



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**SAGEDUSMUUNDURIL PÕHINEV ERITOITEALLIKAS
SEADMETE TESTIMISEKS ÜLE- JA ALAPINGE
OLUKORRAS SAGEDUSEL 60 HZ**

**SPECIALIZED POWER SUPPLY BASED ON VFD FOR TESTING EQUIPMENT IN
OVER AND UNDERVOLTAGE SITUATION AT 60HZ**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Silver Kuld
Üliõpilaskood: 134817
Juhendaja: Ahti põlder

Tallinn, 2017.a.

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.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ mehhatroonikainstituut
Mehhatroonikasüsteemide õppetool
BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE
2016. aasta sügissemester

Üliõpilane: Silver Kuld 134817
Õppekava: MAHB02
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: nooremteadur, Ahti Põlder
Konsultandid:

LÕPUTÖÖ TEEMA:

Sagedusmuunduril põhinev eritoiteallikas seadmete testimiseks üle- ja alapinge olukorras sagedusel 60 Hz

Specialized power supply based on VFD for testing equipment in over and under voltage situation at 60Hz

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Seadme tehniliste parameetrite määratlemine.	29.10.2016
2.	Seadme komponentide valik sh sagedusmuundur, trafo ja mõõteriistad ning põhimõttelise elektriskeemi koostamine.	05.11.2016
3.	Elektroonika osa koostamine ning esialgse prototüübi valmistamine.	26.11.2016
4.	Muunduri funktsioonide, tühijooksu- ning koormuskatse ja pinge kvaliteedi testimine. Juhtimissüsteemi valmistamine ning seadme korpusele ratastega alusraami projekteerimine	18.12.2016
5.	Töö lõplik vormistamine, köitmine ja esitamine	10.01.2017

Lahendatavad inseneritehnilised ja majanduslikud probleemid: Koostada eritoitemuunduri jõu- ja juhtimissüsteemi ning konstruktiivse lahenduse projekt. Muunduri toide: 3 x 400 VAC 50 Hz, ümberlülitatavad väljundpinged: 1 x 208/230/240 VAC, pinge reguleerimisulatus $\pm 15\%$, 60 Hz, nimivõimsus 6 kW. Koostada, seadistada ja programmeerida muunduri prototüüp. Teostada elektrilise osa katsed.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: eesti

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt 09.01.2017

Töö esitamise tähtaeg: 10.01.2017

Üliõpilane Silver Kuld

/allkiri/.....

kuupäev.....

Juhendaja Ahti Põlder

/allkiri/.....

kuupäev.....

SISUKORD

SISUKORD.....	4
EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS.....	7
1.Katseseadme põhimõtteline skeem.....	8
2. Katseseadme komponentide valimine ja ühendamine.....	10
2.1 Mootor-generaator.....	10
2.2 Sagedusmuundur.....	11
2.2.1 Sagedusmuunduri valimine.....	11
2.3 Siinusfilter.....	12
2.4 Trafo.....	14
2.5 Mõõteseade.....	15
2.6 Kontroller.....	16
2.7 Katseseadme elektriskeem.....	17
3. katseseadme juhtimine.....	19
3.1 Katseseadme käsitsijuhtimine.....	19
3.1.1 Sagedusmuunduri parameetrite seadistamine käsijuhtimiseks.....	20
3.1.2 Käsitsi juhtimisel ilmnenu d puudused.....	21
3.2 Automaatjuhtimine.....	22
3.2.1 Automaatjuhtimise seadmed.....	23
3.2.2 Pinge korrigeerimine.....	23
3.2.3 Seadme juhtpaneel automaatjuhtimisel.....	24
3.2.4 Sagedusmuunduri seadistamine automaatjuhtimiseks.....	25
3.3 Kontrolleri programmi seletus.....	25
4. Mehaaniline osa.....	27
4.1 Elektrikilp.....	27
4.2 Seadmete paigutus.....	27
4.3 Ratastega alusraam.....	29
5. Katseseadme ohutus.....	32
6. Katsesendi maksumus.....	33
7. Seadme edasiarendamine.....	34
Kokkuvõte.....	35
Summary.....	36

Kasutatud kirjandus.....	37
LISA 1 Sagedusmuunduri andmeleht	39
LISA 2 Siinusfiltri andmeleht	40
LISA 3 Elektriskeem	41
LISA 4 Juhtimiskeem käsijuhtimisele	42
LISA 5 Juhtimiskeem automaatjuhtimisele	43
LISA 6 Sagedusmuunduri parameetrid käsijuhtimisel	44
LISA 7 Sagedusmuunduri parameetrid automaatjuhtimisel.....	45
LISA 8 Kilbi esikülje joonis	46
LISA 9 Katseseadme väljundi mõõtetulemused	47

EESSÖNA

Töö teema arenes välja AS Cleveroni vajadusest testida seadmeid üle- ja alapinge olukorras sagedusel 60 Hz. Seetõttu tekkis vajadus katseseadme järgi, mis suudaks muundada Eesti võrgupinget ja -sagedust testimiseks vajalikele suurustele. Töö teema pakkus huvi, kuna on ka võimalus seade reaalselt valmis ehitada. Katseseade leiab ka praktilist kasutust seadmete testimisel. Antud bakalaureusetöö on valminud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nooremteaduri Ahti Põlder juhendamisel.

SISSEJUHATUS

Selle bakalaureusetöö ülesandeks on projekteerida katseseade, mille abil oleks võimalik testida seadmeid üle- ja alapinge olukorras sagedusel 60 Hz. Elektrivõrgu pinget ei ole alati täpselt ettenähtud väärtusega ning võib olla nii suurem kui ka väiksem elektrivõrgu nimipingest efektiivväärtusest. Ülepinge võib tekitada seadmetes ülekuumenemist ning alapinge võib tekitada tõrkeid seadme normaalses töös. Seetõttu on vaja toodetavaid seadmeid testida äärmuslikes tingimustes.

Euroopa riikides on võrgusageduseks 50 Hz, kuid mitmetes riikides näiteks USA-s on kasutusel sagedus 60 Hz. Seetõttu on vajalik seadmete testimine ka 60 Hz sageduse juures. Selleks, et Eestis oleks võimalik 60 Hz sagedusel viia läbi katseid on vaja luua eraldi katseseade. Loodav katseseade võimaldab muuta nii väljundi sagedust kui ka pinget.

Esmalt tuleb määratleda katseseadmele esitatavad tehnilised nõuded. Seejärel saab paika panna katseseadme põhimõttelise skeemi ning tööpõhimõtte. Vastavalt sellele on võimalik määratleda katseseadmele põhikomponendid.

Komponentide valik algab sobiva sagedusmuunduri valikust, mis valitakse vastavalt katseseadme väljundi nõutud voolutugevusele. Teiseks tuleb valida vastavalt sagedusmuundurile siinusfilter ning eraldustrafo, mille abil toimub katseseadme väljundi lahti sidestamine. Kolmandaks seadmete valikus on mõõteseadet, mille abil toimub katseseadme väljundi pinget ning sageduse mõõtmine. Veel tuleb valida kontrolleri, mis juhiks sagedusmuundurit ning reguleeriks vajadusel pinget vastavalt testitava seadme koormuse muutusele, et hoida pinget katse vältel muutumatuna.

Edasi tuleb koostada elektriskeemid seadmete omavaheliseks ühendamiseks. Veel peab koostama ka juhtskeemi sagedusmuunduri juhtimiseks. Kontrolleri jaoks tuleb koostada programm, et toimiks suhtlus kontrolleri, mõõteseadme ning sagedusmuunduri vahel. Vastavalt mõõteseadmest saadud väljundit iseloomustavatele väärtustele juhib kontrolleri sagedusmuundurit. Sagedusmuunduril tuleb seadistada tööks vajalikud parameetrid ning lisaks ka kontrolleri suhtluseks vajalikud parameetrid.

Katseseadmele tuleb valida kilp, mille sisse paigaldatakse kõik seadme komponendid ning kilbi esipaneelile tulevad katseseadme juhtimiseks vajalikud nupud ning mõõteseadet.

Katseseadme elektriskeemide ja juhtskeemide joonestamiseks kasutatakse tarkvara Cads Planner electric 15. Kontrolleri programmeerimine toimub kasutades ISPSOFT tarkvara ning katseseadme alusraami mudeli loomisel kasutatakse Solidworks tarkvara.

1.KATSESEADME PÕHIMÕTTELINE SKEEM

Loodava seadme eesmärk on Eesti võrgupinge ja -sagedus 3 x 400 VAC 50 Hz muundada pingeteks 1 x 208/230/240 VAC sagedusel 60 Hz, mis on vajalikud testimaks seadmeid USA võrgupingetel ja sagedusel. Tabelis 1.1 on kirjeldatud katseseadmele esitatud nõudmised.

Tabel 1.1 Katseseadmele esitatavad nõuded

Sisendpinge	3 x 400 VAC 50 Hz
Lülitatavad väljundpinged	1 x 208/230/240 VAC
Väljund sagedused	50/60 Hz
Väljund voolutugevus	21 A
Maksimaalne väljundpinge	300 V

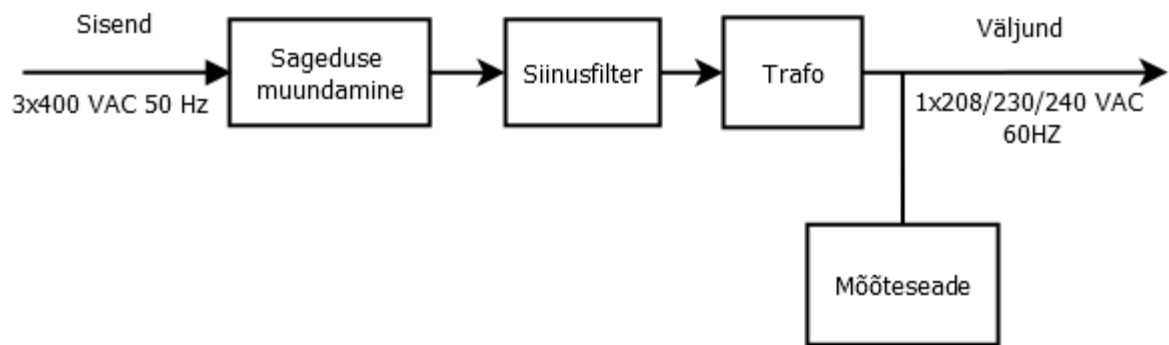
Lisanõuded katseseadmele:

- Väljundpinge peab olema jälgitav juhtpaneelilt
- Katseseade peab olema lihtsalt teisaldatav teise asukohta
- Seade ei tohi liigutamisel jätta põrandale jälgi

Loodav katseseade koosneb neljast põhilisest plokist (Sele 1.1). Tähtsaimaks komponendiks on seade, mis muundaks sageduse 50 Hz vajalikuks testsageduseks, milleks on 60 Hz ning võimaldaks muuta ka väljund pinget vastavalt vajadusele. Sageduse muundamiseks on võimalik kasutada mootor-generaatorit [1]. Kaasaegsem lahendus on kasutada mootorite juhtimiseks mõeldud sagedusmuundurit. Teiseks on vaja muundatud pinget muuta võimalikult siinuspinge sarnaseks, et katseseadme väljundis oleks võimalikult häiringutevaba pinget. Vastasel juhul on keeruline hinnata katsetatava seadme tekitatavaid häiringuid.

Kolmandaks toimub trafo abil katseseadme galvaaniline lahtisidestamine väljundist.

Neljandaks on vaja mõõta katseseadme väljundi parameetreid pinget, voolutugevust ja sagedust ning hinnata nende kvaliteeti. Selleks on tarvis mõõteseadet, mis suudaks mõõta pinget, voolu ja ning võimalusel ka salvestada andmeid pinget ja voolu muutuste kohta.



Sele 1.1 Katseseadme põhimõtteline skeem

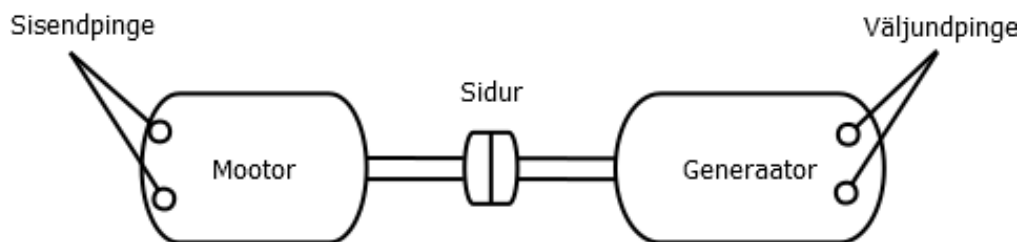
2. KATSESEADME KOMPONENTIDE VALIMINE JA ÜHENDAMINE

2.1 Mootor-generaator

Sageduse ja pingete muundamiseks võib kasutada mootor-generaatorit, kus on omavahel mehaaniliselt ühendatud ühise võlli külge elektrimootor ja elektrigeneraator. Mootorile antakse sisendpinge, mis paneb pöörlema mootori võlli. Kuna mootori ja generaatori võllid on omavahel läbi siduri ühendatud hakkab omakorda pöörlema ka generaatori võll. Tänu mehaanilise energia muundamisele elektrienergiaks saadakse generaatorist väljundpinge.

