



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jesse Peltola

MAASULKUVIRRRAN JA KOSKETUSJÄNNIT-
TEEN ESTIMOINTIIN PERUSTUVAN MAA-
SULKUSUOJAUKSEN TOISIOKOESTUS

Tekniikka
2022

ABSTRACT

Author	Jesse Peltola
Title	Secondary Testing of Touch Voltage-based Earth-fault Current Protection
Year	2022
Language	Finnish
Pages	69 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Mikko Västi

So far earth-fault protection in a compensated distribution network has been based on measuring residual current and voltage. The main shortcoming with this is that it does not tell what the fault current at the fault location is and especially what the touch-voltage is. Now ABB Distribution Solutions division has developed a novel earth-fault protection function which can estimate fault current and touch-voltage.

The purpose of this thesis was to study for the ABB Distribution Solutions division how the new touch voltage-based earth-fault current protection (IFPTOC) should be tested with the use of an Omicron test device. The objective of this thesis was to create guidelines for the secondary testing of touch voltage-based earth-fault current protection function.

The theoretical part of the thesis goes through different kind of earthing methods and different kinds of earth-fault situations in the medium voltage network. In addition, residual current and voltages, hazard voltages caused by earth-fault, operations of protection function and testing methods for protection relays are discussed.

The new touch voltage-based earth-fault current protection was studied to see how it works and after that, different tests were developed for settings based on the function operation.

The result of the thesis project was a technical document for testing touch voltage-based earth-fault current protection (IFPTOC) with the secondary injection device Omicron, an Excel tool for calculating inverse tripping times, instructions for using the Excel tool and a troubleshooting guide for typical mistakes occurring while testing.

Keywords Touch voltage, earth-fault, and relay testing

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO.....	10
2	MAASULKU KJ-VERKOSSA.....	11
2.1	Maasulkuvikatyytit.....	11
2.1.1	Jatkuva maasulku.....	11
2.1.2	Katkeileva maasulku.....	12
2.1.3	Kaksoismaasulku.....	14
2.2	Verkon käyttömaadoitustavat.....	15
2.2.1	Maasta erotettu verkko.....	16
2.2.2	Kompensoitu verkko.....	17
2.2.3	Suuren resistanssin kautta maadoitettu verkko.....	20
3	MAASULUN AIKAINEN NOLLAJÄNNITE JA -VIRTA.....	21
4	MAASULUN AIHEUTTAMAT VAARAJÄNNITTEET.....	23
4.1	Maadoitusjännite.....	23
4.2	Kosketus- ja askeljännite.....	23
4.3	Reduktiokerroin.....	24
4.4	Standardien mukaiset vaatimukset maasulun poiskytkennälle.....	25
5	SÄHKÖTURVALLISUUDEN JA MAASULKUSUOJAUKSEN HAASTEET.....	28
6	MAASULKUVIRRAN JA KOSKETUSJÄNNITTEEN ESTIMOINTIIN PERUSTUVA MAASULKUSUOJAUSFUNKTIO (IFPTOC).....	32
6.1	Maasulun tunnistus ja suunnan tarkistus.....	33
6.2	Vikavirran ja kosketusjännitteen estimointi.....	34
6.3	Suojauksen toiminta-aika.....	35
6.3.1	Vakioaikainen toiminta.....	35

6.3.2	Käänteisaikatoiminta EN 50522 mukaan	36
6.3.3	Käänteisaikatoiminta IEEE80 mukaan.....	38
6.4	Viallisen vaiheen tunnistus ja vikaresistanssin estimointi	40
6.5	Kaksoismaasulun tunnistus ja suojaus.....	41
6.6	Katkeilevien maasulkujen suojaus	42
6.7	Vikaa vasten kytkennän suojaus (SOTF – toiminnallisuus).....	44
7	RELEIDEN KOESTUS.....	45
7.1	Keinovikakoestus	45
7.2	Ensiökoestus	46
7.3	Toisiokoestus	46
8	KOESTUSOHJEEN LUOMINEN, VALMISTELEVAT TOIMEENPITEET	47
8.1	Omicron	47
8.2	PCM600.....	50
9	KOESTUSOHJEEN LUOMINEN, IFPTOC FUNKTION KOESTUS.....	51
9.1	Maasulun tunnistus	53
9.1.1	Nollajänniterajan koestus	53
9.1.2	Vian suunnan tarkistuksen koestus	53
9.1.3	EXT_RELEASE tulon koestus	54
9.2	Maasulkuvirtaan sekä kosketusjännitteeseen perustuva suojaus	54
9.2.1	Vikavirran estimoinnin koestus.....	54
9.2.2	Kosketusjännitteen estimoinnin koestus.....	55
9.2.3	Vakioajan koestus	55
9.2.4	Käänteisaikojen koestus.....	55
9.2.5	Harmonisten koestus	56
9.2.6	Palautumisajan koestus	56
9.2.7	Vastakomponentin muutoksen maksimiajan koestus	57
9.2.8	Jaksollisen palautumisen koestus	57
9.3	Kaksoismaasulkusuojaus.....	58
9.3.1	Alijännitteen tunnistamisen koestus	58
9.3.2	Virtarajan koestus	61

9.3.3	Laukaisuajan koestus	61
9.3.4	Kaksoismaasulun tunnistamisen virtarajan koestus	61
9.4	Katkeilevien maasulkuvikojen suojaus	61
9.5	SOTF-suojaus.....	62
9.6	Koestamatta jääneet asettelut	62
10	EXCEL TYÖKALU KÄÄNTEISAIKAKÄYRIEN LASKEMISEEN	64
11	YHTEENVETO JA POHDINTA	66
	LÄHTEET	68
	LIITTEET	70

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Esimerkki jatkuvasta maasulusta vaiheessa L1.....	12
Kuva 2. Esimerkki katkeilevasta maasulusta.	13
Kuva 3. Esimerkki kaksoismaasulusta maasta erotetussa verkossa.....	14
Kuva 4. Simuloitu kaksoismaasulku maasta erotetussa verkossa.....	15
Kuva 5. Henkilön altistuminen vaarajännitteille maasulussa sekä tästä aiheutuva sydämen läpi kulkeva virta.....	24
Kuva 6. Esimerkki maasulkuvirran jakautumisesta.....	25
Kuva 7. Vasen: AC-4-1 sydänkammiovärinän todennäköisyys 5 %. Oikea: EN50522, SFS6001 mukainen kosketusjännitteen raja.	26
Kuva 8. Sydämen sähköinen toiminta normaalisti ja kammiovärinässä.	27
Kuva 9. Esimerkki alitaajuisesta jälkivärähtelystä.	31
Kuva 10. Moduulikaavio IFPTOC toiminnasta.....	32
Kuva 11. EN50522 käyrät, vasemmalla maasulkuvirtaan ja oikealla kosketusjännitteeseen perustuva käyrä.	36
Kuva 12. IEEE80 käyrät, vasemmalla maasulkuvirtaan ja oikealla kosketusjännitteeseen perustuva käyrä.	39
Kuva 13. Katkeilevan maasulkusuojauksen toiminta.	43
Kuva 14. Vikaa vasten kytkennän toiminta.	44
Kuva 15. Omicronin ja releen välinen kytkentä.....	48
Kuva 16. Omicronin test module pikavalikko.	49
Kuva 17. Vuokaavio suositellusta koestusjärjestyksestä.....	51
Kuva 18. Pää- ja vaihejännitteet vikavastuksettomassa maasulussa vaiheessa L3.	59
Kuva 19. Vektorikuva alijännitteen tunnistuksen koestuksesta.....	60
Kuva 20. REX640 jännitetulojen kestoisuus.....	60
Kuva 21. Esimerkkikuva Excel työkalusta.	65

Taulukko 1. IFPTOC hyödyt perinteiseen suojaukseen verrattuna.	29
Taulukko 2. Sallittu maan potentiaalın nousu muunnettuna sallituksi vikavirraksi vian keston funktiona.....	37
Taulukko 3. Koestuksessa käytetyt Omicronin signaalit.	48
Taulukko 4. Koestuksessa käytetyn REX640 releen kokoonpano.	49
Taulukko 5. Esimerkkejä virtasyöttöjen aiheuttamasta estimoidusta vikavirrasta ja lasketusta nollavirrasta.	53

LIITELUETTELO

LIITE 1. Koestukseen luotu relekonfiguraatio

LIITE 2. Testing Touch Voltage Based Earth-fault Current Protection Function
IFPTOC with Omicron (IFPTOC-funktion toisiokoestusohje)

1 JOHDANTO

Verkkoyhtiöiden pyrkiessä rakentamaan verkot säävarmemmiksi ja kaapeloidessa avojohtoverkot laajassa mittakaavassa maakaapeliverkoiksi, maasulkuvirrat kasvavat oleellisesti kaapelien suurempien maakapasitanssien vuoksi. Tämä tuo esille ison ongelman, nimittäin perinteinen maasulkusuojaus ei pysty nopeuttamaan toimintaansa vikavirran ja vaarajännitteen kasvaessa. Tästä syystä ABB on kehittänyt innovatiivisen tavan, joka mahdollistaa kompensoidun verkon maasulkusuojuksen laukaisuajan mukautumisen eri vikavirroille ja vaarajännitteille. Uusi suoja-funktio IFPTOC- pystyy mittauksien perusteella estimoimaan vikapaikan virran suuruuden, sekä estimoimaan tämän perusteella kosketusjännitteen ja mukautta-maan toimintanopeutensa vastaavasti.

Kosketusjännitteen ja vikavirran estimointiin perustuva IFPTOC- on markkinoille tuleva uusi suoja-funktio, joka on täysin uudella tavalla tehty sekä sisältää hyvin paljon asetuksia. Tämä funktio on ensimmäisenä saatavilla vain REX640-releelle, jatkossa myös muille releille. Funktion uuden mittaustavan ja uusien toiminnalli-suuksien vuoksi ABB oli päättänyt teettää koestusohjeen auttamaan funktion käyt-töönottoa.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli luoda koestusohje maasulkuvirran ja kosketus-jännitteen estimointiin perustuvalla maasulkusuojukselle IFPTOC-. Koestusohje tulee kansainväliseen käyttöön niin ABB:lla, eri koestusorganisaatioissa ja loppuasiak-kailla.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan aluksi maasulkujen vikatyyppeihin ja verkon maadoitustapoihin. Seuraavaksi käydään läpi maasulun aikaiset nollajännite- ja virta, maasulun aiheuttamia vaarajännitteitä ja sähköturvallisuuden sekä maasul-kusuojuksen haasteita. Sitten käydään vielä läpi funktion toimintatavat ja relei-den koestustavat, viimeiseksi käsitellään koestusohjeen luonti ja siihen liittyvät asiat. Näin saadaan hyvä kokonaiskuva opinnäytetyöprosessista.

2 MAASULKU KJ-VERKOSSA

Tämän luvun alikappaleissa kerrotaan lyhyesti maasulkuilmiöstä keskijänniteverkoissa, eri vikatyypeistä ja verkon maadoitustavoista.

Maasululla tarkoitetaan tilannetta, jossa verkon jännitteinen osa muodostaa kontaktin maahan tai maahan yhteydessä olevaan osaan tai vierasesineeseen, kuten vaikka avojohtoon koskettava puu.

2.1 Maasulkuvikatyytit

Maasulkuviat voidaan jaotella monin eri tavoin. Tämän työn kannalta on merkityksellistä jakaa maasulut jatkuviin (pysyviin), katkeileviin ja kaksoismaasulkuihin.

2.1.1 Jatkuva maasulku

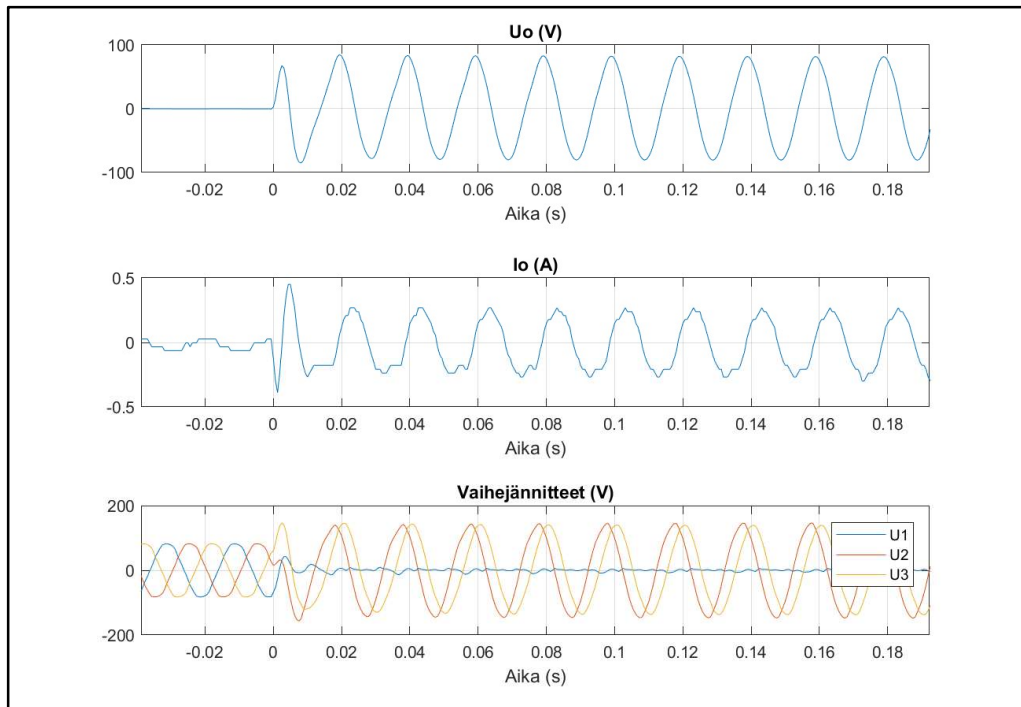
Jatkuvalla maasululla tarkoitetaan sellaista maasulku missä vikasuureet (virrat ja jännitteet) ovat sinimuotoisia jatkuvia signaaleja, ja jotka eivät alkutransientin jälkeen juuri muutu vian kestäessä (**Kuva 1.**). Jatkuvassa vikavastuksettomassa maasulussa vikaantuneen vaiheen jännite tippuu nolnaan, kun taas ”terveiden” vaiheiden jännitteet nousevat suunnilleen pääjännitteen suuruiseksi¹.

Jatkuvuus ei tässä kuitenkaan tarkoita, etteikö maasulku voisi hävitä tai sammua itsestään. Jos esimerkiksi avojohtoverkossa puun oksa aiheuttaa maasulun, niin vika poistuu viimeistään silloin, kun oksa palaa poikki. Tilanne on erilainen kaapeliverkossa, missä vian syntyessä kaapelin eriste rikkoontuu ja vika muuttuu pysyväksi, kunnes kaapeli on korjattu.² Kuvassa 1 havainnollistetaan jatkuva maasulun

¹ Koski, J. Sähköverkot. Maasta erotetun verkon maasulku -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.8.2022.

² Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. Compensated neutral networks and multi-frequency admittance protection.

aikaiset nollajännite (U_0 -), mitattu nollavirta (I_0 -) sekä vaihejännitteet (U_1 , U_2 , U_3). Vika syntyy ajanhetkellä 0 sekuntia ja arvot ovat toisiossa.



Kuva 1. Esimerkki jatkuvasta maasulusta vaiheessa L1.

2.1.2 Katkeileva maasulku

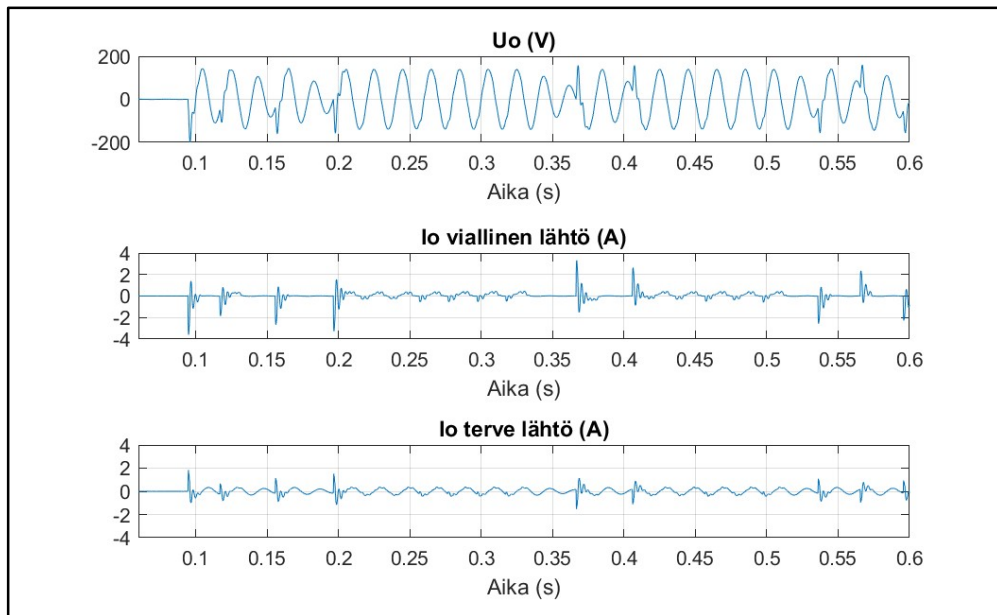
Katkeileva maasulku on yleensä vioittuneen kaapelin eristeen tai liitoksen aiheuttama³. Katkeileva maasulku eroaa jatkuvasta maasulusta siten, että katkeilevan maasulun signaali on epäjatkua ja osittain sattumanvarainen.

Katkeilevan maasulun aikana, kun jännite ylittää viallisen kaapelin eristeen jännitelujuuden tapahtuu läpilyönti, missä hyvin lyhytaikainen, tyypillisesti 100–1000 A

³ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. Compensated neutral networks and multi-frequency admittance protection.

virtapiikki menee vaiheesta kaapelin maadoitusvaippaan, minkä jälkeen vika sammuu hetkellisesti. Tämä näkyy suurena lyhytkestoisena virtapiikkinä releen mittaamassa nollavirrassa. Samanaikaisesti nollajännite nousee täyteen arvoonsa, viikavastuksen ollessa pieniohminen. Tyypillisesti katkeilevassa viassa läpilyöntejä tapahtuu noin 100 – 500 ms välein nopeimmillaan jopa 10 ms välein.⁴

Virtapiikki muodostuu verkon maakapasitanssien varaus- ja purkaustransienteista, ja on kestoltaan alle 1 ms minkä vuoksi tavanomaisen maasulkusuojaan voi olla vaikea tunnistaa vika.⁵ Kuvassa 2 havainnollistetaan katkeileva maasulun aikaiset nollajännite, viallisen lähdön sekä terveen lähdön nollavirta toisioarvoina.



Kuva 2. Esimerkki katkeilevasta maasulusta.

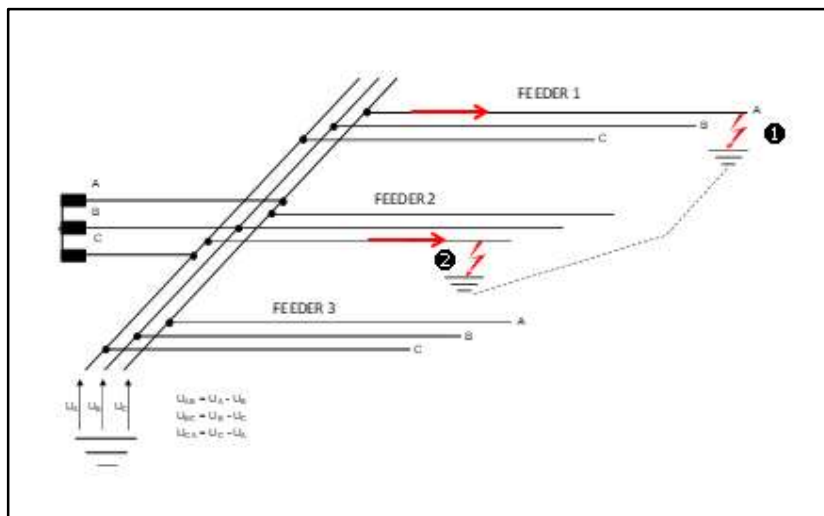
⁴ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. Compensated neutral networks and multi-frequency admittance protection.

⁵ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. Compensated neutral networks and multi-frequency admittance protection.

2.1.3 Kaksoismaasulku

Maasulun aikana viallisen vaiheen ja maan välinen jännite pienenee samalla kun terveiden vaiheiden ja maan väliset jännitteet nousevat pahimmillaan $\sqrt{3}$ kertaiseksi, kuten kuvassa 1 jo nähtiin.

Tämä terveiden vaiheiden ja maan välisen jännitteen nousu rasittaa verkon komponenttien eristeitä. Jos verkossa on jossain heikko kohta tai komponentti, niin ylimääräinen jänniterasitus voi rikkoa komponentin aiheuttaen uuden maasulun. Silloin verkossa on kaksoismaasulku kahden eri vaiheen ja maan välillä. Vikapaikat voivat olla etäällä toisistaan. Vikavirta on oleellisesti suurempi kuin yksittäisessä maasulussa.⁶ Kuvassa 3 on esitetty kaksoismaasulku maasta erotetussa verkossa.

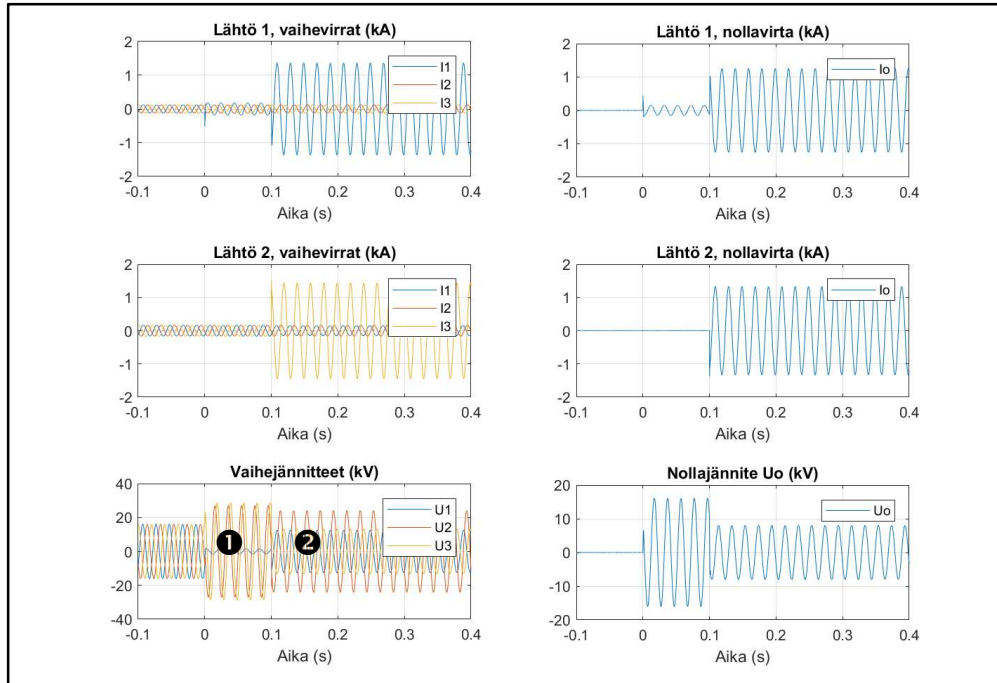


Kuva 3. Esimerkki kaksoismaasulusta maasta erotetussa verkossa.⁷

⁶ Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna. Otatieto.

⁷ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

Kuvassa 4 on simuloitu kuvan 3 esittämä kaksoismaasulku. Maasulku syntyy ajanhetkellä 0 s vaiheella L1, lähdöllä 1. Vika muuttuu kaksoismaasuluksi ajanhetkellä 0,1 s, kun lähdöllä 2 vaiheeseen L3 tulee vika. Arvot on esitetty ensiössä.



Kuva 4. Simuloitu kaksoismaasulku maasta erotetussa verkossa.

2.2 Verkon käyttömaadoitustavat

Käyttömaadoituksella tarkoitetaan virtapiirin kuuluvan osan, tässä tapauksessa tähtipisteen, maadoittamista. Kosketusjännitteeseen perustuvan IFPTOC funktio on suunniteltu käytettäväksi vain maasta erotetussa, kompensoidussa ja suuren resistanssin kautta maadoitetussa verkossa. Muita verkon käyttömaadoitustapoja ovat suoraan/tehollisesti maadoitettu verkko ja reaktanssin kautta maadoitettu

verkko (jota käytetään hyvin harvoin)⁸. Seuraavaksi esitellään tarkemmin vain tämän työn kannalta merkitykselliset verkon käyttömaadoitustavat.

2.2.1 Maasta erotettu verkko

Maasta erotettu verkko tarkoittaa sitä, että muuntajien tähtipisteitä ei ole maadoitettu. Verkon terveessä tilassa vaihejännitteet ja maan väliset maakapasitanssit ovat symmetrisiä tai lähes symmetrisiä, jolloin terveen verkon nollajännite ja nollavirta ovat lähes nolla. Maasulun syntyessä viallisen vaiheen jännite pienenee ja terveiden vaiheiden jännitteet kasvavat maahan nähden, jonka seurauksena verkko on epäsymmetrinen ja varausvirtojen summa poikkeaa nollasta, mikä aiheuttaa maasulkuvirran vikapaikassa.⁹ Maasulkuvirta on suurempi laajoissa verkoissa, koska silloin verkossa on enemmän maakapasitanssia¹⁰.

Suorassa maasulussa maasulkuvirran itseisarvo [A] voidaan laskea lausekkeesta:¹¹

$$I_e = \sqrt{3} * \omega * C_0 * U \quad (1)$$

- C_0 = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi [F]
- U = verkon pääjännite [V]
- $\omega = 2 * \pi * f$ [Hz]

⁸ Lehesvuo, V. ABB Oy. Sisäinen koulutus materiaali. Earth-fault protection. 2021.

⁹ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

¹⁰ Koski, J. Sähköverkot. Maasta erotetun verkon maasulku -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.8.2022.

¹¹ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

Vikaresistanssi pienentää maasulkuvirtaa:¹²

$$I_{ef} = \frac{I_e}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} * I_e * R_f}{U}\right)^2}} \quad (2)$$

- R_f = vikapaikan resistanssi [ohm]

Maasulusta johtuva jännite-epäsymmetria aiheuttaa myös verkon tähtipisteen potentiaalinen nousun maahan nähden mistä syntyy nollajännite. Tämä jännite on sama kuin maasulkuvirran aikaansaama jännitealenema kulkiessaan maakapasitanssien kautta.¹³

Nollajännite [V] voidaan laskea lausekkeesta:¹⁴

$$U_0 = \frac{1}{3 * \omega * C_0} * I_{ef} \quad (3)$$

- I_{ef} = verkon maasulkuvirta kyseenomaisella vikavastuksella

2.2.2 Kompensoitu verkko

Kompensoidussa eli sammutetussa verkossa kapasitiivista maasulkuvirtaa kompensoidaan verkon tähtipisteeseen kytketyllä kuristimella¹⁵. Kompensoinnin ideana on lisätä induktiivista virtaa verkkoon, sillä maasulkuvirta on pääasiassa kapasitiivista¹⁶. Tällä menetelmällä saadaan vikapaikan virta pienemmäksi kuin maasta erotetussa verkossa. Kompensointi myös edesauttaa maasulkuvikojen it-

¹² ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

¹³ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

¹⁴ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

¹⁵ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

¹⁶ Västi, M. Relesuojaus. Kompensoidun verkon maasulkusuojaus -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.8.2022.

sesammumista. Usein keskijänniteverkoissa ei ole käytettävissä muuntajan tähtipistettä, jolloin keinotekoinen tähtipiste muodostetaan Z-kytkentäisellä maadoitusmuuntajalla.¹⁷

Kompensointi voidaan toteuttaa kahdella tavalla:

- Keskitetyssä kompensoinnissa kompensointikuristin kytketään syöttävän päämuuntajan tai maadoitusmuuntajan tähtipisteeseen.
- Hajautetussa kompensoinnissa riittävä määrä kuristimia sijoitetaan johtojen varsille verkkoon, ja ne mitoitetaan kyseisen johdon tuottaman kapasitiivisen maasulkuvirran mukaan.¹⁸ Käytännössä hajautettu kompensointi toteutetaan usein niin, että sähköasemalla on keskitetty kompensointi ja lisäksi pitkillä kaapelijohtolähdöillä voi olla hajautettua kompensointia¹⁹.

Kompensointikuristimen, eli Petersen kelan induktanssi on säädettävissä ja nykyään tämä tehdään automaattisäädöllä. Kompensoinnin suuruutta kuvataan kompensointiasteella K . Verkko on alikompensoitu, jos K on pienempi kuin 1 eli kuristimen tuottama virta on pienempi kuin verkon maakapasitanssien tuottama virta. Verkko on ylikompensoitu, kun K on yli 1. Verkko on täysin kompensoitu, kun K on täsmälleen 1, mutta tavallisesti verkkoa ei koskaan käytetä täysin kompensoituna vaan aina hieman vinoviritettynä.²⁰

¹⁷ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

¹⁸ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

¹⁹ Lehesvuo, V. Kommentti opinnäytetyöstä. Viitattu 13.8.2022.

