



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**ELEKTRIPAIGALDISTE
VÄLIKATSETUSPLATVORM TUGEVVOOLU
TALITLUSAHELATE HÄIRINGUTE MÕÕTMISEKS**

**FIELD TEST PLATFORM FOR MEASURING
DISTURBANCES IN AC CIRCUITS OF ELECTRICAL
INSTALLATIONS**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Laur Valgur

Üliõpilaskood: 206536EAAB

Juhendaja: Lauri Kütt, vanemlektor

Tallinn 2024

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"13" mai 2024

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Laur Valgur

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Elektripaigaldiste välikatsetusplatvorm tugevvoolu talitlusahelate häiringute mõõtmiseks“

mille juhendaja on Professor Lauri Kütt,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

13.05.2024

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Laur Valgur

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Elektripaigaldiste välikatsetusplatvorm tugevvoolu talitlusahelate häiringute mõõtmiseks

Kuupäev:
13.05.2024

37 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Professor Lauri Kütt

Töö konsultant (konsultandid): -

Sisu kirjeldus:

Elektripaigaldiste kõrgsagedushäiringute mõõtmiseks on sobilik rakendada mõõte-tehisevõrku, mis eraldab elektrivõrgu katsetatavast paigaldisest ja normeerib paigaldise või selle osa kõrgsagedus-näivtakistuse. Käesolevas lõputöös on kirjeldatud mõõte-tehisevõrguga mõõtmiseks sobiliku teisaldatava platvormi tugevvooluosa. Arvesse on võetud tegelikus paigaldises või välisasukohas esinevaid tingimusi, sh vajadust tagada paigaldise seisukohast sobilik ohutus ja töökindlus.

Mõõte-tehisevõrgu kaitseks on esitatud perspektiivse kaitseahelate osa. Sellise kaitseahelaga on võimalik tagada mõõte-tehisevõrgu jaoks ohutus paigaldises või ka katsetamisel esinevate rikete (lühiste) korral. Esitatud on lühiseolukordade arvutused, milles on arvetatud võimaliku katsetamiseks kasutatud toitevõrgu parameetritega. Lühisvoolude hinnangule tuginedes on loetletud kaitseaparaatide valiku alused mõõte-komplekti koostamisel.

Lõputöö tulemused on rakendatavad paigaldistes koha peal mõõtmiste läbiviimiseks sobiliku mõõteplatvormi koostamiseks.

Märksõnad: elektripaigaldised, mõõtmine, elektromagnetiline ühilduvus, juhtivuslikud häiringud, kõrgsagedushäiringud, lühisvoolud, kaitseaparaadid.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Laur Valgur	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Field test platform for measuring disturbances in AC circuits of electrical installations	
<i>Date:</i> 13.05.2024	<i>37 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Professor Lauri Kütt	
<i>Consultant(s):</i> -	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>For the measurement of high-frequency disturbances in electrical installations, it is preferred to apply an artificial mains network that decouples the electrical network from the electric installation under test and stabilizes the high-frequency impedance of the installation or its part. This thesis describes the high-current design of a portable measurement platform suitable for a artificial network. Conditions present in actual installations or outdoor locations are taken into account, including the need to ensure suitable safety and reliability from the perspective of the installation operation.</p> <p>A prospective part of protection circuits is presented for the reliability of the measurement artificial network. With given protection circuit, it is possible to guarantee safety for the measurement artificial network in the installation or in case of faults (short circuits) occurring during testing. Calculations of short-circuit situations are presented, taking into account the characteristics of the power supply network seen as supply to testing location. Based on estimates of short-circuit currents, the selection criteria for protective devices in the measurement platform are listed.</p> <p>The results of this thesis are applicable to the assembly of a suitable measurement platform for conducting on-site measurements in installations.</p>	
<i>Keywords:</i> electrical installations, measurements, electromagnetic compatibility, conducted disturbances, high-frequency disturbances, short-circuit currents, protective devices.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektripaigaldiste välikatsetusplatvorm tugevoolu talitlusahelate häiringute mõõtmiseks
Lõputöö teema inglise keeles:	Field test platform for measuring disturbances in AC circuits of electrical installations
Üliõpilane:	Laur Valgur, 206536EAAB
Eriala:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Lauri Kütt
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	kehtivusaja annab juhendaja 2023/2024 2023/2024 Kevad
Lõputöö esitamise tähtaeg:	13.05.2024

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Elektripaigaldiste kontrolliks on välja töötamisel uued põhimõtted, mis seavad tingimused ja meetodid elektromagnetilise ühilduvuse kriteeriumite täitmise seireks paigaldise asukohas koha peal. Selline kontrolltegevus nõuab vastavate kaitseseadmete ja -ahelate üles seadmist koha peal, k.a standardiga nõutud tehisevõrkude reeglitepärast ühendamist töötavas paigaldises. Käesolev lõputöö on sooritatud eesmärgiga välja arendada ja ellu viia kaitseseadmestik, mis oleks sobilik välitingimustes ja talitlevas paigaldises mõõtmiste läbiviimiseks.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on välja pakkuda elektripaigaldise kohapealseks kontrolliks seadmestiku jõuahelate ülesehitus, mis arvestaks paigaldiste talitlustingimustega (ei

muudaks talitlustingimusi) ning oleks piisavalt vastupidav nii rikkeolukordades kui ka erinevate keskkonnaparameetrite löikes.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Kuidas tagada mõõteseadmete jõuosa vaates tingimused, millega kindlustada katseseadmete komplekti töökindlus paigaldise koormusolukordasid arvestades;
2. Millised kaitseahelad ja -viisid on vajalikud, et kindlustada rikkeolukordades (eeskätt liigvoolud, liigpinged) jõuahelate ja mõõteseadmete ohutus;
3. Millised on vajalikud komponendid katseseadmete jõuosa üleehitamiseks ja millised on nõuded jõuahelatele?

4. Lähteandmed

EVS-EN 50160 normdokument

CISPR 37 normdokumendi kavand

Tootjate poolt esitatud katseseadmete kasutusjuhendid

EVS-EN 60364 seeria normdokumendid

5. Uurimismeetodid

Alusmaterjali põhjal nõuete välja selgitamine. Teoreetilistel alustel arvutuste sooritamine. Tabelarvutused erinevate lahendusviiside võrdlemiseks. Praktiliste ühendusskeemide väljatöötamine. Koostatud ahelate mõõtmine ja kontrolltoimingute läbiviimine.

6. Graafiline osa

Joonised, tabelid, skeemid on nii töö põhisosas kui ka lisades.

7. Töö struktuur

1. Ohutuskriteeriumid - EL LVD tingimused, EVS-EN 60364 tingimused püsi- ja ajutistele paigaldistele; üldised nõuded ahelatele, sh juhtmete ristlõiked, isolatsioon jne
2. Mõõtetehnoloogilised võtted - kõrgsagedushäiringute (juhtivuslikud) 150kHz – 30 MHz mõõtmine. Mõõte-tehivõrgud, 50 ja 150 oomine sobitus. Skeemid katsete läbiviimiseks.
3. Komplekt-mõõtetaristu struktuuri kirjeldus. Spetsifikatsioon - voolud, pingetasemed, mõõtmed, seadmed.
4. Skeemid - põhiahelad, sisemised toiteahelad, talitlusskeemi ümberlülituse võimalused, alalisvooluahelate kombinatsioon, indikatsioonid mõõtmistel
5. Kaitsetoimingud ja vahendid - lühisvoolu arvutus, kiire kaitse tundlikes ahelates, liigpingepiirid.

6. Teostuse detailvaade, kontrolltoimingute määratlemine.
7. Kontrolltoimingute läbiviimine, järeldused talitlusvõimekusest.

8. Kasutatud kirjanduse allikad

EVS-EN 50160 normdokument
CISPR 37 normdokumendi kavand
Tootjate poolt esitatud katseseadmete kasutusjuhendid
EVS-EN 60364 seeria normdokumendid

9. Lõputöö konsultandid

Vajadusel konsultantide nimed ja töö osad, mille juures abi saadakse.