Mootor-generaatori tüüpskeem on välja toodud seel 2.1. Muutes mootori ja generaatori tüüpe ning parameetreid võib antud seadet kasutada erinevate parameetritega elektrienergia muundamiseks:

- Vahelduvvoolu alalisvooluks muundamine
- Alalisvoolu vahelduvvooluks muundamine
- Pinge muundamiseks
- Sageduse muundamiseks
- Ühefaasilise vahelduvvoolu muundamiseks kolmeefaasiliseks



Sele 2.1 Mootor-generaatori tüüpskeem

Loodava seadme rakenduses on vajalik vahelduvvoolu pinge ja sageduse muundamine.

Mootor-generaatori eelised:

- Väljundisse saadakse ideaalne sinusoidne pinge
- Sisend ja väljund on elektriliselt eraldatud
- Seade on lihtsa ehitusega
- Seadme hooldamine on lihtne

Mootor-generaatori puudused:

- Väljundi parameetrid ei ole sujuvalt muudetavad
- Lühike eluiga liikuvate osade tõttu

- Suured mõõtmed ja kaal
- Suured energiakaod mehaanilise vahelüli tõttu

Mootor-generaatori mitmete puuduste ja tehnoloogia arengu tõttu on tänapäeval neid asendamas pooljuhttehnoloogial põhinevad seadmed nagu sagedusmuundur. [2]

2.2 Sagedusmuundur

Sagedusmuundur (*frequency converter*) on tänapäeval kasutatavates elektriaparaatides põhi-komponendiks kiiruse reguleerimiseks. Traditsiooniliselt oli sagedusmuundur ette nähtud mootori toitepinge ja sageduse sujuvaks reguleerimiseks. Tänapäeval kujutab sagedusmuundur terviklikku ajamiplokki, mis sisaldab toitemuundurit, andureid, juhtseadet ning võimaldab juhtida elektrimootorit ja tema poolt käitavat töömasinat. [3]

Sagedusmuundur toimub pinge muundamine kahes etapis. Esimeseks etapiks on kuue diodiga alaldi, kus elektrivõrgust saadav kolmefaasiline vahelduvvool muudetakse alalisvooluks. Tulemuseks on kõikuva pingega alalisvool, mille silumiseks on kasutusel kondensaator. Teiseks etapiks on kuue transistori ja diodiga muundur. Saadud alalisvool muudetakse tagasi sobivate parameetritega vahelduvvooluks. Transistoridega on võimalik juhtida nii väljundi pinget kui ka sageduse väärtusi. Pinge muundamine toimub pulsilaiusmodulatsiooni põhimõttel. [4]

Tavakasutusel juhitakse vahelduvvoolu sagedust ning pinget määratakse ära sõltuvana sagedusest. Loodava katseseadme rakenduses on vaja sagedusmuunduri abil muuta nii pinget kui ka sagedust.

2.2.1 Sagedusmuunduri valimine

Kõige olulisemad parameetrid sagedusmuunduri valiku puhul on väljund pinget ja voolutugevus. Loodava seadmega peab olema võimalik katsetada seadmeid pingetel kuni 300 V. Katsetatav seade tarbib voolu maksimaalselt 21 A, kuid sagedusmuundur tuleb valida varuga, et sagedusmuunduri väljund vool oleks kindlasti suurem seadme tarbitavast voolust. Lisaks tekivad kaod siinusfiltris ning transformaatoris. Seetõttu võiks sagedusmuunduri väljundvool olla vähemalt 35 A. See võimaldab ilma sagedusmuundurit välja vahetamata katseseadet edasi arendada, et tulevikus oleks võimalik testida ka suurema voolutarbega seadmeid. Tabelis 2.1 on välja toodud kolme sagedusmuunduri andmete võrdlus.

Tabel 2.1 Sagedusmuundurite võrdlus

Tootja	Mitsubishi Electric	Siemens	Delta
Mudel	FR-F840-00380 [5]	6SL3210-1KE23-8UB1 [6]	VFD220CP43A-21 [7]
Toitepinge	3 x 380-500 V AC 50/60 Hz	3 x 380-480 V AC 50/60 Hz	3 x 380-480 V AC 50/60 Hz
Väljundsagedus	0 - 590 Hz	0 – 650 Hz	0 – 600 Hz
Väljundpinge	460 V	460 V	460 V
Väljundvool	38 A	37 A	38 A
Võimsus	18.5 kW	18.5 kW	18.5 kW
Hind	1,498 EUR	2,127 EUR	960 EUR
Allikas	www.999mitsubishi.com	Elfa Distrelec	Energiatehnika

Kõigil valikus olnud sagedusmuunduritel on olulised parameetrid praktiliselt identsed. Kõigil sagedusmuunduritel on piisav väljundpinge ja võimsus ning sagedusvahemik on piisavalt lai loodava seadme rakenduse jaoks. Seega kõik võrreldavad sagedusmuundurid sobiksid katseadmes kasutamiseks. Valituks osutus sagedusmuundur Delta VFD220CP43A-21. Määravaks sai eelkõige väiksem hind võrreldes teiste valikutega.

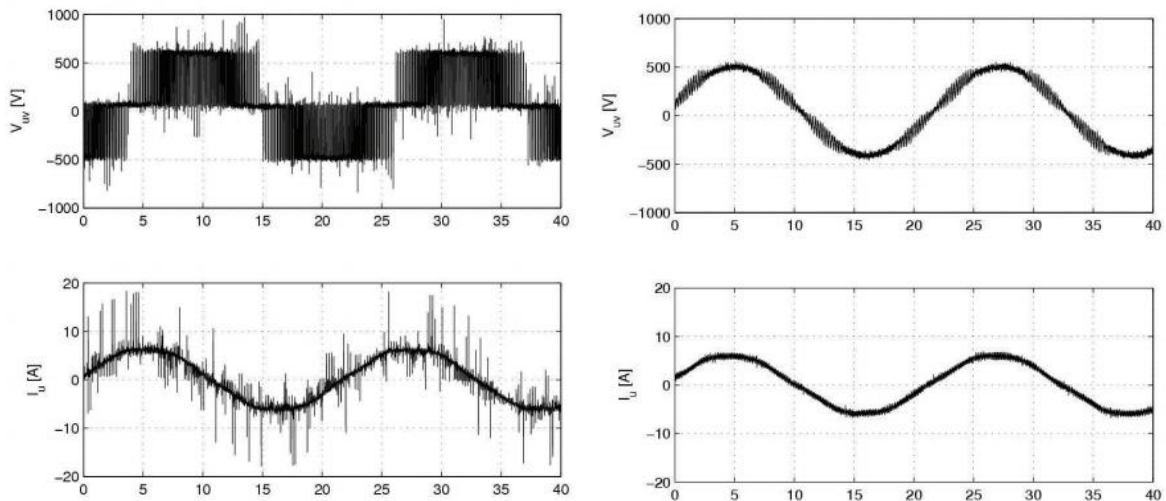
Seadmele valitud sagedusmuundur on Delta CP2000 seeriast [8], mis on mõeldud kasutamiseks pumpadele, ventilaatoritele. Selles seerias on sagedusmuundureid mootoritele võimsusega 0,75-400kW. Valitud sagedusmuunduri mudel Delta VFD220CP43A-21 on mõeldud kasutamiseks mootoritele võimsusega kuni 18,5 kW. Sagedusmuunduri maksimaalne väljund voolutugevus on 38 A ning pinge kuni 460 V. [9]

Antud sagedusmuundurit on võimalik juhtida läbi RS-485 liidese kasutades MODBUS protokoll. Lisaks on sagedusmuunduril eemaldatav LCD ekraaniga juhtpaneel. See võimaldab sagedusmuunduri juhtpaneeli paigaldada katseseadme esipaneelile.

2.3 Siinusfilter

Sagedusmuunduri väljundi pinge ei ole ühtlane siinuslaine vaid koosneb väikestest muutuva pikkusega nelinurk pingest löikudest kuna sagedusmuunduris toimub pinge ja sageduse muundamine väljundisse pulsilaiusmodulatsiooni abil. Elektrimootorite jaoks ei ole selline astmeline pingeline probleem. Seadmete katsetamiseks oleks aga vaja võimalikult puhast ja sujuvat siinuslainet mistõttu on vaja sagedusmuundurist tulevat pinget enne katseseadme väljundisse jõudmist siluda. Pinget aitab

siinuslainele võimalikult lähedaseks muuta siinusfilter, mida tavaliselt kasutatakse koos sagedusmuunduriga, et kaitsta mootorit suurte pinge piikide eest ning hoida ära ülekuumenemist. Pinge ja voolu graafikute võrdlus on välja toodud seel 2.2 , kus vasakul pool on pinge ja voolu graafikud ilma siinusfiltrita ning paremal pool kasutades siinusfiltrit. Siinusfilter on madalpääsufilter, mis muundab sagedusmuundurist tuleva nelinurkpinge ühtlaseks siinuspingeks ning vähendab pinge harmoonilisi moonutusi. Katseseadmel on mootori asemel trafo, mille puhul siinusfilter aitab lisaks vähendada kadusid ning hoiab trafot ülekuumenemise eest. [10]



Sele 2.2 Pinge ja voolu graafikute võrdlus ilma siinusfiltrita ja siinusfiltriga [11]

Siinusfiltri valimisel on olulised parameetrid sisendpinge, voolutugevus, filtri sagedusvahemik ning lülitussagedus. Katseseadme puhul peaks pinge lubatud pinge olema vähemalt 300 V ning voolutugevus üle 30 A. Kuna testimised toimuvad sagedustel 50 Hz ja 60 Hz, siis filtri sagedusvahemik peab olema sellele vastav. Lülitussagedus on seotud sagedusmuunduri väljundi transistoride lülitussagedusega, mille valitud sagedusmuunduri puhul saab ise määrata vahemikus 2- 10 kHz. Tabelis 2.2 on välja toodud valikus olevate siinusfiltrite parameetrite võrdlus.

Tabel 2.2 Siinusfiltrite andmed

Mudel	Block SFB 400/32 [12]	Schaffner FN 5045-38-33 [13]
Lubatud sisendpinge	3 x 520 V	3 x 500 V
Maksimaalne voolutugevus	32 A	38 A
Väljund võimsus	15 kW	18,5 kW
Sagedusvahemik	0 – 120 Hz	0-200 Hz
Lülitussagedus	3 – 8 kHz	Min 4 kHz
Hind	721 EUR	1125 EUR
Allikas	www.rs-components.com	www.rs-components.com

Valituks osutus kolmefaasiline siinusfilter Block SFB 400/32. Mõlema filtri parameetrid rahuldavad katseseadmele esitatud nõudmisi, seega määravaks valikul sai filtri kättesaadavus ja väiksem hind. Valitud filtri puhul tuleb arvestada sagedusmuunduri parameetrite häälestamisel lubatavat lülitussagedust, mis peab jääma vahemikku 3 – 8 kHz.

2.4 Trafo

Katseseadme väljundi ja sagedusmuunduri eraldamiseks kasutatakse trafot, mis on 1:1 ülekandesuhtega. Kuna seade, mida testima hakatakse on ühefaasiline, siis ei ole vajadust kolmefaasilise trafo järgi. Trafo puhul olulisteks parameetriteks on lubatav pinge ja voolutugevus. Lubatav pinge peaks olema vähemalt 300 V ning lubatud voolutugevus 21 A.

Katseseadmel on kasutusel ühefaasiline trafo Trafotek PU210/73, mille andmed on välja toodud tabelis 2.3. Sobiv trafo oli seadme tellinud firmal eelnevalt olemas, mistõttu on kasutusel just see trafo. Antud trafo pinge ja voolutugevuse lubatud väärtused 400 V ja 25 A on piisavad loodava seadme rakendusse.

