (on/off)	off	
Stabilization factor, k - Stabilointikerroin	0,53	
Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	

Vakavointikäyrän asetukset	Asetukset
Vakavointikäyrän X (aseteltavissa)	kA
Vakavointikäyrän X	15 kA
Vakavointikäyrän Y (laskettu)	7,95 kA
Aloituspiste	0
Kaavion apupiste (laskettu)	5,66
Kaavion apupiste (laskettu)	3

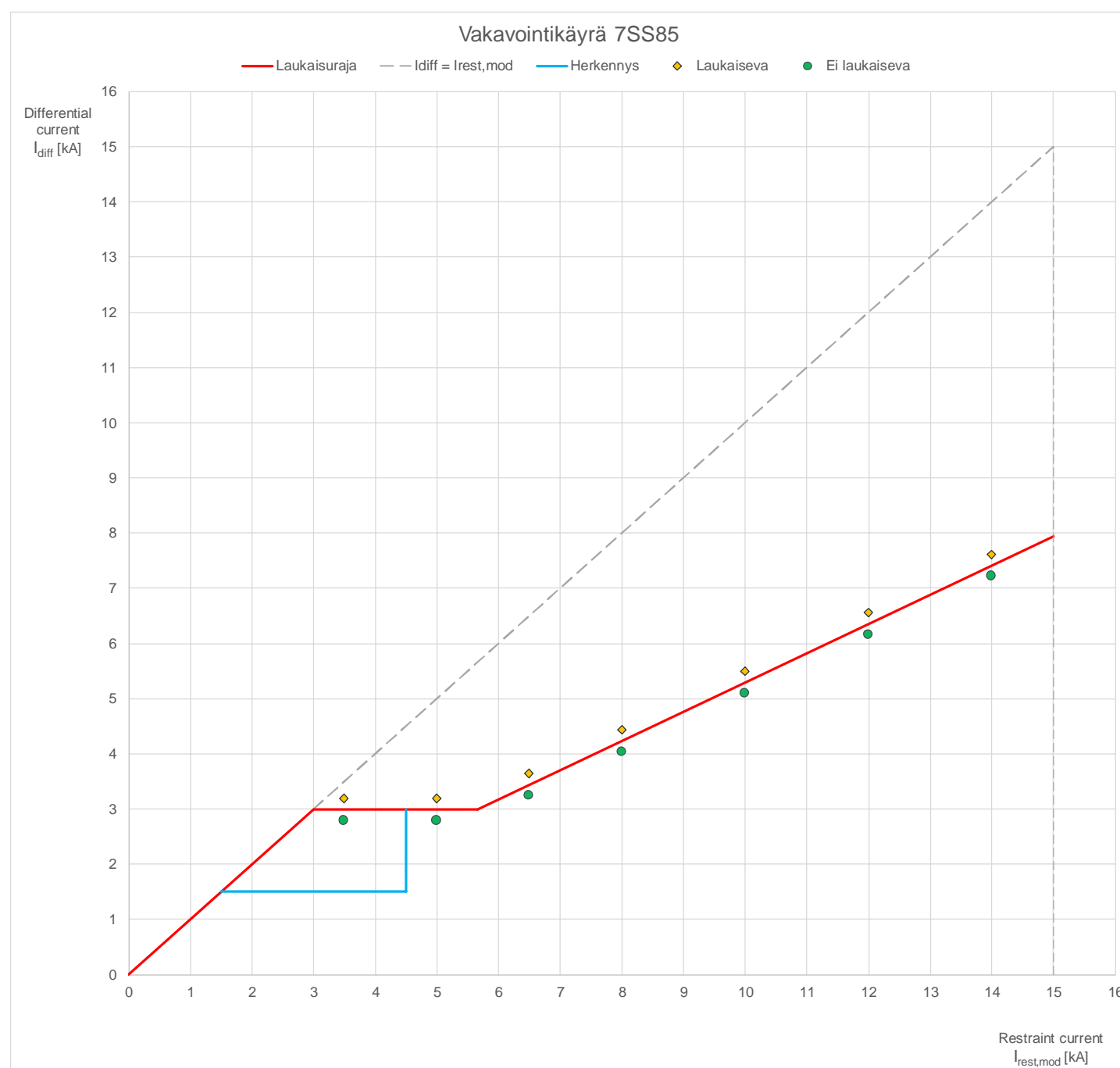
Virtamuuntajien muutossuhteet	Kentätunnus	Ensiövirta	Toisiovirta
Kiskolle tuleva	AE05	1200 A	1 A
Kiskolta lähtevä	AE07	1200 A	1 A

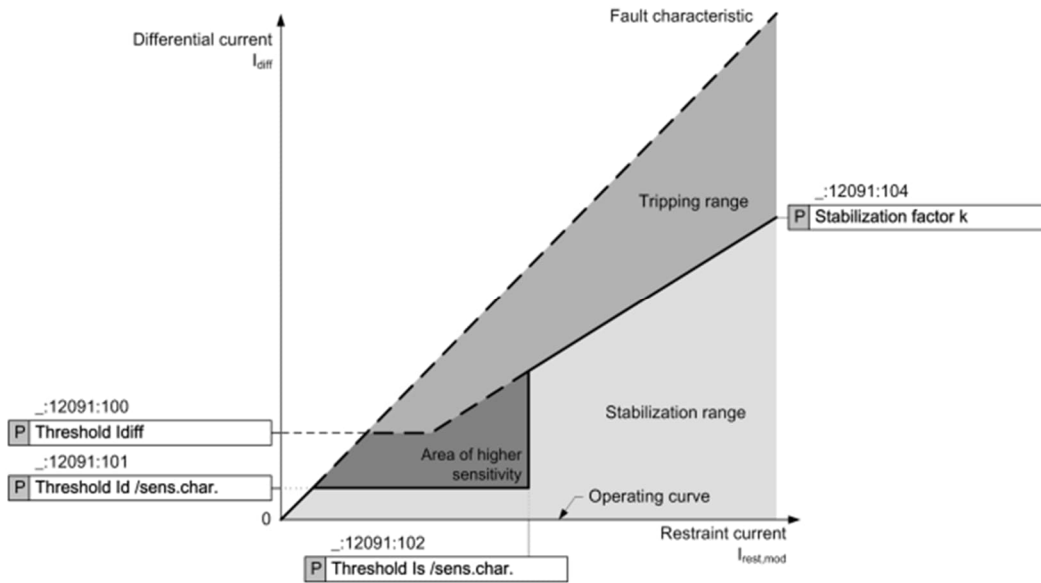
Testipisteet	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	Testipisteiden toleranssi	Ensiövirta	Toisiovirta	
Piste 1	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	3,5 kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Piste 2	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	5 kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Piste 3	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	6,5 kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Piste 4	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	8 kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Piste 5	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	10 kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Piste 6	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	12 kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Piste 7	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	14 kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Piste 8	Vakavointivirta, I _{rest,mod}	kA			
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti		
			Ensiövirta	Toisiovirta	
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva

Siemens 7SS85 - Vakavointilaskenta.xlsx

Ohjeita taulukon käyttöön

- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemäsi tiedostokopioon.
- Täytä sinisellä taustaväriä merkityt kentät. Taulukko työkalu laskee automaattisesti muut kentät, kun siniset kentät on täydennetty.
- Ilmoita, onko herkennys käytössä kirjoittamalla kenttään on tai off.
- Vakavointilaskennan asetellut -taulukossa asetettava "Testipisteiden toleranssi" antaa toleranssin kaikille testipisteille. Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti alempana, kunkin testipisteen omissa taulukossa.
- "Vakavointikäyrän X" -kenttä määrittelee kuvaajan X-akselin pituuden. Siniseen kenttään antaa käsin arvon sen perusteella, mihin vakavointivirtaan saakka haluaa koestaa.
- Koestuksessa testiohjelman annettavat virta-arvot on korostettu keltaisella taustaväriä.





7SS85

Vakavointi

Releen toimintakäyrän vaaka-akselilla esitetty vakavointivirta on kaikkien kiskon kautta kulkevien virtojen itseisarvojen summa. Pystyakselilla on esitetty näiden virtojen vektorisumma eli erovirta. Vaaka- ja pystyakselin skaalaus on sama.

Vakavointivirta: $i_R = |i_1| + |i_2| + |i_3| + \dots + |i_n|$

Toimintakäyrä

7SS85-releellä on kaksi erillistä suojaustoimintoa: vakavoitu ja herkennetty erovirtasuojaus. Herkennetty erovirtasuojaus aktivoituu matalavirtaisissa kiskovioissa, kuten maasuluissa.

Vakavointikäyrän muotoon vaikuttaa kaksi säädettävää parametriä: vakavointikerroin, k ja perusasettelu Threshold I_{diff} . Perusasettelu määrittää pienimmän erovirran, jolla suojaus toimii.

Threshold $I_d/sens.char.$ -asettelulla määritetään herkennetyin alueen erovirta, jolla suojaus toimii. Threshold $I_s/sens.char.$ -asettelu määrittää herkennyksen pituuden, eli sen vakavointivirran, johon saakka herkennystä jatketaan. Tätä suuremmilla vakavointivirroilla toimintakäyrä siirtyy noudattamaan vakavoidun erovirtasuojauksen toimintakäyrää.

Liite 4. Vakavoinnin laskentapohja ABB RED670

Vakavointilaskennan asettelut	Asettelut	(laskettu)
lBase - Perusvirta	1500	A 1,5 kA
ldMin - Matalin erovirta laukaisulle	0,2	p.u. 0,3 kA
EndSection1 - Ensimmäisen osan pituus	1	p.u. 1,5 kA
EndSection2 - Toisen osan pituus	3	p.u. 4,5 kA
SlopeSection2 - Toisen osan kulmakerto	40	% 0,4
SlopeSection3 - Kolmannen osan kulmakerto	67	% 0,67
ldUndre - Rajoittamaton differentiaalivirtaraja	7,33	p.u. 11,00 kA
Testipisteiden toleranssi	0,2	kA

Vakavointikäyrän asetukset	Asetukset
Vakavointikäyrän X (voi asettaa tai jättää tyhjäksi)	kA
Aloituspiste	0,00 kA 0,00 kA
EndSection1: XY	1,50 kA 0,30 kA
EndSection2: XY	4,50 kA 1,50 kA
EndSection3: XY	18,67 kA 11,00 kA
EndSection3: XY (ehdollinen)	18,67 kA 11,00 kA
Päätepiste: XY	19,00 kA 11,00 kA
Päätepiste: XY (ehdollinen)	19,00 kA 11,00 kA

Virtamuuntajat	Asema-kenttä	Ensiovirta	Toisiovirta
Johdolle tuleva / paikallinen	PE - AC04	1500	A 1 A
Johdolta lähteva / referenssi	VH - AC06	1500	A 1 A

Kokonainen vai puolikas duplex? (koko / puoli)	puoli
--	-------

Testipisteet		Tässä voit muuttaa testipisteen toleranssia testipistekohtaisesti						
Piste 1 Restraining, I r - Vakavointivirta Testipisteiden toleranssi		1,3	kA					
		0,2	kA					
			Ensiovirta		Toisiovirta			
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
	Sisäntulovirta, I in PE - AC04	A	1,30 kA	1,30 kA	1,30 kA	0,867 A	0,867 A	0,867 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	1,30 kA	1,30 kA	1,30 kA	0,867 A	0,867 A	0,867 A
	Ulostulovirta, I out VH - AC06	A	1,00 kA	1,20 kA	0,80 kA	0,667 A	0,800 A	0,533 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	1,00 kA	1,20 kA	0,80 kA	0,667 A	0,800 A	0,533 A
	Erovirta, I d		0,30 kA	0,10 kA	0,50 kA			
	Piste 2 Restraining, I r - Vakavointivirta Testipisteiden toleranssi		1,7	kA				
			0,2	kA				
				Ensiovirta		Toisiovirta		
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Sisäntulovirta, I in PE - AC04		A	1,70 kA	1,70 kA	1,70 kA	1,133 A	1,133 A	1,133 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	1,70 kA	1,70 kA	1,70 kA	1,133 A	1,133 A	1,133 A
Ulostulovirta, I out VH - AC06		A	1,32 kA	1,52 kA	1,12 kA	0,880 A	1,013 A	0,747 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	1,32 kA	1,52 kA	1,12 kA	0,880 A	1,013 A	0,747 A
Erovirta, I d			0,38 kA	0,18 kA	0,58 kA			
Piste 3 Restraining, I r - Vakavointivirta Testipisteiden toleranssi			3	kA				
			0,2	kA				
				Ensiovirta		Toisiovirta		
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
	Sisäntulovirta, I in PE - AC04	A	3,00 kA	3,00 kA	3,00 kA	2,000 A	2,000 A	2,000 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	3,00 kA	3,00 kA	3,00 kA	2,000 A	2,000 A	2,000 A
	Ulostulovirta, I out VH - AC06	A	2,10 kA	2,30 kA	1,90 kA	1,400 A	1,533 A	1,267 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	2,10 kA	2,30 kA	1,90 kA	1,400 A	1,533 A	1,267 A
	Erovirta, I d		0,90 kA	0,70 kA	1,10 kA			
	Piste 4 Restraining, I r - Vakavointivirta Testipisteiden toleranssi		4	kA				
			0,2	kA				
				Ensiovirta		Toisiovirta		
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Sisäntulovirta, I in PE - AC04		A	4,00 kA	4,00 kA	4,00 kA	2,667 A	2,667 A	2,667 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	4,00 kA	4,00 kA	4,00 kA	2,667 A	2,667 A	2,667 A
Ulostulovirta, I out VH - AC06		A	2,70 kA	2,90 kA	2,50 kA	1,800 A	1,933 A	1,667 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	2,70 kA	2,90 kA	2,50 kA	1,800 A	1,933 A	1,667 A
Erovirta, I d			1,30 kA	1,10 kA	1,50 kA			
Piste 5 Restraining, I r - Vakavointivirta Testipisteiden toleranssi			5,5	kA				
			0,2	kA				
				Ensiovirta		Toisiovirta		
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
	Sisäntulovirta, I in PE - AC04	A	5,50 kA	5,50 kA	5,50 kA	3,667 A	3,667 A	3,667 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	5,50 kA	5,50 kA	5,50 kA	3,667 A	3,667 A	3,667 A
	Ulostulovirta, I out VH - AC06	A	3,33 kA	3,53 kA	3,13 kA	2,220 A	2,353 A	2,087 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	3,33 kA	3,53 kA	3,13 kA	2,220 A	2,353 A	2,087 A
	Erovirta, I d		2,17 kA	1,97 kA	2,37 kA			
	Piste 6 Restraining, I r - Vakavointivirta Testipisteiden toleranssi		8	kA				
			0,2	kA				
				Ensiovirta		Toisiovirta		
			Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva
Sisäntulovirta, I in PE - AC04		A	8,00 kA	8,00 kA	8,00 kA	5,333 A	5,333 A	5,333 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	8,00 kA	8,00 kA	8,00 kA	5,333 A	5,333 A	5,333 A
Ulostulovirta, I out VH - AC06		A	4,16 kA	4,36 kA	3,96 kA	2,770 A	2,903 A	2,637 A
		B	0,00 kA	0,00 kA	0,00 kA	0,000 A	0,000 A	0,000 A
		A+B	4,16 kA	4,36 kA	3,96 kA	2,770 A	2,903 A	2,637 A
Erovirta, I d			3,85 kA	3,65 kA	4,05 kA			

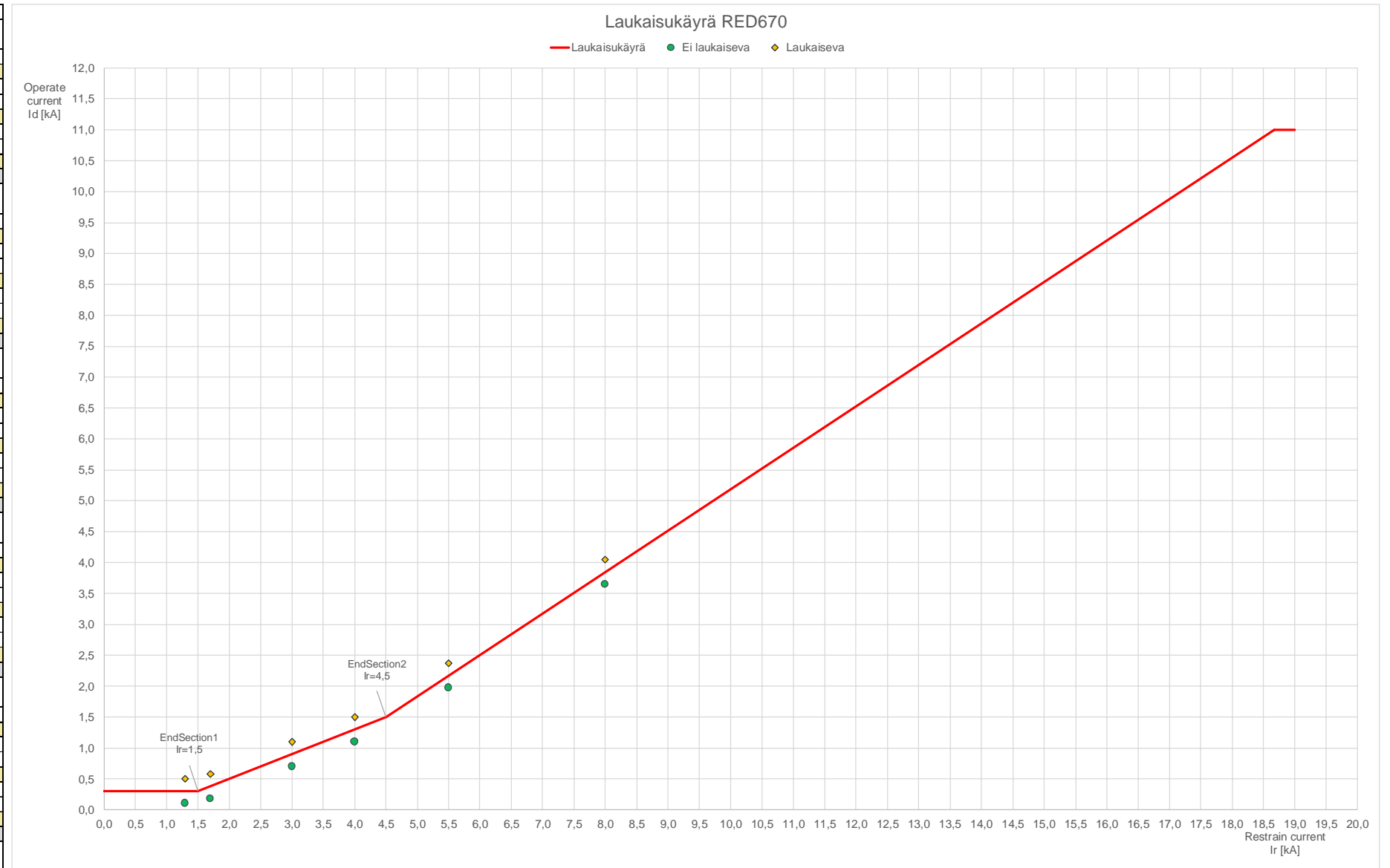
ABB RED670 - Vakavointilaskenta.xls

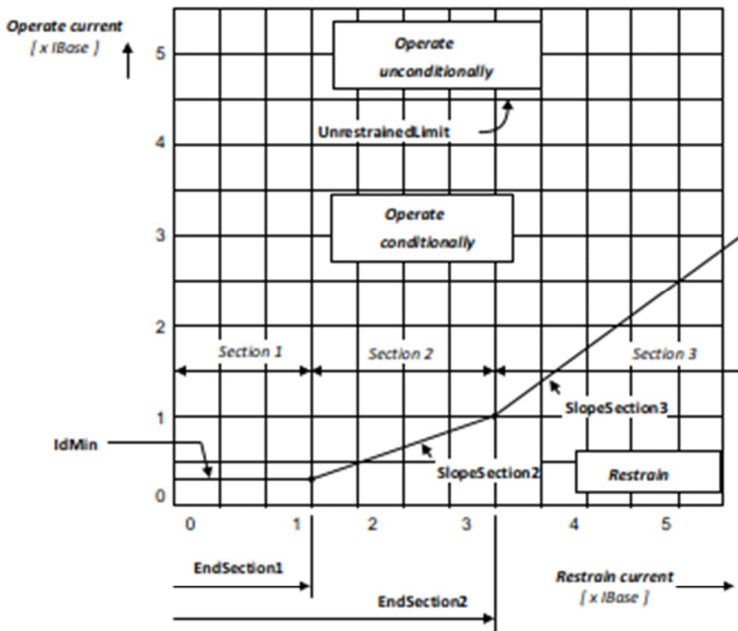
Ohjeita taulukon täyttöön

- Täytä sisinellä taustavärillä merkityt kentät. Taulukkotyökalu laskee automaattisesti muut kentät, kun siniset asettelukentät on täydennetty.
- Vakavointilaskennan asettelut -taulukossa aseteltava "Testipisteiden toleranssi" antaa toleranssin kaikille testipisteille. Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti alempana, kunkin testipisteen omassa taulukossa.
- "Vakavointikäyrän X" -kenttään voidaan asettaa käsin vakavointivirran arvo, mihin saakka vakavointikäyrä halutaan piirtää ja koestusta tehdä. Tämän kentän voi myös jättää tyhjäksi, jolloin vakavointikäyrä piiryy automaattisesti ennalta asetettuun vakavointivirtaan saakka.
- Koestuksessa testiohjelmaan annettavat virta-arvot on korostettu keltaisella taustavärillä.

