



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**Ventilatsiooniseadmete sünkroonmootorite  
sujuvkäivituse süsteemi kasutuslahendus ja  
rakendamine tootmises**

**Operating solution of a soft start system for synchronous motors  
of ventilation equipment and its application in production**

EDJR16/17 ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Dmitri Tihhonravov

Üliõpilaskood: 183422

Juhendaja: Viktorija Mironova,

Nooremlektor

# 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.

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

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele

lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS**

Mina Dmitri Tihhonravov (sünnikuupäev: 01.03.1999)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Ventilatsiooniseadmete sünkroonmootorite sujuvkäivituse süsteemi kasutuslahendus ja rakendamine tootmises mille juhendaja on Viktorija Mironova,
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas 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 punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

# TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Dmitri Tihhonravov, 183422 EDJR

Õppekava, peeriala: EDJR 16/17, Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine

Juhendaja(d): Nooremlektor, Viktorija Mironova, viktorija.mironova@taltech.ee

Konsultant: Allan Kivilo, Peaenergeetik

Enefit Kaevandused, +372 336 5386, allan.kivilo@enefit.ee

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Ventilatsiooniseadmete sünkroonmotorite sujuvkäivituse süsteemi kasutuslahendus ja rakendamine tootmises

(inglise keeles) Operating solution of a soft start system for synchronous motors of ventilation equipment and its application in production

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida peatuulutuse ventilaatori number 3 toite- ning juhtimisskeeme, materjale
2. Uurida peatuulutuse ventilaatori number 3 võimalikke sujuvkäivituse lahenduste rakendamise võimalusi ning otstarbekust
3. Pikendada seadmete eluiga ning tarbitava käivitusvõimsuse vähendamine (tarbitava elektrivõimsuse kokkuhoid)
4. Vältida suuri käivitusvoolusid ja vältida kulukaid remonditöid

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö ülesande koostamine, töö struktureerimine ja planeerimine	22.02.2022
2.	Dokumentide ja materjalide uurimine, muu vajaliku info leidmine	15.03.2022
3.	Teostamine koormuse siduri arvutused	15.04.2022

4.	Lõputöö koostamine ja vormistamine, kontrollimine, muudatused jne.	30.04.2022
5.	Lõputöö tõlkimine eesti keelde	10.05.2022
6.	Lõputöö lõplik variand (PDF)	15.05.2022
7.	Lõputöö kaitsmine	08.06.2022

**Töö keel:** Eesti keel                    **Lõputöö esitamise tähtaeg:** “.....”..... 20.....a

**Üliõpilane:** Dmitri Tihonravov                    “.....”..... 20.....a

/allkiri/

**Juhendaja:** Viktorija Mironova                    “.....”..... 20.....a

/allkiri/

**Konsultant:** Allan Kivilo                    “.....”..... 20.....a

/allkiri/

**Programmijuht:** Veroonika Shirokova                    “.....”..... 20.....a

/allkiri/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. MOOTORI KÄIVITAMISE VIISID .....	10
1.1 Sujuvkäivituse süsteem.....	11
1.2 Sagedusmuundur .....	13
1.3 Sujuvkäiviti ja sagedusmuunduri võrdlus.....	14
2 PRAKTILINE OSA .....	15
2.1 Tööprotsess .....	17
2.2 Järeldus .....	18
3 ALTERNATIIVNE MEETOD SÜNKROONMOOTORI KÄIVITAMISEKS.....	19
3.1 Lahenduse ettepanek.....	19
4 ALTERNATIIVNE SUJUVKÄIVITUSE SÜSTEEMI KASUTATUD SEADMED .....	20
4.1 Elektrimootor BAO2-315M4 .....	20
4.2 Sagedusmuundur ACS880-07-0271A-7 .....	22
4.3 Elektromagnetiline sidur EZA630 .....	23
4.4 Siduri valik vastavalt käivitusmootori parameetritele .....	25
5 SEADMETE TÖÖ PÕHIMÕTE .....	27
KOKKUVÕTE .....	30
SUMMARY.....	31
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	32
LISAD .....	34