²⁰ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

Kompensointiaste voidaan laskea lausekkeesta:²¹

$$K = \frac{I_L}{I_C} \quad (4)$$

- I_L = kuristimen virta suorassa maasulussa [A]
- I_C = verkon kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa [A].

Vikapaikan virran itseisarvo [A] saadaan lausekkeella:²²

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{1 + R_0^2 * \left(3 * \omega * C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 + R_0^2 \left(3 * \omega * C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} * \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

- ωL = kompensointikuristimen reaktanssi [ohm]
- R_0 = kompensointikuristimen ja verkon häviötä vastaavan resistanssin ja kuristimen toisioresistanssin tähtipisteeseen redusoitu kokonaisresistanssi [ohm]
- R_f = vikaresistanssi [ohm]

Vikapaikan nollajännite [V] saadaan lausekkeesta:²³

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_0}\right)^2 + \left(3 * \omega * C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} * I_{ef} \quad (6)$$

²¹ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

²² ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

²³ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

2.2.3 Suuren resistanssin kautta maadoitettu verkko

Tähtipisteeseen kytketyn resistanssin avulla maasulkuvirrat kasvavat, mutta kytkentä- ja katkaisutilanteissa sekä katkeilevissa maasuluissa syntyvät ylijännitteet pienenevät. Vikapaikan vikavirta muodostuu maadoitusresistanssin ja verkon maakapasitanssien kautta kulkevien virtojen summasta.²⁴

Vikapaikan virta [A] lasketaan lausekkeesta:²⁵

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{1 + (R_e * 3 * \omega * C_0)^2}}{\sqrt{(R_f + R_e)^2 + (R_f * R_e * 3 * \omega * C_0)^2}} * \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

- R_f = vikaresistanssi [ohm]
- R_e = maadoitusresistanssi [ohm]
- C_0 = yhden vaiheen maakapasitanssi [F]

Nollajännite on maasulkuvirran, maadoitusresistanssin ja verkon kapasitanssien rinnankytkennän muodostaman impedanssin tulo.

Nollajännite [V] saadaan lausekkeesta:²⁶

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_e}\right)^2 + (3 * \omega * C_0)^2}} * I_{ef} \quad (8)$$

²⁴ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

²⁵ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

²⁶ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

3 MAASULUN AIKAINEN NOLLAJÄNNITE JA -VIRTA

Perinteisesti maasulkusuojaus on perustunut johtolähdön alussa tapahtuvalle nollavirran (I_0 -) ja nollajännitteen (U_0 -) mittaukselle. Kun verkossa on maasulku, niin terveen lähdön nollavirta on sama kuin lähdön tuottama kapasitiivinen virta ja viallisella lähdöllä nollavirta on sama kuin vikapaikan virta vähennettynä lähdön itsensä tuottamalla kapasitiivisella virralla.²⁷ Huomioitavaa on, että releen mittaama nollavirta on siis eri asia kuin vikapaikassa esiintyvä maasulkuvirta²⁸.

Nollavirta mitataan yleensä kaapelivirtamuuntajalla tai harvemmin vaihevirtojen summakytkennällä (ns. Holmgren kytkentä). ABB käyttää merkintätapaa I_0 nollavirralla ja I_0 nollakomponentille. Nollavirran ja virran nollakomponentin määritelmien mukaan:

$$\text{Nollavirta } I_0 = (I_A + I_B + I_C) \quad (9)$$

$$\text{Virran nollakomponentti } I_0 = \frac{(I_A + I_B + I_C)}{3} \quad (10)$$

Nollavirta (I_0) on siis kolme kertaa suurempi kuin vaihevirtojen nollakomponentti (I_0)²⁹.

²⁷ Lehtonen, M. & Hakola, T. 1996. Neutral earthing and power system protection. S31. Vaasa. ABB Transmit Oy.

²⁸ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

²⁹ Västi, M. Relesuojaus. Maasta erotetun verkon maasulkusuojaus -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.8.2022.

Nollajännite mitataan jännitemuuntajien avokolmiosta tai vaihejännitteiden summana jaettuna kolmella³⁰. Nollajännite (U_0 -) ja jännitteiden nollakomponentti (U_0) ovat samat. ABB käyttää merkintätapaa U_0 - nollajännitteelle.

Näiden lisäksi IFPTOC-suojalohko mittaa myös vaihevirratt, josta estimoidaan vika paikan virta ja kosketusjännite, sekä vaihejännitteet tai pääjännitteet, jota käytetään kaksoismaasulun tunnistuksessa.

³⁰ Västi, M. Relesuojaus. Maasta erotetun verkon maasulkusuojaus -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.8.2022.

4 MAASULUN AIHEUTTAMAT VAARAJÄNNITTEET

Maasulun aiheuttamilla vaarajännitteillä tarkoitetaan jännitteitä, jotka voivat tuottaa laitevaurioita tai vaaraa ihmisille tai eläimille. Verkkovikojen aikana vaarajännitteitä esiintyy sähköasemilla, pylväiden lähietäisyydellä sekä sähköverkkojen lähellä kulkevilla telekaapeleilla.³¹

Tässä kappaleessa käydään läpi maadoitus-, kosketus- ja askeljännitteet sekä reduktiokertoimen vaikutus sähköverkossa.

4.1 Maadoitusjännite

Maadoitusjännite U_E saadaan kaavasta:³²

$$U_E = R_E * I_F \quad (11)$$

Maadoitusvastus R_E riippuu maan johtavuudesta, maadoituksen rakenteesta sekä siitä kuinka maadoitus on yhteydessä yksittäisiin maadoituksiin ja maadoitusjärjestelmiin. Maasulkuvirran I_F suuruuteen vaikuttaa verkon maadoitustapa, verkon laajuus, vikaresistanssi ja verkon käyttöjännite.³³

4.2 Kosketus- ja askeljännite

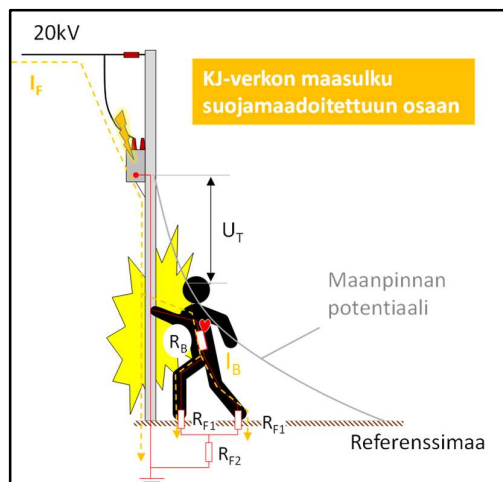
Maasulun aikana suurin henkilöturvallisuusvaara syntyy, kun sydämen läpi kulkee virta I_B , joka aiheutuu henkilön joutuessa alttiiksi kosketus- tai askeljännitteelle.

³¹ Viljamaa, E. 2022. 110 kV:n sähköverkon vaara- ja häiriöjännitteiden laskenta. Vaasan yliopisto. Diplomityö. Sähkötekniikka.

³² Lehtonen, M. & Hakola, T. 1996. Neutral earthing and power system protection. s52. Vaasa. ABB Transmit Oy.

³³ Lehtonen, M. & Hakola, T. 1996. Neutral earthing and power system protection. s52. Vaasa. ABB Transmit Oy.

Kuva 5. visualisoi maasulkupiiriin joutunutta henkilöä, jonka sydämen kautta kulkee virtaa askel- tai kosketusjännitteen vuoksi. Kuvassa 5 R_B on kehon resistanssi, R_{F1} on jalkineiden resistanssi ja R_{F2} on seisomapaikan maadoitusresistanssi.³⁴



Kuva 5. Henkilön altistuminen vaarajännitteille maasulussa sekä tästä aiheutuva sydämen läpi kulkeva virta.³⁵

Tällä tavoin sähköiskun saavan kehon kautta kulkevan virran suuruus riippuu kosketusjännitteen suuruudesta ja kehon sekä virtatien impedanssista.³⁶

Kosketusjännitteen vaikutusta voidaan rajoittaa parantamalla maadoitusta, pienentämällä maasulkuvirtaa ja lyhentämällä vian kestoa.³⁷

4.3 Reduktiokerroin

Maasulun aikana vikapaikan virta voi jakautua useampaan haaraan mitä kuvataan reduktiokertoimella (**Kuva 6.**). Maasulussa osa maasulkuvirrasta I_F siirtyy maakaapelin kosketussuojan ja keskusköyden kautta maadoitusjärjestelmään (I_{SCR}) ja osa

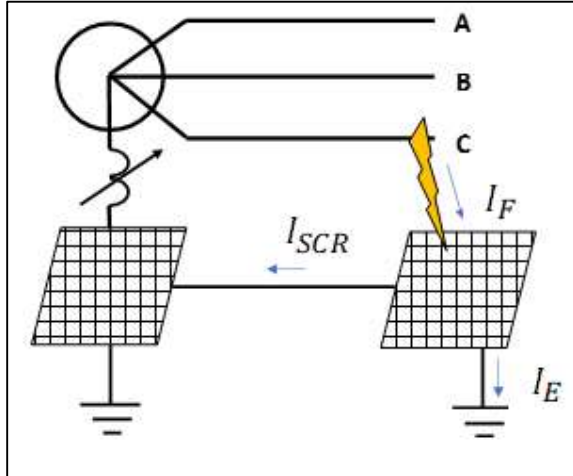
³⁴ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

³⁵ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

³⁶ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

³⁷ Mikander, P. 2020. Kompensoidun 20 kV maakaapeliverkon käyttö maasulun aikana. Lappeenrantaan-lahden teknillinen yliopisto. Diplomityö. Sähkötekniikka.

siirtyy vikapaikasta maahan muodostaen maavirran I_E , joka aiheuttaa vaarajännitteet³⁸. Reduktiokerroin on $\frac{I_E}{I_F}$.



Kuva 6. Esimerkki maasulkuvirran jakautumisesta.³⁹

Reduktiokerroin voi olla välillä 0.01–1 ja mitä korkeampi arvo reduktiokertoimella on, sitä suurempi maavirta muodostuu maasulun aikana. SFS6001-standardin mukaan ilmakaapelin reduktiokerroin on 0.61–0.98 ja maakaapelilla 0.20–0.60 välillä.⁴⁰

4.4 Standardien mukaiset vaatimukset maasulun poiskytkennälle

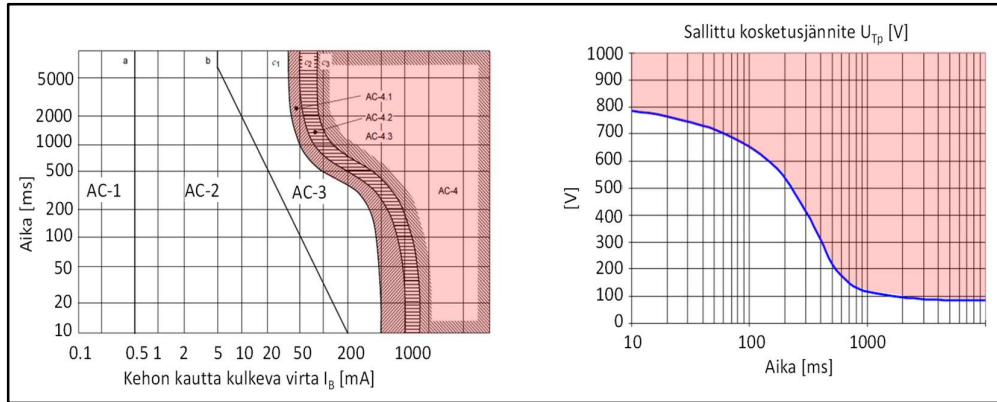
Standardissa SFS6001 sydänkammiovärinän riskille sovelletut virtarajat on johdettu IEC/TC 60479-1 julkaisun käyrästä, jossa riski sydänkammiovärinälle on alle 5 %. Kuvassa 7 oikealla puolella esitetään kehon läpi kulkevan virran kestoajat ja

³⁸ Mikander, P. 2020. Kompensoidun 20 kV maakaapeliverkon käyttö maasulun aikana. Lappeenranta-lahden teknillinen yliopisto. Diplomityö. Sähkötekniikka.

³⁹ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁴⁰ Mikander, P. 2020. Kompensoidun 20 kV maakaapeliverkon käyttö maasulun aikana. Lappeenranta-lahden teknillinen yliopisto. Diplomityö. Sähkötekniikka.

suurimmat sallitut arvot kosketusjännitteen U_T raja-arvoina U_{Tp} EN50522, SFS6001 mukaisesti. Vasemmalla puolella käyrä AC-4-1 kuvaa 5 % todennäköisyyttä sydänkammiovärinälle.⁴¹



Kuva 7. Vasen: AC-4-1 sydänkammiovärinän todennäköisyys 5 %. Oikea: EN50522, SFS6001 mukainen kosketusjännitteen raja.⁴²

Sydänliiton mukaan:

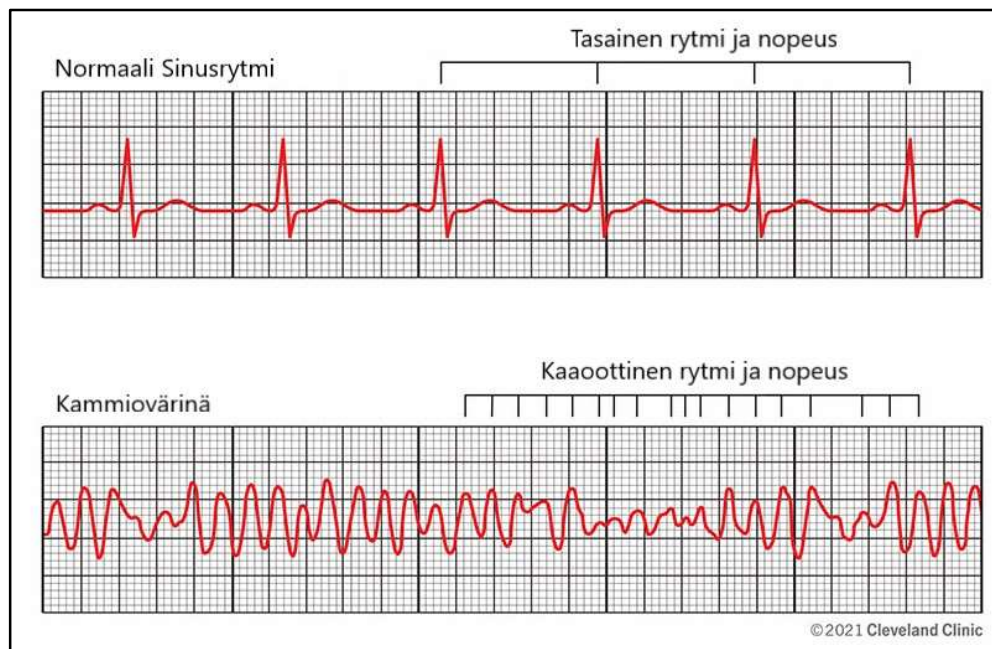
”Kammiovärinässä sydämen kammiot ovat nimensä mukaisesti värinätilassa. Veri ei virtaa lainkaan eteenpäin, koska sydän ei supistu. Jatkuessaan kammiovärinä johtaa 10-15 minuutin kuluessa sydämen täydelliseen pysähtymiseen eli äkkikuolemaan.”⁴³

Kuvassa 8 esitetään kuva sydämen sähköisestä toiminnasta normaali tilanteessa ja kammiovärinässä.

⁴¹ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

⁴² Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

⁴³ Hekkala, A. 2020. Kammiovärinä. Viitattu 20.7.2022.



Kuva 8. Sydämen sähköinen toiminta normaalisti ja kammiovärinässä. ⁴⁴

EN50522, SFS6001 mukaan 700 V kosketusjännitteellä vian tulee poistua noin 60 millisekunnissa, kun taas virran kestoajan ylittäessä 10 sekuntia, voi kosketusjännitteen maksimiarvona käyttää 80 V.⁴⁵

Sähköturvallisuusmääräysten mukaan 50 V edustaa pienoisjännitteen suurinta sallittua arvoa, mikä voidaan tulkita suurimmaksi sallituksi jatkuvaksi kosketusjännitteeksi.⁴⁶

⁴⁴ Cleveland clinic. 2021. Ventricular fibrillation. Viitattu 25.7.2022.

⁴⁵ SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset. 4. Helsinki. Suomen standardoimisliitto. 2015. 156 s. Viitattu 14.8.2022.

⁴⁶ Tukes. 2015. Kodin sähköturvallisuus. Viitattu 15.8.2022.

5 SÄHKÖTURVALLISUUDEN JA MAASULKUSUOJAUKSEN HAASTEET

Perinteisessä kompensoidun verkon maasulkusuojauksessa ongelmana on, että suojaus perustuu nollavirtaan eikä vikapaikassa esiintyvään todelliseen maasulkuvirtaan, jolloin standardin vaatimuksen täyttämiseksi joudutaan käyttämään lyhyttä laukaisuaikaa. Suojauksen suunnittelija joutuu selvittämään suurimman mahdollisen kosketusjännitteen ja sen perusteella määrittämään releen laukaisuajan, jolloin pienemmissä kosketusjännitteissä laukaisuaika on tarpeettoman lyhyt.⁴⁷

ABB kehittämä uusi IFPTOC-suoja estimoii vaihevirtojen vastakomponentin muutoksesta vikapaikan maasulkuvirran ja kosketusjännitteen, jolloin laukaisuaika saadaan optimoitua EN50522-käyrän mukaisesti.⁴⁸ Taulukossa 1 esitellään maasulkuvirran ja kosketusjännitteen estimointiin perustuvan maasulkusuojan IFPTOC:in hyötyjä perinteiseen maasulkusuojaan verrattuna.

⁴⁷ Lehesvuo, V. Kommentti opinnäytetyöstä. Viitattu 13.8.2022.

⁴⁸ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

Taulukko 1. IFPTOC hyödyt perinteiseen suojaukseen verrattuna.⁴⁹

Ominaisuus	Perinteinen suojaus	IFPTOC
Vikalähdön laukaisuosuutena vikavirta	Ei	Kyllä
Vikasuure on nolla terveillä lähdöillä	Ei	Kyllä
Laukaisu mahdollista ilman Petersenin kelan asen- totietoa	Haastavaa	Kyllä
Laukaisu mahdollista ilman rinnakkaisvastusta	Haastavaa	Kyllä
Harmonisten vaikutus huomioitu	Ei	Kyllä
Täsmällinen ja luotettava toiminta epätavallisissa ti- lanteissa	Ei	Kyllä
Mahdollistaa optimaalisen ajan valokaaren itses- tään sammumiseen	Ei	Kyllä
Immuuni jälkivärähtelyille	Ei	Kyllä
Kaapelivirtamuuntajan kulmavirheen vaikutus kom- pensoidussa verkossa	Terveiden lähtöjen virhetoiminta mah- dollista	Ei virhetoimin- nan vaaraa
Toiminta-aikakarakteristiikka	Vakioaika	Käänteisaika, Vakioaika
Mittaukset	I_o, U_o	I_A, I_B, I_C, U_o, I_o, U_A, U_B, U_C

Yhtenä haasteena standardin vaatimuksen täyttämiseksi on maasulun harmoniset komponentit, eli yli 50 Hz taajuiset yliaallot. Yliaallot kasvattavat maasulkuvirran tehollisarvoa, ja niiden vaikutusta vikavirran suuruuteen on erittäin vaikea laskea

⁴⁹ CIREN 2019. Improving personal safety in MV-networks through novel earth-fault current based feeder protection. Viitattu 25.7.2022.

ennalta, sillä niiden amplitudi riippuu monista tekijöistä, kuten esimerkiksi vika-
paikasta, kuormituksen luonteesta sekä ajallisesta vaihtelusta. IFPTOC-suojassa
myös harmoniset komponentit voidaan huomioida.⁵⁰

Eräs haaste maasulkusuojauksen herkkyydelle tulee vikavastuksellisen maasulun
aikaisesta nollajännitteestä, sillä mitä suurempi maasulkuvirta niin sitä enemmän
nollajännite laskee maksimiarvostaan. Alhainen nollajännite vaikeuttaa maasulun
havaitsemista ja sen vuoksi alentaa maasulkusuojauksen herkkyyttä.⁵¹

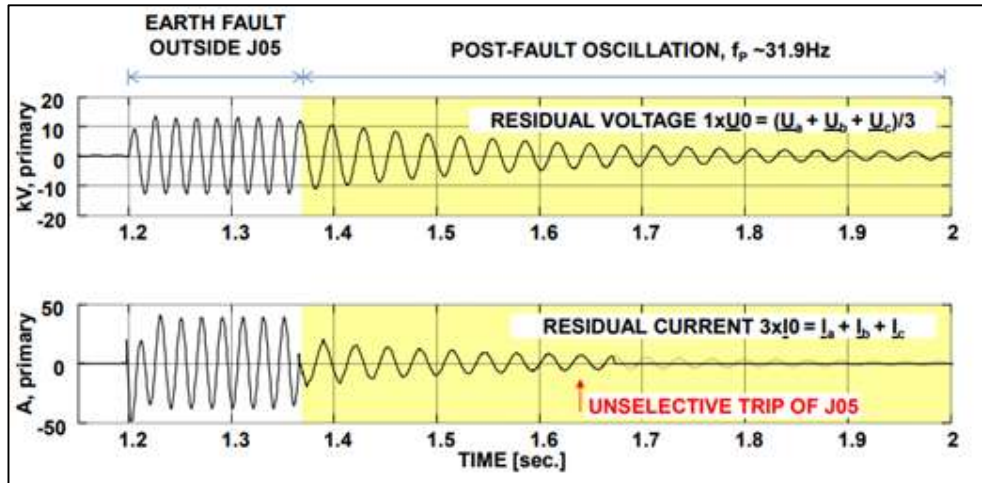
Maasulun poistuessa Uo- ja Io-mittauksissa voi esiintyä myös ns. jälkivärähtely
missä värähtelyn taajuus voi olla alle verkon nimellistaajuuden. Perinteisellä suo-
jauksella tämä saattaa aiheuttaa terveiden lähtöjen virheellisiä laukaisuja taajuus-
poikkeaman aiheuttaman releen vaihekulmamittauksen virheen vuoksi.⁵² Kuvassa
9 on esimerkki jälkivärähtelystä. Koska IFPTOC- estimoit vikavirran vaihevirroista
niin IFPTOC- on immuuni nollajännitteen ja nollavirran jälkivärähtelylle⁵³.

⁵⁰ CIRED 2019. Improving personal safety in MV-networks through novel earth-fault current based feeder protection.

⁵¹ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

⁵² CIRED 2015. Post-fault oscillation phenomenon in compensated MV-networks challenges earth-fault protection.

⁵³ CIRED 2019. Improving personal safety in MV-networks through novel earth-fault current based feeder protection.



Kuva 9. Esimerkki alitaajuisesta jälkivärähtelystä.⁵⁴

Verkkojen kaapelointiasteen kasvaessa perinteiset maasulkusuoijat kohtaavat mm. seuraavia haasteita:

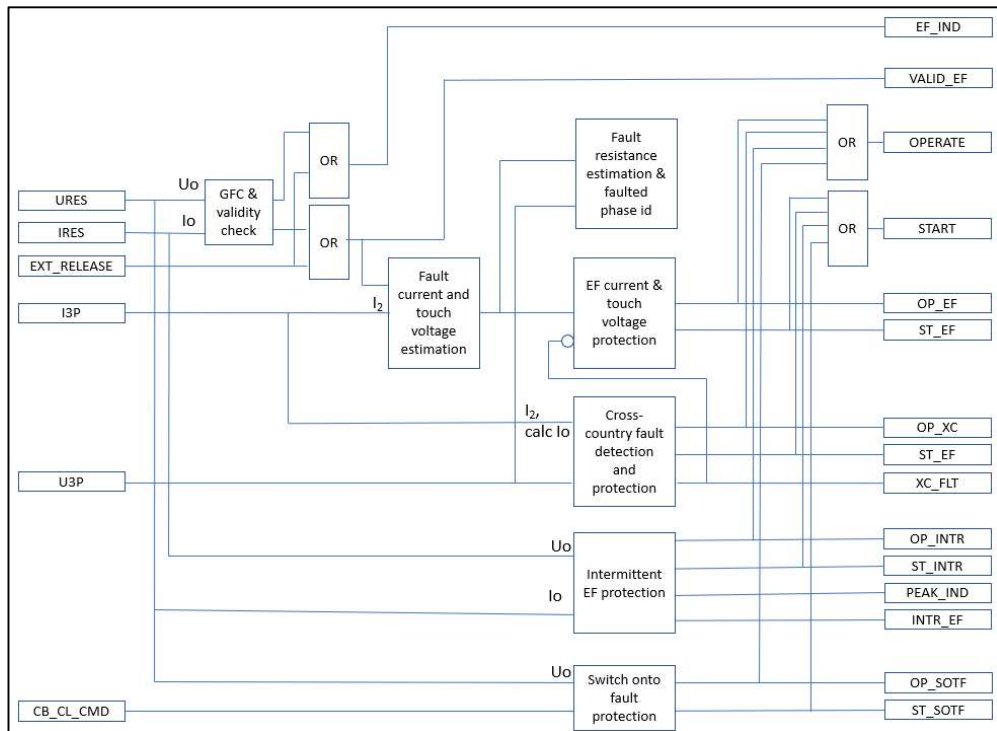
- Maasulkuvirta voi olla suuri verrattuna sen pätökomponenttiin, jolloin maasulkusuoijan näkemän nollavirtaosoittimen kulma kääntyy laukaisusektorin rajalle.
- Kelan rinnakkaisvastus ei jostain syystä kytkeydy päälle maasulun aikana, jolloin maasulkusuoijan näkemän nollavirtaosoittimen kulma menee sektorin ulkopuolelle.
- Vikavastuksen kasvaminen pienentää releen näkemiä toimintasuureita.
- Katkeilevat maasulkuviat.⁵⁵

⁵⁴ CIRED 2015. Post-fault oscillation phenomenon in compensated MV-networks challenges earth-fault protection.

⁵⁵ Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

6 MAASULKUVIRRRAN JA KOSKETUSJÄNNITTEEN ESTIMOINTIIN PERUSTUVA MAASULKUSUOJAUSFUNKTIO (IFPTOC)

Tässä kappaleessa käydään läpi IFPTOC-suojafunktion asetuksia ja niiden toimintaa. **Kuva 10.** esittää moduulikaavion IFPTOC:in toiminnasta.



Kuva 10. Moduulikaavio IFPTOC toiminnasta.

6.1 Maasulun tunnistus ja suunnan tarkistus

Maasulun tunnistus tapahtuu GFC- (General fault criterion) moduulissa. Toiminta perustuu nollajännitteen U_o - perustajaajuiseen arvoon, joka mitataan avokolmiojännitteestä tai lasketaan vaihejännitteiden vektorisummasta.⁵⁶

$$\overline{U_o} = \frac{(\overline{U_A} + \overline{U_B} + \overline{U_C})}{3} \quad (12)$$

Maasulku havaitaan, kun U_o - ylittää asettelun *Voltage start value*.⁵⁷

Huom.: tässä työssä IFPTOC:in asetteluiden nimet esitetään kursiivilla ja asetellut arvot lainausmerkkien sisällä.

Maasulun suunnan tarkistus perustuu mitatun maasulkuvirran pätökomponenttiin. Tämän tarkistuksessa käytetään kumulatiivista osoitinlaskentaa (CPS-), mikä yksinkertaistaen tarkoittaa osoittimien keskiarvojen laskentaa. Maasulkuvikaisen johtolähdön mitatun admittanssin ($Y_o = \frac{I_o}{U_o}$) ja nollavirran pätökomponenttien täytyy olla positiivisia.⁵⁸ Tämä indikoidaan `VALID_EF = TRUE` releen näytöllä.

Maasta erotetussa verkossa nollavirran ja admittanssin pätökomponentti voi olla hyvin pieni. Siksi on suositeltavaa käyttää `EXT_RELEASE`-tuloa, joka aktivoidaan yleensä suunnatun maasulkusuojafunktion kuten `MFADPSDE` tai `DEFxPDEF` havah-tumisesta. `EXT_RELEASE` on siis vaihtoehtoinen tapa GFC-moduulille tunnistaa maasulkutilanne. `EXT_RELEASE` käyttäminen ohittaa IFPTOC:in suunnan tarkistuksen ja IFPTOC näkee vian suojausalueella.⁵⁹

⁵⁶ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁵⁷ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁵⁸ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁵⁹ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

6.2 Vikavirran ja kosketusjännitteen estimointi

IFPTOC vikapaikan maasulkuvirran estimoitu arvo (I_F^{est}) perustuu vaihevirroista mitatun vastakomponentin (I_2) muutokseen maasulun aikana.

$$I_F^{est} = 3 * \Delta I_2 \quad (13)$$

Missä $\Delta I_2 = |\bar{I}_2(\text{vikatilanne}) - \bar{I}_2(\text{ennen vikaa})|$.⁶⁰

Maasulkuvirralla on kaksi reittiä: asetuksella *Reduction factor* määritetään se, että kuinka suuri osa maasulkuvirrasta vaikuttaa maan potentiaaliin. Loput maasulkuvirrasta oletetaan palaavan kaapelivaippoja pitkin. *Reduction factor* * I_F^{est} määrittää IFPTOC:in havahtumiskynnyksen virta-arvon.

