



# **KESKITETYN MAASULKUSUOJAN TOIMINTA- PERIAATTEET JA KÄYTTÖ**

EFD20

Lauri Mäntylä

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2011  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka  
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma

LAURI MÄNTYLÄ: Keskitetyn maasulkusuojan toimintaperiaatteet ja käyttö

Opinnäytetyö 52 s., liitteet 10 s.  
Toukokuu 2011

---

Tämän työn tarkoituksena oli esitellä keskitetyn maasulkusuoja EFD20:n toimintaperiaatteet ja käyttö. Opinnäytetyön alkuosa käsittelee maasulun teoriaa sekä kompensoinnin toteuttamista ja loppuosa keskittyy laitteistoihin.

Työn toinen tavoite oli tuottaa Maviko Oy:n käyttöön sähköinen kalvomateriaali, joka käsittelee maasulun teorian sekä keskittyy EFD20-laitteistoon. Kalvomateriaalissa oli tarkoitus ottaa esiin enemmän laitteen käyttöä koskevia tietoja ja perehtyä laitteen tarjoamiin käyttäjilleen hyödyllisiin sähköisiin arvoihin. Kalvosarja on luettavissa opinnäytetyön liitteistä.

---

Avainsanat

Maasulkuvirran kompensointi, maasulkusuoja, maasulku



## **ALKUSANAT**

Aiheen tähän opinnäytetyöhön antoi Maviko Oy, Vaasassa toimiva sähköalan yritys. Toivoisin opinnäytetyöstäni olevan hyötyä maasulkusuojalaitteista tietoa etsiville.

Haluan kiittää mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta ja hyvästä ohjauksesta Maviko Oy:n henkilökuntaa. Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyöni valvojaa Heikki Tarkiaista. Erityskiitokset osoitan perheelleni, joka tukenut opintojani alusta asti.

Tampereella 30.04.2011

---

*Lauri Mäntylä*

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
ALKUSANAT .....	4
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Maviko Oy .....	9
1.2 Trench Austria GmbH .....	10
2 KESKIJÄNNITEVERKKOJEN MAADOITUSTAVAT .....	11
3 MAASULKU .....	12
3.1 Määritelmä .....	12
3.2 Maasulkutyypit .....	13
3.3 Maasulku maasta erotetussa verkossa .....	14
3.4 Maasulku suoraan maadoitetussa verkossa .....	16
3.5 Maasulku kompensoidussa verkossa .....	16
3.6 SFS 6001 standardin rajoitukset maasulussa olevan verkon käytölle .....	18
4 20KV:N VERKON KESKITETYN KOMPENSOINNIN TOTEUTTAMINEN....	20
4.1 ASC – kompensointikela .....	20
4.2 Rinnakkaisvastus .....	22
4.3 EFC20 ja EFC20i – sammutuskelan säätäjät .....	22
4.4 ECI virran injektointilaitteisto .....	24
4.5 Maadoitusmuuntaja .....	25
5 EFD20 – MAASULUN TUNNISTUS- JA PAIKANNUSLAITTEISTO .....	26
5.1 Laitteiston käyttöönotto .....	27
5.2 Maasulun tunnistusmenetelmät .....	30
5.2.1 ”Advance admittance”-metodi .....	30
5.2.2 ”Wattmetric”-metodi .....	32
5.2.3 ”Transient”-metodi .....	33
5.3 Käyttöliittymä .....	33
5.3.1 Laitteen päänäyttö .....	34
5.3.2 Säätonäyttötila .....	35
5.3.3 Tunnistusnäyttötila .....	36
5.3.4 Valikko-moodi .....	37
5.3.5 Kaukokäyttö .....	37
5.4 Huolto .....	38
5.5 Käytössä olevat laitteistot .....	38

5.6	EFD20-laitteen edut .....	39
6	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT .....	41
	LÄHTEET .....	42
	LIITTEET .....	43

## LYHENTEET JA TERMIT

A	Ampeeri
C	Kapasitanssi
$C_e, C_0$	Maakapasitanssi
$\underline{E}_1$	Epäsymmetriasyöttöjännite (Thévenin lähde)
H	Henry
$\underline{I}_{c_n}$	Lähdön n kapasitiivinen virta
$\underline{I}_d$	”Wattmetric” jäännösvirta
$\underline{I}_e$	Maavirta
$\underline{I}_{eci}$	Indusoitu virta
$\underline{I}_f, \underline{I}_{ef}$	Maasulkuvirta
$\underline{I}_L$	Induktiivinen virta
$\underline{I}_{pos}$	Kelan asento
$\underline{I}_{res}$	Jäännösvirta[A], Resonanssipiste[%]
$\underline{I}_u$	Epäsymmetriavirta
$\underline{I}_v$	Vaihevirta
K	Maadoituskerroin
$l$	Pituus
L1	Kolmivaihejärjestelmän vaihetunnus
L2	Kolmivaihejärjestelmän vaihetunnus
L3	Kolmivaihejärjestelmän vaihetunnus
N	Kolmivaihejärjestelmän nollassa
PAS	Päällystetty avojohto
PAW	Power auxiliary winding, tehonsyöttökäämi
PLC	Programmable logic controller, Ohjelmoitava logiikka
$R_a$	Lisävastus, jalkineet
$R_{a1}$	Lisävastus, seisontakohdan maadoitusresistanssi
$R_f$	Vikavastus
$R_0$	Yhteenkytketyn verkon häviöt
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, Tietokoneohjelmistotyyppi
SFS	Suomen standardoimisliitto
SPABus	Tiedonsiirtoprotokolla
$\underline{U}_0, \underline{V}_0$	Nollajännite
$\underline{U}_v$	Vaihejännite

$V$	Voltti
$\underline{V}_01$	Nollajännite ACS1
$\underline{V}_02$	Nollajännite ACS2
$VAC$	Voltteja vaihtovirtaa
$VAr$	Vari
$XC$	Yhteenkytketyn verkon maakapasitanssi
$XC_n$	Maakapasitanssi lähdöllä $n$
$XL$	Kompensointikela, kompensointikuristin, sammutuskela
$\underline{Y}$	Admitanssi
$\underline{Y}_0$	Yhteenkytketyn verkon admitanssi
$Ydxx$	Kytkestäryhmän tunnus (ensio tähti, toisio kolmio)
$\underline{ZF}$	Vikaimpedanssi
$Zn$	Kytkestäryhmän tunnus (ensio hakatähti, toisiossa tähtipiste)
$\underline{Z}_u$	Epäsyymerriaimpedanssi
$\underline{Z}_{u_n}$	Epäsyymerriaimpedanssi lähdöllä $n$
$\rho_s$	Maaperän resistiivisyys
$\omega$	Kulmataajuus



## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee maasulkuvirtojen kompensointiin ja maasulkujen havainnointiin kehitettyjä laitteistoja. Laajin osa työstä käsittelee Trench Austria GmbH:n suunnittelemaa ja valmistamaa EFD20 laitteistoa, jossa yhdistyy sekä maasulkuvirran kompensointikelman reaktanssin automaattinen säätö että maasulun luotettava havainnointi ja laukaisu.

Tämän työn tarkoitus on perehdyttää lukija laitteistojen toimintaan ja näyttää toteen laitteistoista saatava hyöty. Työssä käsitellään maasulun tunnistuksessa käytävät menetöt toimintaperiaatteineen sekä tutustutetaan lukija laitteiston käyttöön. Työn toinen tavoite oli tuottaa kalvopohjainen suomenkielinen esittelymateriaali (liite 1) työssä käsitellyistä EFD20-laitteistoista.

Opinnäytetyö on tehty Maviko Oy:lle, jonka päätoimialaa on kompensointilaitteistojen kokonaisvaltaiset toimitukset. Yrityksellä on Suomessa Trench:in edustus kompensointilaitteiden osalta. Yritykset jotka tässä työssä esiintyvät ovat suomalainen Maviko Oy sekä itävaltalainen Trench Austria GmbH. Yritykset ovat toisistaan riippumattomia itsenäisiä toimijoita.

### 1.1 Maviko Oy

Maviko Oy on vuonna 2006 perustettu osakeyhtiö, jolla on toimipaikat Vaasassa ja Lempäälässä. Maviko Oy tarjoaa maasulkuvirtojen kompensointiin liittyen projektit sovittaessa kokonaisuudessaan ”avaimet käteen” toimituksina. Tämän lisäksi yritys tarjoaa:

- Konsultointia ja koulutusta
- Releasetteluiden määrittämistä/tarkastusta
- Kuristimien sekä säätäjien huollon ja kunnossapidon
- Sähköasemasuunnittelua
- Laitteistojen asennus- ja perustustyöt
- Maasulun ensiökokeet

- Suojareleiden vaihdot ”avaimet käteen” periaatteella
- Sähköasemien piirustusten dokumentointipalvelu sekä päivitys

## 1.2 Trench Austria GmbH

Trench Austria GmbH on osa kansainvälistä Trench Group:ia, joka on osa Siemens Energy:ä. Trench Group:in kuuluu 16 yksikköä, joista jokaisella on oma toimialansa. Trench Austria valmistaa reaktoreita sekä maasulkusuojalaitteistoja keloineen.

Trench Austria perustettiin 1954 Itävallan Linz:issä nimellä Spezielektra. Vuonna 1990 englantilainen BBA Group Plc osti Spezielektran. Trench Group perustettiin vuonna 1997 holding-yhtiöksi kaikille Trench:n toiminnoille. Vuonna 2004 Trench Group myytiin Siemens AG:lle, joka liitti ryhmittymän Siemens Group:n alaisuuteen (Trench GmbH 2010).

Joitakin Trench Austria GmbH:n tuotteita:

- Ilmasydämmiset reaktorit
  - 10 A → 70 000 A
  - 10  $\mu$ H → 6000 mH
  - 1 kV → 800 kV
- Erikoisreaktorit
- Oikosulun koestusreaktorit
  - 20 kV;100 kA/0,3 s
- Suurvirtareaktorit
  - 30 000 A
- Portaattomasti säädettävät shunttireaktorit
- Maasulun suojaus järjestelmät
- Maasulkuvirran kompensointikelat
  - 6 kV → 145 kV
  - 100 kVAr → 30 MVAr
- Kompensoinnin säätäjät
- Maasulun havainnointilaitteistot

## 2 KESKIJÄNNITEVERKKOJEN MAADOITUSTAVAT

Keskijänniteverkot eli 20 kV:n verkot jaetaan kahteen pääryhmään, tehollisesti ja ei tehollisesti maadoitettuihin verkkoihin. Tehollisesti maadoitetut verkot ovat pienen impedanssin kautta maadoitettuja verkkoja, joissa maasulut aiheuttavat oikosulkua lähentelevän vikavirran. Ei tehollisesti maadoitettuihin verkkoihin kuuluvat kompensoidut ja resistanssien kautta maadoitetut verkot. Suomen keskijänniteverkot ovat joko maasta erotettuja tai sammutettuja eli kompensoituja verkkoja. (Aura 1993)

Verkon maadoitustapa määrää suuntaviivat suojauksen suunnittelulle, koska maasulkuvirrat sekä nollijännitteet ovat suuresti riippuvaisia maadoitustavasta. Maadoitustapa verkolle joudutaan harkitsemaan aina tapauskohtaisesti. Kompensoidun ja maasta erotetun verkon rinnankäyttö on vaikeaa. Jos kompensointi joudutaan jostain syystä kytkeämään pois (esimerkiksi juuri rinnankäytön vuoksi), joudutaan kompensoidun verkon osan suojareleasetteluita muuttamaan. (Sesko Ry 2009)

Maadoitusta kuvaa maadoituskerroin  $K$  jonka suuruus lasketaan maasulun aikana terveen vaiheen ja maan välille muodostuvan jännitteen  $U_v$  ja normaalitilan pääjännitteen  $U$  suhteena yhtälön 1 mukaisesti. (Lehtonen ja Hakola 1996)

$$K = \frac{U_v}{U} \quad (1)$$

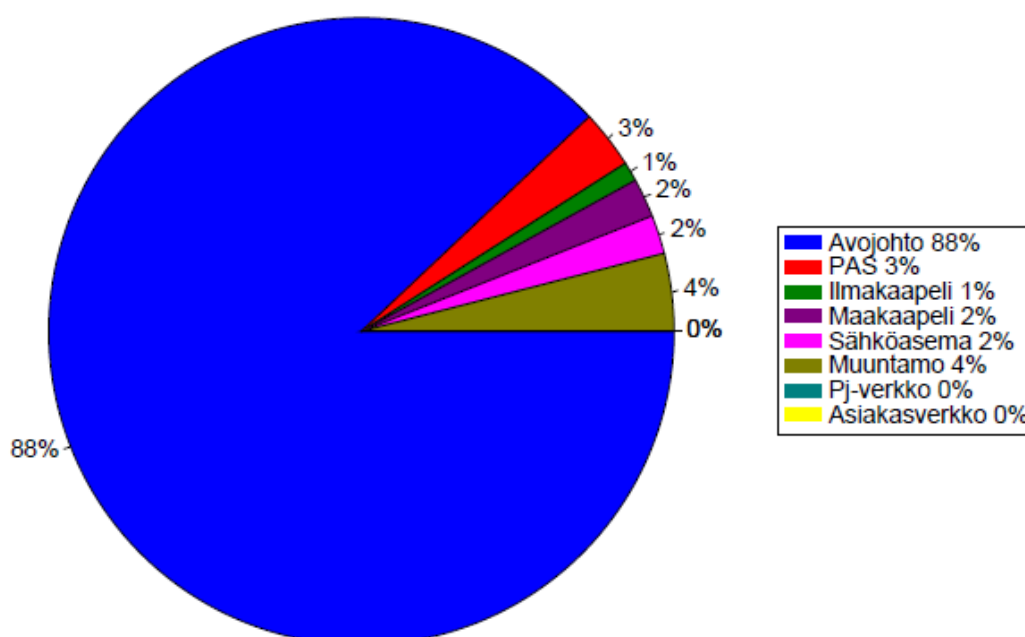
Jos maadoituskerroin on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,8, on järjestelmä tehollisesti maadoitettu. Maadoituskertoimen ollessa suurempi kuin 0,8 on verkko ei-tehollisesti maadoitettu. (Aura 1993)