## **EESSÕNA**

Käesoleva lõputöö teema pakkus välja AS Enefit Power peaenergeetik Allan Kivilo. Lõputöös on uuritud peatuulutuse ventilaatorseadmete sünkroonmootorite sujuvkäivituse eri süsteeme, analüüsitud kasutusvõimalused eri tehniliste lahenduste puhul, valitud ning rakendatud kõige optimaalsem käivitussüsteem. Teema loomise, lõputöö eesmärkide ja ülesannete püstitamise ajal viibis lõputöö autor erialapraktikal ettevõttes AS Enefit Power.

Siinkohal soovib autor tänada oma juhendajat Viktorija Mironovat, ettevõttepoolset juhendajat Allan Kivilot ja Marek Tulkot ning kogu varahalduse talituse kollektiivi, kes aitas kaasa käesoleva lõputöö kirjutamisele. Samuti soovib autor tänada TalTech Virumaa kolledži vanemlektorit Tatjana Baraškovat, kes aitas autorit lõputöö praktilises osas ning pakkus välja erinevaid materjale lõputöös kasutamiseks.

Võtmesõnad: energiatehnoloogia, ventilaator, sujuvkäivitus, kaevandus, diplomitöö.

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

SM - sünkroonmootor

JK – juhtimiskilp

T – trafo

M – motor

A – amper

V - voltid

kVA – kilovolt amper

kW - kilovatt

DC – alalisvool

AC – vahelduvvool

I – pinge

In – nominaal pinge

Rpm – pööret minutis

Hz – herts

Cos  $\varphi$  – võimsustegur

°C - kraadi Celsiuse

*Tl* – takistusmoment koormuse poolel



## SISSEJUHATUS

Praegu kasvab elektritarbimine maailmas iga aastaga, kuna kasutusele võetakse järjest rohkem seadmeid, mis seda energiat tarbivad, mis mõjutab suuresti iga maailma riigi majanduskomponenti. Eesti pole selles osas erand, sest tema territooriumil on palju olulisi tööstusharusid ja nende eluline tegevus nõuab tohtul hulgal sama elektrienergiat. Üks neist tööstusharudest on Eesti Energia AS-i kuuluv Estonia kaevandus. Kaevandus varustab Eestit elektrienergia ja keemiasaaduste valmistamiseks vajaliku põlevkiviga. Estonia kaevanduses toimub põhitöö maa all, kus kaevandatakse põlevkivi. Põlevkivi kaevandamine on keeruline ja mitmetahuline protsess, mis hõlmab nii inimesi kui ka erinevaid tehnosüsteeme ja tehnoloogilisi seadmeid, sealhulgas võimsaid ventilatsioonipuhutakse sisse, mis varustavad ettevõtte maa-alust osa vajaliku õhu kogusega. Peamised ventilatsiooniseadmed kasutavad 500kW sünkroonmootoreid koos 6kV otsekäivitussüsteemiga. Sellisel käivituslahendusel on teatav probleem, nimelt ulatuvad käivitusvoolud ligikaudu 360A-ni, ületades kordades nimivoolu. Neid ventilatsiooniseadmeid käivitatakse töögraafiku alusel, sageli mitu korda nädalas, olenevalt nõutavast tarnitava õhuhulgast ja ettevõtte ajakavast. Sagedased otsekäivitused põhjustavad mootori talitlushäireid (mehaanilised rikked on seotud dünaamiliste löökidega käivitamisel, mootori mähise isolatsioon degraduurub suurte käivitusvoolude tõttu).

Seadmete vahetamine on keeruline ja aeganõudev protsess, remont on pikk ja kulukas. Sellega seoses alustati optimaalse lahenduse uurimist ja analüüsimist, et vähendada käivitusvoolu ja seeläbi suurendada paigaldise töökindlust ja vastupidavust tervikuna.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on leida optimaalne lahendus olemasolevale suurte käivitusvoolude probleemile, tõsta seadmete töökindlust ja vähendada vooluvõrgust saadava käivitusvõimsuse tarbimist.