Maasulkuvirran estimoinnin jälkeen IFPTOC- laskee kosketusjännitteen estimoidun arvon kaavalla:⁶¹

$$U_{TF}^{est} = \text{Maximum earthing Ris} * \text{Reduction factor} * I_F^{est} \quad (14)$$

Missä *Maximum earthing Ris* on käyttäjän määrittämä suurin mahdollinen maadoitusresistanssi.⁶²

⁶⁰ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁶¹ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁶² ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

IFPTOC- huomioi vastakomponentin harmoniset taajuudet asettelemalla *Enable harmonics* = "Enable". Tällöin estimoitu vikavirta lasketaan kaavalla:⁶³

$$I_F^{est} = \sqrt{(\Delta 3I_2^0)^2 + (\Delta 3I_2^1)^2 + (\Delta 3I_2^2)^2 + (\Delta 3I_2^3)^2 + (\Delta 3I_2^5)^2 + (\Delta 3I_2^7)^2 + (\Delta 3I_2^9)^2} \quad (15)$$

Missä I_2^n on kunkin n-harmonisen yliaallon vastakomponentin amplitudi.⁶⁴

6.3 Suojauksen toiminta-aika

Suojauksen toiminta-aika valitaan asetellulla *Operating curve type*:

- "Definite time", eli vakioaikainen toiminta
- "Inverse time EN50522", eli käänteisaikainen toiminta EN50522-standardin mukaan
- "Inverse time IEEE80", eli käänteisaikainen toiminta IEEE80-standardin mukaan

6.3.1 Vakioaikainen toiminta

Kun "Definite time" on käytössä IFPTOC havahtuu, jos estimoitu maasulkuvirta (*Reduction factor* mukaan luettuna) ylittää asetuksen *EF current Str Val*, maasulku on havaittu ja suunta on oikea. IFPTOC- laukaisee, releen kun asetellun *DT stage Op time* ajastimen aika on loppunut.⁶⁵

Asetus *Reset delay time* määrittää suojan sisäisen palautumisajan silloin kun laukaisua ei ole tehty. Aika alkaa, jos jokin suojauksen havahtumisehdoista katoaa. Ajan kuluessa uusi havahtuminen ei keskeytä laukaisujan laskentaa, vaan uuden

⁶³ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

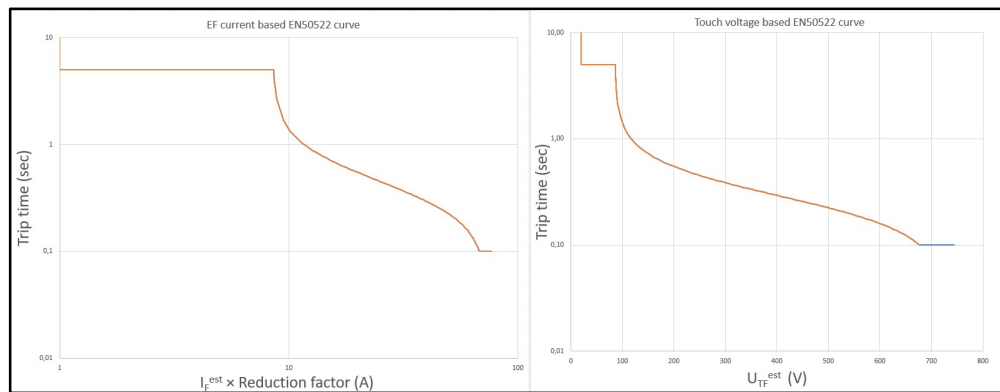
⁶⁴ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁶⁵ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

havahtumisen katsotaan olevan saman vian jatkumista. Jos aika umpeutuu, suo-
jaus palautuu.⁶⁶

6.3.2 Käänteisaikatoiminta EN 50522 mukaan

Kun EN50522 käyrä on käytössä suojaus aloittaa toiminnan samoilla ehdoilla kuin vakioaikaisessa toiminnassa. Toiminta-aika on käänteisesti verrannollinen valin-
naisesti joko estimoituun kosketusjännitteeseen tai maasulkuvirtaan⁶⁷. IFPTOC:in laukaisuaika tulee suoraan EN50522 käyrästä (katso **Kuva 11.**).



Kuva 11. EN50522 käyrät, vasemmalla maasulkuvirtaan ja oikealla kosketusjännitteeseen perustuva käyrä.

Käyrälle määritellään minimi ja maksimi toiminta-aika ja niiden rajojen välissä laukaisuaika tulee suoraan lasketusta estimoidusta maasulkuvirrasta tai kosketusjännitteestä käyrän mukaisesti. Käänteisaikakäyrässä EN50522 voidaan myös kompensoida katkaisijan avautumisviive asetuksella *CB delay Comp*. Asetus *Reset delay time* toimii samalla tavalla kuten vakioaikaisessa toiminnassa.

⁶⁶ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁶⁷ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

On tärkeä huomioida, että:

1. Asetusta *Maximum earthing Ris* käytetään kosketusjännitteen ja maan potentiaalın nousun skaalaamiseen.
2. Asetuksella *EF current Str Val* asetetaan suojauksen toiminnan virtaraja (tähän mukaan luetaan *Reduction factor*).
3. Asetuksella *IDMT stage Min Op Tm* asetellaan EN käyrän minimi toiminta-aika ja tämän mukaan laukaisu tulee silloin kun EN käyrä itse määritteli nopeamman toiminta-ajan.
4. Asetuksella *IDMT stage Max Op Tm* määritellään releen maksimi toiminta-aika ja tämän mukaan laukaisu tulee silloin kun EN käyrä määritteli hitaamman toiminta-ajan.
5. Asetuksella *UTp multiplier* säädetään sallittuja aika-kosketusjännite karakteristikoita, jotka on EN 50522 standardissa määritelty, ks. taulukko 2. *UTp multiplier* ollessa 1,0 kosketusjännite on sama kuin maan potentiaalın nousu. Taulukossa $R_{E_{max}}$ on sama kuin *Maximum earthing Ris*.⁶⁸

Taulukko 2. Sallittu maan potentiaalın nousu muunnettuna sallituksi vikavirraksi vian keston funktiona.⁶⁹

Vian kesto [s]	Sallittu maan potentiaalın nousu muutettuna vikavirraksi [A]		
	<i>UTp multiplier</i> =1.0	<i>UTp multiplier</i> =2.0	<i>UTp multiplier</i> =4.0
0.05	$716V/R_{E_{max}}$	$1432V/R_{E_{max}}$	$2864V/R_{E_{max}}$
0.10	$654V/R_{E_{max}}$	$1308V/R_{E_{max}}$	$2616V/R_{E_{max}}$
0.20	$537V/R_{E_{max}}$	$1074V/R_{E_{max}}$	$2148V/R_{E_{max}}$
0.50	$220V/R_{E_{max}}$	$440V/R_{E_{max}}$	$880V/R_{E_{max}}$
1.00	$117V/R_{E_{max}}$	$234V/R_{E_{max}}$	$468V/R_{E_{max}}$
2.00	$96V/R_{E_{max}}$	$192V/R_{E_{max}}$	$384V/R_{E_{max}}$
5.00	$86V/R_{E_{max}}$	$172V/R_{E_{max}}$	$344V/R_{E_{max}}$
10.00	$85V/R_{E_{max}}$	$170V/R_{E_{max}}$	$340V/R_{E_{max}}$

⁶⁸ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁶⁹ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

Toiminta-ajan IFPTOC- laskee kaavoista:

Käytettäessä maasulkuvirtaan perustuvaa toimintatapaa:⁷⁰

$$t = 0.2 * e^{\ln \left(\frac{722.8 - \frac{\text{Maximum earthing Ris} * \text{Reduction factor} * I_F^{est}}{UTp \text{ multiplier}}}{85.3 - \frac{\text{Maximum earthing Ris} * \text{Reduction factor} * I_F^{est}}{UTp \text{ multiplier}}} \right)} - CB \text{ delay comp} \quad (16)$$

Käytettäessä kosketusjännitteeseen perustuvaa toimintatapaa:⁷¹

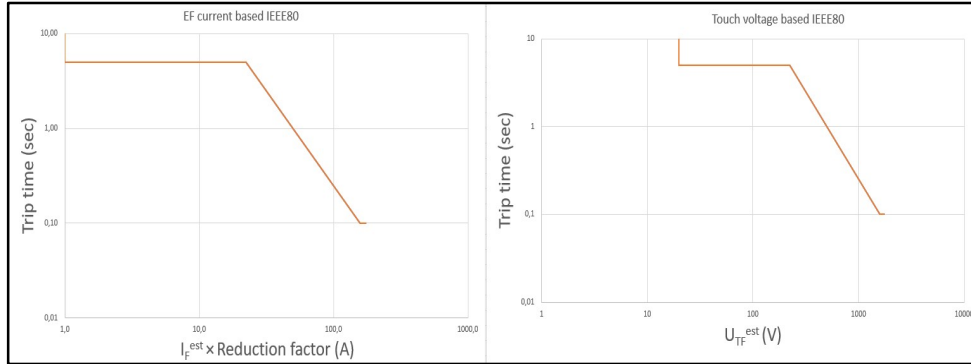
$$t = 0.29 * e^{\frac{\ln \left(\frac{722.8 - \frac{U_{Tp}^{est}}{UTp \text{ multiplier}}}{85.3 - \frac{U_{Tp}^{est}}{UTp \text{ multiplier}}} \right)}{2.39}} - CB \text{ delay comp} \quad (17)$$

6.3.3 Käänteisaikatoiminta IEEE80 mukaan

IEEE80 käyrällä itse toiminta tapa on samanlainen kuin EN-käyrällä, mutta kerroin *UTp multiplier* vaihtuu kertoimeksi *IEEE multiplier*. IEEE80 käyrät on esitetty kuvassa 12.

⁷⁰ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁷¹ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.



Kuva 12. IEEE80 käyrät, vasemmalla maasulkuvirtaan ja oikealla kosketusjännitteeseen perustuva käyrä.

Standardin mukainen käyrä on IFPTOC:ssa mallinnettu yksinkertaistetulla kaavalla käyttäen *IEEE multiplier* asettelua:⁷²

$$U_{TF}^{est} = IEEE\ multiplier \cdot \frac{1}{\sqrt{t_s}} \quad (18)$$

IFPTOC- laskee tässä tapauksessa toiminta-ajat alla esitetyillä kaavoilla.

Käytettäessä maasulkuvirtaan perustuvaa toimintatapaa:⁷³

$$t = \left(\frac{IEEE\ multiplier}{Maximum\ earthing\ Ris * Reduction\ factor * I_F^{est}} \right)^2 - CB\ delay\ Comp \quad (19)$$

Käytettäessä kosketusjännitteeseen perustuvaa toimintatapaa:⁷⁴

$$t = \left(\frac{IEEE\ multiplier}{U_{TF}^{est}} \right)^2 - CB\ delay\ comp \quad (20)$$

⁷² ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁷³ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁷⁴ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

6.4 Viallisen vaiheen tunnistus ja vikaresistanssin estimointi

Viallisen vaiheen tunnistaminen tapahtuu vaihekohtaisella vikavirran estimoinnilla seuraavasti:⁷⁵

$$I_{EF_A}^1 = \text{abs} \left(\Delta \bar{I}_A^1 - \frac{(\Delta \bar{I}_B^1 + \Delta \bar{I}_C^1)}{2} \right) \quad (21)$$

$$I_{EF_B}^1 = \text{abs} \left(\Delta \bar{I}_B^1 - \frac{(\Delta \bar{I}_C^1 + \Delta \bar{I}_A^1)}{2} \right) \quad (22)$$

$$I_{EF_C}^1 = \text{abs} \left(\Delta \bar{I}_C^1 - \frac{(\Delta \bar{I}_A^1 + \Delta \bar{I}_B^1)}{2} \right) \quad (23)$$

Suurin arvoista kertoo viallisen vaiheen.

IFPTOC- estimoi myös vikaresistanssin (R_F) suuruutta viallisen vaiheen, viallisen vaiheen jännitteen ja estimoidun maasulkuvirran suuruuden perusteella. Vikaresistanssin suuruus voidaan laskea:⁷⁶

$$R_F = \frac{U_{ph_faulted}}{I_F^{est1}} \quad (24)$$

Missä:

$U_{ph_faulted}$ = Viallisen vaiheen jännitteen perustaajuinen amplitudi

I_F^{est1} = Estimoidun maasulkuvirran perustaajuinen amplitudi

⁷⁵ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁷⁶ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

6.5 Kaksoismaasulun tunnistus ja suojaus

IFPTOC-suojafunktiossa on ”sisäänrakennettu” kaksoismaasulkujen tunnistus ja suojaus. Kaksoismaasulun tunnistus on aina käytössä, mutta suojaus voidaan asettaa päälle tai pois päältä. Kaksoismaasulun tunnistus ja suojaus käyttää aina laskennallista nollavirtaa, joka saadaan kaavalla:^{77,78}

$$\bar{I}_O = -(\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C) \quad (25)$$

Kaavassa miinusmerkki tulee ABB:n tavasta kytkeä virtamittaukset releelle (vaihevirtojen ja nollavirran polariteetti on toisiinsa nähden vastakkainen).

Kaksoismaasulussa vikavirran estimointi on epätarkkaa, joten kaksoismaasulun tunnistus estää IFPTOC:in vikavirta/kosketusjänniteperusteisen suojausten toiminnan. Kaksoismaasulkutilanne havaitaan, jos:

- laskennallinen nollavirta ylittää asettelun *XC stage A Str Val* ja GFC- on havainnut maasulun
- tai, jos jokin pääjännite alittaa asettelun *XC stage PP V Val* ja GFC- on havainnut maasulun.⁷⁹

Jos kaksoismaasulun suojaus on aseteltu päälle, niin se suoja laukeaa, kun:

- maasulku havaitaan, laskennallinen nollavirta ylittää *XC stage A Str Val*, ja estimoitu vikavirta I_F^{est} ylittää *XC stage A Str Val* ja toiminta-aikalaskurille aseteltu toiminta-aika *XC stage Op time* on täyttynyt.⁸⁰

⁷⁷ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁷⁸ ABB Oy. REX640 Technical Manual. Viitattu 14.8.2022.

⁷⁹ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁸⁰ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

6.6 Katkeilevien maasulkujen suojaus

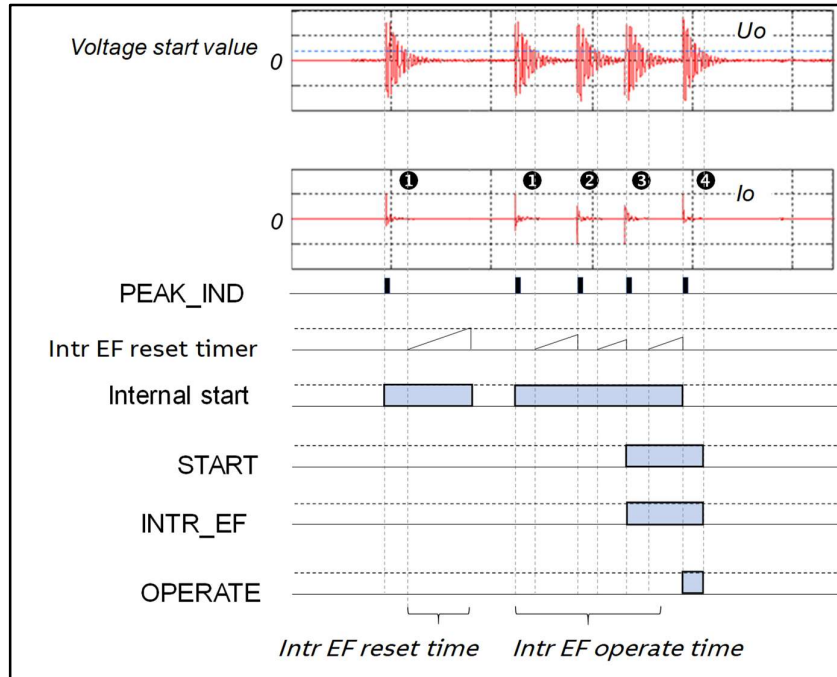
IFPTOC-suojafunktiossa on myös sisäänrakennettuna katkeilevien maasulkuvikojen suojaus. Katkeileva maasulussa esiintyy tyypiltään toistuva ja hyvin lyhytkestoisia virtapiikkejä, jonka vuoksi tavanomaisen maasulkusuojan on vaikea tunnistaa vikaa.

Katkeilevan maasulun tunnistus menee päälle, kun IFPTOC- havaitsee maasulun oikeaan suuntaan ja vähintään yhden virtapiikin. Lohkon virtapiikin tunnistus erottelee normaalin maasulun katkeilevasta maasulusta laskemalla vian aikaisia virtapiikkejä. Mitä suuremmaksi *Intr EF counter Lim*:n asettelee, sitä varmemmin IFPTOC- tunnistaa vian tyypin oikein. Katkeilevan maasulun suojauksessa on myös sisäinen palautumisaika-ajastin *Intr EF reset time*, joka suositellaan asettamaan noin 300–500 ms. Ajastimen ideana on virheellisen toiminnan välttäminen. Ajastin käynnistyy ensimmäisestä virtapiikistä ja jos aika loppuu ennen seuraavaa virtapiikkiä niin silloin virtapiikkien laskeminen aloittaa alusta.⁸¹ **Kuva 13.** havainnollistaa katkeilevan maasulun tunnistuksen toimintaa.

Katkeilevan maasulun laukaisuun vaaditaan, että nolajännite U_0 - ylittää asettelun *Voltage start value* , U_0 - ja I_0 - täytyy olla saman suuntaisia, virtapiikkien lukumäärä ylittää *Intr EF counter Lim* asettelun määrän ja aseteltu toiminta-aika on kulunut loppuun.⁸²

⁸¹ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁸² ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.



Kuva 13. Katkeilevan maasulkusuojauksen toiminta.⁸³

Kuvan alussa esiintyy yksittäinen virtapiikki, mutta sen jälkeen on pitkä väliaika, joten suoja pääsee palautumaan. Vasta kun virtapiikkien väli tihenee, niin suoja pääsee laskemaan virtapiikkejä palautumatta, havahtumaan ja lopulta laukaamaan. Kuvassa *Intr EF counter Lim* on aseteltu arvoon 3.⁸⁴

Vian aikana toiminta-aika kuluu loppuun kuvassa numeroitujen kolmannen ja neljännen virtapiikin välillä, mutta suojalla ei ole lupaa laukaista, ellei se näe vikaa. Tästä syystä laukaisu tulee neljännen virtapiikin kohdalla.

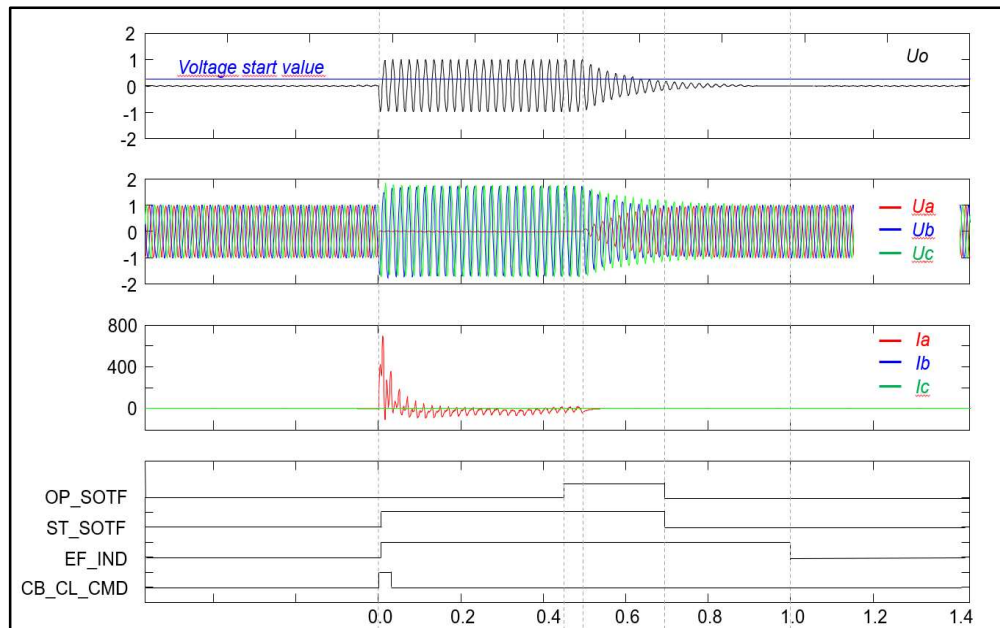
⁸³ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁸⁴ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

6.7 Vikaa vasten kytkennän suojaus (SOTF – toiminnallisuus)

Switch-onto-fault (SOTF-) tilassa, eli kun katkaisija suljetaan tilanteessa missä johdotlähdöllä on pysyvä maasulku, saattaa maasulkuvirran estimointi häiriintyä. Tämän vuoksi IFPTOC-funktiossa on erityinen vikaa vasten kytkennän suojaus. SOTF-todetaan, kun maasulku havaitaan *SOTF Cond duration* asetteluajan sisällä katkaisijan kiinniohjauksesta (CB_CL_CMD tulo aktivoidaan). Suojaus on vakioaikainen.⁸⁵

Kuva 14. havainnollistaa vikaa vasten kytkennän suojauksen toimintaa.



Kuva 14. Vikaa vasten kytkennän toiminta.⁸⁶

⁸⁵ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

⁸⁶ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

7 RELEIDEN KOESTUS

Relekoestuksia tehdään sekä käyttöönotossa, että määräaikaissä välein. Tarkoituksena varmistaa suojausten suunniteltu ja asetteluiden mukainen toiminta.⁸⁷ Käyttöönototarkastuksessa selvitetään, ettei sähkölaitteistosta aiheudu sähköturvallisuuslain 6§:ssä tarkoitettua vaaraa tai häiriötä.

Sähköturvallisuuslaki 6§:

”Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa”⁸⁸

Määräaikaiskoestukset pohjautuvat lain määräämään huolto- ja kunnossapito-ohjelmaan. Määräaikaistarkastus täytyy tehdä luokan 1 ja 2 sähkölaitteistolle kymmenen vuoden välein ja luokan 3 laitteistolle viiden vuoden välein. Määräaikaiskoestamisessa pyritään löytämään laitteita, joiden toiminta ei vastaa asetettuja vaatimuksia.⁸⁹

7.1 Keinovikakoestus

Keinovikakoestuksessa luodaan keinotekoisesti vika verkkoon. Etuja keinovikakoestuksessa on suojausten oikean ja selektiivisen toiminnan tarkastus vikatilanteissa huomioiden koko mittausketju. Tällöin tulee huomioida mittamuuntajien toiminta, toisiojohdotus, releen kunto ja kommunikaatioyhteyden toiminta, sekä esim. generaattorisuojausten täydellinen testaus on mahdollista.⁹⁰

⁸⁷ Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

⁸⁸ L 16.12.2016/1135. Sähköturvallisuuslaki. Finlex. Viitattu 18.7.2022.

⁸⁹ Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

⁹⁰ Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

Huonoina puolina on aina vaadittava jännitekatko, mahdolliset rasiot tai vauriot muualla verkossa ja riski henkilövahingoille, koska vika tehdään primaaripiiriin. Keinovikakoestus soveltuu lähinnä maasulkusuojauksen testaamiseen.⁹¹

7.2 Ensiökoestus

Ensiökoestuksessa signaalit pyritään syöttämään ensiöpiireihin. Käytännössä virta syötetään ensiöön ja jännite toisioon. Koestustavan etuna on se, että virtamuuntaja ja sen toisiojohdotus tulee tarkastettua.⁹²

Ensiökoestuksen haittoina on yleensä vaadittu jännitekatkos, tehokkaampien syöttölaitteiden tarve ja se, että kaikkea ei pystytä välttämättä testaamaan. Lisäksi on suurentunut riski henkilövahingoille.⁹³

7.3 Toisiokoestus

Toisiokoestuksessa signaalit syötetään toisiopiireihin. Toisiokoestuksessa tulee testattua toisiojohdotus riviliittimiltä releelle, releen toiminta, mahdollisesti katkaisijan toiminta ja kommunikaatioyhteys. Koestuslaitteiden syöttökäytölle asetettavat vaatimukset ovat matalat. Koestus voidaan tehdä myös johtolähdön ollessa käytössä, mutta se vaatii osaamista ja mahdollisesti jännitetyön tekemistä.⁹⁴

Toisiokoestuksen huonoja puolia on, että mittamuuntajien kunto ja niiden johdotus jää tarkistamatta, suojauksen selektiivisyyttä ei testata, riviliittimiä voidaan joutua avaamaan, jolloin liitokset voivat unohtua auki.⁹⁵

⁹¹ Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

⁹² Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

⁹³ Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

⁹⁴ Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

⁹⁵ Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

8 KOESTUSOHJEEN LUOMINEN, VALMISTELEVAT TOIMEENPITEET

IFPTOC-suojalohkon toisiokoestamiseen on haluttu luoda sellainen ohje, jossa käytetään Omicron-koestuslaitetta ja sen perustyökaluja, koska Omicron on yleisesti käytössä. Samanaikaisesti on pyritty luomaan ohje sellaiseksi, jota ohjeiden ja kuvien perusteella voidaan soveltaa myös muille koestuslaitteille.

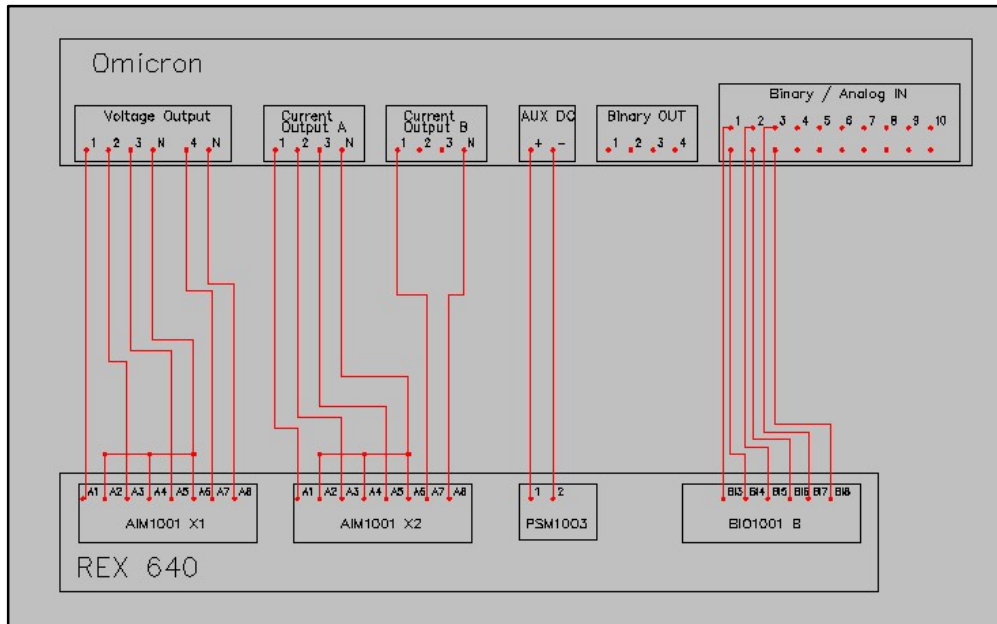
8.1 Omicron

Koestusohjetta tehdessä käytössä oli Omicron CMC 356 ja CMC 256-6 joiden ominaisuuksissa ei tämän työn kannalta ole eroja, paitsi se, että CMC 256-6 on huomattavasti äänekkäämpi. Omicronista saadaan releelle virta- ja jännitesignaalit, apujännite sekä releeltä havahtumis- ja laukaisutiedot. Omicronista löytyy myös binääri lähtöjä, mutta niitä ei tässä työssä käytetä. Kuvassa 14 Omicron CMC 256-6 on oikealla ja Omicron CMC 356 vasemmalla.



Kuva 14. Omicron CMC 256-6 oikealla ja CMC 356 vasemmalla.

Kuva 15. havainnollistaa Omicronin ja releen väliset kytkennät.



Kuva 15. Omicronin ja releen välinen kytkentä.

Taulukossa 3 käydään Omicronin signaalien tarkoitus läpi. Taulukossa 4 esitetään työssä käytetyn REX640-releen kokoonpano.