### 3 MAASULKU

#### 3.1 Määritelmä

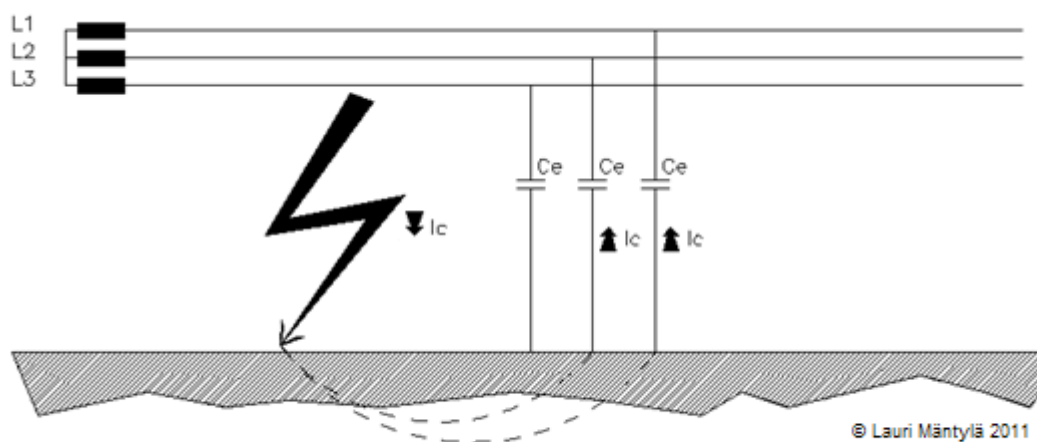
Maasululla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa äärijohtimen sekä maan tai maadoitetun osan välille syntyy johtava yhteys. Kun maan ja äärijohtimen väliin vikatilanteessa muodostuu virralle reitti, alkaa ns. maasulkuvirta virrata maasta vikapaikan läpi vioittunutta vaihejohtinta pitkin kohti muuntajan tähtipistettä. Jos muuntajan tähtipiste on maasta erotettu, virran ainoa paluureitti on galvaanisesti yhteen kytketyn järjestelmän terveiden vaihejohtimien maakapasitanssien kautta. Edellä mainitussa tilanteessa maasulkuvirta on lähes kokonaan kapasitiivista virtaa. Maasulku voi muodostua jonkin vikaimpedanssin kautta tai valokaarena ilman halki. (Sesko Ry 2009)

Maasulut aiheuttavat suurimman osan sähköverkon vikatilanteista. Maasulut ovat yleisimpiä keskijänniteverkon avojohto-osuuksilla, jotka ovat vikataajuuksiltaan muutenkin suurimpia (Kuvio 1). Kaapeliverkon tai päällystetyn avojohtoverkon (PAS) maasulut ovat usein hankalampia havaita niiden suhteellisen suuren vikaresistanssin tai katkeilevan vian takia. Hankalimpia ja vaaraa aiheuttavimpia vikoja ovatkin PAS-johtosuuksien viat, missä johdin on katkennut ja makaa maassa vikaresistanssin ollessa niin suuri, etteivät perinteiset suuntareleet havaitse vikaa. (Energiateollisuus ry 2010)



KUVIO 1: Keskeytysajan jakauma vian sijainnin perusteella (Energiateollisuus ry 2010).

Periaatteellinen kuva maasulkuvirran muodostumisesta maasta erotetussa verkossa on esitetty alempana (Kuvio 2).

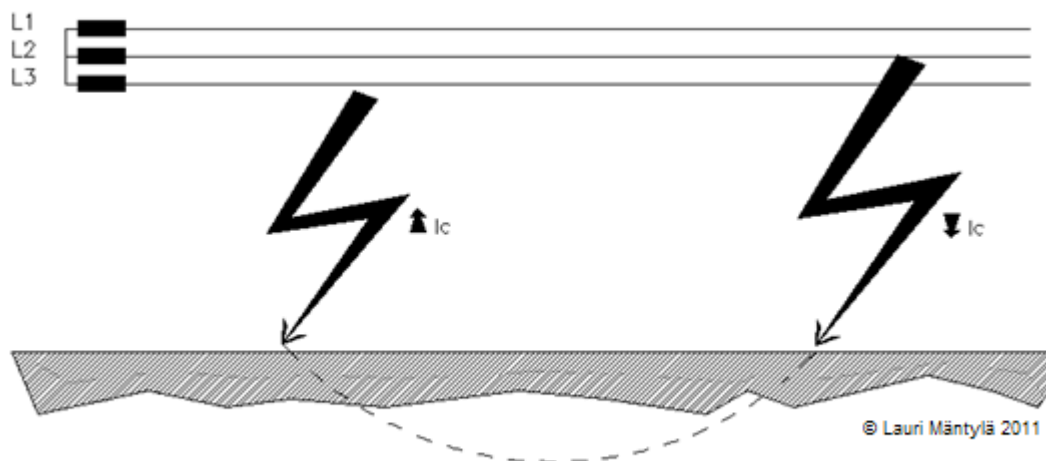


KUVIO 2: Maasulkuvirta maasta erotetussa järjestelmässä.

### 3.2 Maasulkutyypit

Yksivaiheinen maasulku muodostuu yhden äärijohtimen ja maapotentiaalin välille. Yksivaiheinen maasulku (kuvio 2) on yleisin maasulkutyyppeistä. Osa yksivaiheisista maasulkuista voi kehittyä maaosulkuiksi jänniteheilahteluiden sekä johtimien ympärillä ionisoituneen ilman johdosta. (Lehtonen ja Hakola 1996)

Kaksoismaasulkutilanteessa joko kahdella äärijohtimella on maahan nähden eristysvika tai vika on saman vaiheen kahdessa eri kohdassa (Kuvio 3). Kaksoismaasulku aiheuttaa oikosulun kaltaisen tilan verkkoon ja kaksoismaasulut tulisivat kytkeä heti verkosta pois. Kaksoismaasulkuun verrattava tilanne voi syntyä myös silloin, kun kuormituksen puoleinen pää avojohdosta putoaa katketessaan maahan. Edellä kuvatussa tilanteessa vikaresistanssin laskennallinen arvo on niin suuri, että näitäkin vikoja on vaikeampi havaita. (Lehtonen ja Hakola 1996)



KUVIO 3: Virtapiiri kaksoismaasulussa.

Maaoikosulussa yhdistyy yksivaiheinen maasulku sekä kahden vaiheen välinen oikosulku. Maaoikosulku voi syntyä esimerkiksi kaatuvan puun jäädessä nojaamaan linjaa vasten. Maaoikosulut kytketään verkosta välittömästi irti. (Lehtonen ja Hakola 1996)

### 3.3 Maasulku maasta erotetussa verkossa

Maasta erotetulla verkolla tarkoitetaan järjestelmää, jonka muuntajan/muuntajien tähtipistettä/tähtipisteitä ei ole maadoitettu. Kun äärijohtimen ja maan välille syntyy eristysvika, virtapiiri sulkeutuu galvaanisesti yhteen liitetyn sähköverkon johtimien maakapasitanssien kautta. Vikapaikan maasulkuvirta aiheuttaa jännitejärjestelmän tähtipisteen siirtymisen, koska tähtipistettä ei ole maadoitettu. Tähtipisteen siirtyessä maan ja tähtipisteen välille muodostuu potentiaaliero - ns. nollajännite  $U_0$ . (Lehtonen ja Hakola 1996)

Maakapasitanssin suuruuteen vaikuttaa johtimien etäisyys maasta, johtimien tyyppi sekä yhteen kytkettyjen johtimien yhteispituus. Useat kaapelinvalmistajat ilmoittavatkin kaapeillelensa niiden ”kehittämän” ominaismaasulkuvirran kilometriä kohden, joka on määritelty vastaamaan vastuksetonta maasulkua. Maasulkuvirta  $I_e$  määräytyy verkon jännitetason, taajuuden, maakapasitanssin sekä mahdollisen vikaresistanssin mukaan. Vikaresistanssin ollessa nolla voidaan maasulkuvirta maasta erotetussa järjestelmässä ratkaista yhtälön (2) mukaisesti. (ABB Oy 2000).

$$I_g = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_g \cdot U \quad (2)$$

Jossa:

$$I_g = \text{Maasulkuvirta [A]}$$

$$\omega = \text{Kulmataajuus } 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$C_g, C_0 = \text{Verkon yhden vaiheen maakapasitanssi [F]}$$

$$U = \text{Verkon pääjännite [V]}$$

Avojohtojen maasulkuvirtojen määrittämiseen on ABB:n mukaan käytössä hyväksitty laaduttu likiarvosuureyhtälö yhtälö (3).

$$I_g [\text{A}] \approx \frac{U [\text{kV}] \cdot l [\text{km}]}{300} \quad (3)$$

(ABB Oy 2000)

Kuten edellä esitetystä yhtälöstä voidaan lukea, yhtälö ei huomioi vikaresistanssin suuruutta, joten edellä esitetty laaduttu suureyhtälö pätee ainoastaan suoraan eli vikaresistanssittomaan maasulkuun.

Kun vikapaikassa virtaa rajoittaa jokin vikaresistanssi, maasulkuvirran arvo pienenee. Maasulkuvirran arvo on laskettavissa vikaresistanssisissa vioissa yhtälön (4) mukaan seuraavasti. (ABB Oy 2000)

$$I_{gf} = \frac{\sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_g}{\sqrt{1 + (3 \cdot \omega \cdot C_g \cdot R_f)^2}} \cdot U \quad (4)$$

Jossa:

$$I_{gf} = \text{Maasulkuvirta [A]}$$

$$\omega = \text{Kulmataajuus } 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$C_g, C_0 = \text{Verkon yhden vaiheen maakapasitanssi [F]}$$

$$U = \text{Verkon pääjännite [V]}$$

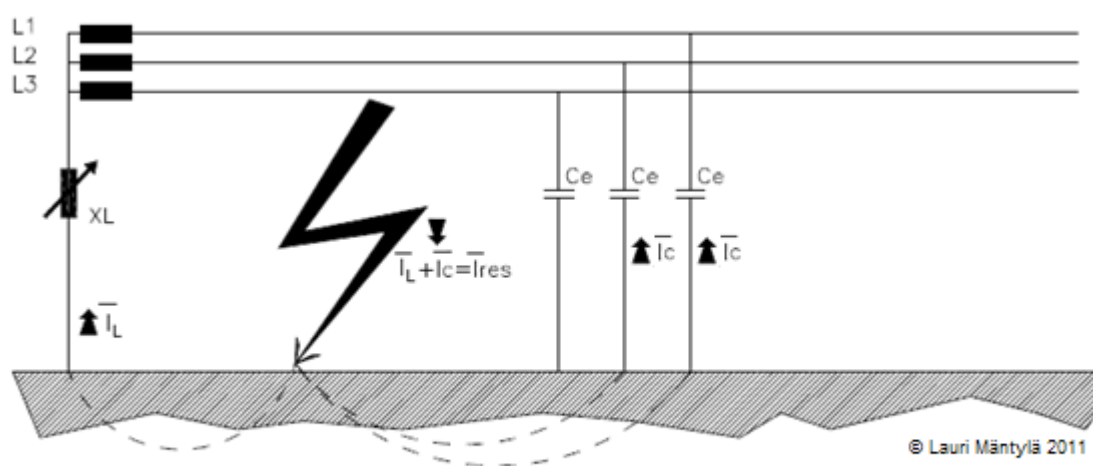
$$R_f = \text{Vikaresistanssi } [\Omega]$$