10. Töö etapid ja ajakava

Kirjanduse läbitöötamine (Veebruar 2024)
Lähteandmete kogumine(Veebruar 2024)
Teoreetilise osa kirjutamine(Veebruar 2024)
Arvutuste/modelleerimise teostamine(Aprill 2024)
Järelduste kirjutamine(Aprill 2024)
Kokkuvõtte koostamine(Aprill 2024)
Töö esimene versioon valmis(Mai 2024)
Töö lõplik versioon valmis(13.05.2024)

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
Lühendite ja tähiste loetelu	11
SISSEJUHATUS	12
1 KÕRGSAGEDUSHÄIRINGUD JA NENDE MÕÕTMINE	13
1.1.1 JUHTIVUSLIKUD KÕRGSAGEDUSHÄIRINGUD	13
1.2 MÕÕTE-TEHISVÕRGUD	14
1.2.1 Tallinna Tehnikaülikoolis olemasolevad mõõte-tehisevõrgud	15
2 KÕRGSAGEDUSHÄIRINGUTE IN-SITU MÕÕTMINE	19
2.1 KOMPLEKT-MÕÕTETARISTU VÄLJATÖÖTAMISE VAJADUS	20
2.2 SKEEMID KATSEL	21
3 MÕÕTETARISTU KAITSE	23
3.1 LÜHISVOOLU HINNANG	23
3.1.1 Trafo 10 kV/0,4 kV	23
3.1.2 Alajaama 0,4kV latid	24
3.1.3 Alajaama fiidri sulavkaitsmed K1	25
3.1.4 Kaabelliin KL1	25
3.1.5 Kontaktid K2	26
3.1.6 Kontaktid K3	26
3.1.7 Maksimaalne kolmefaasiline lühisvool	27
3.1.8 Minimaalne ühefaasiline lühisvool	27
3.2 KAITSESEADMETE VALIK	28
4 MÕÕTETARISTU SPETSIFIKATSIOON	30
4.1 MÕÕDETAVALD PINGETASEMED JA VOOLUD	30
4.2 VAJALIKUD SEADMED MÕÕTETARISTUS	30
4.3 SEADMETE VALIK	31
4.3.1 Kontaktorid	31
4.3.2 Liigpingepiirid	31
4.3.3 Sulavkaitsmed	32
4.3.4 Sulavkaitsete alused	32
4.4 Platvormi tugevvooluahelate kirjeldus	33
KOKKUVÕTE	34
5 Kasutatud kirjandus	35

EESSÕNA

Lõputöö ülesanne on esitatud seoses teadus-arendustegevuses kerkinud vajadusega töötada välja töökindel ja rikketalitluse seisukohast usaldusväärse kaitsefunktsionaalsusega platvorm juhtivuslike kõrgsagedussuuruste mõõtmiseks. Mõõteplatvormi väljatöötamise aluseks oli Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi elektrotehnika aluste uurimisgrupi juures tegutsev elektromagnetilise ühilduvuse laboris paiknev eriseade – mõõte-tehisevõrk. Seadmega toimivate mõõtmiste ülesande sõnastas juhendaja, milles on esitatud vajadus täiendada sise-tingimustes tööks ette nähtud seadet lisaahelatega ja vajalike funktsioonidega, millega võimaldada usaldusväärsed mõõtetgevused mh välitingimustes ja elektripaigaldistes koha peal. Lõputöö keskendub talitlusahelate vahelduvvooluosale, milline on kavandatud silmas pidades 3-faasilist madalpinge-vahelduvvooluvõrku nimipingega 400 V ning talitlusvoolutugevusega kuni 100 A.

Autor edastab tänu lõputöös esitatud ülesannete lahendamisel ja teostusel kaasa aidanud doktorant-nooremteaduril Martin Parkerile ka insener Marek Jarkovoile.

Lõputöös arendatud platvormi teostusel on teinud suure töö Aleksander Andres Kase.

Lühendite ja tähiste loetelu

AMN - artificial mains network (Tehisvõrk)

CISPR - Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
(Rahvusvaheline Eirühm Raadiosageduste Häirete Küsimustes)

CM - Common mode (Sümmeetriline häiring)

DM - Differential mode (Diferentsiaalhäiring)

Dyn - Trafo kolmnurk-täht ühendusviis

EMH - Elektromagnethäiring

EMÜ - Elektromagnetiline ühilduvus

EUT - Equipment under test (Testitav seade)

FF - Flink Flink (Kiiretoimeline kaitse)

gG - General purpose fuse (üldotstarbeline sulavkaitse)

IEC - International Electrotechnical Commission (Rahvusvaheline elektrotehniline komisjon)

I_{HH} - Kõrgsagedushäiringute põhjustatud vool

JT - Jaotustrafo

LISN - Line Impedance Stabilization Network (liini impedantsi stabiliseerimisvõrk)

U_{HH} - Kõrgsagedushäiringute põhjustatud pinge

VTV - Vahelduvvoolu tehisvõrk

$Z_{võrk}$ - Elektriahela näivtakistus

SISSEJUHATUS

Juhtivate tööstusriikide aktiivne tegevus kliimaeesmärkide jõustamisel näeb ette nii taastuenergiaallikatest toodetud elektrienergia osakaalu suurt kasvu kui ka energiat tõhusaimalt kasutatavate süsteemide ulatuslikku juurutamist. Rakendamist soosivate sammude seas on loetletud nii elektriautode ulatuslik kasutus kui ka koduste ja tööstuslike energiasalvestus- ja ohjesüsteemide ülesseadmine. Muutumises on ka ülejäänud energiatarvitite ülesehitus, et täita järjest kõrgematele sihtidele seatud energiatõhususe nõudeid. Olgu siinkohal öeldud, et kõik loetletud muudatused hõlmavad jõuelektronsete süsteemide kasutamist elektrienergiat tarbivates toitelahendustes ja samuti taastuallikatest energiat tootvad süsteemid hõlmavad tüüpiliselt pooljuhtmuundureid.

Pooljuhtmuundurid on oma ülesehituse ja tööpõhimõtete poolest potentsiaalsed elektromagnethäiringu (EMH) emiteerijad. Iga sellise muunduri lülitusprotsess kätkeb kõrvalnähtusi, mis ei muuda otseselt energiamuundusprotsessi, kuid võivas sügavalt pärssivalt mõjuda võrku ühendatud seadmete tööle. Kuigi EMH tasemed on üksiku toote osas täpselt reglementeeritud, ei ole paigaldiste ja suuremamõõtmeliste süsteemide ülesseadmisjärgne kontroll olnud oluline aspekt.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on luua süsteem, mis täidaks elektripaigaldise koguhäiringuemissiooni mõõtmise eesmäärke, säilitades samal ajal elektripaigaldise talitlustingimused ja -võime.

1 KÕRGSAGEDUSHÄIRINGUD JA NENDE MÕÕTMINE

Seadmete elektromagnetilise talitluskeskkonna moodustavad erinevad nähtused, mis jagatakse [1]

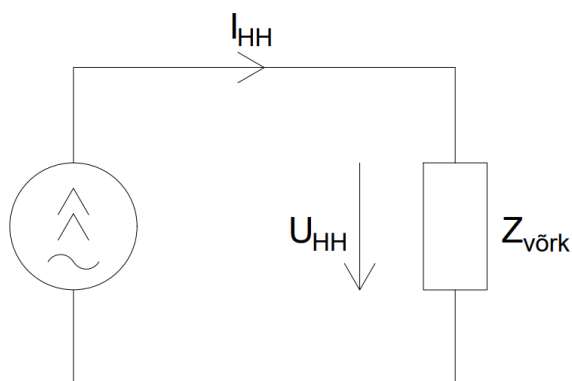
- Madalsageduslikud nähtused
- Kõrgsageduslikud nähtused
- Elektrostaatiline lahendus

Kõrgsagedushäiringuteks loetakse sageduskomponentidega 9 kHz ja enam esinevaid nähtuseid. Täiendavalt eristatakse kiiruslikke ja juhtivuslikke nähtuseid. Erinevate häiringute puhul tuleb arvestada osapooltega, kes on häiringu allikaks ja osapooltega, kes on häiringutest mõjutatud. Sellest sõltub häiringute mõõtmise seadistus.

1.1.1 JUHTIVUSLIKUD KÕRGSAGEDUSHÄIRINGUD

Juhtmes juhitud häiringud väljuvad emiteerijast osapooltest juhtmete kaudu. Elektrivõrguga ühendatud teiste osapoolteni jõuab selline häiring intensiivseimalt samuti juhtmete kaudu, kuid on võimalik ka eelnevalt juhtmetest kiirgunud väljasuure aheldumisel tekitatud häiringuolukorrad. Kõrgsagedushäiringute puhul hinnatakse erinevate sageduskomponentide intensiivsust.

Juhtivuslike kõrgsagedushäiringute ulatuse määrab kogu ahel, mis on ühendatud häiringu emiteerijaga. Sagedusvahemikus 9 kHz ... 30 MHz on mõõdetavaks suuruseks üldiselt pinge, mis tekib tänu ahelasse emiteeritavale voolule, mis kohtab ahelas näivtakistust suurusega Z . Ahela põhimõte on näidatud alloleval skeemil vt Joonis 1.1.



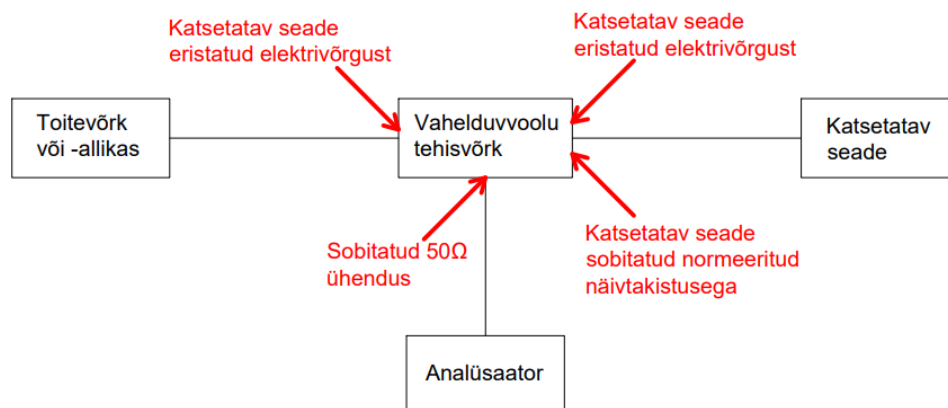
Joonis 1.1. Juhtivuslike pingehäiringute kujunemise elektriskeem.