Koestuksessa huomioitavaa

- Koestusvirrat syötetään joko duplexin puolikkaseen tai rinnakkain duplexin molempiin puolikkaisiin.
- Laskentapohja on rakennettu siten, että suojattavan johdon molemmissa päissä virtoja syötetään joko dublexiin tai dubleksin puolikkaisiin.
- Kun koestusvirtoja syötetään rinnakkain duplexin molempiin puolikkaisiin, tulee virrat saada jakautumaan mahdollisimman tasaisesti duplexin puolikkaiden välillä.
- Suurilla virroilla testaus tapahtuu ns. ABB metodilla. Siinä ennen vikaa (pre-Fault) sisäntulovirtojen tulee olla ulostulovirtojen suuruiset, jolloin erovirta on nolla, ja vassa nostetaan vain sisäntulevia virtoja.





RED670

Vakavointi

RED670-rele käyttää vakavointivirtana suurinta suojausalueelta mitattua vaihevirtaa.

Toimintakäyrä

Oheinen toimintakäyrä esittää vakavointi- ja laukaisuvirran perusvirran (I_{base}) kerrannaisina. Perusvirta on referenssi virtamuuntajan nimellisvirta. Vakavointilaskentavälilehden toimintakäyrä esittää virrat suoraan kiloampeereina.

Releellä on kaksi erillistä rajaa: stabiloimaton ja stabiloitu. Unrestrained Limit on stabiloimaton raja, jota käytetään erittäin suurilla erovirroilla, joilla vika on selvästi suojausalueella. Tämä raja on vakio. Stabiloitun rajan toimintakäyrä jakaantuu kolmeen osaan, missä on kolme kaltevuutta ja kaksi taitepistettä.

Käyrän muodon määrittää viisi asetusta

- 1) IdMin perusasettelu, eli pienin erovirta, jolla suojaus toimii
- 2) EndSection1 ensimmäisen osan, eli perusasettelun päätepiste
- 3) EndSection2 toisen osan päätepiste
- 4) SlopeSection2 toisen osan vakavointikerroin
- 5) SlopeSection3 kolmannen osan vakavointikerroin

Liite 5. Vakavoinnin laskentapohja GE L90

Virtamuuntajien muuntosuhteet	Asema-kenttä	Ensiövirta	Toisiovirta
Johdolle tuleva /paikallinen	KLH - AE29	1500 A	1 A
Johdolta lähteva	VAR - AE09	1500 A	1 A

Vakavoinnin asetellut	Asetellut	(laskettu)	
Paikallisen virtamuuntajan primaarivirta	1500 A	1	A
Pickup, P	0,2 pu		
Pickup (relay 1) / paikallinen	0,2 pu		
Pickup (relay 2)	0,2 pu		
Restraint 1, S ₁	10 %	0,1	pu
Restraint 2, S ₂	30 %	0,3	pu
Breakpoint, BP (relay 1)	1,5 pu	2,25	kA
Testipisteiden toleranssi	0,2 kA		

Kuvaajan pisteitä			
Apupisteet	0 kA	8	kA
Minimum pickup	0,29 pu	0,43	kA
I _{local} when I _{remote} = BP	2,39 pu	3,59	kA

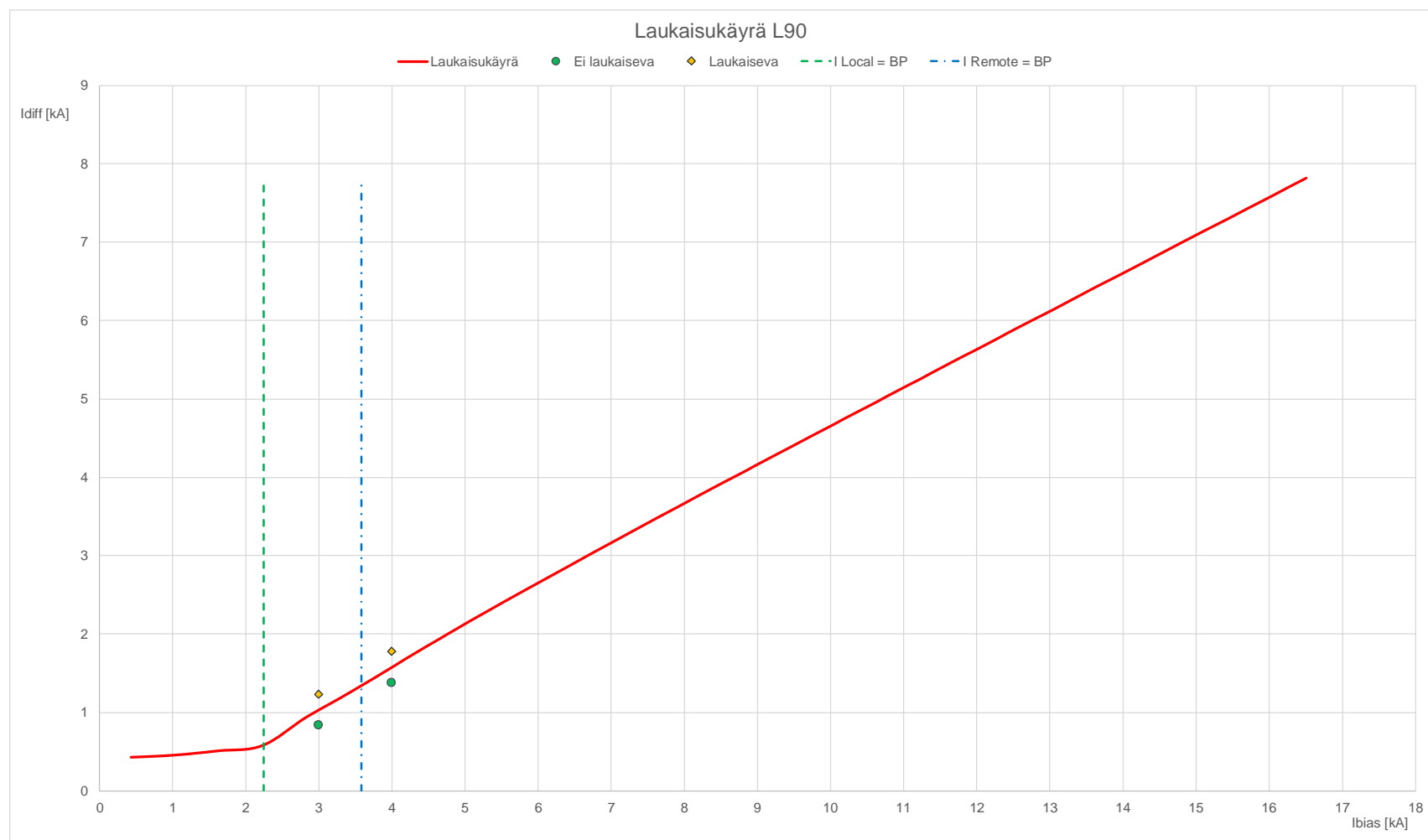
Kokonainen vai puolikas duplex? (koko / puoli) **koko**

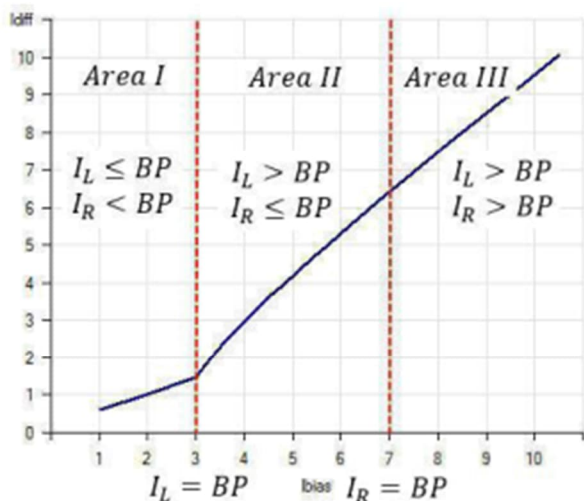
Testipisteet									
Piste	Vakavointivirta, I bias	Testipisteiden toleranssi	Ensiövirta			Toisiovirta			
			Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
Piste 1	Vakavointivirta, I bias	3 kA							
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA							
	Sisaantulovirta, I local KLH - AE29	A	3,00 kA	3,00 kA	3,00 kA	2,000 A	2,000 A	2,000 A	
		B	3,00 kA	3,00 kA	3,00 kA	2,000 A	2,000 A	2,000 A	
		A+B	6,00 kA	6,00 kA	6,00 kA	4,000 A	4,000 A	4,000 A	
	Ulostulovirta, I remote VAR - AE09	A	2,48 kA	2,58 kA	2,38 kA	1,656 A	1,722 A	1,589 A	
		B	2,48 kA	2,58 kA	2,38 kA	1,656 A	1,722 A	1,589 A	
		A+B	4,97 kA	5,17 kA	4,77 kA	3,311 A	3,445 A	3,178 A	
	Erovirta, I diff	1,03 kA	0,83 kA	1,23 kA					
	Piste 2	Vakavointivirta, I bias	4 kA						
Testipisteiden toleranssi		0,2 kA							
Sisaantulovirta, I local KLH - AE29		A	4,00 kA	4,00 kA	4,00 kA	2,667 A	2,667 A	2,667 A	
		B	4,00 kA	4,00 kA	4,00 kA	2,667 A	2,667 A	2,667 A	
		A+B	8,00 kA	8,00 kA	8,00 kA	5,333 A	5,333 A	5,333 A	
Ulostulovirta, I remote VAR - AE09		A	3,21 kA	3,31 kA	3,11 kA	2,140 A	2,207 A	2,074 A	
		B	3,21 kA	3,31 kA	3,11 kA	2,140 A	2,207 A	2,074 A	
		A+B	6,42 kA	6,62 kA	6,22 kA	4,280 A	4,414 A	4,147 A	
Erovirta, I diff		1,58 kA	1,38 kA	1,78 kA					
Piste 3		Vakavointivirta, I bias	kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA							
	Sisaantulovirta, I local KLH - AE29	A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
	Ulostulovirta, I remote VAR - AE09	A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
	Erovirta, I diff	kA	kA	kA					
	Piste 4	Vakavointivirta, I bias	kA						
Testipisteiden toleranssi		0,2 kA							
Sisaantulovirta, I local KLH - AE29		A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
Ulostulovirta, I remote VAR - AE09		A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
Erovirta, I diff		kA	kA	kA					
Piste 5		Vakavointivirta, I bias	kA						
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA							
	Sisaantulovirta, I local KLH - AE29	A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
	Ulostulovirta, I remote VAR - AE09	A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
	Erovirta, I diff	kA	kA	kA					
	Piste 6	Vakavointivirta, I bias	kA						
Testipisteiden toleranssi		0,2 kA							
Sisaantulovirta, I local KLH - AE29		A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
Ulostulovirta, I remote VAR - AE09		A	kA	kA	kA	A	A	A	
		B	kA	kA	kA	A	A	A	
		A+B	kA	kA	kA	A	A	A	
Erovirta, I diff		kA	kA	kA					

GE L90 - Vakavointilaskenta.xlsx

Ohjeita taulukon käyttöön

- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemäsi tiedostokopioon.
- Täydennä sinisellä taustavärillä merkityt kentät. Älä tee muutoksia muihin kenttiin. Taulukkoystävällisyys laskee automaattisesti muut kentät, kun siniset asetellut kentät on täydennetty.
- Testipisteiden toleranssi voidaan antaa kerralla kaikille testipisteille vakavoinnin asetellut -osiossa. Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti alempana, kunkin testipisteen omassa taulukossa.
- Vakavoinnin koetuksessa testiohjelmaan syötettävät testipisteiden virrat, on korostettu keltaisella taustavärillä.





L90

Vakavointi

L90 releen vakavointivirta on suurin suojausalueelta mitattu virta.

Toimintakäyrä

Oheisessa kuviossa on esitetty Omicron testiympäristöön soveltuva vakavoinnin ominaiskäyrä L90-releelle.

L90 releellä on adabtiivinen vakavointi. Ominaisvakavointikäyrän muoto määräytyy neljän asetuksen perusteella: pickup, restraint 1, restraint 2 ja breakpoint.

Pickup määrittää vakavointikäyrän lähtötason, eli suojausten herkkyyden korkean impedanssin vioille. Jos johdon päissä on eri muuntosuhteella varustetut virtamuuntajat, tulee aseteltu pickup-arvo sellaisenaan releelle, jonka paikallisella virtamuuntajalla on suurempi primäärivirta. Vastakkaisen pään releelle saadaan pickup-arvo muuntamalla se virtamuuntajien muuntosuhteiden perusteella vastaamaan suuremmalle virtamuuntajalle annettua pickup-arvoa.

Restraint 1 ja 2 määrittävät vakavointikäyrän kaltevuuden. Restraint 1 määrää käyrän kaltevuuden, kun virta on pienempi kuin breakpoint. Asetus toimii herkennyksenä korkean impedanssin sisäisissä vioissa ja kun kokoonpano rajoittaa vikavirrat pieniksi.

Restraint 2 määrää käyrän kaltevuuden, kun virta on suurempi kuin breakpoint, missä virtamuuntajan virheiden ja saturaation voidaan olettaa olevan merkittäviä. Asetusta käytetään suojaamaan suurilta ulkoisilta vioilta.

Breakpoint asetuksella säädetään raja-arvoa, missä rele siirtyy ominaisvakavointikäyrällä kaltevuudesta 1 (restraint 1) kaltevuuteen 2 (restraint 2).

Vakavointi jakautuu kolmeen alueeseen.

- 1) Alueella 1 sekä paikallinen virta että johdon vastakkaisesta päästä mitattu virta ovat pienempiä kuin aseteltu break point.
- 2) Alueella 2 paikallinen virta on suurempi ja vastakkaisen pään virta on pienempi kuin aseteltu break point.
- 3) Alueella 3 sekä paikallinen että vastakkaisen pään virta ovat suurempia kuin aseteltu break point.

Vakavointilaskenta

Vakavointilaskenta on toteutettu perustuen Omicronin ohjeeseen: Testing the Adaptive Characteristic of the GE L90 Line Differential Protection Relay using Test Universe.

I_L tai I_{Local}	paikallinen virta
I_R tai I_{Remote}	johdon vastakkaisen pään virta
I_{Rest} tai I_{bias}	vakavointivirta
I_{Op} tai I_{diff}	erovirta

Tässä laskentapohjassa oletetaan paikalliset virran olevan sisääntuleva ja suurin mitattu virta, jolloin paikallinen virta on vakavointivirta.

Selvitetään paikallisen virran I_L suuruus, kun vastakkaisen pään virta I_R on yhtä suuri kuin aseteltu break point BP.

$$a = (1 - 2 \cdot S_2^2)$$

$$b = -2 \cdot BP$$

$$c = BP^2 \cdot (1 + 2 \cdot S_2^2 - 4 \cdot S_1^2) - 2 \cdot P^2$$

$$I_L = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Laskentakaavat vastakkaisen pään virralle alueella 1

$$a = (1 - 2 \cdot S_1^2)$$

$$b = -2 \cdot I_{Rest}$$

$$c = I_{Rest}^2 \cdot (1 - 2 \cdot S_1^2) - 2 \cdot P^2$$

$$I_R = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Laskentakaavat vastakkaisen pään virralle alueella 2

$$a = (1 - 2 \cdot S_1^2)$$

$$b = -2 \cdot I_{Rest}$$

$$c = I_{Rest}^2 \cdot (1 - 2 \cdot S_2^2) + BP^2 \cdot (2 \cdot S_2^2 - 2 \cdot S_1^2) - 2 \cdot P^2$$

$$I_R = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Laskentakaavat vastakkaisen pään virralle alueella 3

$$a = (1 - 2 \cdot S_2^2)$$

$$b = -2 \cdot I_{Rest}$$

$$c = I_{Rest}^2 \cdot (1 - 2 \cdot S_2^2) + 4 \cdot BP^2 \cdot (S_2^2 - S_1^2) - 2 \cdot P^2$$

$$I_R = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Releen laukaisun ehtona on:

$$\frac{I_{Op}^2}{I_{Rest}^2} > 1$$

Liite 6. Vakavoinnin laskentapohja Siemens 7SL86

Virtamuuntajien muutossuhteet	Kentätunnus	Ensiövirta	Toisiovirta
Johdolle tuleva / paikallinen	AE05	1500 A	1 A
Johdolta lähteva / referenssi	AE07	1500 A	1 A

Vakavointilaskennan asettelut	Asettelut	(laskettu)
Rated primary current - Virtamuuntajan primaarivirta	1500 A	
Rated secondary current - virtamuuntajan sekundaarivirta	1 A	
Threshold Idiff	0,6 A	
Threshold Idiff Fast 2	1,5 A	
CT error changeover	1	
CT error A	5 %	0,05 pu.
CT error B	15 %	0,15 pu.
SystemError	1,5 %	0,015 pu.
Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	