## **1. MOOTORI KÄIVITAMISE VIISID**

Mootori käivitamine on üks ülimalt tähtis protsess, kuna see kutsub esile mootori paigaltvõtu ja kiirendamise, mis omakorda kutsuvad esile suure momendi tekkimise ja suurema voolu tarbimist võrgust. Igat käivitusprotsessi iseloomustavad pinge voolu, või sageduse momendi diagrammid. Normaalkäivitusel võib käivitusvool olla 3-4 korda suurem nimivoolust, raskel käivitusel 4-5 korda. Kui võrrelda käivitamist sujuvkäivitiga teiste käivitusviisidega, siis võib märgata, et sujuvkäiviti kiirendusramp on tõepoolest sujuvam. Kiirendusrambi kestus tuleb valida vastavalt koormusele, liiga suurele koormusele ei tohi määrata lühikese kestusega käivitusrampi, kuna see võib põhjustada ülekoormuskaitse rakendumise. Samuti ei saa väikesele koormusele programmeerida liiga pika kestusega käivitusrampi, kuna see võib põhjustada liigkoormuskaitse rakendumise. [1]

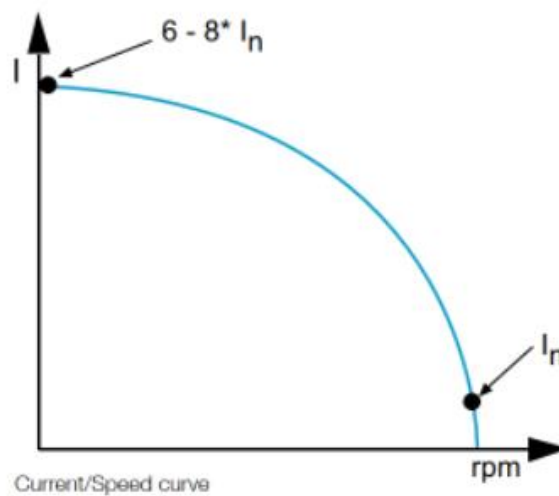
Olles tutvunud sujuvkäivitusüsteemide tööpõhimõttega, seisis autor silmitsi ülesandega uurida võimalikke sujuvkäivitusüsteemide variante, mida projektis kasutada saab.

## 1.1 Sujuvkäivituse süsteem

Sujuvkäivituse süsteem on seade, mida saab lisada tavapärasele elektrimootorile, võimaldades alternatiivset käivitusmeetodit. Selle seadme eesmärk on vähendada mootori koormust mootori tavapärasel käivitusfaasil. [2]

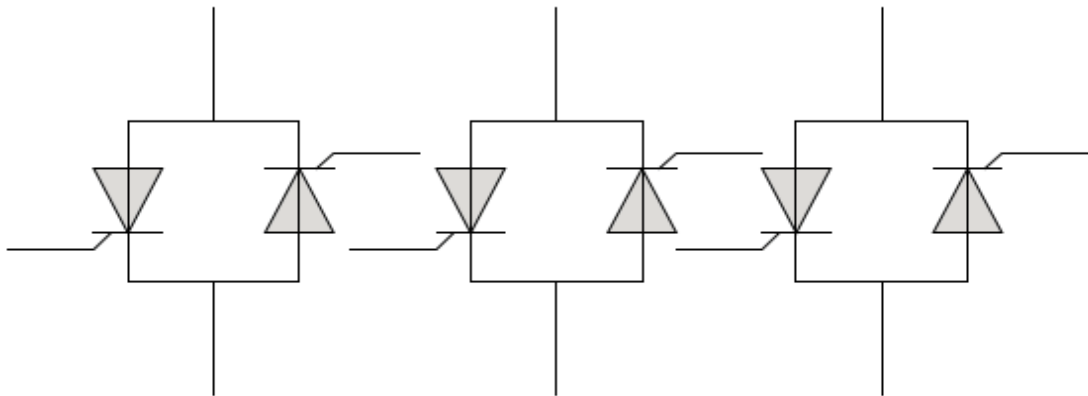
Antud seade annab mootorile kasvavat pinget, mis võimaldab sujuvat võimsuse suurenemist. Seetõttu ei toimu järsku võimsuse suurenemist, mis võib mootorit kahjustada. Kui enamiku tüüpiliste käivituste puhul rakendatakse mootorile kõiki elektrivoolusid samaaegselt, siis sujuvkäivitus süsteem suurendab võimsust järkjärgult. See vähendab seadme üldist kulumist, muutes mootori kiire rikke tõenäosuse väiksemaks. [2]