### 3.4 Maasulku suoraan maadoitetussa verkossa

Suoraan maadoitetulla verkolla tarkoitetaan verkkoa jossa tähtipiste on maadoitettu suoraan järjestelmän maadoitusjohtimeen. Kun suoraan maadoitetussa verkossa tapahtuu esimerkiksi yksivaiheinen maasulku, verkon oikosulkusuoja toimii koska tilanne vastaa oikosulkua. Maasulkusuojausta ei siis tarvitse erikseen huomioida maadoitetussa verkossa. (Lehtonen ja Hakola 1996)

### 3.5 Maasulku kompensoidussa verkossa

Kun järjestelmän tähtipiste maadoitetaan ns. kompensointikelman kautta, vikavirran  $\underline{I}_f$  kapasitiivinen komponentti  $\underline{I}_c$  kompensoituu kompensointikelman läpi menevän virran induktiivisella komponentilla  $\underline{I}_L$  (KUVIO 4). Todellisessa tilanteessa jäännösvirta  $\underline{I}_{res}$  on ainoastaan ali- tai ylikompensoinnista johtuvan reaktiivisen komponentin sekä verkon resistanssin, kompensointikelman sisäresistanssin ja mahdollisen vikaresistanssin aiheuttaman resistiivisen komponentin summa. Alempana on esitetty osoitinpiirros täysin kompensoidusta tilanteesta (Kuvio 5). (Lehtonen ja Hakola 1996)



KUVIO 4: Maasulkuvirran kompensointi



Täysin sammutetussa verkossa vikavirta voidaan laskea teoriassa yhtälön 5 avulla. (ABB Oy 2000)

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C} \quad (5)$$

Jossa:

$L$  = sammutuskelan induktanssi[Ω]

$C$  = verkon vaiheen kapasitanssi[F]

Nollajännite  $U_0$  riippuu siis sammutuskelan induktanssista, verkon vaihejännitteestä, verkon vaiheen maakapasitanssista sekä taajuudesta yhtälön 6 mukaisesti. (ABB Oy 2000)

$$U_0 = \omega \cdot L \cdot I_L = 3 \cdot \omega^2 \cdot L \cdot C \cdot U_v \quad (6)$$

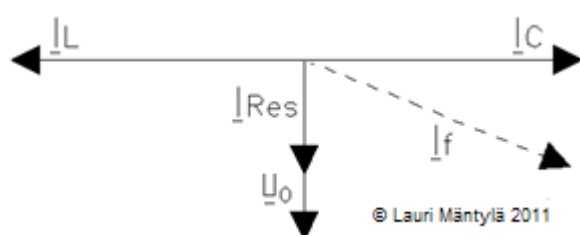
Jossa:

$U_v$  = verkon vaihejännite[V]

$U_0$  = nollajännite[V]

Kun verkon kytkentätilaa muutetaan, muuttuu verkon kapasitanssi. Tällöin sammutuskelan induktanssi pitää olla säädettävissä halutun vireen saavuttamiseksi.

Kompensointi voidaan toteuttaa joko hajautettuna tai keskitettynä kompensointina. Hajautetulla kompensoinnilla tarkoitetaan tilannetta, jossa kompensointikelat sijoitetaan johtolähtöihin. Keskitetyssä kompensoinnissa kompensointikela sijoitetaan muuntajan tähtipisteeseen. Hajautetussa järjestelmässä kuristimien induktansseja ei tarvitse välttämättä säätää, mutta keskitetty kompensointi vaatii miltei poikkeuksetta säädettävän sammutuskuristimen ja säätäjän. (Aura 1993)



KUVIO 5: Osoitinpiirros virran komponenteista kompensointitilanteessa

### 3.6 SFS 6001 standardin rajoitukset maasulussa olevan verkon käytölle

SFS 6001 standardissa määritellään maadoituksen suunnittelulle, asennukselle ja testaukselle kriteerit joita noudattamalla maadoitus toimii tarkoituksen mukaisesti kaikissa tilanteissa pitäen askel- ja kosketusjännitteet sallituissa rajoissa. Olosuhteista riippuen lisämaadoitus voi olla tarpeen.

Maadoituksen rakenteelle on määrätty viisi vaatimusta, jotka maadoituksen pitää täyttää. (Sesko Ry 2009)

- varmistaa mekaaninen lujuus ja korroosionkestävyys
- kestää termiseltä kannalta katsottuna laskelmissa määritetty suurin vikavirta
- estää vahingot omaisuudelle ja laitteille
- varmistaa henkilöturvallisuus huomioon ottaen maadoituksessa maasulun aikana esiintyvät jännitteet
- varmistaa johdolle tietty luotettavuus

Maadoituksen rakenteeseen vaikuttavat parametrit (riippuvaisia järjestelmän maadoitustavasta) ovat:

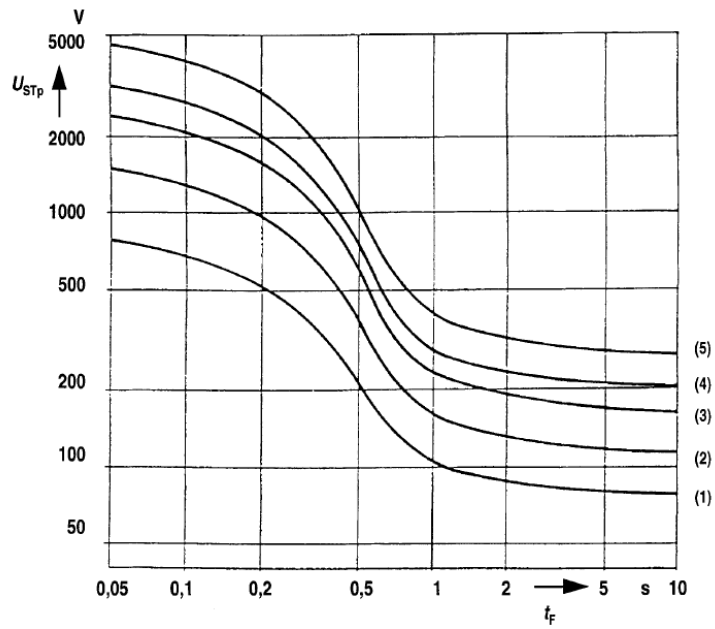
- vikavirran suuruus
- vian kesto aika

Ihmiselle vaaran aiheuttaa kehon läpi kulkeva virta. Standardi IEC 60479-1 määrittelee ihmisen kehon läpi virtaavalle virralle suurimmat sallitut arvot kestoajan funktiona. Kuvaaja kosketusjänniterajoista on esitetty kuviossa 6. Kuvaajassa esiintyvät käyrät 1-5 on laskettu taulukon 1 eri lisäresistanssien ( $R_a$  – esimerkiksi jalkineiden resistanssi,  $R_{aI}$  – seisontakohdan maadoitusresistanssi) sekä maaperän resistiivisyyksien ( $\rho_s$ ) arvoilla. (Sesko Ry 2009)

TAULUKKO 1: Lisäresistanssit ja maaperän resistiivisyydet (Sesko Ry 2009)

1. Ilman lisäresistansseja
2.  $R_a=750 \Omega$ ,  $R_{aI}=0 \Omega$ ,  $\rho_s=500 \Omega\text{m}$
3.  $R_a=1750 \Omega$ ,  $R_{aI}=1000 \Omega$ ,  $\rho_s=500 \Omega\text{m}$

4.  $R_a=2500 \Omega$ ,  $R_{aI}=1000 \Omega$ ,  $\rho_s=1000 \Omega\text{m}$   
 5.  $R_a=4000 \Omega$ ,  $R_{aI}=1000 \Omega$ ,  $\rho_s=2000 \Omega\text{m}$



KUVIO 6: Kosketusjänniterajat ajan suhteen (Sesko Ry 2009)

#### 4 20KV:N VERKON KESKITETYN KOMPENSOINNIN TOTEUTTAMINEN

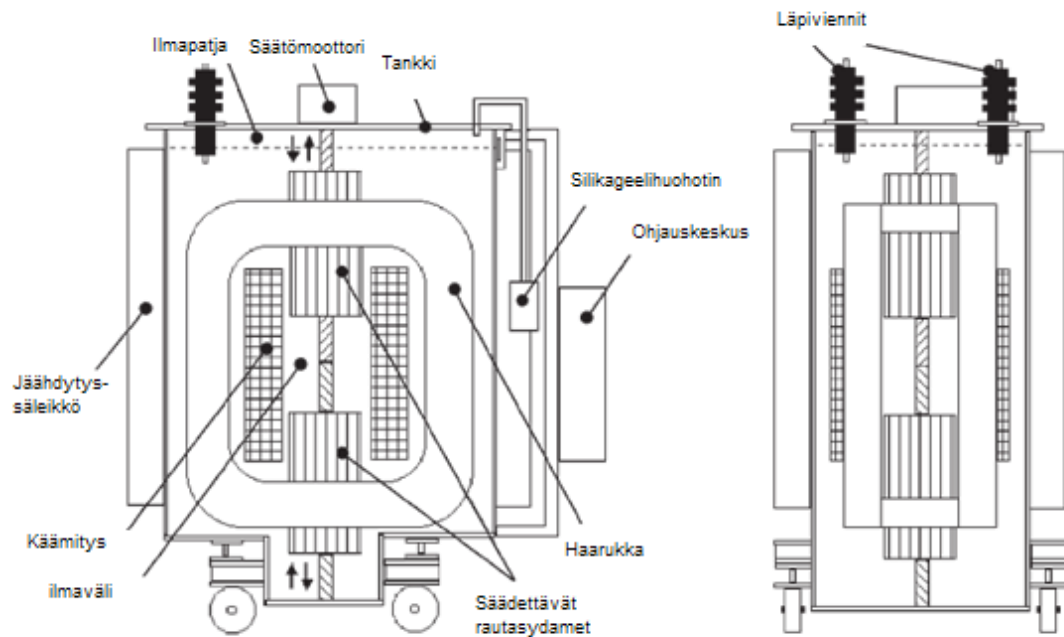
Kompensointikela kytketään keskitetyssä kompensoinnissa syöttävän muuntajan toisioon tähtipisteen ja maan väliin. Useimmiten 20 kV:n verkossa ei ole muuntajan tähtipistettä käytettävissä, koska yleisimmin muuntajien kytkentäryhmä on Ydxx. Jos muuntajan toisio on tähtikytkentäinen, tähtipisteen ja maan väliin ei voi aina sammutuslaitteistoja kytkeä tähtipisteen pienen virtakestoisuuden vuoksi.

Edellä kuvatussa tilanteessa verkolle luodaan tähtipiste erillisen maadoitusmuuntajan avulla. Maadoitusmuuntajien kytkentäryhmä on Zn. Maadoitusmuuntaja voidaan varustaa myös erillisellä omakäyttökäämityksellä, jolla apujännitettä voidaan ottaa laitteistojen ja sähköaseman tarpeisiin.

Laitteisto koostuu neljästä peruskomponentista jotka ovat sammutuskela, sammutuskelan säätäjä, rinnakkaisvastus ja mahdollinen maadoitusmuuntaja. Rinnakkaisvastus kytketään kelan rinnalle ja vastuksen kytkentää muutetaan tilanteesta riippuen. (Trench Austria GmbH 2010)

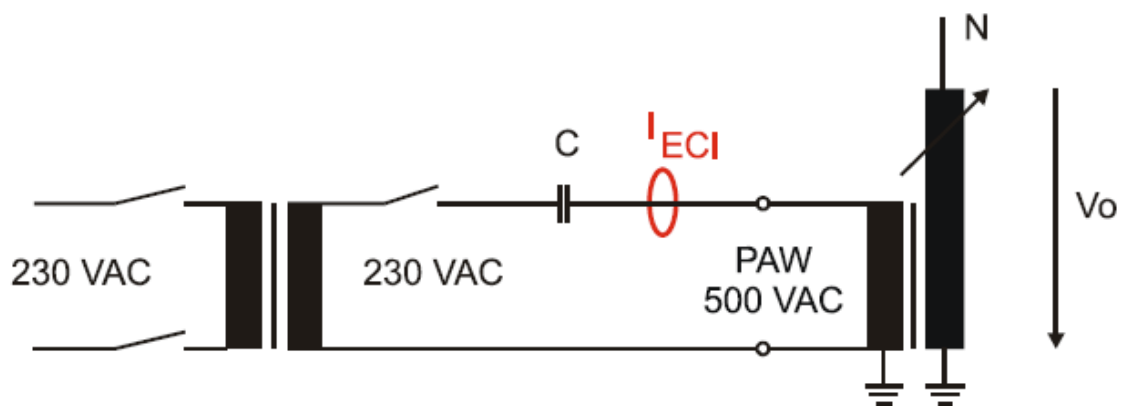
##### 4.1 ASC – kompensointikela

Kompensoinnin pääkomponentti, kompensointikela eli kuristin, on kaksoissydämellä varustettu öljytäytteinen kela, jonka induktanssia muutetaan sydämien ilmaväliä säätämällä. Sääto tapahtuu kotelon yläosassa sijaitsevan moottorin avulla kierretangon välityksellä ja sääto on mahdollista myös kuormitettuna (Kuvio 7). Kierretangon asentotieto luetaan potentiometrin avulla ja lähetetään säätäjälle. Rinnakkaisvastus on yleisesti asennettu kiinteästi kelan runkorakenteeseen. Sammutuskelojen nimellistehot normaaleilla tilaustuotteilla ovat 200 kVAr:sta aina 35 MVar:iin asti. Käyttöjännite on rajoitettu  $145/\sqrt{3}$  kV:in. (Trench GmbH 2010)



KUVIO 7: Kompensointikelan ASC periaatekuva (Trench Austria GmbH 2010)

Kompensointikelassa on erillinen käämitys PAW (Kuvio 8), josta säätäjän ja maasulun tunnistuslaitteiston tarvitsema virta  $I_{eci}$  voidaan indusoida kompensointikelan välityksellä nollapiiriin. Virran indusointi suoritetaan ECI –laitteella, jota ohjaa joko EFC20i –säätäjä tai EFD20 –laitteisto.