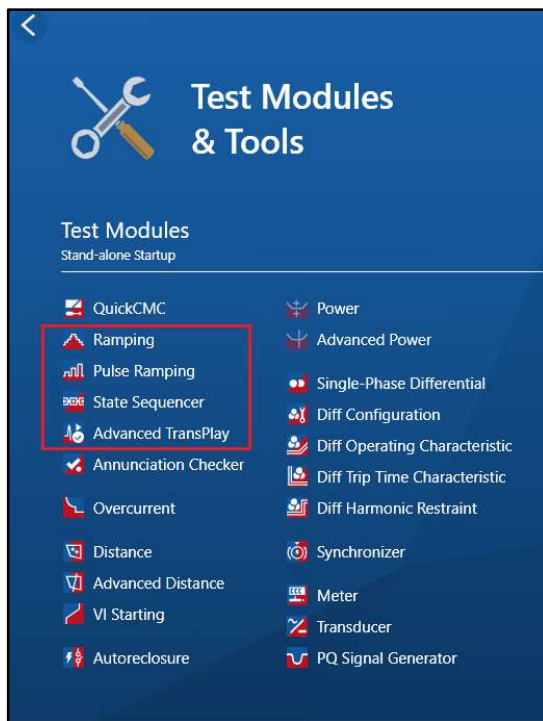
Taulukko 3. Koestuksessa käytetyt Omicronin signaalit.

Voltage output	Current output A	Current output B	AUX DC	BI/Analog input
1, 2, 3, 4, N	1, 2, 3, N	1, N	+, -	1, 2, 3
Vaihejännitteet, mitattu nolla- jännite sekä nolla	Vaihevirrat ja nolla	Mitattu nolla- jännite ja nolla	110V DC syöttö re- leelle sekä näytölle	1 = Trip signaali 2= Start signaali 3= CB_Close_CMD

Taulukko 4. Koestuksessa käytetyn REX640 releen kokoonpano.

Moduuli	Selite
COM1001	Kommunikointimoduuli
BIO1001	Binääritulot ja -lähdöt
AIM1001	Virta- ja jännitetulot
PSM1003	Teholähde ja laukaisukoskettimia
LHMI	Näyttö

Omicronissa on useita erilaisia testityökaluja (katso **Kuva 16.**), joista vain osa tarvitaan IFPTOC:in koestuksessa, sillä tarkoituksena oli luoda mahdollisimman yksinkertainen ohje, jota voidaan soveltaa myös muille koestuslaitteille.



Kuva 16. Omicronin test module pikavalikko.

Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi tässä työssä käytetyt Omicronin testityökalut:

- Ramping
 - Ramping-työkalulla pystytään valitsemaan signaali (vaihejännite, vaihevirta, nollajännite, nollavirta) ja automatisoimaan testi, jossa porrastetusti muutetaan kyseisen signaalin arvoa, amplitudia, vaihekulmaa tai taajuutta. Työkalussa voi valita testin lähtöarvot ja kuinka isolla portaalla arvoja säädetään. Tällä työkalulla etsitään eri asetusten toimintapisteet.
- Pulse ramping
 - Pulse ramping-työkalu toimii muuten täysin samalla tavalla kuin Ramping työkalu, mutta siinä voidaan säätää kuinka kauan yksittäinen virta/jännite porras kestää ja kun aika loppuu, menee testi palautumistilaan, jonka keston saa itse myös määritellä. Myös tällä työkalulla etsitään eri asetteluiden toimintapisteitä.
- State Sequencer
 - State Sequencer-työkalulla voidaan luoda vapaasti erilaisia verkon tiloja (virrat, jännitteet), joiden pituuden saa itse määritellä. Tällä työkalulla testataan lähinnä laukaisuaikoja.
- Advanced transplay
 - Advanced Transplay-työkalua käytetään häiriötallenteen toistamiseen. Koestusohjeessa tämä on ainoa työkalu, jolla voidaan tarkistaa katkeilevan maasulun toiminta käyttämällä todellisesta katkeilevasta maasulusta tehtyä häiriötallennetta.

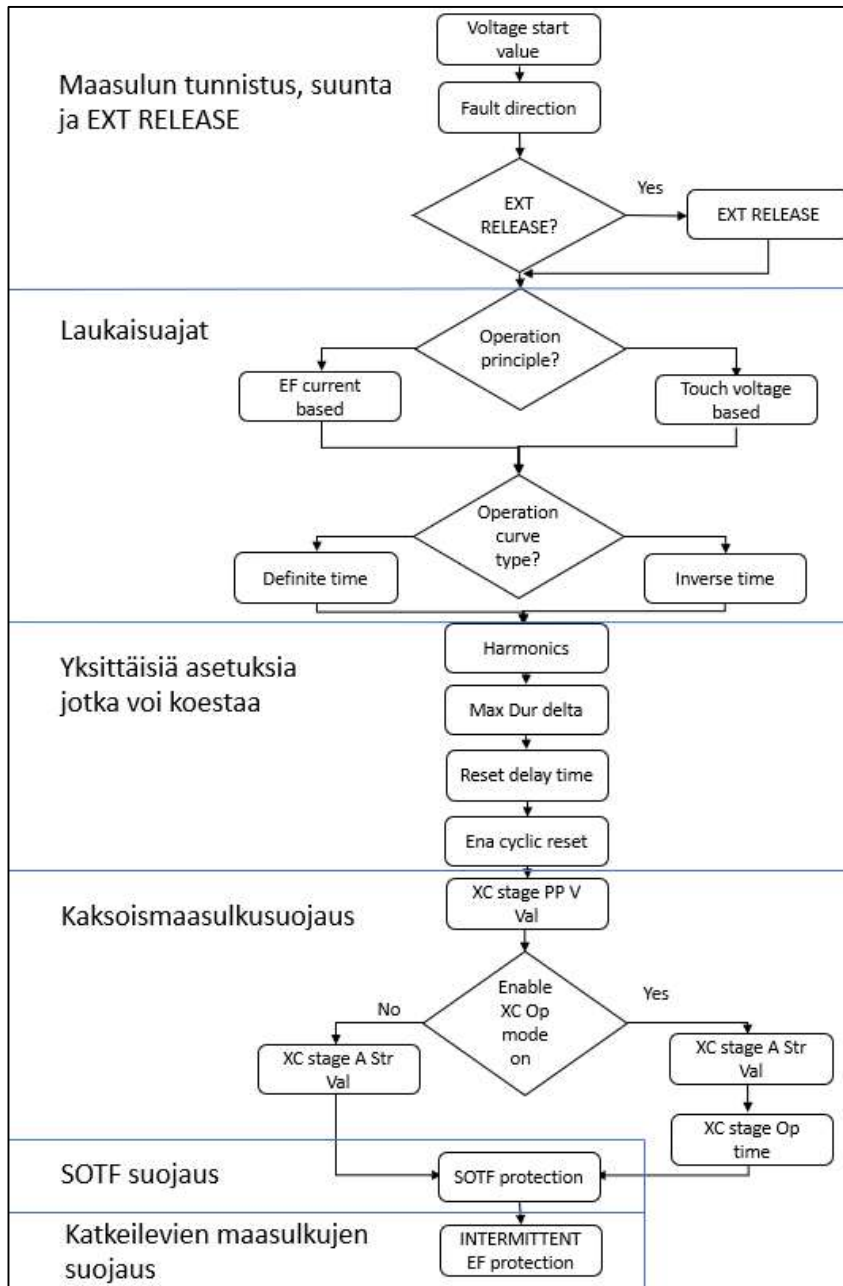
8.2 PCM600

PCM600 on PC-työkalu, jolla voidaan sekä konfiguroida, että asetella ABB:n valmistama rele. Ohjelmistolla voidaan laittaa tiettyjä suojalohkoja päälle/pois, säätää toiminta-aikoja tai virta- ja jänniterajoja ja kaikkea mahdollista mitä releen asetuksissa on. PCM600 pystyy myös lukemaan häiriötallenteita releeltä ja sitä kautta ne voidaan sitten tallentaa tietokoneelle myöhempää tarkastelua varten.

Koestusta varten REX640-releelle luotu konfiguraatio on esitetty liitteessä 1.

9 KOESTUSOHJEEN LUOMINEN, IFPTOC FUNKTION KOESTUS

Seuraavissa kappaleissa käydään lyhyesti läpi, miten IFPTOC suojafunktion koestus toteutuu käytettäessä Omicron testilaitetta. Kuvassa 17 esitetään vuokaavio suositellusta koestusjärjestyksestä.



Kuva 17. Vuokaavio suositellusta koestusjärjestyksestä.

Kuvassa 17 suorakulmio kuvaa koestusta ja neljäkäs asettelun perusteella tehtävää päätöstä. Suositellussa koestusjärjestyksessä ydinajatus on se, että aluksi koestetaan toimintarajat, sen jälkeen laukaisuajat.

Kuva 17. on jaettu kuuteen eri osioon, joista ensimmäisessä osiossa koestetaan toimintarajoja, toisessa laukaisuajakoja. Osion 3 yksittäiset koestettavat asetukset on helpoin hoitaa laukaisuajojen yhteydessä, jos ne ovat tarpeellisia koestaa. Osion 4 kaksoismaasulun tunnistuksessa ja suojauksessa ensimmäisenä koestetaan *XC PP V Val*, sillä sen koestustapa on samanlainen riippumatta siitä, onko suoja käytössä vai ei. Myös *XC stage A Str Val* koestetaan riippumatta siitä, että onko suoja käytössä, mutta sen koestustapa on hiukan erilainen kussakin tapauksessa. Kaksoismaasulkusuojaus, vikaan vasten kytkentä sekä katkeilevat viat voi koestaa haluamassaan järjestyksessä riippuen toki siitä ovatko ko. toiminnallisuudet käytössä. Osiossa 5 ja 6 on vikaa vasten kytkennän ja katkeilevien maasulkujen koestus.

Koestus tehdään aina sillä konfiguraatiolla mikä releessä on, eikä konfiguraatiota haluta muuttaa koestusvaiheessa. IFPTOC:in laukaisutieto saadaan lähtöreleeltä, mutta havahtumistietoa ei välttämättä ole käytettävissä ja tämä on pitänyt huomioida koestusohjeen teossa.

Kun koestetaan IFPTOC-suojalohkoa, on tärkeää tiedostaa lasketun nollavirran lo-vaikutus testeihin. Jos releelle syötetään vain yhtä vaihevirtaa, niin estimoitu vikavirta ja laskennallinen lo- ovat sama kuin syötetty vaihevirta. Jos laskettu lo- pääsee nousemaan liikaa, IFPTOC- indikoi kaksoismaasulkua ja estää oman toimintansa muiden asetusten osalta paitsi kaksoismaasulkusuojauksen. Koestuksessa on yksinkertaisinta käyttää yksivaiheista syöttöä aina kun se on mahdollista sillä se vastaa estimoitua vikavirtaa. Taulukossa 5 annetaan esimerkkejä vaihtoehtoisista virransyötöistä ja niiden vaikutuksesta estimoituun vikavirtaan ja laskettuun nollavirtaan.

Taulukko 5. Esimerkkejä virtasyöttöjen aiheuttamasta estimoidusta vikavirrasta ja lasketusta nollavirrasta.

Syöttö	Estimoitu vikavirta	Laskettu nollavirta
Yksivaiheinen syöttö	= 1 x syötetty virta	= 1 x syötetty virta
Kaksivaiheinen syöttö, vaiheiden välinen ero 120°	= 1 x syötetty virta	= 1 x syötetty virta
Kaksivaiheinen syöttö, vaiheiden välinen ero 120°, mutta pyörimissuunta vastakkainen	= 2 x syötetty virta	= 1 x syötetty virta
Kaksivaiheinen syöttö, 0° vaiheiden välillä	= 1 x syötetty virta	= 2 x syötetty virta
Kaksivaiheinen syöttö, 180° vaiheiden välillä	= $\sqrt{3}$ x syötetty virta	= 0
Kolmivaiheinen syöttö, normaali pyörimissuunta	= 0	= 0
Kolmivaiheinen syöttö, vastakkainen pyörimissuunta	= 3 x syötetty virta	= 0

9.1 Maasulun tunnistus

IFPTOC tunnistaa maasulun, kun U_o - ylittää *Voltage start value* asettelun ja mitatun I_o :n päätökomponentti on positiivinen. Maasulun voi tunnistaa myös käyttämällä EXT_RELEASE-tuloa, jolloin maasulku havaitaan erillisellä suojalohkolla (esimerkiksi MFADPSDE tai DEFxPDEF).

Seuraavissa alikappaleissa käydään lyhyesti läpi maasulun tunnistuksen koestustavat. Nämä käydään tarkemmin läpi koestusohjeessa (Liite 2) luvussa 3.

9.1.1 Nollajänniterajan koestus

Voltage start value koestetaan käyttämällä Omicronin ”Pulse Ramping” työkalua, missä syötetään pienillä 50mV:n jännitetason nostoilla U_o jännitettä. Kunkin portaan kesto täytyy olla pidempi kuin releen laukaisuaika ja portaiden välisen ajan täytyy ylittää asettelu *Reset delay time* tarkan tuloksen saamiseksi.

9.1.2 Vian suunnan tarkistuksen koestus

Vian suunnan koestuksessa käytetään jälleen ”Pulse Ramping” työkalua sillä tarkan tuloksen saamiseksi pitää portaiden välissä olla vähintään *Reset delay time*

asettelun mittainen tauko. Testissä luodaan maasulku ja Uo:n vaihekulmaa muutetaan portaittain. Molemmille vikasuunnille (vika edessä, vika takana) tehdään oma testi. Toisessa testissä vaihekulmaa askelletaan -100° :sta ylöspäin, kunnes laukaisu tulee eli rele näkee vian noin -90° kohdalla. Toisessa testissä vaihekulmaa pienennetään $+100^\circ$:sta alaspäin, kunnes rele laukaisee vian nähdessään noin $+90^\circ$ kohdalla.

9.1.3 EXT_RELEASE tulon koestus

EXT_RELEASE- käytettäessä koestus tehdään Omicronin "State Sequencer" työkalulla, jolla voidaan luoda erilaisia verkon jännite- ja virtatilanteita. Testissä luodaan maasulku ja säädetään mitatun Uo- kulma -93° niin, että IFPTOC- ei näe tällä kullalla vikaa. Tällaisessa tilanteessa IFPTOC- maasulun tunnistus tulee EXT_RELEASE tulon yhdistetyn suojafunktion kautta (esimerkiksi MFADPSDE tai DEFxPDEF).

9.2 Maasulkuvirtaan sekä kosketusjännitteeseen perustuva suojaus

IFPTOC:lla on mahdollista toteuttaa suojaus usealla eri tavalla, suojalohko sisältää sekä maasulkuvirtaan, että kosketusjännitteeseen perustuvat suojaukset. Toiminta-aika voidaan valita vakioaikaiseksi tai käänteisaikaiseksi joko EN50522-standardin tai IEEE80-standardin mukaan.

Seuraavissa alikappaleissa käydään läpi jokaisen edellä mainitun suojaustavan ja toiminta-aikojen koestaminen. Koestusohjeen kappaleessa 4 käydään koestus yksityiskohtaisemmin läpi.

9.2.1 Vikavirran estimoinnin koestus

Vikavirran estimoinnin koestuksessa Omicronin "Ramping" työkalulla nostetaan porrastetusti yhden vaiheen virtaa, kunnes se ylittää arvon *Reduction factor * EF Current Str Val*, ja suoja laukaisee. Testin aikana pitää nollavirran (Io-) päätöskomponentin olla positiivinen ja vähintään 1 % nimellisestä ja nollajännitteen (Uo) täytyy ylittää taso *Voltage start value*.

9.2.2 Kosketusjännitteen estimoinnin koestus

Laukaisuun vaadittu maasulkuvirta saadaan kaavalla:⁹⁶

$$I_F^{est} = \frac{Touch\ Vol\ Str\ Val}{Maximum\ earthing\ Ris * Reduction\ factor} \quad (26)$$

Kaavalla saadaan vaadittu maasulkuvirran primääriarvo, joka täytyy muuntaa toisioarvoksi. Jos virtamuuntajan muuntosuhde on esimerkiksi 100/1A, niin toisioarvo saadaan jakamalla primaariarvo sadalla.

Koestuksessa käytetään Omicronin ”Ramping” työkalua, jolla nostetaan porrasteisesti yhden vaiheen virtaa, kunnes sen perusteella estimoitu kosketusjännite ylittää *Touch Vol Str Val*:n. Testin aikana pitää nollavirta lo- olla vähintään 1 % nimellisestä ja mitatun nollajännitteen Uo- täytyy ylittää *Voltage start value*.

9.2.3 Vakioajan koestus

Käytettäessä *Operating curve type* = ”Definite time” koestus suoritetaan Omicronin ”State Sequencer” työkalulla. Aluksi luodaan terve tila ilman mitattua nollavirtaa lo- tai nollajännitettä Uo-. Sitten luodaan maasulku laittamalla yhden vaiheen virta nolnaan ja syöttämällä mitattua nollajännitettä yli *Voltage start value* ja samalla nollavirtaa 1A. Releen laukaisun pitää tulla asetellussa *DT stage Op time* ajassa. Koestuksessa täytyy muistaa huomioida asettelu *Reduction factor*.

9.2.4 Käänteisaikojen koestus

Käytettäessä *Operating curve type* joko valittuna ”EN50522” tai ”IEEE80” tehdään testi Omicronin ”State Sequencer” työkalulla. Koska Omicron ei osaa laskea näiden

⁹⁶ ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

käyrien laukaisuaikoja automaattisesti tein Excel-työkalun laukaisuaikojen laskentaan. Aluksi Excel-työkalulle asetellaan samat asetellut mitkä ovat IFPTOC:lla käytössä, jonka jälkeen annetaan haluttu testivirta, jolle työkalu laskee laukaisuajan. Seuraavaksi ”State Sequencer” työkalulla syötetään annettu testivirta yhteen vaiheeseen ja tarkistetaan, että laukaisu tulee samassa ajassa mitä Excel-työkalulla oli laskettu.

9.2.5 Harmonisten koestus

Kun IFPTOC:ssa on valittu *Enable harmonics* = ”Enabled” niin tällöin vikavirran harmoniset otetaan huomioon maasulkuvirran estimaatissa. Esimerkkinä näytetään seuraavaksi kolmannen harmonisen vaikutuksen koestaminen. Tehtäessä koestus käyttäen perustaajuutta ja kolmatta harmonista, jolloin vikavirtaestimaatin harmoniset huomioiva kaava (15) sievenee muotoon:

$$I_F^{est} = \sqrt{(\Delta 3I_2^1)^2 + (\Delta 3I_2^3)^2} \quad (27)$$

Vikavirran harmonisten vaikutus koestetaan ”Pulse Ramping” työkalulla. Työkaluun asetetaan ensin perustaajuista nollajännitettä, nollavirtaa sekä IL3 vaiheeseen jatkuva perustaajuinen alle perustaajuinen virta, joka on alle havahtumiskynnyksen. Sen jälkeen porrastetusti nostetaan IL1 vaiheen virtaa ja sen taajuus asetetaan vastaamaan kolmatta harmonista ts. 150 Hz. Esimerkiksi jos nimellinen toisiovirta on 1 A, *EF Current Str Val* = 0.1xIn eli laukaisuvirta huomioiden harmoniset on 100 mA, perustaajuinen virta on esimerkiksi 50 mA niin teoreettinen laukaisuvirta huomioiden kolmannen harmonisen (150 Hz) vaikutus saadaan ratkaisemalla kaavasta (27) vaadittu kolmannen harmonisen taso:

$$\sqrt{(100mA)^2 - (50mA)^2} = 86.6mA \quad (28)$$

9.2.6 Palautumisajan koestus

Reset delay time voidaan koestaa käyttämällä ”State Sequencer” työkalua. Tehdään työkaluun kaksi eri tilaa. Ensimmäisessä tilassa on maasulku, mutta tilan

kesto on lyhyempi kuin suojan laukaisuaika, toisessa tilassa verkossa ei ole enää maasulkua ja tilan keston täytyy ylittää *Reset delay time*. Tällä tavoin voidaan tarkistaa, että releen Start signaali poistuu, kun *Reset delay time* asettelu aika on loppunut.

Jos havahtumis-, eli start-signaalia ei ole käytettävissä, niin palautusaikaa ei voida helposti koestaa.

9.2.7 Vastakomponentin muutoksen maksimiajan koestus

Max Dur delta Calc-asettelu voidaan koestaa käyttämällä "State Sequencer" työkalua. Tehdään työkaluun kaksi eri tilaa. Ensimmäiseen tilaan asetellaan pelkääntään vastakomponenttia, mutta ei nollavirtaa eikä nollajännitettä, tämän tilan tulee kestää yli $2 \times \text{Revert time}$. Toiseen tilaan asetellaan myös nollajännite ja nollavirta, sekä ajaksi yli *Max dur delta Calc*. Koska tilojen välillä ei vastakomponentti muutu, niin IFPTOC:in laukaisun pitäisi tulla vasta asetellun *Max dur delta Calc* jälkeen. Näin siksi, koska kyseisen ajan loppuessa IFPTOC- ei pidä enää delta laskentaa "luotettavana" vaan laukaisu tulee suoraan reaaliaikaisesta vastakomponentista.

9.2.8 Jaksollisen palautumisen koestus

Jos *Ena cyclic reset* = "Enable" silloin voidaan koestaa jaksollinen palautuminen. Jaksollinen palautuminen tarkoittaa sitä, että jos maasulun alussa lo-osoitin on kulmassa, jota IFPTOC- ei näe niin, jos lo:n kulma kääntyy IFPTOC:in näkemälle alueelle niin suojan tulee laukaista. Tämä koestetaan tekemällä "State Sequencer" työkaluun kaksi tilaa. Molemmissa tiloissa on tehty maasulku, mutta ensimmäisessä tilassa lo:n kulma on 180° , jota IFPTOC ei näe ja toisessa tilassa lo:n kulma on 0° , jonka IFPTOC näkee. Odotettava tulos on laukaisu tilassa 2 jolloin kulma on 0° .

9.3 Kaksoismaasulkusuojaus

IFPTOC:ssa on sisäänrakennettuna kaksoismaasulun tunnistus, joka on aina aktiivinen, sekä kaksoismaasulun laukaisu, joka aktivoidaan asettelulla *Ena XC Op mode on = "on"*. Kaksoismaasulkusuojuksesta pitää koestaa kolme eri asettelua, mutta testejä on yhteensä neljä.

- Jos *Enable XC Op mode on = "off"* niin tällöin asettelut *XC stage PP V Val* ja *XC stage A Str Val* koestetaan.
- Jos *Enable XC Op mode on = "on"* niin tällöin asettelut *XC stage PP V Val*, *XC stage A Str Val* ja *XC stage Op time* koestetaan.

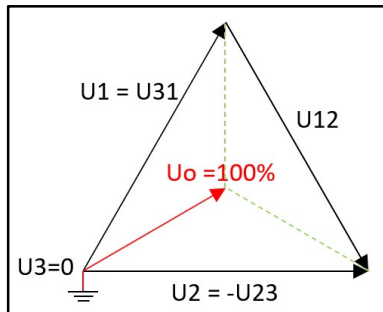
Tämän kappaleen koestukset käydään tarkemmin läpi koestusohjeen kappaleessa 5.

9.3.1 Alijännitteen tunnistamisen koestus

XC stage PP V Val on pääjännitteitä valvova, alijännitteeseen perustuva kaksoismaasulun tunnistus, joka on aina päällä. Jos maasulku on tunnistettu (*EF_IND = TRUE*) ja jokin (mutta ei kaikki) pääjännite tippuu alle *XC stage PP V Val* asettelun, suoja-funktio indikoi kaksoismaasulkua. Tällöin kaikki muut IFPTOC toiminnot paitsi kaksoismaasulkusuojaus estetään. Tämän toiminnallisuuden koestuksessa on kaksi haastetta:

- Omicronille syötetään vaihejännitteet, mutta koestaja haluaisi sellaisen tuloksen, joka on helposti verrattavissa asetteluun ilman laskentaa.
- Samanaikaisesti pitää syöttää nollajännitettä *Uo*, mutta jos käytetään laskennallista *Uo:aa*, tämäkin pitää saada tehtyä pelkällä vaihejännitteiden syötöllä.

Koestus tehdään Omicronin "Ramping" työkalulla, jossa alkutilanne vastaa yksivaiheista maasulkua vaiheessa L3, jolloin IFPTOC perussuojaus laukaisee. Kuvassa 18 esitetään pää- ja vaihejännitteet yksivaiheisessa maasulussa vaiheessa L3.



Kuva 18. Pää- ja vaihejännitteet vikavastuksettomassa maasulussa vaiheessa L3.

Tällöin U1 vaihejännite vastaa U31 pääjännitettä ja U2 vastaa pääjännitettä U23. Koetuksessa käytetään ylijännitettä U1:lle jotta saadaan korkeampi laskennallinen Uo-, koska tällöin testi on pätevä sekä mitatulle, että lasketulle Uo:lle. Omicronilla ajetaan porrastetusti U2 vaiheen jännitettä alle *XC stage PP V Val* asetuksen, kunnes IFPTOC indikoi kaksoismaasulun ja laukaisu palautuu. U12 ja U31 pysy koko ajan asetuksen yläpuolella. Koetus lähtötilanteessa:

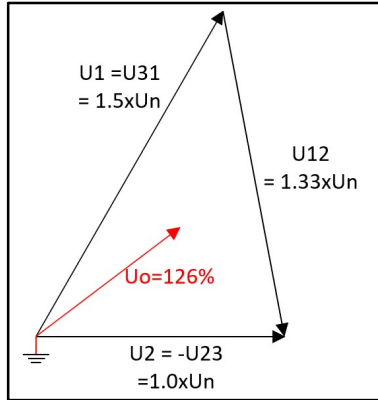
- U1 = 1,5 x pääjännite
- U2 = 1,0 x pääjännite, 60° kulmassa U1 nähden
- U3 = 0 V

U12 ja Uo- amplitudit saadaan laskettua kaavoista:

$$U_{12} \text{ amplitudi} = |\overline{U1} - \overline{U2}| \quad (29)$$

$$U_o \text{ amplitudi} = \frac{|\overline{U1} + \overline{U2} + \overline{U3}|}{3} \quad (30)$$

Kuvassa 19 esitetään vektorikuvalla koestustilanne, jossa vaihejännitettä U2 lasketaan alaspäin, mutta laskettu nollajännite Uo- pysyy suurena.



Kuva 19. Vektorikuva alijännitteen tunnistuksen koestuksesta.

REX640 releen jännitetulot kestävät jatkuvasti 288 V AC jännitesyötön, joten koestuksessa ei tule ongelmia sen asian suhteen. Korkein jännite koestuksessa on vaiheessa U1 150V, laskettu nollajännite on 126 % nimellisestä vaihejännitteestä. Kuvassa 20 on esitetty REX640- jännitetulojen kestoisuus.

Voltage inputs	Rated voltage	57...240 V AC
	Voltage withstand:	
	• Continuous	288 V AC
	• For 10 s	360 V AC

Kuva 20. REX640 jännitetulojen kestoisuus.⁹⁷

⁹⁷ ABB Oy. 2020. REX640 Technical Manual. Luku 11. Viitattu 31.8.2022.

9.3.2 Virtarajan koestus

Kun *Enable XC Op mode = on*, niin koestetaan asettelu *XC stage A Str Val*, joka on kaksoismaasulkusuojan virtaraja. Helpoin tapa tämän koestamiseen on käyttää Omicronissa ”Ramping” työkalua ja porrastaen nostaa yhden vaiheen virtaa, kunnes rele laukaisee. Laukaisuun vaaditaan nollajännitettä Uo-, mutta nollavirtaa ei syötetä, jolloin IFPTOC perussuojaus ei pääse laukaisemaan.

9.3.3 Laukaisuajan koestus

Jos *Enable XC Op mode = on*, niin kaksoismaasulkusuojan laukaisu-aika-asettelu *XC stage A Op time* koestetaan käyttämällä Omicronin ”State Sequencer” työkalua. Tehdään kaksi eri tilaa, toisessa on verkon normaali tila, toisessa kaksoismaasulku. Ensimmäiseen tilaan syötetään normaalit nimelliset vaihejännitteet ja vaihevirratt, toiseen tilaan syötetään nimelliset vaihejännitteet, IL1 täytyy ylittää asettelun *XC stage A Str Val* asetuksen, muihin vaiheisiin ei virtaa syötetä. Näiden lisäksi syötetään nimellinen nollajännite Uo- sekä nollavirta Io-. Laukaisu tulee, kun kaksoismaasulun kesto ylittää *XC stage Op time* asettelun.

9.3.4 Kaksoismaasulun tunnistamisen virtarajan koestus

Kun *Enable XC Op mode = off*, niin *XC stage A Str Val* virta-asettelu koestetaan Omicronin ”Ramping” työkalulla aloittamalla perusmaasululla, jolloin IFPTOC- laukaisee. Tämän jälkeen porrastetusti nostetaan vaihevirtaa, kunnes laskennallinen nollavirta Io- ylittää asettelun *XC stage A Str Val* ja laukaisu palautuu.