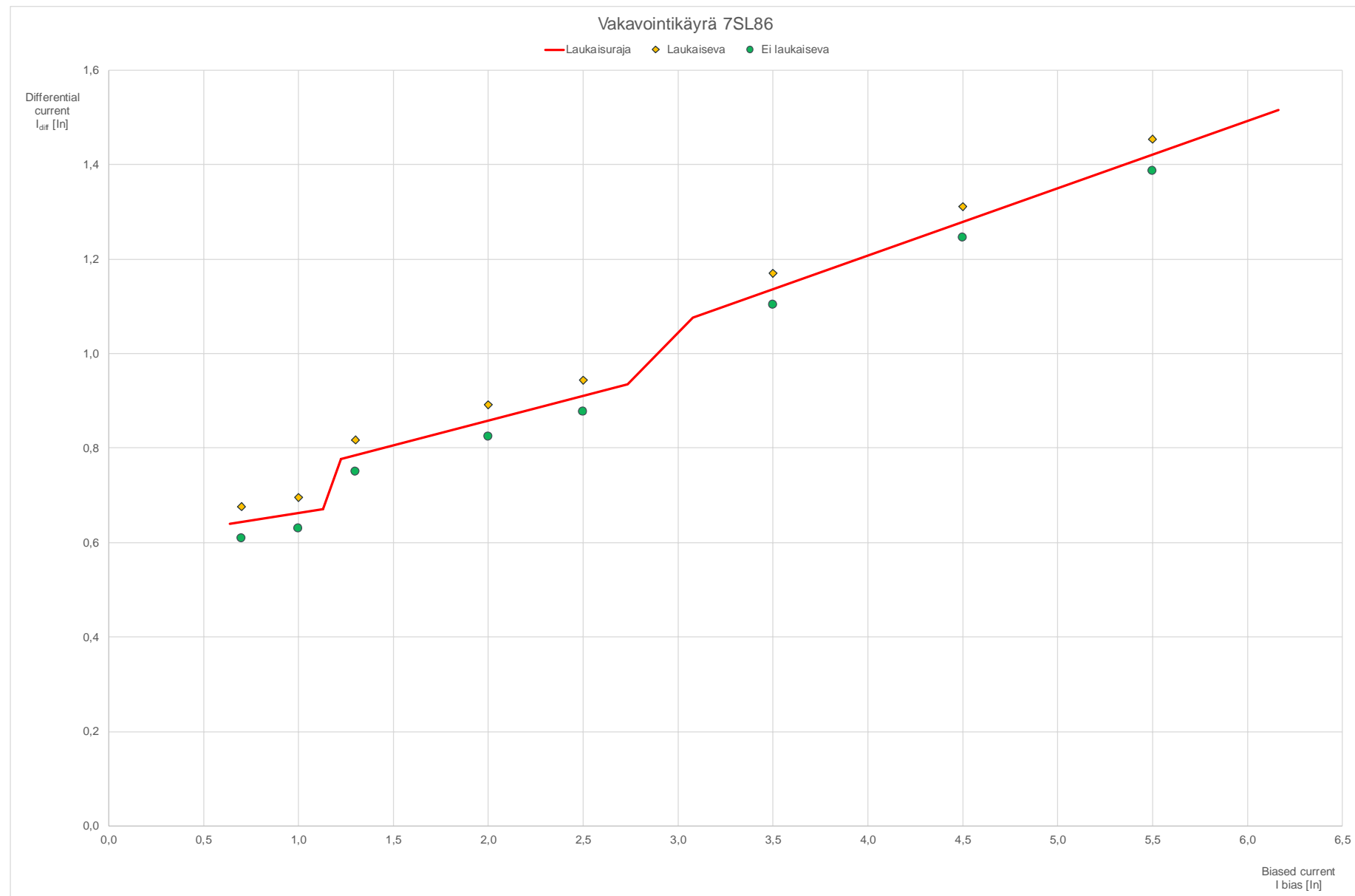
Vakavointikäyrän asetukset	X-akselilla	Y-akselilla	I ₁	I ₂	Kulmakerroin
Point 1	0,639	0,639			P1-P2 0,065
Point 2	1,129	0,671	0,9	0,229	P2-P3 1,100
Point 3	1,224	0,776	1	0,224	P3-P4 0,105
Point 4	2,735	0,935	1,835	0,9	P4-P5 0,414
Point 5	3,076	1,076	2,076	1	P5-P6 0,142
Point 6	6,164	1,515			

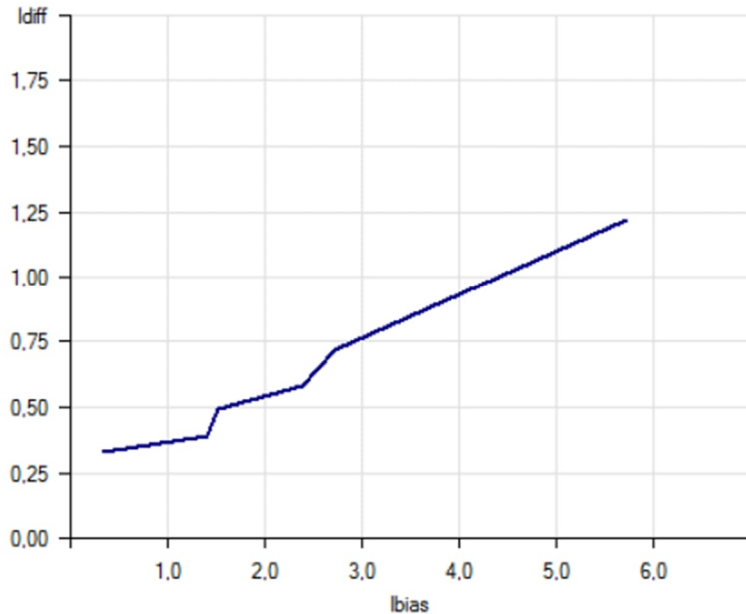
Testipisteet	Ensiövirta		Toisiovirta				
Piste 1	Biased current, I bias	0,7 I _n					
	Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n				
	Erovirta, I diff [In]	0,64343 I _n	Ei laukaiseva 0,61009 I _n	Laukaiseva 0,67676 I _n			
	Ensiövirta		Toisiovirta				
	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisaantulovirta, I in	AE05 1,00757 kA	1,00757 kA	1,00757 kA	0,672 A	0,672 A	0,672 A
	Ulostulovirta, I out	AE07 0,04243 kA	0,09243 kA	-0,0076 kA	0,028 A	0,062 A	-0,005 A
	Erovirta, I diff	0,96514 kA	0,91514 kA	1,01514 kA	0,643 A	0,610 A	0,677 A
	Piste 2	Biased current, I bias	1 I _n				
		Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n			
Erovirta, I diff [In]		0,66303 I _n	Ei laukaiseva 0,6297 I _n	Laukaiseva 0,69636 I _n			
Ensiövirta		Toisiovirta					
Toimintaraja		Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AE05 1,24727 kA	1,24727 kA	1,24727 kA	0,832 A	0,832 A	0,832 A
Ulostulovirta, I out		AE07 0,25273 kA	0,30273 kA	0,20273 kA	0,168 A	0,202 A	0,135 A
Erovirta, I diff		0,99454 kA	0,94454 kA	1,04454 kA	0,663 A	0,630 A	0,696 A
Piste 3		Biased current, I bias	1,3 I _n				
		Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n			
	Erovirta, I diff [In]	0,78421 I _n	Ei laukaiseva 0,75088 I _n	Laukaiseva 0,81754 I _n			
	Ensiövirta		Toisiovirta				
	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisaantulovirta, I in	AE05 1,56316 kA	1,56316 kA	1,56316 kA	1,042 A	1,042 A	1,042 A
	Ulostulovirta, I out	AE07 0,38684 kA	0,43684 kA	0,33684 kA	0,258 A	0,291 A	0,225 A
	Erovirta, I diff	1,17632 kA	1,12632 kA	1,22632 kA	0,784 A	0,751 A	0,818 A
	Piste 4	Biased current, I bias	2 I _n				
		Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n			
Erovirta, I diff [In]		0,85789 I _n	Ei laukaiseva 0,82456 I _n	Laukaiseva 0,89123 I _n			
Ensiövirta		Toisiovirta					
Toimintaraja		Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AE05 2,14342 kA	2,14342 kA	2,14342 kA	1,429 A	1,429 A	1,429 A
Ulostulovirta, I out		AE07 0,85658 kA	0,90658 kA	0,80658 kA	0,571 A	0,604 A	0,538 A
Erovirta, I diff		1,28684 kA	1,23684 kA	1,33684 kA	0,858 A	0,825 A	0,891 A
Piste 5		Biased current, I bias	2,5 I _n				
		Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n			
	Erovirta, I diff [In]	0,91053 I _n	Ei laukaiseva 0,87719 I _n	Laukaiseva 0,94386 I _n			
	Ensiövirta		Toisiovirta				
	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisaantulovirta, I in	AE05 2,55789 kA	2,55789 kA	2,55789 kA	1,705 A	1,705 A	1,705 A
	Ulostulovirta, I out	AE07 1,19211 kA	1,24211 kA	1,14211 kA	0,795 A	0,828 A	0,761 A
	Erovirta, I diff	1,36579 kA	1,31579 kA	1,41579 kA	0,911 A	0,877 A	0,944 A
	Piste 6	Biased current, I bias	3,5 I _n				
		Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n			
Erovirta, I diff [In]		1,13663 I _n	Ei laukaiseva 1,1033 I _n	Laukaiseva 1,16996 I _n			
Ensiövirta		Toisiovirta					
Toimintaraja		Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AE05 3,47747 kA	3,47747 kA	3,47747 kA	2,318 A	2,318 A	2,318 A
Ulostulovirta, I out		AE07 1,77253 kA	1,82253 kA	1,72253 kA	1,182 A	1,215 A	1,148 A
Erovirta, I diff		1,70495 kA	1,65495 kA	1,75495 kA	1,137 A	1,103 A	1,170 A
Piste 7		Biased current, I bias	4,5 I _n				
		Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n			
	Erovirta, I diff [In]	1,27868 I _n	Ei laukaiseva 1,24534 I _n	Laukaiseva 1,31201 I _n			
	Ensiövirta		Toisiovirta				
	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
	Sisaantulovirta, I in	AE05 4,33401 kA	4,33401 kA	4,33401 kA	2,889 A	2,889 A	2,889 A
	Ulostulovirta, I out	AE07 2,41599 kA	2,46599 kA	2,36599 kA	1,611 A	1,644 A	1,577 A
	Erovirta, I diff	1,91801 kA	1,86801 kA	1,96801 kA	1,279 A	1,245 A	1,312 A
	Piste 8	Biased current, I bias	5,5 I _n				
		Testipisteiden toleranssi	0,05 kA	Suhteutettu 0,03333 I _n			
Erovirta, I diff [In]		1,42072 I _n	Ei laukaiseva 1,38739 I _n	Laukaiseva 1,45405 I _n			
Ensiövirta		Toisiovirta					
Toimintaraja		Ei laukaiseva	Laukaiseva	Toimintaraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AE05 5,19054 kA	5,19054 kA	5,19054 kA	3,460 A	3,460 A	3,460 A
Ulostulovirta, I out		AE07 3,05946 kA	3,10946 kA	3,00946 kA	2,040 A	2,073 A	2,006 A
Erovirta, I diff		2,13108 kA	2,08108 kA	2,18108 kA	1,421 A	1,387 A	1,454 A

Siemens 7SL86 - Vakavointilaskenta.xlsx

- Ohjeita taulukon käyttöön
- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemäsi tiedostokopioon.
 - Täytä sinisellä taustaväriillä merkityt kentät. Taulukkoystävällinen laskee automaattisesti muut kentät, kun siniset asettelukentät on täydennetty.
 - Vakavointilaskennan asetellut -taulukossa aseteltava "Testipisteiden toleranssi" antaa toleranssin kaikille testipisteille. Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti alempana, kunkin testipisteen omassa taulukoissa.
 - Vakavointikäyrä esittää erovirran I_{diff} ja vakavointivirran I_{bias} suhteellisuina arvoina, joista saadaan ampeereita, kun kerrotaan virtamuuntajan nimellisvirralla.
 - Testipisteiden arvot, jotka syötetään testiohjelmaan, on merkattu keltaisella taustaväriillä.

- Koetuksessa huomioitavaa
- Tässä laskennassa oletetaan, että paikallisen ja vastakkaisen pään differentiaalireleen seuraavat asetukset ovat samat: CT error changeover, CT error A ja CT error B





7SL86

Vakavointi

Vakavointivirta I_{bias} on suojausalueelle, eli johdolle tulevan ja siltä lähtevän virran itseisarvojen summa.

Vakavointikäyrä

Releellä toteutettu Omicronin testiympäristöön soveltuva vakavoinnin ominaiskäyrä, joka on esitetty yllä. Kuvaaja esittää erovirran I_{diff} ja vakavointivirran I_{bias} suhteellisina arvoina, joista saadaan ampeereita, kun kerrotaan virtamuuntajan nimellisvirralla.

Vakavointikäyrän laskenta

Vakavointikäyrän laskenta on toteutettu perustuen Omicronin ohjeeseen: Testing the Adaptive Characteristics of a SIEMENS 7SDxxx Line Differential Protection Relay using Test Universe. Ohje on tehty edellisen sukupolven releelle, mutta pätee myös tuoreemmalle 7SL86-releelle.

Vakavointikäyrä saadaan muodostettua määrittämällä kuusi pistettä, joiden välille vakavointikäyrän muodostavat viisi suoraa piirtyä: P1-P6.

Pisteiden sijaintiin ja samalla käyrän muotoon vaikuttaa asettelut:

$I_{diff>}$	Threshold Idiff
$I_{diff>>}$	Threshold Idiff Fast 2
K_1 ja K_2	CT error changeover
f_1 ja f_2	CT error A
f_1' ja f_2'	CT error B
	SystemError

Idiff taso toimii erittäin herkällä mittauksella. Idiff fast 2 taso toimii hyvin nopeasti suuren virran vioissa.

CT Error asettelut huomioivat virtamuuntajien virheen. CT Error changeover -parametri määrittelee kohdan, jossa muuntajan virhe siirtyy matalasta korkeampaan virtaan, herkennealue päättyy.

System error -asetuksella huomioidaan mahdolliset signaali- ja synkronointivirheet releiden välisessä tietoliikenneyhteydessä.

Piste 1

$$X_1 = Y_1 = \frac{I_{diff} + SystemError / 2}{1 - f_1}$$

Piste 2

$$I_1 = 0.9 * K_1$$

$$I_2 = \frac{-(I_{diff} + I_1 * (f_1' - 1) + SystemError)}{1 + f_2}$$

$$X_2 = I_1 + I_2$$

$$Y_2 = I_1 - I_2$$

Piste 3

$$I_1 = K_1$$

$$I_2 = \frac{-(I_{diff} + I_1 * (f_1' - 1) + SystemError)}{1 + f_2}$$

$$X_3 = I_1 + I_2$$

$$Y_3 = I_1 - I_2$$

Piste 4

$$I_2 = 0.9 * K_2$$

$$I_1 = \frac{I_{diff} + I_2 * (f_2 + 1) + SystemError}{1 - f_1'}$$

$$X_4 = I_1 + I_2$$

$$Y_4 = I_1 - I_2$$

Piste 5

$$I_2 = K_2$$

$$I_1 = \frac{I_{diff} + I_2 * (f_2' + 1) + SystemError}{1 - f_1'}$$

$$X_5 = I_1 + I_2$$

$$Y_5 = I_1 - I_2$$

Piste 6

$$m_{156} = \frac{Y_5 - Y_1}{X_5}$$

$$Y_6 = I_{diff} \gg + SystemError$$

$$X_6 = \frac{Y_6 - Y_1}{m_{156}}$$

Liite 7. Vakavoinnin laskentapohja ABB RET670

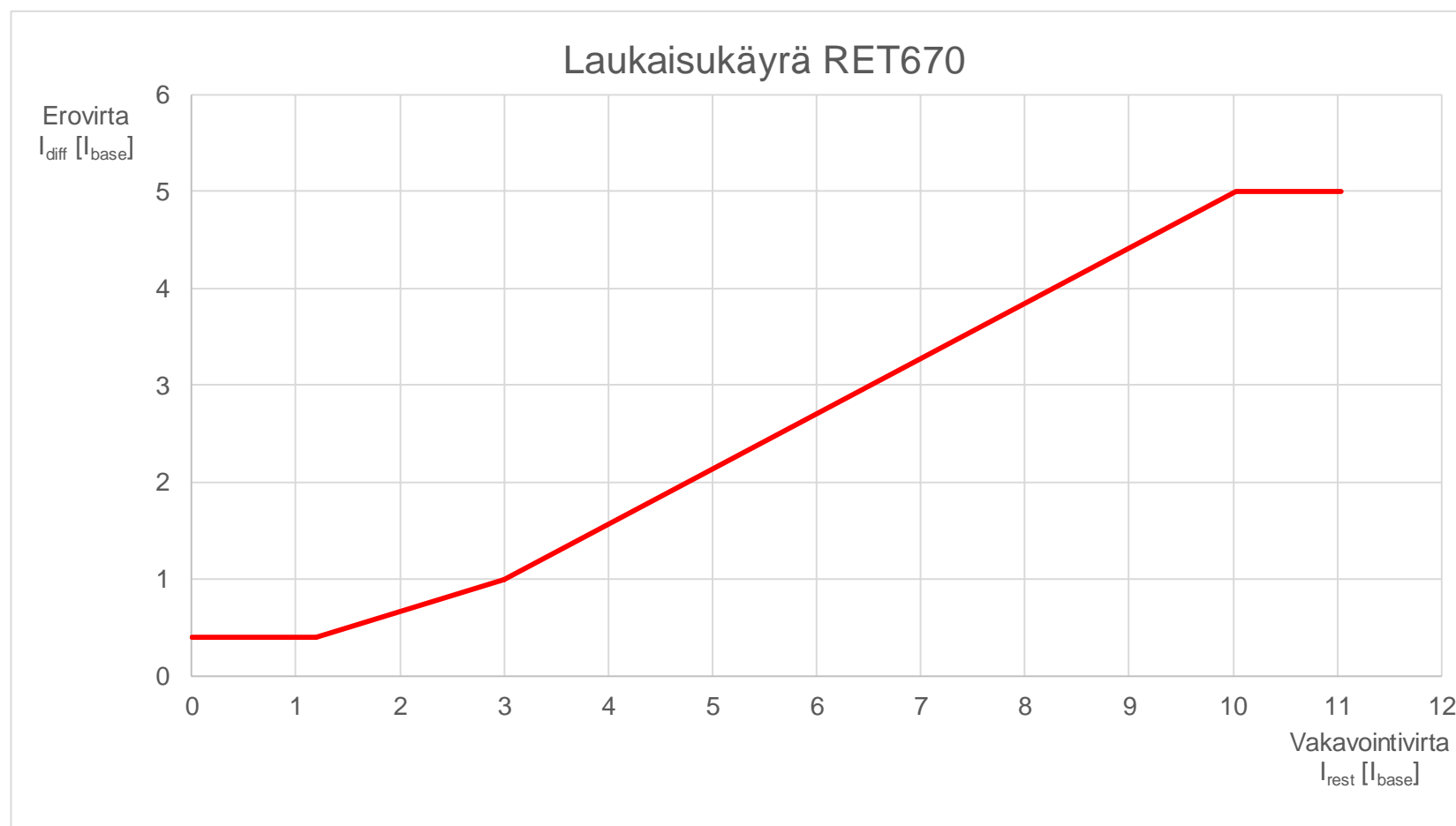
Muuntajan tiedot	Primääri		Sekundääri		Tertiääri	
Nimellisteho	400	MVA	400	MVA	125	MVA
Nimellisjännite	400	kV	120	kV	21	kV
Nimellisvirta	577	A	1925	A	3437	A
Tähtipistemaadoitus (kyllä / ei)	kyllä		kyllä		ei	
KytKentä (Y / D)	Y		Y		D	
Vaihesiirto kellolukemana (0 / 11)	0		0		11	
Virtamuuntajan ensiövirta	1500	A	3000	A	4000	A
Virtamuuntajan toisiovirta	1	A	1	A	1	A

Vakavoinnin asettelut	Asettelu		(laskettu)	
IdMin	0,4	IB		
EndSection1	1,2	IB		
EndSection2	3	IB		
SlopeSection2	33	%	0,33	pu
SlopeSection3	57	%	0,57	pu
IdUnre	5	IB		

Laukaisukäyrän taitepisteet	X	Y
Piste 1	0,00	0,40
Piste 2	1,20	0,40
Piste 3	3,00	0,99
Piste 4	10,03	5,00
Piste 5	11,03	5,00

ABB RET670 - Vakavointilaskenta.xlsx

- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemääsi tiedostokopioon.
- Tämä laskentapohja on tarkoitettu Fingridin tyyppimuuntajan (YNynd11) vakavointilaskentaan. Laskenta ei toimi sellaisenaan muunlaisille muuntajakytkennöille.
- Osaan kentistä on annettu valmiiksi tyyppimuuntajan tiedot. Älä muuta näitä tietoja!
- Täydennä vain sinisellä taustavärillä merkityt kentät.
- Tällä välilehdellä voit antaa asettelut muuntajan kolmelle käämille. Käämien tiedot poimitaan automaattisesti laskentavälilehdille.
- Laskenta on toteutettu kaksikämmisenä.
- Vakavointilaskenta on jaettu kahteen erilliseen välilehteen. Toisella välilehdellä lasketaan koestusvirrat YNyn-kytkentäisille käämeille ja toisella välilehdellä Ynd11-kytkentäisille käämeille.
- Vakavointikäyrä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdelukuna. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta muuntajan referenssi puolen käämin nimellisvirralla.