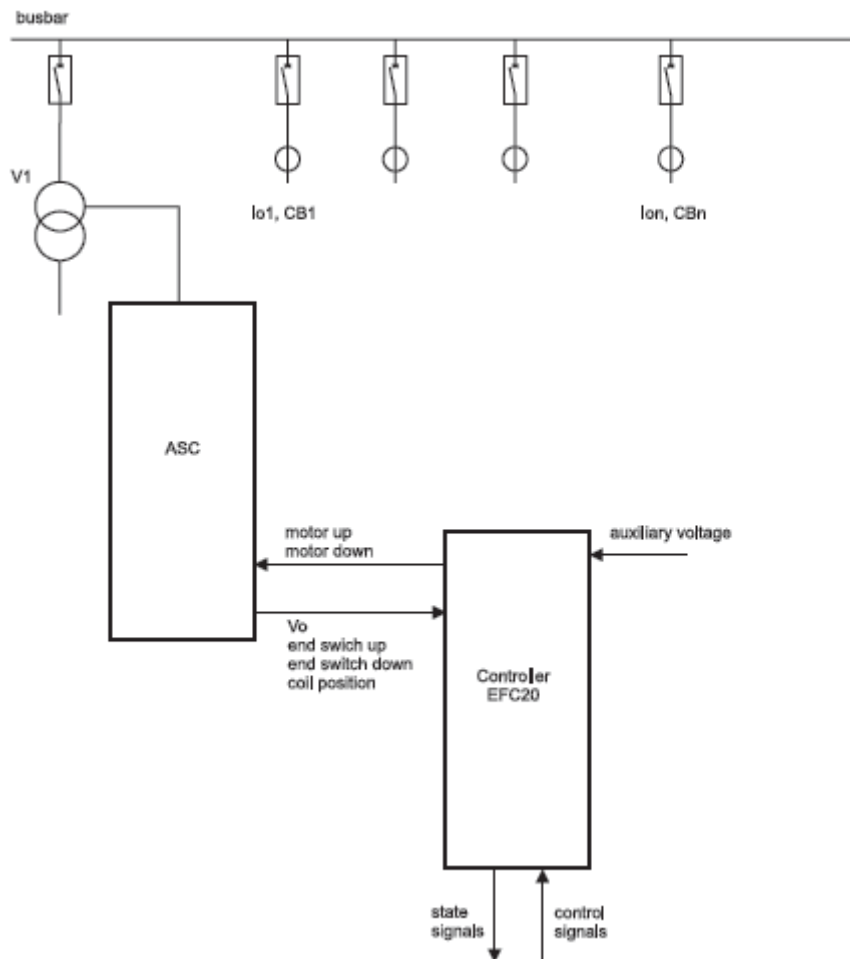
KUVIO 8: Virran indusointi kompensointikelaan (Trench Austria GmbH 2009)

## 4.2 Rinnakkaisvastus

Rinnakkaisvastuksen tarkoitus on lisätä jäännösvirran  $I_{\text{res}}$  resistiivistä komponenttia, jotta suojarelleille saataisiin suurempi virta. Rinnakkaisvastuksen ohjaukseen on yleisimmin käytössä kolme tapaa. Yleisesti vastus kytketään vian ilmenemisen jälkeen ennalta asetetun viiveen jälkeen kuristimen tehokäämin avulla järjestelmän nolapiiriin. Toinen tapa on pitää sitä jatkuvasti päällä, jolloin vastuksen tehonkesto on oltava suurempi. Kolmas käytetty tapa on normaalitilanteessa pitää se päällä ja katkaista vikatilanteen jälkeen lyhyeksi ajaksi.

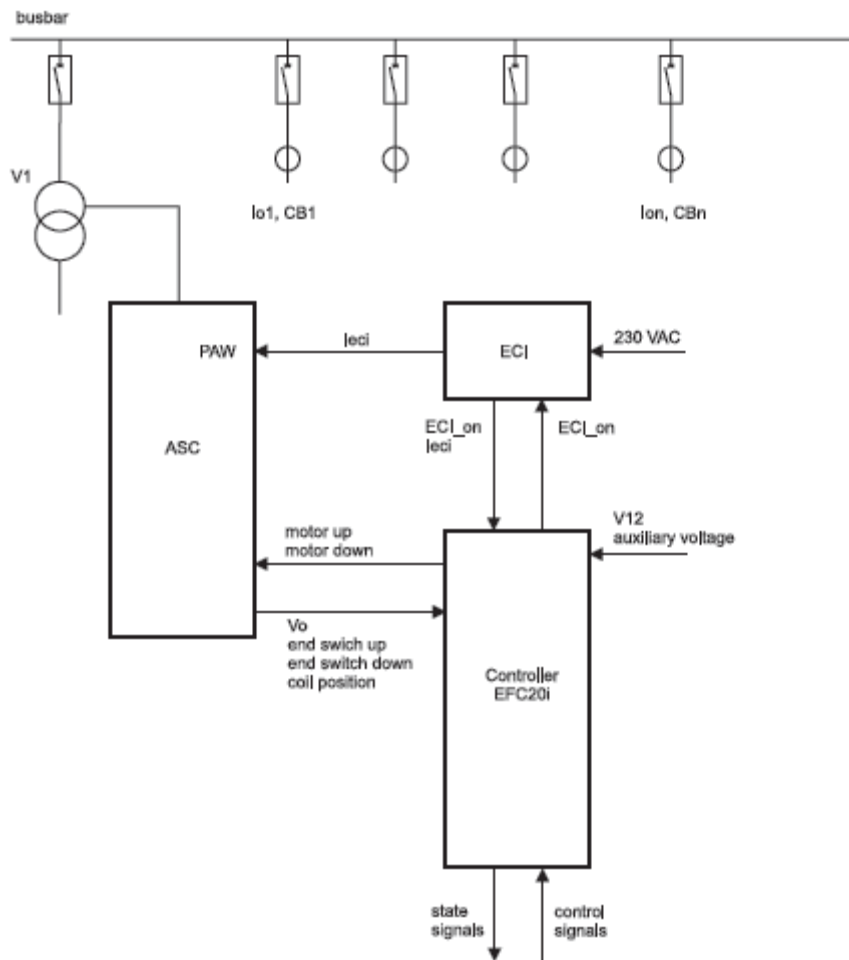
## 4.3 EFC20 ja EFC20i – sammutuskelan säätäjät

Kelan säätäjän tehtävä on muuttaa kompensointikelan induktanssia, jotta verkon kompensointi saataisiin viritettyä mahdollisimman tarkasti haluttuun pisteeseen. EFC20 määrittää resonanssipisteen siten että se säätää kelan induktanssia ylös- tai alaspäin kunnes resonanssi piste on ylitetty. Säätäjä ohjaa myös rinnakkaisvastusta (Kuvio 9). (Trench Austria GmbH 2010)



KUVIO 9: EFC20 periaatekuva (Trench Austria GmbH 2010)

Eroavaisuutena EFC20i:n toiminnassa verrattuna EFD20:en on virtainjektion hyödyntäminen resonanssipisteen määrittämisessä. Jotta virtainjektio saadaan tehdyksi, laitteistoon lisätään yksi komponentti – ECI virtainjektori (Kuvio 10). Toiminta perustuu nol-lapiiriin indusoitavaan (injektoitavaan) virtaan jonka suuruus tiedetään. Mittaustulokset kaapelivirtamuuntajilta säätäjälle saadaan näin nopeasti ja luotettavasti. Tällöin kelan induktanssia ei tarvitse säätää resonanssipistettä määrittäessä, vaan kela voidaan säätää heti tilanteen muuttuttua jälleen haluttuun viritystilaan. (Trench Austria GmbH 2009)



KUVIO 10: EFC20i periaatekuva (Trench Austria GmbH 2010)

#### 4.4 ECI virran injektointilaitteisto

ECI- laite on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen (Kuvio 11). Laitteiston pääkomponentit ovat suojaerotusmuuntaja ja virtamuuntaja, jolta nollapiiriin syötetty virta mitataan. Laitteisto kytketään 230 V vaihtojännitteeseen. Laitteita saadaan joko sisä- tai ulkokäyttöön tarkoitetuilla kotelarakenteilla. Kuvion 11 laite on ulkokäyttöön rakennettu. (Trench Austria GmbH 2009)





KUVIO 11: ECI -laite. (Trench Austria GmbH 2009)

#### 4.5 Maadoitusmuuntaja

Maadoitusmuuntajan tarkoituksena on luoda järjestelmälle fyysinen tähtipiste, johon kompensointilaitteisto voidaan kytkeä. Maadoitusmuuntajan nimellisteho mitoitetetaan vähintään samaksi kuin sammutuskelan nimellisteho. Maadoitusmuuntaja voidaan varustaa omakäyttökäämityksellä josta voidaan ottaa apujännitteet käytettäville laitteille. Jos maadoitusmuuntaja varustetaan omakäyttökäämityksellä, sammutuskelan erottamiseksi tarkoitettu katkaisija tulee asentaa maadoitusmuuntajan ja kuristimen väliin.

## 5 EFD20 – MAASULUN TUNNISTUS- JA PAIKANNUSLAITTEISTO

Perinteisten suojareleistyksien ongelmana on pieni- ja suuri-impedanssisten vikojen havainnointi johtuen mahdollisesti pienistä nollapiirin virroista, virtamuuntajien virheistä ja ennen kaikkea vain yhden lähdön nollavirran mittaamisesta. EFD20-laitteiston (Kuvio 12) suunnittelussa on lähdetty siitä ajatuksesta, että yhdelle laitteelle tuodaan mittatiedot kaikkien lähtöjen (lähtöjen määrä rajoitettu 32:teen) summavirroista ja tähtipisteen ja maan välisestä nollajännitteestä. Näiden mittatietojen avulla laite kykenee havaitsemaan luotettavasti sekä pieni- että suuri-impedanssiset viat. (Trench Austria GmbH 2009)



KUVIO 12: EFD20 –laite (Trench Austria GmbH 2009)

EFD20-laitteisto voidaan varustaa myös kompensointikelan säätäjällä (EFD20c), jolloin erillistä säätäjää ei tarvita.

## 5.1 Laitteiston käyttöönotto

Laite asennetaan laitekaappiin ja tavallisesti olisi suotavaa että asennusta varten olisikin lähes tyhjä kaappi käytettävissä. Kuvion 13 tapauksessa erillistä säätäjää ei laitteistoon ole kytketty, koska EFD on mallia EFD20c. Laitteiston lohkokaaavioesityksestä (Kuvio 13) nähdään alla esitetyt laitteille kaapeloitavat tulot ja lähdöt.