9.4 Katkeilevien maasulkuvikojen suojaus

Katkeilevan maasulun koestaminen Omicronissa onnistuu vain käyttämällä oikean katkeilevan maasulkutilanteen häiriötallennetta sillä Omicron ei kykene simuloimaan todellista katkeilevaa maasulkua. Koestamisessa käytetään Omicronin työkalua ”Advanced Transplay” jolla voidaan ladata häiriötallenteita ja toistaa tilanne releelle. Katkeilevan maasulun laukaisuun rele vaatii mitatun nollajännite Uo- asetteluarvon *Voltage start value* ylittämisen, mitattu Uo- ja Io- täytyy olla saman

suuntaisia ja transienttipiikkien tulee ylittää *Intr EF counter Lim* asettelun määrän. Koestusohjeen kappaleessa 7 käydään tarkemmin katkeilevat viat läpi.

9.5 SOTF-suojaus

Vikaa vasten kytkennän (Switch-On-To-Fault, SOTF-) koestus tehdään siten, että Omicronille kytketään signaali releen antamasta kiinniohjaukskäskystä. Itse testissä käytetään Omicroniin ”State Sequencer” työkalua. Tarvitaan terve ja maasulussa olevat tilat. Terveen tilan ”Trigger” asetellaan binäärituloksi, jolloin terveestä tilasta siirrytään maasulku tilaan, kun releeltä ohjataan katkaisija kiinni. Tällöin IFPTOC:in tulee laukaista, kunhan maasulku havaitaan *SOTF Cond duration* asetteluajan sisällä. Vikaa vasten kytkennän koestaminen käydään tarkemmin läpi koestusohjeen luvussa 6.

9.6 Koestamatta jääneet asettelut

Joitain asetteluita ei ole käytännöllistä käydä ohjeessa läpi, joko siksi, että ne ovat yksinkertaisia tai siksi, että ne ovat hyvin työläitä koestaa. Koestamatta jätetyt asettelut käydään lyhyesti läpi tässä kappaleessa.

Revert time = Aika, jolla määrätään vaihevirtojen muutossuureiden vaatima ”ennen vikaa” oleva ajanhetki maasulun indikoinnista.

IFPTOC- rekisteröi vastakomponentin arvon asetellun *Revert time*:n välein. Kun maasulku havaitaan, niin käytetään toiseksi viimeisenä rekisteröityä arvoa vikavirran muutostilanteen laskemiseen. *Revert time* on koestuksen kannalta ongelmallinen, koska maasulun syntyhetkestä katsottuna toiseksi viimeiseksi rekisteröity arvo on voitu ottaa miltä tahansa ajanhetkeltä $1-2 \times \text{Revert time}$ väliltä. Käytännössä koestus jouduttaisiin toistamaan noin tuhat kertaa ja analysoida tulokset tilastollisesti, joka olisi turhan työlästä ja aikaa vievää.

SOTF cond duration = katkaisijan kiinniohjauksesta alkava aika, minkä kuluessa maasulun havaitseminen tulkitaan aiheutuneen katkaisijan ohjauksesta johtolähdöllä olevaa vikaa vastaan.

Koestuksessa pitäisi pienin portain lisätä katkasijan kiinniohjauksen ja maasulun alkamisen välistä aikaa, kunnes SOTF:lta ei tule enää laukaisua. Tätä ei voida automatisoida sillä releen kiinniohjauskäsky pitää tehdä joka kerta käsin releen näytöltä. Tästä syystä testaaminen olisi erittäin työlästä.

Koestajaa kiinnostaa vain sellaiset asiat, jotka vaikuttavat suojan pääasialliseen toimintaan eli laukaisuun. Tästä syystä seuraavia asioita ei yleensä koesteta eikä sen vuoksi ole ohjeeseenkaan sisällytetty:

- hälyttävä maasulku (Alarming EF) toiminta
- viallisen vaiheen tunnistus
- vikaresistanssin estimointi
- lukituslogiikka
- rekisteröidyt tiedot.

Jos yllä olevia halutaan koestaa, niin testaaminen on helppo ymmärtää ilman ohjettakin.

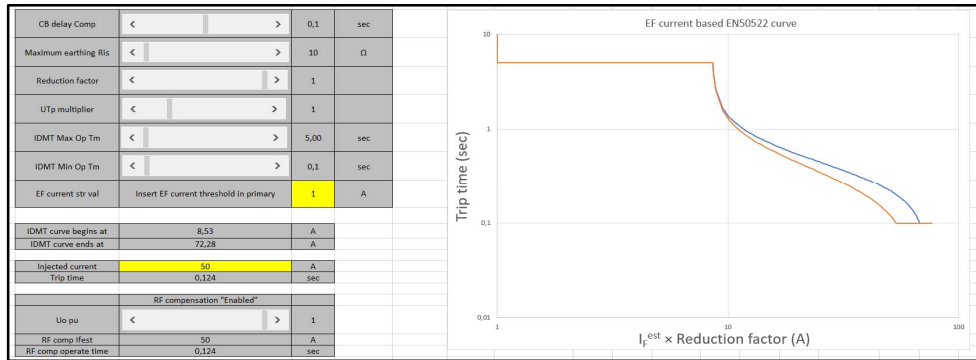
10 EXCEL TYÖKALU KÄÄNTEISAIAKAKÄYRIEN LASKEMISEEN

Excel-työkalu käännteisaikakäyrien laukaisuaikojen laskemiselle luotiin koestajan työn helpottamiseksi ja, koska Omicron ei toistaiseksi pysty kyseisiä kaavoja käsittelemään. Koestamista helpottaa huomattavasti se, että asettelut voi syöttää työkalulle, joka automaattisesti laskee laukaisuajat eri koestusvirran arvoille ja aseteluille. Excel-työkalussa on neljä eri välilehteä missä jokaisessa on oma laskin, asetukset ja käyrän piirto. Excel-työkalu mahdollistaa kahdeksan eri asetuksen säätämisen jokaisella välilehdellä ja piirtää käännteisaikakäyrät niiden mukaan. Excel-työkalulla on mahdollista laskea koestusvirrat, laukaisuajat sekä piirtää maasulkuvirtaan tai kosketusjännitteeseen perustuvat käännteisaikakäyrät EN50522 ja IEEE80-standardin mukaan. Koestaja voi itse valita oman tilanteensa mukaisen laskurin ja tehdä koestukset.

PCM600:aan on tulossa oma visualisointityökalu, jonka ensimmäisellä versiolla voi nähdä laukaisukäyrien muodot, mutta työkalua ei voi käyttää syötettävän virran ja tarkan laukaisuajan laskemiseen. Luotu Excel-työkalu toimii myös mallina PCM600:n visualisointityökalun jatkokehittämiseen.

Haasteena Excel-työkalun kehittämisessä oli laukaisukäyrän muotoihin ja laukaisuaikoihin vaikuttavien asetteluiden määrä. Laskukaavoihin piti laittaa useita laskentaehtoja, josta ei kirjoittajalla ollut aikaisempaa kokemusta. Asettelujen antaminen on tehty liukusäätimillä, koska silloin yksittäisen asettelun vaikutuksen voi säädintä liikuttamalla helpommin havaita. Myös liukusäätimien luonti oli kirjoittajalle uutta.

Kuvassa 21 on esimerkkikuva Excel työkalusta. Koestusohjeen liitteessä 2 on pika-ohje Excel-työkalun käyttämisestä.



Kuva 21. Esimerkkikuva Excel työkalusta.

11 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn lähtökohtana oli luoda koestusohje maasulkusuojafunktiota IFPTOC:lle, sillä kyseessä on useita toiminnallisuuksia sisältävä (monimutkainen), täysin uudella tavalla toteutettu maasulkusuoja, jossa on hyvin paljon asetteluita. Tästä syystä ABB oli päättänyt, ettei suojafunktiota julkaista ennen kuin sen koestusohje on olemassa.

Työn tärkein lopputulos oli itse koestusohje, jota tullaan jakamaan koestajille ympäri maailmaa, niin ABB:n työntekijöille kuin koestusta suorittaville henkilöille sekä loppuasiakkaille. Koestusohjetta luodessa törmäsin muutamaan ongelmaan, jotka voivat estää koestuksen suorittamisen. Koska vastaavaa varmasti tulee tapahtumaan myös muillakin koestajilla, niin kirjoitin koestusohjeen liitteeseen 3 vianetsintäoppaan yleisimmille ongelmille.

Koestusohjeen alussa on käyty läpi ne oletukset, jonka mukaan koestukset on tehty. Ohjeessa on esimerkiksi oletettu käytettävän mitattua nollajännitettä U_o-, mutta jos käytössä onkin laskettu nollajännite niin se on käsitelty ohjeen liitteessä 1. Yleisesti testit kuitenkin on tehty siten, että ne ovat mahdollisimman yleispätevät ja helposti sovellettavissa kytkennöistä tai koestuslaitteesta huolimatta.

Koestusohjetta tehdessä ABB ei ollut vielä tehnyt loppuun omia toiminnallisuustestejä, mistä johtuen suojan suorituskykytoleransseja ei ole vielä määritelty eikä toiminnallisuuttakaan oltu vielä täydellisesti jäädytetty. Työn aikana löytyi useita toimintavirheitä ("bugeja") ja suojaohjeen dokumentaatiosta löytyi muutamia virheitä. Koestusohjeen luomisen yhteydessä jouduin tekemään lukuisia erilaisia koestuksia parhaimman metodin löytämiseksi. Löydetyistä toimintavirheistä keräsin tiedot talteen ja raportoin suunnittelulle. Työn etenemistä hidasti toimintavirheiden korjausten odottelu, sillä joitakin testejä ei voitu tehdä, ennen kuin suojaohjeen toiminnallisuusvirheet oli korjattu sekä haluttu toiminnallisuus "jäädytetty".

Koestuksessa lähtökohtana on, että jokaisessa testissä mitataan oikeaa asiaa oikealla menetelmällä (validiteetti eli pätevyys tai kelpoisuus) ja se, että tulokset ovat luotettavia sekä toistettavissa olevia (reliabiliteetti eli luotettavuus). Tässä työssä oli tarkoitus löytää oikea, toimiva ja mielellään yksinkertainen tapa kunkin yksittäisen asettelun koestamiseksi. Koska suojauslohko ei aina toiminut täysin oikein edellä mainituista syistä johtuen, niin haasteena oli koestustapojen, itse suojauslohkon ja sen halutun toiminnan syvällisempi ymmärtäminen.

Alun perin koestusohjeen piti olla valmis kesäkuun lopussa, mutta tuotejulkaisun siirtymisen vuoksi aikataulu muuttui myöhemmäksi.

Jatkotutkimusaiheita löytyi useita:

1. Kaksoismaasulun suojaus käyttää laskettua nollavirtaa, sille olisi hyvä olla jonkinlainen laskentatyökalu, jos käytössä ei ole Omicronia.
2. Omicrolle tuki käänteisaikojen laskentaan niin, että Omicronin käyttäjät eivät tarvitsisi erillistä Excel työkalua. Tästä on keskusteltu Omicronin kanssa.
3. PCM:ään käänteisaikakäyrien visualisointityökalun kehittäminen, jos mahdollista, palvelemaan koestajaa kuten Excel-työkalu.
4. Omicron ohjelmaan toimiva katkeilevien vikojen testaustyökalu. Tällä hetkellä oikeaa häiriötallennetta simuloimalla koestus onnistuu, mutta pelkillä Omicronin tarjoamilla työkaluilla ei onnistu.
5. Excel työkalun laajentaminen kattamaan kaikki IFPTOC:in asetukset ja siten saisi laukaisuajat laskettua jokaiselle asetukselle.

LÄHTEET

ABB Oy. 2020. REX640 Technical Manual. Luku 11. Viitattu 14.8.2022. https://library.e.abb.com/public/6e9f5a30118d4a6eb1172f48df667eae/REX640_tech_759142_ENe.pdf

ABB Oy. Sisäinen materiaali. AFL Function Specification IFPTOC.

ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, Maasulkusuojaus.

CIREC 2019. Improving personal safety in MV-networks through novel earth-fault current based feeder protection. Viitattu 14.8.2022. <https://www.cired-repository.org/handle/20.500.12455/120>.

CIREC 2015. Post-fault oscillation phenomenon in compensated MV-networks challenges earth-fault protection. Viitattu 14.8.2022. <https://www.elenia.fi/files/2caf1c41b8ccb552af5410f293436408a706def4/hajautetun-kompensoinnin-kentta-mittaukset.pdf>

Cleveland clinic. 2021. Ventricular fibrillation. Viitattu 25.7.2022. <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/21878-ventricular-fibrillation>

Hekkala, A. 2020. Kammiovärinä. Viitattu 20.7.2022. <https://sydan.fi/fakta/kammiovarina/>

Koski, J. Sähköverkot. Maasta erotetun verkon maasulku -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.8.2022

L 16.12.2016/1135. Sähköturvallisuuslaki. Finlex. Viitattu 18.7.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135>

Lehtonen, M. & Hakola, T. 1996. Neutral earthing and power system protection. Vaasa. ABB Transmit Oy.

Lehesvuo, V. ABB Oy. Sisäinen koulutusmateriaali. Earth-fault protection. 2021.

Lehesvuo, V. & Vedenjuoksu, T. ABB Oy. KJ/SJ -relesuojausten tarkastaminen.

Lehesvuo, V. Kommentti opinnäytetyöstä. Viitattu 13.8.2022.

Mikander, P. 2020. Kompensoidun 20 kV maakapeliverkon käyttö maasulun aikana. Lappeenrannan-lahden teknillinen yliopisto. Diplomityö. Sähkötekniikka. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/161835/Diplomity%C3%B6_Mikander_Petteri.pdf?sequence=1

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

SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset. 4. Helsinki. Suomen standardoimisliitto. 2015. 156 s. Viitattu 14.8.2022.

Tukes. 2015. Kodin sähköturvallisuus. Viitattu 15.8.2022.

Viljamaa, E. 2022. 110 kV:n sähköverkon vaara- ja häiriöjännitteiden laskenta. Vaasan yliopisto. Diplomityö. Sähkötekniikka. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/14169/Diplomity%C3%B6_EemilViljamaa.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Västi, M. Relesuojaus. Kompensoidun verkon maasulkusuojaus -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.8.2022

Västi, M. Relesuojaus. Maasta erotetun verkon maasulkusuojaus -opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.8.2022

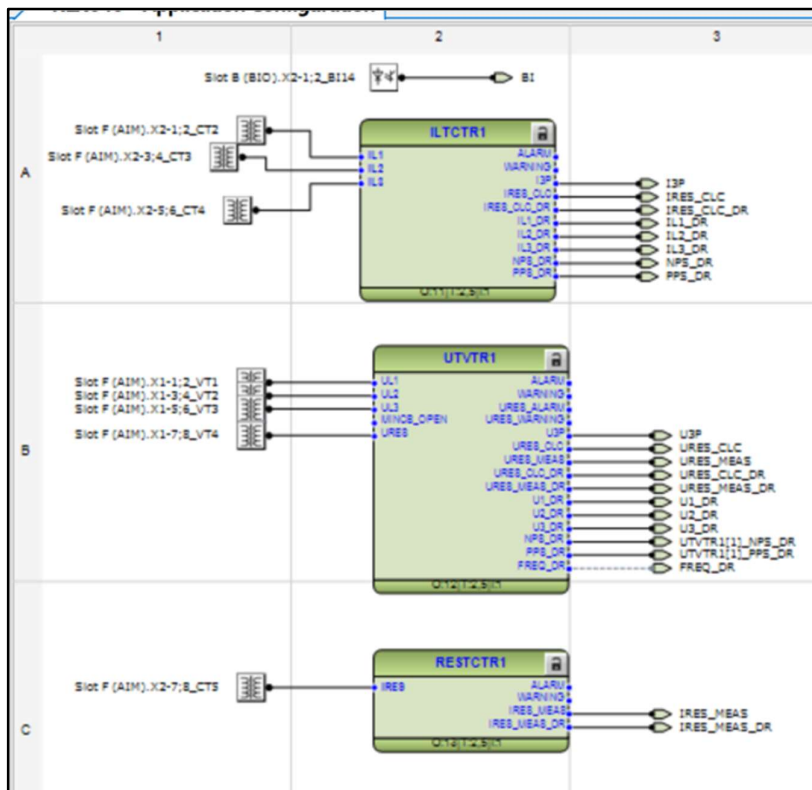
Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. Compensated neutral networks and multi-frequency admittance protection. Sivu 28.

Wahlroos, A. & Altonen, J. ABB Oy. IFPTOC tarina. Julkaisematon esitysmateriaali.

LIITE 1.

Koestukseen luotu relekonfiguraatio

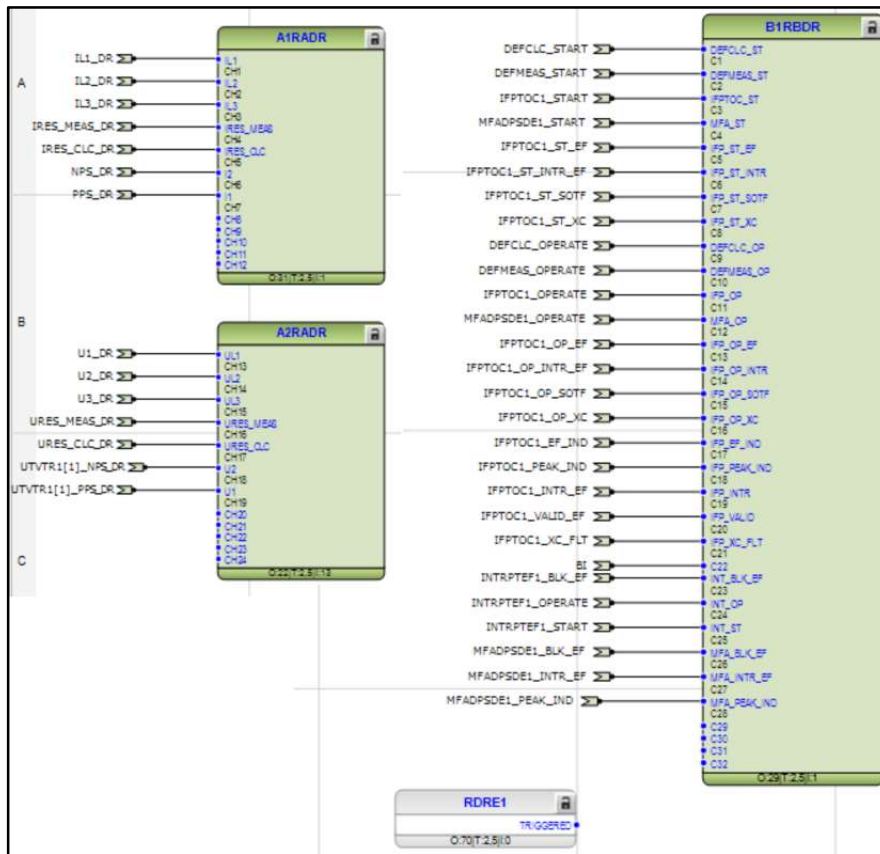
Tässä kappaleessa käydään konfiguraatio läpi, sekä mihin mitäkin lohkoa käytetään. Luodussa testikoestuksessa releelle kytketään vaihejännitteet, primäärijännite on 11548 V, ja toisiojännite 100 V, primäärivirta on 100 A, ja toisiovirta 1 A. Kuvassa 1 on esitetty ”Signaali” välilehden konfiguraatio. Signaali välilehdellä on yksi binäärilähdön signaalin määrittäminen ja vaihevirtojen, jännitteiden sekä nollavirran ja nollajännitteen esiprosessointilohkoja ILTCTR1, UTVTR1 sekä RESTCTR1, joiden avulla mittauskanavat käsitellään.



Kuva 1. Signaali välilehti.

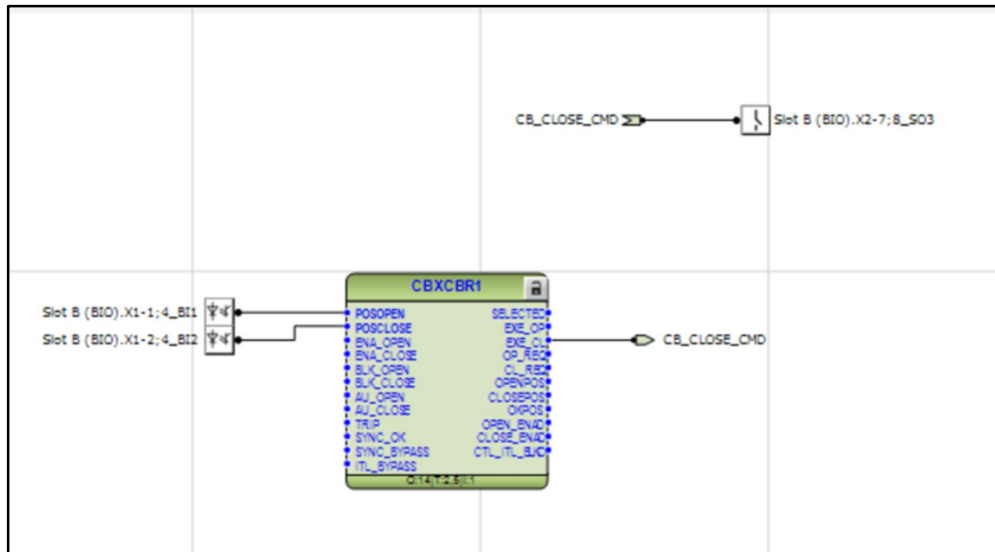
Kuvassa 2 nähdään ”Mittaukset” välilehti.

Häiriötallentimen A1RADR ja A2RADR lohkot ovat häiriötallentimen analogikanavat 1...24, B1RBDR on häiriötallentimen binäärikanavat 1...32 ja RDRE on häiriötallennin.



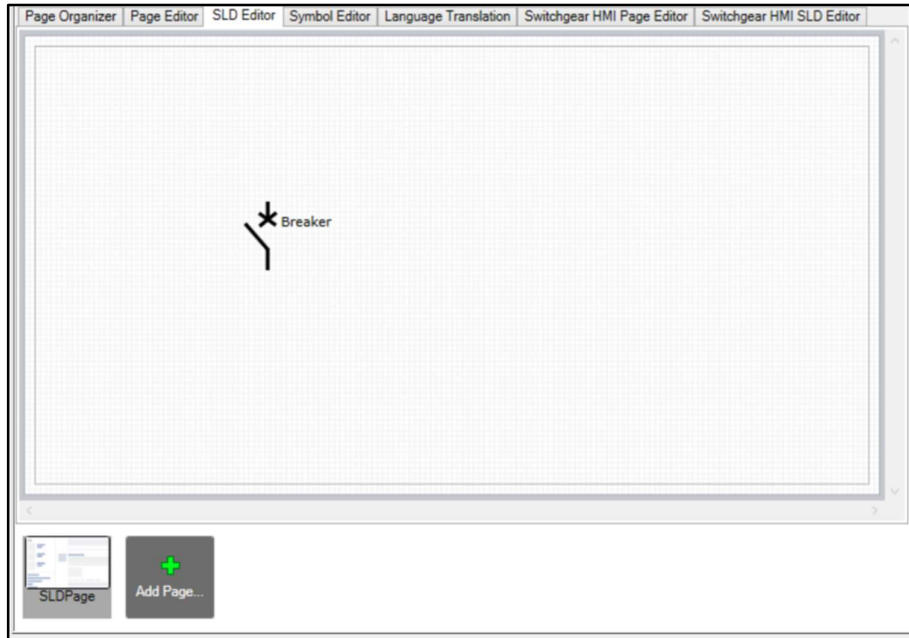
Kuva 3. Häiriötallennin välilehti.

Kuvassa 4 nähdään "Suojafunktio" välilehti missä on konfiguroitu kaikki suojaukset, jotka releellä on käytössä. Suojafunktio välilehdeltä löytyy lohkot DEFLPDEF1, DEFLPDEF2, MFADPSDE1, INTRPTEF1, IFPTOC1, TOFGAPC1 sekä kaksi OR lohkoa.



Kuva 5. Control välilehti.

Viimeisenä konfiguraation kohtana, REX640 mahdollistaa myös releen näytön näkymän vapaan konfiguroinnin, joten lisäksi SOTF toiminnon testausta varten katkaisijan symbolin releen näytölle. Kuvassa 6 näytetään GraphicalDisplayEditor työkalu, jolla voi vaikka kuten tässä tapauksessa, lisätä katkaisija releen näytölle. Kyseinen katkaisija on yhdistetty CBXCBR lohkokon.



Kuva 6. GraphicalDisplayEditor:n SLD Editor välilehti.



Testing Touch Voltage Based Earth-fault Current Protection Function IFPTOC with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Contents:

1	Scope	2
2	Introduction	3
3	General fault criterion	6
3.1	Voltage start value.....	6
3.2	Fault direction (validity of earth-fault current estimate)	9
3.3	EXT_RELEASE input.....	11
4	Earth-fault (EF) current and touch voltage protection	13
4.1	Operation principle = EF current based, testing <i>EF current Str Val</i>	14
4.2	Operation principle = Touch voltage based, testing <i>Touch Vol Str Val</i>	15
4.3	Operating curve type = Definite time, testing <i>DT stage Op time</i>	17
4.4	Operating curve type = Inverse time, with <i>Ena RF compensation</i>	18
4.5	Enable harmonics	21
4.6	Max Dur delta Calc	23
4.7	Reset delay time	25
4.8	Ena cyclic reset.....	26
5	Cross-country fault protection	28
5.1	Testing <i>XC stage PP V Val</i>	29
5.2	Enable <i>XC Op mode</i> = on, testing <i>XC stage A Str Val</i>	30
5.3	Enable <i>XC Op mode</i> = on, testing <i>XC stage Op time</i>	32
5.4	Enable <i>XC Op mode</i> = off, testing <i>XC stage A Str Val</i>	33
6	SOTF protection	35
7	INTERMITTENT EF protection	37
	Appendix 1: VT connection types	41
	Appendix 2: Quick guide for IFPTOC function IDMT curve calculator Excel-tool ..	42
	Appendix 3: Troubleshooting.....	45
	Document history, Disclaimer and Copyrights, Trademarks, Contact information....	49

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

1 Scope

The present document describes how to test the touch voltage-based earth-fault current protection function IFPTOC with Omicron secondary injection test device. This document is intended for persons who already have basic information and some experience on testing earth-fault protection.

First, guidelines are given how to test General fault criterion related setting *Voltage start value* and operations including EXT_RELEASE input. All tests are presented with illustrative example.

After that, guidelines are given on how to test earth-fault (EF) current and touch voltage protection. The following settings will be tested: *EF current Str Val*, *Touch Vol Str Val*, *DT stage Op time*, *Ena RF compensation*, *Enable harmonics*, *Max Dur delta Calc*, *Reset delay time*, *Ena cyclic reset* and inverse times related settings.

Then, guidelines on how to test and verify IFPTOC cross-country fault detection are given. These parameters will be tested: *XC stage PP V Val*, *XC stage A Str Val* and *XC stage Op time*.

Finally, guidelines are given on how to test and verify switch onto fault (SOTF) protection and intermittent earth fault functionality.

The given rules in this document are applicable for IFPTOC function and any protection relay where it is used.

KEYWORDS: earth-fault protection, touch voltage, IFPTOC

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

2 Introduction

IFPTOC calculates change in threefold negative-sequence component due to earth fault to estimate earth-fault current:

$$I_F^{est} = 3 * \Delta I_2$$

where $\Delta I_2 = \text{abs}(\bar{I}_2(\text{fault}) - \bar{I}_2(\text{pre-fault}))$, i.e., negative sequence component (I_2) during fault subtracted with value measured before fault.

Note that the fault current has two paths: setting *Reduction factor* is used to define how much of the fault current introduce rise of earth potential. Rest of the fault current is assumed to flow back e.g. through cable sheaths. Only the effective, i.e., *Reduction factor* * I_F^{est} determines the operation of the IFPTOC function.

Touch voltage estimate is then calculated as:

$$U_{TF}^{est} = \text{Maximum earthing Ris} * \text{Reduction factor} * I_F^{est}$$

The testing guidelines and instructions in this document are based on the following assumptions:

- Omicron test values are given in secondary
- measured U_0 is used, nominal secondary voltage 100V
- measured I_0 is used, nominal secondary current 1A. However, note that cross country fault protection uses always calculated I_0 !
- nominal secondary phase current is 1A
- VT connection is wye, nominal secondary phase-to-phase voltage is 100V, phase-to-earth voltage 57.74V
- *Operating mode* is set as “Tripping EF”

Other VT connections and using calculated U_0 is presented in Appendix 1.