Tabel 2.3 Trafo andmed

Tüüp	PU210/73
Võimsus	10 kVA
Pinge	400 V
Voolutugevus	25 A
Sagedus	50/60 Hz

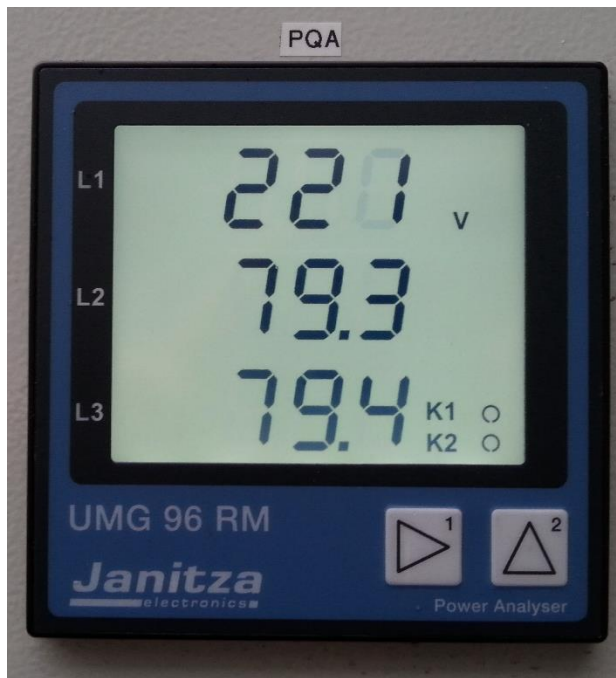
2.5 Mõõteseade

Katseseadmel toimub pinge ja sageduse määramine sagedusmuundurist. Ette antud väärtused võivad aga erineda tegelikest väärtustest sagedusmuunduri väljundis. Seetõttu mõõdab sagedusmuundur oma väljundi tegelikke väärtusi ja teeb vastavalt nendele korrekture. Katseseadmel tekivad lisaks kaod siinusfiltris ja trafos, mistõttu pinge sagedusmuunduri väljundis erineb pingest katseseadme väljundis. Selleks, et täpselt mõõta väljundpinget ja väljundvoolu ning hinnata nende kvaliteeti on vaja lisa mõõteseadet. Tabelis 2.4 on välja toodud kolme sobiva mõõteseadme võrdlus. Seadme puhul on olulised pinge ja voolu mõõtevahemikud ning nende mõõtetäpsus ning mõõdetava pinge sagedusvahemik. Mõõteseade peab võimaldama mõõta pingeid kuni 300 V ning sagedusi 50 ja 60 Hz.

Tabel 2.4 Mõõteseadmete võrdlus

Seade	Janitza UMG 96RM [14]	Siemens PAC3100 [15]	Schneider Powerlogic PM5331 [16]
Pingevahemik	10-300 Vrms	400 V	20- 400 V
Pinge mõõtmistäpsus	0,2 %	1 %	0,5 %
Vooluvahemik	1/ 5 A	1/ 5 A	10 mA- 9 A
Voolu mõõtmistäpsus	0,5 %	1 %	0,5 %
Sagedusvahemik	45-65 Hz	45-65 Hz	45-65 Hz
Suhtluse protokoll	Modbus RTU	Modbus RTU	Modbus RTU/ ASCII
Hind	249 EUR	270 EUR	476 EUR

Seadme valikul sai määravaks hind ning mõõtmistäpsus mistõttu sobivaimaks variandiks on Janitza UMG 96RM (Sele 2.3). Antud seadme puhul on tegemist mõõteseadmega, mis sobib elektriliste parameetrite mõõtmiseks, salvestamiseks ning jälgimiseks madal ja keskpinge võrkudes. RS-485 liidese kaudu kasutades Modbus protokolliga on võimalik mõõtevärtusi saata teistele seadmetele, mis võimaldab luua pinge tagasisidet.



Sele 2.3 Mõõteseade Janitza UMG 96

Voolutugevuse mõõtmiseks kasutatakse UMG 96RM mõõteseadme juures ka voolutransformaatorit Janitza KUW1/30 [17]. Mõõdetav voolutugevus on kuni 30 amprit ning mõõteseadmele antav voolutugevus on 1 amper. Selle seadmega on võimalik mõõta voolutugevust kuni 18 mm diameetriga juhtmelt. Voolu mõõtmiseks pannakse transformaator ümber juhtme ilma juhtme isolatsiooni eemaldamata.

2.6 Kontroller

Katseseadme juhtimiseks on vaja valida kontroller. Kontroller peab suhtlema nii mõõteseadmega kui ka sagedusmuunduriga. Suhtlus teiste seadmetega toimub läbi RS-485 liidese kasutades Modbus protokollit. Kontrolleri sisendite ja väljundite arv ei pea olema kuigi suur, esialgu piisab kahest sisendist. Kontrollerite võrdlus on välja toodud tabelis 2.5.

Tabel 2.5 Kontrolleri võrdlus

Seade	Delta DVP-SA2 [18]	Eaton ELC-PA10AADR [19]
Sisendeid	8	5
Väljundeid	4	5
Jadaliideseid	2	2
Ühenduse protokollid	Modbus ASCII/RTU	Modbus, DeviceNet, Profibus
Hind	193 EUR	438 EUR

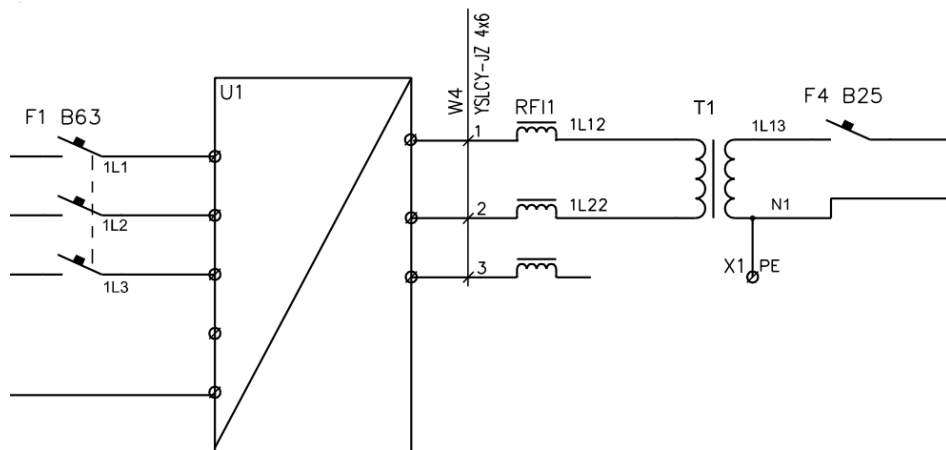
Mõlemad võrreldavad sobivad katseseadme rakendusse. Mõlemal on piisavalt sisendeid ning väljundeid ning mõlemad toetavad Modbus protokollid, mis on vajalik sagedusmuunduri ja mõõteseadme suhtluseks. Valituks osutus Delta DVP-SA2 kontrolleri eelkõige odavama hinna tõttu. Lisaks on kasutatav sagedusmuundur samuti samalt tootjalt, mistõttu on väiksem oht, et tekivad seadmete vahelised ühilduvuse probleemid.

2.7 Katseseadme elektriskeem

Katseseadme elektriskeem on välja toodud lisas 3, kus on kirjeldatud nii katseseadme põhiosa ühendused sh sagedusmuundur, siinusfilter ning trafo kui ka mõõteseadme, kontrolleri ja jahutusventilaatori ühendused.

Katseseadme peatoide on 3x400 VAC 50 Hz. Toitesisestus toimub pistiku XA1 kaudu. Kõik kolm faasi lähevad läbi pealüliti QS1, kust saab vajadusel välja lülitada kogu katseseadme toite. Seejärel toimub toite jagamine sagedusmuunduri ja teiste väiksemate seadmete vahel.

Seadme põhiosa esimeseks komponendiks on sagedusmuundur U1, mis saab toite läbi kaitselüliti F1. Sagedusmuunduri väljundisse on ühendatud kolmefaasiline siinusfilter RF11. Siinusfiltrist lähevad edasi eraldustrafo T1 primaarmähisele kaks faasijuhet. Trafo sekundaarmähisele on läbi rikkevoolukaitsme RCD1 ühendatud kaks väljund pistikut XA2 ja XA3. Kummalgi väljundil on ees eraldi kaitselülid. Trafo sekundaarpoolelt vahetult enne seadme väljundeid toimub ka mõõteseadme abil pinge ja voolutugevuse mõõtmine. Katseseadme põhikomponentide skeem on toodud seel 2.4.



Sele 2.4 Katseseadme põhikomponentide lõik elektriskeemist (LISA 3).

Lisaks katseseadme põhiosale on veel skeemil välja toodud kontrolleri PLC toiteahel, mis koosneb kaitselülitist F8 ja 24 V toiteplohist. Mõõteseadme PQA toide on toodud läbi kaitselüliti F3. Elektrikilbi jahutusventilaator saab toite läbi kaitselüliti F2 ning termostaadi TS1. Termostaat lülitab ventilaatori sisse alles peale temperatuuri tõusmist etteantud piirväärtuseni.

3. KATSESEADME JUHTIMINE

3.1 Katseseadme käsitsijuhtimine

Katseseadme väljundis on võimalik valida kolme erineva pinge vahel 208 V 60 Hz, 230 V 50 Hz ning 240 V 60 Hz. Erinevate pingete valimiseks on katseseadme esipaneelil kolme asendiga lüliti ja start ning stopp nupud. Pingete valimiseks tuleb seade stopp nupu abil seisata seejärel teostada ümberlülitus ning vajutada uuesti start nuppu.

Sagedusmuunduri juhtimisskeem on välja toodud lisas 4. Sagedusmuunduri juhtimiseks kasutatakse sisendeid FWD ning MI1 kuni MI5. Valitud sagedusmuunduril on võimalik seadistada parameetrid kahe erineva mootori jaoks sealhulgas pinge ja sagedus ning neid on võimalik ümber lülitada ühelt teiselt. Sagedusmuunduri töö juhtimiseks on valitud kolme juhtme kontrollmeetod, kus sagedusmuunduri käivitamiseks antakse signaal sisendisse FWD ning peatamiseks katkestatakse signaal sisendis MI1. Sagedusmuunduri sisenditele saab vastavaks määrata kindlad sageduse astmed. Esimese väljund pinge 208 V 60 HZ saamiseks antakse signaal sisendisse MI2, millega valitakse esimese mootori parameetrid ning sagedus 60Hz. Teise pinge 230 V 50 HZ saamiseks on signaal sisendites MI3 ja MI5. Sisendiga MI3 määratakse sageduseks 50 HZ ning sisendiga MI5 määratakse, et kasutusel on teise mootori parameetrid. Kolmanda pinge 240 V 60 Hz saamiseks on signaal sisendites MI4 ja MI5. Sisend MI4 määrab sageduseks 60 Hz ning sisendiga MI5 võetakse jällegi kasutusele teise mootori parameetrid.

Lisaks on katseseadme esipaneelil kaks märgutuld. Tuli H1 põleb kui katseseade on ühendatud vooluvõrku ning pealüliti on sisse lülitatud asendis. Teine tuli H2 on ühendatud sagedusmuunduri releeväljundisse RA1. Tuli H2 põleb kui on vajutatud start nuppu ning sagedusmuundur on tööle pandud.

3.1.1 Sagedusmuunduri parameetrite seadistamine käsijuhtimiseks

Sagedusmuunduri parameetrite seadistamine toimub katseseadme esiküljel asuva juhtpaneeli abil (sele 3.2).

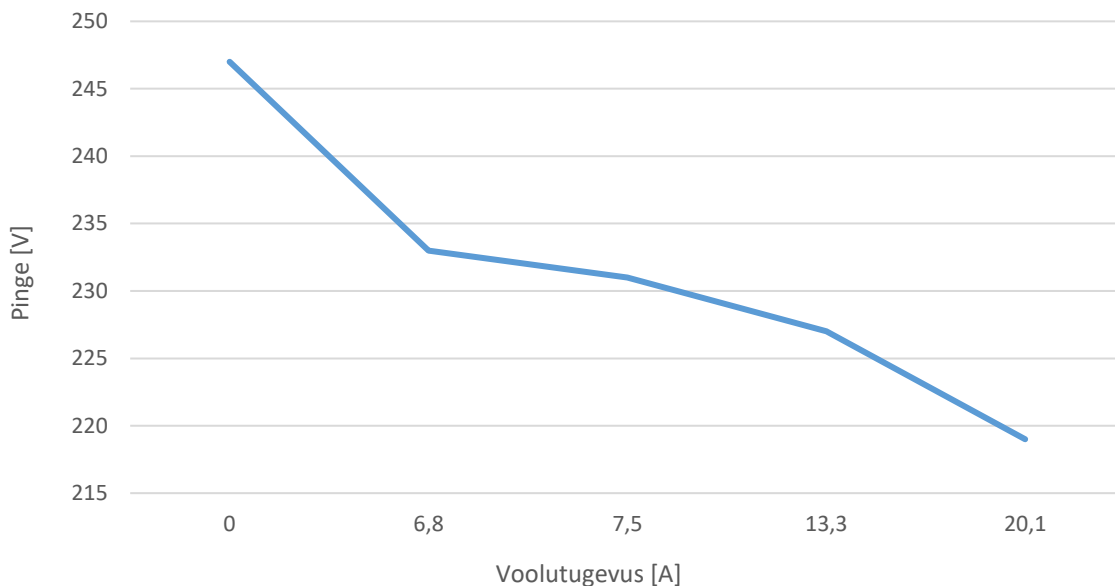


Sele 3.2 Sagedusmuunduri juhtpaneel

Paika pannakse sagedusmuunduri pulsilaiusmodulatsiooni lülitussagedus. Mida väiksem on sagedus seda väiksemad on lekkevoolud, kuid sageduse vähenedes suureneb tekitatav müra. Lülitussageduseks on valitud 8 kHz, mis tuleneb siinusfiltri sagedusvahemiku piirangust. Maksimum töö sageduseks on määratud 60 Hz, et sagedus ei saaks tõusta liiga suureks ka juhul kui sagedusmuundurile anda vale käsklus. Mootoritele 1 ja 2 määratakse maksimaalne sagedus ja pinge ning teisel mootoril ka keskmine sagedus ja pinge, et kasutada saaks ka pinget 230 V 50 Hz. Keskmise sageduse ja pinge abil määratakse ära ühe punkti sageduse ja pinge suhe maksimum ja miinimum sageduse vahel. See võimaldab sagedusmuunduri seadistada nii, et 60 Hz puhul on pinge 240 V ja 50 Hz puhul on pinge 230 V. Sagedusmuunduri sisendkäskude allikaks saab valida juhtpaneeli, välised terminalid või RS-485 port. Sisendkäskude allikaks on valitud välised terminalid, et muuta pingeid lüliti abil. Lisaks on määratud sagedusmuunduri väljundreele funktsioon, milleks on pandud töötamise indikatsioon. Kõik seadistatud sagedusmuunduri parameetrid on välja toodud lisas 6.