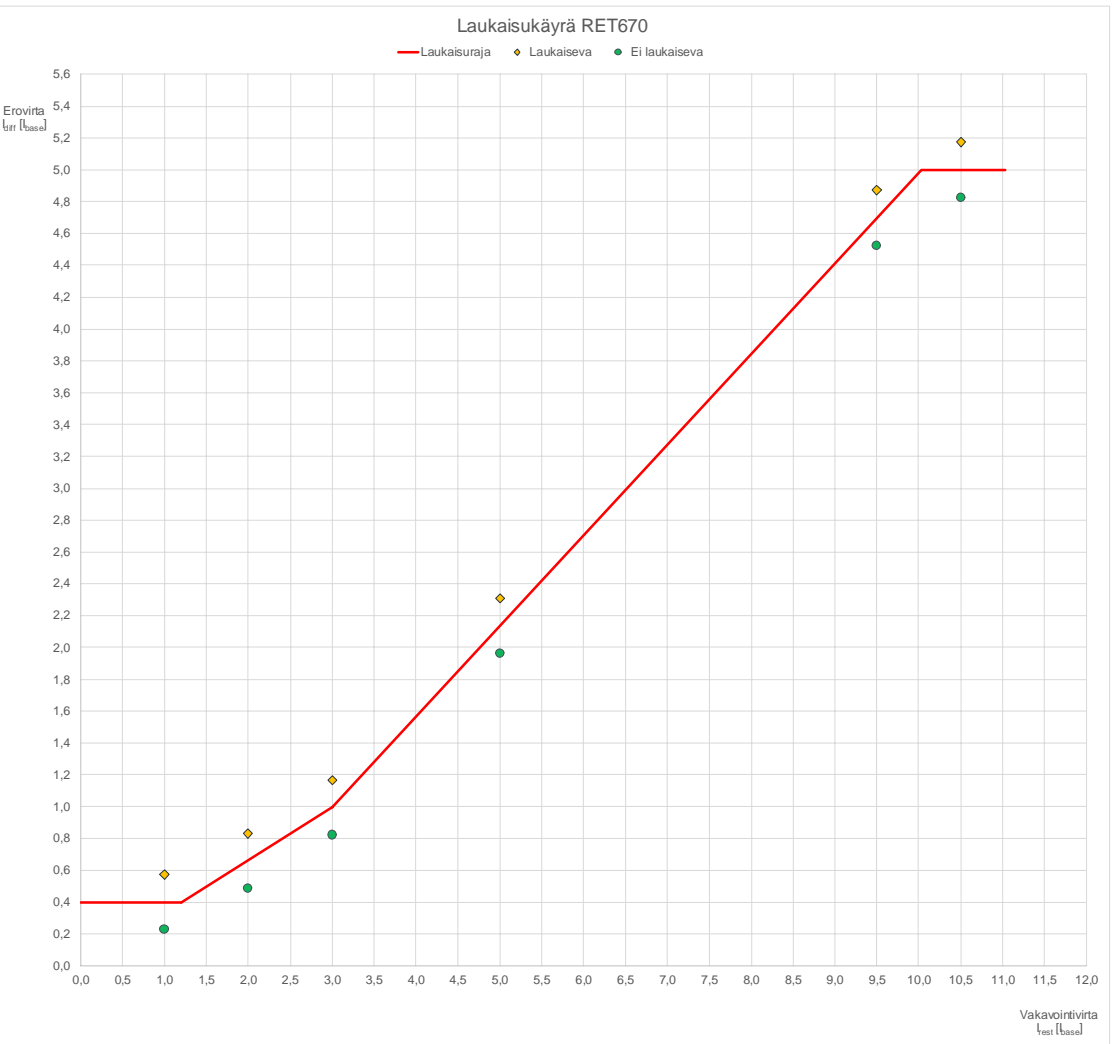
Muuntajan tiedot	Primaari	Sekundaari
Nimellisteho	400 MVA	400 MVA
Nimellisjännite	400 kV	120 kV
Nimellisvirta	577 A	1925 A
Tähtipistemaadoitus (kyllä / ei)	kyllä	kyllä
Kytkenä (Y / D)	Y	Y
Vaihesiirto kellokemana (0 / 11)	0	0
Virtamuuntajan ensiovirta	1500 A	3000 A
Virtamuuntajan toisiovirta	1 A	1 A
Vakavoinnin asetellut	Asettelu (las-kettu)	
IdMin	0,4	IB
EndSection1	1,2	IB
EndSection2	3	IB
SlopeSection2	33	% 0,33
SlopeSection3	57	% 0,57
IdUnre	5	IB
Vakavointikäyrän pisteet	X	Y
Piste 1	0,00	0,40
Piste 2	1,20	0,40
Piste 3	3,00	0,99
Piste 4	10,03	5,00
Piste 5	11,03	5,00
Testipisteiden toleranssi	0,1 kA	
Virtamuuntajan tähtipiste kiskon puolella (kyllä/ei)	kyllä	
Vikatyypit	Maasulku (L1-E / L2-E / L3-E) 2-vaiheinen oikosulku (L1-L2 / L2-L3 / L3-L1) 3-vaiheinen oikosulku (L1-L2-L3)	
	L1-L2	

ABB RET670 - Vakavointilaskenta.xlsx

YNyn-kytkentäisten kämmien laskenta

- Ermen tämän välilehden tarkastelu täydennä tiedot asetus/välilehdelle. Osa tiedoista poimitaan automaattisesti vakavointilaskenta-välilehdille.
- Täydennä täällä välilehdellä vain sinisellä taustaväriä merkityt kentät.
- Vikatyypiksi annetaan jokin sukeissa annetuista vaihtoehdoista. Huomaa, että tämä on kirjoitettava täsmälleen oikeassa muodossa, jotta laskenta voi sen tunnistaa. Esim. L1-E
- Testipisteiden toleranssin voit antaa kerralla kaikille testipisteille vikatyypin yläpuolella olevassa sarakeksessa.
- Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti kunkin testipisteen omassa taulukoissa.
- Oletuksena releen mitaamien virtojen suunnat tulevat siten, että virtamuuntajan tähtipiste on muuntajan puolella. Fingrin muuntajasuojauksessa virtamuuntajan tähtipiste on kuitenkin aina kiskon puolella. Virrat saadaan kääntymään 180 astetta aseuksella *Virtamuuntajan tähtipiste kiskon puolella*.
- Vakavointikäyrä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdelukuna. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta muuntajan referenssipuolen kämmiin nimellisvirralla.
- Koestuksessa testiohjelmaan syötettävät testipisteiden virrat, on merkatu keltaisella taustaväriä.

Testipisteet																			
Piste 1	Vakavointivirta, I rest [Ibase]		1	I _{base}															
	Testipisteiden toleranssi		0,1	kA	Suhteutettu	0,173	I _{base}												
	Erovirta, I diff [Ibase]		0,4	I _{base}	Ei laukaiseva	0,227	I _{base}	Laukaiseva	0,573	I _{base}									
			Ensiovirta			Tosiovirta													
			Laukaisuraja		Ei laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		Ei laukaiseva								
	Sisaantulovirta, I in AC		L1	0,58	kA	180	*	0,58	kA	180	*	0,385	A	180	*	0,385	A	180	*
			L2	0,58	kA	0	*	0,58	kA	0	*	0,385	A	0	*	0,385	A	0	*
			L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*
	Ulostulovirta, I out AE		L1	1,15	kA	0	*	1,49	kA	0	*	0,82	kA	0	*	0,385	A	0	*
			L2	1,15	kA	180	*	1,49	kA	180	*	0,82	kA	180	*	0,385	A	180	*
		L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*	
Erovirta, I diff		L1	0,23	kA			0,13	kA			0,33	kA							
		L2	0,23	kA			0,13	kA			0,33	kA							
		L3	0,00	kA			0,00	kA			0,00	kA							
Piste 2	Vakavointivirta, I rest [Ibase]		2	I _{base}															
	Testipisteiden toleranssi		0,1	kA	Suhteutettu	0,173	I _{base}												
	Erovirta, I diff [Ibase]		0,66	I _{base}	Ei laukaiseva	0,487	I _{base}	Laukaiseva	0,833	I _{base}									
			Ensiovirta			Tosiovirta													
			Laukaisuraja		Ei laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		Ei laukaiseva								
	Sisaantulovirta, I in AC		L1	1,15	kA	180	*	1,15	kA	180	*	0,770	A	180	*	0,770	A	180	*
			L2	1,15	kA	0	*	1,15	kA	0	*	0,770	A	0	*	0,770	A	0	*
			L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*
	Ulostulovirta, I out AE		L1	2,58	kA	0	*	2,91	kA	0	*	2,25	kA	0	*	0,860	A	0	*
			L2	2,58	kA	180	*	2,91	kA	180	*	2,25	kA	180	*	0,860	A	180	*
		L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*	
Erovirta, I diff		L1	0,38	kA			0,28	kA			0,48	kA							
		L2	0,38	kA			0,28	kA			0,48	kA							
		L3	0,00	kA			0,00	kA			0,00	kA							
Piste 3	Vakavointivirta, I rest [Ibase]		3	I _{base}															
	Testipisteiden toleranssi		0,1	kA	Suhteutettu	0,173	I _{base}												
	Erovirta, I diff [Ibase]		0,994	I _{base}	Ei laukaiseva	0,821	I _{base}	Laukaiseva	1,167	I _{base}									
			Ensiovirta			Tosiovirta													
			Laukaisuraja		Ei laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		Ei laukaiseva								
	Sisaantulovirta, I in AC		L1	1,73	kA	180	*	1,73	kA	180	*	1,155	A	180	*	1,155	A	180	*
			L2	1,73	kA	0	*	1,73	kA	0	*	1,155	A	0	*	1,155	A	0	*
			L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*
	Ulostulovirta, I out AE		L1	3,86	kA	0	*	4,19	kA	0	*	3,53	kA	0	*	1,287	A	0	*
			L2	3,86	kA	180	*	4,19	kA	180	*	3,53	kA	180	*	1,287	A	180	*
		L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*	
Erovirta, I diff		L1	0,57	kA			0,47	kA			0,67	kA							
		L2	0,57	kA			0,47	kA			0,67	kA							
		L3	0,00	kA			0,00	kA			0,00	kA							
Piste 4	Vakavointivirta, I rest [Ibase]		5	I _{base}															
	Testipisteiden toleranssi		0,1	kA	Suhteutettu	0,173	I _{base}												
	Erovirta, I diff [Ibase]		2,134	I _{base}	Ei laukaiseva	1,961	I _{base}	Laukaiseva	2,307	I _{base}									
			Ensiovirta			Tosiovirta													
			Laukaisuraja		Ei laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		Ei laukaiseva								
	Sisaantulovirta, I in AC		L1	2,89	kA	180	*	2,89	kA	180	*	1,925	A	180	*	1,925	A	180	*
			L2	2,89	kA	0	*	2,89	kA	0	*	1,925	A	0	*	1,925	A	0	*
			L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*
	Ulostulovirta, I out AE		L1	5,52	kA	0	*	5,85	kA	0	*	5,18	kA	0	*	1,839	A	0	*
			L2	5,52	kA	180	*	5,85	kA	180	*	5,18	kA	180	*	1,839	A	180	*
		L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*	
Erovirta, I diff		L1	1,23	kA			1,13	kA			1,33	kA							
		L2	1,23	kA			1,13	kA			1,33	kA							
		L3	0,00	kA			0,00	kA			0,00	kA							
Piste 5	Vakavointivirta, I rest [Ibase]		9,5	I _{base}															
	Testipisteiden toleranssi		0,1	kA	Suhteutettu	0,173	I _{base}												
	Erovirta, I diff [Ibase]		4,699	I _{base}	Ei laukaiseva	4,526	I _{base}	Laukaiseva	4,872	I _{base}									
			Ensiovirta			Tosiovirta													
			Laukaisuraja		Ei laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		Ei laukaiseva								
	Sisaantulovirta, I in AC		L1	5,48	kA	180	*	5,48	kA	180	*	3,657	A	180	*	3,657	A	180	*
			L2	5,48	kA	0	*	5,48	kA	0	*	3,657	A	0	*	3,657	A	0	*
			L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*
	Ulostulovirta, I out AE		L1	9,24	kA	0	*	9,57	kA	0	*	8,91	kA	0	*	3,080	A	0	*
			L2	9,24	kA	180	*	9,57	kA	180	*	8,91	kA	180	*	3,080	A	180	*
		L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*	
Erovirta, I diff		L1	2,71	kA			2,61	kA			2,81	kA							
		L2	2,71	kA			2,61	kA			2,81	kA							
		L3	0,00	kA			0,00	kA			0,00	kA							
Piste 6	Vakavointivirta, I rest [Ibase]		10,5	I _{base}															
	Testipisteiden toleranssi		0,1	kA	Suhteutettu	0,173	I _{base}												
	Erovirta, I diff [Ibase]		5	I _{base}	Ei laukaiseva	4,827	I _{base}	Laukaiseva	5,173	I _{base}									
			Ensiovirta			Tosiovirta													
			Laukaisuraja		Ei laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		Ei laukaiseva								
	Sisaantulovirta, I in AC		L1	6,06	kA	180	*	6,06	kA	180	*	4,041	A	180	*	4,041	A	180	*
			L2	6,06	kA	0	*	6,06	kA	0	*	4,041	A	0	*	4,041	A	0	*
			L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*
	Ulostulovirta, I out AE		L1	10,58	kA	0	*	10,92	kA	0	*	10,25	kA	0	*	3,528	A	0	*
			L2	10,58	kA	180	*	10,92	kA	180	*	10,25	kA	180	*	3,528	A	180	*
		L3	0,00	kA	0	*	0,00	kA	0	*	0,000	A	0	*	0,000	A	0	*	
Erovirta, I diff		L1	2,89	kA			2,79	kA			2,99	kA							
		L2	2,89	kA			2,79	kA			2,99	kA							
		L3	0,00	kA			0,00	kA			0,00	kA							



Muuntajan tiedot	Primaari	Tertiari
Nimellisteho	400 MVA	125 MVA
Nimellisjännite	400 kV	21 kV
Nimellisvirta	577 A	3437 A
Tähtipistemaadoitus (kyllä / ei)	kyllä	ei
Kytkenä (Y / D)	Y	D
Vaihe siirto kelloluokana (0 / 11)	0	11
Virtamuuntajan ensiovirta	1500 A	4000 A
Virtamuuntajan toisiovirta	1 A	1 A

Vakavoinnin asettelu	Asettelu	(laskettu)
IdMin	0.4	IB
EndSection1	1.2	IB
EndSection2	3	IB
SlopeSection2	33	% 0.33
SlopeSection3	57	% 0.57
IdUnre	5	IB

Vakavointikäyrän pisteet	X	Y
Piste 1	0.00	0.40
Piste 2	1.20	0.40
Piste 3	3.00	0.99
Piste 4	10.03	5.00
Piste 5	11.03	5.00

Testipisteiden toleranssi	0.1	kA
Virtamuuntajan tähtipiste kiskon puolella (kyllä/ei)	kyllä	
Vikatyypit	Maasulku (L1-E / L2-E / L3-E) 2-vaiheinen oikosulku (L1-L2 / L2-L3 / L3-L1) 3-vaiheinen oikosulku (L1-L2-L3)	L1-L2

ABB RET670 - Vakavointilaskenta.xlsx

Ynd11-kytkentäisten käämien laskenta

- Ennen tämän välilehden tarkastelua täydennä tiedot asetelut-välilehdelle. Osa tiedoista poimitaan automaattisesti tälle vakavointilaskenta-välilehdelle.
- Täydennä tällä välilehdellä vain sinisellä taustaväriä merkityt kentät.
- Vikatyypiksi annetaan jokin suikeissa arnoista vaihtoehdoista. Huomaa, että tämä on kirjoitettava täsmälleen oikeassa muodossa, jotta laskenta voi sen tunnistaa. Esim. L1-E
- Testipisteen toleranssin voit antaa kerralla kaikille testipisteille vikatyypin yläpuolella olevassa sarakeessa.
- Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti kunkin testipisteen omassa taulukoissa.
- Vakavointikäyrä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdetukuna. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta muuntajan referenssipuolen käämin nimellisvirralla.
- Koestuksessa testiohjelmaan syötettävät testipisteiden virrat, on merkattu keltaisella taustaväriä.
- Kolmiokykentäisen käämin tiedot tulee antaa aina kohtaan tertiäänkäämi, vaikka tämä todellisuudessa olisikin sekundaarikääminä. Vastapuolella olevan tähtikäämin tiedot tulee antaa aina määräänkäämi kohtaan.