IFPTOC function operation in brief

- 1) EF is detected (= general fault criterion, GFC, output EF_IND = True) and validity of fault current confirmed (output VALID_EF = True) when either
 - U_0 exceeds Voltage start value and resistive component of measured I_0 has positive polarity
 - Or EXT_RELEASE input is activated

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

- 2) In EF current based and touch voltage-based principle, protection starts when the following conditions are met:
 - GFC is fulfilled (output EF_IND = True), validity of fault current confirmed (output VALID_EF = True) and either estimated fault current I_F^{est} , taking account *Reduction factor*, exceeds setting *EF current Str Val*, or estimated touch voltage exceeds *Touch Vol Str Val*
- 3) In Cross-country function, protection starts when following conditions are met:
 - GFC is fulfilled (output EF_IND = True),
 - Estimated fault current exceeds *XC Stage A Str Val*
 - Calculated I_o exceeds *XC Stage A Str Val*
- 4) Switch onto Fault (SOTF), protection starts when following conditions are met:
 - GFC is fulfilled (output EF_IND = True), within set *SOTF Cond duration* after CB closing
- 5) Intermittent earth fault protection starts when following conditions are met
 - U_o exceeds setting *Voltage start value* (output EF_IND = True)
 - U_o and I_o transients have same polarity, i.e., validity of fault current is confirmed (output VALID_EF = True)
 - At least one transient is detected in the protected feeder and either estimated fault current I_F^{est} taking account *Reduction factor* exceeds setting *EF current Str Val*, or estimated touch voltage exceeds *Touch Vol Str Val*. For tripping the number of detected transients must exceed the *Intr EF counter Lim* setting and operate delay time *Intr EF operate time* must have elapsed.

When testing the IFPTOC function, note that a high calculated I_o will be detected as a cross-country earth-fault which blocks other IFPTOC functionality. Table 1 shows estimated fault current values as well as corresponding calculated I_o with different kind of phase current injections.

Table 1. Examples of current injections

Injection	Estimated fault current	Calculated I_o
1-phase injection	= 1 x injected current	= 1 x injected current
2-phase injection, normal phase rotation 120 deg in between	= 1 x injected current	= 1 x injected current
2-phase injection, opposite phase rotation 120 deg in between	= 2 x injected current	= 1 x injected current
2-phase injection, 0 deg in between	= 1 x injected current	= 2 x injected current
2-phase injection, 180 deg in between	= $\sqrt{3}$ x injected current	= 0
3-phase injection, normal phase rotation	= 0	= 0
3-phase injection, opposite phase rotation	= 3 x injected current	= 0

Testing IFPTOC function with Omicron


Testing guideline for secondary testing

Table 2 shows those IFPTOC settings that are excluded from this document.

Table 2. IFPTOC settings with no test guideline in this document.

Setting	Description	Comment
<i>Revert time</i>	Revert time for delta-calculation	Cannot be measured accurately.
<i>SOTF Cond duration</i>	Switch-OnTo-Fault module duration	Cannot be measured accurately.
<i>Operation mode: "Alarming EF"</i>	Operation criteria	Only difference to "Tripping EF" is that "Alarming EF" does not trip, for that reason trip times cannot be measured with "Alarming EF" operation mode.

Notes:

- Troubleshooting guidelines can be found in Appendix 3.
- IFPTOC operation principle explanatory text is shown with a icon 
- **This document has been written before IFPTOC tolerances have been defined. Therefore, all tolerances shown in the example test results are examples only.**

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

3 General fault criterion

Figure 1 shows flow chart of recommended test order of General fault criterion.

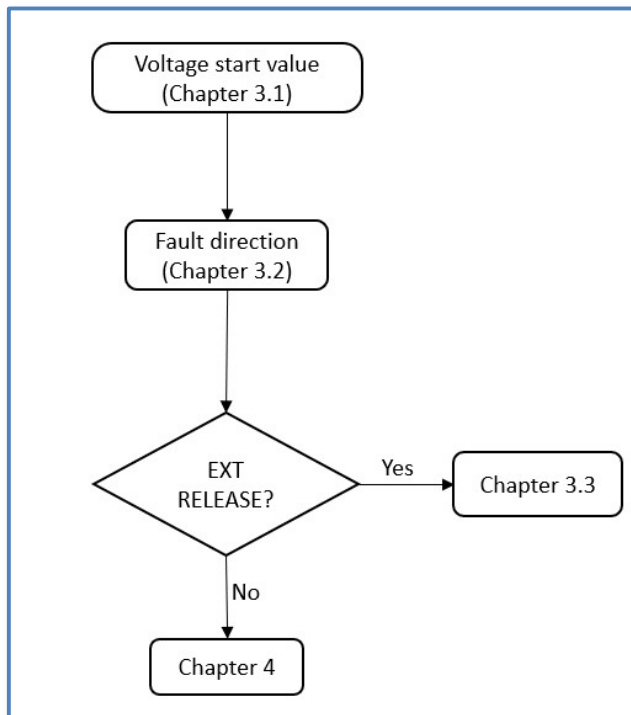


Figure 1. Flow chart of the recommended test order of General fault criterion.

3.1 Voltage start value

Before testing, you need to know relay rated secondary voltage U_n . This is because the *Voltage start value*-setting in the IFPTOC function is given as multiple of this setting [xU_n]. Figure 2 shows an example of U_o input setting which is found in PCM600 – tool, under *configuration – analog inputs*. In this example Secondary voltage is 100V.

TPC640 - Parameter Setting					
Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ Voltage (Uo): 1					
✓ Voltage (Uo)					
✓ Primary voltage		11,548	kV	0,100	800,000
✓ Secondary voltage		100	V	57	240
✓ Amplitude Corr		1,0000		0,9000	1,1000
✓ Angle correction		0,0000	deg	-8,0000	8,0000

Figure 2. Example of voltage setting for measured U_o -channel (U_o , VT).

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

For testing *Voltage start value* -setting, either Omicron Quick CMC or Pulse Ramping tool can be used. The Pulse Ramping tool is recommended as it can be used for automating the test and after each voltage step, protection needs to reset for getting accurate result.

Using Pulse Ramping -tool

Follow the next steps when setting Omicron using pulse ramping tool:

- Inject nominal secondary current to measured I_o -input
- Inject nominal secondary phase current to one phase current input so that *EF current Str Val* or *Touch Vol Str Val* is exceeded
- Phase voltages in fault state can be nominal or 0V (does not affect test result)
- Set angle between current I_o and voltage U_o to 0deg
- Pre-fault time 0 sec
- Delta 50mV
- Reset time should be longer than *Reset delay time* setting
- Fault time should be longer than protection trip time
- Ramp up the residual voltage (U_o) until protection function starts/operates

Expected result: When U_o magnitude exceeds setting *Voltage start value*, IFPTOC will give EF_IND signal and after that IFPTOC will START and OPERATE.

Example

Relay is set:

- U_n is 100V and I_n is 1A in secondary
- *Voltage start value* is $0.2 \times U_n$
- *Operating curve type* = Definite time
- *DT stage Op time* is 200ms

Setting $0.2 \times U_n$ is $0.2 \times 100V = 20V$ in secondary, i.e., this is the expected U_o voltage value at which relay should start/operate.

Figure 3 shows example of “Reset and Fault state” settings in Pulse Ramping tool, where magnitudes of phase currents and voltages are showed. Figure 4 shows “Ramp” setting, where voltage is ramped from 10 to 25 V with step-up voltage delta 50 mV and Fault time 2s. Figure 5 shows result of the pulse ramp test, where U_o voltage has been increased until protection starts/operates.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Reset State			Fault State		
U L1-E	57,74 V	0,00	Set Mode	Direct	
U L2-E	57,74 V	-120,00	U L1-E	0,00 V	0,00 ° 50,00 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00	U L2-E	0,00 V	-120,00 ° 50,00 Hz
I L1	1,000 A	0,00	U L3-E	0,00 V	120,00 ° 50,00 Hz
I L2	1,000 A	-120,00	I L1	1,000 A	0,00 ° 50,00 Hz
I L3	1,000 A	120,00	I L2	0,00 A	-120,00 ° 50,00 Hz
U _o	0,00 V	0,00	I L3	0,00 A	120,00 ° 50,00 Hz
I _o	0,00 A	0,00	U _o	10,00 V	0,00 ° 50,00 Hz
			I _o	1,000 A	0,00 ° 50,00 Hz

Figure 3. Reset and Fault State settings in Omicron Pulse Ramping tool

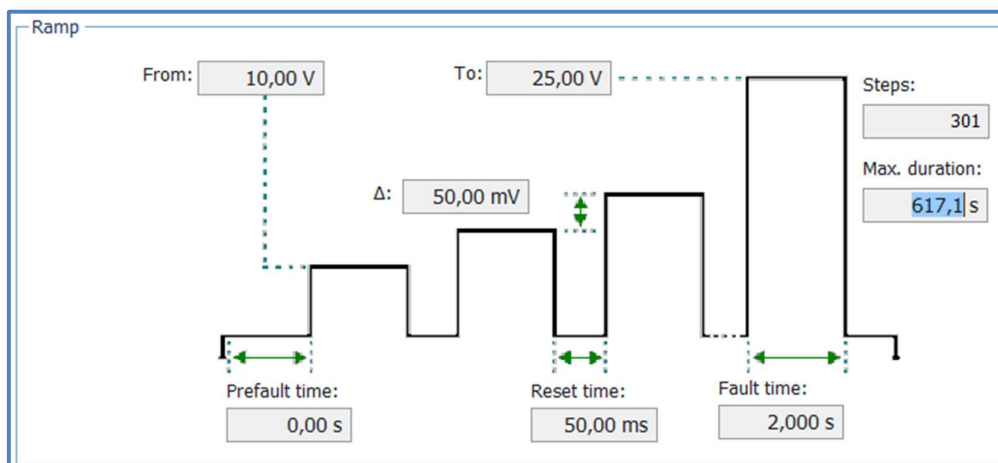


Figure 4. Ramp settings in Omicron Pulse Ramping tool

Assess on	Nom	Tol+	Tol-	Act	Dev	Assess
Trip 0>1	20,00 V	100,0 mV	200,0 mV	20,10 V	100,0 mV	✓

Figure 5. Example test result in Omicron Pulse Ramping tool



In many tests, single (or two) phase current injection is required so that estimated fault current, or touch voltage exceeds setting. At the same time calculated I_o must remain below XC Stage A Str Val setting or otherwise function will see situation as a double-earth fault. This might be difficult at high test currents. One solution would be to use 3-phase current injection with opposite phase order as then estimated fault current equals three times injected current, but calculated $I_o = 0$.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

3.2 Fault direction (validity of earth-fault current estimate)



Operation principle: Validity of earth-fault current estimate is confirmed by evaluating the polarity of the resistive part of measured admittance ($\text{real}(\underline{Y}_o) = \text{real}(\underline{I}_o/\underline{U}_o)$) at begin of the fault i.e., when U_o exceeds set start threshold.

For testing angle validity use Pulse Ramping tool in Omicron, two tests are required:

Test 1

- Ramp settings for the phase angle of U_o
 - Prefault time 100ms
 - Reset time at least *Reset delay time*
 - Fault time must be higher than IFPTOC trip time
 - Phase angle of U_o from -100°
 - T_o 90°
 - Δ 1°
 - Signal = U_o phase angle
- Fault State
 - U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} = nominal voltage
 - I_{L1}, I_{L2} = nominal current
 - $I_{L3} = 0A$
 - U_o = higher than *Voltage start value*
 - I_o = nominal current, phase angle 0 deg
- Reset State
 - U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} = nominal voltage
 - I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} = nominal current
 - $U_o = 0V$
 - $I_o = 0A$

Expected result: when U_o phase angle is -90deg , protection trips.

Figure 6 shows Ramp settings, figure 7 shows Fault State and Reset State settings. Figure 8 shows test results.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

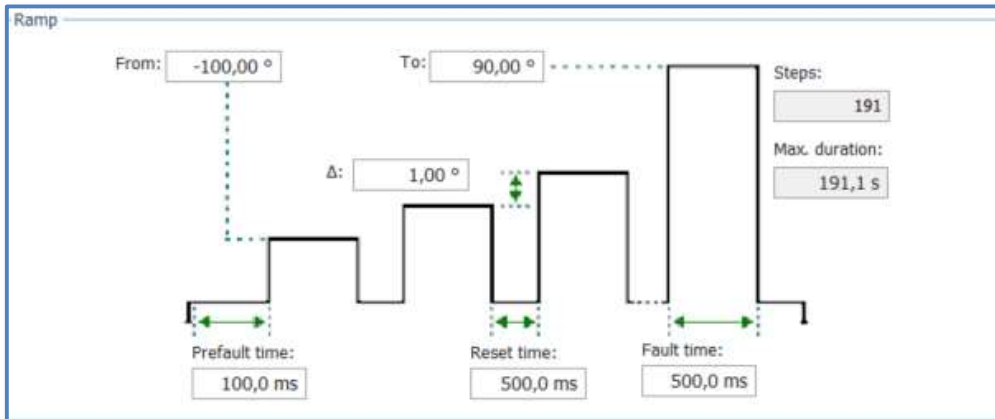


Figure 6 Ramp Settings in Omicron Pulse Ramping tool

Reset State			Fault State		
U L1-E	57,74 V	0,00	Set Mode	Direct	
U L2-E	57,74 V	-120,00	U L1-E	57,74 V	$0,00^\circ$ 50,00 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00	U L2-E	57,74 V	$-120,00^\circ$ 50,00 Hz
I L1	1,000 A	0,00	U L3-E	57,74 V	$120,00^\circ$ 50,00 Hz
I L2	1,000 A	-120,00	I L1	0,00 A	$0,00^\circ$ 50,00 Hz
I L3	1,000 A	120,00	I L2	1,000 A	$-120,00^\circ$ 50,00 Hz
U _o	0,00 V	0,00	I L3	1,000 A	$120,00^\circ$ 50,00 Hz
I _o	0,00 A	0,00	U _o	20,50 V	$0,00^\circ$ 50,00 Hz
			I _o	1,000 A	$0,00^\circ$ 50,00 Hz

Figure 7. Fault and Reset State in Omicron Pulse Ramping tool

Assessment						
Assess on	Nom	Tol+	Tol-	Act	Dev	Assess
Trip 0>1	$-90,00^\circ$	$2,00^\circ$	$2,00^\circ$	$-89,00^\circ$	$1,00^\circ$	✓

Figure 8. Example test Result in Omicron Pulse Ramping tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Test 2

Everything else stays same but in Ramp settings change Uo phase angle:

-From 100°

-To -90°

Expected result: Uo phase angle is +90deg, protection trips.

Figure 9 shows Ramp settings and figure 10 shows test result.

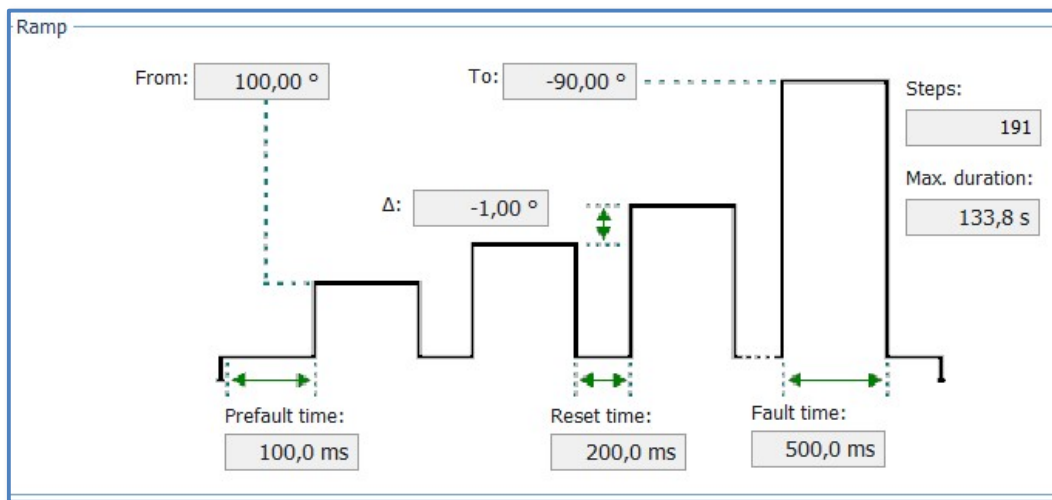


Figure 9. Ramp settings

Assess on	Nom	Tol+	Tol-	Act	Dev	Assess
Trip 0>1	90,00 °	2,00 °	2,00 °	90,00 °	0,00 °	✓

Figure 10. Example test result in Omicron Pulse Ramping tool

3.3 EXT_RELEASE input

When testing EXT_RELEASE -input note that another earth fault protection function, for example MFADPSDE or DEFxPDEF, is needed to activate the EXT_RELEASE input. Typically, the EXT_RELEASE is used in case of earth-faults in unearthed network.



In this test, the earth-fault should be such that IFPTOC does not detect it, instead MFADPSDE or DEFxPDEF gives START signal to EXT_RELEASE input. This means that DEFxPDEF has to be set to operate in unearthed network with e.g., Operation mode = IoSin.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

For testing use State Sequencer tool on Omicron and follow these steps:

- State 1 (pre-fault state)
 - UL1, UL2, UL3 = 0V
 - IL1, IL2, IL3 = 0A
 - U_o = 0V
 - I_o = 0A
 - Trig time 1s
- State 2 (fault state)
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage (or 0V)
 - IL1, IL2 = nominal current
 - IL3 = 0A
 - U_o = higher than *Voltage start value*
 - I_o = nominal current, phase angle 0 deg
 - **U_o = -93deg angle** because then IFPTOC GFC does not see fault (negative resistive component), but MFADPSDE and DEFxPDEF is expected to detect the fault i.e., set to operate in unearthed network.
 - Trig time higher than IFPTOC trip time

Figure 11 shows State settings.

Expected result: IFPTOC start and operates after set trip time.

Figure 12 shows test results.

	1			2		
Name	State 1			State 2		
U L1-E	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	0,00 V	-120,00 °	50,000 Hz	0,00 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	0,00 V	120,00 °	50,000 Hz	0,00 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
U _o	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-93,00 °	50,000 Hz
I _o	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger	1,000 s			1,000 s		

Figure 11. State settings in Omicron State Sequencer tool

Time Assessments: EXT_RELEASE in IFPTOC_test_template.occ										
Time Assessment										
Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
1 Trip time	State 2	State 2	Trip 0>1	200,0 ms	15,00 ms	15,00 ms	210,2 ms	10,20 ms		✓

Figure 12. Example test result in Omicron State Sequencer tool

4 Earth-fault (EF) current and touch voltage protection

Figure 13 shows flow chart of earth-fault (EF) current and touch voltage protection test order.

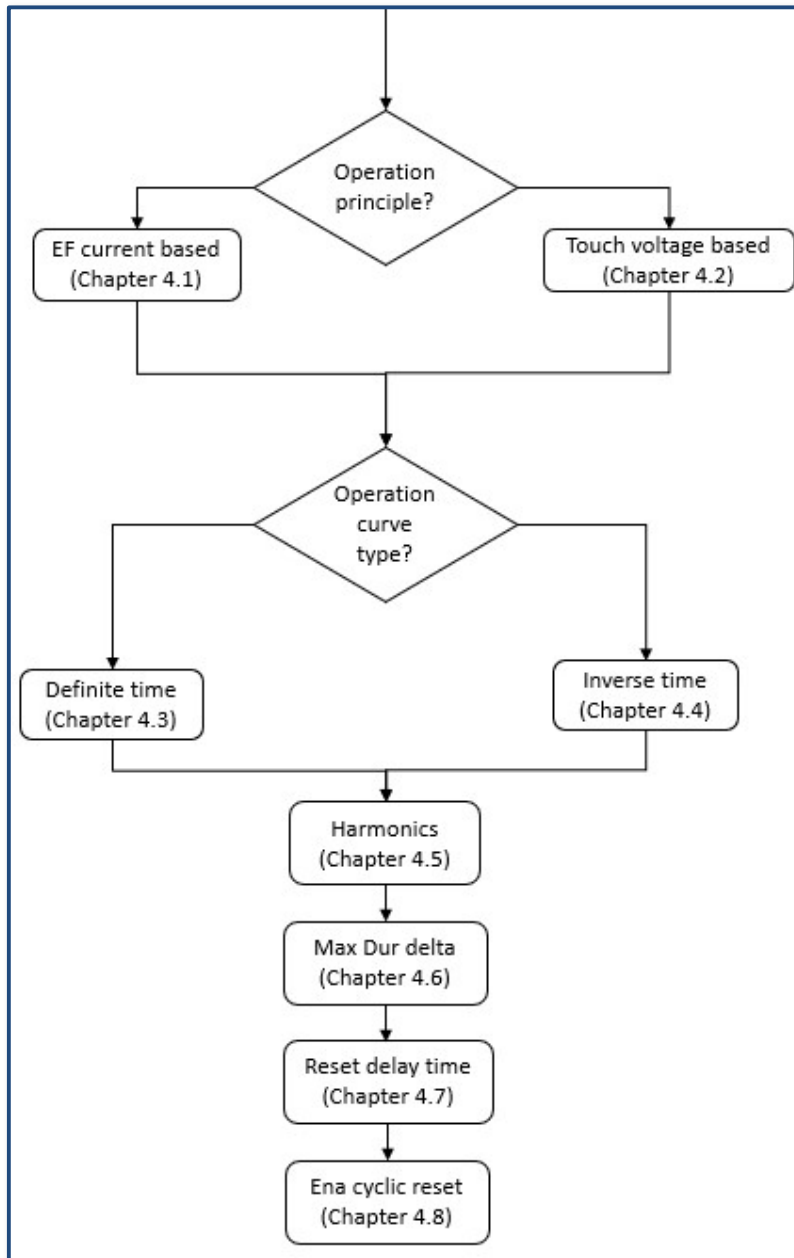


Figure 13. Flow chart of the test order of earth-fault current and touch voltage protection.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

4.1 Operation principle = EF current based, testing *EF current Str Val*

To test this parameter, use Ramping tool on Omicron and follow these steps:

- Ramp settings
 - Ramp phase current IL1 amplitude higher than set *EF current Str Val* divided by the *Reduction factor*
 - IL2, IL3 = 0A
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - Uo = higher than set *Voltage start value*
 - Io = nominal current
 - Angle between Io and Uo = 0deg

Expected result: Protection starts and trips when IL1 amplitude exceeds *EF Current Str Val* divided by the *Reduction factor*.

Figure 14 shows ramp settings, figure 15 shows ramp state and figure 16 shows test results.

Signal 1:		Quantity 1:		Signal 2:		Quantity 2:		
IL1		Magnitude		(none)		Frequency		
Signal 1								
Ramp	From	To	Delta	dt	d/dt	Steps	Time	Stop condition
Ramp 1	0,00 A	50,00 mA	1,000 mA	100,0 ms	10,00 mA/s	51	5,100 s	Start 0->1

Figure 14. Example of Ramp settings when *EF Current Str Val* = $0.01 \times I_n$

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Ramp State 1			
U L1-E	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,73 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,73 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
Uo	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
Io	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz

Figure 15. Ramp state in Omicron Ramping tool

Ramp Assessments: EF Current Str Val in IFPTOC_test_template.occ											
Ramp Assessments											
Name	Ramp	Condition	Signal	Nom.	Dev.-	Dev.+	Act.	Dev.	Assessment	Tact	
1 Pick-up	Ramp 1	Start 0->1	I L1	10,00 mA	0,00 A	0,00 A	10,00 mA	0,00 A		30,10 ms	

Figure 16. Example test result in Omicron Ramping tool

4.2 Operation principle = Touch voltage based, testing *Touch Vol Str Val*

Earth fault current required for tripping is calculated as

$$I_F^{est} = \frac{\textit{Touch Vol Str Val}}{\textit{Maximum earthing Ris} * \textit{Reduction factor}}$$

Setting *Touch Vol Str Val* is given in primary volts and setting *Maximum earthing Ris* in primary ohms. Thus, the calculated result is in primary amps. However, in this test document secondary values are used in testing.

In this example test *Touch Vol Str Val* = 80V, *Maximum earthing Ris* = 10 Ohms and *Reduction factor* = 1. Expected result is trip at $\frac{80V}{10\Omega * 1} = 8A$ in primary, with phase CT ratio as 100/1A this equals 80mA in secondary.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

To test this parameter, use Ramping tool on Omicron and follow these steps:

- Ramp settings
 - Ramp phase current amplitude IL1
 - IL2, IL3 = 0A
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - U_o = higher than set *Voltage start value*, 0deg
 - I_o = nominal current, 0deg

Expected result: Protection starts and trips when estimated touch voltage exceeds *Touch Vol Str Val*.

Figure 17 shows ramp settings, figure 18 shows ramp state and figure 19 shows test results.

Signal 1:	Quantity 1:	Signal 2:	Quantity 2:
IL1	Magnitude	(none)	Frequency

Signal 1								
Ramp	From	To	Delta	dt	d/dt	Steps	Time	Stop condition
Ramp 1	0,00 A	100,0 mA	10,00 mA	100,0 ms	100,0 mA/s	11	1,100 s	Start 0->1

Figure 17. Example of Ramp settings in Omicron Ramping tool

Ramp State 1			
U L1-E	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,73 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,73 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
U _o	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
I _o	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz

Figure 18. Ramp State in Omicron Ramping tool

Ramp Assessments: Touch-voltage Str Val in IFPTOC_test_template.occ											
Ramp Assessments											
Name	Ramp	Condition	Signal	Nom.	Dev.-	Dev.+	Act.	Dev.	Assessment	Tact	
1 Pick-up	Ramp 1	Start 0->1	I L1	80,00 mA	10,00 mA	10,00 mA	80,00 mA	0,00 A	✓	31,00 ms	

Figure 19. Example test result in Omicron Ramping tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

4.3 Operating curve type = Definite time, testing DT stage Op time

For testing *DT stage time Op* -setting use State Sequencer test tool in Omicron and follow these steps:

- State 1:
 - IL1, IL2, IL3 = nominal current
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - Io = 0A, 0deg
 - Uo = 0V, 0deg
 - Time 1s for example
- State 2:
 - Uo = higher than set *Voltage start value*
 - Io = nominal current
 - Set current amplitude in one phase to zero, keep others at nominal secondary values. (It is assumed that then *EF current Str Value / Reduction factor* is below $1.73 \times I_n$)
 - Trigger time must be higher than IFPTOC *DT stage Op time*
- State 3:
 - IL1, IL2, IL3 = nominal current
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - Io = 0A, 0 deg
 - Uo = 0V, 0 deg
 - Trigger time 1s for example.

Expected result: Protection starts at state 2 and trips according to set *DT stage Op time*. Trip time is measured from begin of state 2 to the relay trip contact closing.

Figure 20 shows example setting for State sequencer. Figure 21 and figure 22 shows test result.

	1			2			3		
Name	State 1			State 2			State 3		
U L1-E	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz
Uo	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz
Io	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger		1,000 s			1,000 s			1,000 s	

Figure 20. State sequencer settings in Omicron State Sequencer tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

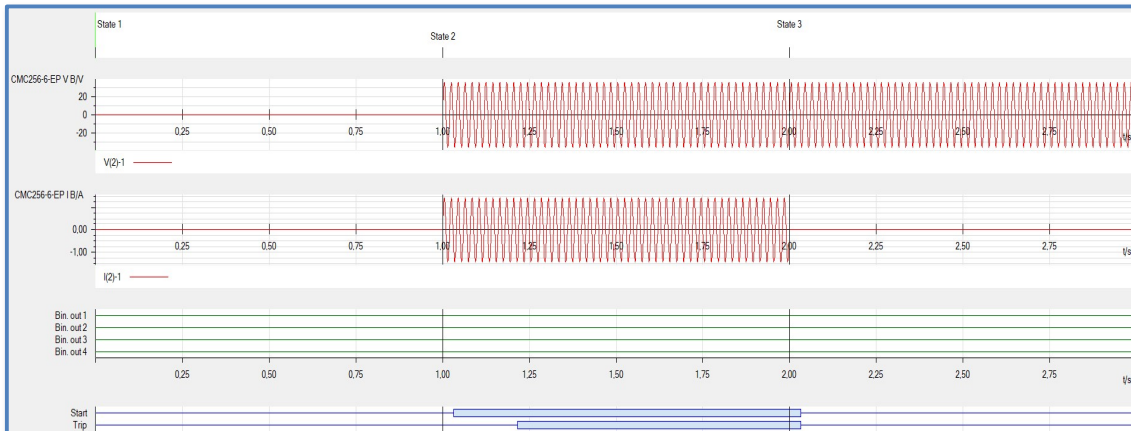


Figure 21. Time signal view in Omicron State sequencer

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
Operate time		State 2	Trip 0>1	200,0 ms	20,00 ms	20,00 ms	216,6 ms	16,60 ms	✓

Figure 22. Example test result in Omicron State sequencer

4.4 Operating curve type = Inverse time, with *Ena RF compensation*

Excel tool for calculation of expected operate times when IFPTOC has *Operating curve type* = Inverse time is available at ABB Clionet – Online Service (https://abb-clionet.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/4962). For non-registered users, first sign up at <https://protection.datacare.abb.com/>. Instructions for Excel tool are presented in appendix 2.

Table 3 shows settings that are included in these tests.

Table 3. IFPTOC settings used in inverse time tests.