3.1.2 Käsitsi juhtimisel ilmnenuv puudused

Esiialgse prototüübi eesmärk oli katseseade saada tööle kujul, kus pingete valimine toimub lülitil abil ning oleks võimalik valida vähemalt kahte erinevat pinget. See eesmärk sai täidetud, kuid ilmnisid ka mõningad puudujäägid. Kuna sagedusmuundur ei ole loodud pingemuunduriks hoiab ta stabiilsena ainult sagedust mistõttu väljundpinge ei ole stabiilne. Kui katseseadme väljundisse rakendatud koormus suureneb siis väheneb väljundpinge ning koormuse vähenedes pinge suureneb. Eriti märgatav pinge muutus toimub nulli lähedase koormuse juures, kus pinge tõus koormuse vähenedes on eriti järsk. Graafikul (Sele 3.3) on välja toodud vahelduvpinge efektiivväärtuste mõõtetulemused viie erineva koormuse juures sagedusel 60 Hz.



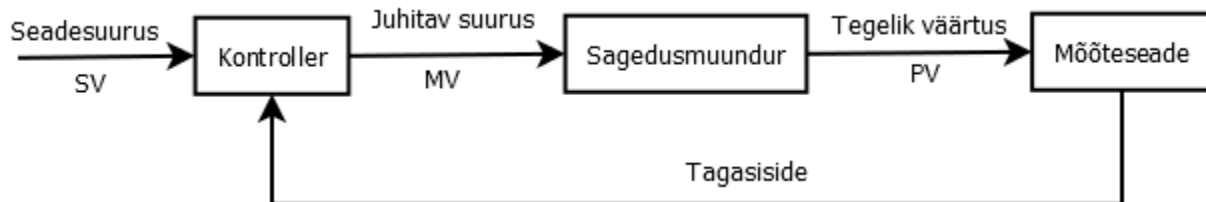
Sele 3.3 Pinge ja voolutugevus suhe

Et pinge kõikumise mõju vähendada on võimalik väljund parameetrid seadistada vastavalt katsetatava seadme võimsusele. Niimoodi võib pinge paika sättida testitava seadme koormuse vahemikku mitte nullkoormuse juhule. Kuid pinge kõikumisi ei ole siiski võimalik täielikult vältida kuna testitavate seadmete voolu tarve ei pruugi olla stabiilne.

3.2 Automaatjuhtimine

Käsijuhtimissüsteemi puhul ilmnes, et väljundpinge kõigub koormuse muutudes küllaltki suures ulatuses. Seetõttu on vaja muuta väljundpinge automaatselt juhitavaks. Pinge korrigeerimise teostamiseks tuleb lülitiga juhtimise süsteem asendada automaatsega, kus katseseadme kasutaja määrab ära soovitud pinge ja sageduse ning katseseade ise hoiab pinget stabiilsena. Selline süsteem koosneb kolmest põhilisest osast. Esiteks seadmest, mis on pingeallikaks, antud juhul sagedusmuundur. Teiseks on vaja seadet, mis mõõdaks katseseadme väljundpinget. Kolmandaks kontrolleri, mis annaks sagedusmuundurile ette pinge ja sageduse väärtused.

Kontrollerile antakse ette pinge seadesuurus, mida süsteem peab järgima. Kontrollerisse jõuab mõõteseadmest väljundi volutugevuse väärtus. Selle väärtuse põhjal arvutatakse kontrolleris pinge väärtus, mis saadetakse sagedusmuundurisse. Katseseadme väljundis mõõdetakse uus volutugevuse väärtus. Juhtimise põhimõtteline skeem on antud seel 3.4. Testimise käigus korrigeeritakse ainult pinge väärtust, sageduse väärtus sisestatakse testi alguses ning see jääb testi vältel muutumatuks.



Sele 3.4 Juhtimise põhimõtteline skeem

Sagedusmuundurile antava pinge väärtuse kontrolleris toimub kasutades mõõteseadmest saadud volutugevuse väärtust. Voolu järgi arvutades suudab süsteem kiiresti reageerida väljundi koormuse muutusele. Sagedusmuundurile antava pinge väärtuse arvutamine toimub katselisel teel tuletatud valemi 3.1 järgi.

$$MV = SV + 3 + \left(\frac{I}{1 + (SV - 140) \times 0.00375} \right) \quad (3.1)$$

Valem 3.1 on tuletatud katseseadme väljundi mõõtmistulemustest. Lisas 9 on välja toodud katseseadme väljundi mõõtmistulemused kahe erineva koormuse juures. Seadme koormamiseks on kasutatud kahte võrdse võimsusega küttekeha. Seadme väljundisse on seatud pinged 5 V vahedega, selleks on seatud paika pinge väärtus sagedusmuundurist konkreetse koormuse jaoks. Sama on korratud ka teise 2 korda suurema koormuse juures. Tabelis on välja toodud ridade kaup väljundi pinge, sagedusmuunduri pinge U_1 ja vastav väljundi volutugevus I_1 , lisaks sama väljundi pingel 2 korda suurema koormuse juures sagedusmuunduri pinge U_2 ning väljundi volutugevus I_2 .

Valemi tuletamisel on aluseks võetud väljundi pinget 140 V, mille korral sagedusmuunduri pinget on 148V ning voolutugevus on 5 A. Suurema koormuse puhul on sagedusmuunduri pinget 153 V ning voolutugevus 10 A. Siit on näha, et sagedusmuunduri pinget on võrdne väljundi pingega, millele on liidetud 3 ja voolutugevuse väärtus. Suurema koormuse puhul tõuseb pinget suurendades voolutugevus iga 10 V kohta 0,0375 ampri võrra. Seega 1 V kohta tõuseb voolutugevus 0,00375 ampri võrra. Väiksema koormuse puhul on suurenemine kaks korda väiksem. Siit tulenevalt pinget muutus tulenevalt voolutugevusest võrdub $1/(1 + (SV - 140) \times 0.00375)$.

3.2.1 Automaatjuhtimise seadmed

Automaatjuhtimise teostamiseks on esialgsele süsteemile vaja lisada kontrolleri, mis juhib pinget korrigeerimist. Kontrolleri, sagedusmuunduri ning mõõteseade Janitza UMG96 RM vaheline suhtlus toimub läbi RS-485 liidese, mis on kõigil kolmel seadmel olemas. Sagedusmuundur ning kontrolleri toetavad Modbus RTU ning Modbus ASCII protokolle. Mõõteseade toetab aga ainult Modbus RTU protokolliga seega toimub kogu suhtlus kasutades just seda protokolliga. Mõõteseadmest voolutugevuse väärtuse lugemine toimub kindlalt aadressidelt. Samuti sagedusmuundurile pinget väärtuste saatmine toimub otse konkreetsele aadressile. Vastavad Modbus aadressid on välja toodud tabelis 3.1.

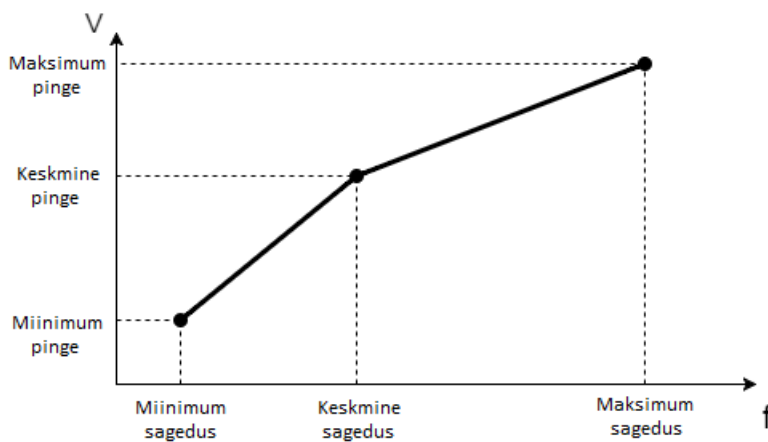
Tabel 3.1 Modbus aadressid

Seade	Aadress	Väärtuse ühik	Funktsioon	Tegevus
Sagedusmuundur	0104H	V	Keskpunkti pinget	Kirjutamine
Mõõteseade	19012	A	Voolutugevus L1	Lugemine

3.2.2 Pinget korrigeerimine

Pinget muutmine sagedusmuunduris toimub läbi mootori parameetrite muutmise. Antud parameetrid pannakse sagedusmuunduri traditsioonilisel kasutusel paika mootori nominaalväärtuste järgi mootori ühendamisel ning hiljem neid enam ei muudeta. Katseseadme puhul tekib probleem, sest antud muutujad ei ole ette nähtud töö ajal muutmiseks kuid pinget korrigeerimiseks oleks vaja parameetrite väärtusi muuta jooksvalt suvalisel ajahetkel. Katsetamisel selgus, et mootori maksimaalset sagedust ja pinget sagedusmuundur töö ajal muuta ei luba. Mootorile antakse aga ette ka keskmine sagedus (parameeter 01-03) ja pinget (parameeter 01-04). Nende väärtuste abil saab määrata sageduse ja pinget suhte graafikul madalaima ja kõrgeima sageduse ühe vahepealse punkti pinget ja sageduse suhte (Sele 3.5). Keskmise sageduse ja selle määramise kohta info on saadud Delta CP 2000 sagedusmuunduri

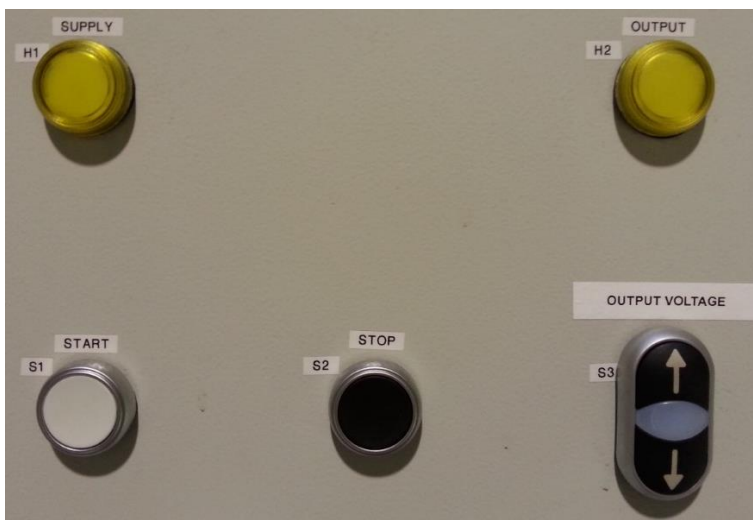
kasutusjuhendi [20] peatükist 12. Neid väärtusi õnnestub ka töö ajal muuta, mistõttu on võimalik tagasiside üles ehitada nende parameetrite muutmisele.



Sele 3.5 Pinge ja sageduse suhe

3.2.3 Seadme juhtpaneel automaatjuhtimisel

Sarnaselt käsijuhtimisele on seadme esipaneelil (sele 3.6) start ja stopp nupud, kuid kolme asendiga lüliti asemel kahe noolega lüliti S3, mille abil saab väljundi pinget muuta. Start ja stopp nupud on sagedusmuunduri sisse ja välja lülitamiseks ning ühenduvad sagedusmuunduriga samamoodi nagu käsijuhtimisel. Nooltega lüliti on ühendatud kontrolleri sisendisse X1 ja X2. Sageduse määramine toimub sagedusmuunduri juhtpaneelilt (sele 3.7). Sageduse muutmiseks tuleb liikuda ekraanil reale F ning vajutada enter, seejärel saab noolte abil valida sobiva sageduse väärtuse.