Piste 1		1		I _{base}		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Vakavointivirta, I rest [Ibase]		0.1		kA		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Testipisteiden toleranssi		0.4		I _{base}		EI laukaiseva		0.227		I _{base}	
Erovirta, I diff [Ibase]		0.4		I _{base}		EI laukaiseva		0.227		I _{base}	
		Ensoivirta		Toisiovirta							
		Laukaisuraja		EI laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		EI laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AC		L1		0.58 kA 180 °		0.58 kA 180 °		0.385 A 180 °	
		L2		0.58 kA 0 °		0.58 kA 0 °		0.385 A 0 °		0.385 A 0 °	
		L3		0.00 kA 0 °		0.00 kA 0 °		0.000 A 0 °		0.000 A 0 °	
Ulostulovirta, I out		BJ		L1		7.62 kA 0 °		9.82 kA 0 °		5.42 kA 0 °	
		L2		3.81 kA 180 °		4.91 kA 180 °		2.71 kA 180 °		1.905 A 180 °	
		L3		3.81 kA 180 °		4.91 kA 180 °		2.71 kA 180 °		1.905 A 180 °	
Erovirta, I diff		L1		0.23 kA		0.13 kA		0.33 kA			
		L2		0.23 kA		0.13 kA		0.33 kA			
		L3		0.00 kA		0.00 kA		0.00 kA			

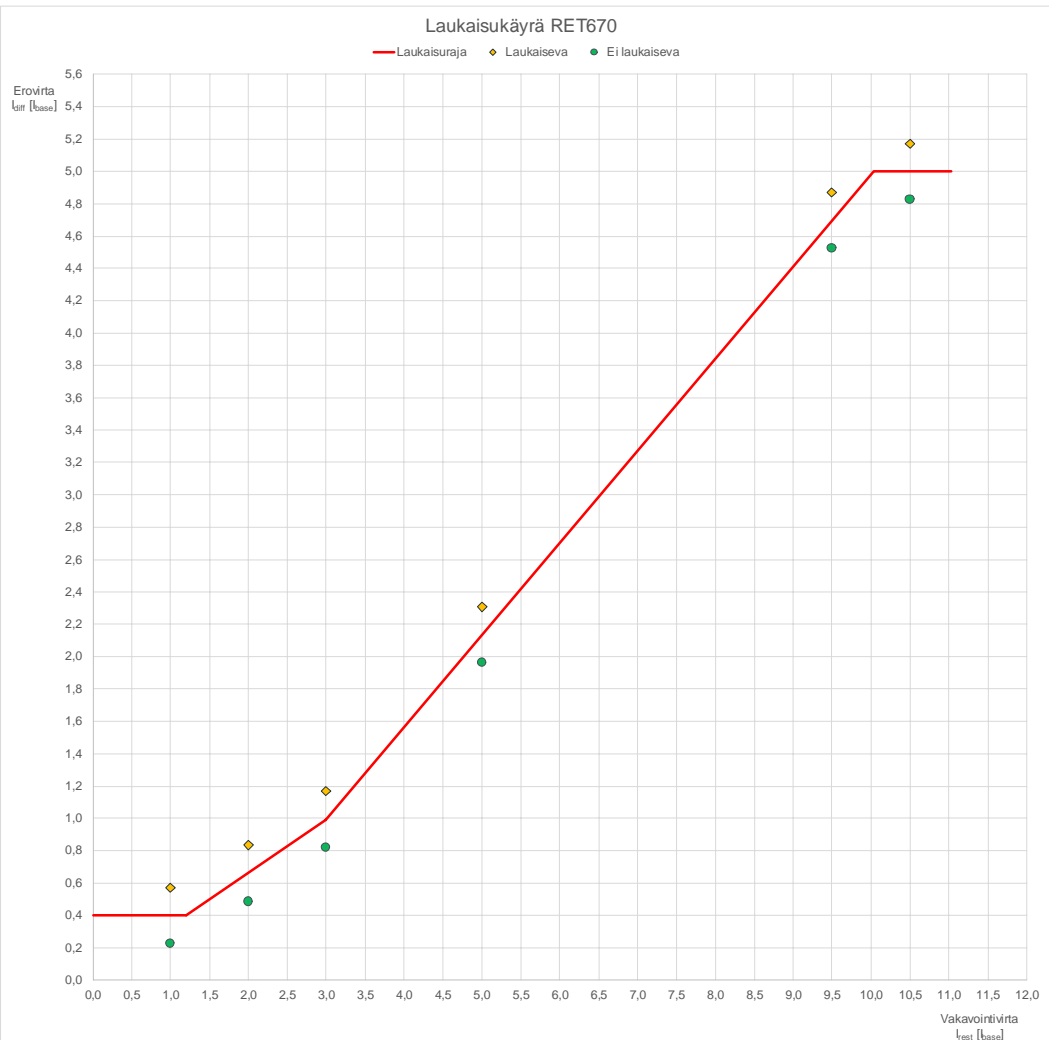
Piste 2		2		I _{base}		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Vakavointivirta, I rest [Ibase]		0.1		kA		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Testipisteiden toleranssi		0.66		I _{base}		EI laukaiseva		0.487		I _{base}	
Erovirta, I diff [Ibase]		0.66		I _{base}		EI laukaiseva		0.487		I _{base}	
		Ensoivirta		Toisiovirta							
		Laukaisuraja		EI laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		EI laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AC		L1		1.15 kA 180 °		1.15 kA 180 °		0.770 A 180 °	
		L2		1.15 kA 0 °		1.15 kA 0 °		0.770 A 0 °		0.770 A 0 °	
		L3		0.00 kA 0 °		0.00 kA 0 °		0.000 A 0 °		0.000 A 0 °	
Ulostulovirta, I out		BJ		L1		17.02 kA 0 °		19.22 kA 0 °		14.82 kA 0 °	
		L2		8.51 kA 180 °		9.61 kA 180 °		7.41 kA 180 °		2.127 A 180 °	
		L3		8.51 kA 180 °		9.61 kA 180 °		7.41 kA 180 °		2.127 A 180 °	
Erovirta, I diff		L1		0.38 kA		0.28 kA		0.48 kA			
		L2		0.38 kA		0.28 kA		0.48 kA			
		L3		0.00 kA		0.00 kA		0.00 kA			

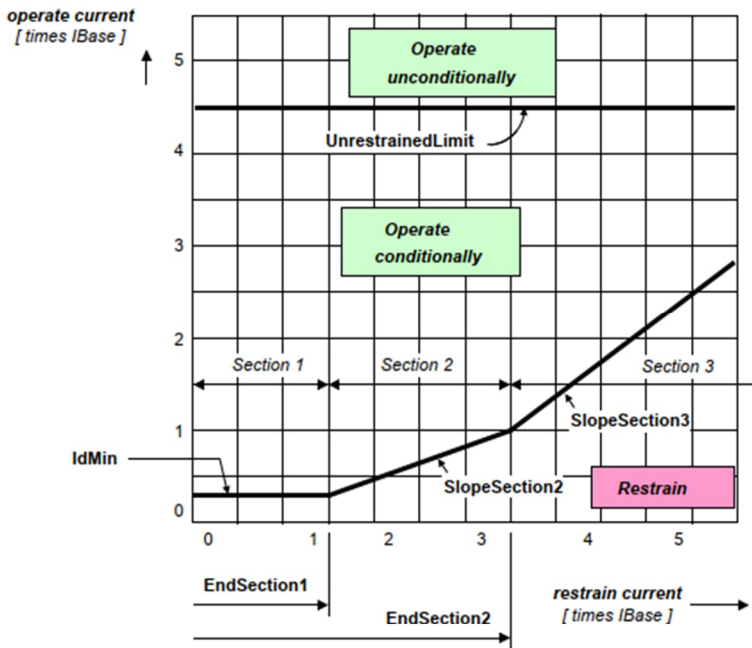
Piste 3		3		I _{base}		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Vakavointivirta, I rest [Ibase]		0.1		kA		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Testipisteiden toleranssi		0.994		I _{base}		EI laukaiseva		0.821		I _{base}	
Erovirta, I diff [Ibase]		0.994		I _{base}		EI laukaiseva		0.821		I _{base}	
		Ensoivirta		Toisiovirta							
		Laukaisuraja		EI laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		EI laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AC		L1		1.73 kA 180 °		1.73 kA 180 °		1.155 A 180 °	
		L2		1.73 kA 0 °		1.73 kA 0 °		1.155 A 0 °		1.155 A 0 °	
		L3		0.00 kA 0 °		0.00 kA 0 °		0.000 A 0 °		0.000 A 0 °	
Ulostulovirta, I out		BJ		L1		25.47 kA 0 °		27.67 kA 0 °		23.27 kA 0 °	
		L2		12.74 kA 180 °		13.84 kA 180 °		11.64 kA 180 °		3.184 A 180 °	
		L3		12.74 kA 180 °		13.84 kA 180 °		11.64 kA 180 °		3.184 A 180 °	
Erovirta, I diff		L1		0.57 kA		0.47 kA		0.67 kA			
		L2		0.57 kA		0.47 kA		0.67 kA			
		L3		0.00 kA		0.00 kA		0.00 kA			

Piste 4		5		I _{base}		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Vakavointivirta, I rest [Ibase]		0.1		kA		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Testipisteiden toleranssi		2.134		I _{base}		EI laukaiseva		1.961		I _{base}	
Erovirta, I diff [Ibase]		2.134		I _{base}		EI laukaiseva		1.961		I _{base}	
		Ensoivirta		Toisiovirta							
		Laukaisuraja		EI laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		EI laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AC		L1		2.89 kA 180 °		2.89 kA 180 °		1.925 A 180 °	
		L2		2.89 kA 0 °		2.89 kA 0 °		1.925 A 0 °		1.925 A 0 °	
		L3		0.00 kA 0 °		0.00 kA 0 °		0.000 A 0 °		0.000 A 0 °	
Ulostulovirta, I out		BJ		L1		36.39 kA 0 °		38.59 kA 0 °		34.19 kA 0 °	
		L2		18.20 kA 180 °		19.30 kA 180 °		17.10 kA 180 °		4.549 A 180 °	
		L3		18.20 kA 180 °		19.30 kA 180 °		17.10 kA 180 °		4.549 A 180 °	
Erovirta, I diff		L1		1.23 kA		1.13 kA		1.33 kA			
		L2		1.23 kA		1.13 kA		1.33 kA			
		L3		0.00 kA		0.00 kA		0.00 kA			

Piste 5		9.5		I _{base}		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Vakavointivirta, I rest [Ibase]		0.1		kA		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Testipisteiden toleranssi		4.699		I _{base}		EI laukaiseva		4.526		I _{base}	
Erovirta, I diff [Ibase]		4.699		I _{base}		EI laukaiseva		4.526		I _{base}	
		Ensoivirta		Toisiovirta							
		Laukaisuraja		EI laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		EI laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AC		L1		5.48 kA 180 °		5.48 kA 180 °		3.657 A 180 °	
		L2		5.48 kA 0 °		5.48 kA 0 °		3.657 A 0 °		3.657 A 0 °	
		L3		0.00 kA 0 °		0.00 kA 0 °		0.000 A 0 °		0.000 A 0 °	
Ulostulovirta, I out		BJ		L1		60.97 kA 0 °		63.16 kA 0 °		58.77 kA 0 °	
		L2		30.48 kA 180 °		31.58 kA 180 °		29.38 kA 180 °		7.621 A 180 °	
		L3		30.48 kA 180 °		31.58 kA 180 °		29.38 kA 180 °		7.621 A 180 °	
Erovirta, I diff		L1		2.71 kA		2.61 kA		2.81 kA			
		L2		2.71 kA		2.61 kA		2.81 kA			
		L3		0.00 kA		0.00 kA		0.00 kA			

Piste 6		10.5		I _{base}		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Vakavointivirta, I rest [Ibase]		0.1		kA		Suhteutettu		0.173		I _{base}	
Testipisteiden toleranssi		5		I _{base}		EI laukaiseva		4.827		I _{base}	
Erovirta, I diff [Ibase]		5		I _{base}		EI laukaiseva		4.827		I _{base}	
		Ensoivirta		Toisiovirta							
		Laukaisuraja		EI laukaiseva		Laukaiseva		Laukaisuraja		EI laukaiseva	
Sisaantulovirta, I in		AC		L1		6.06 kA 180 °		6.06 kA 180 °		4.041 A 180 °	
		L2		6.06 kA 0 °		6.06 kA 0 °		4.041 A 0 °		4.041 A 0 °	
		L3		0.00 kA 0 °		0.00 kA 0 °		0.000 A 0 °		0.000 A 0 °	
Ulostulovirta, I out		BJ		L1		69.84 kA 0 °		72.04 kA 0 °		67.64 kA 0 °	
		L2		34.92 kA 180 °		36.02 kA 180 °		33.82 kA 180 °		8.730 A 180 °	
		L3		34.92 kA 180 °		36.02 kA 180 °		33.82 kA 180 °		8.730 A 180 °	
Erovirta, I diff		L1		2.89 kA		2.79 kA		2.99 kA			
		L2		2.89 kA		2.79 kA		2.99 kA			
		L3		0.00 kA		0.00 kA		0.00 kA			





RET670

Vakavointi

RET670-releen vakavointivirta (restraint current) on muuntajan suurimman käämin vaihevirta. Valittua vakavointivirtaa käytetään kaikille kolmelle vaiheelle. Esimerkiksi kolmikäämiseltä muuntajalta mitatuista yhdeksästä vaihevirrasta suurinta käytetään releen vakavointivirtana kaikille yhdeksälle vaiheelle. Duplex-kentässä, jossa virta jakautuu kahteen haaraan ennen virtamittausta, haarojen virtoja käsitellään summavirtana.

Vakavointikäyrä

Toimintakäyrä esittää sekä vakavointivirran että erovirran suhteessa suojattavan kohteen, eli muuntajan, nimellisvirtaan nähden. Releellä on kaksi erillistä rajaa: rajoitettu ja rajoittamaton. Stabiloimatonta raja on vakio ja sitä käytetään erittäin suurilla erovirroilla, kun vika on selvästi suojausalueella. Stabiloidun rajan toimintakäyrän muodon määrittää viisi asetusta

- 1) IdMin perusasettelu, eli pienin erovirta, jolla suojaus toimii
- 2) EndSection1 ensimmäisen osan, eli perusasettelun päätepiste
- 3) EndSection 2 toisen osan päätepiste
- 4) SlopeSection2 toisen osan vakavointikerroin
- 5) SlopeSection3 kolmannen osan vakavointikerroin

Virtojen sovitus

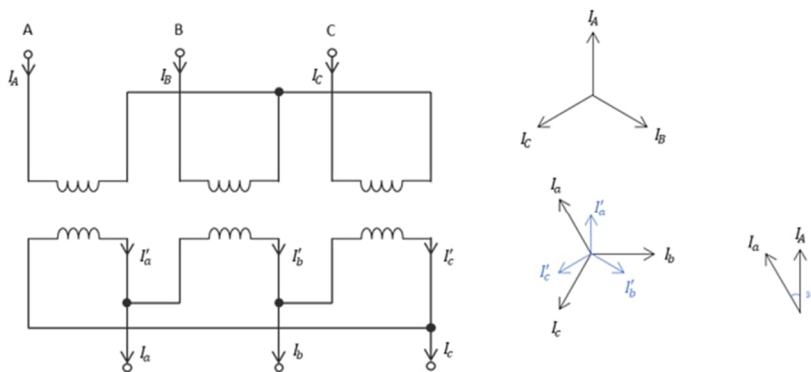
Kulmareferenssinä on ensisijaisesti muuntajan ensimmäinen tähteenkytketty käämi. Virtojen suuruudet sovitaan muuntajan ensimmäisen käämin mukaiseksi.

Kytkentäryhmän ja vaihesiirron sovitus

Muuntajadifferentiaalisuojauksessa vaatii virtojen sovituksen, jotta muuntajan eri puolilta mitattuja virtoja voi verrata keskenään. Teho- ja virtamuuntajien muuntosuhteet sekä kytkentäryhmän aiheuttamat vaihekulmaerot on sovittava valitun referenssin mukaiseksi.

Fingridin tehomuuntajien kytkentäryhmä on yleensä YNynd11. Ensio- ja toisiokäämi ovat kytketty tähteen ja niiden välillä ei ole vaihe-eroa. Kolmansiokäämi on puolestaan kytketty kolmioon ja sillä on +30 asteen vaihesiirto tähtikytkentäisiin käämeihin nähden.

Oheisessa kuvassa on esitetty Yd11 kytkentäisessä muuntajassa syntyvä vaihekulmaero sekä annettu laskentakaavat kytkentäryhmän sovitukseen ja vaihesiirron kompensointiin.



$$I_a = I'_a - I'_b = \frac{I_a}{\sqrt{3}} - \frac{I_b}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_a - I_b)$$

$$I_b = I'_b - I'_c = \frac{I_b}{\sqrt{3}} - \frac{I_c}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_b - I_c)$$

$$I_c = I'_c - I'_a = \frac{I_c}{\sqrt{3}} - \frac{I_a}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_c - I_a)$$

$$I'_a = \frac{I_a}{\sqrt{3}}$$

$$I'_b = \frac{I_b}{\sqrt{3}}$$

$$I'_c = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

Nollakomponentti

Muuntajadifferentiaalisuojauksessa on huomioitava mahdollinen nollakomponentti. Jos muuntajan käämin tähtipiste on maadoitettu, voi sen kautta kulkea virtaa suojausalueen läpi suojausalueen ulkopuolisessa maasulkuviassa. Ulkopuolisessa maasulussa nollajärjestelmän virta kulkee suojausalueelta ulospäin ja samanaikaisesti vastaavan suuruinen virta kulkee tähtipisteestä muuntajaan eli suojausalueelle päin. Nollakomponentti täytyy poistaa erovirrasta, jos muuntajan tähtipiste on maadoitettu ja tähtipisteen virtaa ei ole tuotu differentiaalireleen mittaukseen. Myös kolmiokytkentä eliminoi nollakomponentin.

Nollakomponentti (I_0) saadaan laskettua alla kaavalla

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

Virran nollakomponentti vähennetään tähteen kytkettyjen käämien vaihevirroista.