Setting	EN50522 EF current based	EN50522 Touch volt. based	IEEE80 EF current based	IEEE80 Touch volt. based
<i>CB delay Comp</i>	X	X	X	X
<i>EF current Str Val</i>	X		X	
<i>IDMT max Op Tm</i>	X	X	X	X
<i>IDMT min Op Tm</i>	X	X	X	X
<i>IEEE multiplier</i>			X	X
<i>Maximum earthing Ris</i>	X	X	X	X
<i>Reduction factor</i>	X	X	X	X
<i>Reset delay time</i>	X	X	X	X

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

<i>RF Compensation</i>	X	X	X	X
<i>Touch Vol Str Val</i>		X		X
<i>UTp multiplier</i>	X	X		

In order to calculate expected protection, operate time, use the Excel tool or following equations:

- EN50522 EF current based protection trip time equation

$$t = 0.29 * e^{\ln\left(-\frac{722.8 - \frac{\text{Maximum earthing Ris} * \text{Reduction factor} * I_F^{est}}{UTp \text{ multiplier}}}{85.3 - \frac{\text{Maximum earthing Ris} * \text{Reduction factor} * I_F^{est}}{UTp \text{ multiplier}}}\right) / 2.39} - CB \text{ delay comp}$$

- EN50522 touch voltage-based protection trip time equation

$$t = 0.29 * e^{\ln\left(-\frac{722.8 - \frac{U_{Tp}^{est}}{UTp \text{ multiplier}}}{85.3 - \frac{U_{Tp}^{est}}{UTp \text{ multiplier}}}\right) / 2.39} - CB \text{ delay comp}$$

- IEEE80 EF current based protection trip time equation

$$t = \left(\frac{IEEE \text{ multiplier}}{\text{Maximum earthing Ris} * \text{Reduction factor} * I_F^{est}}\right)^2 - CB \text{ delay comp}$$

- IEEE80 touch voltage-based protection trip time equation

$$t = \left(\frac{IEEE \text{ multiplier}}{U_{TF}^{est}}\right)^2 - CB \text{ delay comp}$$

Trip times cannot exceed *IDMT stage Max Op Tm* and trip time cannot go below *IDMT stage Min Op Tm*. Those settings define limit values for trip time.


This test is done same way to inverse operating curve types EN50522 and IEEE80.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

After calculating theoretical trip time, use Omicron State Sequencer tool to test that actual trip times are matching. Figure 23 shows example of State Sequencer settings. Figure 24 shows calculated trip time. Figure 25 shows test result.

- State 1
 - Nominal voltages on UL1, UL2, UL3
 - For example, 200mA on IL1
 - IL2 and IL3 = 0A
 - U_o = higher than set *Voltage start value*, 0deg
 - I_o = nominal current, 0deg

 In excel tool injected current is in primary and in this document Omicron values are given in secondary.


1			
Name	State 1		
U L1-E	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	200,0 mA	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
U _o	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
I _o	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active		
Trigger		1,000 s	

Figure 23. State Sequencer settings in Omicron State Sequencer tool

Injected current	20	A
Trip time	0,547	sec

Figure 24. Calculated Trip time from the Excel tool. Note that injected current is in primary amps.


Time Assessments: EN/IEEE curve trip time in IFPTOC_test_template.occ										
				Time Assessment						
Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
1 Trip time	State 1	State 1	Trip 0>1	550,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	554,1m s	4,100 ms		

Figure 25. Example test result in Omicron State Sequencer tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

If RF compensation is enabled (*Ena RF compensation* = “Enabled”), then testing is otherwise same, but U_0 magnitude affects to trip time as relay sees fault current higher when U_0 is below nominal.

$$I_F^{est_Rfcomp} = \frac{I_F^{est}}{U_0(pu)}$$

For example, if $I_F^{est} = 10 \text{ A}$ and $U_0 = 0.1 \text{ pu}$, then $I_F^{est_Rfcomp} = 100 \text{ A}$.

4.5 Enable harmonics

If you have *Enable harmonics* = “Enabled” then harmonics are taken account in earth-fault current estimate as follows

$$I_F^{est} = \sqrt{(\Delta 3I_2^0)^2 + (\Delta 3I_2^1)^2 + (\Delta 3I_2^2)^2 + (\Delta 3I_2^3)^2 + (\Delta 3I_2^5)^2 + (\Delta 3I_2^7)^2}$$

Where I_2^n is the magnitude of the n^{th} harmonic negative-sequence current component ($n = 0$ (decaying DC), 1, 2, 3, 5, 7 and 9).

For testing the effect of harmonics use Pulse ramping tool on Omicron and follow these steps.

In this example we are testing 3rd harmonic, then the equation will simplify to:

$$I_F^{est} = \sqrt{(\Delta 3I_2^1)^2 + (\Delta 3I_2^3)^2}$$

For example, if *EF Current Str Val* = 0.1xIn and *Reduction factor* = 1.0, the protection should trip at 100mA. If you inject 50mA fundamental frequency, then you can calculate required amplitude of 3rd harmonic

$$\sqrt{(100mA)^2 - (50mA)^2} = 86.6mA$$

- Ramp settings
 - Pre-fault time 100ms
 - Reset time 0s
 - Fault time 1s
 - From 0A
 - To 2A
 - Δ 10mA
- Fault State
 - Inject nominal voltages
 - IL1 = signal to be ramped, **frequency 150Hz**
 - IL2 = 0A
 - IL3 = 50mA, 50Hz

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

- I_o = nominal current, 0 deg
- U_o = higher than set *Voltage start value*, 0 deg
- Reset State
 - U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} = nominal voltages
 - I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} = nominal currents
 - I_o = 0A
 - U_o = 0V

Expected result: Protection trips after calculated operate time when I_{L1} magnitude exceeds 86.6mA.

Figure 26 shows Ramp settings, figure 27 shows Fault State and Reset State settings. Figure 28 shows test results.

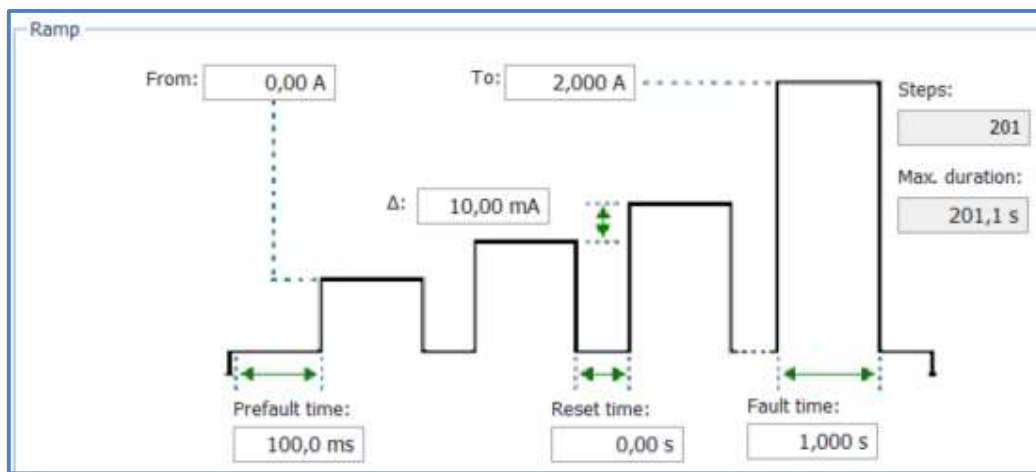


Figure 26. Pulse ramp settings in Omicron Pulse Ramp tool

Reset State			Fault State		
U L1-E	57,74 V	0,00	Set Mode	Direct	
U L2-E	57,74 V	-120,00	U L1-E	57,74 V	0,00 °
U L3-E	57,74 V	120,00	U L2-E	57,74 V	-120,00 °
I L1	1,000 A	0,00	U L3-E	57,74 V	120,00 °
I L2	1,000 A	-120,00	I L1	0,00 A	0,00 °
I L3	1,000 A	120,00	I L2	0,00 A	-120,00 °
U _o	57,74 V	0,00	I L3	50,00 mA	120,00 °
I _o	1,000 A	0,00	U _o	57,74 V	0,00 °
			I _o	1,000 A	0,00 °

Figure 27. Fault and Reset State settings in Omicron Pulse Ramp tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing


Assess on	Nom	Tol+	Tol-	Act	Dev	Assess
Trip 0>1	90,00 mA	0,00 A	0,00 A	90,00 mA	0,00 A	

Figure 28. Example test result in Omicron Pulse Ramp tool

4.6 Max Dur delta Calc



Operation principle: The “delta” calculation i.e., the change in negative-sequence current due to earth fault is used to remove the healthy-state negative-sequence component from earth-fault current estimate, which may exist due to the practical imbalances in load currents and charging currents. Setting *Max dur delta Calc* is the maximum time defined by the user that delta calculation is considered as valid. After this time from initial fault detection moment, the validity of delta-calculation is not considered to be valid anymore and thus fault current estimation is done without delta calculation i.e., based on real time measurement of threefold negative-sequence component.

Applicable settings for this test are *Revert time* and *Max Dur delta Calc*.

For testing use State Sequencer tool and follow these steps:

- State 1: Pre-fault state with high negative sequence current
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1, IL2 = nominal current
 - IL3 = 0A
 - Io = 0A
 - Uo = 0V
 - Trig time at least $2 \times \text{Revert time}$
- State 2: Earth fault without change in negative sequence current.
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1, IL2 = nominal current
 - IL3 = 0A
 - Io = nominal, 0 deg
 - Uo = higher than set *Voltage start value*, 0 deg
 - Trig time more than set *Max Dur delta Calc* setting

Expected result: IFPTOC trips after defined with setting *Max Dur delta Calc*.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Figure 29 shows State sequencer settings. Figure 30 and figure 31 shows test results.

	1			2		
Name	State 1			State 2		
U L1-E	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz
Uo	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
Io	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger		1,000 s			3,000 s	

Figure 29. State sequencer settings in Omicron State Sequencer tool

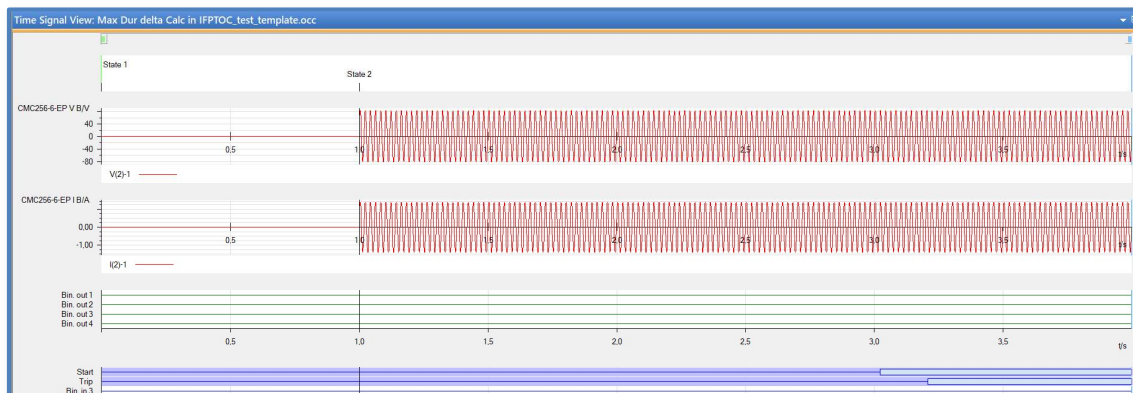


Figure 30. Time signal view in Omicron State Sequencer tool

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1 Trip1	State 2	State 2	Start 0>1	2,200 s	500,0 ms	500,0 ms	2,023 s	-177,2 ms	

Figure 31. Example test result in Omicron State Sequencer tool



If start signal is not available, then use trip on State sequencer “Stop” time assessment but note that result will be *Max Dur delta Calc* + IFPTOC trip time.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

4.7 Reset delay time

If *Reset delay time* is required to be tested use State Sequencer tool on Omicron and follow these steps:

- State 1 (fault)
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1 = must be high enough for tripping
 - IL2, IL3 = 0A
 - U_o = higher than set *Voltage start value*, 0deg
 - I_o = nominal current, 0 deg
 - State trig time shorter than IFPTOC trip time
- State 2 (healthy)
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1, IL2, IL3 = nominal current
 - U_o = 0V
 - I_o = 0A
 - State trig time longer than set *Reset delay time*

Expected result: Start signal on State 1 but no tripping. *Reset delay time* begins at State 2 when protection detects that fault is removed. The start signal should reset after drop-off detection time + set *Reset delay time*.

Figure 32 shows State sequencer settings. Figure 33 shows start signal.

On this test we are checking that IFPTOC start will drop-off at state 2 after set *Reset delay time*, so Omicron time assessments and test result is irrelevant. Only thing that matters is that Start signal is given and it resets (dropped off) without tripping during test.



Table View: Reset delay time in IFPTOC_test_template.occ						
	1			2		
Name	State 1			State 2		
U L1-E	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz
U _o	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz
I _o	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz
CMC Ref	0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger		100,0 ms			1,000 s	

Figure 32. State sequencer settings in Omicron state Sequencer tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

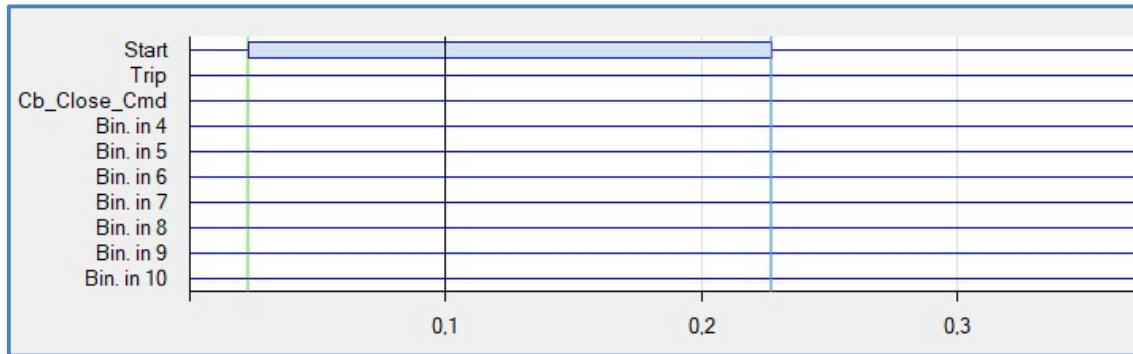


Figure 33. Start signal view in Omicron state Sequencer tool

4.8 *Ena cyclic reset*



Operate principle: To adapt the earth-fault current validity determination to a possible fault direction change during the fault, for example during manual fault location process, a cyclic accumulation interruption and re-evaluation of admittance phasor is enabled with setting *Ena cyclic reset* = “Enable”.

In the following test, the earth-fault direction is changed from reverse (state 1) to forward (state 2) direction.

- When *Ena cyclic reset* = “Disabled”, then IFPTOC will not trip when direction of earth fault changes, i.e., the change is ignored.
- When *Ena cyclic reset* = “Enabled”, then IFPTOC will detect fault direction change and start/trip.

To test this setting use State Sequencer tool on Omicron and follow these steps:

- State 1
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1 = must be high enough for tripping
 - IL2, IL3 = 0A
 - Io = nominal current, **180deg**
 - Uo = higher than set *Voltage start value*
- State 2
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1 = must be high enough for tripping
 - IL2, IL3 = 0A
 - Io = nominal current, **0deg**
 - Uo = higher than set *Voltage start value*

Expected result: trip on State 2.

Figure 34 shows State sequencer settings. Figure 35 shows test results.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Table View: Ena cyclic reset in IFPTOC_test_template.occ

	1			2		
Name	State 1			State 2		
U L1-E	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	300,0 mA	0,00 °	50,000 Hz	300,0 mA	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
Uo	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
Io	1,000 A	180,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger		2,000 s			5,000 s	

Figure 34. State sequencer settings in Omicron State Sequencer tool

Time Assessments: Ena cyclic reset in IFPTOC_test_template.occ

		Time Assessment								
Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
1 Trip	▼	State 2	Trip 0>1	2,000 s	1,000 s	1,000 s	2,819 s	819,2 ms		

Figure 35. Example test result in Omicron State Sequencer tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

5 Cross-country fault protection



Operating principle: IFPTOC has an in-built dedicated functionality for cross-country fault detection and tripping. Detection of cross-country fault is always enabled, but tripping may be enabled or disabled with setting *Enable XC Op mode* = “on” or “off”. In case of cross-country faults should be tripped and multiple IFPTOC instances are used, then at least in one instance *Enable XC Op mode* must be set “on”.

Applicable settings for cross-country earth fault module are: *Enable XC Op mode*, *XC stage A Str Val*, *XC stage PP V Val*, *XC stage Op time*.

Figure 36 shows flow chart of Cross-country fault protection test order.

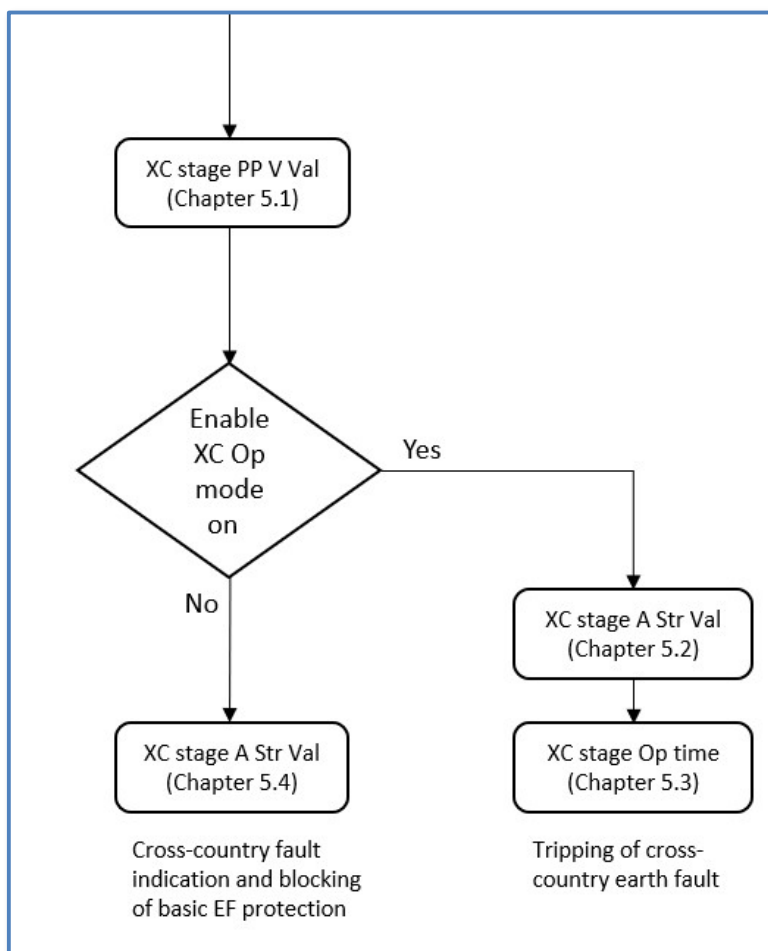


Figure 36. Flow chart of the test order of Cross-country fault protection.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

5.1 Testing XC stage PP V Val

Cross-country fault indication is always enabled and when it detects a cross-country fault, output XC_FLT is activated and simultaneously it blocks EF current / touch voltage-based operations. This feature can be tested first by applying a single-phase earth fault so that protection trips, then ramping phase-to-phase voltages down until cross country fault (XC_FLT) is detected and trip will drop-off.

For testing use Ramping tool on Omicron and follow these steps:

- Choose one phase to earth voltage to be signal (in below UL2)
- Ramp it down from nominal phase to phase voltage to below *XC stage PP V Val* setting.
- Make an earth fault by injecting current on only one phase
 - UL1 = 150V, 0deg
 - UL2 = as signal, -60deg
 - UL3 = 0V
 - IL1 = higher than set *EF current Str Val*, or corresponding touch voltage exceeds *Touch Vol Str Val*
 - IL2, IL3 = 0A
 - U_o = higher than *Voltage start value*, 0 deg
 - I_o = nominal current, 0 deg

This test is designed so that:

- UL2 phase voltage is equal to U12 phase-to-phase voltage
- Only U12 drops below *XC stage PP V Val* setting while U23 and U31 remains higher

Expected result: Protection start resets (drop-off) at *XC stage PP V Val* = 0.9xUn is 90V. Note that Un refers to phase-to-phase voltage.

Figure 37 shows ramp settings, figure 38 shows ramp state and figure 39 shows test results.

Signal 1:		Quantity 1:		Signal 2:		Quantity 2:		
UL2-E		Magnitude		(none)		Frequency		
Signal 1								
Ramp	From	To	Delta	dt	d/dt	Steps	Time	Stop condition
Ramp 1	100,0 V	80,00 V	-100,0 mV	100,0 ms	-1,000 V/s	201	20,100 s	None

Figure 37. Ramp settings in Omicron Ramping tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Ramp State 1			
U L1-E	150,0 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	100,0 V	-60,00 °	50,000 Hz
U L3-E	0,00 V	-56,70 °	50,000 Hz
I L1	600,0 mA	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
U _o	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
I _o	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz

Figure 38. Ramp state in Omicron Ramping tool

Ramp Assessments: XC_FLT Indikoinnin jännite in IFPTOC_test_template.occ											
Ramp Assessments											
Name	Ramp	Condition	Signal	Nom.	Dev.-	Dev.+	Act.	Dev.	Assessment	Tact	
1 Drop-off	Ramp 1	Start 1->0	U L2-E	90,00 V	1,000 V	1,000 V	90,10 V	100,0 mV	✓	91,40 ms	

Figure 39. Example test result in Omicron Ramping tool

5.2 Enable XC Op mode = on, testing XC stage A Str Val

If you have *Enable XC Op mode* “On” use Ramping test tool in Omicron and follow these steps:

- Ramp settings
 - Ramp phase current IL1 so that estimated fault current exceeds *XC stage A Str Val*
 - IL2, IL3 = 0A
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - U_o = higher than set *Voltage start value*
 - I_o is not used because cross-country protection uses calculated residual current $I_o = -(IL1+IL2+IL3)$

Expected result: trip after current exceeds *XC stage A Str Val*.

Figure 40 shows ramp settings, figure 41 shows ramp state and figure 42 shows test results.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Ramp States **General**

Set mode: Fault type: Estimated:

Signal 1: Quantity 1: Signal 2: Quantity 2:

Signal 1								
Ramp	From	To	Delta	dt	d/dt	Steps	Time	Stop condition
Ramp 1	0,00 A	2,000 A	10,00 mA	100,0 ms	100,0 mA/s	201	20,100 s	None

Figure 40. Ramp settings in Omicron Ramp tool

Ramp State 1			
U L1-E	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,73 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,73 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
U _o	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
I _o	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz

Figure 41. Ramp state in Omicron Ramp tool

Ramp Assessments: XC_OP in IFPTOC_test_template.occ

Ramp Assessments											
Name	Ramp	Condition	Signal	Nom.	Dev.-	Dev.+	Act.	Dev.	Assessment	Tact	
1 Pick up	Ramp 1	Start 0->1	I L1	900,0 mA	20,00 mA	20,00 mA	910,0 mA	10,00 mA	✓	34,40 ms	

Figure 42. Example test result in Omicron Ramp tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

5.3 Enable XC Op mode = on, testing XC stage Op time

To test this setting use State Sequencer tool on Omicron and follow these steps:

- State 1 = Healthy state
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1, IL2, IL3 = nominal currents
 - Io = 0A
 - Uo = 0V
- State 2 = Cross-country earth fault
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - IL1 = Over set *XC stage A Str Val* setting
 - IL2, IL3 = 0A
 - Io = nominal current, 0 deg
 - Uo = higher than set *Voltage start value*, 0 deg

Expected result: trip on State 2 at set *XC stage Op time*. In this example *XC stage Op time* is 200ms.

Figure 43 shows State sequencer settings. Figure 44 shows test results.

	1			2		
Name	State 1			State 2		
U L1-E	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
Uo	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
Io	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	180,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger	1,000 s			2,000 s		

Figure 43. State sequencer settings in Omicron State Sequencer tool

Time Assessments: XC stage Op time in IFPTOC_test_template.occ										
Time Assessment										
Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
1 Trip time	State 2	State 2	Trip 0>1	200,0 ms	20,00 ms	20,00 ms	218,7 ms	18,70 ms	✓	

Figure 44. Example test result in Omicron State Sequencer tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

5.4 Enable XC Op mode = off, testing XC stage A Str Val

Cross-country fault indication is always enabled and when it detects a cross-country fault it blocks EF current / touch voltage-based operations. This can be tested by first having a single-phase earth-fault, waiting protection to start and then increasing on phase current until cross-country fault (XC_FLT) is detected which will result start to reset (drop-off).

To test this setting use Ramping tool on Omicron and follow these steps:

- Ramp settings
 - Ramp current over *XC stage A Str Val*
 - IL1 = signal
 - IL2, IL3 = 0A
 - UL1, UL2, UL3 = nominal voltage
 - Uo = higher than set *Voltage start value*, 0 deg
 - Io = nominal current, 0 deg. This is needed to get earth fault validation.

Expected result: First protection starts and when current exceeds *XC stage A Str Val* IFPTOC will reset.

Figure 45 shows ramp setting. Figure 46 and figure 47 shows ramp state and test result.

Set mode:		Fault type:		Estimated test time:				
Direct		n/a		10,100 s				
Signal 1:		Quantity 1:		Signal 2:				
IL1		Magnitude		(none)				
		Quantity 2:		Frequency				
		Signal 1						
Ramp	From	To	Delta	dt	d/dt	Steps	Time	Stop condition
Ramp 1	500,0 mA	1,500 A	10,00 mA	100,0 ms	100,0 mA/s	101	10,100 s	None

Figure 45. Ramp settings in Omicron Ramping tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Ramp State 1			
U L1-E	1,000 mV	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	1,000 mV	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	1,000 mV	120,00 °	50,000 Hz
I L1	500,0 mA	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
U _o	57,73 V	0,00 °	50,000 Hz
I _o	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz

Figure 46. Ramp state in Omicron Ramping tool

Ramp Assessments: XC_FLT indikointi virralla in IFPTOC_test_template.occ											
Ramp Assessments											
Name	Ramp	Condition	Signal	Nom.	Dev.-	Dev.+	Act.	Dev.	Assessment	Tact	
1 Drop off	Ramp 1	Start 1->0	I L1	900,0 mA	20,00 mA	20,00 mA	910,0 mA	10,00 mA	✓	77,90 ms	

Figure 47. Example test result in Omicron Ramping tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

6 SOTF protection



Operation principle: SOTF-functionality provides dedicated fault detection and tripping in case feeder breaker is closed into earth fault. SOTF condition is declared, if an earth fault is detected ($EF_IND = TRUE$) within set *SOTF Cond duration* time from breaker close command (input CB_CL_CMD is activated). When IFPTOC detects SOTF, the ST_SOTF and $START$ outputs are activated. In case of SOTF-condition is detected, then all other functionality of IFPTOC is blocked.

For testing Switch onto Fault mode use State Sequencer tool on Omicron and follow these steps:

- Connect relay CB close command output to Omicron free binary input
- State 1
 - $UL1, UL2, UL3 = 0V$
 - $IL1, IL2, IL3 = 0A$
 - $U_o = 0V$
 - $I_o = 0A$
 - Trigger Binary input
- State 2
 - $UL1, UL2, UL3 = \text{nominal voltage}$
 - $IL1, IL2 = \text{nominal current}$
 - $IL3 = 0A$
 - $U_o = \text{higher than Voltage start value}, 0 \text{ deg}$
 - $I_o = \text{nominal current}, 0 \text{ deg}$
 - Trigger Trip
- State 3
 - $UL1, UL2, UL3 = \text{nominal voltage}$
 - $IL1, IL2 = \text{nominal current}$
 - $IL3 = 0A$
 - $U_o = \text{higher than Voltage start value}, 0 \text{ deg}$
 - $I_o = \text{nominal current}, 0 \text{ deg}$
 - Trigger time 100ms

When testing State 1 is normal state (CB is open) and it will move on to State 2 after closing Breaker from the relay. On State 2 relay will trip from SOTF, and State 3 only purpose is to allow Omicron to show Trip signal.

Expected result: IFPTOC trips after set *SOTF operate time*. Note that *SOTF Cond duration* must be set higher than *SOTF operate time* + *SOTF reset time*.

Figure 48 shows State Sequencer settings, figure 49 shows Detail view from states, and figure 50 shows test results.

Testing IFPTOC function with Omicron
 Testing guideline for secondary testing

Table View: SOTF in IFPTOC_test_template.occ

	1			2			3		
Name	State 1			State 2			State 3		
U L1-E	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
U L2-E	0,00 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
U L3-E	0,00 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz
Uo	0,00 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
Io	0,00 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	1 output(s) active			1 output(s) active			1 output(s) active		
Trigger	⚡			⚡			⌚ 100,0 ms		

Figure 48. State Sequencer settings in Omicron State Sequencer tool

Figure 49. Detail View in Omicron State Sequencer tool

Time Assessments: SOTF in IFPTOC_test_template.occ

	Time Assessment									
	Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1	Trip time	State 2	State 2	Trip 0>1	450,0 ms	50,00 ms	50,00ms s	459,7 ms	9,700 ms	✔

Figure 50. Example test result in Omicron State Sequencer tool

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

7 INTERMITTENT EF protection

Intermittent earth-fault module is enabled with setting *Ena Intermit EF mode* = “on”.