Sujuvkäiviti põhiülesanne on kontrollida mootori ahelaid läbivat pinget. See saavutatakse mootori pöördemomendi piiramisega. See omakorda võimaldab pinget alandada, et tagada sujuv voolumuutus, kuna suured käivitusvoolud võivad olla 5–8 korda suuremad kui nimivool (vt Joonis 1.1), mille tagajärjeks on tugev löök ja mootori kulumine. [2]



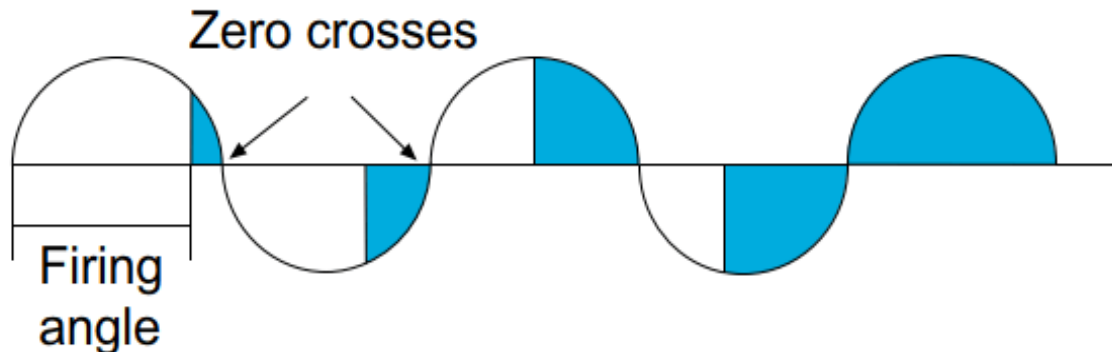
Joonis 1.1 Nimivoolu erinevus käivitusvoolust [2]

Sujuvkäiviti koosneb paljudest paralleelsetest türistoritest (vt Joonis 1.2); kaks igas faasis, mis on pooljuhtkomponendid. [2]



Joonis 1.2 Paralleelsete türistoride ehitus [2]

Sujuvkäivitamise sooritamisel antakse türistoritele märku nii, et pinge siinuslaine (vt Joonis 1.3) igast pooltsüklist on läbitud ainult viimane osa. Käivitamise jooksul rakendub signaal üha varem, võimaldades järjest suuremal osal pingest türistoreid läbida. Lõppude lõpuks, signaal saadetakse kohe pärast nullist möödumist, mis võimaldab 100 % pinget läbida. [2]



Joonis 1.3 Ilmekas näide türistorite tööst [2]

Sujuvpeatusega juhtub vastupidi. Esmalt lastakse türistoridest läbi täispinge ning seiskamise jätkudes saadetakse stardisignaal aina hiljem, lastes järjest vähem pinget läbi kuni lõpppinge saavutamiseni. Pärast seda mootor ei saa siis enam pinget saada ja mootor seiskub. [2]