Eelistatud meetod häiringuemissiooni suuruse hindamiseks on selline, mis võimaldab vältida konkreetse võrgu või ahela eripäradest tingitud varieeruvust. Selleks rakendatakse koormus või toiteahelatena ekvivalentseid tehisvõrke (i.k AMN – artificial mains network). Nende ülesanne on tagada ühtlane ja normeeritud näivtakistus, millega koormatakse emiteerijaks olevat osapoolt. Täpsemad juhised juhtivuslike kõrgsagedushäiringute mõõtmiseks on kirjeldatud normdokumendis EVS-EN 55016-2-1:2014 koos hiljem avaldatud lisadega ja parandustega.

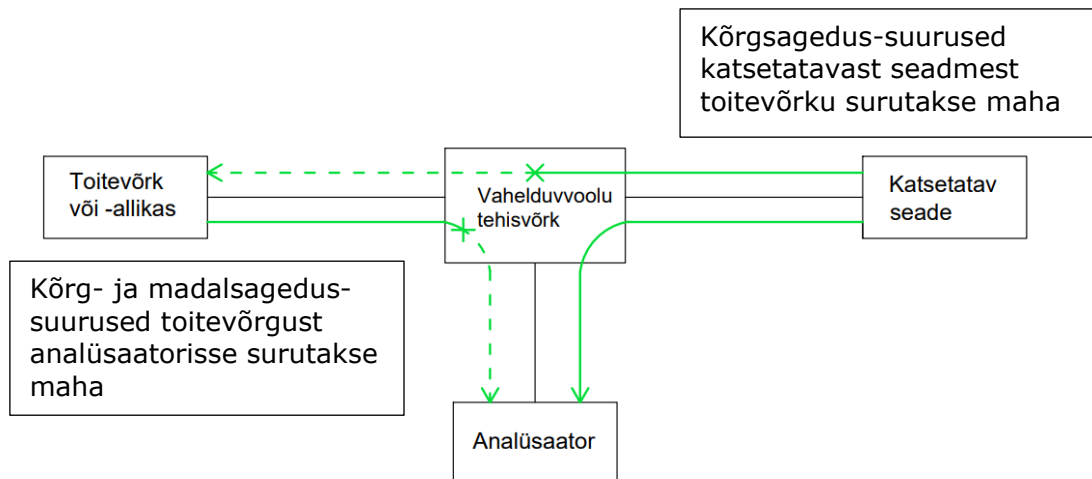
1.2 MÕÕTE-TEHISVÕRGUD

Vahelduvvoolu mõõte-tehisvõrkudel (VVTV) on 3 peamist ülesannet, mis on kirjeldatud ka alloleval skeemil (vt Joonis 1.2)

- 1) Eristada katsetatav seade muust elektrivõrgu keskkonnast, et mõõdetavaks suuruseks oleks peamiselt katsetatava seadme poolt emiteeritud suurused (vt Joonis 1.3);
- 2) Tagada madalsageduslike talitlussuuruste (vool, pinge) eraldamine mõõteväljundist ja mõõteväljundi sobitamine analüsaatori sisendiga, mille laiaribaline näivtakistus on 50Ω vastavalt EVS-EN 55016-1-1 [2]. Siin on eelduseks, et põhitalitlussuurusi tehisvõrku kasutades ei mõõdetata. Analüsaator on kasutuses ainult sagedusribas 9 kHz ... 30 MHz häiringupingete mõõtmiseks (vt Joonis 1.3) .
- 3) Tagada laiaribaline kompleks-näivtakistus normeeritud tasemel selliselt, et erinevate seadmete jaoks on ühenduse näivtakistus normdokumendiga EVS-EN 55016-1-2 [3] määratud piirides.



Joonis 1.3 Vahelduvvoolu tehisvõrgu roll häiringute mõõtmisel.



Joonis 1.4. Vahelduvvoolu tehivõrgu blokeeritavad mõjutused ja üle kantavad suurused.

Mõõte-tehivõrkude normatiivalused on kirjeldatud IEC CISPR-alamkomitee dokumendis CISPR 16-1-2. Euroopa Liidu tasemel on sama alus normeeritud EN-seeria standardina EN 55016-1-2 ja Eestis on vastavateks standarditeks EVS-EN seeriasse kuuluv EVS-EN 55016-1-2:2014, millel on sh lisa EVS-EN 55016-1-2:2014/A1:2018.

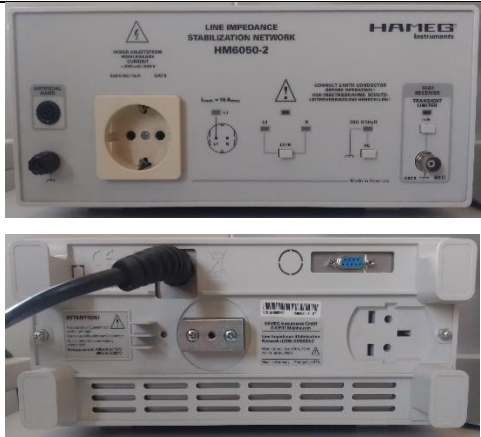
1.2.1 Tallinna Tehnikaülikoolis olemasolevad mõõte-tehivõrgud

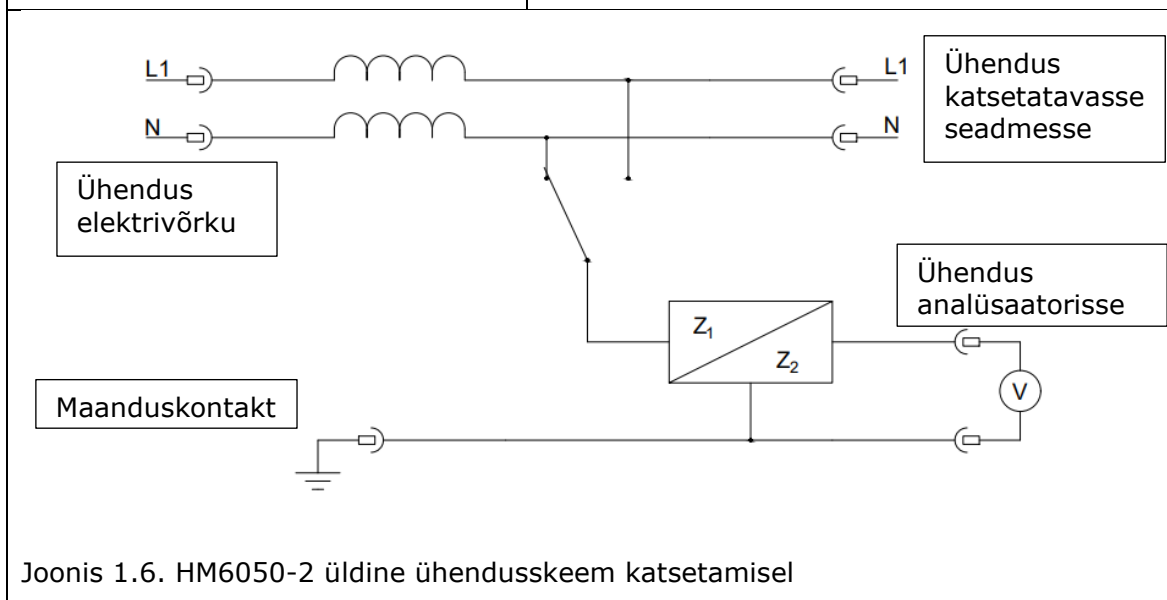
Tallinna Tehnikaülikooli elektromagnetilise ühilduvuse laboris on on 3 erinevat mõõte-tehivõrku, mis võimaldab keskusel mõõta nii alalisvoolu paigaldisi kui ka ühe- ja kolmefaasilisi vahelduvvoolupaigaldisi kuni 100 A nimivooluga.

Ühefaasiline vahelduvvoolu mõõte-tehivõrk HAMEG HM6050-2

Ühefaasiline tehivõrk HM6050-2 on ette nähtud seadmete, töövooluga kuni 16 A juhtivuslike häiringupinge mõõtmiseks. V-tüüpi tehivõrk on ümber lülitatav mõõtmiseks nii faasijuhi kui neutraaljuhi häiringusuuruste jaoks. Katsetatav seade on ühendatav Schuko 230 V 1-faasilise pesa kaudu (vt Joonis 1.5). Tehivõrgu võtmeparameetrid on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 1.1)

Tabel 1.1. Mõõtetehisvõrgu HM6050-2 parameetrid

<p>HAMEG HM6050-2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sagedusvahemik: 10 kHz - 30 MHz • Takistuskarakteristik: $Z = 50 \Omega \quad (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$, kõrvalekalle <20% • Maksimumvoolutugevus 16 A <p>Nimipinge 230 V / 50...60 Hz, CAT I</p>	 <p>Joonis 1.5. Tehisvõrgu HM6050-2 eest- ja tagantvaade.</p>
--	---



Kolmefaasiline vahelduvvoolu mõõte-tehisvõrk Narda L3-100

Kolmefaasiline tehisvõrk L3-100 on ette nähtud suure võimsusega ahelate mõõtmiseks, mille võimsus võib ulatuda kuni 70 kW-ni. Antud seade võimaldab ühendada kolmefaasilisi koormuseid, kuid mõõta võib ka ühefaasilisi vahelduvvoolul töötavaid seadmeid või alalisvoolul töötavaid seadmeid. Tehisvõrgu võtmeparameetrid on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 1.2).