Kompensointikelalle kaapeloidaan:

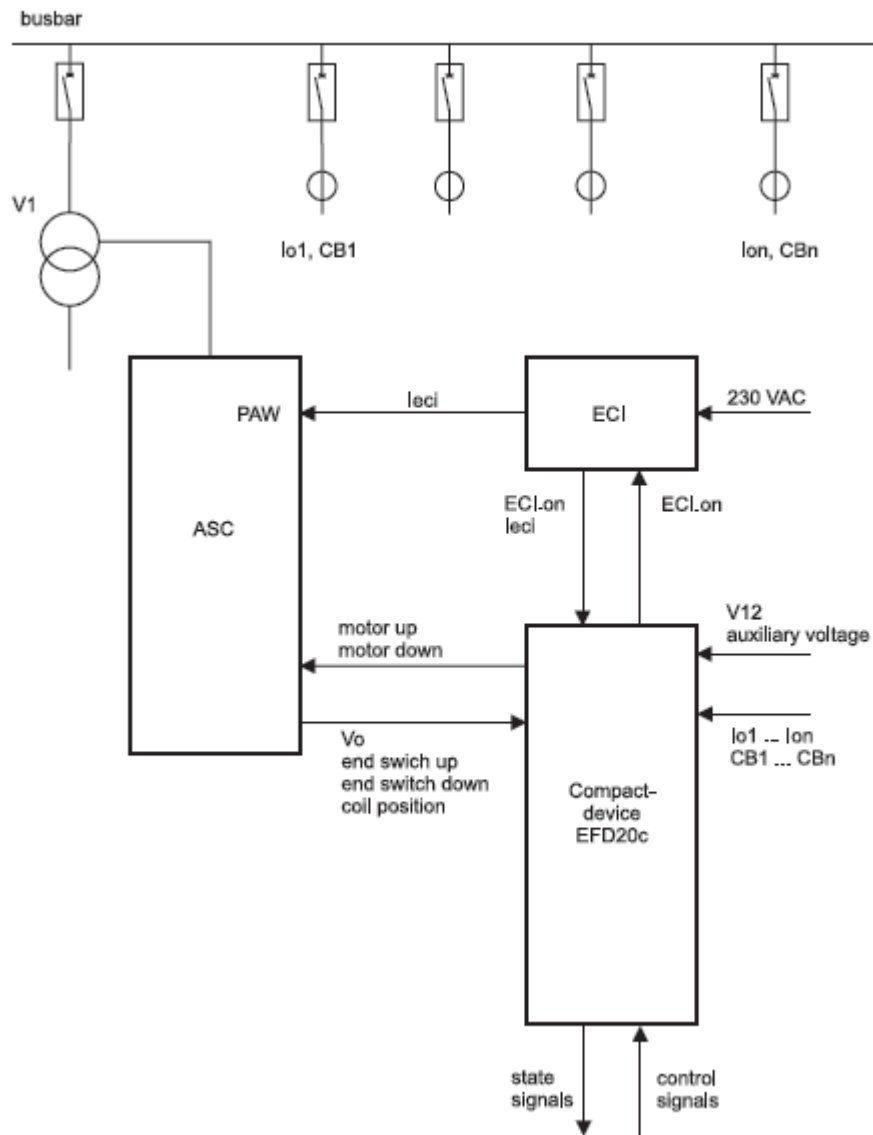
- virtainjektorin virransyöttökaapeli
- moottorin ohjauskaapeli
- nollajännitteen mittauskaapeli

Virtainjektorille kaapeloidaan:

- Käyttöjännite
- EFD:lle virtainjektorin ohjaus- ja mittauskaapeli

EFD20c:lle kaapeloidaan:

- Käyttöjännite
- moottorin ohjauskaapeli
- nollajännitteen mittauskaapeli
- johto/kaapelilähtöjen summavirrat ja katkaisijan tilatieto (maksimissaan 32 kappaletta)
- virtainjektorin ohjaus- ja mittauskaapeli
- Ulkoiset ohjaussignaalit ja tilatiedot



KUVIO 13: EFD-laitteiston lohkokaavioesitys (Trench Austria GmbH 2009)

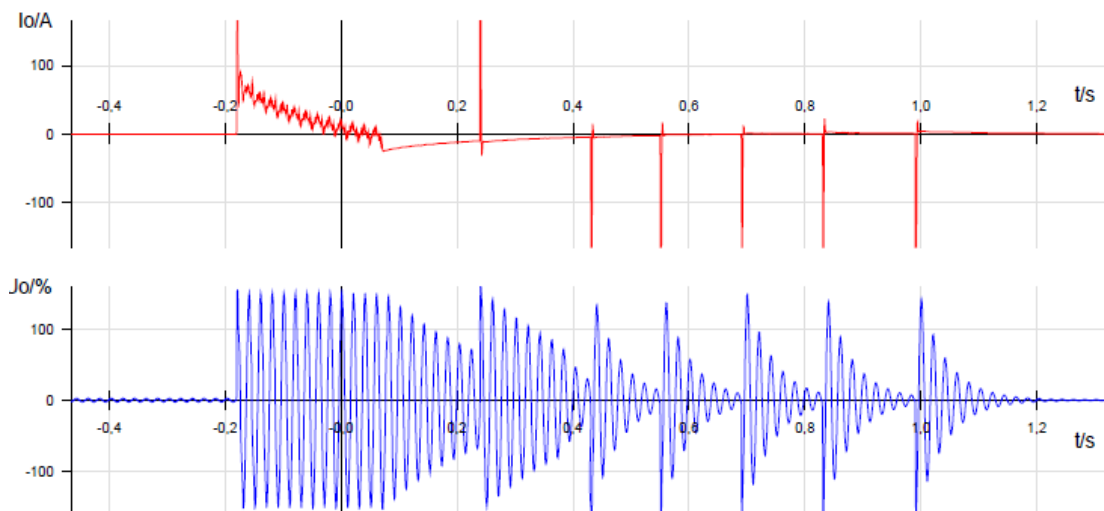
EFD20-laitteisto voidaan kytkeä myös olemassa olevan suojauksen rinnalle ja asetella toimimaan hälyttävänä laitteena. Jos laite toimii hälyttävänä laitteena, voidaan lähtöjen laukausit kytkeä toimimaan myös myöhemmin.

Käyttöönnoton lopuksi laitteistolle suoritetaan käyttöönottokokeet (Kuvio 14), joissa luodaan verkkoon maasulku suuren impedanssin kautta (Kuvio 14, oikea puoli). Toinen ensiökoe voidaan suorittaa säädettävällä kipinävälillä (Kuvio 14, vasen puoli), jolla saadaan hyvin säädetyin ilmapälin avulla aikaiseksi katkeileva maasulku. Kokeiden aikana tallennetaan häiriötallenteet (Kuvio 15), joista voidaan todeta aiheutetun vian laatu ja tarkastella laitteiston toimintaa vikatilanteessa.



KUVIO 14: Ensiökokeet (Maviko Oy 2009)

Edellä esitetty katkeileva maasulku (Kuvio 15) on aiheutettu hieman alle yhden senttimetrin kipinävälillä sähköaseman käyttöönottokokeissa. Tilanteessa EFD20-laitteisto kykeni havaitsemaan vian oikein ja pystyi tunnistamaan vikaantuneen lähdön. Kyseisessä tilanteessa EFD20:tä ei ollut asetettu laukaisemaan vikaa, joten vikaantunutta lähtöä ei erotettu verkosta.



KUVIO 15: Häiriötallenne katkeilevasta maasulusta (Maviko Oy 2009)

## 5.2 Maasulun tunnistusmenetelmät

Paikannuslaitteisto käyttää pääasiallisesti maasulun tunnistamiseen admitanssi-metodia. Joissakin tilanteissa on pakko käyttää luotettavan tunnistuksen vuoksi eri metodeita. Esimerkiksi jos laite kytketään päälle ja nollajännite on suuri, virta-injektiota ei voida tehdä, joten käytetään ”wattmetric”-metodia. Laitteella on myös mahdollista hakea manuaalisesti maasulkuja tutkien laitteesta saatavia verkon parametreja samalla muuttaen verkon kytkentätilannetta. Manuaalisessa tunnistuksessa käytetään samoja periaatteita kuin admitanssi-metodissa. (Trench Austria GmbH 2009)

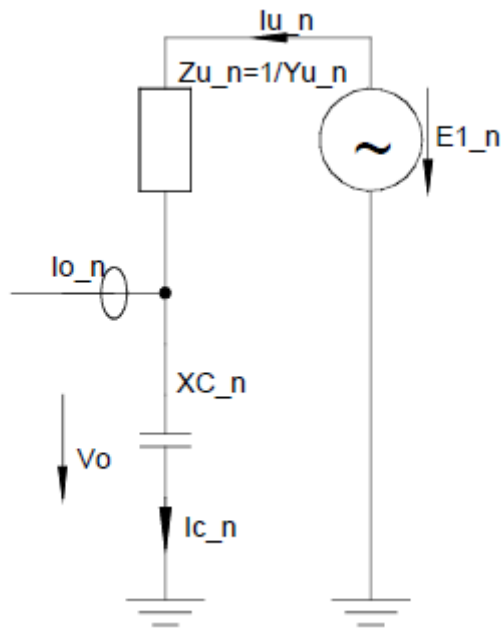
### 5.2.1 ”Advance admittance”-metodi

Admitanssi-metodi on patentoitu Trench Austria GmbH:lle Eurooppalainen patentti EP 0 812 427. Metodi perustuu referenssiparametrisarjaan, joka lasketaan lyhytaikaisessa resonanssipiirin viritystilanteessa. Viritystilanne luodaan indusoimalla ”terveessä tilassa” ECI-virransyöttölaitteella nollapiiriin virta erillisen sammutuskuristimen vieressä olevan virransyöttökelan PAW:n kautta. Laskenta koostuu kahdesta osa-alueesta, verkko-parametrien laskennasta (verkkometodi) ja lähtöparametrien (lähtömetodi) laskennasta.

Jos laitteisto kytketään toimintaan kun verkko on ”terveessä tilassa”, laitteisto käyttää ”verkkometodia” yhteen kytketyn verkon admitanssien määrittämiseen. Laitteisto indusoi virran  $I_{eci}$  nollapiiriin, jonka aikana mitataan nollajännite  $V_0$ . Referenssiarvoista sekä nollajännitteestä laite laskee yhteen kytketyn verkon parametrit (Kuvio 16) ( $Z_u$  – epäsymmetria-impedanssi ja  $Z_0$  - nollapiirin impedanssi) ja yksittäisten lähtöjen parametrit ( $Z_{u,n}$  – yksittäisen lähdön epäsymmetria-impedanssi ja  $I_{c,n}$  – kapasitiivisten virtojen summa). Jos edellä määritetyistä arvoista laskettu verkon admitanssi ylittää asetetun ylä- tai alarajan, muutetaan vikatilatieto joko matala- tai korkeaimpedanssiseksi viaksi. (Trench Austria GmbH 2009)



paikannetaan sille lähdölle, jolla on suurin reaalikomponentti lasketussa vikavirrassa.  
(Trench Austria GmbH 2009)



KUVIO 17: Yksittäisen lähdön ekvivalenttipiiri (Trench GmbH 2010)

Jossa:

$I_{o\_n}$	mitattu nollapiirin virta lähdöltä n
$V_o$	nollajännite
$I_{c\_n}$	kapasitiivinen virta lähdöltä n
$X_{C\_n}$	maakapasitanssi lähdötä n
$I_{u\_n}$	epäsymmetriavirta lähdöltä n
$Z_{u\_n}$	epäsymmetriaimpedanssi lähdöltä n
$E1\_n$	epäsymmetriasyöttöjännite lähdöltä n

### 5.2.2 “Wattmetric”-metodi

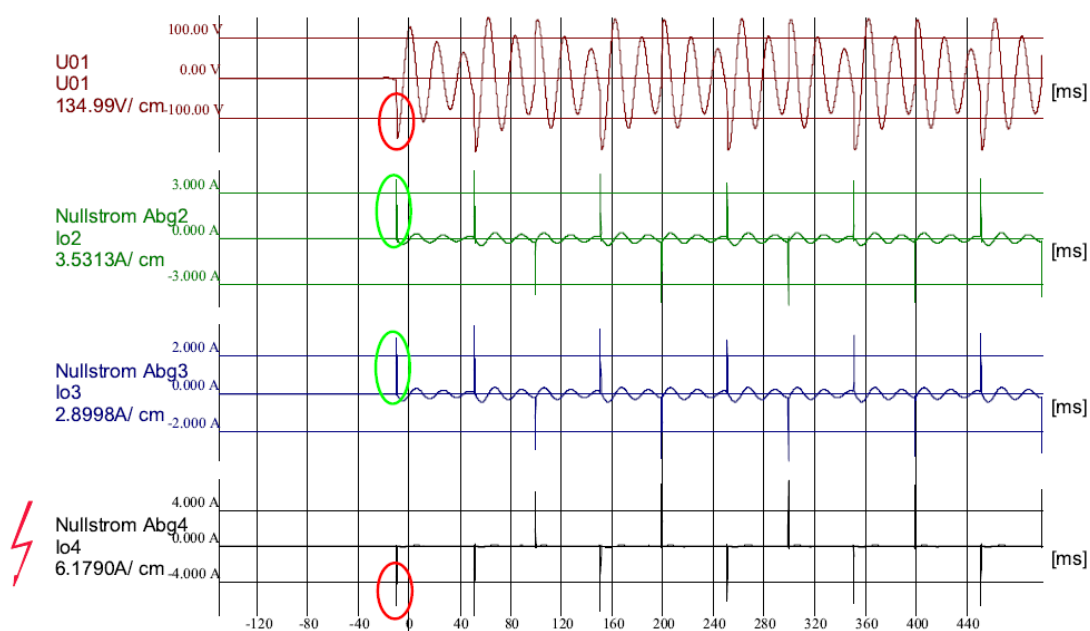
Kun laitteisto kytketään päälle verkon ollessa maasulussa (hyvin suuri nollajännite), virtainjektiota ei voida käyttää. Yhteen kytketyn verkon eikä yksittäisten lähtöjen referenssiparametreja ei ole käytössä ja vikaimpedanssin  $Z_F$  määrittäminen laskennallisesti on mahdotonta.