Sele 3.6 Seadme juhtnupud



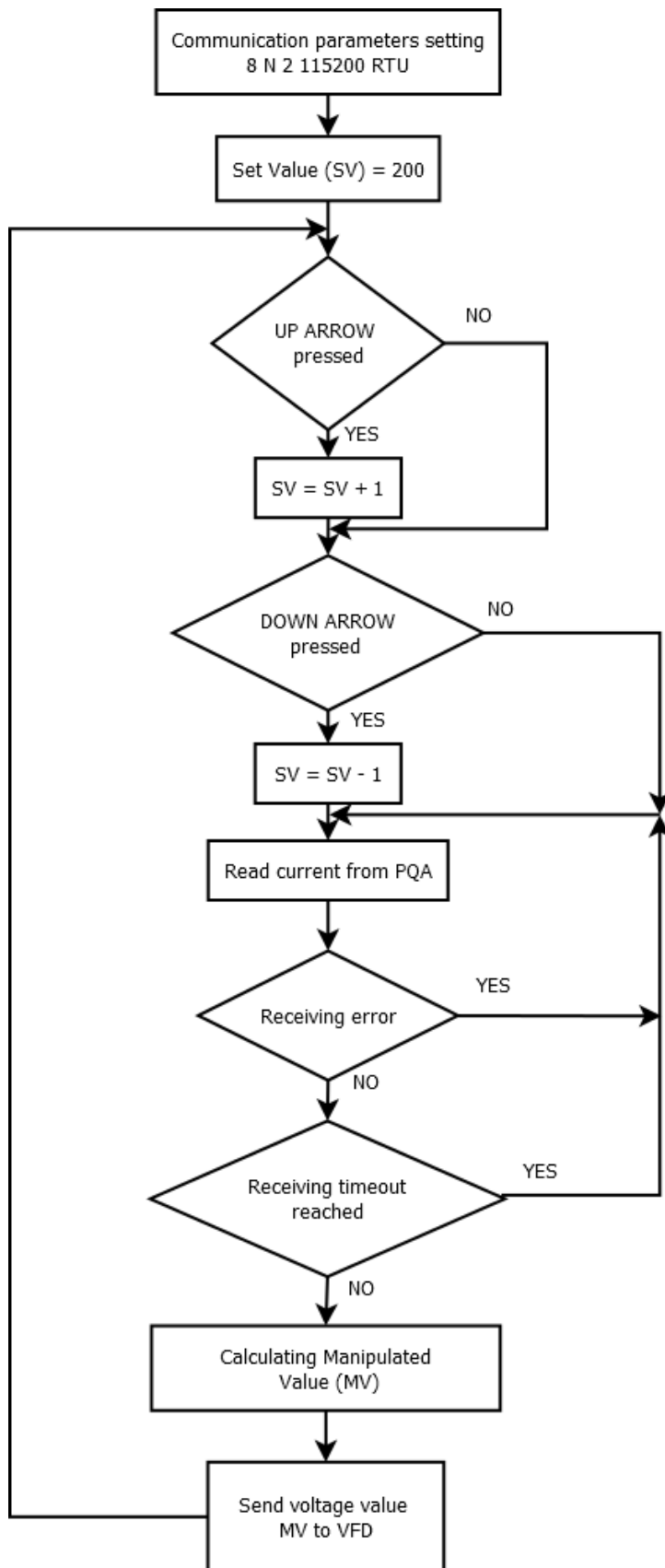
Sele 3.7 Sagedusmuunduri juhtpaneel

3.2.4 Sagedusmuunduri seadistamine automaatjuhtimiseks

Automaatjuhtimise korral jäävad sagedusmuunduri lülitusagedus ning maksimaalne väljund sagedus samaks nagu oli käsijuhtimise puhul. Automaatjuhtimise puhul ei ole vaja kasutada kahte eri mootori parameetrite seadistust. Seetõttu tuleb seadistada ainult ühe mootori parameetrid. Maksimaalseks väljundi sageduseks on seatud 60 Hz, sama väärtus on ka mootor 1 maksimum sageduseks. Maksimaalne pinge, millega seadmeid testitakse on 300 V, seetõttu on sagedusmuundurist piiratud maksimaalne pinge 300 V peale. Lisaks väljundi parameetrite seadistamisele on paika pandud ka ühenduse parameetrid, mis peavad vastama teiste seadmete parameetritele, mis sagedusmuunduriga suhtlevad. Sagedusmuunduri aadressiks on määratud 2 ning ühenduse kiiruseks 115.2 Kbps. Ühenduse protokoll on Modbus RTU 8N2, millele vastav parameetri 09-04 väärtus on 13, mis on saadud sagedusmuunduri kasutusjuhendist. Kõik automaatjuhtimiseks seadistatud parameetrid on välja toodud lisas 7.

3.3 Kontrolleri programmi seletus

Pinge korrigeerimist juhitakse kontrolleri, mis suhtleb mõõteseadme ja sagedusmuunduriga. Programmi põhimõte on graafiliselt välja toodud seel 3.8. Esmalt tuleb paika panna kontrolleri ja teiste seadmete vahelise suhtluse parameetrid. Kontrolleri tuleb seadistada nii, et suhtlus toimuks Modbus RTU protokolliga kasutades. Andmebittide arvuks tuleb määrata 8, paarsuskontroll puudub, stopp-bitte 2 ning kiirus on 115,2 kbps. Ühenduse parameetrid määrab ära mõõteseadme, millel on tootja poolt valitud sellised parameetrid. Edasi antakse pingele algväärtus, millest alustatakse pingeseadistamist. Kuna katsed toimuvad 200 V lähedastel pingetel on see alustuseks paras väärtus. Vajutused nupudel nool üles ja nool alla vastavalt suurendavad ja vähendavad seadme väljundpinget ühe voldi võrra. Edasi loetakse mõõteseadmest kontrolleri hetke voolutugevuse väärtus. Kui info saadakse kätte etteantud aja jooksul ja ilma vigadeta, siis arvutatakse saadud väärtuse järgi välja pinge väärtus, mis seejärel saadetakse sagedusmuundurisse.



Sele 3.8 Kontrolleri programmi põhimõte

4. MEHAANILINE OSA

4.1 Elektrikilp

Katseseadme detailid on paigaldatud metallist elektrikilpi IDE GN1208040 [21]. Antud kilp on väliste mõõtudega 1200X800X400 ning kilp on IP kaitseklassiga 66. Elektrikilbi valikul on põhiliselt olulised selle mõõdud. Kilbi sügavus tuleneb kõige suurema seadme vastavast mõõdust, milleks on sagedusmuunduri 220 mm, lisaks on arvestatud ka lisa vähemalt 100 mm, et esikülje pistikutesse oleks võimalik kaableid ühendada. Laiuse puhul on arvestatud, et trafo ja siinusfilter mahuksid kõrvuti ära. Trafo laius on 300 mm ning siinusfiltril 240 mm, seega detailide laius kokku on 540 mm. Kilp on valitud laiem, et siinusfiltri ja trafo ümber oleks igas küljes vaba ruumi parema õhuliikuvuse jaoks. Kaks kõrgemat seadet seadmepaneelil on sagedusmuundur ning trafo, mille kõrgused on mõlemal 400 mm. Seega kilbi kõrgus peaks olema vähemalt 800 mm. Kilp on aga valitud kõrgem, et esipaneelil asuvad juhtnupud ning mõõteseadmed ei asuks väga madalal. Vastasel juhul peaks seadme kasutamiseks pidevalt kummardama.

4.2 Seadmete paigutus

Katseseadme esipaneelil (sele 4.1) on juhtnupud, mõõteseadmed, toitesisend ning väljundid ja jahutusventilaator. Mõõteseadmed ning juhtnupud asuvad esipaneeli ülemises osas, et seadet oleks võimalikult mugav juhtida ning mõõteseadmelt infot lugeda. Jahutusventilaator on paigutatud nii, et alt puhutakse jahedat õhku sisse ning ülevalt vastas nurgast saab soe õhk väljuda. Seadme esipaneeli keskosas on toite sisendpistik ning neli väljund pistikupesad. Toitesisendi lähedal asub pealüliti, kust saab kogu katseseadme toite välja lülitada. Täpsem esipaneeli joonis on toodud lisas 8.

Seadme sees on detailide paigaldusel arvestatud eelkõige nende masse. Katseseadme paigutus seadme sees on näha seel 4.2. Kergemad detailid nagu sagedusmuundur ning kaitsmed ja riviklemmid on paigaldatud kõrgemale montaažiplaadile. Raskemad detailid trafo ning siinusfilter asetsevad allpool kilbi põhjas, nii on kilbi raskuskese võimalikult madalal ja kilp on stabiilsem.



Sele 4.1 Katseseadme esipaneel



Sele 4.2 Katseseadme sisevaade

4.3 Ratastega alusraam

Katseseadmele esitatud nõuetest üks on, et seadet peab olema lihtne ümber paigutada. Selleks tuleb katseseadmele lisada rattad kuna kogumass on liiga suur käsitsi tõstmiseks. Seadme hinnanguline kogumass on välja toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1 Detailide massid

Komponent	Mass kg
Trafo	52
Siinusfilter	19
Sagedusmuundur	10
Metallkilp	55
Muud detailid	14
Kokku	150

Katseseadme massi arvutamisel on arvestatud raskemate komponentide massidega sh trafo, siinusfilter, metallkilp ja sagedusmuundur. Juurde on lisatud ka umbkaudne väiksemate detailide mass, seega kogu katseseadme mass on ligikaudselt 150 kg.

Rataste kinnitamiseks seadme kilbi külge on vajalik alusraam, kuna kilp on tehtud õhukesest terasplekist ning antud kilp on mõeldud seinale paigaldamiseks läbi elektrikilbi tagaseina. Lisaks on alusraam vajalik, et toetada kilbi alumisele plekile toetuvat rasket trafot ja siinusfiltrit.

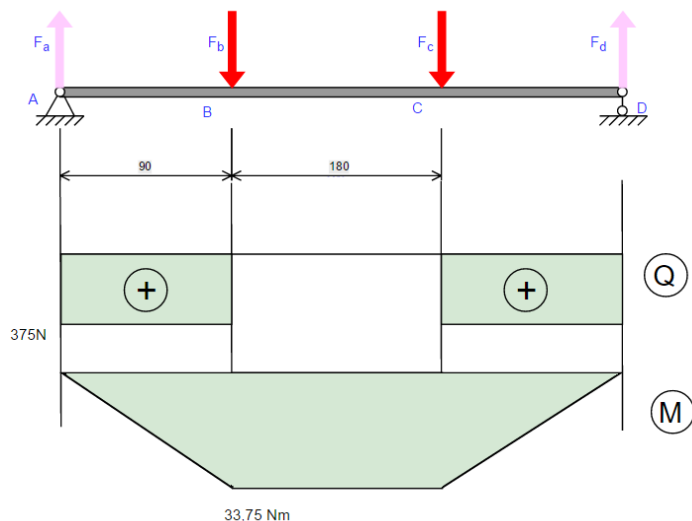
Rattad on valitud arvestusega, et kaks ratast taluksid kogu seadme raskust. Selline arvestus on tehtud, et rattad peaks vastu ka ebaühtlasel pinnasel liigutamisele, kus kõik rattad ei pruugi vastu maad puutuda. Seetõttu peaks iga ratas taluma koormust vähemalt 75 kg. Rattaid on kahesuguste kinnitustega, kas poltkinnitusega või plaatkinnitusega. Antud seadme puhul on rattaid aluraami külge parem kinnitada poltkinnitusega. Teiseks on valida pöörduvate rataste ja otsejooksuga rataste vahel. Parema manööverdamise huvides on katseseadmele valitud pöörduvad rattad ning kaks nendest on piduriga, et oleks võimalik seade fikseerida katsetamise ajaks paigale. Lisaks on välditud tumeda kummist kattega rattaid, et heledale põrandale ei jääks katseseadme liigutamisel jälgi.

Valitud rattad on 100 mm läbimõõduga ning 35 mm laiad polüamiidist rattad [22]. Rataste kandevõime on 120 kg ning antud rattaid on nii piduriga kui ilma.

Alusraami toru valimisel on aluseks võetud raami osad, mille külge on kinnitatud rattad ning mille küljes on seadme kilp. Rattad ning kilbi kinnitus poldid paiknevad raami küljes sümmeetriliselt. Kummalegi otsale toetub pool kilbi raskusest ehk 75 kg, otstes toetub kilp omakorda kahele poldile.