## 1.2 Sagedusmuundur

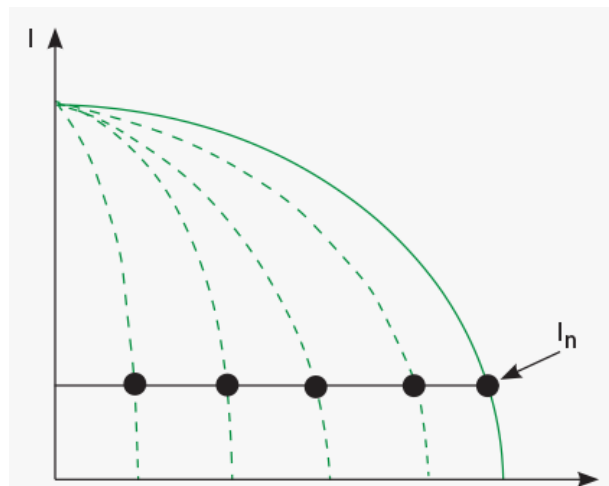
Ventilatsioonisüsteemid tekitavad elektrisüsteemile suure koormuse, mistõttu energiatarbimise vähendamine on lõputöö üks peamisi prioriteete. [4]

Reeglina kasutatakse kaevandustes suure jõudlusega ventilaatoreid. Suured mõõtmed toovad kaasa käivitusaja pikeneduse, st pikeneb aeg võimsuse rakendamisest kuni nimikiiruse saavutamiseni. Tulenevalt sellest elektrimootorile avaldub pikaajaline käivitusvoolude mõju. [4]

Sagedusmuundur koosneb kahest põhikomponentplokist, millest üks muundab vahelduvvoolu (50 või 60 Hz) alalisvooluks, teine alalisvoolu vahelduvvooluks sagedusega 0 kuni 250 Hz. Seega pakub sagedusmuundur laia valikut mootori kiiruse reguleerimist. [4]

Standardvarustus (kaitselülitid, kontaktorid ja mootorikäivitajad) ei ole mõeldud pidevateks ülekoormusteks. Suurema nimivooluga lülitusseadme kasutamine vähendab mootorikaitsesüsteemi tundlikkust, mis toob kaasa mootori ülekoormuse voolutundlikkuse kõrgema läve tõttu. Selle probleemi saab lahendada sagedusmuunduri abil ventilaatori käivitamiseks ilma pikaajalise ülekoormuseta. [4]

Käivitamisel tõstab sagedusmuundur sagedust 0 Hz-lt võrgusagedusele. Kuna sagedust suurendatakse järk-järgult, väldime sel viisil suuri käivitusvoolusid ja pikendame mootori eluiga (vt Joonis 1.4). [4]



Joonis 1.4 Vooluskeem sagedusmuundurit kasutades [4]

### 1.3 Sujuvkäiviti ja sagedusmuunduri võrdlus

Sagedusmuundurid ja sujuvkäiviti süsteem on kaks erinevat seadet. Sagedusmuundur teisendab sagedust ja pinget, sujuvkäiviti aga ainult mootori mähistele rakendatud pinget. [5]

Seadme valimise otsus sõltub konkreetse ülesande jaoks vajalikust juhtimistasemest.

Otsuse tegemisel võetakse arvesse muid tegureid (vt Tabel 1.3):