Antud lõputöö kontekst eeldab, et mõõtmisteks kasutatakse siin kirjeldatud tehisvõrku L3-100. Kõik lõputöös toodud dimensioonid eeldavad, et tehisvõrgu võimekus on töötada püsivalt 100 A koormusvoolul.

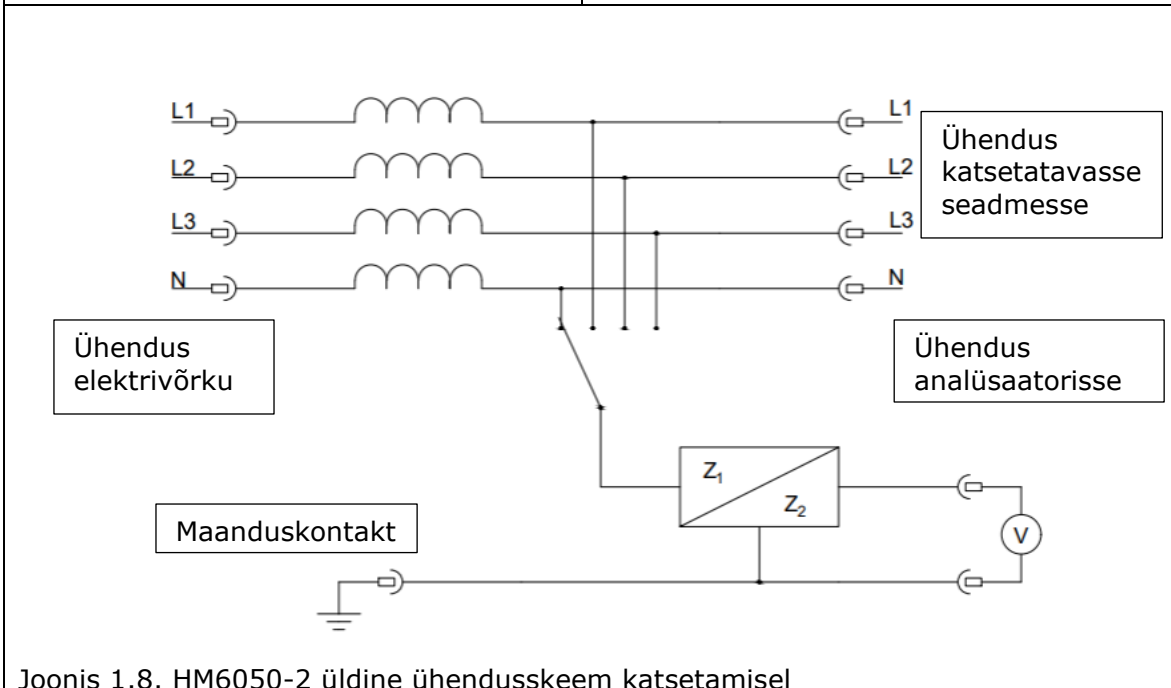
Tabel 1.2. Mõõtetehisvõrgu L3-100 parameetrid



Joonis 1.7. Tehisvõrgu L3-100 eest- ja tagantvaade.

Narda L3-100

- Sagedusvahemik 9 kHz - 30 MHz
- Maksimumvool 100 A
- Ülekoormusvool 125 A 5 minutit
- Maksimaalne tööpinge
(L/PE) (N/PE) 230 Vac; 325 Vdc
(L/L) (L/N) 400 Vac; 565 Vdc
- Ekvivalenttakistus $50 \Omega // (5 \Omega + 50 \mu\text{H})$ koos $250 \mu\text{H}$ drosseliga.




Joonis 1.8. HM6050-2 üldine ühendusskeem katsetamisel

Alalisvoolu mõõte-tehisevõrk EMCIS LN2-100T

Alalis-tugevvooluahelate tehisevõrk EMCIS LN2-100T on ette nähtud tugevvoolu-alalisvooluahelatega seotud juhtivuslike kõrgsagedushäiringukomponentide mõõtmiseks. Antud mõõte-tehisevõrgu andmed on esitatud kokkuvõtvalt allolevas tabelis vt Tabel 1.3.

Tabel 1.3. Alalisvoolu mõõte-tehisevõrgu andmed ja ühendusskeemid

<p>EMCIS LN2-100T võtmeparameetrid.</p> <ul style="list-style-type: none">• Sagedusvahemik 150 kHz - 30 MHz• Võrgu takistus CM: $150 \Omega \pm 20 \Omega$,• Võrgu takistus DM: $100 \Omega \pm 20 \Omega$• Võrgu faasor $0^\circ \pm 40^\circ$• Sisestuskaod $> 20 \text{ dB}$ (EUT~AE)• Maksimumvool 100 A• Maksimumpinge 1500 V (alalispinge tase)	 <p>Joonis 1.9. Mõõte-tehisevõrgu EMCIS LN2-100T eest- ja tagantvaade.</p>
---	---

2 KÕRGSAGEDUSHÄIRINGUTE IN-SITU MÕÕTMINE

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2014/30/EL [4] sõnastab üldised elektromagnetkeskkonna kaitse ja ohje tingimused. Kuigi peamine rõhk on üksiktoodetel, leiab mainimist ka direktiivi roll paigaldiste reguleerimiseks. I LISA sõnastab, et seadmed peavad olema kavandatud ja valmistatud nii, et

- nende poolt tekitatavad EM häiringud ei ületa taset, mille korral ei saa raadio- ja või muud seadmed talitleda ettenähtud viisil;
- neil oleks ettenähtud kasutamisel elektromagnetilise häiringu kindlus tasemel, mis võimaldab neil töötada tüüpilises sihtkeskkonnas ilma talitluse kvaliteedi vastuvõetamatu halvenemiseta.

Eestis reguleerib elektromagnetilise ühilduvuse raamistikus esitatavaid nõudeid Majandus- taristuministri määrus nr 91 „Elektriseadmele esitatavad ohutuse nõuded ning elektriseadmele ja elektripaigaldisele esitatavad elektromagnetilisele ühilduvuse nõuded ja vastavushindamise kord“ [5]. Elektripaigaldistelt nõutakse samu tingimusi nagu EN direktiivis Lisas I, täpsustades paigaldise ehitamise nõudeid alljärgnevalt:

- *elektripaigaldis ehitatakse hea inseneritava kohaselt ja võttes arvesse teavet selle koostisosade eesmärgipärase kasutamise kohta. See hea inseneritava dokumenteeritakse ja dokumentatsiooni tuleb hoida kättesaadavana kogu elektripaigaldise eluea vältel.*

Seadme ohutuse seadus (SeOS) [6] raamistikus täpsustatakse seadmete ja nendega seotud protsesside ohutus, sh reguleeritakse seadme kasutusele võtmist ja kasutamist ning seadmetööd. SeOS sätestab nõuded mh paigaldiste kontrollile ja kasutuselevõtule. Esmane on inimese elu ja tervise, asja ning keskkonna ohutuse tagamine. Paigaldise ohutuse ja korrektse talitluse eeldustes veendumiseks on ette nähtud kontrollvorm audit. Auditi eesmärk on anda järeldusotsus, mille kohaselt on või ei ole seade tehniliselt korras ja seadme ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamine on ohutu.

SeOS rakendamisel elektripaigaldistele on tingimused esitatud majandus- ja taristuministri määrusega nr 86 „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele“ [7]. Selle määruse Lisa 1 esitab elektripaigaldise mõõtmiste, teimide ja katsetuste näidisloetelu. Punktis 5 esitatud

„Elektripaigaldise elektromagnetilise ühilduvuse mõõtmiste ja katsetuste loetelu“ hõlmab toitevõrgu häiringute mõõtmist.

Käesoleva lõputöö raames kirjeldatud arendustöö eesmärk on töötada välja platvorm, mille kasutamisel oleks võimalik teostada valmis elektripaigaldiste elektromagnethäiringute mõõtmine, mis oleks vastav EL direktiivi harmoneeritud dokumentides kirjeldatud tingimustele.

Termin „in-situ“ [8] tähistab ladinakeelset mõistet, mis tähendab „asukohas“, „koha peal“. EMÜ kontekstis tuleb rõhutada seadmete katsetamist eeskätt laboratoorses tingimustes. Paigaldise kontroll on seetõttu mõnevõrra teine, sest paigaldis on kontrollitud keskkonda teisaldamatu [4]. Siiski, paljusid laboratoorsete tingimuste katsetusvõtteid rakendades on olulisi häiringuparameetreid võimalik mõõta ka koha peal.

2.1 KOMPLEKT-MÕÕTETARISTU VÄLJATÖÖTAMISE VAJADUS

Eelistatud mõõtmisviis talitlevates paigaldistes on võimalikult vähene ahelasse sekkumine. Voolumõõtmisel on siin kasutuses voolu-ümbrisproovikud (voolutangid) või Rogowski-tüüpi vooluproovikud. Pinge mõõtmiseks kasutatakse otseses ühenduses olevaid proovikuid või mõõteseadmete vahetut ühendamist juba olemasolevate kontaktidega.