Materjaliks teras S355

$F_a = F_b = F_c = F_d = 375 \text{ N}$



Sele 4.4 Talale mõjuvad jõud ning põikjõu Q ja paindemomendi M epüürid

Paindemoment lõikes B vasakult:

$$M_B = F_1 * d \quad (4.1)$$

kus M_B - paindemoment, Nm
 F_1 - jõud, N
 d - jõu õlg, m

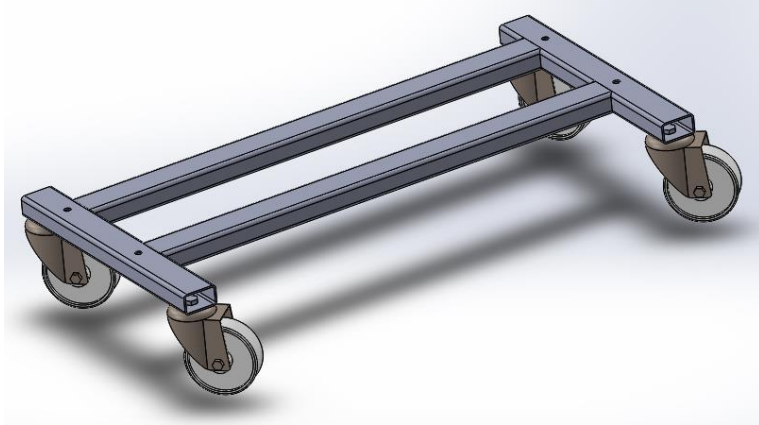
$$M_B = 375 * 0,09 = 33,75 \text{ Nm}$$

$$W = \frac{M}{[\sigma]} \quad (4.2)$$

kus W – tugevusmoment, cm^3
 M – paindemoment, N
 σ – materjali voolepiir, MPa

$$W = \frac{33,75}{355 * 10^6} = 9,5 * 10^{-8} \text{ m}^3 = 0,095 \text{ cm}^3$$

Alusraami materjaliks on valitud nelikanttoru 40x20x2, mille tugevusmoment $1,34 \text{ cm}^3$ on suure varuteguriga. Valitud toru on kasutuses kuna antud toru materjal on lihtsalt kättesaadav. Torud ühendatakse omavahel keevisliidesega. Alusraam (Sele 4.3) kinnitatakse poldidega kilbi põhja külge.



Sele 4.3 Ratastega alusraam

5. KATSESEADME OHUTUS

Katseseadme sisendiks on vahelduvvool pingega 3x400 VAC ning väljundpinge on kuni 300 V. Mõlemad pinged on piisavalt suured, et põhjustada inimestele vigastusi või olla koguni eluohtlik. Seetõttu on katseseadme puhul ohutuse tagamine väga oluline. Katseseadme puhul on kõik seadmed kaitstud eraldi kaitseautomaatidega, samuti on kaitstud ka seadme väljundid. Väljundite kaitselülitid on valitud vastavalt pistikute lubatud koormusele. Lisaks on väljundid kaitstud rikkevoolukaitsmega, mis on eriti oluline kuna seadet võidakse kasutada ka välitingimustes. Katseseadme komponendid on paigutatud kinnisesse metallkilpi, mis piirab kasutaja juurdepääsu elektrilistele komponentidele. Katseseadme kilp kaasa arvatud kilbi uks on eraldi maandatud, et kaitsta inimest elektrilöögi eest juhul kui mõni vooluga kaabel peaks isolatsiooni vigastuse tõttu puutuma vastu kilbi kesta. Katseseadme esipaneelil on pealüliti, kust saab ohu korral välja lülitada terve seadme voolu. Seadme komponendid nagu trafo ja sagedusmuundur toodavad küllaltki palju soojust. Vältimaks seadme ülekuumenemisest põhjustatud rikkeid või põlengut on katseseadmepaneelil termostaadiga ventilaator, mis hakkab kilpi jahutama kui temperatuur kilbi sees tõuseb üle teatud väärtuse.

6. KATSESTENDI MAKSUMUS

Tabelis 6.1 on välja toodud katsestendi ligikaudne maksumus. Katseseadme komponentide maksumuseks kujunes ligikaudu 2800 eurot. Eraldi on välja toodud suuremate komponentide maksumused. Ühel real on koos välja toodud muud materjalid sealhulgas pealüliti, kaitselüliti, pistikupesad, kaablid ja muud montaažimaterjalid. Nende komponentide kogumaksumus on 95 eurot. Seadme maksumuse juurde ei ole arvestatud trafo maksumust kuna see oli tellijal eelnevalt olemas. Lisaks on projekti maksumusest välja jäetud seadme projekteerimise ning seadistamise kulud, kuluarvestusest on välja jäetud ka katsestendi koostamisele kulunud töötunnid.

Tabel 6.1 Katseseadme komponentide maksumus

Komponent	Hind (eur)
Sagedusmuundur VFD-CP2000	960
Siinusfilter SFB 400/32	721
Mõõteseade Janitza UMG 96RM	249
Kontroller Delta DVP-SA2	203
Filter-ventilaator	125
Metallkiip 1200x800x400	397
Tööstusratas Ø 100 mm , 4tk	48
Muud materjalid: pealüliti, kaitselülid, kaablid jmt.	95
Kokku	2798

7. SEADME EDASIARENDAMINE

Katseseadet edasi arendades on võimalik testida ka teistsuguseid pinget olukordi kui ainult stabiilset üle- või alapinget. Kuna pinget juhtimine käib kontrolleri abil saab luua mitmesuguseid testtsükleid. Näiteks luua testitavate seadmete tarvis programm, mis testiks korraga nii alapinget kui ülepinget ilma, et katseseadme operaator peaks vahepeal katseseadet häälestama. Nii saab muuta testide läbiviimise kiiremaks ning kasutajale lihtsamaks. Lisaks võib testida ka seadmete vastupidavust ja käitumist pinget kõikumiste puhul. Simuleerida saab järske pinget languseid ning vajadusel ka pingekatkestusi.

KOKKUVÕTE

Selle bakalaureusetöö teema arenes välja AS Cleveroni vajadusest testida seadmeid erinevatel pingetel sagedusel 60 Hz. Töö on tehtud nooremteadur Ahti Põlder juhendamisel.

Töö eesmärk oli luua katseseade, mille abil oleks võimalik teha teste seadmetele üle- ja alapinge olukorras sagedusel 60 Hz. Töö esimeses etapis loodi katseseadmele põhimõtteline skeem, millele vastavalt toimus seadmete valimine. Esmalt valiti seade Eesti vahelduvvoolu võrgusageduse 50 Hz muundamiseks sageduseks 60 Hz, sai valitud sagedusmuundur. Sagedusmuundur sisendiks on pinge 3x400 VAC 50 Hz ning väljundi parameetreid on võimalik muuta suures ulatuses, muutes nii sagedust kui ka pinget. Lisaks sagedusmuundurile sai välja valitud vastav siinusfilter, et muuta pinget võimalikult sinusoidseks. Veel valiti välja trafo, kontrolleri ning mõõteseade. Kontrolleri kasutatakse sagedusmuunduri juhtimiseks vastavalt mõõteseadmelt väljundi kohta saadud infole.

Teises etapis koostati seadmele elektriskeem ning ka juhtimiskeem. Elektriskeem sisaldab kõiki katseseadme küljes olevaid komponente. Esialgne prototüüp oli mõeldud käsijuhtimisega, kuid sellise juhtimisviisi puhul tekkisid probleemid pinge stabiilsena hoidmisega. Seetõttu sai loodud süsteem, kus pinge stabiliseerimiseks toimub sagedusmuunduri juhtimine automaatselt kontrolleri abil. Ühtlasi tuli ka seadistada mõõteseade, et toimiks ühendus kontrolleri ja sagedusmuunduriga, ning seadistatud said ka sagedusmuunduri ühendus- ja tööparameetrid.

Viimases etapis toimus katseseadmele sobiva elektrilise valimise. Valitud sai metallist elektrilise, mis mahutab ära kõik katseseadme komponendid. Katseseadme sisendtoide ning väljundid asuvad kõik esipaneelil. Ühtlasi on esipaneelil ka seadme juhtnupud, sagedusmuunduri juhtpaneel ning mõõteseade.

Valmis esialgne prototüüp, mis oli käsijuhtimisega. See prototüüp oli töötav, kuid väljundkoormuse muutudes oli pinge kõikumine küllaltki suur. Edasiarendusena valmis pinget korrigeeriv seade, mis suudab reageerida koormuse muutustele. Kokkuvõttes sai valmis tingimustele vastav katseseade.

SUMMARY

This Bachelor's thesis has developed from the need of AS Cleveron to test equipment on various voltages at frequency 60 Hz. The thesis has been written under the guidance of research scientist Ahti Pölder.

The purpose of this thesis was to create a testing device which would allow to conduct experiments with equipment in under and overvoltage situations at 60 Hz. In the first stage a conceptual diagram was put together and the selection of equipment was based on that. First the device for changing Estonian alternating current network frequency 50 Hz to the frequency 60 Hz was chosen, a variable frequency drive was chosen. The input voltage of the VFD is 3x400 VAC 50 Hz and the parameters of the output can be changed in a wide range, both frequency and voltage can be controlled. In addition to the VFD a compatible sinewave filter was chosen to change the output voltage as close to a sinewave as possible. Also a transformer, controller and a measuring device were chosen. The controller is used to control the VFD based on the information received from the measuring device.

In the second stage an electrical scheme and a control scheme were drawn. The electrical scheme covers every component used in the testing device. The first prototype was developed to have manual control, but this way keeping the voltage stable was problematic. Therefore a system was developed where the VFD is controlled automatically by a PLC. Also the measuring device had to be tuned for the communication with the PLC and VFD, also the communication and working parameters of the VFD were tuned.

In the last stage a suitable electrical cabinet was chosen. The choice was a metal cabinet that fits all the components inside. Testing device power entry and outputs are placed on the front panel and also the control buttons, VFD control panel and measuring device.

The first prototype was with manual control. It was a working prototype, but the voltage change was quite significant in the case of output current change. Next prototype has an automatic controller that adjusts voltage in case of current change. In conclusion a working testing device was developed.



KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Mootor- generaator: <http://www.emersonindustrial.com/en-EN/Electric-Power-Generation/Products/kato-generators/motor-generatorsets/Pages/default.aspx>. (05.2016)
- [2] Mootor- generaator: <http://www.electrical4u.com/motor-generator-set-m-g-set/>. (05.2016)
- [3] Mehaanilised täiturid: http://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_6.html. (05.2016)
- [4] Sagedusmuundurid: <http://www.vfds.com/blog/what-is-a-vfd>.(11.2016)
- [5] Mitsubishi sagedusmuundur: <http://www.999mitsubishi.com/mitsubishi-f800-fr-f840-00380-2-60>. (05.2016)
- [6] Siemens sagedusmuundur: <http://www.elfadistelec.ee/et/frequency-converter-sinamics-g120c-18-kw-380-480-vac-phase-siemens-6sl3210-1ke23-8ub1/p/13766477?q=6SL32101KE238UB1&page=1&origPos=1&origPageSize=10&simi=97.79>. (05.2016)
- [7] Delta sagedusmuundur:
http://www.delta.com.tw/product/em/drive/ac_motor/download/catalogue/VFD-F_catalogue_en.pdf.(05.2016)
- [8] Delta sagedusmuundurite sari CP 2000:
<http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060101&PID=260&hl=en-US&Name=CP2000%20Series>. (05.2016)
- [9] Sagedusmuundur CP 2000 kataloog: <http://www.automatedpt.com/wp-content/uploads/2012/06/CP2000-Catalog.pdf>. (05.2016)
- [10] Schaffner siinusfiltrid:
http://www.schaffner.com/fileadmin/media/downloads/application_note/Schaffner_AN_Filter_solutions_for_motor_drives_applications.pdf. (05.2016)
- [11] Filtrite valimine: <http://www.clwtr.com/PDF/Danfoss/Danfoss-VLT-Drive-Filters-Guide.pdf>. (05.2016)
- [12] Block siinusfilter: <http://uk.rs-online.com/web/p/sinusoidal-filters/7396361/>. (05.2016)

- [13] Schaffner siinusfilter: <http://uk.rs-online.com/web/p/sinusoidal-filters/8838241/>. (05.2016)
- [14] Mõõteseade Janitza: <http://www.janitza.com/umg-96rm-p-m-cbm-el-features.html>. (05.2016)
- [15] Mõõteseade Siemens : <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0f26/0900766b80f26a42.pdf>. (05.2016)
- [16] Mõõteseade Powerlogic: http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/234000/FA234023/en_US/PM5300_User_Guide.pdf. (05.2016)
- [17] Janitza volutrafo: <http://www.janitza.com/cable-split-core-current-transformers-technical-data.html>. (05.2016)
- [18] Kontroller Delta: http://www.e-motionsupply.com/product_p/dvp-sa2.html. (11.2016)
- [19] Kontroller ELC : http://www.omega.com/pptst/ELC_PLC.html. (11.2016)
- [20] Delta sagedusmuunduri kasutusjuhend: <http://www.vfds.com/manuals/delta/delta-cp2000-manual.pdf>. (05.2016)
- [21] Metallist elektrikilp IDE: http://ide.es/eng/products/metal-cabinets/ip66-rolled-steel-wallmounting-cabinets/ref_GN1208040. (05.2016)
- [22] Tööstusratas : <http://laomaailm.ee/ratas-nailon-keerav-poldiava-piduriga-T0017>. (11.2016)