Nollakomponentin suhteen kompensoiduille vaihevirroille saadaan yhtälöt:

$$I_a - \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3}I_a - \frac{1}{3}I_b - \frac{1}{3}I_c$$

$$I_b - \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3}I_b - \frac{1}{3}I_a - \frac{1}{3}I_c$$

$$I_c - \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3}I_c - \frac{1}{3}I_a - \frac{1}{3}I_b$$

Liite 8. Vakavoinnin laskentapohja GE T60

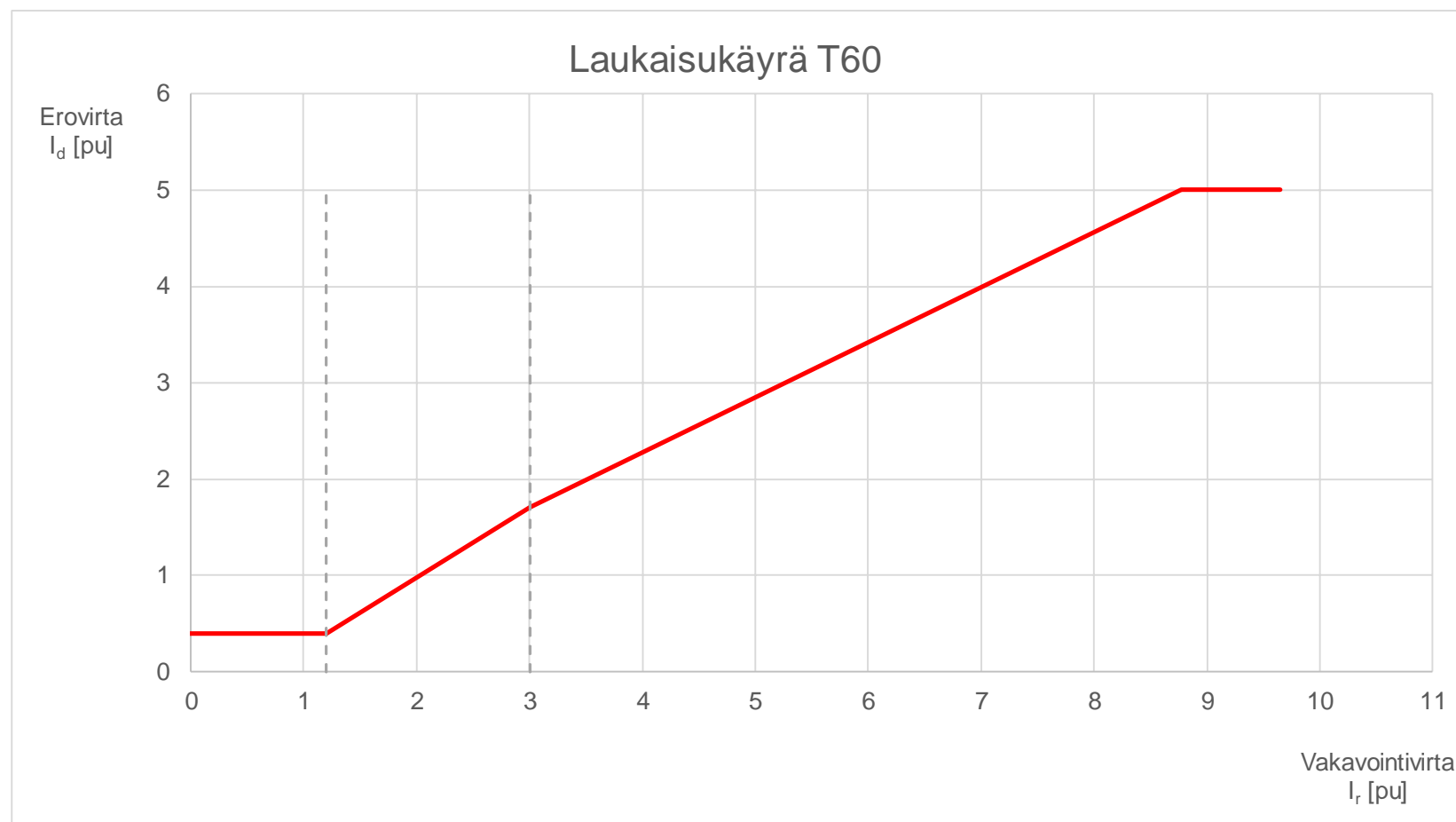
Muuntajan tiedot	Primääri		Sekundääri		Tertiääri	
Nimellisteho	400	kV	400	MVA	125	MVA
Nimellisjännite	400	kV	120	kV	21	kV
Nimellisvirta	577	A	1925	A	3437	A
Tähtipistemaadoitus (kyllä / ei)	kyllä		kyllä		ei	
KytKentä (Y / D)	Y		Y		D	
Vaihesiirto kellolukemana (0 / 11)	0		0		11	
Virtamuuntajan ensiövirta	1500	A	3000	A	4000	A
Virtamuuntajan toisiovirta	1	A	1	A	1	A

Vakavoinnin asettelut	Asettelu		(laskettu)	
Pickup	0,4	pu		
Breakpoint 1	1,2	pu		
Breakpoint 2	3	pu		
Slope 1	33	%	0,33	pu
Slope 2	57	%	0,57	pu
Pickup	5	pu		

Laukaisukäyrän taitepisteet	X	Y
Piste 1	0,00	0,40
Piste 2	1,20	0,40
Piste 3	1,20	0,40
Piste 4	3,00	1,71
Piste 5	8,77	5,00
Piste 6	9,65	5,00

GE T60 - Vakavointilaskenta.xlsx

- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemäsi tiedostokopioon.
- Tämä laskentapohja on tarkoitettu Fingridin tyyppimuuntajan (YNynd11) vakavointilaskentaan. Laskenta ei toimi sellaisenaan muunlaisille muuntajakytkennöille.
- Osaan kentistä on annettu valmiiksi tyyppimuuntajan tiedot. Älä muuta näitä tietoja!
- Täydennä vain sinisellä taustavärillä merkityt kentät.
- Tällä välilehdellä voit antaa asettelut muuntajan kolmelle käämille. Käämien tiedot poimitaan automaattisesti laskentavälilehdille.
- Laskenta on toteutettu kaksikämmisenä.
- Vakavointilaskenta on jaettu kahteen erilliseen välilehteen. Toisella välilehdellä lasketaan koestusvirrat YNyn-kytkentäisille käämeille ja toisella välilehdellä Ynd11-kytkentäisille käämeille.
- Vakavointikäyrä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdelukuna. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta referenssipuolen virtamuuntajan nimellisvirralla.



Muuntajan tiedot	Primaari	Sekundaari
Nimellisteho	400 MVA	400 MVA
Nimellisjännite	400 kV	120 kV
Nimellisvirta	577 A	1925 A
Tähtipisteமாadoitus (kyllä / ei)	kyllä	kyllä
Kytkenä (Y / D)	Y	Y
Valhesierto keilloukemana (0 / 11)	0	0
Virtamuuntajan ensiovirta	1500 A	3000 A
Virtamuuntajan toisiovirta	1 A	1 A

GE T60 - Vakavointilaskenta.xlsx

YNyn-kytkentäisten käänien laskenta

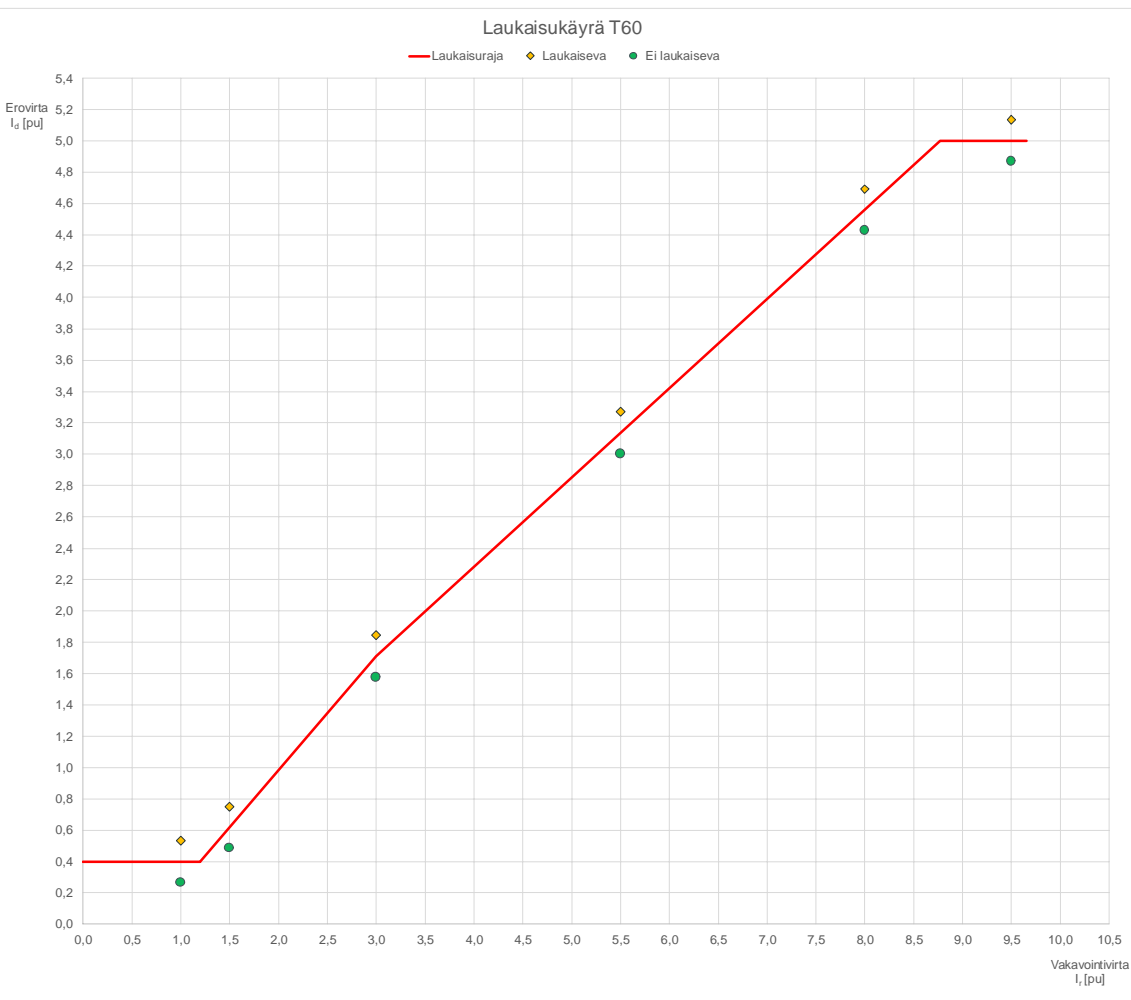
- Ennen tämän välilehden tarkastelua täydennä tiedot asette/lu-välilehdelle. Osa tiedoista poimitaan automaattisesti vakavointilaskenta-välilehdelle.
- Täydennä tällä välilehdellä vain sinisellä taustavärillä merkityt kentät.
- Vikatyypiksi annetaan jokin sulkeissa annetuista vaihtoehdoista. Huomaa, että tämä on kirjoitettava täsmälleen oikeassa muodossa, jotta laskenta voi sen tunnistaa. Esim. L1-E
- Testipisteen toleranssin voit antaa kerralla kaikille testipisteille vikatyypin yläpuolella olevassa sarakkeessa.
- Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti kurkin testipisteen omassa taulukoissa.
- Oletuksena releen mittaamien virtojen suunnat tulevat siten, että virtamuuntajan tähtipiste on muuntajan puolella. Fingrin muuntajasuojauksessa virtamuuntajan tähtipiste on kuitenkin aina kiskon puolella. Virrat saadaan kääntymään 180 astetta asetuksella *Virtamuuntajan tähtipiste kiskon puolella*.
- Vakavointikäyrä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdelukuna. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta referenssipuolen virtamuuntajan nimellisvirralla.
- Koestuksessa testiohjelmaan syötettävät testipisteiden virrat, on merkattu keltaisella taustavärillä.

Vakavoinnin asetellut	Asettelu	(laskettu)
Pickup	0,4 pu	
Breakpoint 1	1,2 pu	
Breakpoint 2	3 pu	
Slope 1	33 %	0,33 pu
Slope 2	57 %	0,57 pu
Pickup	5 pu	

Vakavointikäyrän pisteet	X	Y
Piste 1	0,00	0,40
Piste 2	1,20	0,40
Piste 3	1,20	0,40
Piste 4	3,00	1,71
Piste 5	8,77	5,00
Piste 6	9,65	5,00
Adaptiivisen osuuden kulmakerroin	0,73	

Testipisteiden toleranssi	0,2	kA
Virtamuuntajan tähtipiste kiskon puolella (kyllä/ei)	kyllä	
Vikatyyppi	Maasulku (L1-E / L2-E / L3-E) 2-vaiheinen oikosulku (L1-L2 / L2-L3 / L3-L1) 3-vaiheinen oikosulku (L1-L2-L3)	L1-E

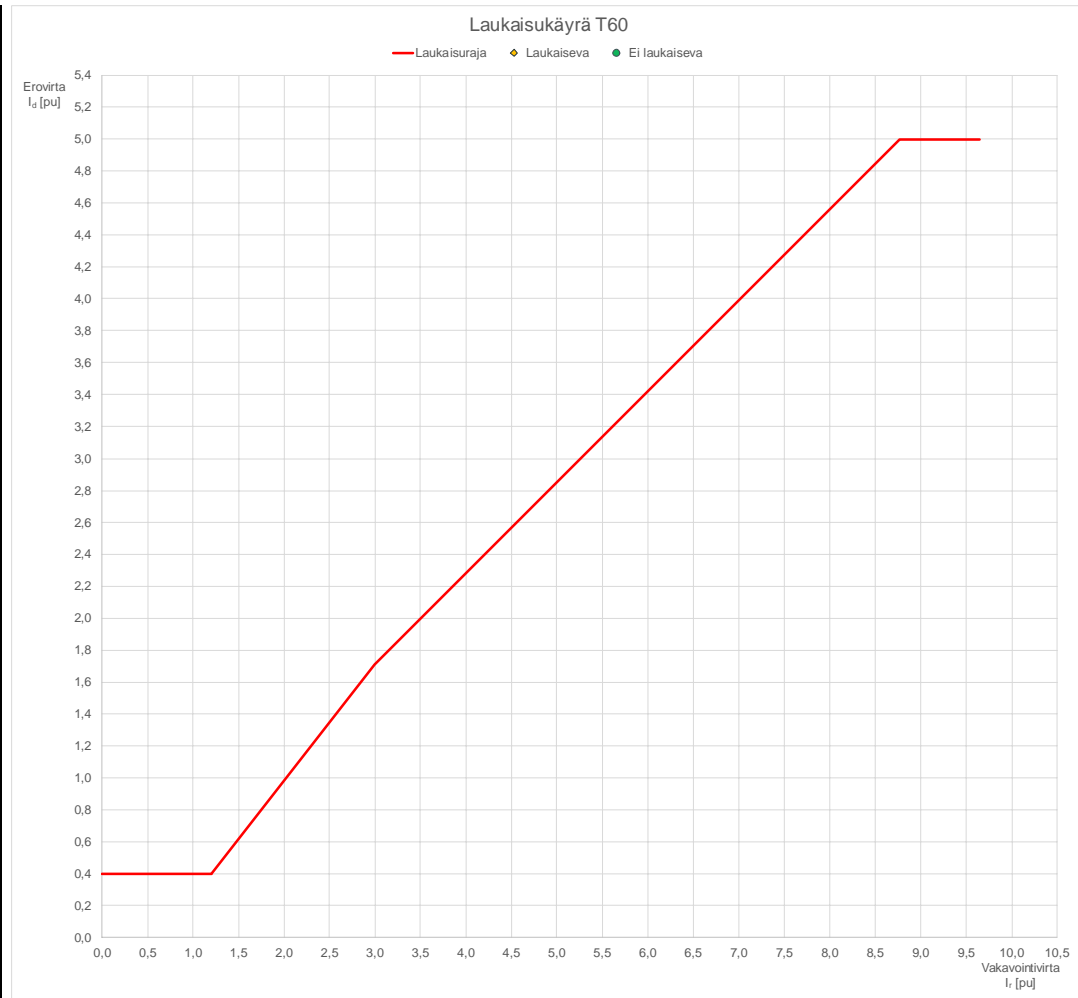
Testipisteet			
Piste 1	Vakavointivirta, I rest [pu]	1 pu	
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	
	Erövirta, I diff [pu]	0,4 pu	
	Ensiövirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Toisiovirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC		
Piste 2	Vakavointivirta, I rest [pu]	1,5 pu	
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	
	Erövirta, I diff [pu]	0,6183 pu	
	Ensiövirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Toisiovirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC		
Piste 3	Vakavointivirta, I rest [pu]	3 pu	
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	
	Erövirta, I diff [pu]	1,71 pu	
	Ensiövirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Toisiovirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC		
Piste 4	Vakavointivirta, I rest [pu]	5,5 pu	
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	
	Erövirta, I diff [pu]	3,135 pu	
	Ensiövirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Toisiovirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC		
Piste 5	Vakavointivirta, I rest [pu]	8 pu	
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	
	Erövirta, I diff [pu]	4,56 pu	
	Ensiövirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Toisiovirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC		
Piste 6	Vakavointivirta, I rest [pu]	9,5 pu	
	Testipisteiden toleranssi	0,2 kA	
	Erövirta, I diff [pu]	5 pu	
	Ensiövirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Toisiovirta		
	Laukaisuraja		
	Ei laukaiseva		
	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC		

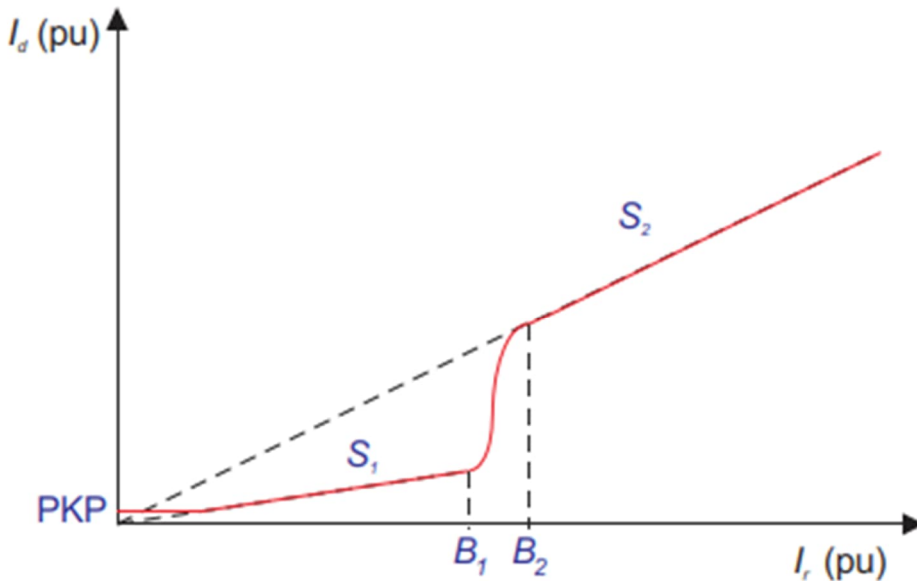


Muuntajan tiedot	Primaari	Tertiari
Nimellisteho	400 MVA	125 MVA
Nimellisjännite	400 kV	21 kV
Nimellivirta	577 A	3437 A
Tahtipistemääritys (kyllä / ei)	kyllä	ei
Kytikentä (Y / D)	Y	D
Vaihesiirto keiloluokemana (0 / 11)	0	11
Virtamuuntajan ensiovirta	1500 A	4000 A
Virtamuuntajan toisiovirta	1 A	1 A
Vakavoimn asetellut	Asettelu	(laskettu)
Pickup	0,4 pu	
Breakpoint 1	1,2 pu	
Breakpoint 2	3 pu	
Slope 1	33 %	0,33 pu
Slope 2	57 %	0,57 pu
Pickup	5 pu	
Vakavoimnkäyrän pisteet	X	Y
Piste 1	0,00	0,40
Piste 2	1,20	0,40
Piste 3	1,20	0,40
Piste 4	3,00	1,71
Piste 5	8,77	5,00
Piste 6	9,65	5,00
Adaptiivisen osuuden kulmakerroin	0,73	

Testipisteiden toleranssi	0,2	kA
Virtamuuntajan tahtipiste kiskon puolella (kyllä/ei)		kyllä
Vikatyyppi	Maasulku (L1-E / L2-E / L3-E) 2-vaiheinen oikosulku (L1-L2 / L2-L3 / L3-L1) 3-vaiheinen oikosulku (L1-L2-L3)	L1-E

Testipisteet												
Piste 1	Vakavoimivirta, I rest [pu]		pu									
	Testipisteiden toleranssi	0,2	kA	Suhteutettu	0,133	pu						
	Erovirta, I diff [pu]		pu	Ei laukaiseva	pu	Laukaiseva	pu					
					Ensiovirta			Toisiovirta				
					Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Ulostulovirta, I out BJ	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Erovirta, I diff	L1	kA		kA		kA					
	L2	kA		kA		kA						
	L3	kA		kA		kA						
Piste 2	Vakavoimivirta, I rest [pu]		pu									
	Testipisteiden toleranssi	0,2	kA	Suhteutettu	0,133	pu						
	Erovirta, I diff [pu]		pu	Ei laukaiseva	pu	Laukaiseva	pu					
					Ensiovirta			Toisiovirta				
					Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Ulostulovirta, I out BJ	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Erovirta, I diff	L1	kA		kA		kA					
	L2	kA		kA		kA						
	L3	kA		kA		kA						
Piste 3	Vakavoimivirta, I rest [pu]		pu									
	Testipisteiden toleranssi	0,2	kA	Suhteutettu	0,133	pu						
	Erovirta, I diff [pu]		pu	Ei laukaiseva	pu	Laukaiseva	pu					
					Ensiovirta			Toisiovirta				
					Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Ulostulovirta, I out BJ	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Erovirta, I diff	L1	kA		kA		kA					
	L2	kA		kA		kA						
	L3	kA		kA		kA						
Piste 4	Vakavoimivirta, I rest [pu]		pu									
	Testipisteiden toleranssi	0,2	kA	Suhteutettu	0,133	pu						
	Erovirta, I diff [pu]		pu	Ei laukaiseva	pu	Laukaiseva	pu					
					Ensiovirta			Toisiovirta				
					Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Ulostulovirta, I out BJ	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Erovirta, I diff	L1	kA		kA		kA					
	L2	kA		kA		kA						
	L3	kA		kA		kA						
Piste 5	Vakavoimivirta, I rest [pu]		pu									
	Testipisteiden toleranssi	0,2	kA	Suhteutettu	0,133	pu						
	Erovirta, I diff [pu]		pu	Ei laukaiseva	pu	Laukaiseva	pu					
					Ensiovirta			Toisiovirta				
					Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Ulostulovirta, I out BJ	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Erovirta, I diff	L1	kA		kA		kA					
	L2	kA		kA		kA						
	L3	kA		kA		kA						
Piste 6	Vakavoimivirta, I rest [pu]		pu									
	Testipisteiden toleranssi	0,2	kA	Suhteutettu	0,133	pu						
	Erovirta, I diff [pu]		pu	Ei laukaiseva	pu	Laukaiseva	pu					
					Ensiovirta			Toisiovirta				
					Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva		
	Sisaantulovirta, I in AC	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Ulostulovirta, I out BJ	L1	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L2	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
		L3	kA	*	kA	*	kA	*	A	*	A	*
	Erovirta, I diff	L1	kA		kA		kA					
	L2	kA		kA		kA						
	L3	kA		kA		kA						





T60

Vakavointi

T60-rele käyttää vakavointivirtana suurinta vaihevirtaa. Sen vakavointi on vaihekohtainen. Duplex-kentässä virta jakautuu kahteen haaraan ennen virtamittausta, jolloin haarojen virrat käsitellään erillisinä.