Edellä kuvatussa tilanteessa laitteisto käyttää tunnistamiseen kahden metodin yhdistelmää (wattmetric ja transient), kunnes virtainjektio on taas mahdollista suorittaa. Kun laitteiston laskema koko verkon epäsymmetriaimpedanssi  $Z_{u_n}$  laskee asetetun hälytysrajan alapuolelle, kaikki lähdöt joiden epäsymmetriaimpedanssit  $Z_{u_n}$  ovat asetettuja hälytysrajoja pienemmät merkitään vikaantuneiksi lähdöiksi.

### 5.2.3 ”Transient”-metodi

“Transient”-metodi on kehitetty katkeilevien maasulkujen tunnistamiseksi. Laite tutkii nollajännitteessä esiintyviä piikkiarvoja ja vertaa niitä lähtöjen  $I_0$  virtoihin. Terveissä lähdöissä summavirran ja järjestelmän nollajännitteen välillä on  $180^\circ$  vaihesiirtokulma (Kuvio 18).



KUVIO 18: Transient-metodin periaate (Trench GmbH 2010)

### 5.3 Käyttöliittymä

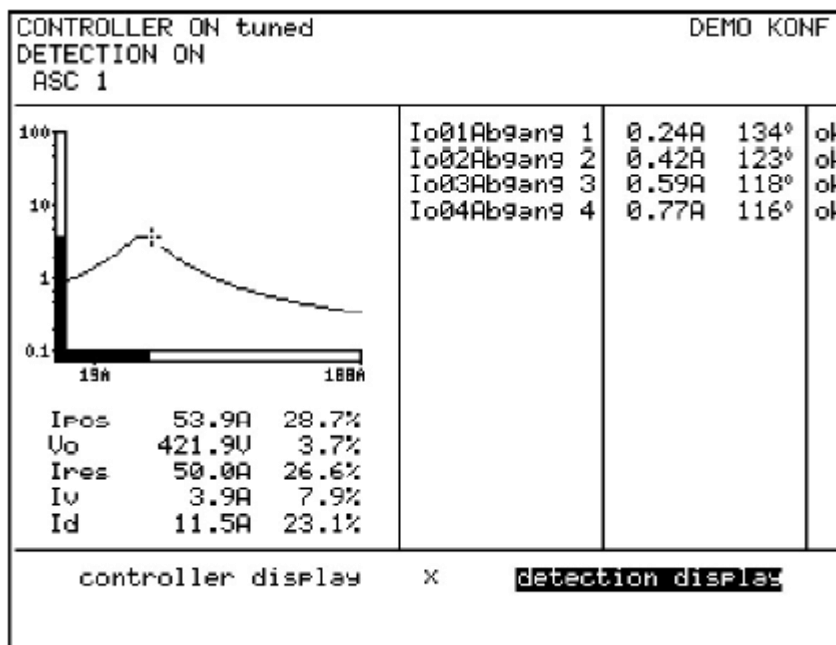
Laitteen paikallinen käyttöliittymä on selkeä. Laitetta paikallisesti ohjattaessa hallinta tapahtuu muutamalla näppäimellä sekä yhdellä säätöpyörällä. Laitteessa on 24-rivinen nestekidenäyttö. Käyttäjätasoja on kolme, jotka voi suojata omilla salasanoillaan. Ensimmäinen ”operation level” mahdollistaa ainoastaan laitteen pääparametrien muutokset. Toinen taso ”commissioning level” on järjestelmän omien asetusten säätöön tarkoi-

tettu käyttäjätaso. ”Expert level” mahdollistaa kaikkien säädettävien parametrien sekä käyttäjäsalasanojen muutokset.

Laitteen asetteluita pystytään muokkaamaan joko paikallisesti tai tietokoneella. Tietokoneelle on kaksi eri ohjelmaa joilla asetteluita voidaan tehdä. Efdterm-ohjelmisto mahdollistaa online-tilassa tehtävät muutokset ja Efdparam-ohjelmalla voi asettelut tehdä kerralla ja siirtää yhdellä kertaa laitteiston muistiin.

### 5.3.1 Laitteen päänäyttö

Laitteen päänäyttö jakautuu kahteen palstaan, josta vasemmanpuoleinen näyttää kompensoinnin viritystilan ja oikeanpuoleinen osio esittää lähtöjen tilat summavirtoineen (KUVIO 19). Ensimmäisellä rivillä näytetään säätäjän tilatieto joka on esimerkissä ”säätö päällä”. Tämän perässä on kompensointikuristimen säätötila – ”viritetty”. Jos sammutuskuristimia on useampia kuin yksi, näkyy niiden kytkentätilat kolmannella rivillä (esimerkissä on vain yksi kela kytkettynä). Kaksi viimeistä riviä on varattu lyhyelle tarkennukselle, jonka laite näyttää kulloinkin tarkasteltavasta parametrasta.



KUVIO 19: Laitteen päänäyttötila (Trench Austria GmbH 2009)

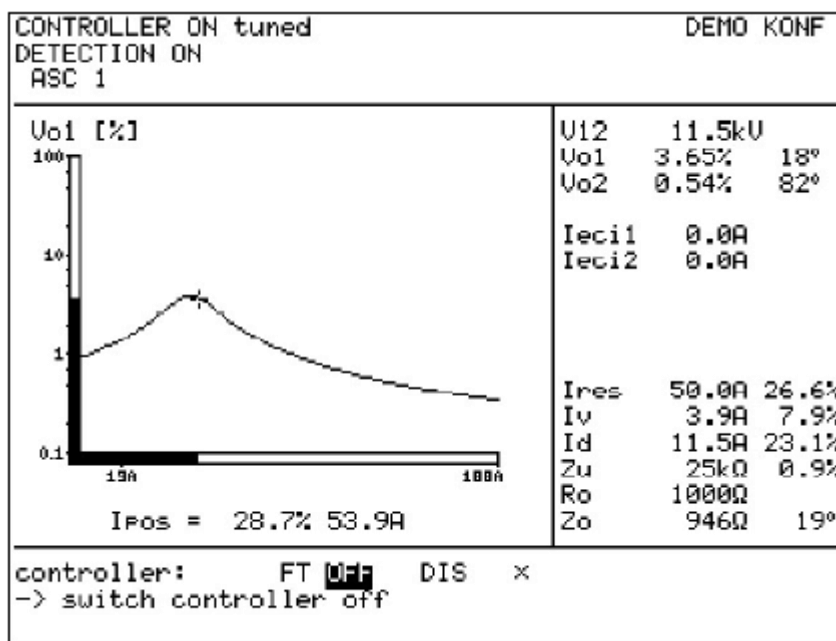
Vasemmassa reunassa näkyy nollapiirin viritystilan resonanssikäyrä, jonka alla viritystilaan liittyvät parametrit:

$I_{\text{pos}}$	Kelan asento (suhteutettu kytketyn kelan maksimiarvoon)
$V_o$	Nollajännite (suhteutettu jännitemuuntajan toision nimellisjännitteeseen)
$I_{\text{res}}$	Verkon resonanssipiste (suhteutettu kytketyn kelan maksimiarvoon)
$I_v$	Sivuviritys ( $I_{\text{pos}} - I_{\text{res}}$ ). (suhteutettu resonanssivirtaan)
$I_d$	“wattmetric”- jäännösvirta. (suhteutettu resonanssivirtaan)

### 5.3.2 Säätonäyttötila

Valitsemalla ”controller display” valinta, saadaan näyttöön säätonäyttötila (KUVIO 20). Näyttötilassa esitetään vasemmalla puolella sama resonanssikäyrä kelan säätöineen ja oikealla puolella verkon parametrit:

$V_{12}$	verkon pääjännite
$\underline{V}_o1$	nollajännite ASC1
$\underline{V}_o2$	nollajännite ASC2
$I_{\text{eci}1}$	virtainjektorin indusoima virta ASC1
$I_{\text{eci}2}$	virtainjektorin indusoima virta ASC2
$\underline{Z}_u$	verkon kokonaisepäsymmertiaimpedanssi
$R_o$	resonanssiekvivalenttipiirin sarjaresistanssi ( $R_o = E1 / I_d$ ).
$\underline{Z}_o$	resonanssiekvivalenttipiirin sarjaimpedanssi



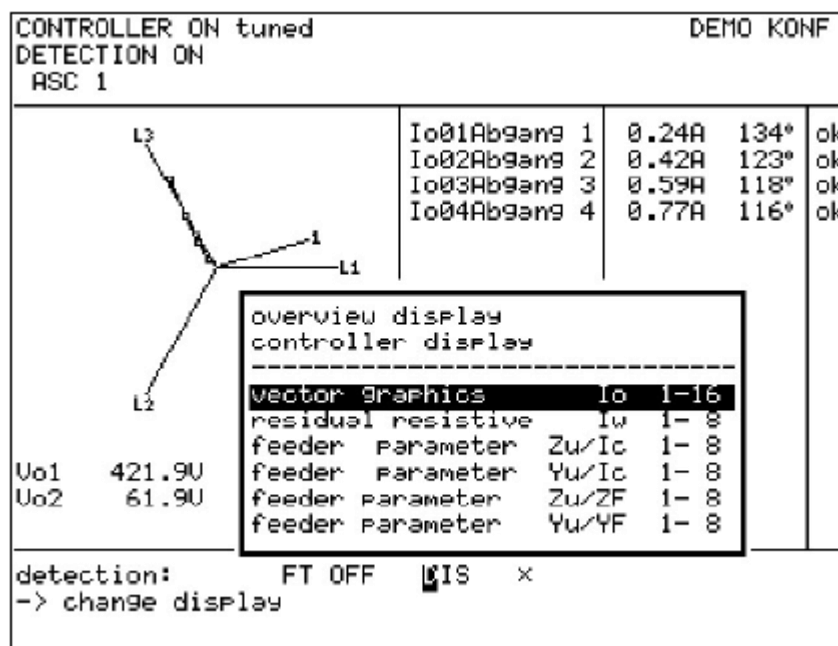
KUVIO 20: Säätonäyttötila (Trench Austria GmbH 2009)

Säätonäyttötilassa valinnalla FT (KUVIO 20) voidaan pakottaa laite tekemään resonanssin säätö. Jos controller valinta on ”on”-tilassa, voidaan laitteen muilla painikkeilla esimerkiksi ohjata kela manuaalisesti. D valinnalla voidaan valita näytettävä näyttötila.

KUVIO 20: Säätonäyttötila (Trench Austria GmbH 2009)

### 5.3.3 Tunnistusnäyttötila

Päänäytön valinta ”detection display” avaa tunnistusnäyttötilan, joka mahdollistaa monien eri parametrien tarkastelun (KUVIO 21). Näyttötila mahdollistaa verkon osoitinpiirosten sekä erilaisten taulukoiden tarkastelun. Jokaiselle lähdölle on taulukoitu mitatut nollavirrat ( $I_{0n}$ ) ja niiden hälytysrajat, lasketut epäsymmetriaimpedanssit ( $Z_{un}$ ) ja kapasitiiviset virrat ( $I_c$ ).



KUVIO 21: Tunnistusnäyttötila (Trench Austria GmbH 2009)

#### 5.3.4 Valikko-moodi

Missä tahansa näyttötilassa valittaessa valinta ”x”, laite avaa valikon, joka mahdollistaa kaikkien systeemiparametrien muutokset (mm. kieli, aika). Lisäksi se tarjoaa PLC- ohjelmointityökalun, jolla käyttäjä voi tehdä ohjelmia jotka pystyvät käsittelemään kaikkia laitteen mittaamia ja laskemia arvoja. Ohjelmointityökalussa on sisäänrakennettuna kaikki normaalit bittioperaattorit sekä laskurit, kiikut ja ajastimet. Ohjelmoitava logiikka mahdollistaa myös niin digitaalisten- kuin analogisten lähtöjen/tulojen käyttämisen.

#### 5.3.5 Kaukokäyttö

Laitteiston ja SCADA:n (Supervisory Control And Data Acquisition – valvomo-ohjelmisto) välinen kaukokäyttö on mahdollista joko langoitettuna tai SPABus- tai IEC protokollan välityksellä. SCADA:an voidaan välittää hälytykset kaikista eri laitteen määrittelemistä maasulkutyypeistä vikavastuksineen, epäsymmetriaimpedansseineen sekä kapasitiivisine virtoineen. Kompensointikelan kytkentätietä mahdollistaa muiden suojalaitteiden asetteluiden automaattisen päivityksen esimerkiksi tilanteessa, jossa kompensointikela erotetaan verkosta. Laitteen parametointi sekä kelan käsiajo on myös mahdollista.

Kaukokäyttöjärjestelmästä voidaan myös lukea tietoja verkon eristystilanteesta käytön-aikaisesti. Laitteiston runsaita I/O liitäntöjä voi hyödyntää esimerkiksi sammutuskuristimen välierottimen ohjaukseen.