LISA 1 SAGEDUSMUUNDURI ANDMELEHT

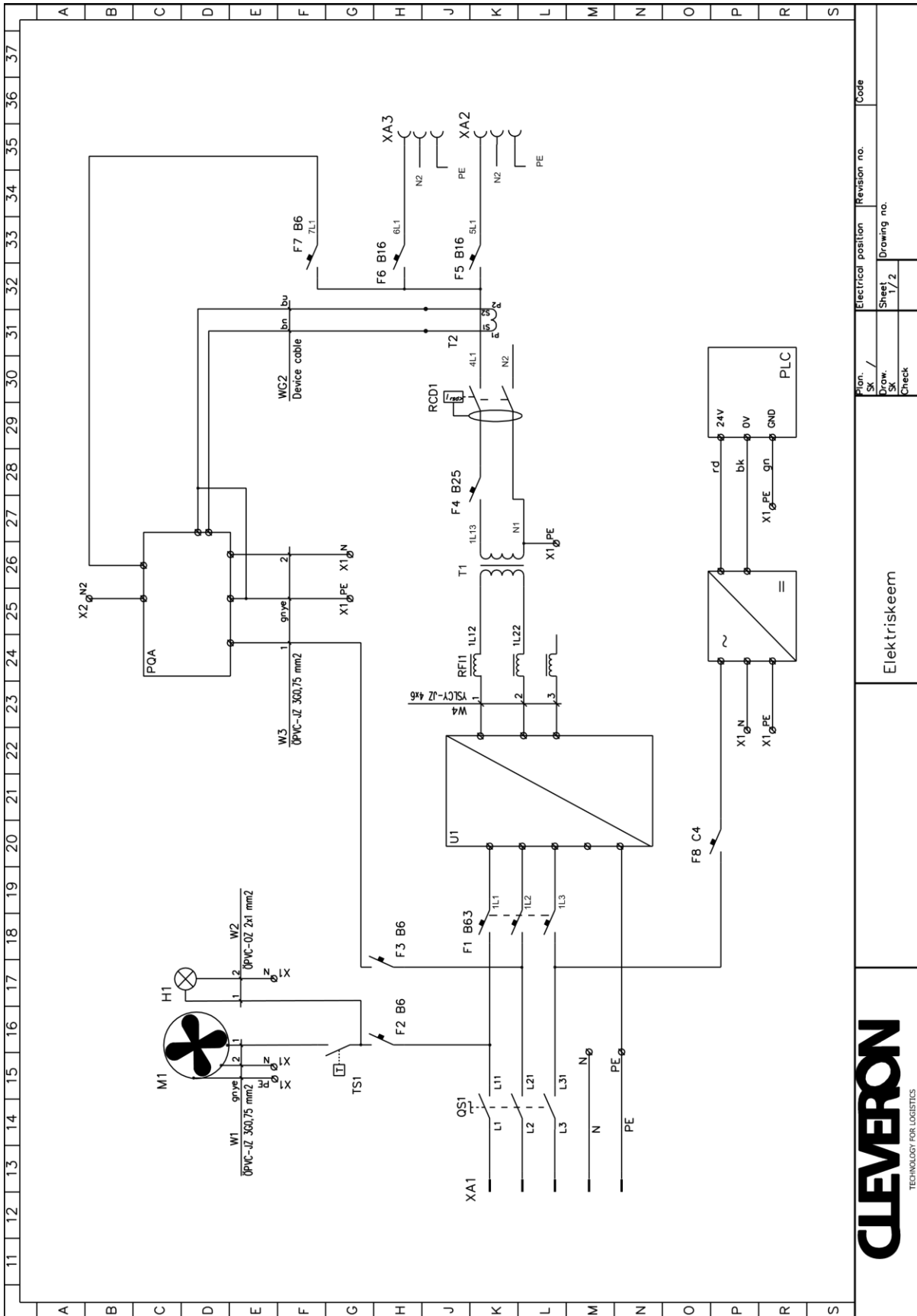
460V		Frame	A						B			C				
		Models VFD-____CP43A-____; VFD-____CP4EA-____;	007	015	022	037	040	055	075	110	150	185	220	300	370	
Output Rating	Light Duty	Rated Output Capacity(kVA)	2.4	2.9	4.0	6.0	8.4	9.6	11.2	18	24	29	36	45	57	
		Rated Output Current (A)	3	3.7	5	7.5	10.5	12	14	22.5	30	36	45	56	72	
		Applicable Motor Output(kW)	0.75	1.5	2.2	3.7	4.0	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	
		Applicable Motor Output(HP)	1	2	3	5	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	
		Overload tolerance	120% of rated current for 1 minute													
	Normal Duty	Max. output frequency(Hz)	600.00Hz													
		Carrier Frequency (kHz)	2~15kHz(8KHz)										2~10kHz(6KHz)			
		Rated Output Capacity(kVA)	2.2	2.4	3.2	4.8	7.2	8.4	10	14	19	25	30	36	48	
		Rated Output Current (A)	2.8	3.0	4.0	6.0	9.0	10.5	12	18	24	32	38	45	60	
		Applicable Motor Output(kW)	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	4.0	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	
Input Rating		Applicable Motor Output(HP)	0.5	1	2	3	5	5	7.5	10	15	20	25	30	40	
		Overload tolerance	120% of rated current for 1 minute;160% of rated current for 3 seconds													
		Max. output frequency(Hz)	600.00Hz													
		Carrier Frequency (kHz)	2~15kHz(8KHz)										2~10kHz(6KHz)			
		Input Current (A) Light Duty	4.3	5.4	7.4	11	16	18	20	25	33	39	47	58	76	
		Input Current (A) Normal Duty	3.5	4.3	5.9	8.7	14	15.5	17	20	26	35	40	47	63	
		Rated Voltage/Frequency	3-Phase AC 380V~480V(-15%~+10%), 50/60Hz													
		Operating Voltage Range	323~528Vac													
		Frequency Tolerance	47~63Hz													
		Cooling method	Natural Cooling				Fan Cooling									
Braking Chopper		Frame A,B,C Built-in														
DC choke		Frame A,B,C Optional														
EMI Filter		Frame A,B,C of VFD____CP4EA-____, Eml filter Built-in Frame A,B,C of VFD____CP43A-____, Eml filter NOT Built-in														

Control Characteristics	Control Method	1: V/F(V/F control), 2: SVC(Sensorless Vector Control)				
	Starting Torque	Reach up to 160% or above at 0.5Hz				
	V/F Curve	4 point adjustable V / F curve and square curve				
	Speed Response Ability	5Hz				
	Torque Limit	Normal Duty: Max. 170% torque current				
	Torque Accuracy	±5%				
	Max. Output Frequency (Hz)	230V series: 600.00Hz (55kW and above: 400.00Hz); 460V series: 600.00Hz (90kW and above: 400.00Hz)				
	Frequency Output Accuracy	Digital command:±0.01%, -10°C~+40°C, Analog command: ±0.1%, 25±10°C				
	Output Frequency Resolution	Digital command: 0.01Hz, Analog command: max. output frequency x 0.03/60Hz (±11 bit)				
	Overload Tolerance	Light duty: 120% of rated current for 1 minute; Normal duty: 120% of rated current for 1 minute;160% of rated current for 3 seconds				
Frequency Setting Signal	0~+10V, 4~20mA, 0~20mA, pulse input					
Accel. / Decel. Time	0.00~600.00/0.0~6000.0 seconds					
Main control function	Fault restart	Torque limit	Smart stall	Dwell	3-wire sequence	
	Speed search	Parameter copy	JOG frequency	Slip compensation	Torque compensation	
	S-curve accel/decel	Energy saving control	Accel/Decel. Time switch	Frequency upper/lower limit settings	Momentary power loss ride thru	
	PID control (with sleep function)	Auto-Tuning (rotational, stationary)	DC injection braking at start/stop	BACnet Communication	MODBUS communication (RS-485 Rj45, max. 115.2 kbps)	
	Over-torque detection				16-step speed (max)	
Fan Control	230V series: Models higher than VFD150CP23A-21(included) are PWM control; Models lower than VFD150CP23A-21(not included) are on / off switch control. 460V series: Models higher than VFD150CP43A-21(included) are PWM control; Models lower than VFD150CP43A-21(not included) are on / off switch control.					
Protection Characteristics	Motor Protection	Electronic thermal relay protection				
	Over-current Protection	Normal Duty: Over-current protection for 240% rated current Current clamp ² Normal duty: 170~175% _A				
	Over-voltage Protection	230: drive will stop when DC-BUS voltage exceeds 410V 460: drive will stop when DC-BUS voltage exceeds 820V				
	Over-temperature Protection	Built-in temperature sensor				
	Stall Prevention	Stall prevention during acceleration, deceleration and running independently				
	Restart After Instantaneous Power Failure	Parameter setting up to 20 seconds				
	Grounding Leakage Current Protection	Leakage current is higher than 50% of rated current of the AC motor drive				
International Certifications	  GB 12668.3					

LISA 2 SIINUSFILTRI ANDMELEHT

Input data	
Rated voltage	3 x 400 V
Voltage range	up to 3 x 520 V
Voltage drop	typ. 3 x 30 V
Rated current	32.00 A
Frequency range	0 - 120 Hz
Output data	
for motor rated output approx.	15.00 kW
for inverter output approx.	22.00 kVA
Standards and security	
Approvals	C-UL-US
Protection index	IP 00
Safety class (prepared)	I
Ambient temperature max.	40 °C
Class of Insulation System	F
Test voltage	3000 V, 50 Hz
General data	
Application	suitable for installation in equipments and systems
Switching frequency	3 - 8 kHz
Mechanical data	
Type	open type
Terminals	screw-type terminals
Wire range	16 mm ²
Fixing screws	M6
Weight	19.00 kg
Order numbers	
Order Number	SFB 400/32

LISA 3 ELEKTRISKEEM

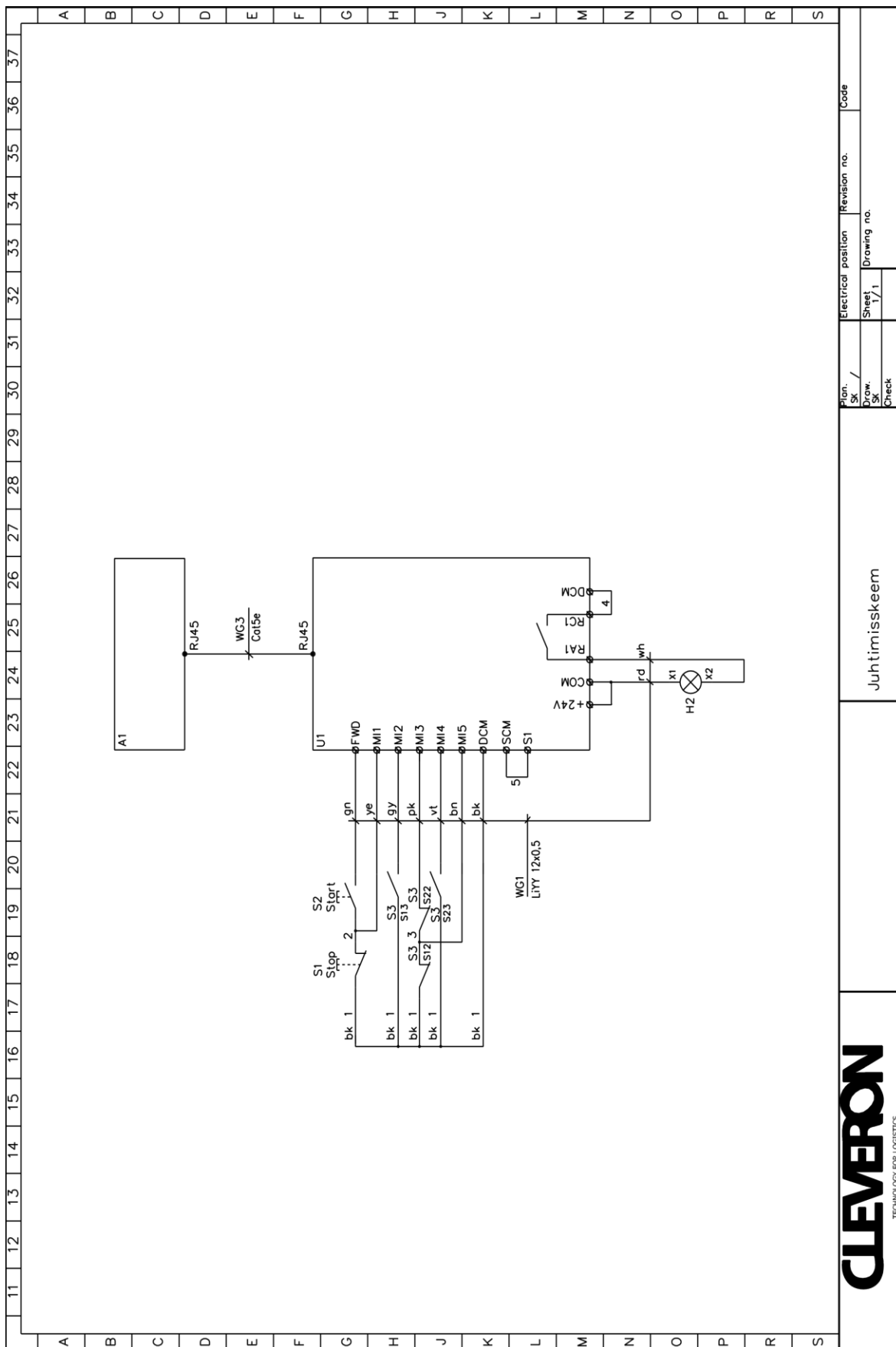


CLEVERON
TECHNOLOGY FOR LOGISTICS

Elektriskeem

Plan / SK	Electrical position	Revision no.	Code
Draw / SK	Sheet	Drawing no.	
Check	1/2		