Vakavointikäyrä

T 60-rele antaa ero- ja vakavointivirran suhteessa referenssivirtamuuntajan nimellisvirtaan.

Käyrän muodon määrittää viisiasetus:

- 1) Pickup, pienin erovirta, jolla suojaus toimii
- 2) Slope 1, matalamman portaan vakavointikerroin
- 3) Slope 2, ylemmän portaan vakavointikerroin
- 4) Breakpoint 1 taitepiste, johon matalampi porras päättyy
- 5) Breakpoint 2 taitepiste, josta ylempi porras alkaa.

Matalamman ja korkeamman portaan väliin jää siirtymäalue, jolla käyrä mukautuu likimääräisesti portaiden välille. Lisäksi releen asetteluissa on annettu erovirrälle katto, jota ei ole esitetty oheisessa kuviossa. Kattoa käytetään erittäin suurilla erovirroilla, jolloin vika on selvästi suojausalueella.

Virtojen sovitus

Virtojen suuruus sovitetaan referenssi käämin puolelle. Referenssikäämi voidaan valita automaattisesti tai manuaalisesti. Figrid käyttää manuaalista referenssikäämin valintaa. Referenssikäämiksi on valittu 400 kV käämi, jolloin 1 pu vastaa tavallisimmin 1500 A:n virtaa.

T60-rele käyttää kulmareferenssinä muuntajan kolmiokäämiä. Mikäli muuntajassa ei ole kolmiokäämiä, käyttää rele kulmareferenssinä ensimmäistä käämiä.

Kytkentäryhmän ja vaihesiirron sovitus sekä nollakomponentti

Muuntajadifferentiaalisuojaus vaatii virtojen sovituksen, jotta muuntajan eri puolilta mitattuja virtoja voi verrata keskenään. Teho- ja virtamuuntajien muuntosuhteet sekä kytkentäryhmän aiheuttamat vaihekulmaerot on sovittava valitun referenssin mukaiseksi.

Fingridin tehomuuntajien kytkentäryhmä on yleensä YNynd11. Ensiö- ja toisiokäämi ovat kytketty tähteen ja niiden välillä ei ole vaihe-eroa. Kolmansiokäämi on puolestaan kytketty kolmioon ja sillä on +30 asteen vaihesiirto tähtikytkentäisiin käämeihin nähden.

Muuntajadifferentiaalisuojauksessa on huomioitava myös mahdollinen nollakomponentti. Jos muuntajan käämin tähtipiste on maadoitettu, voi sen kautta kulkea virtaa suojausalueen läpi suojausalueen ulkopuolisessa maasulkuviassa. Ulkopuolisessa maasulussa nollajärjestelmän virta kulkee suojausalueelta ulospäin ja samanaikaisesti vastaavan suuruinen virta kulkee tähtipisteestä muuntajaan eli suojausalueelle päin. Nollakomponentti täytyy poistaa erovirrasta, jos muuntajan tähtipiste on maadoitettu ja tähtipisteen virtaa ei ole tuotu differentiaalireleen mittaukseen. Myös kolmiokytkentä eliminoi nollakomponentin.

Nollakomponentti (I_0) saadaan laskettua alla kaavalla:

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

Virran nollakomponentti vähennetään tähteen kytkettyjen käämien vaihevirroista.

Oheisessa taulukossa on annettu laskentakaavat T60-releelle YNynd11 muuntajan vaihekulmaeron ja nollasekvenssin kompensointiin. Rele käyttää 400 kV ja 110 kV vaihevirtojen laskentaan taulukon ylemmän rivin kaavoja ja 20 kV vaihevirtojen määrittämiseen alemman rivin kaavoja.

$I_A[w]$ = uncompensated winding 'w' phase A current
 $I_A^P[w]$ = phase and zero sequence compensated winding 'w' phase A current

$\Phi_{comp}[w]$	Grounding(w) = "Not within zone"	Grounding(w) = "Within zone"
0°	$I_A^P[w] = I_A[w]$ $I_B^P[w] = I_B[w]$ $I_C^P[w] = I_C[w]$	$I_A^P[w] = \frac{2}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_B^P[w] = \frac{2}{3}I_B[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_C[w]$ $I_C^P[w] = \frac{2}{3}I_C[w] - \frac{1}{3}I_A[w] - \frac{1}{3}I_B[w]$
330° lag	$I_A^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_B^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_C^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$	$I_A^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w]$ $I_B^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w]$ $I_C^P[w] = \frac{1}{\sqrt{3}}I_C[w] - \frac{1}{\sqrt{3}}I_A[w]$

Liite 9. Vakavoinnin laskentapohja Siemens 7UT8

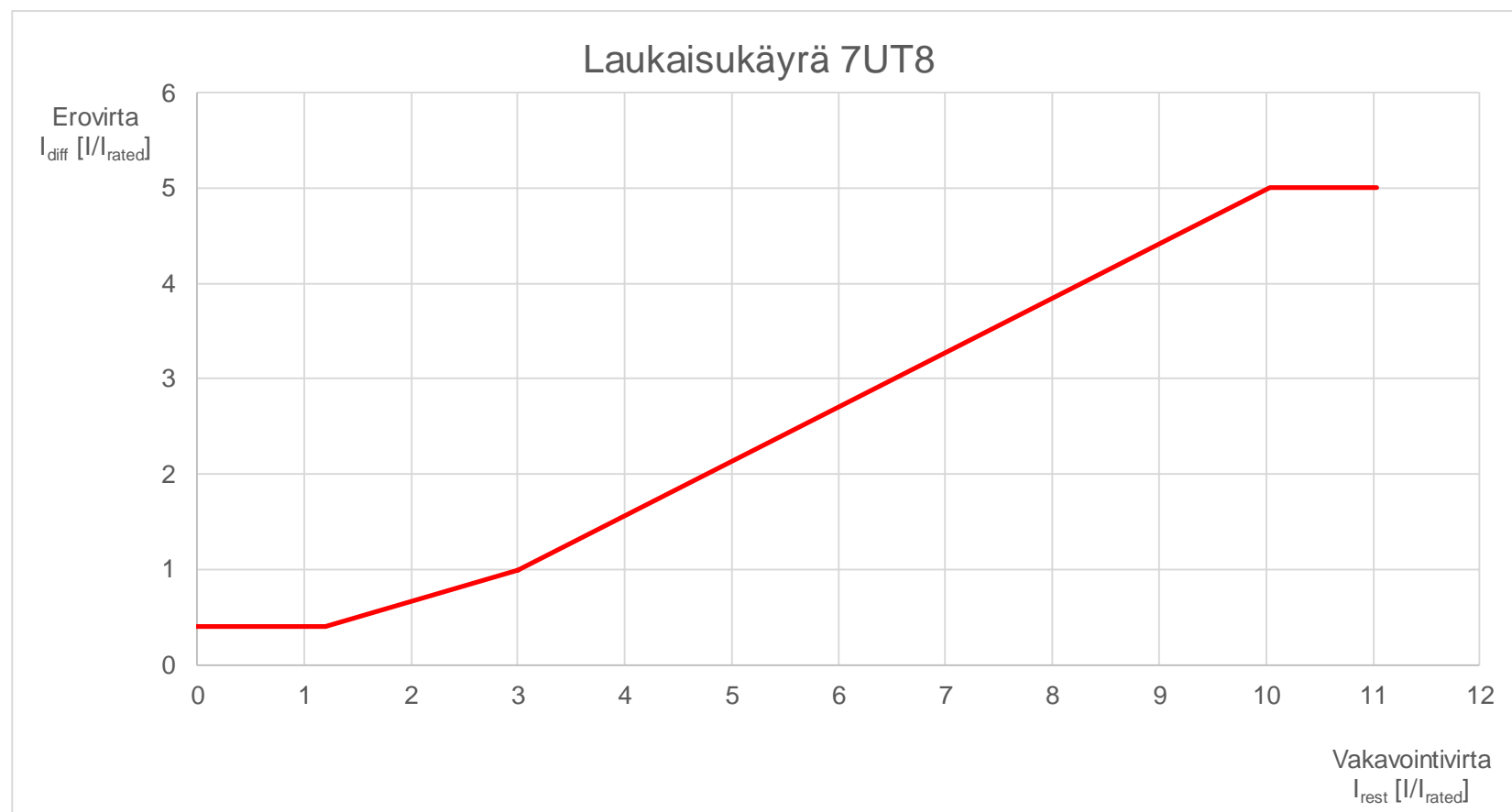
Muuntajan tiedot	Primääri		Sekundääri		Tertiääri	
Nimellisteho	400	MVA	400	MVA	125	MVA
Nimellisjännite	400	kV	120	kV	21	kV
Nimellisvirta	577	A	1925	A	3437	A
Tähtipistemaadoitus (kyllä / ei)	kyllä		kyllä		ei	
Kytkenä (Y / D)	Y		Y		D	
Vaihesiirto kellolukemana (0 / 11)	0		0		11	
Virtamuuntajan ensiövirta	1500	A	3000	A	4000	A
Virtamuuntajan toisiovirta	1	A	1	A	1	A

Vakavoinnin asettelut	Asettelu	
Threshold	0,4	I/I _{rated,obj}
Intersection 1 I _{rest}	1,2	I/I _{rated,obj}
Intersection 2 I _{rest}	3	I/I _{rated,obj}
Slope 1	0,33	pu
Slope 2	0,57	pu
Threshold (I-DIFF unrestr)	5	I/I _{rated,obj}

Laukaisukäyrän taitepisteet	X	Y
Piste 1	0,00	0,40
Piste 2	1,20	0,40
Piste 3	3,00	0,99
Piste 4	10,03	5,00
Piste 5	11,03	5,00

Siemens 7UT8 - Vakavointilaskenta.xlsx

- HUOM! Älä tee muutoksia alkuperäiseen excel-tiedostoon. Tallenna tiedoston kopio ensin haluamaasi paikkaan ja aloita tietojen täydentäminen vasta tämän jälkeen tekemäsi tiedostokopioon.
- Tämä laskentapohja on tarkoitettu Fingridin tyyppimuuntajan (YNynd11) vakavointilaskentaan. Laskenta ei toimi sellaisenaan muunlaisille muuntajakytkennöille.
- Osaan kentistä on annettu valmiiksi tyyppimuuntajan tiedot. Älä muuta näitä tietoja!
- Täydennä vain sinisellä taustavärillä merkityt kentät.
- Tällä välilehdellä voit antaa asettelut muuntajan kolmelle käämille. Käämien tiedot poimitaan automaattisesti laskentavälilehdille.
- Laskenta on toteutettu kaksikämmisenä.
- Vakavointilaskenta on jaettu kahteen erilliseen välilehteen. Toisella välilehdellä lasketaan koestusvirrat YNyn-kytkentäisille käämeille ja toisella välilehdellä Ynd11-kytkentäisille käämeille.
- Vakavointikäyrä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdelukuna. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta muuntajan referenssipuolen käämin nimellisvirralla.



Muuntajan tiedot		
Nimellisteho	400 MVA	400 MVA
Nimellijännite	400 kV	120 kV
Nimellivirta	577 A	1925 A
Tähtipi-tomasdohus (kV/ ei)	kyllä	kyllä
Kytkeyntä (Y / D)	Y	Y
Vaihevirta kolokuomana (0 / 11)	0	0
Virtamuuntajan ensiovirta	1500 A	3000 A
Virtamuuntajan toisiovirta	1 A	1 A
Vakavointin asetellut		
Threshold	0.4	V/I rated obj
Intersection 1 Irest	1.2	V/I rated obj
Intersection 2 Irest	3	V/I rated obj
Slope 1	0.33	pu
Slope 2	0.57	pu
Threshold (I-DIFF unnestr)	5	V/I rated obj
Vakavointikäyrän pisteet		
	x	y
Piste 1	0.00	0.40
Piste 2	1.20	0.40
Piste 3	3.00	0.99
Piste 4	10.03	5.00
Piste 5	11.03	5.00
Testipisteiden toleranssi		
	0.05	kA
Virtamuuntajan tähtipi-te kiskon puolelta (kyllä/ei)	kyllä	
Kokonaan vai puoliaksel duplex? (koko / puoli)	puoli	
Vikatyyppi	Masulku (L1-E / L2-E / L3-E)	
	2-vaiheinen oikosulku (L1-L2 / L2-L3 / L3-L1)	L1-L2
	3-vaiheinen oikosulku (L1-L2-L3)	

Siemens 7UT8 - Vakavointilaskenta.xlsx

YNyn-kytkentäisten käämien laskenta

- Ennen tämän välilehden tarkastelua täydennä tiedot asetusvälilehdelle. Osa tiedoista poimitaan automaattisesti vakavointilaskenta-välilehdille.
- Täydennä tällä välilehdellä vain sinisellä taustaväriä merkityt kentät.
- Vikatyyppiä arvioidaan jokin aukkoissa arneutusta vaihteledoista. Huomaa, että tämä on kirjittettävä täsmälleen oikeassa muodossa, jotta laskenta voi sen turvissa. Esm. L1-E
- Testipisteen toleranssin voit antaa kerralla kaikille testipisteille vikatyyppien yläpuolella olevassa sarakkeessa. Toleranssin voi määrätä myös testipistekohdasti kukin testipisteen omassa aukkoissa.
- Oletuksena releen mittaamisen virtojen suurnat tulevat silten, että virtamuuntajan tähtipi-te on muuntajan puolella. Fingrin muuntajasuojauksessa virtamuuntajan tähtipi-te on kuitenkin aina kiskon puolella. Virrat saadaan kääntymään 180 astetta asetuksella *Virtamuuntajan tähtipi-te kiskon puolella*.
- Vakavointikäyriä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdetukuna. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta muuntajan referenssipuolen käärin nimellisvirralla.
- Koetuksessa testiohjelmaan syötettävät testipisteiden virrat, on merkattu ketäisellä taustaväriä.

Testipisteet																					
Piste 1	Vakavointivirta, I rest [V/rated]	1	V _{rated}																		
	Testipisteiden toleranssi	0.05	kA	Suhteutettu	0.087	V _{rated}															
	Erovirta, I diff [V/rated]	0.4	V _{rated} Ei laukaiseva	0.313	V _{rated}	Laukaiseva	0.487	V _{rated}													
				Ensiovirta			Toisiovirta														
				Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva												
	Sisäantuvirta, I in	AC A	L1	0.58	kA	180 °	0.58	kA	180 °	0.58	kA	180 °	0.385	A	180 °	0.385	A	180 °	0.385	A	180 °
	L2	0.58	kA	0 °	0.58	kA	0 °	0.58	kA	0 °	0.385	A	0 °	0.385	A	0 °	0.385	A	0 °		
	L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
	Sisäantuvirta, I in	AC B	L1	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °
	L2	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Ulostulovirta, I out	AE	L1	1.15	kA	0 °	1.32	kA	0 °	0.99	kA	0 °	0.385	A	0 °	0.440	A	0 °	0.329	A	0 °	
L2	1.15	kA	180 °	1.32	kA	180 °	0.99	kA	180 °	0.385	A	180 °	0.440	A	180 °	0.329	A	180 °			
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Erovirta, I diff	L1	0.23	kA	0 °	0.18	kA	0 °	0.28	kA	0 °											
L2	0.23	kA	0 °	0.18	kA	0 °	0.28	kA	0 °												
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °												
Piste 2	Vakavointivirta, I rest [V/rated]	1.5	V _{rated}																		
	Testipisteiden toleranssi	0.05	kA	Suhteutettu	0.087	V _{rated}															
	Erovirta, I diff [V/rated]	0.495	V _{rated} Ei laukaiseva	0.408	V _{rated}	Laukaiseva	0.582	V _{rated}													
				Ensiovirta			Toisiovirta														
				Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva												
	Sisäantuvirta, I in	AC A	L1	0.87	kA	180 °	0.87	kA	180 °	0.87	kA	180 °	0.577	A	180 °	0.577	A	180 °	0.577	A	180 °
	L2	0.87	kA	0 °	0.87	kA	0 °	0.87	kA	0 °	0.577	A	0 °	0.577	A	0 °	0.577	A	0 °		
	L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
	Sisäantuvirta, I in	AC B	L1	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °
	L2	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Ulostulovirta, I out	AE	L1	1.93	kA	0 °	2.10	kA	0 °	1.77	kA	0 °	0.645	A	0 °	0.700	A	0 °	0.589	A	0 °	
L2	1.93	kA	180 °	2.10	kA	180 °	1.77	kA	180 °	0.645	A	180 °	0.700	A	180 °	0.589	A	180 °			
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Erovirta, I diff	L1	0.29	kA	0 °	0.24	kA	0 °	0.34	kA	0 °											
L2	0.29	kA	0 °	0.24	kA	0 °	0.34	kA	0 °												
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °												
Piste 3	Vakavointivirta, I rest [V/rated]	3	V _{rated}																		
	Testipisteiden toleranssi	0.05	kA	Suhteutettu	0.087	V _{rated}															
	Erovirta, I diff [V/rated]	0.994	V _{rated} Ei laukaiseva	0.907	V _{rated}	Laukaiseva	1.081	V _{rated}													
				Ensiovirta			Toisiovirta														
				Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva												
	Sisäantuvirta, I in	AC A	L1	1.73	kA	180 °	1.73	kA	180 °	1.73	kA	180 °	1.155	A	180 °	1.155	A	180 °	1.155	A	180 °
	L2	1.73	kA	0 °	1.73	kA	0 °	1.73	kA	0 °	1.155	A	0 °	1.155	A	0 °	1.155	A	0 °		
	L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
	Sisäantuvirta, I in	AC B	L1	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °
	L2	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Ulostulovirta, I out	AE	L1	3.86	kA	0 °	4.03	kA	0 °	3.69	kA	0 °	1.287	A	0 °	1.342	A	0 °	1.231	A	0 °	
L2	3.86	kA	180 °	4.03	kA	180 °	3.69	kA	180 °	1.287	A	180 °	1.342	A	180 °	1.231	A	180 °			
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Erovirta, I diff	L1	0.57	kA	0 °	0.52	kA	0 °	0.62	kA	0 °											
L2	0.57	kA	0 °	0.52	kA	0 °	0.62	kA	0 °												
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °												
Piste 4	Vakavointivirta, I rest [V/rated]	5	V _{rated}																		
	Testipisteiden toleranssi	0.05	kA	Suhteutettu	0.087	V _{rated}															
	Erovirta, I diff [V/rated]	2.134	V _{rated} Ei laukaiseva	2.047	V _{rated}	Laukaiseva	2.221	V _{rated}													
				Ensiovirta			Toisiovirta														
				Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva												
	Sisäantuvirta, I in	AC A	L1	2.89	kA	180 °	2.89	kA	180 °	2.89	kA	180 °	1.925	A	180 °	1.925	A	180 °	1.925	A	180 °
	L2	2.89	kA	0 °	2.89	kA	0 °	2.89	kA	0 °	1.925	A	0 °	1.925	A	0 °	1.925	A	0 °		
	L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
	Sisäantuvirta, I in	AC B	L1	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °	0.000	A	180 °
	L2	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Ulostulovirta, I out	AE	L1	5.52	kA	0 °	5.68	kA	0 °	5.35	kA	0 °	1.839	A	0 °	1.894	A	0 °	1.783	A	0 °	
L2	5.52	kA	180 °	5.68	kA	180 °	5.35	kA	180 °	1.839	A	180 °	1.894	A	180 °	1.783	A	180 °			
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °			
Erovirta, I diff	L1	1.23	kA	0 °	1.18	kA	0 °	1.28	kA	0 °											
L2	1.23	kA	0 °	1.18	kA	0 °	1.28	kA	0 °												
L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °												
Piste 5	Vakavointivirta, I rest [V/rated]	9	V _{rated}																		
	Testipisteiden toleranssi	0.05	kA	Suhteutettu	0.087	V _{rated}															
	Erovirta, I diff [V/rated]	4.414	V _{rated} Ei laukaiseva	4.327	V _{rated}	Laukaiseva	4.501	V _{rated}													
				Ensiovirta			Toisiovirta														
				Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva	Laukaisuraja	Ei laukaiseva	Laukaiseva												
	Sisäantuvirta, I in	AC A	L1	5.20	kA	180 °	5.20	kA	180 °	5.20	kA	180 °	3.444	A	180 °	3.444	A	180 °	3.444	A	180 °
	L2	5.20	kA	0 °	5.20	kA	0 °	5.20	kA	0 °	3.444	A	0 °	3.444	A	0 °	3.444	A	0 °		
	L3	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.00	kA	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °	0.000	A	0 °		
	Sisäantuvirta, I in	AC B	L1	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0.00	kA	180 °	0								