#### 5.4 Huolto

Itse EFD20-laitteisto ei vaadi määräaikaishuoltoja. Verkon rakenteen oleellisesti muuttuessa on kuitenkin hyvä tarkastaa asettelut.

Kompensointikelan valmistaja suosittelee tarkastamaan laitteen visuaalisesti kuukausittain. Visuaaliseen tarkastukseen kuuluu öljyn pinnankorkeuden seuranta, ilmankuivaimen tarkastus sekä säätömoottorin kotelon silmämääräinen tarkastus. Vuosittain tarkastettavia asioita ovat liitosten kunnon tarkastaminen silmämääräisesti, öljyvuotojen tarkastus, laitteen puhdistus sekä maadoitusläpivientien tarkastus. Öljytankki tulee myös tarkastaa sekä mahdollisesti korjata korroosion aiheuttamat vauriot. (Trench Austria GmbH 2009)

Joka viides vuosi kompensointikelan öljystä tulee ottaa näyte analysoitavaksi ja verrata tuloksia valmistajan antamiin raja-arvoihin. Jos saatavilla on häiriötallenne oikeasta maasulusta, kannattaa siitä tarkastaa lisävastuksen toiminta. Jos häiriötallennetta ei ole saatavilla, voidaan lisävastuksen toiminta koestaa ensiökokeella. Myös tähtipisteerottimen toiminta sekä tilatiedon välittyminen ja kuristimen säätäjän ylä- sekä alarajojen toiminta tulee tarkastaa. Kun kompensointikelan rajakytkimet koestetaan, on kompensointikela erotettava nollapiiristä. (Trench Austria GmbH 2009)

#### 5.5 Käytössä olevat laitteistot

Tällä hetkellä Suomessa on käytössä kolme laitteistoa, jotka ovat varustettu EFD20-laitteella. Lisäksi muutamia on jo tulossa tai suunnitteilla. Suomen ensimmäinen laitteisto asennettiin vuonna 2009.

Ruotsissa laitetta on myyty hieman kauemman. Ruotsissa laitteistoja on vuoden 2011 alkuun asennettu jo noin 80 kappaletta.

Vuonna 2010 toimitettiin Jyväskylään JE-Siirto Oylle EFD-laitteisto. Olin yhteydessä Sakari Kauppiseen, joka vastaa sähköverkon käytöstä, kunnossapidosta sekä valvonnasta Jyväskylän Energia Oy:ssä. Heidän käytössään laitteen tarjoamat lähtöjen vastusarvot olivat olleet tarkemmassa seurannassa verkon kunnan valvonnassa. Laitteistolla on mahdollista paikantaa yksittäiselle lähdölle mm. kaapelijatkosten eristysvikojen johdos- ta esiintyvät toistuvat ohimenevät viat, jotka esiintyvät kostealla ilmalla sekä esimerkiksi päällystettyjen avojohtojen alkavat eristysviat. (Kauppinen 2011)

EFD20-laitteisto on tällä hetkellä vastaavista laitteista ainoa, jolla verkon eristysvikoja voidaan havaita ennakoivasti ennen kuin vika aiheuttaa käyttökatkoksen. Myös katkeilevien maasulkujen tunnistus toimii laitteessa hyvin. (Kauppinen 2011)

## 5.6 EFD20-laitteen edut

Maasulkuvirran kompensointi parantaa oleellisesti sekä sähkön laatua että henkilöturvallisuutta. Pikajälleenkytkennät vähenevät kompensoidussa verkossa noin 90 %. Myös maadoituskustannuksista saatavat säästöt ovat merkityksellisiä, vaikkakin kompensoidun verkon rakentaminen on hieman kalliimpaa. Vikapaikan vauriot jäävät usein paljon pienemmiksi kuin maasta erotetussa verkossa johtuen vikapaikan selkeästi pienemmästä virrasta.

Kompensoidussa verkossa maasulut tulee tunnistaa luotettavasti ja tilanteesta riippuen erottaa vikaantunut verkon osa selektiivisesti. EFD20-laitteisto mahdollistaa selektiivisen suojauksen toteutuksen vaikeimmin havaittavissakin vioissa (katkeilevat- ja suuri-impedanssiset viat ~20 k $\Omega$ ) sekä tarjoaa käyttäjälleen huomattavan määrän lisätietoa verkkonsa tilasta. Selektiivisellä katkeilevien vikojen (saattavat helposti laukaista koko aseman verkosta) laukaisulla keskeytysajat saadaan lyhyemmiksi. Laitteiston käyttäjien kannattaisikin perehtyä laitteen ominaisuuksiin hieman tarkemmin kuin mitä pelkkä käyttöönotto vaatii. Laitteiston sisäänrakennettu PLC-ohjelmointityökalu tarjoaa lähes rajattomat mahdollisuudet osaavalle ohjelmoijalle. Useat viat voidaan rajata käytönai- kaisesti ja suorittaa korjaustoimenpiteet suunnitellun lyhyen keskeytyksen aikana.

Laitteessa on valmiiksi ohjelmoituna toiminta mikä valvoo  $I_0$ :ien ja  $U_0$ :ien suuntia antaen välittömän hälytyksen esimerkiksi tilanteessa jossa virtamuuntaja on kytketty väärin päin.



## 6 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämän työn tarkoitus oli perehdyttää lukija keskijänniteverkkojen maasulkusuojaukseen kehitettyihin laitteistoihin ja tuottaa liitteenä 1 oleva kalvopohjainen materiaali Maviko Oy:lle. Työssä käsiteltiin Trench Austria GmbH:n laitteita sekä kuvailtiin niiden toimintaperiaatteita ja rakenteita. Aihe oli mielenkiintoinen ja ajankohtainen verkkojen kaapelointiasteiden lisääntyessä. Maasulkuvirtojen kompensointi on nykyisissä laajoissa kaapeliverkoissa yhä tärkeämpää suurien maasulkuvirtojen vuoksi.

EFD20 –laite soveltuu hyvin keskitetysti kompensoidun verkon suojalaitteeksi tarjoten myös lisäarvona käyttäjälleen paljon tietoa suojattavana olevan verkon tilasta. Laitteiston monipuoliset ominaisuudet mahdollistavat myös kompensoidun verkon helpomman rinnakkaiskäytön maasta erotetun verkon kanssa. SFS 6001 standardin mukaisesti myös suuri-impedanssiset viat tulisi pystyä havainnoimaan, mikäli se teknisesti on mahdollista. EFD20 –laitteen admitanssimetodi on markkinoilla olevien laitteiden tunnistusmenetelmistä herkin suuri-impedanssisten vikojen havainnointiin tällä hetkellä. Valmistaja lupaa laitteen havaitsevan luotettavasti noin 20 k $\Omega$ :n viat.

Työn suurin haaste oli etsiä lähdemateriaalia työssä esiintyvistä laitteista. Riippumattomien tahojen tuottamaa materiaalia en laitteista löytänyt ollenkaan. Työn rajaaminen oli myös hieman hankalaa, koska tavoitteiksi oli asetettu vain EFD20 -laitteen toimintaperiaatteiden ja käytön käsittely. Työn luettavuuden kannalta työhön oli kumminkin sisällytettävä riittävästi perustietoa sähköverkkojen maasuluista sekä suojauksesta.

## LÄHTEET

ABB Oy. *TTT Teknisiä taulukoita ja tietoja*. Helsinki: ABB Oy, 2000.

Aura, Tonteri. *Sähkölaitostekniikka*. Porvoo: WSOY, 1993.

Energiateollisuus ry. ”Tilastot:Energiateollisuus.” *Energiateollisuus*. 15. Kesäkuu 2010. <http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/tilastot/keskeytystilastot/liitteet/keskeytystilasto%202009.pdf?SectionUri=%2ffi%2ftilastot%2fkeskeytystilastot> (haettu 10. Tammikuu 2011).

Kauppinen, Sakari, haastattelu, haastattelijana Lauri Mäntylä. *Puhelinhaastattelu* (7. Huhtikuu 2011).

Lehtonen, Matti, ja Tapio Hakola. *Neutral Earthing and Power System*. Vaasa: Fram Oy, 1996.

Maviko Oy. *Enson sähköaseman EFD-Laitteiston käyttöönotto*. 8. 7 2009.

Sesko Ry. ”SFS-Käsikirja 601.” Teoksessa *SFS-Käsikirja 601*, tekijä: Sesko Ry, 25-30. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry, 2009.

Trench Austria GmbH. *EPSY Earthfault Protection System*. 2010.

Trench Austria GmbH. *Instruction manual Current Injection Device model3 power*. 2009.

Trench Austria GmbH. *Instruction manual Earthfault Protection System EFD20*. 2009.

Trench GmbH. ”Yritysesittelymateriaali.” 2010.

**LIITTEET**

(liite1) PPT-Kalvosarja, EFD:n toimintaperiaatteet ja käyttö, Lauri Mäntylä 2011



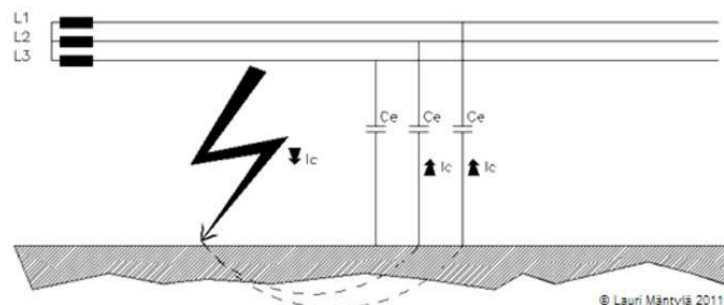
## Keskitetyn maasulkusuojan toimintaperiaatteet ja käyttö

# EFD20



## Maasulku

- Äärijohtimen ja maan välinen johtava yhteys
- Paluuvirta maakapasitanssien kautta



## Maasulkutyypit

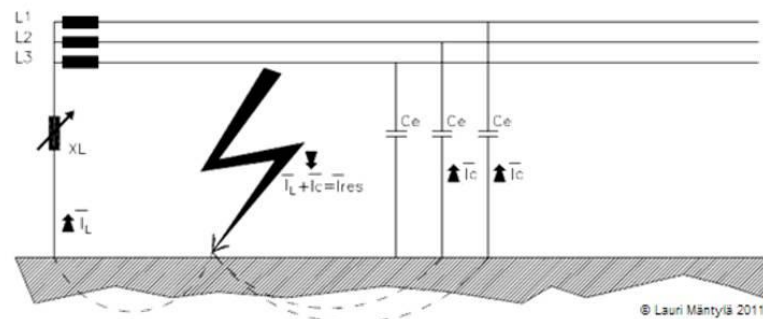
- Yksivaiheinen maasulku
- Kaksoismaasulku
- Maaoskosulku

## Keskijänniteverkon maadoitustavat

- Maadoituskerroin  $K = U_v/U$  (vaihejännite maasulun aikainen)
- $K > 0,8 \rightarrow$  verkko on ei-tehollisesti maadoitettu
- $K < 0,8 \rightarrow$  verkko on tehollisesti maadoitettu

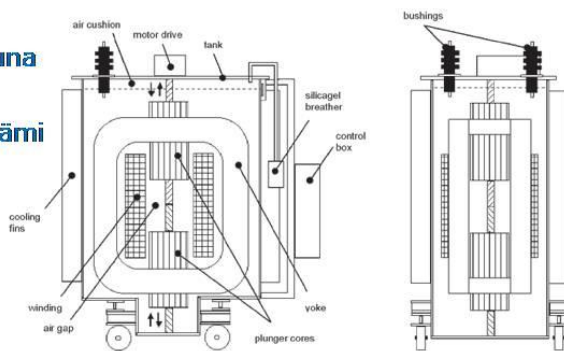
## Maasulkuvirran kompensointi

- Keskitetty kompensointi
- Hajautettu kompensointi



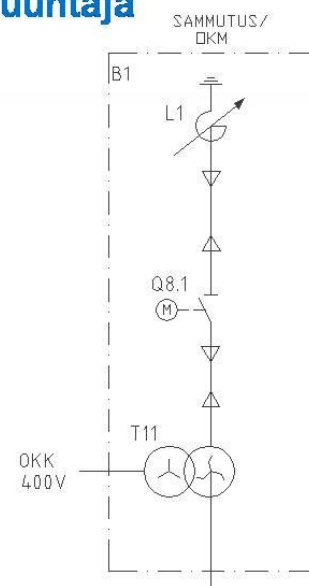
## Kompensointilaitteet - sammutuskuristin

- Säädettävä ilmaväli
- Säädettävissä kuormitettuna
- $Q_n$  200kVAr  $\rightarrow$  35 MVar
- Nollajännitteen mittauskäämi
- Virtainjektorin virransyöttökäämi
- Tehokäämi rinnakkaisvastukselle



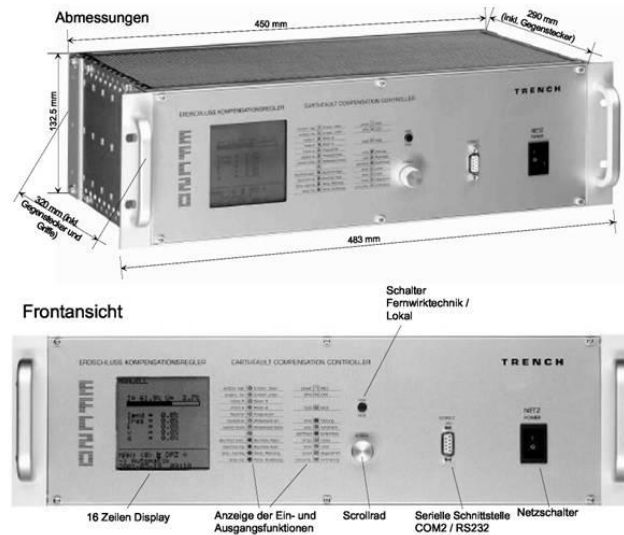
## Kompensointilaitteet - maadoitusmuuntaja

- Kytkentäryhmä ZN
- Voidaan varustaa omakäyttökäämityksellä





## Kompensointilaitteet – kelan säätäjä

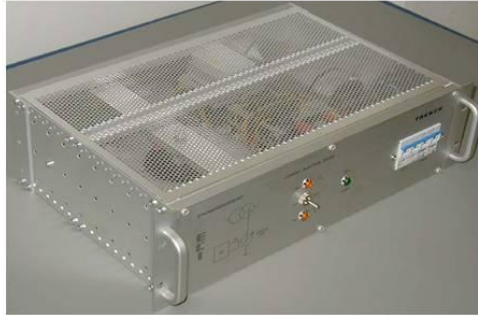



## Kompensointilaitteet – EFD20c

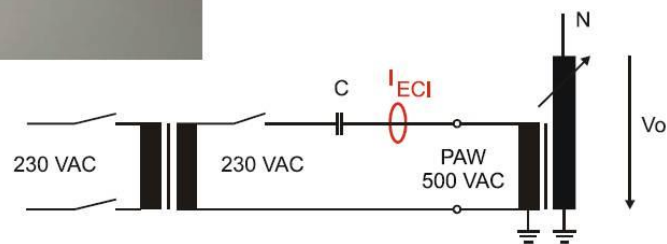


- EFD20c toimii myös säätäjänä
- Vaatii ECI:n
- Hälytykset / laukaisut
- Kaukokäyttö
- Katkeilevat viat
- Suuri-impedanssiset viat aina ~20kOhmiin saakka
- PLC- Ohjelmointityökalu
- Verkon eristystilanteen käytönaikainen valvonta
- 32 lähtöä kytkettävissä

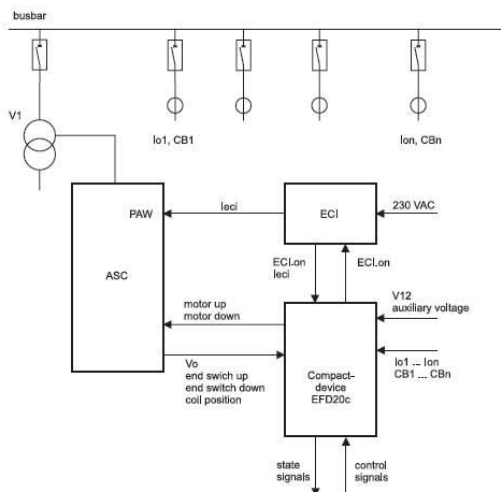
## Kompensointilaitteet – virtainjektori ECI



- Kytetään kompensointikelan tehokäämiin
- Indusoitava virta perustuu induktanssiin
- Mahdollistaa resonanssipisteen nopean määrittämisen ilman kelan induktanssin muutosta



## Kompensointilaitteet – periaatekuva



### Mitta-arvot

- $I_{0n}$
- $CB_n$
- $V_{1, V_{12}}$
- $V_0$
- $I_{eci}$



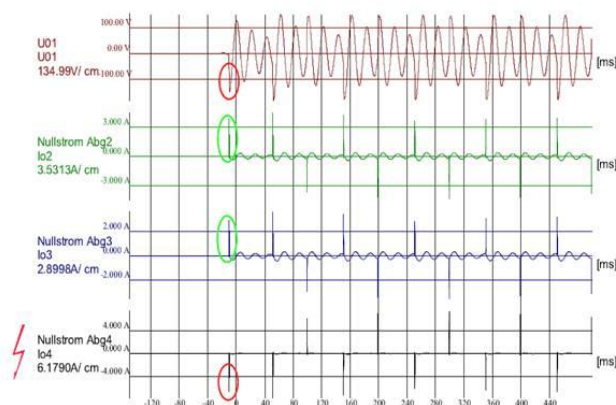
## Maasuluntunnistusmetodit – "Wattmetric"

wattmetric method		
activate		YES
voltage threshold (primary)	[V]	3000.00
delay time earthfault start	[0.1s]	...
delay time earthfault end	[0.1s]	5
use tripping characteristic		type B
tripping characteristic A		...
tripping characteristic B		...
◀ previous menu		...
◀◀ exit menu		

threshold wattmetric current Iuatt [A] [001/008]		
feeder	primary	secondary
Io01Abggn9 1	1.00 A	20.00 mA
Io02Abggn9 2	1.00 A	20.00 mA
Io03Abggn9 3	1.00 A	20.00 mA
Io04Abggn9 4	1.00 A	20.00 mA
Io05Abggn9 5	1.00 A	20.00 mA
Io06Abggn9 6	1.00 A	20.00 mA
Io07Abggn9 7	1.00 A	20.00 mA
Io08Abggn9 8	1.00 A	20.00 mA

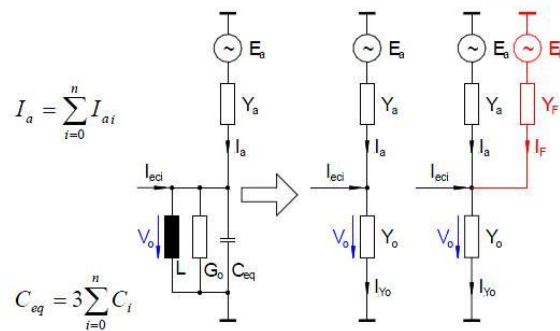
SCROLL EDIT COPY PASTE x

## Maasuluntunnistusmetodit – "Transient"



- Kehitetty katkeilevien vikojen havainnointiin
- Perustuu nolajännitteen ja lähtöjen summavirtojen vertailuun
- Vikaantuneen lähdön summavirta saman vaiheinen nolajännitteen kanssa ja terveet lähdöt 180° vaihesiirrossa

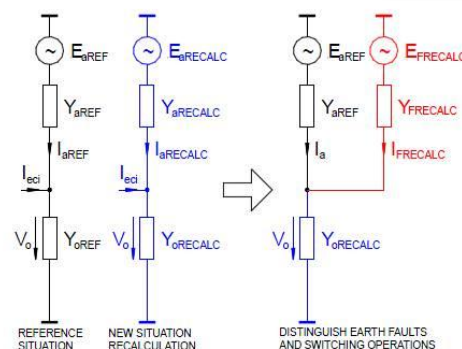
## Maasuluntunnistusmetodit – "Admittance" 1/3



Yhteen kytketyn verkon ekvivalenttipiiri

- Havainnoi yhteen kytketyn verkon muutoksia - verkkometodi
- Tallentaa terveestä tilasta referenssiparametrisarjan
- Jos yhteen kytketyssä verkossa havaitaan maasulku, käytetään lähtömetodia
- Huomioi kytkentätilanteiden muutokset

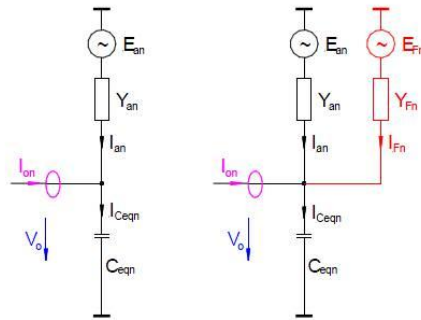
## Maasuluntunnistusmetodit – "Admittance" 2/3



Yhteen kytketyn verkon ekvivalenttipiiri

- Lasketaan referenssiparametreja käyttäen uudet admitanssit verkon osille
- Jos hälytysraja/rajat ylitetään, vikatila muutetaan joko korkeatai matalaimpedanssiseksi viaksi
- Vika paikannetaan käyttäen lähtömetodia

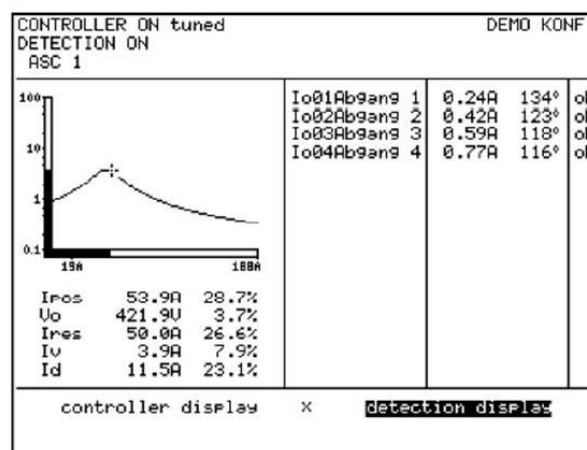
## Maasuluntunnistusmetodit – "Admittance" 3/3



Yksittäisen lähdön ekvivalenttipiiri

- Referenssiadmitanssien sekä laskettujen admitanssien erotus tulkitaan vika-admitanssiksi.
- Suurimman vika-admitanssin reaaliosan omaava lähtö merkataan vikaantuneeksi lähdöksi
- Jos  $Z_u$  muuttuu, mutta vika-admitanssia ei esiinny, tulkitaan tilanne kytkentämuutokseksi

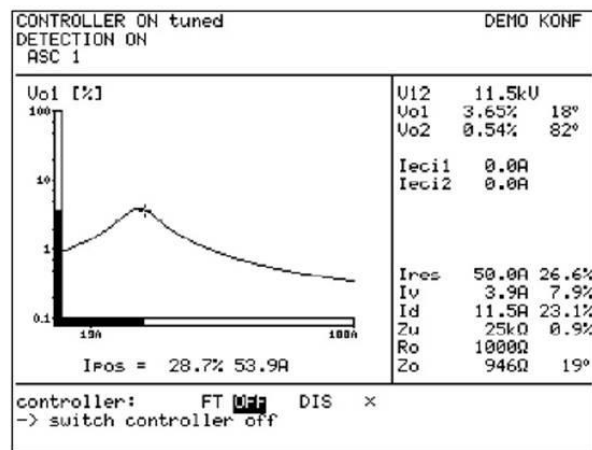
## Käyttöliittymä - päävalikko



- Resonanssikäyrä verkon parametreineen
- Jokaisen lähdön summavirrat kulmamuodossa



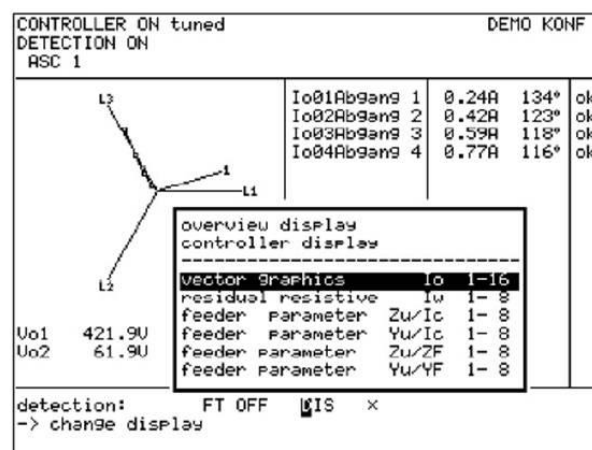
## Käyttöliittymä - säätönäyttötila



- **Kompensointikelan asento prosentteina maksimista sekä ampeereina**



## Käyttöliittymä - säätönäyttötila



- **Osoitinpiirroukset**
- **Taulukot**
- **Lähtöjen vastusarvot**
- **Lasketut epäsymmetriaimpedanssit**



## Laitteiston edut

- **Selektiivinen havainnointi niin korkeaimpedanssisille ( $\sim 20k\Omega$ ) kuin katkeileville maasuluille**
- **Toimii kuristimen säätäjänä**
- **Kuristimen nopea ja tarkka säätö virransyöttömenetelmän avulla**
- **Vikaimpedanssin indikointi suoraan näytölle tai lähtöön**
- **Henkilöturvallisuuden parantaminen**
- **Sähkönlaadun parantaminen (keskeytykset)**
- **Vastuksen ohjaus**
- **Lokitiedostot tapahtumista aikaleimalla sekä mittatiedoista**
- **Sisäänrakennettu ohjelmoitava logiikka**