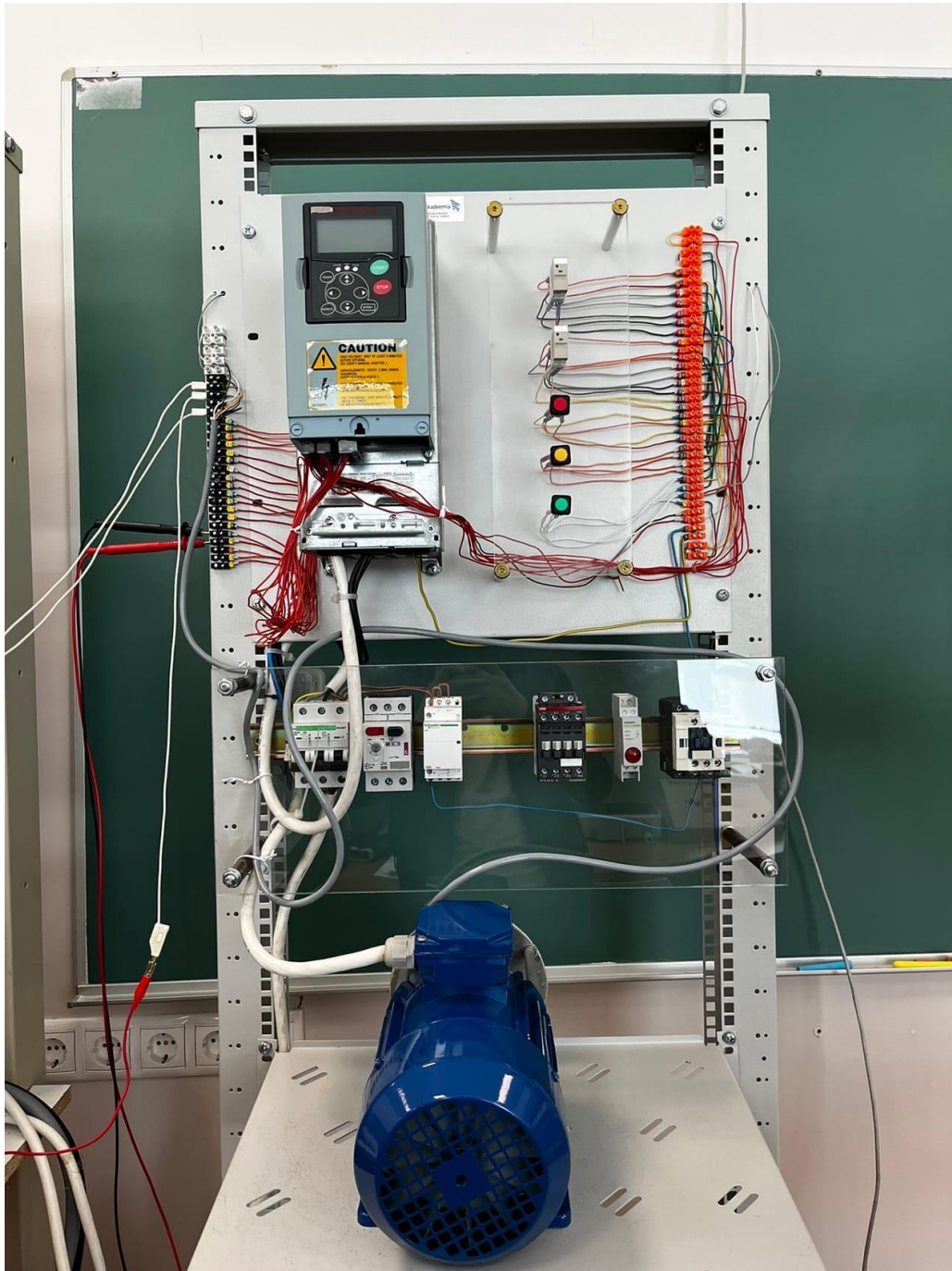
Tabel 1.3 Sagedusmuunduri ja sujuvkäiviti süsteemi erinevused

Kiiruse reguleerimine	Hind	Suurus
Kui konkreetne rakendus nõuab suurt käivitusvoolu, kuid ei vaja kiiruse reguleerimist, siis sujuvkäiviti süsteem on parim valik. Aga kiiruse paremaks reguleerimiseks on vaja sagedusmuundurit. [5]	Hind on konkreetse seadme valimisel oluline tegur. Kuna sujuvkäivituse süsteemil on vähem juhtimisfunktsioone, on selle hind vastavalt madalam kui sagedusmuunduril. [5]	Suuruse poolest on sujuvkäiviti süsteem tavaliselt väiksem kui enamik sagedusmuundureid. [5]

Selle tulemusena saavad sagedusmuundur ja sujuvkäiviti mootori kiirendamisel või aeglustamisel täita sarnaseid funktsioone. Peamine erinevus nende kahe vahel on see, et sagedusmuundur saab muuta mootori kiirust, samas kui sujuvkäiviti juhib ainult selle mootori käivitamist ja seiskamist. Hinna ja suuruse poolest viitab kõik sujuvkäiviti valikule. [5]