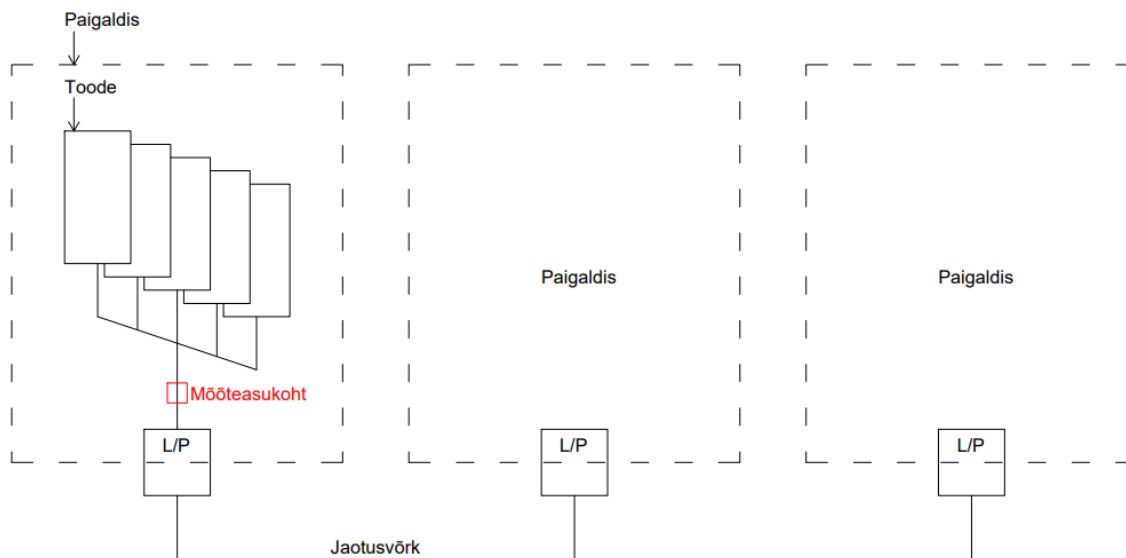
Tööstuspaigaldistes olevate EMH mõõtmise juhiseid on vähe, juhised on leitavad dokumendist EVS-EN 55011 [8]. Peamised koha mõõtemetodid on loetletud mõõtemetoodika dokumendis EVS-EN 55016-2-1 [9], mille kohaselt võib EMH mõõtmiseks rakendada EVS-EN 55016-1-2 [3] poolt sätestatud

- Mõõte-tehisevõrke, mis on eelistatud mõõtemetod
- Pingeproovikuid, mis on sidestatud 1500 Ω takistusega
- Kõrgsagedus-vooluproovikuid.

Korratavuse ja kontrolli võimaluse tootestandardiga pakub ainult neist esimene. Pinge- ja vooluproovikud võivad anda väga muutuva tulemuse juba mõne seadme täiendaval elektrivõrku ühendamisel või lahtiühendamisel. EVS-EN 55016-2-1 [9] peatükk 7.4.2.1 alusel on eelistatud meetod kohapeal katsetusteks tehisevõrgud.

Mõõte-tehisevõrgud on ette nähtud eeskätt EMH mõõtmiste tööks mõõtelaborites, [3] punkt 7.4.1 annab tingimused mõõteasukohaks laboris. In-situ tingimused esitab EVS-EN 55016-2-1 [9] peatükk 7.6.

Suure vooluga tööstusseadmete ja paigaldiste jaoks on EVS-EN 55011 [8] punktis 8.2.2 kirjeldatud meetodina rakendada juhtivuslike suuruste mõõtmiseks mõõte-tehisevõrke. See erineb EVS-EN 55016-2-1 [9] peatükk 7.6 soovitudest, kuid on rakendatavuse seisukohast üksjagu praktilisem ja esitab korratavama olukorra.



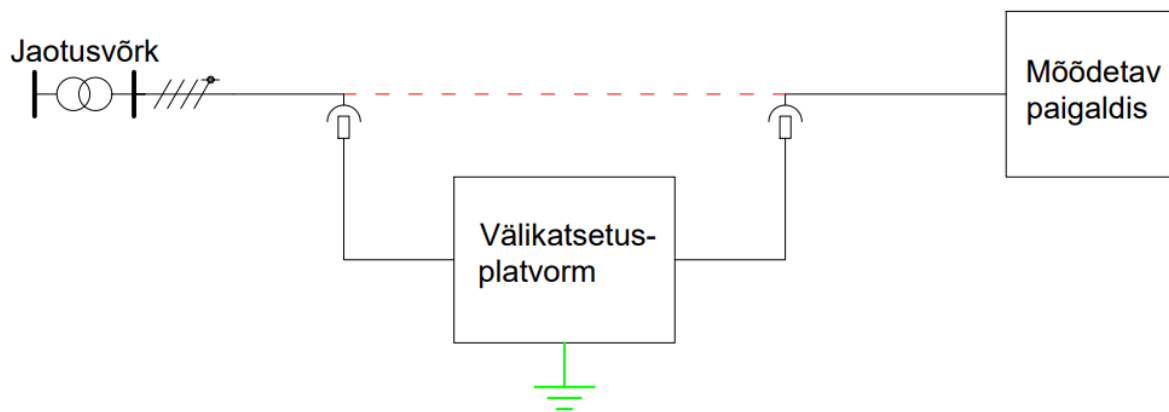
Joonis 2.1. Asukoht paigaldises ja mõõte-tehisevõrgu sisestamine ahelasse.

Mõõte-tehisevõrk ei võimalda sekkumiseta mõõtmise teostamist, kasutada tuleb skeemi Joonis 2.1, mistõttu selle rakendamisel on vajalik kaaluda täiendavaid kaitse- ja funktsionaalsuse aspekte.

2.2 SKEEMID KATSEL

Välikatsetusplatvormi ühendamiseks talitlevasse paigaldisse ühendatakse olemasolev toitekaabel mõõdetavast paigaldisest lahti, ning kaabel ühendatakse välikatsetusplatvormi kaabliga.

Välikatsetusplatvormi mõõdetava paigaldise poolne kaabel ühendatakse paigaldise külge. Ümberühendamine on kujutatud joonisel 2.2.



Joonis 2.2 Välikatsetusplatvormi ühendamine talitleva paigaldisega.

Talitusahelate katkestamisel on vaja tagada järgmised tingimused:

- Põhi-kaitseahelate töö ja ohutus mistahes rikete suhtes. Paigaldises ette nähtud põhilised kaitsefunktsioonid peavad tööd jätkama. Sisuliselt on vaja tagada liigvoolukaitsete, võimalikke rikkevoolukaitsete talitus.
- Paigaldise töö selliselt, et tagatud oleks piisav lühisvoolu tugevus ja liigvoolu taluvus ilma töökindlust kaotamata.
- Paigaldise või selle abiseadme jätkuv talitus ilma täiendava pingelangu/pingekao põhjustamiseta.

Kriitiliseks saab mõõtevahendite kaitse. Selleks on kavandatud:

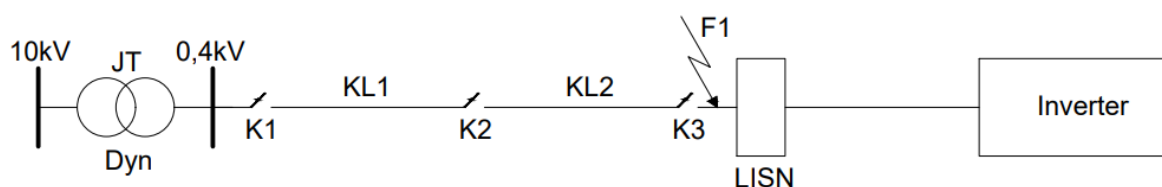
- Mõõte-tehisevõrgu ahelasse ühendamise läbi šunteeriva abiahela. Abiahel ühendab mõõte-tehisevõrgu tugevvoolu-talitusahelasse ainult ajaks, mil kõrgsagedushäiringute mõõtmise sooritatakse.
- Mõõte-tehisevõrgu täiendav liigvoolukaitse kiirete sulavkaitsmetega, mis võimaldavad ülikiire väljalülituse rikete korral, mis muul juhul võiksid viia mõõte-tehisevõrgu degradeerimiseni.
- Täiendavate liigpingepiirikute rakendamise, mis kaitseksid mõõte-tehisevõrke võimalike paigaldiste või selle osades esinevate hetkeliste liigpingete eest. Liigpingepiirikud on kriitilised mõõtmistel sellistes paigaldistes, milles puuduvad muud liigpingeid piiravad seadised.

3 MÕÕTETARISTU KAITSE

Mõõteseadmete, iseäranis vahelduvvoolu tehisevõrgu tundlikuse liigpingete ning -voolude vastu on mõõtetaristu kaitse äärmiselt oluline, ning tuleb kasutada mitmeid eri meetodeid riskide minimiseerimiseks.

3.1 LÜHISVOOLU HINNANG

Mõõtetaristu hakkab ühenduma erinevate võimekustega paigaldiste külge, lühisvoolu hinnang antakse järgnevate parameetrite alusel, mis peaks simuleerima tüüpilist jaotusvõrku ühendatud päikesepargi elektripaigaldist. Lühise asukoht ahelas on välja toodud joonisel 4.1.