The only valid way to test the IFPTOC capability of detecting intermittent earth fault is to use disturbance recordings (DR) which has been recorded from real-life intermittent faults. These disturbance recordings, stored in Comtrade format (Common format for Transient Data Exchange for power systems) is played back to current and voltage signals using the Omicron Advanced Transplay tool.



If Omicron State Sequencer tool would be used, the IFPTOC most likely will not operate as expected due the fact that real-life transients cannot be simulated accurately with the State Sequencer.

Characteristics of a good DR file for testing

1. Sampling rate must be at least 1 kHz, preferably 5 kHz or higher.
2. Fault duration time must be high enough and have enough intermittent peaks for the testing purpose e.g., fault duration time must exceed protection operation delay time and one additional peak must be detected.
3. It is recommended to have basic background information of the file (CT and VT ratio, network earthing arrangement etc.).

What should be tested?

IFPTOC capability of detecting intermittent earth fault should be tested as follows:

1. Protection trips correctly when fault is on the correct direction (faulty feeder).
2. Protection does not trip when fault is on the opposite direction (healthy feeder).
3. If the IFPTOC outputs:
 - INTR_EF (Intermittent earth-fault indication in the faulty feeder),
 - ST_INTR_EF (Start signal according to intermittent earth-fault module),
 - OP_INTR_EF (Operate signal according to intermittent earth-fault module),
 - PEAK_IND (Current transient detection indication in the faulty feeder)

are used in relay configurations, those are recommended to be tested.



In the following examples, PEAK_IND in the relay configuration is connected to a signal output relay with 10ms pulse timer. Without pulse timer, the activation time of the PEAK_IND is too short for reliable output relay operation.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Importing and scaling DR file

First, import the disturbance (DR) file to the Advanced Transplay tool and scale the signal magnitudes (current and voltage) to adapt with relay CT and VT rated secondary. It is important to confirm that the signal magnitudes match the original Comtrade recording!

Figure 51 shows from where to import the DR file and figure 52 shows from where the magnitudes can be scaled.

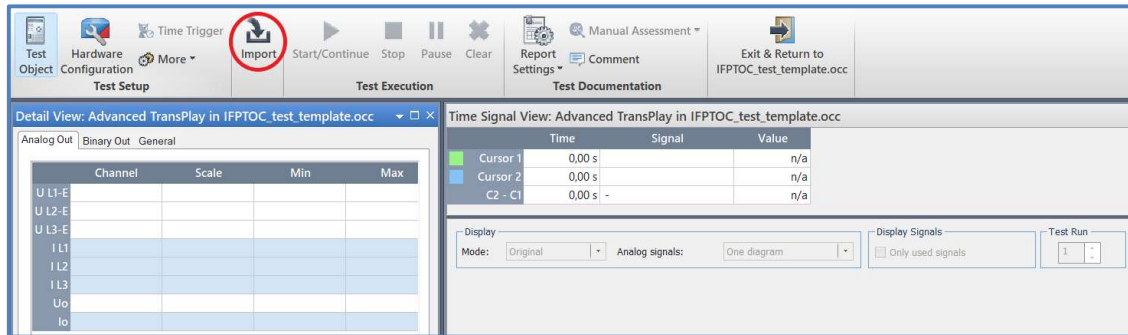


Figure 51. DR file import button in Omicron Advanced Transplay tool.

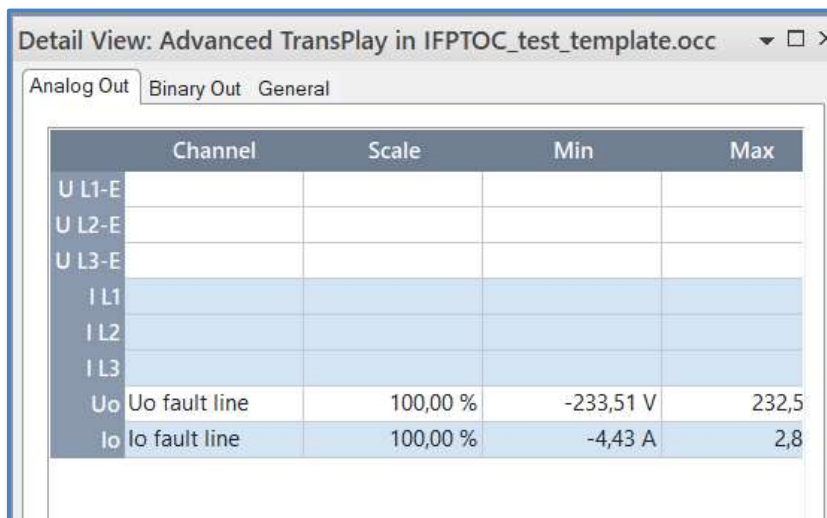


Figure 52. Magnitude scaling in Omicron Advanced Transplay tool.



If the peak value of the signal exceeds the Omicron output capability, an error message will appear and both signal magnitudes (U_o and I_o) should be decreased with same ratio. For example, if U_o magnitude is decreased to half, also I_o magnitude should be decreased to half in order to maintain same admittance.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Example for testing Tripping_EF mode with intermittent earth fault

Tests presented earlier in this document can be considered to be enough when using Tripping EF-mode. However, if the operation of the function is required to be tested also by simulating an intermittent fault, then for verifying the correct operation follow the next steps:

Expected results:

1. Protection starts and operates when tested with a faulty feeder recording (assuming recording is long enough, and current, voltage etc. settings are exceeded).
2. Protection does not start/operate when testing with healthy feeder recording (or faulty feeder recording with opposed current polarity).
3. Function detects peaks (if PEAK_IND output is available) according to the transients in the DR file. PEAK_IND shows all transients regardless of direction, but only peaks on faulty direction can start protection.



To keep the operate timer activated between current spikes during the intermittent earth fault, *Intr EF reset time* should be set higher than the maximum time interval between current peaks. Otherwise, protection can reset between spikes depending on the voltage magnitude. The recommended setting is at least 300 ms.

The operation can be verified from either Omicron time signal view figure 53 or relay DR file figure 54.

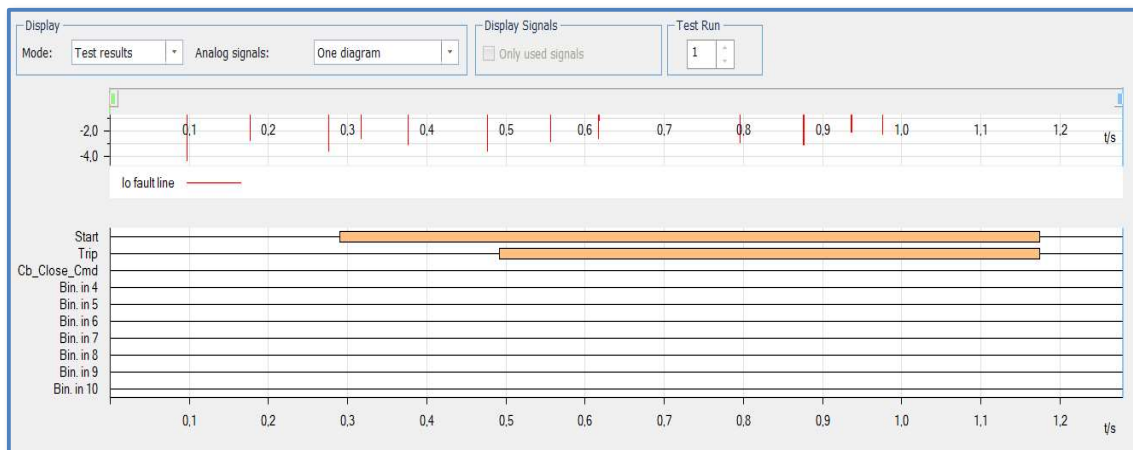


Figure 53. Omicron time signal view in Advanced Transplay module

Testing IFPTOC function with Omicron
 Testing guideline for secondary testing

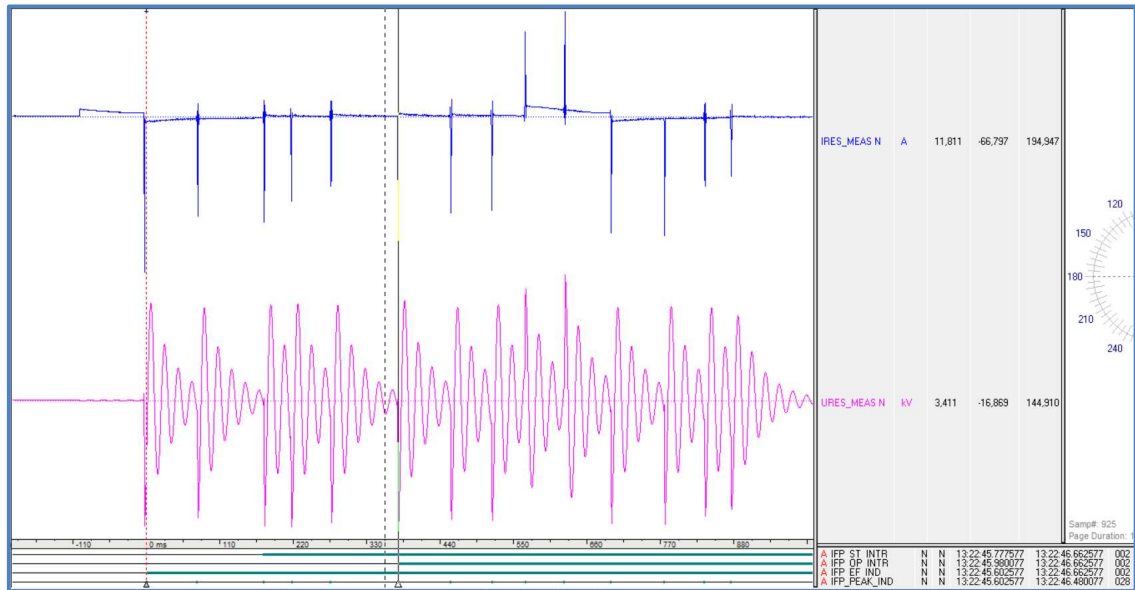


Figure 54. Original Relay DR file in Wavewin tool.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Appendix 1. VT connections

In all tests presented in this document it is assumed that:

- VT connection is wye, i.e., phase-to-earth voltages are connected to the relay
- measured U_0 is used.

When using wye connection for VTs and calculated U_0 :

- in tests, where $UL1, UL2, UL3$ = nominal secondary values, and U_0 is zero
 - o inject symmetrical voltages and calculated U_0 will be zero
- in tests, where $UL1, UL2, UL3$ = nominal, and U_0 is higher than zero
 - o it is enough that all phase-to-phase voltages are higher than *XC stage PP Val* – setting
 - o therefore, increase e.g., $UL1$ nominal + 3 * *Voltage start value*, then all phase-to-phase voltages shall be higher than set *XC stage PP Val* and calculated U_0 is 1/3 of overvoltage in $UL1$
 - o REX640 voltage input maximum continuous withstand is 288V

When using VT connection = delta and measured U_0

- all tests done same way as with wye connection except chapter 5.1.
 - o $U12$ = ramp down from nominal phase-to-phase voltage
 - o $U23, U31$ = nominal phase-to-phase voltage
 - o Expected result: when $U12 = XC\ stage\ PP\ Val$



When using delta connection, it is mathematically impossible to derive calculated U_0 from phase to phase voltages. Thus, U_0 must be always measured in VT connection = delta.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Appendix 2. Quick guide for IFPTOC function IDMT curve calculator Excel-tool

Difference between parameter settings in EN50522 and IEEE80 curve types are:

- EN50522 uses *UTp multiplier*
- IEEE80 uses *IEEE multiplier*

Figure 55 shows IFPTOC settings for curve calculation. The value can be given with the slider. It is also possible to enter value directly to the cell next of the slider, but then slider will stop working.

Cell shown in yellow requires value to be entered directly to the cell.

CB delay Comp	< <input type="text" value="0,2"/> >	0,2	sec
Maximum earthing Ris	< <input type="text" value="10"/> >	10	Ω
Reduction factor	< <input type="text" value="1"/> >	1	
UTp multiplier	< <input type="text" value="1"/> >	1	
IDMT Max Op Tm	< <input type="text" value="5,00"/> >	5,00	sec
IDMT Min Op Tm	< <input type="text" value="0,1"/> >	0,1	sec
EF current str val	Insert EF current threshold in primary	1	A

Figure 55. Example parameters for EN50522 curve in Excel-tool.

Figure 56 shows where to enter value of the injected current, calculated trip time and where curve begin/stops.

In yellow cell, enter what current is being injected in primary, after that tool will calculate trip time. Note that injected current must be between “*IDMT curve begins at*” and “*IDMT curve ends at*” values. This tool uses primary values in calculations. For example, if 50A fault current is to be injected, and CT is 100/1A ratio, this equals 500mA phase current (the other two, phase currents must be zero) in Omicron.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

IDMT curve begins at	8,53	A
IDMT curve ends at	72,28	A
Injected current	50	A
Trip time	0,224	sec

Figure 56. IDMT curve begin/end and Current inject + operate time in Excel-tool.

When setting *Ena RF Compensation* = “Enable”, Excel tool still uses same cell for injected current as when setting *Ena RF Compensation* = “Disable”.

Figure 57 shows applicable settings when setting *Ena RF Compensation* = “Enable”.

	RF compensation "Enabled"	
Uo pu	< [Slider] >	1
RF comp Ifest	50	A
RF comp operate time	0,224	sec

Figure 57. Applicable settings when setting *Ena RF Compensation* = “Enable”.

If nominal Uo secondary voltage is for example 100V then slider setting “Uo pu” = 1.0 in Excel equals 100V in Omicron and 0,5 in Excel is 50V in Omicron etc.

Figure 58 shows example of EN50522 EF current based protection operation curve where blue line represents CB delay compensated curve and orange line represents curve without CB delay compensation. Y-axis shows trip times and X-axis shows fault current estimate.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

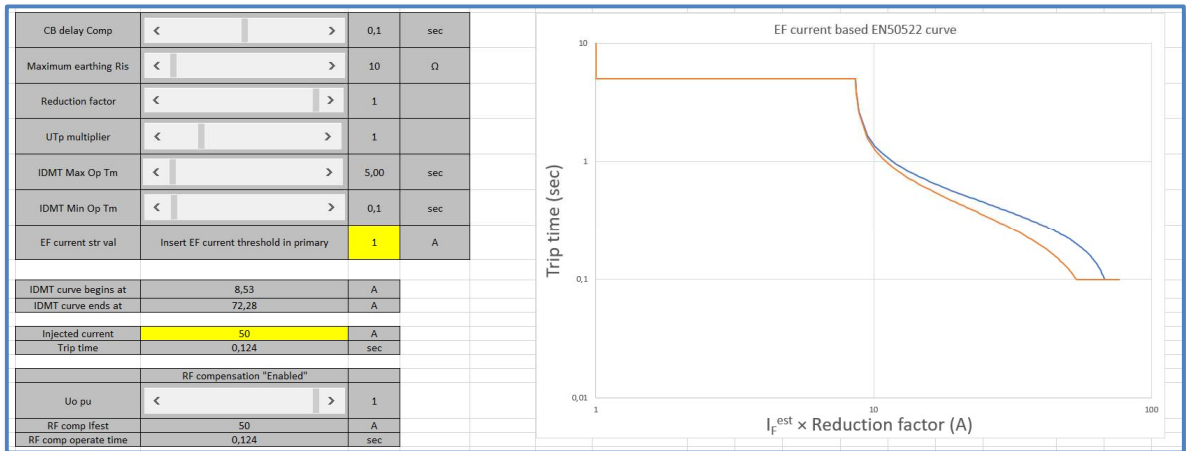


Figure 58. Example of EN50522 EF current based Excel-tool.

In bottom of Excel there are sheet tabs to navigate between EN and IEEE curves. Figure 59 shows sheet tabs.

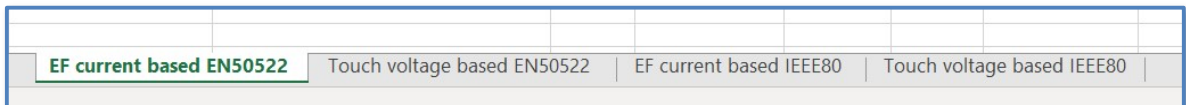


Figure 59. Sheet tabs in Excel-tool.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

Appendix 3. Troubleshooting

If relay does not trip during testing, navigate relay menu to IFPTOC outputs and check the following indications. Figure 60 shows relay menu path to IFPTOC outputs.

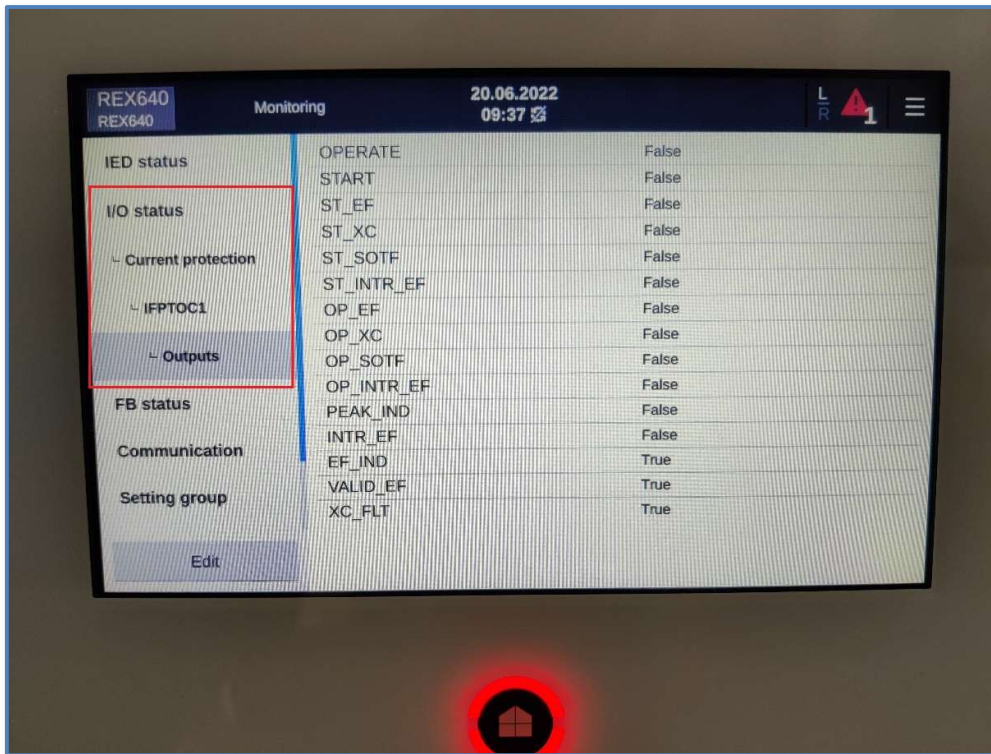


Figure 60. IFPTOC outputs in REX640 HMI.

Next the most important IFPTOC outputs and their states in secondary testing are reviewed.

XC_FLT = True

Detection of cross-country fault is always active, and when a cross-country fault is detected ($XC_FLT = True$), it blocks all other IFPTOC functionality except cross-country trip (XC_OP). If the cross-country fault indication is “true”, it means that either calculated I_o exceeds setting XC stage A Str Val and/or any phase-to-phase voltage is below setting XC stage PP V Val . Figure 61 shows XC_FLT indication.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

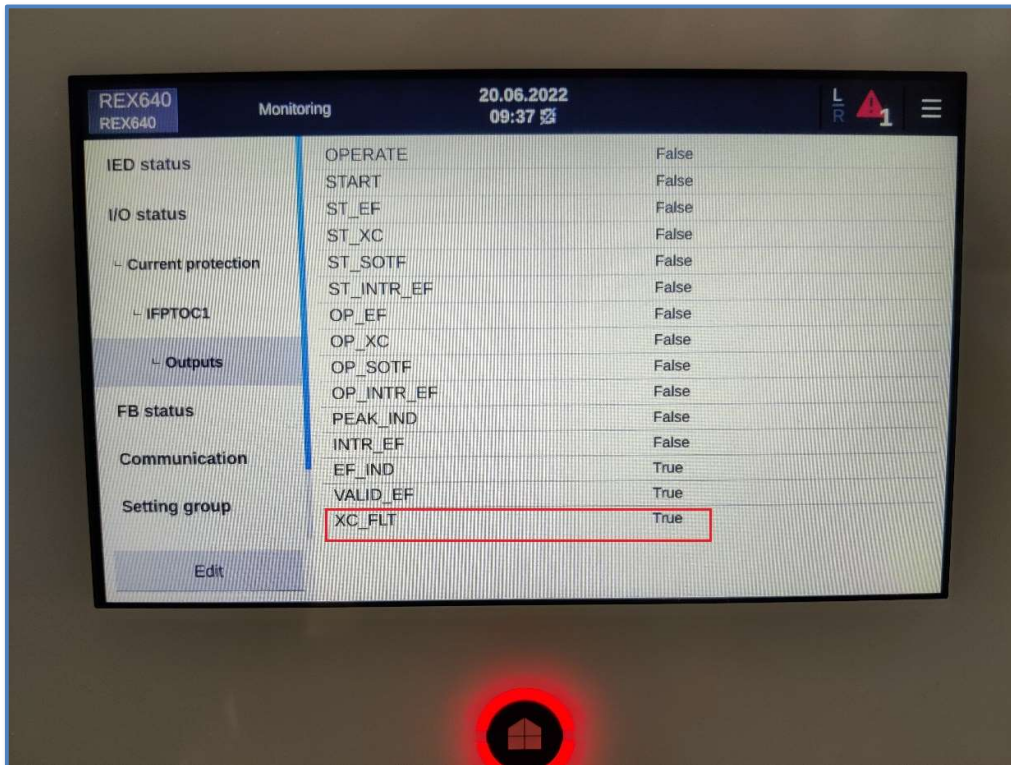


Figure 61. IFPTOC outputs with XC_FLT indication

VALID_EF = False

When output VALID_EF = False it means that earth-fault is detected, but validity is not confirmed. In order to get trip from IFPTOC the VALID_EF indication must be true. If validation is false then check that angle between U_0 and measured I_0 is between $-89 \dots +89$ deg, I_0 current must be at least 1 % of rated I_0 and U_0 voltage must exceeds *Voltage start value*. Another way to get validation is activating EXT_RELEASE. Figure 62 shows example where earth validity is not confirmed i.e., VALID_EF = False.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

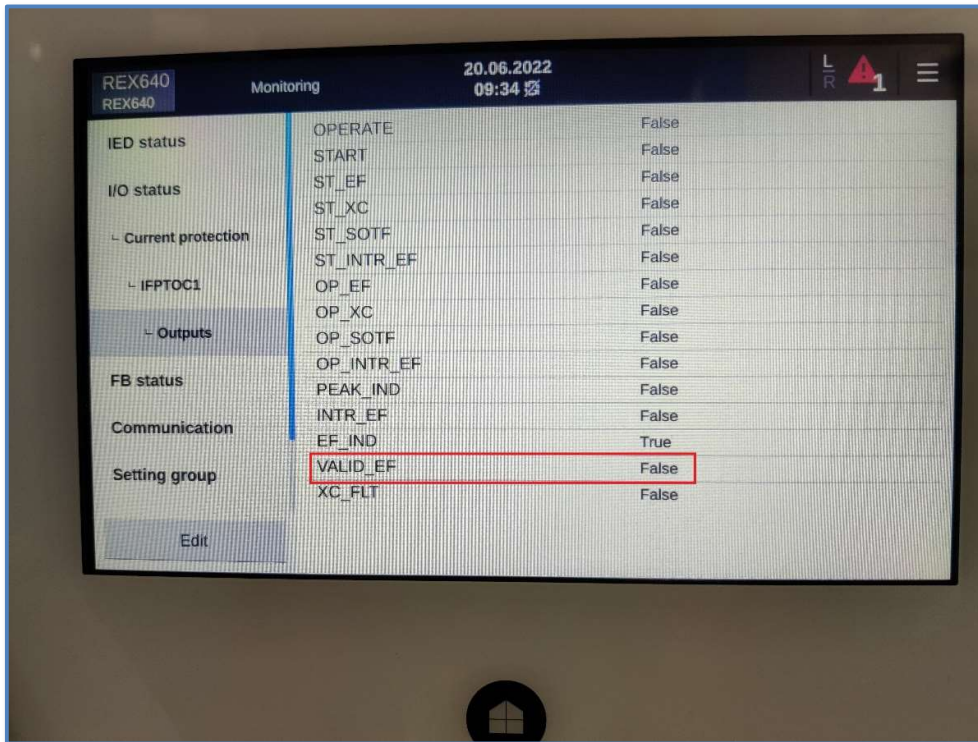


Figure 62. IFPTOC outputs with $EF_IND = true$ and $VALID_EF = false$.

EF_IND = True, VALID_EF = True, START = False

In case IFPTOC outputs $EF_IND = True$, $VALID_EF = True$, but $START = False$, means that earth-fault is detected, and validity of earth-fault is confirmed, but protection is not able to start. This problem will come most likely if U_0 is first injected without sufficient I_0 and then I_0 injected. U_0 and measured I_0 need to be injected at the same time together with phase current and phase voltages to get valid results. Figure 63 shows an example of valid earth fault indication without protection starting.

Testing IFPTOC function with Omicron

Testing guideline for secondary testing

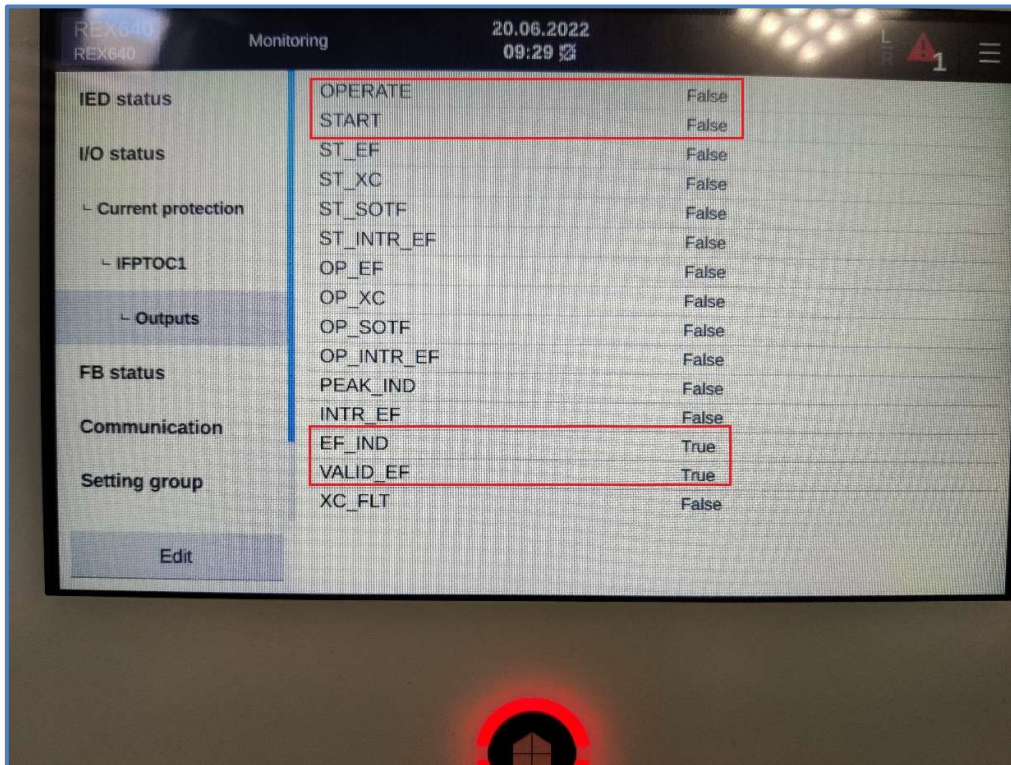


Figure 63. IFPTOC outputs with VALID_EF without start

Document revision history

Document revision/date	History
A / 30 August 2022	First revision

Disclaimer and Copyrights

The information in this document is subject to change without notice and should not be construed as a commitment by ABB Oy. ABB Oy assumes no responsibility for any errors that may appear in this document.

In no event shall ABB Oy be liable for direct, indirect, special, incidental or consequential damages of any nature or kind arising from the use of this document, nor shall ABB Oy be liable for incidental or consequential damages arising from use of any software or hardware described in this document.

This document and parts thereof must not be reproduced or copied without written permission from ABB Oy, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor used for any unauthorized purpose.

The software or hardware described in this document is furnished under a license and may be used, copied, or disclosed only in accordance with the terms of such license.

Copyright © 2022 ABB Oy

All rights reserved.

Trademarks

ABB is a registered trademark of ABB Group. All other brand or product names mentioned in this document may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

Contact information

ABB Oy, Distribution Solutions
P.O.Box 699
Visiting address: Muottitie 2A
FI-65101 Vaasa, FINLAND
Phone: +358 10 22 11
Fax: +358 10 22 41094

<http://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation>