

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Elektrotehnika instituut

ATV70LT

Alvar Suun

**ILMALANTORI 110/20 KV ALAJAAMA  
TRAFOLAHTRI KAITSE**

Magistritöö

Instituudi direktor ..... prof. Tõnu Lehtla

Juhendaja..... dots. Raivo Teemets

Lõpetaja..... Alvar Suun

Tallinn 2014

## AUTORIDEKLARATSIOON

Kinnitan, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus. Kõik selle koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Varem ei ole selle alusel kutse- ega teaduskraadi ega inseneridiplomit taotletud. Töö on koostatud litsenseeritud tarkvara abil.

Tallinn, 09.06.2014.a..... Alvar Suun

ATV70LT

Ilmalantori 110/20 kV alajaama kõrgepinge trafolahtri kaitse

**Alvar Suun**, üliõpilaskood 122374AAAMM, juuni 2014. – 95 lk.

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energeetikateaduskond

Elektrotehnika instituut, elektriagamite ja elektrivarustuse õppetool

Töö juhendaja: dotsent Raivo Teemets

Töö konsultant: insener Raimo Rikken

**Võtmesõnad:** alajaam, releekaitse, trafo lahter, primaarkaitse, differentsiaalkaitse, maalühiskaitse, elegaas jaotla, liigvoolu kaitse,

Referaat:

Lõputöö on 95 lehel, sisaldab 23 tabelit, 32 joonist.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida alajaama kõrgepinge trafolahtri kaitsefunktsioone Helsingis asuva Ilmalantori 110/20 kV alajaama näitel. Esmalt kirjeldatakse kõrgepingejaotlat, milleks on firma ABB ELK seeria elegaas isoleeritud jaotusseadmed (ingl. k. GIS- gas insulated switchgear).

Töös antakse ülevaade antud alajaama kõrgepinge trafolahtri rakendatavatest sekundaarkaitse funktsioonide erinevatest lähenemistest- häiringute selektiivsusest, kaitse blokeerimisest ja rakendumistunnusjoontest. Selle käigus kirjeldatakse võimsustrafo differentsiaal-, liigvoolu- ja maalühiskaitse töö põhimõtteid, nende rakendumisselektiivsus meetoditest ja erinevaid rakendumistunnusjooni. Lisaks käsitletakse antud alajaama võimsustrafo primaar-(tehnoloogilist) kaitset.

Seejärel kirjeldatakse kohtterminalide (trafokaitse terminali ja fiidrikaitse terminali konfiguratsiooni ja tööalgoritmi, mis on koostatud PCM600 tarkvara abil.

Lõputöö sobib ka õppematerjaliks õppeaines elektrivarustus tulevastele lõpetajatele.

ATV70LT

The protection of Ilmalantori 110/20 kV substation transformer bay

**Alvar Suun**, student code 122374AAAMM, June 2014. – 95 pages

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY \* Faculty of Power Engineering

Department of Electrical Engineering

Chair of Electrical Drives and Electricity Supply

Tutor of the work: assistant professor Raivo Teemets

Consultant: engineer Raimo Rikken

**Key words:** Transformer bay, substation, differential protection, earth-fault protection, overcurrent protection, relay protection, primary protection, GIS

Summary:

Master's thesis contains 95 pages, 23 tables, 32 drawings.

The aim of this thesis is to protection functions of Ilmalantori 110/20 kV substation, located in Helsinki. Thesis includes the description of ELK series high-voltage gas insulated switchgear manufactured by ABB.

In addition, different approaches of discriminating false tripping of the secondary protection of the transformer bay is analysed. Including different options of applying differential protection, over-voltage protection and earth-fault protection. Also transformers primary protection is studied.

Finally the configuration and algorithms of used IEDs (Intelligent electrical devices) are described. Which are compiled with PCM600 software tool.

This thesis qualifies as a good training material for future students of the subject Electricity Supply.

AAV70LT

Алвар Суун, код студента 122374АААМ, июнь 2014. – 95 стр.

ТАЛЛИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ \* Энергетический факультет

Институт электротехники

Кафедра электропривода и электроснабжения

**Ключевые слова: подстанция, реле защиты, трансформаторный отсек, основная защита, дифференциальная защита, защитное заземление, элегазовый распределитель, защита от сверхтока**

Реферат:

Дипломная работа имеет текст на 95 листах, включает 23 таблицы, 32 чертежа.

Целью данной работы является исследование защитных функций трансформаторного от-

сека высокого напряжения на примере подстанции Ильмалантори 110/20 kV, находящейся в Хельсинки. Вначале описывается серия распределительных устройств с элегазовой изоляцией фирмы ABB ELK (GIS- gas insulated switchgear).

В работе исследуются различные подходы внедряемых функций вторичной защиты трансформаторного отсека высокого напряжения данной подстанции – селективность на помехам, блокировка защиты и кривые срабатывания. В ходе этой работы описывается дифференциальная защита силового трансформатора и принцип работы защиты от сверхтоков, их селективность, кривые срабатывания.

Дополнительно описывается первичная – технологическая– защита силового трансформатора мощности данной подстанции.

Затем следует описание конфигурации и алгоритма работы местных терминалов (терминал защиты трансформатора и терминал защиты фидеров), которое составлено с помощью программного обеспечения РСМ600. Дипломная работа может использоваться как учебный материал по электроснабжения для будущих студентов.

# SISUKORD

Magistritöö ülesanne	8
1. Eessõna	10
2. Sissejuhatus	11
3. Kõrgepingejaotla kirjeldus	13
4. Trafolahtri kaitse	17
4.1. Primaarkaitse	17
4.2. Trafo suunamata voolu differentsiaalkaitse	22
4.2.1. Harmoonilistega pidurdamissäte	24
4.2.2. Harmoonilistega blokeerimissäte	25
4.2.3. Voolukõvera analüüs	27
4.3. Suunamata liigvoolukaitse	28
4.2.4. Kaitse blokeerimine	29
4.4. Suunamata maalühiskaitse	30
5. Trafolahtris kasutatavad kohtterminalid	32
5.1. Trafokaitse terminal RET630	33
5.1.1. Sisendid ja väljundid	35
5.1.2. Mõõtesignaaliid	37
5.1.3. Differentsiaalkaitse	38
5.1.4. Häiresalvesti	42
5.1.5. Kohalik kasutajaliides	44
5.1.6. Sündmuste ahelad	46
5.2. Fiidrikaitse terminal REF630	47
5.2.1. Sisendid ja väljundid	47
5.2.2. Mõõtesignaaliid	48
5.2.3. Liigvoolukaitse	49
5.2.4. Maalühiskaitse	53
5.2.5. Häiresalvesti	56
5.2.6. Kohalik kasutajaliides	57

6. Kokkuvõte -----	60
Kasutatud kirjandus -----	62
LISA 1. Primaarseadmete paigutus -----	63
LISA 2. Üks-joon diagramm-----	63
LISA 3. Gaasisolatsiooni skeem-----	63
LISA 4. Alajaama kõrgepinge trafolahtri kaitse -----	70
LISA 5. Trafokaitse terminali konfiguratsioon-----	72
LISA 6. Fiidrikaitse terminali konfiguratsioon-----	83

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Elektrotehnika instituut

KOOSKÕLASTATUD

Prof. T. Lehtla.....

..... 2014

**MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE**

Alvar Suun, üliõpilaskood 122374 AAAMM

Magistritöö teema: Ilmalantori 110/20 kV alajaama kõrgepinge trafolaetri kaitse

Ülesanne: Võrrelda erinevaid võimalusi trafolaetri kaitsefunktsioonide rakendamiseks.

Analüüsida ABB releedes kasutatavat programmi ja kirjeldada kasutusel olevaid meetmeid.

Lähteandmed:

1. ABB AS projektid
2. ABB koolituste materjalid
3. Asjakohane tehniline kirjandus
4. Juhendajalt saadavad materjalid ja soovitusel
5. Elektrialased standardid (IEC ja ANSI)
6. Tehniline informatsioon internetist
7. Tööde käigus kogutud isiklikud kogemused



Lahendamisele kuuluvate probleemide loetelu:

1. Elegaas jaotla kirjeldamine.
2. Trafolahtri kaitsefunktsioonide töökindluse tõstmise meetodite uurimine
3. Kohtterminalide sätete ja programmi töö kirjeldamine.

Magistritöö esitada hiljemalt 9.06.2014 eesti keeles 2 eksemplaris, referaatidega eesti ja kahes võõrkeeles.

Juhendaja:

Ülesande vastu võtnud:

Dotsent R. Teemets .....

Üliõpilane A.Suun .....

## 1. EESSÕNA

Magistritöö teemaks on valitud "Ilmalantori 110/20 kV alajaama trafolahtri kaitse", kuna autor kuulub antud alajaama projekteerimismeeskonda. Seda tänu valdkonnale, kus ma praegu töötan ABB-s, projektiinsenerina. Teema valikul aitas kaasa ins. Raimo Rikken, kes on käesoleva lõputöö konsultant. Igapäeva töös on autori ülesandeks alajaamade releekaitse projekteerimine ja releekaitse seadistamine. See lõputöö pakub võimaluse autoril uurida erinevaid võimalusi lõputöös püstitatud probleemide lahendamisel.

Autor tänab koostöö eest eelkõige oma lõputöö juhendajat dots. Raivo Teemetsa, kolleegi Aleksandr Sekirinit ja otsesest ülemust Raimo Rikkenit, kes aitasid kaasa lähteandmete kogumisele ja antud lõputöö probleemide lahendamisele. Lisaks soovib autor tänada retsensent Toomas Timma't.

## 2. SISSEJUHATUS

Käesolev töö kirjeldab alajaama kõrgepinge trafolahtri kaitset Helsingis asuva Ilmalantori 110/20 kV alajaama näitel. Töö annab ülevaate kõrgepingejaotlas kasutatavatest seadmetest, trafo erinevatest kaitsemehanismide rakendamisvõimalustest ja releprogrammi kirjeldamist.

Helsingi elektrivarustuskindluse tõstmiseks ehitatakse antud alajaam tarbijatele võimalikult lähedale. Tiheda asustusega alal on eriti tähtis, et alajaam ei reostaks visuaalselt, ei tekitaks müra ja oleks kompaktne. Tarbijatele lähedal asuvatele alajaamadel on väga tähtsaks kriteeriumiks alajaama kompaktsus, sest tulenevalt kallimast kinnisvara hinnast võimaldab madalamaid püsikulusid ja kergendab ümbruskonda sulandumist, mis väldib kinnisvara hindade langemist antud piirkonnas. Tegemist on sisealajaamaga, selleks kasutatakse jaotlas elegaas seadmeid (ingl. k. GIS- *Gas insulated Switchgear*), mis võimaldab märkimisväärset ruumi kokkuhoidu, aitab kaasa müra summutamisele ja ümbruskonda sulandumisele. Tiheda asustusega piirkonda projekteeritavate alajaamade kõrgetest standarditest annab aimu joonisel 2.1. näidatud Helsingi Lauttasaari 110/10,5 kV alajaam, kus on sammuti kasutatud GIS seadmeid ja tänu kompaktssele jaotlale on alajaam suudetud kitsasse kohta rajada- kõigest kaheksa meetri kaugusel lähimast elamust [1].



Joonis 2.1. Lauttasaari 110/10,5 kV alajaam [1]

Töös kirjeldatav Ilmalantori alajaam ehitatakse samsmuti tiheda asustusega piirkonda, selleks kasutatakse sarnaselt Lauttasaari alajaamale GIS tehnoloogiat. Projekti teeb eriliseks asjaolu, et see rajatakse maa alla, mis aitab kaasa ruumi kokkuhoiule ja müra summutamisele. Alajaamas on kaks 40 MVA trafot, reguleeritava pingestmega 115/ 21 ( $\pm 9 \times 1,67\%$ ) kV, 5 kõrgepinge ja kahel korrusel asuvat 25 keskpinge lahtrit (lisa 1). Lisas 2 on esitatud kõrgepinge primaarskeem (üksjoon diagram), kus on esitatud 5 lahtrit:

- E00 ( veerg 8)- kõrgepinge latilahter,
- E02 (veerg 4)- PT01 trafo kõrgepinge lahter ja keskpinge lahter J23,
- E03 (veerg 6)- Viikimägi fiider,
- E04 (veerg 10)- Pasila fiider,
- E05 (veerg 11)- PT02 trafo kõrgepinge lahter ja keskpinge lahter J45,

Lisaks on ära näidatud laiendusreserv lahtrid (E01 ja E06). Lahtri ees olev täht tähistab pingest ( $\text{„E“}$  - 110-219 kV ja  $\text{„J“}$  - 20-29 kV) ja number näitab lahtri järjekorra numbrit. Antud töö kirjeldab lahtri E02 kaitset. Analüüsitakse rakendatavate kaitsemehanismide põhimõtet ja erinevaid meetodeid kaitse töökindluse tõstmiseks.

Trafolahtri kaitset on esitatud lisa 4, standardi IEC60617 järgi. Peakaitseks on differentiaalkaitse (lisa 4, lahter B3, viide A01(RK02)) ja reservkaitseks kasutatakse liigvoolu- ja maalühiskaitset (lisa 4, B3, viide A02(RK02)) lisaks on trafo primaarkaitseks kasutusel gaasirelee (Bucholz'i relee), trafo õli ja mähise temperatuuri andurid ja ülerõhu ventiil(LISA 4, lahter D3, viide PT01). Lisaks on esitatud ka teiste lahtrite kaitset- lahtris B2, viitena (E02 S), taaslülitusautomaat ja faasivoolude mõõtmine. lahtris C4, viide A01 (RK00), lati differentiaalkaitse. Peatükis 3 kirjeldatakse trafolahtri E02 kaitse tööpõhimõtteid ja erinevaid meetodeid nende töökindluse tõstmiseks.

Lisaks kirjeldatakse trafo- ja fiidrikaitse terminali programmi ja kaitse rakendumistunnus suurusi. Releede konfigureerimisel on kasutatud ABB programmeerimiskeskonda PCM 600, mis vastab IEC 61850 protokoll.

### 3. KÕRGEPINGEJAOTLA KIRJELDUS

Kõrgepingejaotlates kasutatakse elegaasi tänu selle headele tehnilistele omadustele, gaas on värvitu, lõhnatu, tervist mitte kahjustav ja mitte-süttiv. Elegaasi dielektrilised omadused on võrreldes õhuga 2 korda paremad , kaarekustutus toimub elegaasis 100 korda kiiremini ja lisaks on elegaasil parem soojusjuhtivus [2].

Elegaasi suureks puuduseks on selle hävitav mõju keskkonnale. Erinevate jaotla hooldus- ja ehitustööde käigus lekkib elegaasi atmosfääri ja seda peetakse üheks kõige potentsiaalsemaks kasvuhuonegaasiks. EPA (Environmental Protection Agency) andmetel lasti 2000. aastal 604 tonni elegaasi atmosfääri, mis on võrdväärne 14.4 mln tonni süsihappegaasiga (CO<sub>2</sub>-ga). Elegaasi võime infrapuna kiirgust kinnihoida on hinnanguliselt 22 500 korda suurem kui sama koguse CO<sub>2</sub> [3]. Sellepärast on tahetakse mitmetes riikides ( Euroopa liidu riigid, Jaapan, USA) piirata elegaasi kasutamist.

Alajaamas kasutatakse ABB, ELK seeria GIS moodulseadmeid. Joonis 3.1. GIS jaotla seadmed on esitatud ühe lahtri jaotusseadmed ELK-04. GIS seadmetele antakse tavaliselt tootja poolne garantii seoses lekkivusega, ABB ELK-04 sarja seadmete lekkivus ei tohi ületa 0,1 % aastas.



1. Lati lahklüliti maandusega
2. Võimsuslüliti
3. Voolutrafo
4. Lahklüliti maandusega
6. Maanduslüliti
7. Kaablikanal
8. Releepaneel

Joonis 3.1. GIS jaotla seadmed [4]

ELK-04 moodulit kasutatakse 52-170 kV nimipingega ülekandevõrkudes. Faasid on ühises gaasikambris, kõrgematel pingetel kasutatavatel seadmetel on iga faas eraldi kambris [4]. Eraldi kambritega GIS jaotlate automaatika projekteerimine on töömahukam ja keerukam.

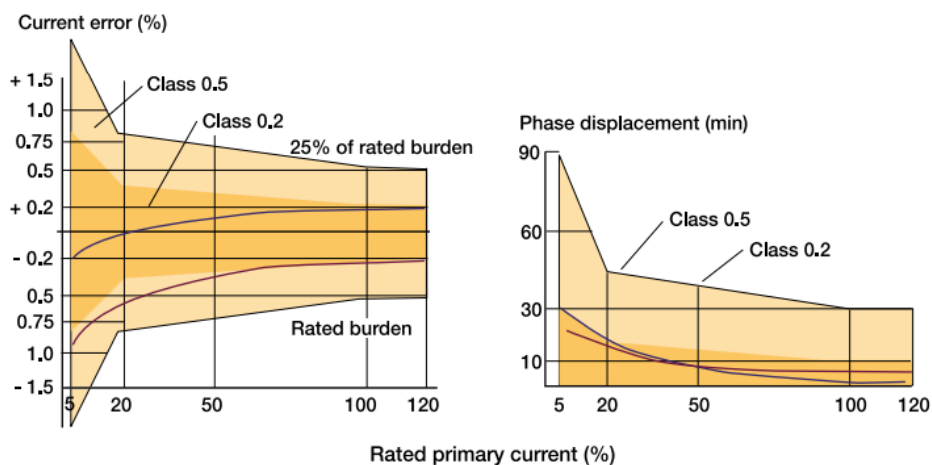
Kambrites olev gaas (SF<sub>6</sub>- elegaas) on 520-700 kPa rõhu all (20 °C juures), sõltuvalt kambrist (lisa 3, tabel „SF<sub>6</sub>-Gas table”). Võimsuslüliti kambris b200 (lisa 3, lahter B4) on rõhk kõrgem-700 kPa, et suurendada võimsuslüliti lahutusvõimet. GIS moodulisse on integreeritud ühefaasilised voolutrafod (Joonis 3.2). Trafolahtris on 3 sekundaarmähisega toroidtüüpi voolutrafot ühe faasi kohtamis asuvad ühises kambris võimsuslülitiga.



Joonis 3.2. GIS jaotla voolutrafo [4]

Kaks voolutrafot on suhtega 300/ 1 A ja üks 600/ 1 A, millest kõik on 5 VA võimsusega.

1. voolutrafo on mõõtetrafo, suhtega (300/ 1 A) ja täpsusklassiga cl 0,2 fs 5. Täpsusklass on määratud standardi IEC 60044-1 järgi. Lühend cl 0,2 määrab ära täpsusklassi, mis tähendab, et nimivoolu juures ei ületa mõõteviga 0,2% ja faasiviga ei ületa 10 minutit. Tähis "fs" (security factor) määrab, mitmekordse nimivoolu juures trafo küllastub (Joonis 3.3. ).



Joonis 3.3. Voolutrafo täpsusklassi määramise selgitamiseks [5]

2. Voolutrafo on kaitsetrafo, ülekande suhtega 300/ 1 A mille täpsusklass on 5P40. Kaitsetrafo täpsusklass on IEC 60044-1 standardi järgi määratud 5P, mis tähendab, et trafo mõõtetulemus ei ületa 1% ja faasiviga ei ületa 1,8 sentiradiaani ja 60minutit - liitviga ei ületa 5%. Kaitsetrafo küllastub 40ne kordsel nimivoolul.

3. Voolutrafo on kaitsetrafo, ülekande suhtega 600/ 1 mille täpsusklass on 5P40, st et trafo peab vastama samasugustele nõuetele nagu 2. voolutrafo. [5]

Joonis 3.4. Maandus- ja lahklüliti avatud kambris on näidatud maandus- ja lahklüliti avatud elegaas kambris. Tegemist on ELK-DE0 tüüpi lülititega (lisa 3. lahtri E02, lülitid Q3,Q92). Joonise esiplaanil on maanduskontaktid ja tagaplaanil liikuvad kontaktid, mis maandavad või lahutavad fiidri ülejäänud võrgust.



Joonis 3.4. Maandus- ja lahklüliti avatud kambris [4]



## 4. TRAFOLAHTRI KAITSE

Trafodes võivad esineda järgmised vigastused ja talitusvead:

- faasidevaheline lühis,
- Ühe või mitme faasiga maa lühis,
- keerdude lühis- ühe ja sama trafo mähise keerdude vaheline lühis,
- neutraali isolatsiooni vigastus,
- südamiku isolatsiooni vigastus,
- Trafopaagi mehaaniline vigastus,

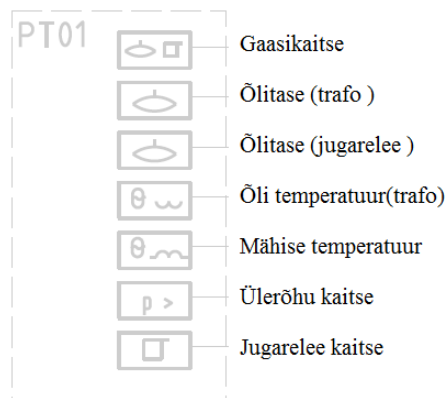
mis põhjustavad kõige sagedamini järgnevaid anomaaltalitusi:

- Väliste lühiste tekitatud liigvoolud,
- Trafo ülekoormus
- Õlitase lanemine paagis ilma paagi vigastuseta,

Trafo ja võrgu vigastuste vältimiseks ja eskalleerumiseks rakendatakse erinevaid kaitsemeetmeid. Antud peatükk kirjeldab kaitsemehhanisme nagu primaar-,differentiaal-, liigvoolu, maalühiskaitset.

### 4.1. Primaarkaitse

Trafo primaarkaitseks (tehnoloogiliseks kaitseks) nimetatakse kaitseadmeid mis on ühendatud primaarahelasse. Trafo primaarkaitse funktsioonid on esitatud lisa 4 (E02 lahtri kaitse primaarskeem), 3. veerus, viide „PT01“.



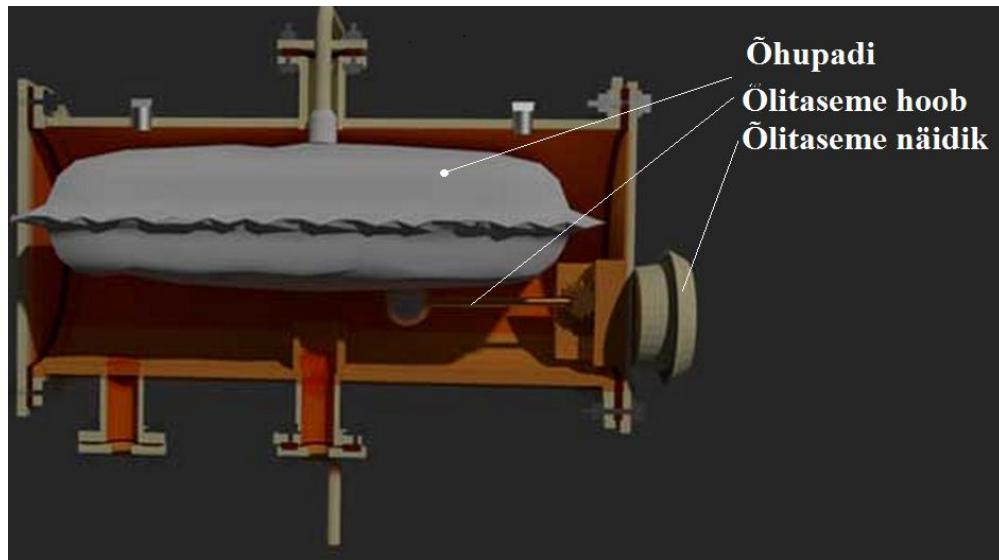
Joonis 4.1. Lisa 3 väljavõte- trafo primaarkaitse

Trafo temperatuur ei sõltu ainult mähist läbivast voolust. Ebapiisav õlitsirkulatsioon, ummistunud torud ja kanalid võivad ka väikse koormuse korral trafot üle kuumendada. Selle tõttu ei piisa vaid liigvoolu kaitsest, vaid on vaja temperatuuri, rõhu ja õlitaseme jälgimisseadmeid. Joonisel 4.2. on näidatud trafo primaarkaitse seadmete paiknemine.



Joonis 4.2. Trafo primaarkaitse [6]

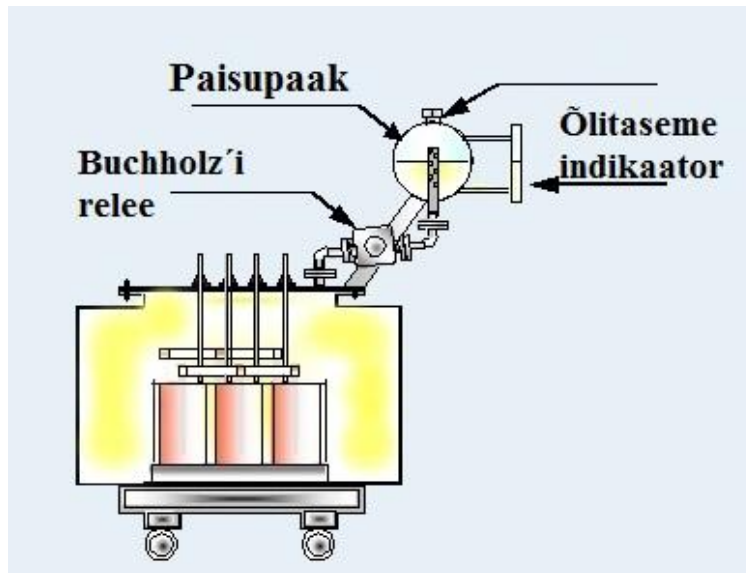
**Õli taseme indikaator** asetseb paisupaagis. Joonisel 4.3 on näidatud õlitaseme indikaatori töö põhimõtte. [6]



Joonis 4.3. Trafo õlitaseme indikaator [6]

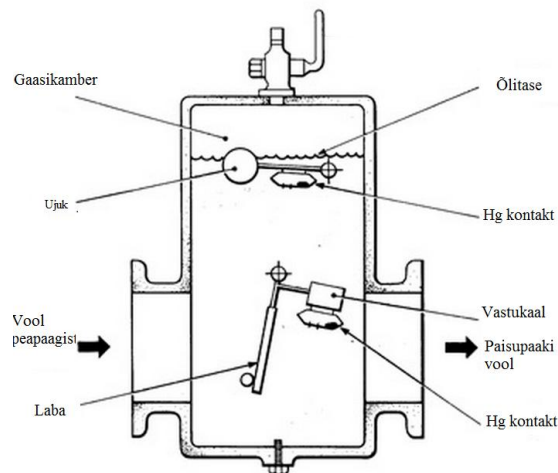
Õlitaseme hoob asub õhupadja ja õlipinna vahel, õhupadi takistab hoova vibreerimist ja surub hooba õlisse. Õlitaseme tõustes, surub tekkinud rõhk õhupadjast õhu välja, mis laseb ujukil tõusta. Ujuki teatud asendisse jõudmisel (kriitiline miinimum või maksimum) lühistuvad vastavad kontaktipaarid ja häire signaal jõuab kohtterminali.

**Gaasirelee**-Trafo sisese vea tuvastamiseks kasutatakse gaasi ehk Buchholzi releed, mis paikneb trafo mähise- ja paisupaagi vahel (Joonis 4.4. Buchholzi relee paiknemine).



Joonis 4.4. Buchholzi rele paiknemine [7]

Trafo keerdude vahelise, faaside vahelise või maalühise korral tekkivad aurud liiguvad mööda paisutoru Buchholzi releesse (Joonis 4.5. Buchholzi rele töö põhimõte), kus tekkinud gaasi hulk vähendab õli taset. Õli tasemega koos langeb ujuk, mille tagajärjel elavhõbekontakt lühistab häire signaaliahela. Suurema vea korral (kaare tekkimise) on gaasi/õli voog piisavalt suur, et liigutab laba, mis lühistab kaitseahela kontaktid. Buchholzi rele ülemises servas asetsev gaasiandur, mõõdab gaasis olevate ühendite hulka, kui gaasis on  $C_2H_2$  ühendeid siis on põhjust arvata et tegemist on elektrikaarega. Kui leidub  $H_2, C_2H_4, CO_2$  ja  $C_3H_6$  ühendeid, on alust arvata, et mähis on üle kuumenenud. [8]



Joonis 4.5. Buchholzi rele töö põhimõte [7]

**Ülerõhu kaitseklapp** asub trafopaagi peal (Joonisel 4.2). Ülerõhu kaitseklapp ei tuvasta anomaaltalitust vaid kaitseb riknenud trafot tekkinud sisese rõhu eest. Kaitseklapi avamine võtab aega u 2 ms, mis pole piisav rikke ära hoidmiseks. Kaitseklapi avanemisel saab kaitsereele väljalülitamissignaali.

**Õli temperatuur** mõõtmiseks on õlipaagi ülemises otsas termostaat, mille takistus muutub temperatuuri muutumisel, kui temperatuur ületab kriitilise väärtuse (110 °C) siis saab trafokaitse terminal häiresignaali, kui temperatuur ületab 150 °C siis rakendub kaitse.

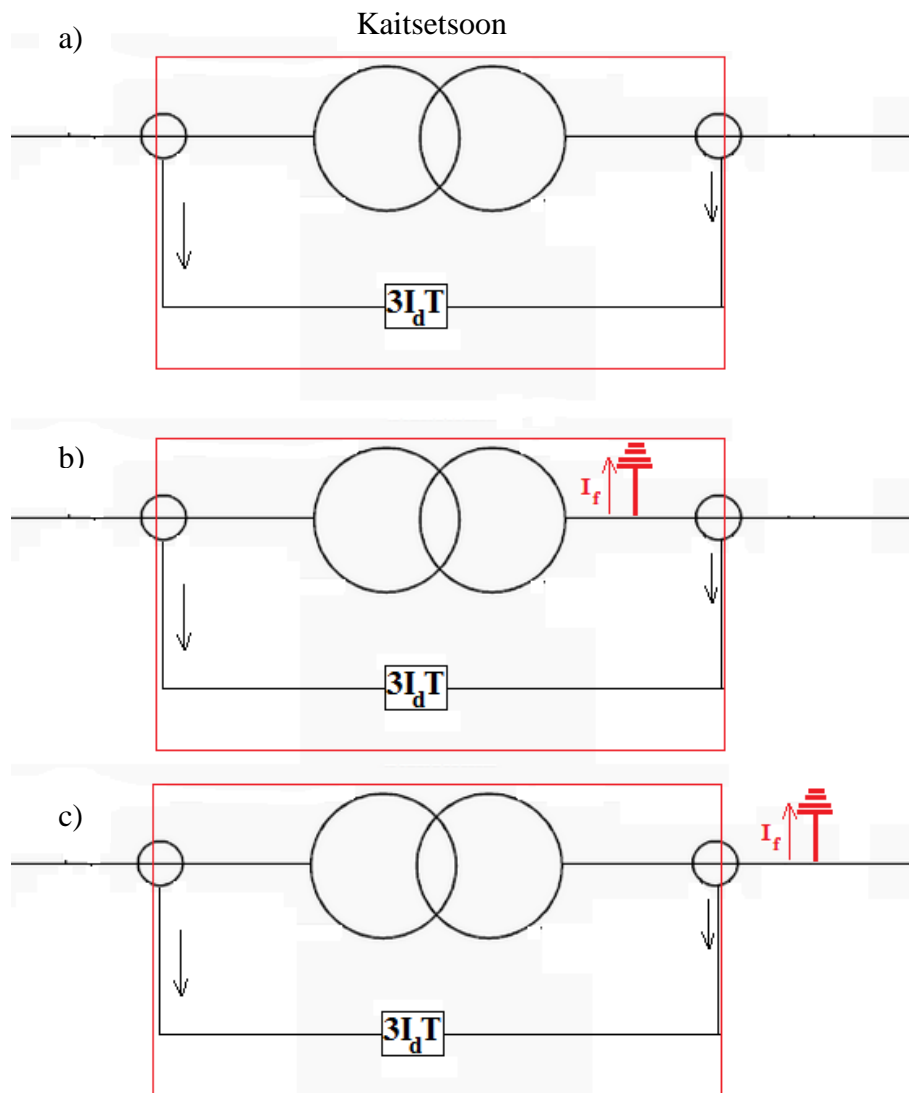
**Jugarelee** asub trafost eraldatud ruumis, et pingetaseme muutmisel tekitatud kaare tõttu saastunud õli ei seguneks trafo isolatsioonioõliga. Selletõttu on jugareleel sarnased eraldi kaitsefunktsioonid nagu trafol.

**Jugarelee õlitaseme indikaator** asub trafo paisupaagis, eraldatud seinaga ja töötab samal põhimõttel, mis trafo õlitaseme indikaator.

**Jugarelee ülerõhu klapp** asub jugarelee isolatsioonikambri üleval ja töötab samal põhimõttel, mis trafo ülerõhu klapp.

## 4.2. Trafo suunamata voolu differentsiaalkaitse

Võimsamatel kui 5 MVA trafodel rakendatakse voolu differentsiaalkaitse. Kaitsetsoon, kus differentsiaalkaitse talitusviga suudab tuvastada on mõõtetrafode vahel (Joonis 4.6). Differentsiaalkaitse võrdleb võimsustrafu primaar- ja sekundaarahela voolu [7].



Joonis 4.6 Differentsiaalkaitse põhimõte

a) Trafo normaaltalitus b) kaitsetsooni sisene viga c) kaitsetsooni väline viga.

Normaalitalitluses peavad voolutrafode sekundaarvoolud olema alajaama alam- ja ülepinge ahelates võrdsed (Joonis 4.6. a).

$$I_p - I_s = 0$$

kus,

$I_p$ - Ülempinge voolutrafo sekundaarvool

$I_s$ -Alampinge voolutrafo sekundaarvool

Differentsiaalkaitse peab rakenduma anormaalitalitluste tagajärgedel:

- faasidevaheline lühis,
- ühe või kahe faasi maaga lühis,
- keerdude lühis- ühe ja sama trafo mähise keerdude vahelisel lühisel,
- trafo neutraali isolatsiooni vigastusel.

Kui antud tingimus pole täidetud, on alust arvata, et tegemist on talitlushäiringuga ja kaitse rakendub (Joonis 4.6. b).

$$I_f = |I_p - I_s|$$

Tsoonist väljaspool tekkinud vigade puhul jääb tingimus täidetuks ja kaitserelle ei rakendu.

Reaalsetes oludes võivad tekkida erinevad välised häiringud, mille puhul võib kaitse rakenduda valesti.

- voolutõuge, mis tekitab järskudest pingemuutustest,
- magneetimis voolutõuge trafo pingestamisel,
- pinge taastamine välise vea kõrvaldamisel,
- välise vea eskalleerumine- maaühenduslühis eskalleerub faaside vaheliseks lühiseks,
- elektriijaama generaatorite sünkroniseerimis viga,
- jugarelee tekitatud võimsuse muutumine,
- võimsustrafo primaar- ja sekundaarahela faasivahe,
- voolu tõuge teise lahtri trafo pingestamisel,
- Välise vea kõrvaldamisel tekkinud voolutõuke,
- Võimsustrafo küllastumisel,

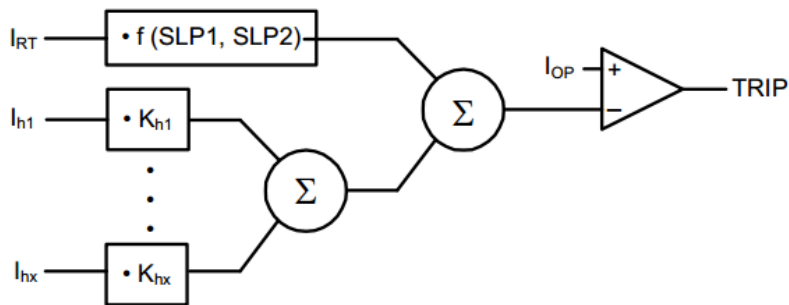
Magnetvoo tihedus on proportsioonis pinge ja sageduse jagatisega.

$$\Phi = \frac{U}{f}$$

Ülepinge ja/või alaseduse korral suureneb magnetvoo tihedus ja võimsustrafo küllastub. Trafo küllastumisel kuumeneb mähis, mis tekitab kõrgete paaritute harmoonilistega küllastusvoole. Voolutrafode ebahühtlane küllastumine tekitab mõõtevea suurenemist ja normaaltalituse tingimus ei jää täidetuks. Erinevate häiringute tõttu võib tekkida olukord, kus tingimus 1 ei ole täidetud, kuid tegemist ei ole differentsiaalvooluga. Sellistel puhkudel ei tohi kaitserelle rakenduda. Kaitse blokeerimiseks valehäiringute puhul kasutatakse erinevaid meetodeid, et vältida kaitsetsoonist väljaspool tekkivate vigade tõttu trafo differentsiaalkaitse rakendumist. [9]

#### 4.2.1. Harmoonilistega pidurdamissäte

Harmoonilistega pidurdamismeetodiga võrreldakse erinevaid harmoonilisi. Vaadeldavate harmoonilise K kordsete summa liidetakse sättevooluga  $I_{rt} * f(SLP1, SLP2)$  ja võrreldakse rakendamisjoonega (Joonis 4.7). Harmoonilistega pidurdamisel jääb kaitse kiiruset puudu.



Joonis 4.7. Harmooniliste piiramine [8]

Kaitse rakendumist eeldab tingimus:

$$I_{OP} > I_{RT} * f(SLP1, SLP2) + (K_{h1}I_{h1} + K_{h2}I_{h2} + K_{h3}I_{h3} \dots + K_{hx}I_{hx})$$

Kus,

$I_{OP}$ -Kaitse rakendumisvool (A)

$I_{RT} * f(SLP1, SLP2)$ -sättesvool

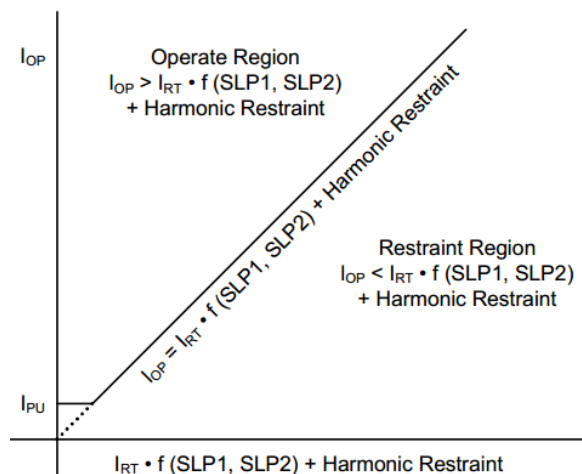
$K_{hx}$ -x-nda harmoonilise konstant



$I_{hx}$ -x-nda harmoonilise amplituutväärtus (A)

Kaitse rakendumistunnusjoon saadakse parameetrite SLPx, sättevoolu ja valitud harmooniliste K kordsete summana. Igale harmoonilisele seatakse ette eraldi konstant  $I_{st-1ni}$ , millega harmoonilise amplituutväärtus korrutatakse ja summeeritakse.

Joonisel 4.8 on näidatud kaitse rakendumistunnusjoon, kus joonest üles (Operate region) poole jääb kaitse rakendumisala ja allapoole jääb kaitse pidurdusala (restraint region).  $I_{pu}$ - on minimaalne kaitse rakendumisvool, millest madalamate väärtuste puhul kaitse ei rakendu (pickup current). Antud meetodi tugevaks küljeks on paindlikus- kaitset saab sätestada mingite harmooniliste suhtes tundlikumaks.



Joonis 4.8. Differentiaalkaitse rakendumistunnusjoon [8]

## 4.2.2. Harmoonilistega blokeerimissäte

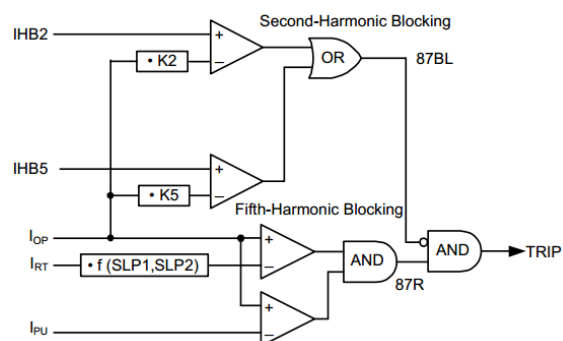
Harmoonilistega blokeerimine on ülesehituselt lihtsam, kui pidurdamismeetod. Antud meetodi puhul kehtib sammuti tingimus (p. 4.2.1. rakendumistunnusjoon). Võrreldakse vaadeldavate harmooniliste amplituutväärtusi sätestatud rakendumisvoolu suurusega. Joonis 4.9. Harmooniliste blokeerimine on esitatud antud meetodi rakendumise tingimused. Lisaks tingimusele (punktis 4.1) peavad kehtima ka järgmised tingimused:

$$I_{op} * K_2 > I_2$$

ja

$$I_{op} * K_5 > I_5$$

Rakendusvoolu K kordne peab olema suurem kui vaadeldavate harmoonilise amplituutväärtus.

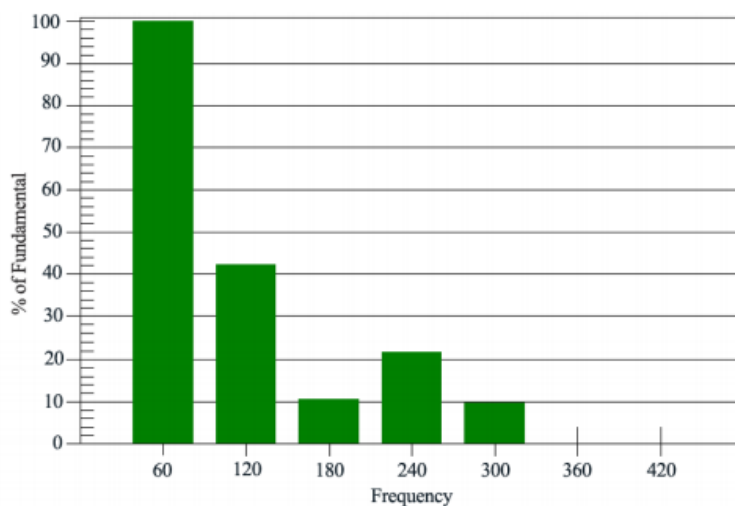


Joonis 4.9. Harmooniliste blokeerimine [8]

Harmooniliste abil kaitse blokeerimisel kasutatakse tavaliselt 2. harmoonilist, sest selle amplituutväärtus on magneetimisvoolu tõugete korral kõige suurem. Joonis 4.10 on 115/ 27,6

kV, 30 MVA, Yndn lülitusgrupi trafo ergastamisel esinevate harmooniliste väärtused põhiharmonilise suhtes. Jooniselt on näha, et järgmine parim valik selliste talituste puhul on 4.

harmoonilne.



Joonis 4.10. 115/ 27,6 kV trafo magneetimisvoolu harmoonilised [10]

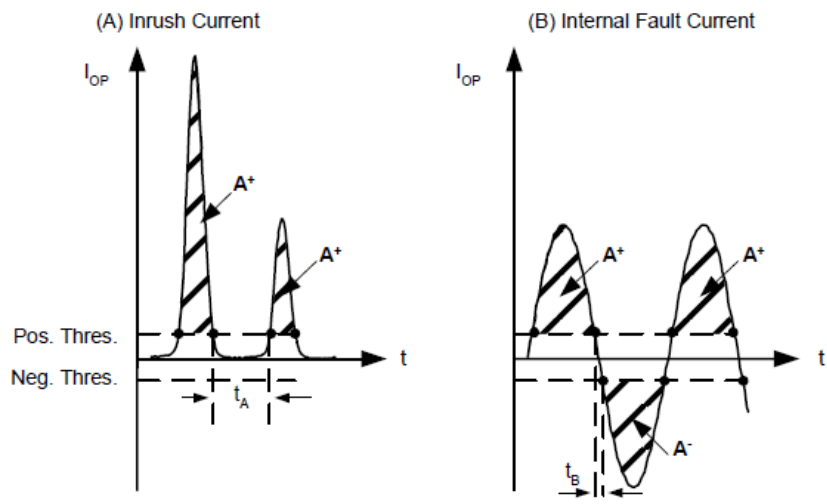
### 4.2.3. Voolukõvera analüüs

Voolukõvera analüüsimisel on erinevaid levinud meetodeid. Levinud meetod on amplituutväärtuste mõõtmine, kui kahe järjestikuse amplituutväärtuse märk (voolusuund) on sama siis on alust arvata et tegemist on tõukevooluga.

Kui vool ületab minimaalset ja maksimaalset sätteväärtuse künnise  $\frac{1}{4}$  perioodil siis kaitse aktiveeritakse (Joonis 4.11. B. Internal fault current). Kui kummagi sättevoolu künnis jääb ületamata siis kaitse plokeeritakse. Tänu alaliskomponendile ei pruugi tõukevool seda teha (Joonis 4.11.A Inrush current).

Hegazy meetodi puhul võrreldakse alaldatud differentsiaalvoolu 2. harmoonilist sätteväärtusega, kui 2. harmoonilise alaldatud differentsiaalvool ületab sätteväärtuse, siis kaitse blokeeritakse.

Dmitrenko meetodiga võrreldakse voolu amplituutväärtuste polaarsust. Joonisel 4.11. A on tõukevoolul esinev voolukuju, mille puhul amplituutväärtused on sama märgilised. Kui 2. järjestikuse amplituudi polaarsus on sama, siis võib tegemist olla tõukevooluga ja kaitse blokeeritakse (Joonis 4.11 A Voolukõvera analüüsi selgitamiseks).



Joonis 4.11. Voolukõvera analüüsi selgitamiseks [8]

### 4.3. Suunamata liigvoolukaitse

Väikese võimsusega trafodel ( vähem kui 5 MVA võimsusega) kasutatakse liigvoolukaitset põhikaitsetena, võimsamatel trafodel on see reservkaitseks. Liigvoolukaitse tunnussuurusteks on rakendusvool ja -aeg. Kaitset kasutatakse faaside vaheliste lühiste tuvastamise. Lühisvoolu väljalülitamiseks ja lühise koha eraldamiseks kasutatakse põhiliselt liigvoolukaitset. Kaitse on väljalülitatav ja rikke heastamiseks kasutatakse taaslülitusautomaate. Liigvoolukaitsele esitatavad tähtsamad nõuded on [11]:

- selektiivsus, mis tähendab et rikke korral väljalülitatav võrguosa on nii väike kui võimalik,
- kiirus, mis tähendab et rikke põhjustatud kahjud oleksid võimalikult väikesed
- tundlikkus, mis tähendab, et kaitse peab reageerima võimalikult väikesele tunnussuuruse muutusele,
- hõlmavus, mis tähendab, et kõik võrgu elemendid ja kogu võrk peavad olema kaitstud,
- lihtsus ja töökindlus,
- katsetatavus talitlust katkestamata.

Rakendusaja järgi eristatakse järgmisi liigvoolukaitseid:

- hetkkaitse (inst. time),
- sõltumatu viitega viitkaitse (def.time),
- sõltuva viitega viitkaitse (Inverse def. time).

Laialt levinud tava on kasutada 2 astmelist liigvoolkaitse, mille madalam aste on sõltuva viitega ja kõrgem aste sõltumatu viitega. Sõltuva viitega kaitsele sätestatakse liigvoolu väärtus ja kaitse rakendub iga liigvoolu korral sama kiiresti, sõltumata reaalsest voolu suuruselt (kaitse ei erista rakendusvoolu reaalselt suuruselt, st, et 10ne kordse sättevoolu ületamisel ja 1000 kordsel ületamisel rakendub kaitse sama ajaga ). Sõltuva viitega kaitse rakenduskiirus on pöördproportsionaalne voolu suuruselt, mis tagab suuremate voolude puhul kiirema väljalülitamise ja väiksemate voolude korral pikema viite [11].

Standardi IEC 60255 järgi jaotub kaitse rakendusajast sõltuvalt viieks:

- pöördsõltuv (inverse),
- pikaajaline pöördsõltuv (long time inverse),

- väga järsk pöördsoltuv (very inverse ),
- äärmiselt järsk pöördsoltuv( extremely inverse),
- hetkeline (definite time).

Standardite ANSI C37.90 ja C37.112 järgi jaotub kaitse rakendusajast sõltuvalt ühteteistkümneks:

- äärmiselt järsk sõltuv(Extremely inverse) ,
- väga järsk sõltuv (Very inverse) ,
- sõltuv (Inverse) ,
- lühiajaline sõltuv (Short time inverse),
- lühiajaline väga järsk sõltuv (Short time extremely inverse),
- hetkeline (Definite time),
- pikaajaline äärmiselt järsk ( Long time extremely inverse),
- pikaajaline väga järsk (Long time very inverse),
- pikaajaline sõltuv (Long time inverse),
- hetkeline järsk (Standard instantaneous),
- pöördsoltuv hetkeline (Inverse instantaneous),

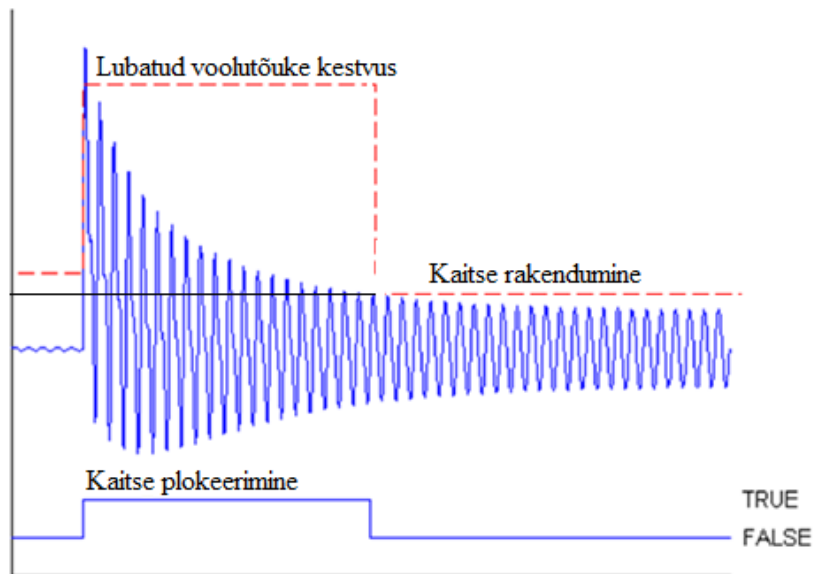
Relee kaitse signaali rakendumisajale tuleb lisada veel varutegur, kuna relee ei katkesta vooluahelaid iseseisvalt, vaid annab rakendumisel signaali lülitusseadmele, mis käivitab lülitismehanismi ja võimsuslülitit katkestab vooluahela. Hetkkaitse rakendumisaeg jääb tänapäeval vahemikku 0,1 kuni 0,5 ms.

Sõltumatu viitega viitkaitse rakendumisaeg sätestatakse vastavalt vajadustele ja võib ulatuda mitme sekundini. Sageli on sõltumatu viitega kaitse kaheastmeline, kui alates teatud voolu väärtusest hakkab kaitse toimima hetkkaitseksena.

#### **4.2.4. Kaitse blokeerimine**

Sarnaselt differentsiaalkaitsele on ka liigvoolukaitsel rakendatud lisameetmed, eristamaks rikkeid lubatavatest voolutõugetest (nt magnetimisvool). Selleks kasutatakse 2. harmoonilise võrdlemist [12]. Kaitsele sätestatakse minimaalne harmooniliste suhe I<sub>2H</sub>/I<sub>1H</sub> ja lubatud aeg, mille korral kaitse ei rakendu. Kui harmooniliste suhe ületab säteväärtust, siis käivitatakse taimer, mis blokeerib ette antud ajaks kaitse väljundi. Joonisel 4.12 on esitatud lubatud

voolutõuge, ette antud aja vältel. Kui kaitse blokeerimistaimer loendab 0ni siis avatakse kaitse väljundid. Joonisel esitatud olukorras kaitse ei rakendu.



Joonis 4.12. Lubatud voolutõuge [13]

#### 4.4. Suunamata maalühiskaitse

Suunamata maalühiskaitset kasutatakse reservkaitsena ja selle kaitse tunnussuurusteks on nulljärgnevuskomponent (-vool või -pinge). Kaitse tööpõhimõte seisneb vektorsumma võrldemisel, normaaltalitusel sümmeetrilise koormuse puhul peab faasivoolude vektorsumma olema võrdne nulliga.

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3$$

Kuna reaalsetes oludes esinevad erinevad kaod ja välised häiringud, siis on kaitserellele sätestatud nullist kõrgem rakendumisvool. Kaitse rakendumiskarakteristikud jagunevad samadeks nagu eelmises lõigus mainitud (alajaotis 4.3).

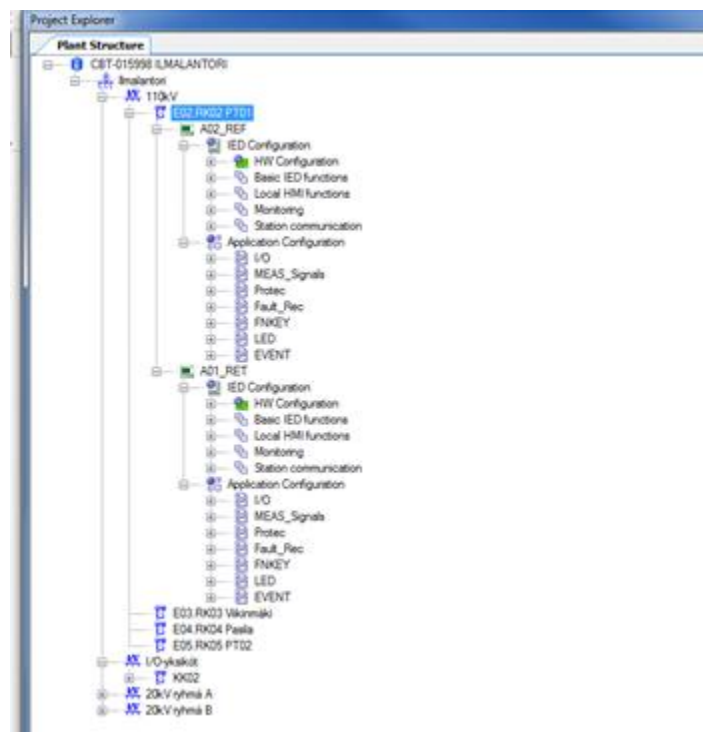
Maalühiskaitse tunnussuurusteks on nulljärgnevuspinge ja nulljärgnevusvool. Nulljärgnevusvoolu mõõtmiseks ühendatakse kõik voolutrafode sekundaarmähised tähte, -pinge mõõtmiseks ühendatakse sekundaarmähised avatud kolmnurka.

Maalühise korral tekib asümmeetriline pinge, mis on mitmefaasilise võrgu seisund, kus erineb faasipingete efektiivväärtused või faasidevaheliste nihkenurgad. Asümmeetriat iseloomustatakse vastujärgnevus-, pärijärgnevus komponendi suhe  $e$  asümmeetriategur. Nulljärgnevuskomponent tekitab neutraalinihke, mis kutsub esile pingetõusu faasijuhtmete ja maa vahel, lisakoormuse isolatsioonile ja pingetrafode magnetahelatele [14].

Lisaks tuleb võrreldes teiste harmoonilistega erilist tähelepanu pöörata maandatud neutraaliga tähtühenduse ( $Y_n$  lülitusgruppide) korral 3. harmoonilistele.  $Y_n$  lülitusgrupi puhul liiguvad 3. harmoonikute voolud tõkestamatult ühelt mähiselt teisele ja sealt edasi võrku. Nulljärgnevuse tõttu liiguvad 3. harmoonilised neutraali ja liituvad, sellisel juhul on võib esineda neutraali ülekoormus, kuna pingelangu tõttu neutraalis on faasipinged moonutatud.

## 5. TRAFOLAHRTRIS KASUTATAVAD KOHTTERMINALID

Käesolev peatükk kirjeldab kõrge pinge trafolahtri kohtterminalide programmi, mis on koostatud PCM600 tarkvara abil. Joonis 5.1. PCM600 tarkvara "project explorer" kuva on esitatud antud tarkvara projektipuu. Järgnevat peatükkides kirjeldatakse joonisel olevat aktiivse lahtri «E02 RK02 PT01» terminalide programmi. Järgmises alajaotises 5.1 ja selle punktides kirjeldatakse kohtterminali A01\_RET rakenduste konfiguratsiooni, alajaotises 5.1 kirjeldatakse kohtterminali A02\_REF rakenduste konfiguratsiooni. Kummagi terminali programm on esitatud vastavalt lisa 5 ja lisa 6.



Joonis 5.1. PCM600 tarkvara "project explorer" kuva

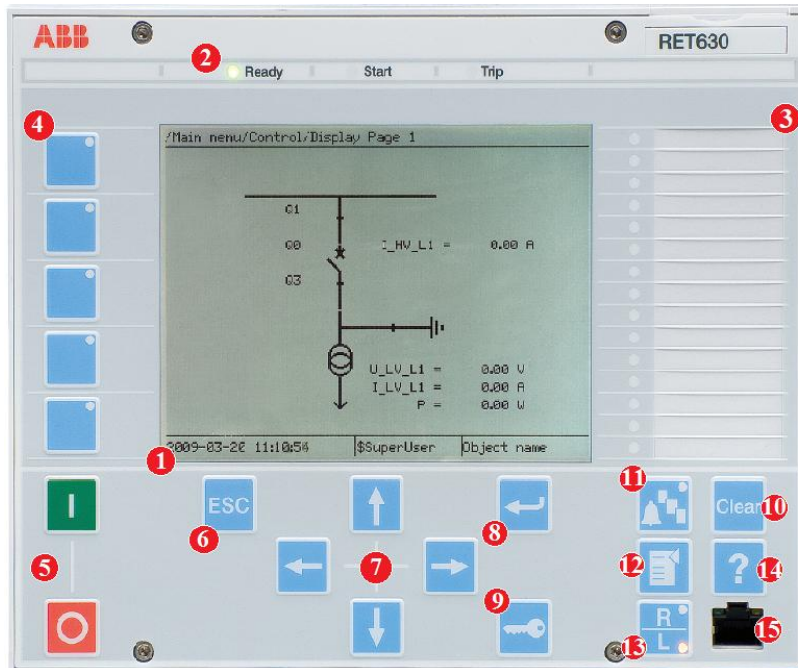
Tarkvara vastab IEC 61850 protokollile, mis lihtsustab terminalide juhtimist ja võimaldab infovahetust teiste sama protokolliga sobivate tööriistadega. Lisaks saab PCM600 tarkvara abil jälgida mõõtmisi ja signaalide olekuid reaalajas.



## 5.1. Trafokaitse terminal RET630

RET630 terminali funktsioonid on esitatud Lisas 4, (3.veerus, 2. reas), viitega A01(RK02).

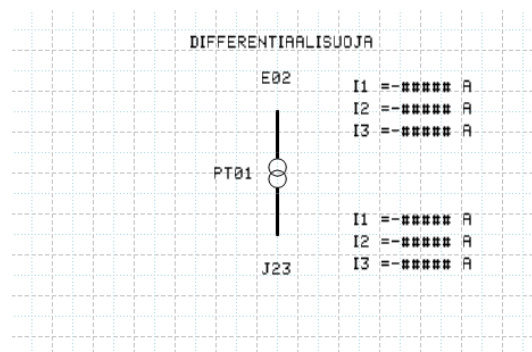
Joonis 5.2 on esitatud kohtterminali kohalik kasutajaliides (*local human machine interface*).



1. Ekraan
2. Terminali kaitseindikaatorid
3. Programmeeritavad leed indikaatorid
4. Programmeeritavad nupud
5. Primaatseadmete juhtimisnupud
6. Katkestamine
7. Navigeerimisnupud
8. Enter
9. Autorisatsioon
10. Puhastus
11. leedindikaatorid
12. Menüü
13. Kohalik/ kaugjuhtimine
14. Abimenüü
15. Andmeside pistik

Joonis 5.2. Trafo kaitsereele RET630 [15]

1. Ekraanil kuvatakse PCM600 tarkvaraga seadistatud lahtrit/objekti koos mõõdetavate parameetritega.



Joonis 5.3. Kohtterminali RET630 Kuva

Relee kaitsefunktsioonist lähtuvalt kuvatakse ekraanil (Joonis 5.3. ) võimsustrafot PT01 ja vahetuid ahelaid (kõrge pinge E02 ja kesk pinge J23 lahtrit). Lisaks on näidatud mõlema lahtri faasivoolud.

2. Kaitseindikaator leedid Ready, start ja trip, mille funktsioonid on esitatud all olevas tabelis.

Tabel 5.1. Seadme kaitseindikaatori funktsioonid

<b>Leed</b>	<b>Kustunud</b>	<b>Vilkuv</b>	<b>Põleb</b>
"Ready"	Toitepinge puudub	Seadmesisene viga	Normaaltalitus
"Start"	Normaaltalitus	Relee on testimisrežiimis	Kaitse on rakendunud
"Trip"	Normaaltalitus	-	Kaitse on rakendunud

3. Programmeeritavad leedindikaatorid, mille funktsiooni ja programmi käsitletakse punktis 5.1.5.

4. Programmeeritavad nupud, mille funktsiooni kirjeldatakse punktis 5.1.5. Tabelis 5.11

5. Objekti juhtimisnupud, on eelprogrammeeritud nupud, millega saab lüliteid avada ja sulgeda.

6. Katkestamine, eelprogrammeeritud nupp, millega saab käimas olevat operatsiooni katkestada või menüüs tagasi liikuda.

7. Navigatsiooninupud on menüüs liikumiseks , ↑ ja ↓ nupputega saab aktiivseid objekte vahetada.

8. Enter- sisestamise nupp.

9. Autoriseerimisnupp võimaldab seadme operaatoril terminalile parool peale panna, et kolmandad osapooled ei saaks terminali kasutada.

11. Häirete kuvamine- otsetee häiresalvesti menüüsse (Häiresalvesteid kirjeldatakse lähemalt punktis 5.1.4).

12. Menüü nupuga avatakse peamenüü või liigutakse alamenüüdest tagasi peamenüüsse.

13. Juhtimisrežiimi muutmine, mille abil saab vahetada relee kohaliku või kaugjuhtimisrežiimile.

14. Abi.

15. RJ-45 ühendus, mille abil on võimalik terminali konfigureerida ja selles olevaid andmeid lugeda.

Programm on jaotatud 8ks osaks (lisa 5).

- sisendite ja väljundite deklareerimine 3lk (Main Application:I/O),
- mõõte- ja signaaliahelad 2lk (Main Application:MEAS\_SIGN),
- kaitsefunktsioon 1lk ((Main Application:protec),
- häiresalvestus 1lk ((Main Application:Fault\_rec),
- kasutajaliidese nupud 1lk (Main Application:FNKEY),
- indikaatorite deklareerimine 1lk (Main Application:LED),
- sündmused (Main Application:EVENT).

### 5.1.1. Sisendid ja väljundid

Kontrolleri sisendid ja väljundid deklareeritakse lisa 5, lk-del 1-3 näidatud viisil. Leheküljel 1 on deklareeritud andmeside mooduli binaarsisendid. Esimesed 7 sisendit 14st on kasutusel ja nende sisendid on ühendatud trafo primaarkaitse seadmetega (Tabel 5.2). Sisendsignaalid salvestatakse häire- ja sündmustesalvestitesse (p. 5.1.4 ).

Tabel 5.2 Kommunikatsioonimooduli sisendid

Sisend (X304)	Signaal	Signaali tähendus
COM_101.BI1	COM_101_BI1	Trafo õli temperatuur
COM_101.BI2	COM_101_BI2	Jugarelee õli temp.
COM_101.BI3	COM_101_BI3	Gaasirelee
COM_101.BI4	COM_101_BI4	Ülerõhuventiil
COM_101.BI5	COM_101_BI5	Jugarelee kaitse
COM_101.BI6	COM_101_BI6	Varu
COM_101.BI7	COM_101_BI7	Varu

Lisas 5, lk 2 on deklareeritud kasutusel olevad binaarmooduli sisendid. Sisendid 2 ja 3 on varuks ühendatud, st et need on kaabliga ühendatud vabadele klemmidele releekapis.

Tabel 5.3 Binaarmooduli sisendid

Sisend (X319)	Signaal	Sisendi funktsioon
BIO_3.BI1	BIO_3_BI1	Abipinge rakendumine
BIO_3.BI2	BIO_3_BI2	Varu
BIO_3.BI3	BIO_3_BI3	Varu

Toitemooduli väljundid on ühendatud primaarseadmetega, kõrgepinge ja keskpinge võimsuslülite ajamite kontaktidega. differentsiaalkaitse rakendumisega aktiveeruvad esimesed 3 sisendit, mis avavad võimsuslüliti. Sisend BIO\_3.BO2\_PO on kõrgepinge võimsuslüliti tagavara avamine, juhaks, kui 1. sisendi signaaliga lüliti ei avane. Sulgemisluba 110 kV ja 20 kV signaal jääb aktiivseks, kuniks see käsitsi tagastatakse. Seda kasutatakse lisameetmena, et vigast lahtrit võrku ei saaks ühendada.

Tabel 5.4 Toitemooduli väljundid

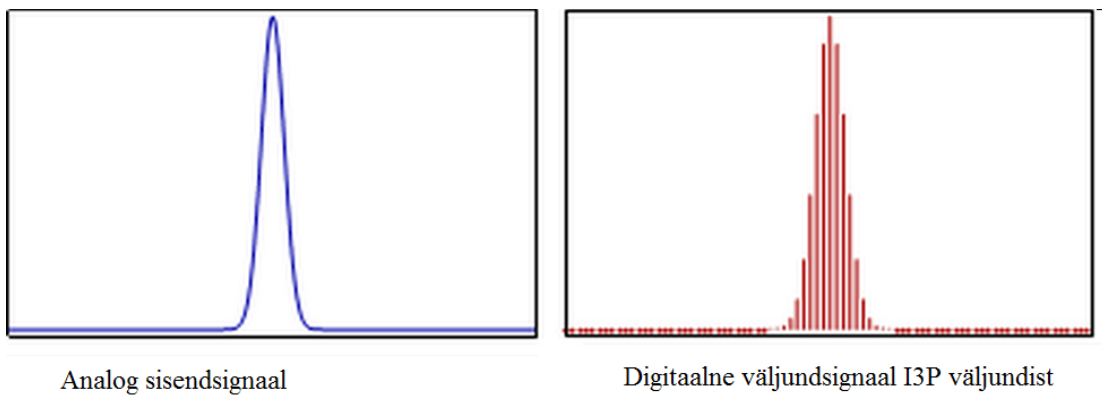
Väljund (X327)	Väljundi funktsioon
BIO_3.BO1_PO	110 kV differentsiaalkaitse rakendumine 1
BIO_3.BO2_PO	110 kV differentsiaalkaitse rakendumine 2
BIO_3.BO3_PO	20 kV differentsiaalkaitse rakendumine
BIO_3.BO4_SO	Võimsuslüliti rikke kaitse
BIO_3.BO5_SO	Sulgemisluba 110 kV lahtrile
BIO_3.BO6_SO	Sulgemisluba 20 kV lahtrile
BIO_3.BO7_SO	(test)
BIO_3.BO8_SO	Differentsiaalkaitse rakendunud
BIO_3.BO9_SO	Kaitselüliti avatud

## 5.1.2. Mõõtesignaaliid

Mõõtesignaaliid ahelad on esitatud lisa 5, leheküljel 4 . Terminali 3 esimest analoogsisendit mõõdavad kõrgepinge faasivoolusid ja 5-7 sisendid keskpinge faasivoolusid. Funktsiooniplokk SMAI\_20\_1 (signal matrix for analoog inputs) on andmetöötlusplokk, analoogsisendid töödeldakse diskreetseteks väärtusteks, mille põhjal edastatakse erinevad voolu parameetrid nagu:

- faaside efektiivväärtused
- faasivahed
- sagedus
- harmooniliste hetkväärtused ja
- järgnevusvoolud

Terminali analoogsisendite väärtused töödeldakse selles plokis fourier'i reaks, 1 kHz-ise sagedusega (20 proovi perioodi kohta), ja töödeldud digitaalsed andmed väljastatakse AI3P väljundi kaudu.



Joonis 5.4. Analoogsignaali töötlemine [16]

Analoogväljundite AI1, AI2 ja AI3 signaalid on ühesed vastavate sisendite GRP1L1, GRP1L2, GRP1L3 väärtustega. Funktsiooniploki analoogväljund liigub edasi CMMXU mõõtmisfunktsiooniplokki. Programmis on kasutatud kahte CMMXU plokki, mis mõõdavad kõrge- ja keskpinge faasivoolusid, plokid on eristatavad kasutaja poolt antud nime poolest("110kV" ja "20kV" ).

Differentsiaalkaitse jaoks on kasutatud kahte SMAI\_20 plokki , mõlema pingestme (110 kV ja 20 kV) ploki väljundsignaalid, 110\_3I\_T3\_grp ja 20\_3I\_T3\_gpr lähevad edasi TR2PTDF ploki sisenditesse I3P1 ja I3P2 (lisa 5, lk 6, A3), kus tuvastatakse differentsiaalvool.

### 5.1.3. Differentsiaalkaitse

Differentsiaalkaitse programm on esitatud lisas (lisa 5, lk 5). Põhilised etapid mõõtetulemustest kuni kaitse rakendumiseni on esitatud joonisel 5.7. TR2PTDF plokk on kahe mähilise trafo differentsiaalkaitse funktsiooniplokk, kus tuvastatakse differentsiaalvool. Selleks kasutatakse ptk 4.2 kirjeldatud meetodeid:

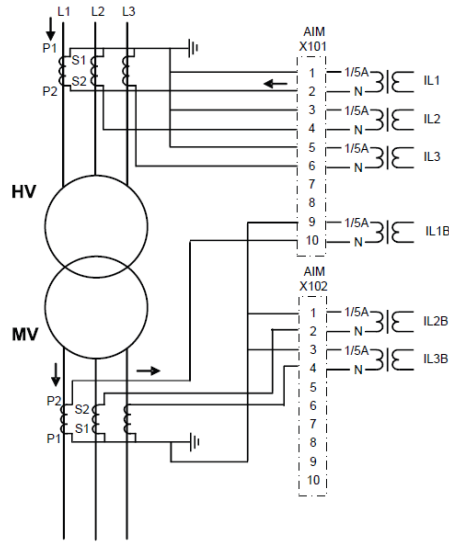
- Harmooniliste plokkeerimine,
- voolukõvera analüüs,

Funktsiooniploki sätted on esitatud tabelis 5.5.

Tabel 5.5. TR2PTDF sätted

<b>TR2PTDF:1</b>	
Operation	on
Clock number	Clk Num 0
Winding 1 type	Y
Winding 2 type	Y
CT connection type	Type 1
Zro A elimination	Not eliminated

Sätetes saab funktsiooniploki väljundid välja lülitada, kaitstava trafo lülitusgruppi ("Winding 1 type" ja "Winding 2 type") ja faasivahet valida "clock number" 30°se sammuga (antud alajaamas on faasivahe 0°). Mõõtetrafo ühendusskeem on määratud "CT connection type" parameetriga, Type 1 ühendusskeem on esitatud joonisel 5.5. Viimane säte "Zro A elimination" on nulljärgnevusvoolu kõrvaldamine.



Joonis 5.5. Voolutrafo ühendusskeem "type 1" [1]

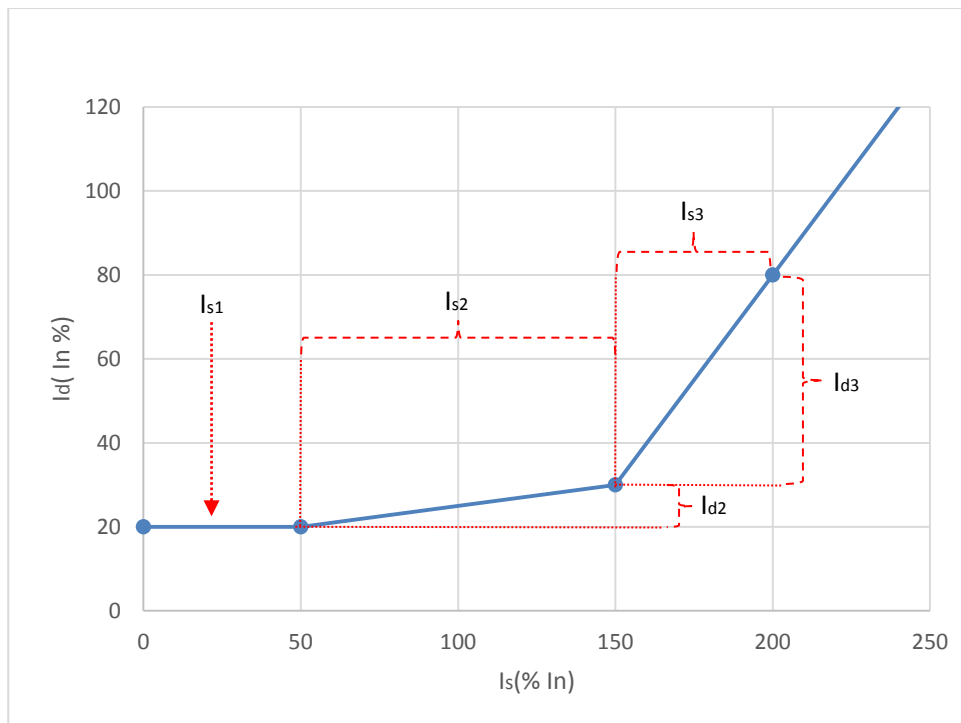
Funktsiooniploki parameetrid on esitatud tabelis 5.6. Esimese valikuna on valitud tõkestusviis "restraint mode" ,mis on sätestatud 2. ja 5. harmoonilisega blokeerimine ja voolukõvera võrdlemine ( ptk 4.2.).

Tabel 5.6. TR2TDF ploki sätted

Trafo Differentiaalkaitse sätteväärtused		
Selektiivsusmeetod	2 ja 5 H + voolukõver	Ühik
Hetksätte väärtus	1000	%
Pidurdussätte väärtus	20	%
2. staadiumi kallak	30	%
2. staadiumi lõpp	150	%
2. harmoonilise väärtus nimivoolust	15	%
5. harmoonilise väärtus nimivoolust	35	%

Differentiaalkaitsel on voolukuju järgi 2 rakendumistunnusjoont, 1. rakendub koheselt, kui voolu hetkväärtus on nimivoolust 10 korda suurem (tabelis 5.6. "Hetksätte väärtus"). Teine tunnusjoon ehk pidurdussäte on esitatud joonisel 5.6. Funktsiooniplokk võrdleb differentiaalvoolu ( $I_d$ ) ja sättevoolu ( $I_s$ ), kui voolude suhe jääb tunnusjoonest ülespoole siis rakendub kaitse. Rakendustunnusjoon on jagatud kolmeks staadiumiks:

- esimene staadium, kus rakendusvoolu on konstante (sätestatud parameetriga "Pidurdussätte väärtus"  $\frac{I_{d1}}{I_n} * 20\% \leq I_r(\%I_n)$ ,
- teine staadium, sätestatakse parameetrite "2. staadiumi kallak" ja "2. staadiumi lõpp" abil- esimene parameeter määrab  $I_d$  ja  $I_n$  suhte ja teine parameeter määrab sätestatud piirkonna nimivoolu suhtena (150% nimivoolust)  $\frac{I_{d2}}{I_{s2}} \leq I_r(\%I_n)$ ,
- kolmanda staadiumi algus on sätestatav parameetriga "2. staadiumi lõpp" ja lõpp "High operate value"-ga, rakendustunnusjoone kallakut selles piirkonnas muuta ei saa, selles regioonis jääb rakendusvool  $\frac{I_{d2}}{I_{s2}} < I_r(\%I_n) = \text{konstant}$ .



Joonis 5.6. Differentiaalkaitse rakendustunnusjoon

Harmoniliste tõkestamisel plokeeritakse funktsiooni väljundid, kui 2. harmoonilise hetkväärtus on 15% või 5. harmooniline 35% peaharmonilisest. Kaitse rakendumisel aktiveeruvad väljundid on tabelis (binaarväljundid):

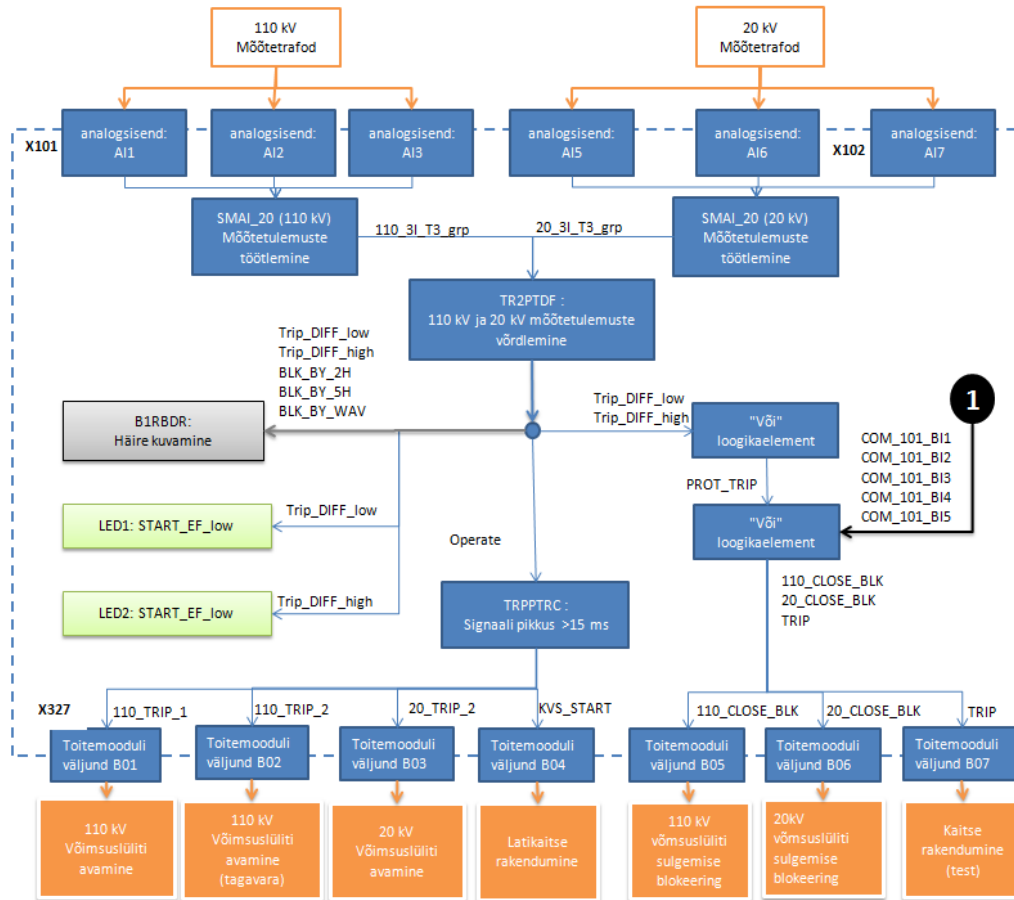


Tabel 5.7. Väljundite väärtus kaitse rakendumisel

	Väljund	1000% In<Ir	Is<Ir<1000% In	0,35I1H<I5h	0,15I1H1<I2H
Kaitse rakendumine	OPERATE	1	1	0	0
Pidurdussätte rakendumine	OPR_LS	0	1	0	0
hetkkaitserakendus	OPR_HS	1	0	0	0
2. harmoonilise võrdlemine	BLK2HD	0	0	0	1
5. harmoonilise võrdlemine	BLK5HD	0	0	1	0
Voolu kuju võrdlemine	BLKDWAV	1	1	0	0

Väljuni "operate" väärtus muutub 1-ks igal rakendumistingimusel ja edastab signaali järgmisele funktsiooniplokile TRPPTRC (tripping log teised väljundid (OPR\_LS ja OPR\_HS) muutuvad "1"-ks vastavalt rakendumisviisile (vastavalt OPR\_LS, kui kaitse rakendus pidurdusega sättega, OPR\_HS, kui kaitse rakendus hetksättega).

TRPPTRC funktsiooniplokk töötab taimerina, kui TR2PTDF väljundi "operate" väärtus muutub 1-ks, siis TRPPTRC väljundisignaali muutub 1-ks, kui see sisendsignaali kestvus on vähemalt 15 ms. Signaal edastatakse tabelis 5.7. esitatud väljunditesse (BIO1,BIO2, BIO3 ja BIO4), mis rakendab vastava kaitselüliti.



Joonis 5.7. Differentiaalkaitse rakendamise etapid

### 5.1.4. Häiresalvesti

Joonisel 5.7 on esitatud vastavad signaalid, mis lähevad binaarsignaali salvestusplokki B1RBDR. Trafo differentiaalkaitse ploki väljundsignaalid, mis jõuavad binaarsignaali salvestusplokki B1RBDR on esitatud tabelis 5.9. Funktsiooniplokk suudab salvestada kuni 100 viimast sündmust. Igale sisendile omistatakse vastav nimi, mis iseloomustab signaali olemusrikke tekke põhjust. Antud funktsiooniploki salvestisi on võimalik näha kauglugemise teel dispetšeritele või ka läbi kohalikust kasutajaliidesest. Ka kaitse blokeerimise puhul salvestatakse sündmus, nt juhul, kui differentiaalvool ületab lubatud väärtuse, aga 2. või 5. harmoonilise komponent voolus on liiga suur.

Tabel 5.8. B1RBDR sisse lülitatavad indikaatorid

Sisend	Signaal	Signaali Kirjeldus
LAUKAISU	Kaitse rakendumine	Kaitse rakendumine
Id>> LAUKAISU	Id>> Kaitse rakendumine	hetkkaitse rakendumine
Id> LAUKAISU	id> Kaitserakendumine	Madala astme tunnusjoone järgi rakendumine
2.H LUKITUS	2.H Lukustus	Väljundi blokeerimine (2. harmoonilise järgi)
5.H LUKITUS	5.H Lukustus	Väljundi blokeerimine (5. harmoonilise järgi )
AALTOM. LUK.	Voolukõvera järgi rakendumine	voolukuju järgi blokeerimine

Binaarsignaalide salvesti B4RBDR signaalid, mis on esitatud tabelis 5.10 on valdavalt seotud trafo primaarkaitse rakendumisega, lisaks salvestatakse olukord, kus abipinge rakendatakse. Kui primaarkaitse rakendub, jõuab signaal funktsiooniplokki ja häiring salvestatakse.

Tabel 5.9 B4RBDR sisendsignaalid

Sisend	Signaal	Signaali funktsioon
IRF	IRF_AND_TEST_IRF	Abipinge rakendumine
PT01 SUOJA	COM_101_BI1	Trafo õli temperatuur
PT01 SUOJA	COM_101_BI2	Jugarelee õli temp.
PT01 SUOJA	COM_101_BI3	Gaasirelee
PT01 SUOJA	COM_101_BI4	Ülerõhuventiil
SUOJAKYTKIN	COM_101_BI5	Jugarelee kaitse

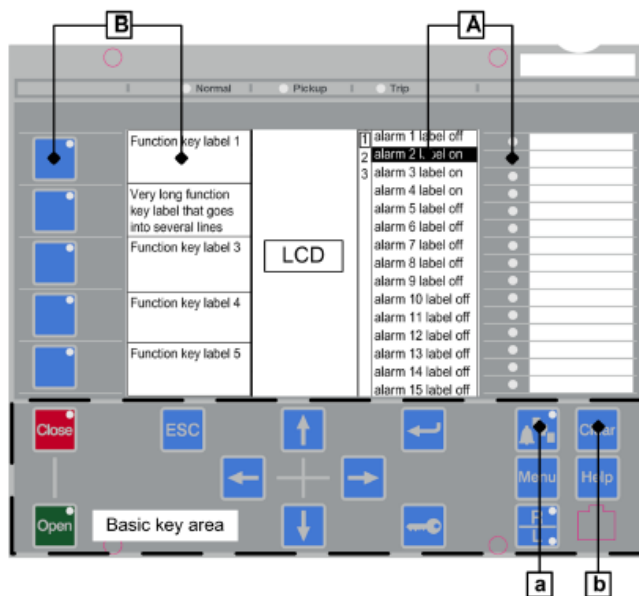
Funktsiooniplokk A1RADR on analoogsignaalide salvestusplokk, mida kasutatakse kõrge- ja keskpinge faasivoolude salvestamiseks häire korral (Tabel 5.10 ). Funktsiooniploki sätetes saab valida häire eelse ja järgse aja, kui terminal saab häire signaali siis salvestatakse funktsiooniploki abil häire eelse ja järjse aja faasivoolud, mida on võimalik analüüsida.

Tabel 5.10 A1RADR sisensignaaliid

Sisend	Signaal	Signaali funtsioon
110 IL1	110_I1	Kõrgepinge I1 faasi voolu kuvamine
110 IL2	110_I2	Kõrgepinge I2 faasi voolu kuvamine
110 IL3	110_I3	Kõrgepinge I3 faasi voolu kuvamine
20 IL1	20_I1	keskpinge I1 faasi voolu kuvamine
20 IL2	20_I2	keskpinge I2 faasi voolu kuvamine
20 IL3	20_I3	keskpinge I3 faasi voolu kuvamine

### 5.1.5. Kohalik kasutajaliides

Kohaliku kasutajaliidese seadistamisel programmeeritakse nuppudele (Joonis 5.8. viide B) vastavad funktsioonid ja ekraanil kuvatav nimi. Selleks kasutatakse funktsiooniplokki "FNKEYMDx" (lisa 5, lk 8).



Joonis 5.8. Programmeeritavad indikaatorid [17]

Tabelis Tabel 5.11 on esitatud nuppude (Joonisel 5.8. viide B) funktsioon ja LCD ekraanil kuvatav nimi.

Tabel 5.11. Programmeeritavate nuppude funktsioonid

<b>Programmeeritav nupp</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>Omistatav nimi</b>
Nupp 1	Sündmuste menüü avamine	
Nupp 2	Mõõteahelate menüü avamine	
Nupp 3	Menüü	LCD_FN3_ON
Nupp 4	leed Indikaatorite lähtestamine	RESET LED
Nupp 5	Abi toitepinge rakendamine	TEST IRF

Nupp 4 (lisa 5, lk 8, plokki FNKEYMD4) väljundsignaal "RESET\_BT" läheb LHMICTRL (local human machine interface control) ja LEDGEN funktsiooniplokki, mis lähtestab leed indikaatoritel olevad signaalid (Joonis 5.2, viide 3. programmeeritavad leed indikaatorid).

Nupp 5 ((lisa 5, lk 8, plokki FNKEYMD5) on abipinge rakendamise testiks mõeldud, funktsiooniploki väljund on ühendatud "või" loogikaplokiga, Kui INTERRSIG funktsiooniplokk tuvastab seadmesisese vea või vajutatakse 5. nuppu siis rakendub abitoitepinge.

Sarnaselt programmeeritavatele nuppudele omistatakse igale leed indikaatorile nimi ja funktsioon plokiga GRP1\_LED1 (lisa 5, lk 9). Antud programmis on kasutatud 9 esimest leed indikaatorit, mille funktsioonid ja nimi on esitatud tabelis 5.12.

Tabel 5.12. programmeeritavate leed indikaatorite signaalid

	<b>Programmisis omistatav nimi</b>	<b>Funktsioon</b>
LED 1	Id> laukaisu	Differentsiaalkaitse pidurdusega sätte rakendumine
LED 2	Id> >laukaisu	Differentsiaalkaitse hetkkaitse rakendumine
LED 3	PT01 ÖLJYN LÄMPÖ L.	Trafo temperatuur
LED 4	PT01 KÄÄMIN LÄM. L.	Jugarelee õlitemperatuur
LED 5	PT01 KAASURELE L.	Gaasirelee
LED 6	PT01 YLIPAIN L.	Ülerõhu relee
LED 7	PT01 KK SUOJA L.	Jugarelee kaitse rakendumine
LED 8	APUJÄNNITE 2 SJK.	Abipinge rakendumine
LED 9	RELEVIKA IRF	Releesisene viga

### 5.1.6. Sündmuste ahelad

SPGGIO funktsiooniploki abil on võimalik informatsiooni teistele terminalidele edasi saata. Selleks kasutatakse IEC 61850-8-1 protokoll. SPGGIO funktsiooniplokid saavad tabelis 5.13. esitatavad signaalid keskpinge lahtri J23 ( E02 vastaslahtri) terminalile. Signaalid saadetakse primaarkaitse rakendumisel, mis annab keskpinge lahtri terminalile info kaitse rakendumiseks.

Tabel 5.13. Keskpinge lahtrisse saadavad signaalid

<b>Sisend</b>	<b>Signaal</b>
Programmeeritav nupp 5 (Joonis 5.2, viide 4)	Abipinge rakendumine
COM_101_BI1	Trafo õli temperatuuri tõus
COM_101_BI2	Jugarelee õli temperatuuri tõus
COM_101_BI3	Gaasirelee rakendumine
COM_101_BI4	Ülerõhuventiili rakendumine
COM_101_BI5	Jugarelee kaitse rakendumine

## 5.2. Fiidrikaitse terminal REF630

Fiidriterminali kasutajaliides näeb välja samasugune nagu trafokaitse terminal (Joonis 5.2.). Antud terminalis teostatakse liigvoolu- ja maalühiskaitsega seotud funktsioone.

### 5.2.1. Sisendid ja väljundid

Terminali binaarmooduli sisendid on välja lülitatud, toitemooduli väljundid on tabelis 5.14. Sarnaselt trafokaitse terminalile on ka fiidrikaitse terminali toitemooduli väljundid ühendatud kaitselülititega- liigvoolu- või maalühiskaitse rakendumisel muutuvad vastavad väljundid aktiivseks, mis saadab võimsuslüliti ajamise signaali lüliti avamiseks.

Tabel 5.14. Toitemooduli väljundid

Väljund	Signaal	Väljundi funktsioon
P1#BO01	TRIP_1	Liigvoolukaitse rakendumine (110 kV)
P1#BO02	TRIP_2	Liigvoolukaitse rakendumine (110 kV) reserv
P1#BO03	PSM_102_B03_PO_TCS	Võimsuslüliti rikke kaitse
P1#BO04	KVS_START	Latikaitse rakendumine
P1#BO05		(kasutamata)
P1#BO06		(kasutamata)
P1#BO07	PROT_TRIP	Kaitse rakendumine (test)
P1#BO08	OC_TRIP	Liigvoolukaitse rakendumine
P1#BO09	EF_TRIP	Maalühiskaitse rakendumine

## 5.2.2. Mõõtesignaamid

Sarnaselt peatükis 5.1.2 kirjeldatule, töödeldakse analoogsisendi signaalid diskreetsele kujule, kasutades Fourier'i transformatsiooni. Töödeldud signaalid lähevad SMAI\_20\_1 plokki väljundist erinevatesse voolumõõtmise funktsiooniplokkidesse, mis on esitatud tabelis 5.15.

Tabel 5.15. Voolude mõõtmisfunktsioonid

<b>Funktsiooniplokk</b>	<b>Mõõdetavad suurused</b>
CMMXU	Faasivoolu
RESCMMXU	Null-järgnevusvool
CSMQI	Faasi-järgnevusvoolu

SMAI\_20\_2 plokki väljund mõõtesignaamid lähevad erinevatesse pingemõõtmise funktsiooniplokkidesse, mis on esitatud Tabel 5.16.

Tabel 5.16. Pingete mõõtmisfunktsioonid

<b>Funktsiooniplokk</b>	<b>Mõõdetavad suurused</b>
VPPMMXU	Faasipinge
VPHMMXU	Liinipinge
RESVMMXU	Jääkpinge
VSMSQI	Faasijärgnevuspinge
RESCMMXU	Null-järgnevusvool

Lisaks mõõdetakse võimsusega seotud suurusi, mis on esitatud tabelis 5.17.



Tabel 5.17. Võimsuse ja energia mõõtmise funktsiooniplokid

<b>Funktsiooniplokk</b>	<b>Mõõdetav suurus</b>	<b>Ühik</b>
EPDMMTR	Energia	(MWh)
PWRMMXU	Aktiivvõimsus	(MW)
	Reaktiivvõimsus	(MVar)
	Näivvõimsus	(VA)
	Võimsustegur	-
	Sagedus	(Hz)

SMAI\_80\_1 plokis töödeldakse mõõtetulemusi sarnaselt SMAI\_20 plokiga, mis edastatakse kaitsefunktsiooni plokkidesse (4 kHz sagedusega, 80 proovi perioodi kohta), mida kirjeldatakse punktides 5.2.3 ja 5.2.4.

### 5.2.3. Liigvoolukaitse

Liigvoolukaitse programm on esitatud (lisa 5, lk 7), kaitse on kolme astmeline, IEC 61850 protokoll järgi:

- madala astme säte (PHLPTOC)
- kõrge astme säte (PHHPTOC)
- hetksäte (PHIPTOC)

Joonisel 5.9. on esitatud programmi PCM600 väljavõtte liigvoolukaitse sätetest. Igal liigvoolukaitse plokil on samad parameetrid, mida saab eraldi kõigile sätendada.

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
3I> PHLPTOC: 1					
✓ Operation		On			
✓ Base value Sel phase		Phase Grp 1			
✓ Measurement mode		DFT			
✓ Num of start phases		1 out of 3			
✓ Curve parameter A		28,2000		0,0086	120,0000
✓ Curve parameter B		0,1217		0,0000	0,7120
✓ Curve parameter C		2,00		0,02	2,00
✓ Curve parameter D		29,10		0,46	30,00
✓ Curve parameter E		1,0		0,0	1,0
✓ Reset delay time		0,020	s	0,000	60,000
✓ Minimum operate time		0,040	s	0,040	60,000
✓ Setting Group1			<input checked="" type="checkbox"/>		
✓ Start value		0,05	pu	0,05	5,00
✓ Start value Mult		1,0		0,8	10,0
✓ Time multiplier		1,00		0,05	15,00
✓ Operating curve type		IEC Def. Time			
✓ Type of reset curve		Immediate			
✓ Operate delay time		0,04	s	0,04	200,00

Joonis 5.9. Liigvoolukaitse madala astme sätted

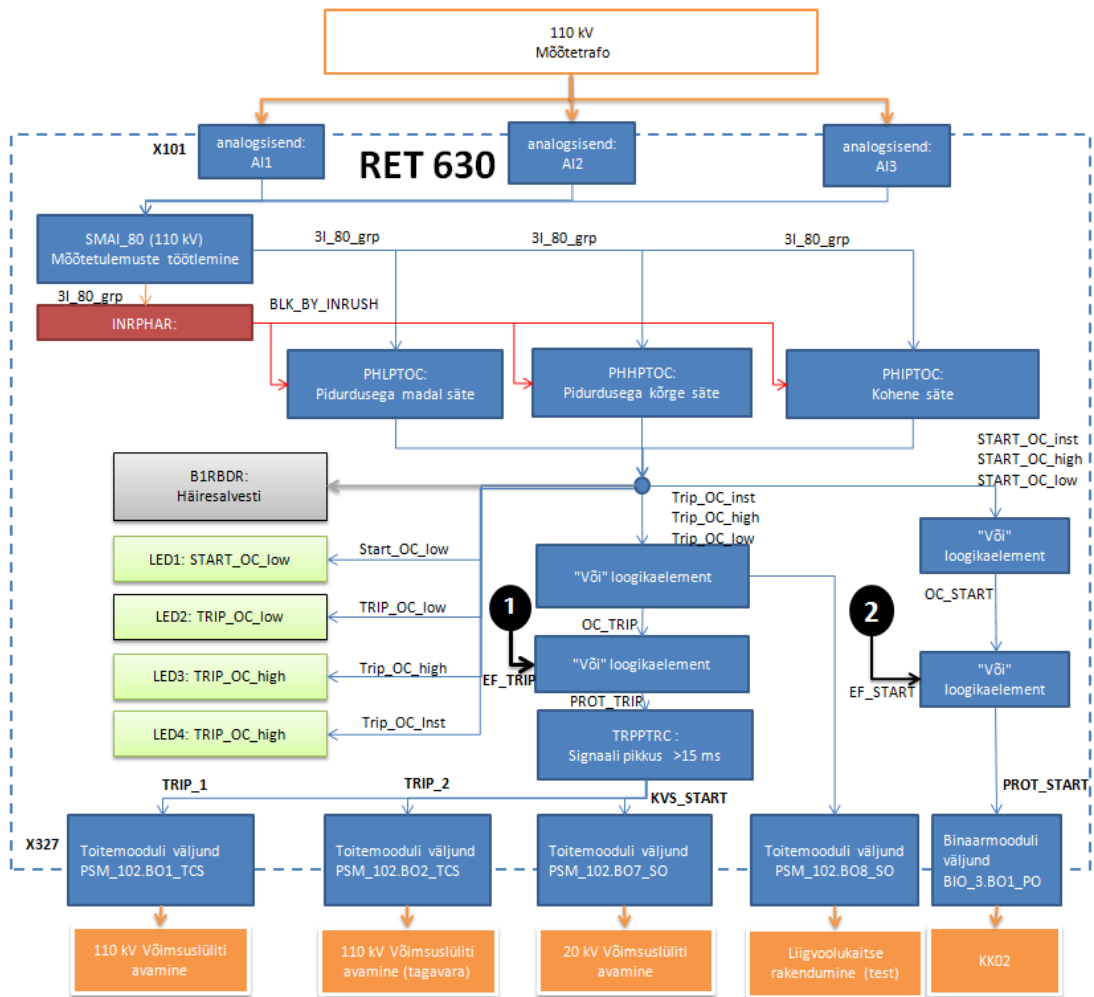
- *operation* sättega saab funktsiooni sisse või välja lülitada,
- *Measurement mode* sättega määratakse sisendsignaali tüüp, kõigil kolmel astmel on see "DFT" (Discrete fourier transform).
- *num of start phases* määratakse, mitme faasi vea korral kaitse rakendub (Iga astme rakendumiseks piisab ühest faasist)
- *Curve parameter A-Ega* määratakse sõltuva viitega kaitse rakendumistunnusjoone parameetrid, antud juhul on kõik kolm astet sõltumatu viitega kaitseid ja nende parameetrite väärtused rolli ei mängi.
- *Reset delay time* parameetriga sätestatakse "operate" väljundi signaali pikkus.
- *Minimum operate time* parameetriga määratakse sõltuva viitega rakendustunnusjoone minimaalne rakendumisaeg. Sõltumatu viitega kaitse puhul on antud parameeter deaktiveeritud.
- *Start value* parameetriga sätestatakse rakendusvoolu suurus eelsalvestatud parameetrite suhtes (ühik on pu- *per unit*) "*Base value Sel phase*" sättega määratakse eelsalvestatud suurus, mille suhtes rakendumisvool ette antakse. Etteantud suurus on 600 A järelikult rakendumisvool on 30 A. Kõrge astme pidurdusega sätte rakendumisvool on seega 60 A ja hetkkaitse oma.

Kuna tegemist on sõltumatu viitega 3-astmelise kaitsega, ei ole kõik sätted aktiivsed, rakendussätted esitatud tabelis 5.18.

Tabel 5.18 Liigvoolukaitse sätted

<b>Funktsiooniploki nimi</b>	<b>Säte</b>	<b>Rakendusmisviide (s)</b>	<b>Start (s)</b>	<b>Rakenduskarakteristik:</b>
PHLPTOC	Madal pidurdusega säte	0,9	0,7	Sõltumatu viitega (IEC def. time)
PHHPTOC	Kõrge pidurdusega säte	0,3	4,0	Sõltumatu viitega (IEC def. time)
PHIPTOC	Hetksäte	-	10	(Vaikimisi ) Sõltumatu viitega (def. time)

Liigvoolukaitse põhimõtteskeem on esitatud joonisel 5.10 Voolutrafo sekundaarmähis on ühendatud relee analoogsisenditega, mis edastab mõõtesignaali SMAI\_80 funktsiooniplokki, kus töödeldakse analoogsignaali ja tehakse voolu hetkväärtused diskreetseks suuruseks (Fourier'i teisenduse järgi (lisa 6, lk 4) ). Digitaalsingaalid saadetakse paralleelselt liigvoolukaitse funktsiooniplokkidesse PHLPTOC, PHHPTOC, PHIPTOC (lisa 6, lk 6) ja voolutõuke tuvastus funktsiooniplokki INRPHAR (lisa 6, lk 5).



Joonis 5.10. Liigvoolukaitse plokk skeem

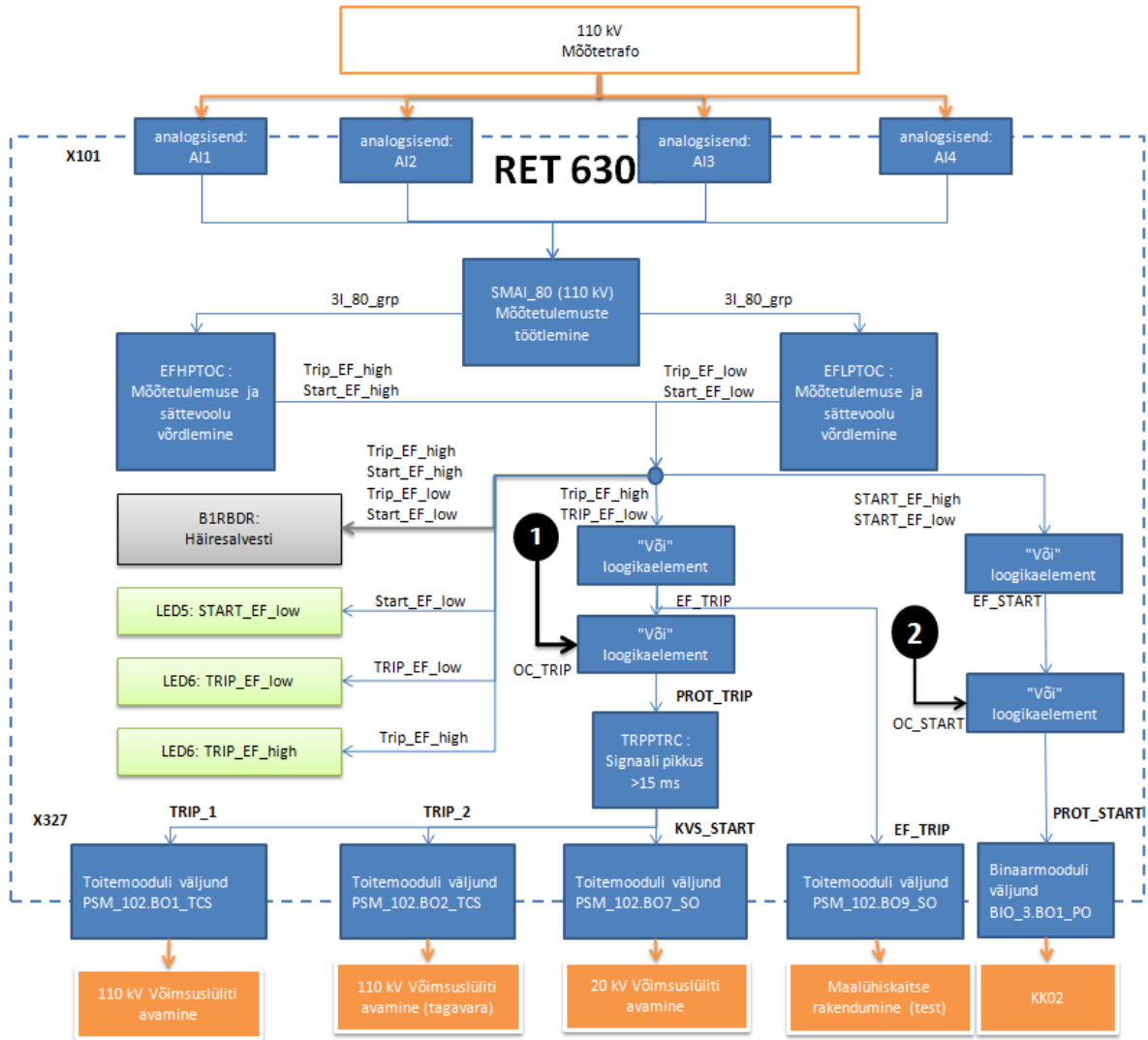
Tuvastusplokk võrdleb põhiharmoonilist 2. harmoonilisega, kui see suhe ületab sätestatud suurus (20 % ) siis toimib funktsiooniplokk kaitserakenduse viitena. Viite pikkust saab valida Sättevoolu ületamisel aktiveerub väljund START, mis saadab signaali otse Häiresalvestisse (lisa 6, lk 9, funktsiooniplokk B1RBDR) ja kohtterminali 1. leed indikaatorile (lisa 6, lk 11, funktsiooniplokk GRP1\_LED1). Kui voolu kestvus ületab sätte rakendusaega siis aktiveerub väljund OPERATE ja signaal jõuab väljundisse PSM\_102.BO8\_SO (Kaitserakendumise test). Viide 1, joonisel 5.10. on maalühiskaitse signaal, mida kirjeldatakse järgnevas alajaotises. Kui mistahes liigvoolukaitse funktsiooniploki väljund või maalühiskaitse kumbki aste (punktis 5.2.4) OPERATE aktiveerub siis antakse signaal (läbi "või" loogikaploki) TRPPTRC

funktsiooniplokki. TRPPTRC väljund aktiveerub, kui mingi ploki väljund "operate" on aktiivne üle sätestatud aja (15 ms) (lisa 6, lk 4).

#### 5.2.4. Maalühiskaitse

Maalühiskaitse (lisa 6, lk 8.) on 2- astmeline sõltumatu viitega kaitse. Funktsiooniplokis SMAI\_80 töödeldakse analoogsignaale (4 kHz-se sagedusega ). Digitaalne väljundsignaali I3P\_80\_grp saadetakse paralleelselt kahte funktsiooniplokki: EFHPTOC ja EFLPTOC, kus teostatakse vastavalt madala astme ja kõrgema astme kaitsefunktsioone. Nendes funktsiooniplokkides võrreldakse nulljärgnevus voolu etteantud väärtustega, kui sisendsignaali on suurem siis muutub väljund START aktiivseks, kui signaal on suurem kauem kui etteantud aeg (Tabel 5.19 "Operate value"), muutub ka OPERATE väljund aktiivseteks. Anomaaltalituse korral saadetakse signaalid häiresalvestisse (joonis 5.11. ). Liigvoolu-(Joonisel 5.11. viide 2) või nulljärgnevusvoolu kaitse käivitumisel (Signaal PROT\_START) muutub binaarväljund BIO\_3.BO1\_PO aktiivseks ja signaal jõuab RTU paneeli KK02 (Remote terminal unit ehk kaugjuhtimiskeskusesse).

Kummagi kaitseastme rakendumisel, liigub signaal läbi kahe loogikaploki (1. "või" loogikaploki väljund aktiveerub, kui nulljärgnevus kaitse kumbki signaal TRIP\_EF\_low või TRIP\_EF\_high aktiveerub, 2. loogikaploki väljund aktiveerub, kui liigvoolu kaitse signaal või nulljärgnevusvoolu signaal aktiveerub) TRPPTRC funktsiooniplokki, mille väljund aktiveerub kui sisendsignaali kestvus on  $\geq 15$  ms. Kui antud tingimus on täidetud siis rakendub kaitse ja võimsuslülidid avatakse.



Joonis 5.11. Maalühiskaitse

Väljundist OPERATE edastatakse signaal kaitse rakendumiseks toitemooduli väljundisse PSM\_102.BO9\_SO. Väljundist START edastatakse signaal häiresalvestisse ja binaarmooduli väljundisse X316:1, mis saadab signaali kaugjuhtimis terminali . Pidurdusega sätte funktsiooniploki EFLPTOC parameetrid on esitatud tabelis 5.19.

Tabel 5.19. EFLPTOC parameetrid

<b>Parameeter</b>	<b>Väärtused</b>
Rakendumisväärtus	0,1
Aja konstant	1
Rakendumistunnusjoon	Sõltumatu viitega tunnusjoon
Signaali tagastamise rakendumisjoon	Hetkeline
Rakendumise viiteaeg	0,3

Start value-ga sätestatakse kaitse rakendumisvool, kui nulljärgnevusvool ületab nimivoolu 0,01 kordselt, siis aktiveeritakse kaitse. Parameetriga "Operating curve type" sätestatakse rakendustunnusjoon, mis antud juhul on sõltumatu viitega kaitse.

Kõrge astme kaitse rakendub kui 110% nimivoolu kestab kauem kui 0,3 sekundit. Rakendumistunnusjoon on IEC standardi järgi . Kõrge astme sätte järgi peab kaitse rakendumiseks nimivool tõusma 4 kordseks ja kestma 0,02 sekundit. Kõrge astme sätte parameetrid on esitatud tabelis 5.20.

Tabel 5.20. EFHPTOC sätted

<b>Parameeter</b>	<b>Väärtused</b>
Rakendumisväärtus	0,1
Rakendumisväärtuse konstant	1
Aja konstant	1
Rakendumistunnusjoon	Sõltumatu viitega tunnusjoon
Signaali tagastamise rakendumisjoon	Hetkeline
Rakendumise viiteaeg	0,02

## 5.2.5. Häiresalvesti

B1RBDR signaaliploki salvestatavad andmed on esitatud tabelis 5.21.

Tabel 5.21. B1RBDR häiresalvestusploki signaalid

Sisend	Signaal		Indikaator
HAVAHTUMA	PROT_START	Kaitse rakendumine	LED 1
LAUKAISU	PROT_TRIP	Kaitse rakendumine	LED 2
I>>> HAVAHT.	Start_OC_inst		LED 3
I>>> LAUKAISU	Trip_OC_inst	kaitse rakendumine (Hetksätte järgi)	LED 4
I>> HAVAHTUMA	Start_OC_high	kõrge astme tunnusjoone järgi rakendumine	LED 5
I>> LAUKAISU	Trip_OC_high	kõrge astme tunnusjoone järgi rakendumine	LED 6
I> HAVAHTUMA	Start_OC_low	madala astme sätte liigvoolu väärtus ületatud	LED 7
I> LAUKAISU	Trip_OC_low	madala astme tunnusjoone järgi rakendumine	LED 8
Io>> HAVAHTUMA	Start_EF_high	kõrge astme sätte liigvoolu väärtus ületatud	LED 9
Io>> LAUKAISU	Trip_EF_high	Kõrge astme tunnusjoone järgi rakendumine	LED 10
Io> HAVAHTUMA	Start_EF_low	Maalühiskaitse madala astme sätte liigvoolu väärtus ületatud	LED 11
Io> LAUKAISU	Trip_EF_low	Madala astme tunnusjoone järgi rakendumine	LED 12

Analoog signaalid salvestatakse A1RADR ploki abil. rikke tekkimisel on pärast võimalik nende andmete põhjal analüüsida voolude väärtusi rikke tekkimise hetkel.

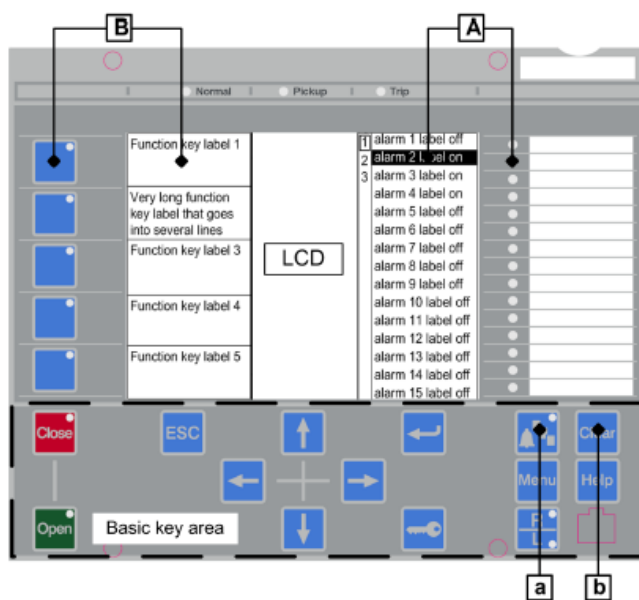


Tabel 5.22. A1RADR häiresalvestusploki signaalid

Sisend	Signaal	Signaali funtsioon
110 IL1	110_I1	Kõrgepingeline I1 faasi voolu salvestamine
110 IL2	110_I2	Kõrgepingeline I2 faasi voolu salvestamine
110 IL3	110_I3	Kõrgepingeline I3 faasi voolu salvestamine
20 IL1	20_I1	keskpingeline I1 faasi voolu salvestamine
20 IL2	20_I2	keskpingeline I2 faasi voolu salvestamine
20 IL3	20_I3	keskpingeline I3 faasi voolu salvestamine

### 5.2.6. Kohalik kasutajaliides

Kohaliku kasutajaliidese seadmistamisel programmeeritakse nuppudele (Joonis 5.12. Programmeeritavad indikaatoridviide B) vastavad funktsioonid ja ekraanil kuvatav nimi. Selleks kasutatakse funktsiooniplokki "FNKEYMDx" (lisa 6, lk 10).



Joonis 5.12. Programmeeritavad indikaatorid [17]

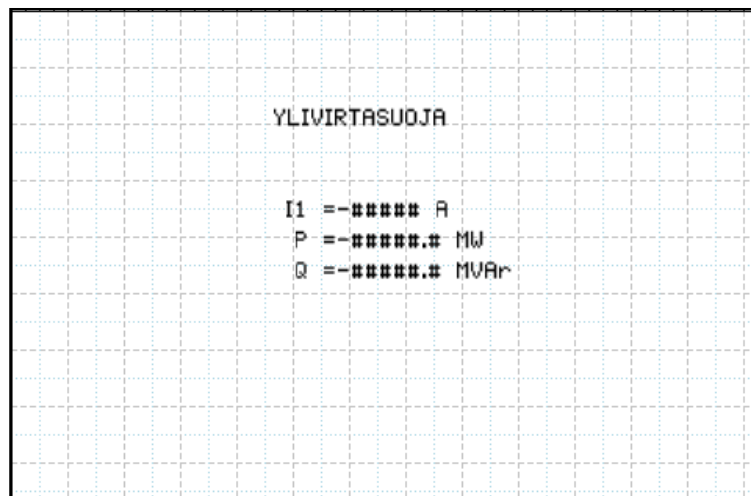
Programmeeritavate nuppude funktsioonid on tabelis 5.23.

Tabel 5.23. Programmeeritavate nuppude funktsioonid

Programmeeritav nupp	Funktsioon	Omistatav nimi
Nupp 1	Sündmuste menüü avamine	
Nupp 2	Mõõteahelate menüü avamine	
Nupp 3	Menüü	LCD_FN3_ON
Nupp 4	leed Indikaatorite lähtestamine	RESET LED
Nupp 5	Abi toitepinge rakendamine	TEST IRF

Kohtterminali ekraanil on 3 kuva võimalust:

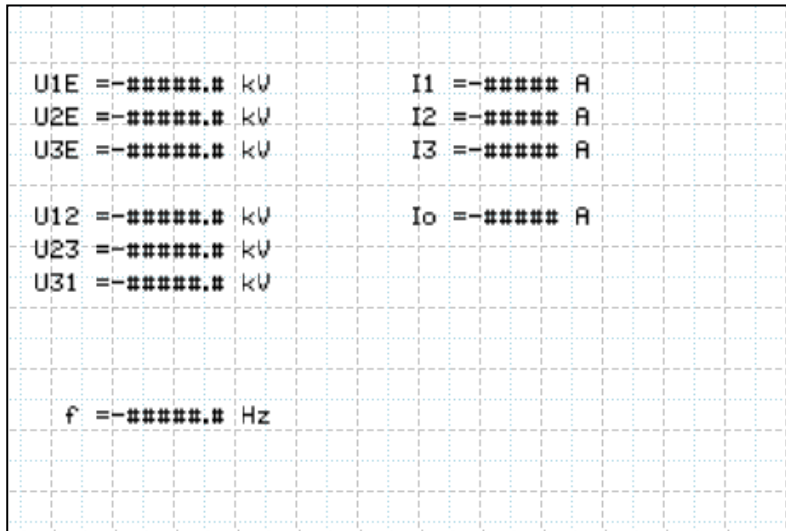
1. YLIVIRTASUOJA- Kuvatakse vool, aktiivvõimsus ja reaktiivvõimsus. Mõõteahelates olev CMMXU funktsiooniplokk on seotud joonisel 5.13. oleva I1 väärtusega. PWRMMXU funktsiooniplokk on seotud aktiiv- ja reaktiivvõimsuse kuvamisega (joonisel 5.13 vastavalt "P" ja "Q" ).



Joonis 5.13. REF630 kuva 1

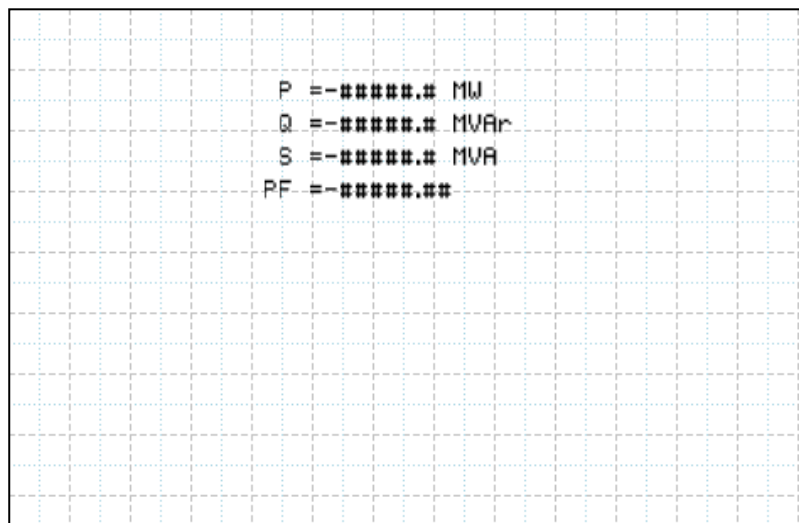
2.Faasipinged, liinipinged, neutraalvool ja faasivoolud. Mõõteahelates olevate VPHMMXU jääkpinge mõõtmisplokk on seotud joonisel 5.14 kuvatavate U1E-U3E väärtustega. VPPMMXU faasipingete mõõtmisplokk on seotud joonisel olevate U12, U23 ja U31 kuvatavate väärtustega.

Faasivoolud I1-I3 on seotud funktsiooniplokiga CMMXU väärtustega ja neutraalivool I<sub>o</sub> on seotud RESCMMXU väärtustega.



Joonis 5.14. REF 630 kuva 2

3. Reaktiivvõimsus, Näivvõimsus, reaktiivvõimsus, võimsustegur on kõik seotud mõõteahelates oleva funktsiooniplokiga PWRMMXU.



Joonis 5.15. REF 630 kuva 3

## 6. KOKKUVÕTE

Antud töö kirjeldab Helsingis asuva Ilmalantori 110/20 kV alajaama kõrgepinge trafolahtri releekaitset. Alajaama teeb eriliseks asjaolu, et see ehitatakse elektrivarustuse töökindluse mõttes tarbijatele võimalikult lähedale, mis seab tehnoloogia valikul lisatingimused. Ruumi kitsikuse tõttu ja müra summutamiseks kasutatakse elegaasjaotlat (Gas insulated switchgear-GIS) ja alajaam paikneb maa alla, lisaks on tiheda asustusega piirkondades kõrgendatud nõudmised alajaama tehnoloogiale, alajaam peab keskkonnale võimalikult vähe mõju avaldama, st võimalikult harvasid hooldusvälpaasid ja alajaam ei tohi visuaalselt piirkonda reostada.

Uurimustöö annab ülevaate GIS tehnoloogiast, selle vigadest ja eelistest, võrreldes traditsioonilise õhk isoleeritud jaotla (Air Insulated Switchgear- AIS) tehnoloogiaga. Antud jaotla automaatika projekteerimine muudab keerukamaks isolatsioonikambritega seotud automaatika. GIS jaotla eelisteks on töökindlus: kuna pingestatud osad on välisest keskkonnast isoleeritud siis ei mõjuta kõrvalised tegurid jaotla tööd, kompaktsus-nagu antud uurimustöös mainitud siis on võimalik jaotla pindalalt kokku hoida 30-80 % ruumist ja töökindlus- tänu väliskeskkonnast isoleeritusele vähenevad ka hooldusvälbad.

Töös kirjeldatakse trafo lahtri kaitsefunktsioonide töökindluse tõstmise meetodeid. Differentiaalkaitse töökindluse tõstmiseks kirjeldati erinevaid meetodeid- Harmoonilistega pidurdamise, harmoonilistega blokeerimine ja voolukuju erinevate parameetrite võrdlemine.

Trafo ergastusvoolu korral ei tohi differentiaalkaitse rakenduda, selle tuvastamiseks kasutatakse erinevate paaritute harmooniliste mõõtmist. Ergastusvoolu tuvastamiseks on laialt levinud tava 5. harmooniku sisalduse mõõtmine voolus, kuna tähtühendatud trafod filtreerivad 3. harmoonilise välja. Magneetimisvoolus esinevad kõrged paaris harmoonikud ja selle nähtuse tuvastamiseks kasutatakse tavaliselt 2. harmoonilise võrdlemist. Kõige levinum meetod differentiaalkaitseks on pidurdussättega harmoonilistega blokeerimise meetod, kus 2. harmoonilise võrdlemist nimivoolu väärtusega kasutatakse magneetimisvoolu tõugete tuvastamiseks ja 5. harmoonilist trafo ergastusvoolu tõugete tuvastamiseks.

Liigvoolukaitset kasutatakse võimsatel trafodel (>5 MVA) tagavara kaitsena. Eestis on levinud tava, kasutada 2-astmelist kaitset, millest madal aste on voolust sõltuv ja kõrgem aste hetkkaitse. Lõputöös uuritud alajaamas on kasutatud kolme astmelist kaitset, kus madala ja kõrge astme kaitsed on sõltumatu viitega kaitsed ja lisaks on rakendatud hetkkaitse. Liigvoolukaitse eristamist magneetimisvoolu tõugetest, kasutatakse sammuti paaris harmooniliste võrdlemist. Liigvoolukaitse rakendumistunnussuurused jagunevad IEC standardi järgi viieks: pöördsoõltuv, pikaajaline pöördsoõltuv, väga järsk pöördsoõltuv, äärmiselt järsk pöördsoõltuv, hetkeline. Liigvoolu kaitsele lisaks on kasutatud maalühiskaitset, mis toimib samal põhimõttel. Maalühiskaitse on tavaliselt tundlikum ja kiirem kui liigvoolukaitse. Selle üheks põhjuseks on asjaolu, et faasivoolusid mõõtvate voolutrafode ülekande suhe on suurem, kui neutraalivoolu mõõtvava voolutrafo oma ja suurte ülekannete puhul võib tekkida müra.

Uurimustöö viimases peatükis kirjeldatakse kõrgepinge trafolahtri kohtterminalide programmi. Programm on koostatud ABB kohtterminalide programmeerimi- ja jälgimise tarkvara. Kõige raskemaks väljakutseks osutus terminalide programmi ja konfiguratsiooni kirjeldamine tervikuna. Kuna inseneri jaoks on tähtis programmi ülevaate saamine lisades (lisa 5 ja lisa 6) esitatud kujul-funktsionaalsuse järgi aga antud uurimustöös püüti edasi anda programmi kirjeldus kaitsefunktsiooni kaupa- terminali sisendsignaalist kuni kaitsesignaali väljastamiseni.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „ABB“ ABB, 19 Veebruar 2014. [Võrgumaterjal].  
URL: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/7c6cc6c9828d9e5dc1257c84004d200d.aspx>.  
[Kasutatud 20 Märts 2014].
- [2] A. Reinmüller, Interviewee, *FAQ on MV GIS*. [Intervjuu]. 24 Oktoober 2002.
- [3] PES substations Committee, „Sulfur hexafluoride SF6,“ PES substations committee, 2008.
- [4] ABB, „ABB GIS Product Portfolio,“ 2013.
- [5] ABB, „ABB Homepage,“ ABB, Ludvika, 2010.
- [6] electrical4u, „electrical4u.com,“ [Võrgumaterjal].  
URL: <http://www.electrical4u.com/conservator-tank-of-transformer/>. [Kasutatud 25 aprill 2014].
- [7] „<http://www.electrical4u.com>,“ [Võrgumaterjal].  
URL: <http://www.electrical4u.com/differential-protection-of-transformer-differential-relays/>. [Kasutatud 8 Mai 2014].
- [8] K. Behrendt, „Consideration for using harmonic blocking and harmonic restraint techniques on transformer differential relays,“ Schweitzer Engineering laboratories Inc, 2006.
- [9] J. Blackburn, *Protective relaying principles and Applications*, New Yorj: Marckel Dekker Inc, 1997.
- [10] I.Schweitzer, „Consideration for using harmonic blocking and harmonic restraint techniques on transformer differential relays,“ 2006.
- [11] H. Tammoja, „Automaatika ja releekaitse,“ Tallinn, TTÜ elektroenergeetika instituut, 2006.
- [12] H. J. Altuve, „Performance analysis of traditional and improved transformer differential protective relays,“ Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, Washington, USA, 2000.
- [13] ABB, 630 series technical manual, 2012.
- [14] R. Teemets, *TTÜ elektriamite ja jõuelektroonika instituut*, 2010.
- [15] ABB, „Transformer protection and control RET application manual,“ ABB, 2014.
- [16] G. Strang, „This is the most important numerical algorithm of our lifetime,“ American

scientist, 2013.

[17] ABB, Feeder protection and control REF630 application manual, ABB, 2012.

[18] IEC 60044-1-, Instrument transformer- Current transformers“.

[19] IEC 60255-, Electrical relays“.

[20] IEC 600617-, Graphical symbol for diagram,“

[21] IEC 61850-, Power utility automation“.

[22] ANSI C37.90-, Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays“.

## LISA 1. PRIMAARSEADMETE PAIGUTUS



## LISA 2. ALAJAAMA KÖRGEHINGE ÜKS JOON DIAGRAMM

## LISA 3. GAASISOLATSIOONI SKEEM

## LISA 4. ALAJAAMA KÖRGEHINGE TRAFOLAHTRI KAITSE

## LISA 5. TRAFOKAITSE TERMINALI KONFIGURATSIOON

## LISA 6. FIIDRIKAITSE TERMINALI KONFIGURATSIOON