Joonis 4.1 Arvutatava lühise asukoht

3.1.1 Trafo 10 kV/0,4 kV

Trafo võimsuseks on arvutuses hinnatud $S_n = 2$ MVA, sellise võimsusega trafosid on viimasel ajal paigaldatud mitmetesse valminud päikeseelektijaamadesse ning võimaldab hinnata mõõtmiste käigus tekkiva lühisvõimsuse suurust. Trafo takistused on taandatud madalpinge poolele. Trafo takistuste arvutuste algandmed on võetud „Teknisiä tietoja ja taulukoita“ käsiraamatust [10].

Trafo lühisetakistuse arvutus

Trafo nimivõimsus $S_n = 2000$ kVA

Trafo nimipinged $U_n = 10$ kV / 0,4 kV

Trafo vaseskadu lühisel $\Delta P_k = 14,3$ kW

Trafo nimilühispinge suhtena nimipingest $u_{k\%} = 6$ %

$$u_{kR\%} = \frac{\Delta P_k}{S_n} * 100\% = \frac{14,3}{2000} * 100\% = 0,715 \% \quad (4.1)$$

kus $u_{(kR\%)}$ – trafo aktiivpingelang lühisel protsendina kogupingest.

$$u_{kX\%} = \sqrt{u_{k\%}^2 - u_{kR\%}^2} = \sqrt{6^2 - 0,715^2} = 5,96 \% \quad (4.2)$$

kus $u_{(kX\%)}$ – trafo reaktiivpingelang lühisel protsendina kogupingest.

$$R_1 = \frac{u_{kR\%} * U_{nT2}^2}{100 * S_n} = \frac{0,715 * 400^2}{100 * 2000} = 0,57 \text{ m}\Omega \quad (4.3)$$

kus R_1 – pärijärgnevus aktiivtakistus, m Ω ,
 U_{nT2} – trafo sekundaarnimipinge, V.

$$X_1 = \frac{u_{kX\%} * U_{nT2}^2}{100 * S_n} = \frac{5,96 * 400^2}{100 * 2000} = 4,77 \text{ m}\Omega \quad (4.4)$$

kus X_1 – pärijärgnevus reaktiivtakistus, m Ω .

Materjali [11] alusel arvestatakse kolmnurk-täht trafo nulljärgnevus aktiivtakistus R_0 võrdseks pärijärgnevus aktiivtakistusega, ning nulljärgnevus reaktiivtakistus X_0 on 95% pärijärgnevus-reaktiivtakistusest.

$$R_0 = R_1 = 0,57 \text{ m}\Omega \quad (4.5)$$

$$X_0 = 0,95 * X_1 = 4,53 \text{ m}\Omega \quad (4.6)$$

3.1.2 Alajaama 0,4kV latid

Katsetatavates paigaldistes on enamasti kasutusel vasest latid, lühise hinnangu kontekstis arvestatakse suurte dimensioonidega lattidega, 80 mm x 8 mm, ning lattide pikkuseks alajaamas hinnatakse 4 m.

$$R_1 = \frac{\rho * l}{s} = \frac{17,5 * 4}{640} = 0,11 \text{ m}\Omega \quad (4.7)$$

kus ρ – juhi materjali eritakistus, m Ω mm²/m [10],
 l – juhi pikkus, m,
 s – juhi ristlõige, mm².

$$X_1 = X_m * l = 0,15 * 4 = 0,6 \text{ m}\Omega \quad (4.8)$$

kus X_m – induktiivtakistus liini pikkusühiku kohta, $\text{m}\Omega/\text{m}$ [10].

Loengumaterjali [11] järgi on lattide nulljärgnevus aktiivtakistus neli korda suurem pärijärgnevus aktiivtakistusest, ning nulljärgnevus reaktiivtakistus on 3,66 korda suurem pärijärgnevus reaktiivtakistusest.

$$R_0 = 4 * R_1 = 0,44 \text{ m}\Omega \quad (4.9)$$

$$X_0 = 3,66 * X_1 = 2,2 \text{ m}\Omega \quad (4.10)$$

3.1.3 Alajaama fiidri sulavkaitsmed K1

Alajaama fiidri sulavkaitsete suuruseks hinnatakse 100A, ning takistuse arvutamiseks kasutatakse R. Teemetsa loengumaterjali [11]

$$R_1 = R_0 = \frac{80}{I_n} = \frac{80}{100} = 0,8 \text{ m}\Omega \quad (4.11)$$

kus I_n – sulavkaitsme nimivool, A.

$$X_1 = X_0 = 0 \text{ m}\Omega \quad (4.12)$$

3.1.4 Kaabelliin KL1

Kaabelliin KL1'ks arvestatakse lühise arvutamisel olemasolevat liini alajaamast inverterisse, ning suurema lühivoolu saamiseks hinnatakse tema suuruseks AXPK 4G120 kaablit [12], ning pikkuseks 10 meetrit. Kaabli aktiivtakistuse suurus on kirjas kataloogis [12], ning reaktiivtakistus võetakse materjalist [13]. Nulljärgnevustakistuste arvutamiseks kasutatakse R. Teemetsa loengumaterjali [11].

$$R_1 = 0,253 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 10 \text{ m} = 2,53 \text{ m}\Omega \quad (4.13)$$

$$X_1 = 0,08 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 10 \text{ m} = 0,8 \text{ m}\Omega \quad (4.14)$$

$$R_0 = 4 * R_1 = 10,12 \text{ m}\Omega \quad (4.15)$$

$$X_0 = 3,66 * X_1 = 2,93 \text{ m}\Omega \quad (4.16)$$

3.1.5 Kontaktid K2

Kontaktid K2 on skeemis PCE jõupistiku ja jõupesa paar, mis ühendavad paigaldise 4G120 kaabli mõõteplatvormi 5G35 kummikaabliga. Kontaktide takistusest hinnatakse loengumaterjali [11] alusel.

$$R_1 = R_0 = \frac{80}{I_n} = \frac{80}{100} = 0,8 \text{ m}\Omega \quad (4.17)$$

$$X_1 = X_0 = 0 \text{ m}\Omega \quad (4.18)$$

Kaabelliin KL2

Kaabelliin KL2 ühendab mõõdetava paigaldise välikatsetusplatvormiga, kasutatavaks kaabliks on H07RN-F 5g35. Kaabelliini pikkuseks on 2,5 m ning aktiivtakistus võetakse andmelehel [14]. Reaktiivtakistus võetakse Schneideri materjalist [15]. Nulljärgnevustakistuste arvutamiseks kasutatakse loengumaterjali [11]

$$R_1 = 0,554 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 2,5 \text{ m} = 1,39 \text{ m}\Omega \quad (4.19)$$

$$X_1 = 0,08 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 2,5 \text{ m} = 0,2 \text{ m}\Omega \quad (4.20)$$

$$R_0 = 4 * R_1 = 5,56 \text{ m}\Omega \quad (4.21)$$

$$X_0 = 4 * X_1 = 0,8 \text{ m}\Omega \quad (4.22)$$

3.1.6 Kontaktid K3

K3 kontaktideks loetakse lühisvoolu hinnangus FF sulavkaitsmed. Kontaktide takistusest hinnatakse loengumaterjali[x] alusel.

$$R_1 = R_0 = \frac{80}{I_n} = \frac{80}{100} = 0,8 \text{ m}\Omega \quad (4.23)$$

$$X_1 = X_0 = 0 \text{ m}\Omega \quad (4.24)$$

3.1.7 Maksimaalne kolmefaasiline lühisvool

Lühise ahela resulteeruv takistus = Trafo + alajaama latid + kontaktid K1 + kaabelliin KL1 + kontaktid K2 + kaabelliin KL2 + kontaktid K3:

$$R_{1\Sigma} = 0,57 + 0,11 + 0,8 + 2,53 + 0,8 + 1,39 + 0,8 = 7 \text{ m}\Omega$$

$$X_{1\Sigma} = 4,77 + 0,6 + 0,8 + 0,2 = 6,4 \text{ m}\Omega$$

Maksimaalne ekvivalentne elektromotoorjõud [13]

$$E_{ekv} = c_{max} * \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 1,1 * \frac{400}{\sqrt{3}} = 253V \quad (4.25)$$

kus E_{ekv} – ekvivalentne elektromotoorjõud lühisel, V,
 c_{max} – pingetegur maksimaalse lühise arvutamisel.

Kolmefaasiline maksimaalne lühisvool:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_{ekv}}{\sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}} = \frac{253}{\sqrt{7^2 + 6,4^2}} = 26,7 \text{ kA} \quad (4.26)$$

kus I_k – lühisvool, kA.

Maksimaalne löökvool koos löökvooluteguri κ arvutusega:

$$\kappa = 1 + e^{-3,14 * \frac{R_{1\Sigma}}{X_{1\Sigma}}} = 1 + e^{-3,14 * \frac{7}{6,37}} = 1 + e^{-3,45} = 1,03 \quad (4.27)$$

kus κ – löökvoolutegur.

$$i_m = \kappa * \sqrt{2} * I_k^{(3)} = 1,03 * \sqrt{2} * 26,7 = 38,9 \text{ kA} \quad (4.28)$$

kus i_m – maksimaalne löökvool, kA.