## 2 PRAKTILINE OSA

Praktiline osa viidi läbi TalTech Virumaa kolledži laboris, milles katsetati ja analüüsiti praktikas mootori käivitamise meetodeid sagedusmuunduri abil. Eksperimendi läbiviimiseks valmistati ja kasutati TalTech Virumaa Kolledži HITSA projekti töölaud (vt Joonis 2), kus mootoriga oli ühendatud sagedusmuundur ja mootor oli kaug- ja otsejuhtimise režiimil. Sagedusmuunduri juhtimisskeem on toodud Lisa 5 ja Lisa 6).



Joonis 2 Töö stend TalTech Virumaa kolledžis

Kasutatud seadmed –

- Asünkroonmootor 300 W
- Enkooder – elektrimootori võlli pöörlemise erinevate parameetrite mõõtmiseks kasutatav elektrooniline seade
- Sagedusmuundur
- Elektriliste suuruste (vool ja pinge) allikas ja arvesti SENECA poolt.

Vastavalt ajami juhtimise seadusele kasutas Mihhail Kostenko kahte ajami juhtimisrežiimi - lineaarne režiim ja ruutrežiim (vt Tabel 2). Mihhail Kostenko avastas 1925 a. AC mootoriga elektrijami kontrollimise seaduse. Selline seadus on kasutusel optimaalse režiimi saavutamiseks iga sageduse ja koormuse momendi rakendamisel. Selleks on tarvis muuta masina pinge suhtelist väärtust proportsionaalselt sageduse suhtelise väärtusega. Teguri väärtuseks on ruutjuur magnetmomentidest suhtelisest väärtusest. [15]

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{\Phi_1 f_1}{\Phi_2 f_2} \quad [15]$$

- U – mähise pinge;
- E – elektromotooriline jõud õhuvahega;
- $\Phi$  – magnetvoog;
- f – pöörlemissagedus.

$$\frac{p_1}{p_2} \approx \frac{\Phi_1^2}{\Phi_2^2} \rightarrow \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\sqrt{p_1}}{\sqrt{p_2}} - \text{ruutjuur magnetmomentidest suhtelisest väärtusest} \quad [15]$$

- p - magnetiline moment.

$$\gamma = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\sqrt{p_1 f_1}}{\sqrt{p_2 f_2}} = \alpha \sqrt{\mu} \quad [15]$$

- $\gamma$  - mootori suhteline pinge;
- $\mu$  - suhteline moment;
- $\alpha$  - suhteline sagedus.

Suhtelisetäpsusega ( $\omega_1 \approx \omega$ ) koormuse mehaanilise karakteristika esitatakse valemiga  $Tl = C\omega k$ . Suhtelise ühikutes  $\mu = \alpha k$  reguleerimisvõime saab esitada niimoodi:  $\gamma = \alpha \sqrt{\mu} = \alpha (1 + k^2)$ . [15]



Tabel 2. Lineaarne režiim ja ruudurežiim [15]

Reguleerimisseadus	Koormuse tüüp		
	Staatilise talitlusel (Lineaarne režiim) $T_1 = const; k = 0$	Veentilkoormusel (Ruutrežiim) $T_1 = C \omega^k; k = 2$	Püsivõimsus $T_1 \omega = const; k = -1$
	$\gamma = \alpha$	$\gamma = \alpha^2$	$\gamma = \sqrt{\alpha}$

## 2.1 Tööprotsess

Töö käigus kasutati sagedusmuundurit VACON-NX-AC [14], mille abil valiti soovitud mootori käivitamise režiim. Järgmise sammuna ühendati enkooder andurina mootori pöörete lugemiseks, samuti koormuse simuleerimiseks, mida on vaja kiirendada. Toitevoolu reguleeriti SENECA poolt toodetud allika ja elektrisuuruste (voolu ja pinget) arvestiga, mis genereerib ja mõõdab voolu vahemikus 0–20 mA ning pinget 0–10 V.