Muuntajan tiedot		
Nimellisteho	400 MVA	125 MVA
Nimellisjännite	400 kV	21 kV
Nimellisvirta	577 A	3437 A
Tähtitietomasjännite (kvilla / ei)	kvilla	ei
Kytkeyntä (Y / D)	Y	D
Vaihevirta kolokuomana (0 / 11)	0	11
Virtamuuntajan erovirta	1500 A	4000 A
Virtamuuntajan toisovirta	1 A	1 A

Vakavoinnin asetellut	
Threshold	0.4 V/Vratedobj
Intersection 1 Irest	1.2 V/Vratedobj
Intersection 2 Irest	3 V/Vratedobj
Slope 1	0.33 pu
Slope 2	0.57 V/Vratedobj
Threshold (I-DIFF unrest)	5 V/Vratedobj

Vakavointikäyrän pisteet		
Piste 1	0.00	0.40
Piste 2	1.20	0.40
Piste 3	3.00	0.99
Piste 4	10.03	5.00
Piste 5	11.03	5.00

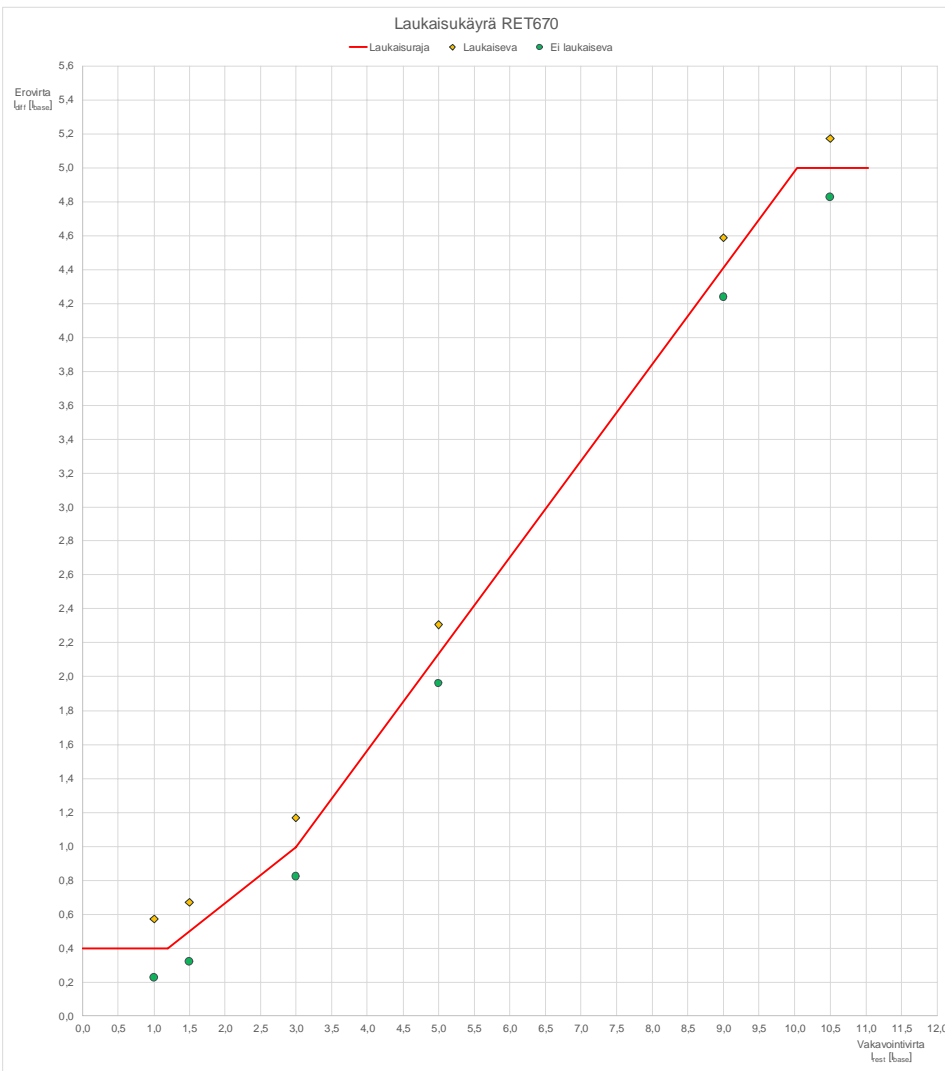
Testipisteiden toleranssi	0.1	KA
Virtamuuntajan tähtipiste kiskon puolelta (kyllä/ei)	kyllä	
Kokonaisten vai puolisidus duplex? (koko / puoli)	puoli	
Vikatyyppi	Maa sulku (L1-E / L2-E / L3-E)	
	2-vaiheinen oikosulku (L1-L2 / L2-L3 / L3-L1)	
	3-vaiheinen oikosulku (L1-L2-L3)	L1-L2

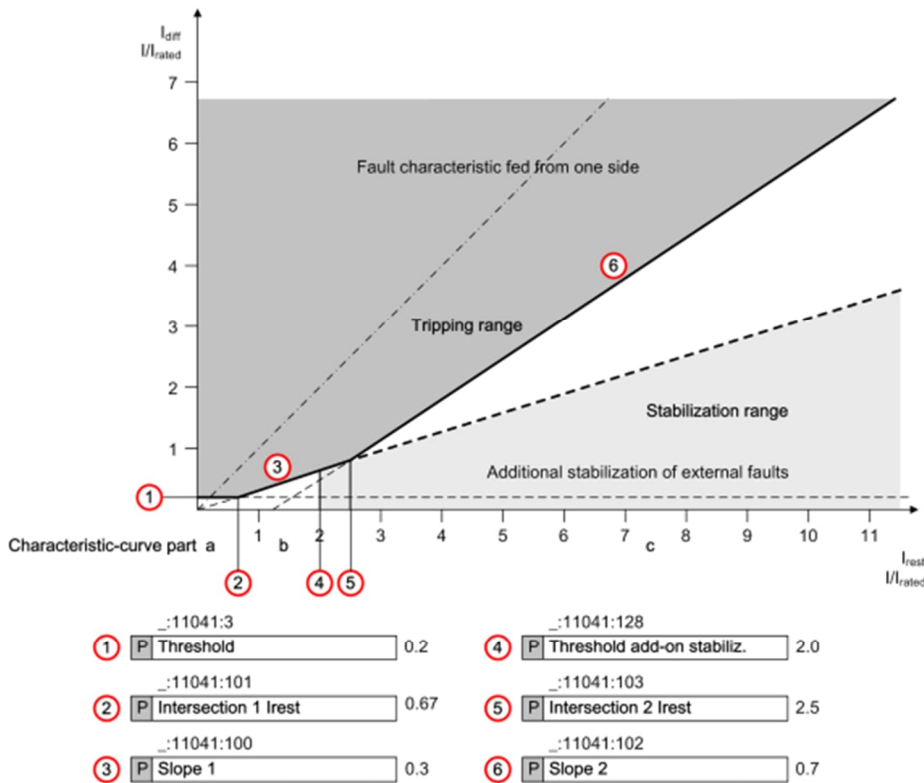
Testipisteet																									
Piste 1	Vakavointivirta, I rest [V/Vrated]		1	V/Vrated																					
	Testipisteiden toleranssi		0.1	KA	Suhteutettu	0.173	V/Vrated																		
	Erovirta, I diff [V/Vrated]		0.4	V/Vrated	Ei laukaiseva	0.227	V/Vrated	Laukaiseva	0.573	V/Vrated															
	Erovirta																								
	Eri laukaiseva																								
	Laukaisuraja																								
	Ei laukaiseva																								
	Laukaiseva																								
	Laukaisuraja																								
	Ei laukaiseva																								
Laukaiseva																									
Sisäntulovirta, I in																									
AC A	L1	0.58	KA	180	*	0.58	KA	180	*	0.58	KA	180	*	0.385	A	180	*	0.385	A	180	*	0.385	A	180	*
	L2	0.58	KA	0	*	0.58	KA	0	*	0.58	KA	0	*	0.385	A	0	*	0.385	A	0	*	0.385	A	0	*
	L3	0.00	KA	0	*	0.00	KA	0	*	0.00	KA	0	*	0.000	A	0	*	0.000	A	0	*	0.000	A	0	*
AC B	L1	0.00	KA	180	*	0.00	KA	180	*	0.00	KA	180	*	0.000	A	180	*	0.000	A	180	*	0.000	A	180	*
	L2	0.00	KA	0	*	0.00	KA	0	*	0.00	KA	0	*	0.000	A	0	*	0.000	A	0	*	0.000	A	0	*
	L3	0.00	KA	0	*	0.00	KA	0	*	0.00	KA	0	*	0.000	A	0	*	0.000	A	0	*	0.000	A	0	*
Ulostulovirta, I out																									
BI	L1	7.62	KA	0	*	9.82	KA	0	*	5.42	KA	0	*	1.905	A	0	*	2.495	A	0	*	1.355	A	0	*
	L2	3.81	KA	180	*	4.91	KA	180	*	2.71	KA	180	*	0.952	A	180	*	1.221	A	180	*	0.677	A	180	*
	L3	3.81	KA	180	*	4.91	KA	180	*	2.71	KA	180	*	0.952	A	180	*	1.221	A	180	*	0.677	A	180	*
Erovirta, I diff																									
L1	L1	0.23	KA			0.13	KA			0.33	KA														
	L2	0.23	KA			0.13	KA			0.33	KA														
	L3	0.00	KA			0.00	KA			0.00	KA														

Siemens 7UT8 - Vakavointilaskenta.xls

Ynd11-kytkentäisten kämien laskenta

- Ennen tämän välilehden tarkastelua täydennä tiedot asettelu-välilehdelle. Osaiedoista poimitaan automaattisesti tälle vakavointilaskenta-välilehdelle.
- Täydennä tätä välilehdellä vain siinä osissa taustaväriä merkityt kenät.
- Vikatyyppiä annetaan jokin sulkuissa annettuna vaihtoehdoista. Huomaa, että tämä on kirjotettava täsmälleen oikeassa muodossa, jota laskenta voi sen tunnistaa. Esim. L1-E
- Testipisteiden toleranssin voit antaa kerralla kaikille testipisteille vikatyypin yläpuolella olevassa sarakeessa. Toleranssin voi määrittää myös testipistekohtaisesti kukin testipisteiden omassa laukaisussa.
- Vakavointikäyrä esittää erovirran ja vakavointivirran suhdetta. Tästä saadaan virrat ampeereina, kun kerrotaan suhteellinen erovirta sekä suhteellinen vakavointivirta muuntajan referenssipuolen kämiin nimellisvirralla.
- Koetuksessa testiohjelman syötettävät testipisteiden virrat, on merkattu keltaisella taustaväriä.
- Kolmiokytentäisten kämien tiedot tulee antaa aina kohtaan tertiärikkämi, vaikka tämä tabelleissa olisikin sekundaariikkämiä. Vastapuolella olevan tertiärikkämiä tiedot tulee antaa aina primääriikkämiä kohtaan.





7UT8

Vakavointi

7UT8-releen käyttämä vakavointivirta on mittauspisteiltä mitatuista virroista suurin. Vakavointivirta on vaihekohtainen, eli rele antaa jokaiselle vaiheelle oman vakavointivirran. Dublex-kentässä virta jakautuu kahteen haaraan ennen virtamittausta, jolloin haarojen virrat käsitellään erillisinä.

Laukaisukäyrä

7UT8-releen laukaisukäyrä antaa sekä vakavoinnin että erovirran suhteessa suojattavan kohteen, eli muuntajan, nimellisvirtaan nähden. Siemens 7UT8 -releen laukaisukäyrä jakautuu kolmeen osaan, jotka on merkitty kuvaan kirjaimin a, b ja c.

Osassa a huomioidaan muuntajan tyhjäkäyntivirta, joka näkyy releelle kokonaan erovirtana. Releelle annetaan erovirran havahtumisarvo Threshold-asettelulla, joka asetellaan suuremmaksi kuin muuntajan normaalitilanteen tyhjäkäyntivirta.

Osa b huomioi virtamuuntajien muuntovirheet sekä jännitteen säädöllä varustettujen muuntajien muuntovirheet normaaleissa käyttöolosuhteissa. Lisäksi b-osassa voidaan huomioida muuntajan käämikytkimen asennon aiheuttama erovirta, jos sitä ei ole huomioitu muuten differentiaalisuojauksessa. Asettelu Intersection 1 I_{rest} määrittää vakavoinnin, mistä laukaisukäyrän b-osa alkaa, ja Slope 1 määrittää b-osan suoran kaltevuuden.

Osa c huomioi suurilla virroilla esiintyvät virtamuuntajien kyllästymisestä aiheutuvat virheet sekä suurivirtaisen, suojausalueen ulkopuolisen vian. Asettelu Intersection 2 I_{rest} määrittää vakavoinnin, mistä laukaisukäyrän c-osa alkaa, ja Slope 2 määrittää c-osan suoran kaltevuuden.

Virtojen sovitus

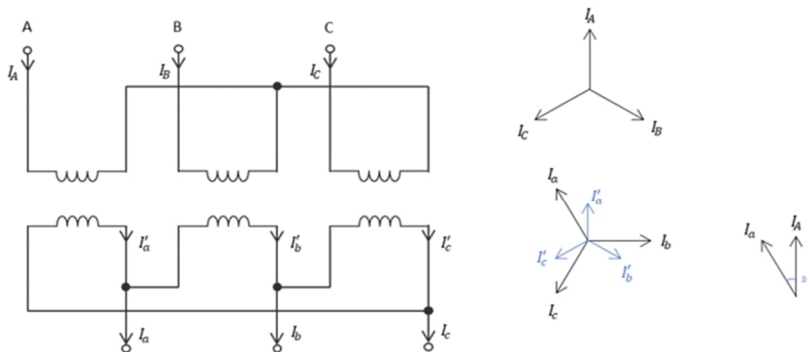
Rele käyttää referenssinä muuntajan 400 kV käämin nimellisvirtaa. Virrat muunnetaan vektoriryhmään 0

KytKentäryhmän ja vaihesiirron sovitus

Muuntajadifferentiaalisuojaus vaatii virtojen sovituksen, jotta muuntajan eri puolilta mitattuja virtoja voi verrata keskenään. Teho- ja virtamuuntajien muuntosuhteet sekä kytKentäryhmän aiheuttamat vaihekulmaerot on sovittava valitun referenssin mukaiseksi.

Fingridin tehomuuntajien kytKentäryhmä on yleensä YNynd11. Ensio- ja toisiokäämi ovat kytketty tähteen ja niiden välillä ei ole vaihe-eroa. Kolmansio- ja toisiokäämi on puolestaan kytketty kolmioon ja sillä on +30 asteen vaihesiirto tähtikytkentäisiin käämeihin nähden.

Oheisessa kuvassa on esitetty Yd11 kytkentäisessä muuntajassa syntyvä vaihekulmaero sekä annettu laskentakaavat kytKentäryhmän sovittamiseen ja vaihesiirron kompensointiin.



$$I_a = I'_a - I'_b = \frac{I_a}{\sqrt{3}} - \frac{I_b}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_a - I_b)$$

$$I_b = I'_b - I'_c = \frac{I_b}{\sqrt{3}} - \frac{I_c}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_b - I_c)$$

$$I_c = I'_c - I'_a = \frac{I_c}{\sqrt{3}} - \frac{I_a}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_c - I_a)$$

$$I'_a = \frac{I_a}{\sqrt{3}}$$

$$I'_b = \frac{I_b}{\sqrt{3}}$$

$$I'_c = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

Nollakomponentti

Muuntajadifferentiaalisuojauksessa on huomioitava mahdollinen nollakomponentti. Jos muuntajan käämin tähtipiste on maadoitettu, voi sen kautta kulkea virtaa suojausalueen läpi suojausalueen ulkopuolisessa maasulkuvuissa. Ulkopuolisessa maasulussa nollajärjestelmän virta kulkee suojausalueelta ulospäin ja samanaikaisesti vastaavan suuruinen virta kulkee tähtipisteestä muuntajaan eli suojausalueelle päin.

Nollakomponentti täytyy poistaa erovirrasta, jos muuntajan tähtipiste on maadoitettu ja tähtipisteen virtaa ei ole tuotu differentiaalireleen mittaukseen. Myös kolmiokytkentä eliminoi nollakomponentin.

Nollakomponentti (I_0) saadaan laskettua alla kaavalla

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c)$$

Virran nollakomponentti vähennetään tähteen kytkettyjen käämien vaihevirroista.

Nollakomponentin suhteen kompensoituille vaihevirroille saadaan yhtälöt:

$$I_a - \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3} I_a - \frac{1}{3} I_b - \frac{1}{3} I_c$$

$$I_b - \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3} I_b - \frac{1}{3} I_a - \frac{1}{3} I_c$$

$$I_c - \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3} I_c - \frac{1}{3} I_a - \frac{1}{3} I_b$$