3.1.8 Minimaalne ühefaasiline lühisvool

Lühise ahela resulteeruv takistus = Trafo + alajaama latid + kontaktid K1 + kaabelliin KL1 + kontaktid K2 + kaabelliin KL2 + kontaktid K3:

$$R_{1\Sigma} = 0,57 + 0,11 + 0,8 + 2,53 + 0,8 + 1,39 + 0,8 = 7 \text{ m}\Omega$$

$$X_{1\Sigma} = 4,77 + 0,6 + 0,8 + 0,2 = 6,4 \text{ m}\Omega$$

$$R_{0\Sigma} = 0,57 + 0,44 + 0,8 + 10,12 + 0,8 + 5,56 + 0,8 = 19,1 \text{ m}\Omega$$

$$X_{0\Sigma} = 4,53 + 2,2 + 2,93 + 0,8 = 10,5 \text{ m}\Omega$$

Minimaalne ekvivalentne elektromotoorjõud:

$$E_{ekv} = c_{min} * \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 0,95 * \frac{400}{\sqrt{3}} = 219 \text{ V} \quad (4.29)$$

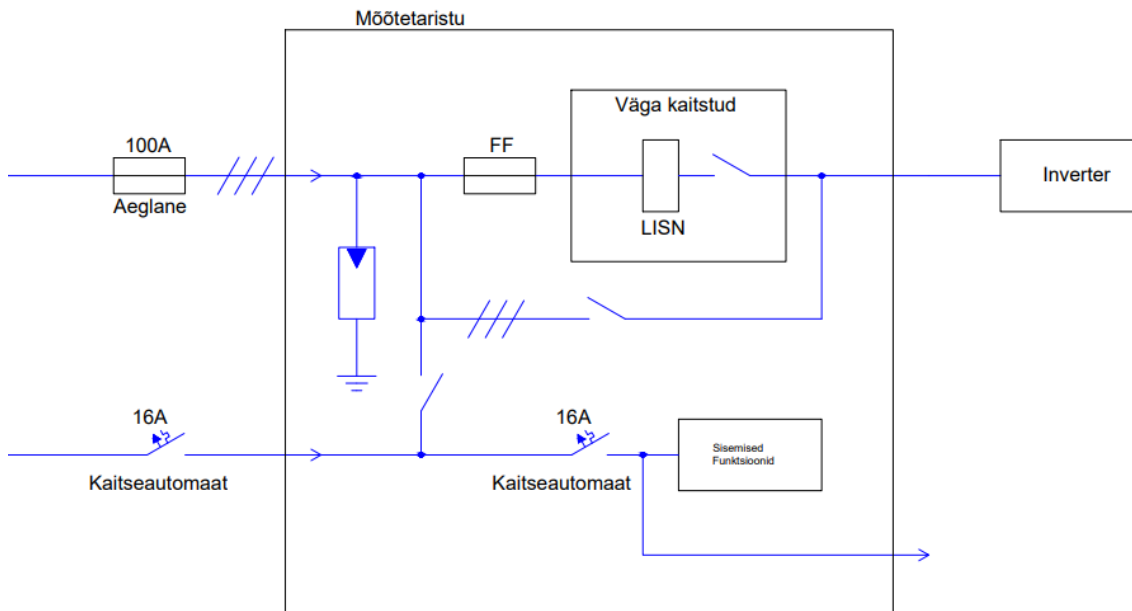
kus c_{min} – pingetegur minimaalse lühisvoolu arvutamisel.

Minimaalne ühefaasiline lühisvool:

$$I_k^{(1)} = \frac{3 * E_{ekv}}{\sqrt{(2 * R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 * X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} = \frac{3 * 219,4}{\sqrt{(2 * 7 + 19,1)^2 + (2 * 6,37 + 10,5)^2}} = 16,27 \text{ kA} \quad (4.30)$$

3.2 KAITSESEADMETE VALIK

Mõõtetaristut on vaja kaitsta nii liigvoolude kui ka liigpingete eest, millised võivad esineda paigaldise talitlusel ja mõõtetegevuste läbiviimise ajal. Üldine kaitselülituste kontseptsioon on esitatud alloleval joonisel (vt Joonis 3.1).



Joonis 3.1. Kaitse ja lülitusseadmed mõõtetaristus.

Erinevate kaitsmete (gG, FF) valikuga on võimalik saavutada nõutud reageerimiskiirused lühisvoolu lahutamiseks. Siin on kõige tundlikum kaitstav seade mõõte-tehisevõrk, mille kaitsmiseks kavandatakse eriti kiirete kaitsmete rakendamine (FF tunnusjoonega).

Kaitsmete valiku aluseks on lahutusvool vähemalt 40 kA, mis selgus suurima oodatava lühisvoolu arvutustest. Kindluse tagab täiendava varuteguri arvestamine ulatuses umbes 50%. Varuteguri vajalikkus tuleneb lühisvoolude arvutuse märkimisväärsest määramatusest. Seega on oodatava lahutusvoolu tase vähemalt 60 kA.

4 MÕÕTETARISTU SPETSIFIKATSIOON

Allolev peatükk sõnastab mõõteplatvormi seadmete valiku jaoks vajalikud tingimused ja parameetrid, millele tuginevalt valitakse komponendid tugevvoolahelatesse. Silmas on peetud talitlushelaid, mis ühendatakse olemasolevasse paigaldisse. Eeldatakse, et paigaldises rakendatud nimi-talituspinge on 400 V. Muud toitequaliteedi suurused vastavad eeldatavalt EVS-EN 50160:2023 tingimustele.

4.1 MÕÕDETAVALD PINGETASEMED JA VOOLUD

Paigaldises rakendatud pingetase võib normdokumendi EVS-EN 50160:2023 alusel ulatuda vahemikku -10%. ... +10%. Täiendava talitusvaru hinnang on 10%.

- Kõrgeim püsiv talituspingetase on 440 V.

Talitusvoolu dimensiooniks on 100A vahelduvvoolu tugevus. Arvestuslik juhtide varu on 20%.

- Tugevaim püsiv talitusvool 120 A.

4.2 VAJALIKUD SEADMED MÕÕTETARISTUS

Mõõtetaristus on vaja paigutada Tabel 4.1 märgitud seadmed, et teostada mõõtmised ning tagada mõõtetaristu nõuetekohane talitus- ja kaitsefunktsioonide toimivus.

Tabel 4.1 Mõõtetaristu seadmete loetelu

Seade	Seadme eesmärk mõõtetaristus
Vahelduvvoolu tehivõrk	Kõrgsagedushäiringute mõõtmine
FF sularid	Jõuahela kaitse lühise puhul
1F 16A kaitselüliti	Abivahendite ja mõõteseadmete toite kaitse lühise puhul
Liigpingepiirid	Jõuahela kaitsmine pinge impulsside vastu
+24V toitemuundur	Alalistoite muundur abiseadmete ning alalistoitega juhtimiskäskude jaoks

4.3 SEADMETE VALIK

4.3.1 Kontaktorid

Kontaktorite ülesanne mõõtetaristus on vahelduvvoolu tehisevõrgu kaitse, nimelt lülitatakse mõõtmise teostamise ajaks jõuahel ümber ahelasse mis sisaldab vahelduvvoolu tehisevõrku, muul ajal ei ole VVTV jõuahelasse ühendatud. Kontaktorite kaheks kõige olulisemaks valikukriteeriumiks on piisav lahutusvõime paigaldiste jõuahelate jaoks, ning kiire kontaktide avamise ja sulgemise aeg. Kolm potentsiaalset kontaktorit mõõtetaristus kasutamiseks on toodud allolevas tabelis (vt Tabel 4.2)

Tabel 4.2. Valikus olevate kontaktorite parameetrid

	SCHNEIDER ELECTRIC LC1D115U7	ABB AF116-30-11-13	SIEMENS 3RT1054-1AP30
Jõuahela kontaktid	3x normaalselt avatud	3x normaalselt avatud	3x normaalselt avatud
Maksimaalne töövool takistusliku koormuse puhul 40 °C juures	200 A	160 A	160 A
Jõuahela nimipinge	1000 V	690 V	1000 V
Pingeimpulsi taluvus	8 kV	8 kV	8 kV
Juhtimismähise tööpinge	240 V 50 Hz	100-250 V 50 Hz	220-240 V 50 Hz
Kontaktide sulgemiseks vajatav võimsus	280-350 VA	130 VA	300 VA
Kontaktide hoidmiseks vajatav võimsus	2-18 VA	6 VA	5,8 VA
Kontaktide sulgemise aeg	20-50 ms	25-55 ms	20-95 ms
Kontaktide avamise aeg	6-20 ms	37-47 ms	40-60 ms
Suurim lahutusvool	1100 A 440 V	2000 A 440 V	■
Hind	363,00 €	593,00 €	649,00 €

4.3.2 Liigpingepiirikud

Vahelduvvoolu tehisevõrgu hapra ehituse ja seadme kalliduse tõttu on liigpingepiirikute kõige olulisemaks valikukriteeriumiks võimalikult madal pingekaitsetase, mis tagab pinge impulsside kiire maasse juhtimise ning seadme kaitse. Kolm potentsiaalset sobilikku seadet on välja toodud allolevas tabelis (vt Tabel 4.2).

Tabel 4.3. Liigpingepiirikute parameetrid.