LISA 4 JUHTIMISKEEM KÄSIJUHTIMISELE

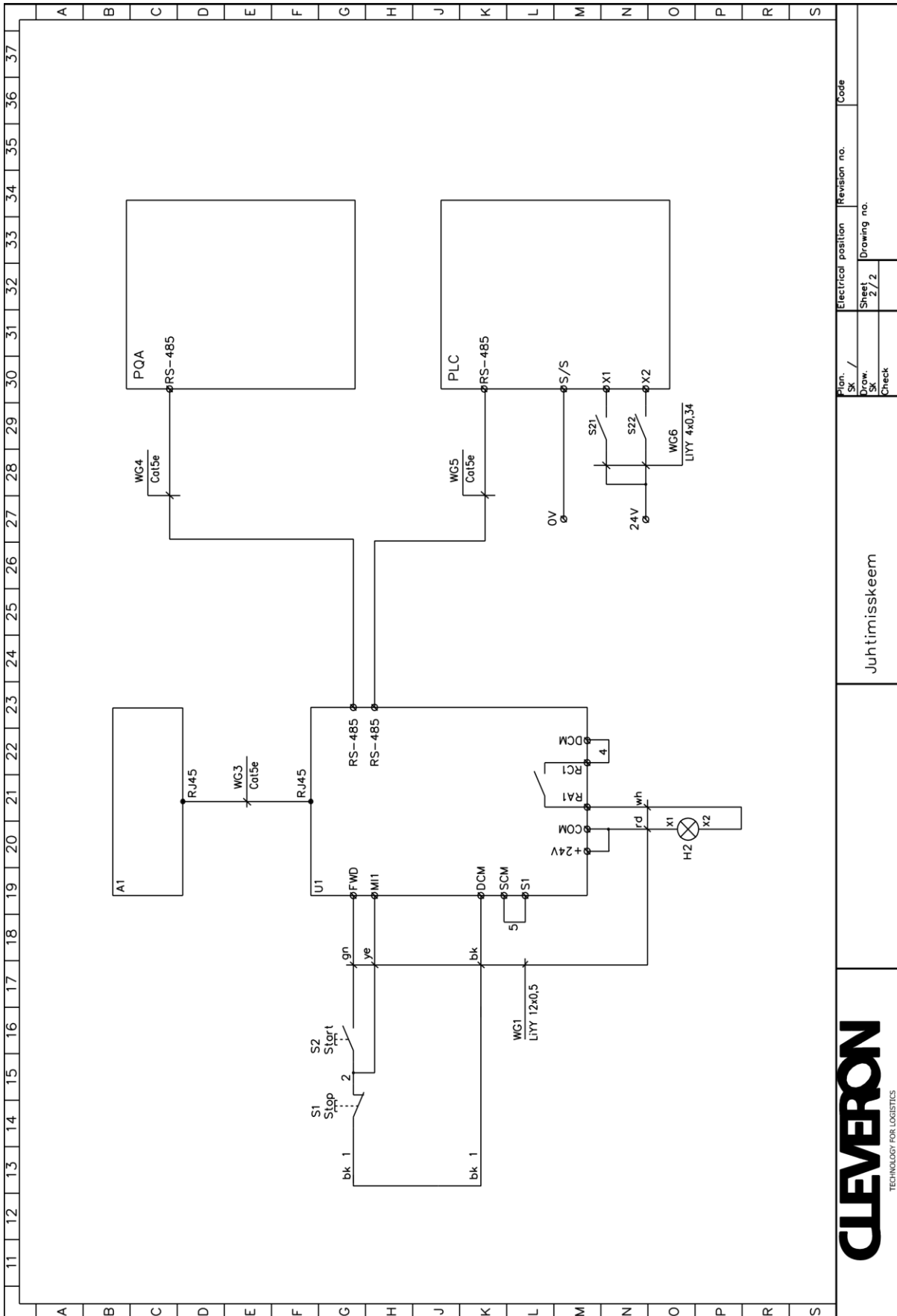


CLEVERON
TECHNOLOGY FOR LOGISTICS

Juhtimiskeem

Pln. Sk. / Dra. Sk.	Electrical position	Revision no.	Code
Check	Sheet 1/1	Drawing no.	

LISA 5 JUHTIMISKEEM AUTOMAATJUHTIMISELE



Plan. SK /		Electrical position	Revision no.	Code
Draw. SK		Sheet	Drawing no.	
		2 / 2		
		Check		
Juhtimiskeem				

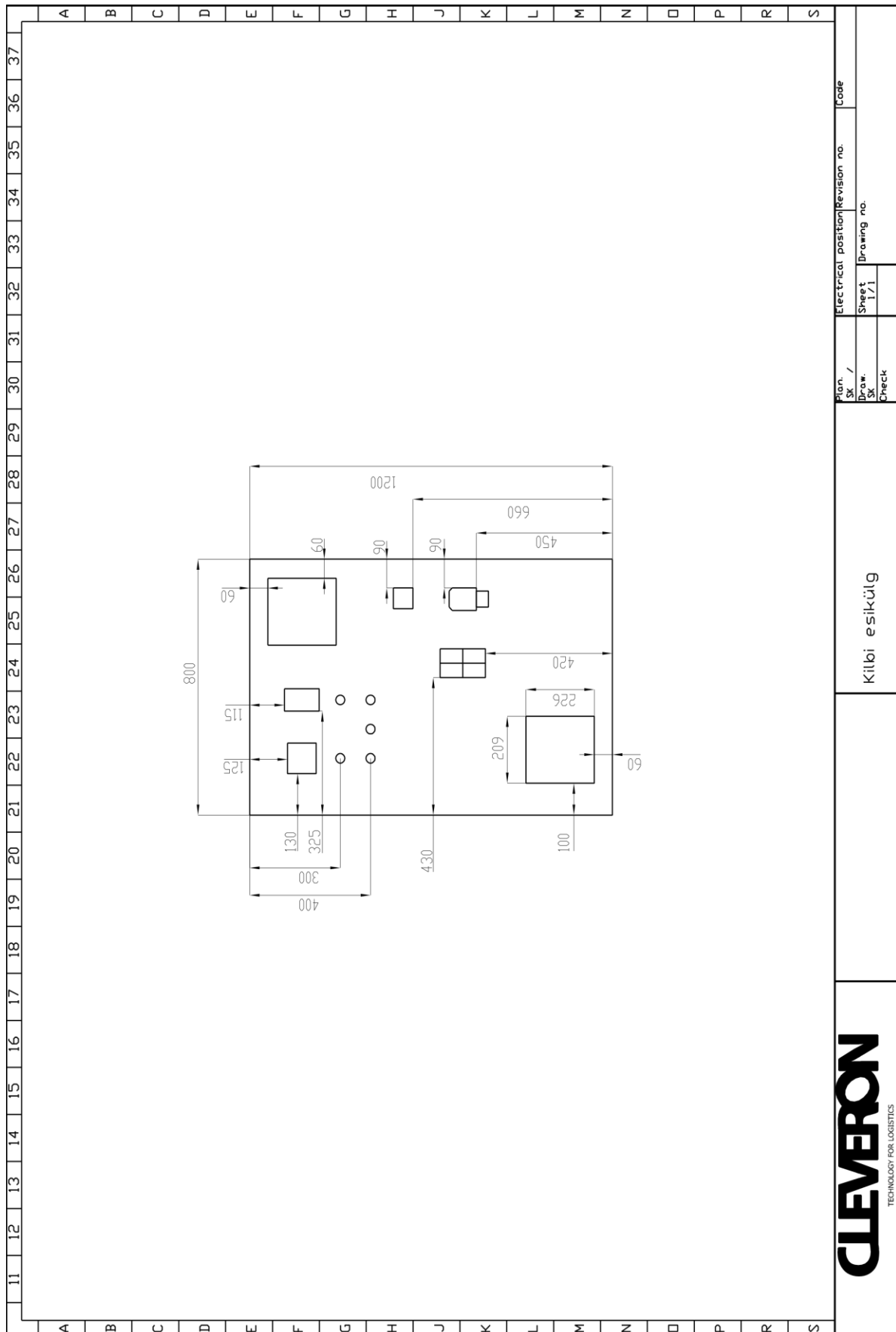
LISA 6 SAGEDUSMUUNDURI PARAMEETRID KÄSIJUHTIMISEL

Parameetri number	Seadistatud väärtus	Parameetri selgitus (Valitud parameeter)
00-17	8kHz	Lülitussagedus
00-21	1	Sisend käskude allikas (Välised terminalid)
01-00	60 Hz	Maksimum töö sagedus
01-01	60 Hz	Mootor 1 maksimum sagedus
01-02	208 V	Mootor 1 maksimum pinge
01-10	60 Hz	Maksimum väljund sagedus
01-12	1 s	Kiirenduse aeg
01-13	1 s	Pidurduse aeg
01-35	60 Hz	Mootor 2 maksimum sagedus
01-36	240 V	Mootor 2 maksimum pinge
01-37	50 Hz	Mootor 2 keskmine sagedus
01-38	230 V	Mootor 2 keskmine pinge
02-00	2	Töötamise kontrollmeetodi valik (kolme juhtmega)
02-02	1	Sisendi MI2 funktsioon (Sageduse aste 1)
02-03	2	Sisendi MI3 funktsioon (Sageduse aste 2)
02-04	3	Sisendi MI4 funktsioon (Sageduse aste 3)
02-05	14	Sisendi MI4 funktsioon (Mootori vahetus)
02-13	1	Väljundreele 1 funktsioon (Töötamise indikeerimine)
04-00	60 Hz	Sageduse aste 1
04-01	50 Hz	Sageduse aste 2
04-03	60 Hz	Sageduse aste 3

LISA 7 SAGEDUSMUUNDURI PARAMEETRID AUTOMAATJUHTIMISEL

Parameetri number	Seadistatud väärtus	Parameetri selgitus (Valitud parameeter)
00-17	8kHz	Lülitussagedus
00-21	1	Sisend käskude allikas (Välised terminalid)
01-00	60 Hz	Maksimum töö sagedus
01-01	60 Hz	Mootor 1 maksimum sagedus
01-02	300 V	Mootor 1 maksimum pinge
01-10	60 Hz	Maksimum väljund sagedus
02-00	2	Töötamise kontrollmeetodi valik (kolme juhtmega)
02-13	1	Väljundrelee 1 funktsioon (Töötamise indikeerimine)
09-00	2	Seadme aadress
09-01	115,2 Kbps	Kiirus
09-04	13	Ühenduse protokoll (8N2 RTU)

LISA 8 KILBI ESİKÜLJE JOONIS



CLEVERON
TECHNOLOGY FOR LOGISTICS

Kilbi esikülg

Plan. / Electrical position / Revision no. / Code

Sx. / Drawing no. / Sheet / Drawing no.

Draw. / Check / 1/1

LISA 9 KATSESEADME VÄLJUNDI MÕÖTETULEMUSED

Väljundpinge	Sagedusmuunduri pinge U1 (V)	Voolutugevus I1 (A)	Sagedusmuunduri pinge U2 (V)	Voolutugevus I2 (A)
240	246,8	6,81		
235	242,5	6,72	248,0	13,44
230	237,0	6,63	243,0	13,25
225	232,5	6,56	238,0	13,12
220	227,5	6,47	233,0	12,94
215	223,0	6,40	228,0	12,75
210	218,0	6,31	223,0	12,56
205	213,0	6,22	218,0	12,38
200	208,0	6,13	213,0	12,25
195	203,0	6,06	208,0	12,06
190	198,0	5,97	203,0	11,87
185	193,0	5,88	198,0	11,68
180	188,0	5,78	193,0	11,50
140	148,0	5,00	153,0	10,00