	OBO Bettermann V10-C 3+NPE	SCHNEIDER ELECTRIC iPRD20	Eaton SPBT12-280/4
Maksimaalne pidev tööpinge	280 V L-PE 255 V N-PE	350 V L-PE 260 V N-PE	280 V
Pingekaitsetase	≤ 1,1 kV	≤ 1,1 kV	≤ 1,5 kV
Maksimaalne impulssvool	20 kA	20 kA	12.5 kA

4.3.3 Sulavkaitsmed

Sulavkaitsmed peavad olema võimelised töötama 100 A koormusvooluga, ning reageerima võimalikult kiiresti lühise puhul. 100 A koormusvoolu jaoks on sobivaimad 22 x 58 mm sulavkaitsmed, mis tagavad vähemalt 60 kA lühisvoolu kiire lahutamise. Kolm erinevat sobilikku kaitset ning nende parameetrid on välja toodud allolevas tabelis vt Tabel 4.4).

Tabel 4.4 Sulavkaitsmete parameetrid

	Mersen Protistor® 22x58 Type gR Fuse	dfelectric 492040 100A 690V gR	IXYS UK F070C100N
Pre-arcing I ² t	2470 A ² s	1500 A ² s	2080 A ² s
Clearing I ² t at rated voltage	14500 A ² s	8100 A ² s	11950 A ² s
Hajuvõimsus nimivoolu juures	16 W	18 W	17 W
Suurim lahutusvool	160 kA	200 kA	100 kA

4.3.4 Sulavkaitsete alused

Sulavkaitsmed peavad olema võimelised töötama püsivalt 100 A koormusvooluga ja olemas sobilikud eespool valitud sulavkaitsmete ühendamiseks. Võimalikud sobilikud sulavkaitsmete alused on esitatud

Tabel 4.5. Võimalikud sulavkaitsmete alused

	MERSEN IEC FUSE HOLDER MODULOSTAR® CMS 22 (22x58)	dfelectric 22x58 PMX fuse holder	Schneider Electric TeSys DF, 3P 125A
Hajuvõimsus nimivoolu juures	9,5 W	9,5 W	
Nimipinge	690 V	690 V	690 V
Nimiimpulsitaluvuspinge	8 kV	6 kV	8 kV

4.4 Platvormi tugevvooluahelate kirjeldus

Platvormi tugevvooluahelate skeem on esitatud käesoleva lõputöö lisan 1.

Elektriskeemi on esitatud täiendavalt juhised maandusahelate ühendamiseks, millised hõlmavad nii talitus-, kaitse- kui ka mõõteaehete seisukohast olulisi maandusühendusi. Tuleb rõhutada, et antud skeem hõlmab põhiahelaid, kuid oma osa on ka juhtahelate, millised on vastutavad näiteks kontaktoriga šunteeriva ahela lülitamise eest. Juhtahelad ei ole antud töö kontekstis kirjeldatud, kuid on vajalikud platvormi täielikuks tööks.

Siin peatükis 4 esitatud komponentide osas tehakse lõplik valik peale platvormi koostamist. Esitatud komponentidel on erinevad mõõtmed ja näiteks juhtmete klemmide paigutus, samuti juhtmete komponenti sisenemise geomeetria. Lõplik valik tehakse monteerimistöde alustamisel, millega on võimalik selgitada parimad viisid aehete üles ehitamiseks.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö esitab mõõteplatvormi konseptsiooni, mis on mõeldud paigaldise asukohas läbi viidavate kõrgsagedushäiringute mõõtmiseks. Korratavate ja kvaliteetsete mõõtmiste sooritamiseks, mis vastavad ka normdokumentides toodud soovitudele, läbiviimiseks on siin ette nähtud mõõte-tehisvõrgu rakendamine. Mõõte-tehisvõrk on ise tundlik mõõtesead, mis on mõeldud eeskätt laboratorsetes tingimustes katsete läbiviimiseks. Lõputöös esitatud platvorm on ette nähtud tehisvõrgu töötingimuste tagamiseks koha peal mõõtmiseks, pakkudes täiendavat kaitse- ja tugistruktuuri.

Kaitstesüsteemide dimensioneerimiseks on leitud sihtkohas oodatava lühisevoolu suurus. Arendatav platvorm peaks olema vastupidav vähemalt u. 40 kA suurusele lühisevoolule ja tagama kaitsefunktsioonide rakendumise, sealhulgas lühisevoolu katkestamise. Kaitsmeteks on valitud ülikiired sulavkaitsmed, mis tagavad lahutusvõime vähemalt 100 kA, ületades nõuded märgatavalt. Esitatud on kaitsmete aluste valiku võimalused, samuti liigpingepiirikute erinevad valikud. Katseseadmele pakub täiendava kaitse šunteeriv ahel, kus kasutatakse kontakteid talitusvoolu mõõte-tehisvõrgust mööda juhtimiseks olukorras, kus mõõtmisi ei teostata.

Antud platvormi välja ehitamisel on võimalik teostada kvaliteetseid mõõtmisi, kuid enne paigaldistes mõõtmiste teostamist on vaja veenduda kaitseahelate toimimises.

5 Kasutatud kirjandus

- [1] IEC TR 61000-2-5:2017. Elektromagnetiline ühilduvus. Osa 2-5: Keskkond. Elektromagnetiliste keskkondade kirjeldus ja liigitus., Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2017.
- [2] EVS-EN IEC 55016-1-1:2019. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Measuring apparatus, Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2019.
- [3] EVS-EN 55016-1-2:2014. Raadiohäiringute ja häiringutaluvuse mõõteseadmed ja -meetodid. Osa 1-2: Raadiohäiringute ja häiringutaluvuse mõõteseadmed. Juhtivuslikult levivate häiringute mõõtmise sidestuseadmed., Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2014.
- [4] Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2014/30/EL, elektromagnetilist ühilduvust käsitlevate liikmesriikide õigusaktide ühtlustamise kohta (uuesti sõnastatud) 26.02.2014., Euroopa Liidu Teataja, 2014.
- [5] Elektriseadmele esitatavad ohutuse nõuded ning elektriseadmele ja elektripaigaldisele esitatavad elektromagnetilisele ühilduvuse nõuded ja vastavushindamise kord., Majandus- ja taristuministri määrus nr 91, 22.02.2019, RT I, 19.02.2019, 6.
- [6] Seadme ohutuse seadus (lühend - SeOS), 10.05.2024, RT I, 30.04.2024, 11.
- [7] Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele., Majandus- ja taristuministri määrus nr 86, 08.01.2024, RT I, 05.01.2024, 9.
- [8] EVS-EN 55011:2016+A1+A11+A2:2021. Tööstus-, teadus- ja meditsiiniseadmed. Raadiosageduslike häiringute tunnussuurused. Piirväärtused ja mõõtemetodid., Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2021.
- [9] EVS-EN 55016-2-1:2014. Raadiohäiringute ja häiringutaluvuse mõõteseadmed ja -meetodid. Osa 2-1: Häiringute ja häiringutaluvuse mõõtemetodid. Juhtivuslikult levivate häiringute mõõtmine, Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2014.
- [10] Teknisiä tietoja ja talukoita, 8th ed., Vaasa, Finland: ABB Strömberg, 1993.
- [11] R. Teemets, Teemets. Lühisvoolude arvutus madalpingepaigaldistes. Loengumaterjal. (Kevad 2020, AAV3340)., Tallinna Tehnikaülikool, 2020.
- [12] „Prysmian Cables „AXPK“,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://datasheet.prysmian.com/pdf/datasheet/et-EE/309012/EE00_AXPK. [Kasutatud 12 05 2024].
- [13] Ü. Treufeldt, Lühised. Loengumaterjalid (Sügis 2022, AEK0240), Tallinna Tehnikaülikool, 2022.
- [14] „Faber Cables „H07RN-F 5G35“,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://shop.faberkabel.de/en/Flexible-wires/Rubber-insulated-cables/Rubber-cable-H07RN-F/050160.html>. [Kasutatud 12 05 2024].
- [15] F. D. G. T. B. De Metz-Noblat, „Cahier technique no. 158, „Calculation of short-circuit currents“,“ 2000. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressource/s/techniques/3357/3357-ect158.pdf>. [Kasutatud 12 05 2024].
- [16] L. S. Sterling, The Art of Agent-Oriented Modeling, London: The MIT Press, 2009.

- [17] EVS-HD 60364-5-54:2011+A11+A1:2022. Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-54: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Maandamine ja kaitsejuhid., Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2022.
- [18] EVS-EN 55016-1-2:2014/A1:2018. Raadiohäiringute ja häiringutaluvuse mõõteseadmed ja -meetodid. Osa 1-2: Raadiohäiringute ja häiringutaluvuse mõõteseadmed. Juhtivuslikult levivate häiringute mõõtmise sidestusseadmed, Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2018.
- [19] EVS-EN 55016-2-1:2014/A1:2017. Raadiohäiringute ja häiringutaluvuse mõõteseadmed ja -meetodid. Osa 2-1: Häiringute ja häiringutaluvuse mõõtemetodid. Juhtivuslikult levivate häiringute mõõtmine, Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2017.
- [20] EVS-EN 55016-2-1:2014/AC:2020. Raadiohäiringute ja häiringutaluvuse mõõteseadmed ja -meetodid. Osa 2-1: Häiringute ja häiringutaluvuse mõõtemetodid. Juhtivuslikult levivate häiringute mõõtmine., Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2020.

Lisa 1. Jõuahela elektriskeem