Valiti esimene mootori juhtimisrežiim – lineaarne režiim. Katse toimus kahes etapis:

- Sujuv start
- Järsk start

Pärast mootori käivitamist tehti vooluregulaatori abil ühtlane voolu suurendamine, mille käigus registreeriti parameetrid, mille juures mootor hakkas pöörlema, mille järel voolu alandati, et fikseerida, millistel parameetritel seiskamine toimub. Tulemuse parameetrid on toodud Tabel 2.1.

Valiti teine mootori juhtimisrežiim - ruutrežiim. Katse viidi läbi sarnasel viisil. Tulemused on toodud tabelis Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Eksperimendi tulemused

Juhtimisrežiim	Lineaarne režiim				Ruutrežiim			
	Sujuv start		Järsk start		Sujuv start		Järsk start	
	$I_{käiv}$	$I_{seis}$	$I_{käiv}$	$I_{seis}$	$I_{käiv}$	$I_{seis}$	$I_{käiv}$	$I_{seis}$
$I, mA$	2,2mA	0,5mA	0,7mA	0,4mA	3mA	2,5mA	2,6mA	2,2mA

On teada, et sujuvkäivitamise režiim võimaldab vähendada mootori voolutarbimist. Kuna tootmismootor nõuab käivitamiseks suurt käivitusvoolu, mis on võetud üldisest elektrisüsteemist, ja see mõjutab teiste energiatarbijate tööd; siis tekkis lõputöö eesmärk: töötada välja tingimused mootori sujuvaks käivitamiseks ja uurida seda režiimi.

## 2.2 Järeldus

Katse käigus uuriti mootori kahte reguleerimisrežiimi – lineaarset režiimi ja ruutrežiimi sagedusmuunduri abil. Katse käigus rakendas autor antud režiime praktikas, et teada saada, kas sujuvkäiviti süsteemid, nimelt sagedusmuundur, aitavad vältida kõrgeid käivitusvooge ja vähendada üldisest süsteemist tarbitavat elektrienergiat.

Käivitusvool võetakse vooluvõrgust ja juhitakse staatorimähisele, mis on võrguga ühendatud sagedusmuunduri kaudu. Seejärel juhitakse mootori sisselülitamisega juhtvool. Kuna staatori vool, mis on sujuval käivitamisel väiksem kui nominaalne, on magnetväli, mis on ka normaalsest väiksem, ei saa enam rootori magnetvälja haarata ja rootor ei pruugi pöörlemist alustada. Juhtvool, mis juhitakse juhtimisahelasse, on faktiliselt türistoralaldi juhtsignaal. Väikeste käivitusvoolude tõttu türistorid ei avane, seetõttu nende avamiseks ja rootori pööramiseks on vaja suurt juhtvoolu. Asünkroonmootoris olev rootor ei ole ühendatud võrku, selles indutseeritakse vool magnetilise induktsiooni emj kaudu.

Füüsilisse mudelisse sisseehitatud asünkroonmootori kaugjuhtimisel jäi sujuva käivitamise režiimil käivitusmomendist puudu. Pöörlemiskiirus oli madal, nii et käivitusmoment oli vaja lisada käsitsi, kui järsul käivitamisel hakkas mootori võll iseseisvalt pöörlema. Kuid mitte alati ei ole sujuv käivitus sobiv ajamite juhtimiseks, eriti seal, kus on vaja suuri käivitusmomente.

Katsetuste käigus saadud andmetest võib järeldada, et tänu sagedusmuundurile on suudetud vähendada käivitusvooge ja ühisest võrgust tarbitavat elektrienergiat.

### **3 ALTERNATIIVNE MEETOD SÜNKROONMOOTORI KÄIVITAMISEKS**

Kuna ülaltoodud meetodid ei sobi majanduslikel põhjustel, siis leiti teine variant, mida suurtööstuses kasutatakse harva.

Mootori käivitamise meetodit asünkroonmootoriga kasutatakse sünkroonmootori kiirendamiseks umbes 50 % nimikiirusest. Pärast kiiruse saavutamist soovitud väärtuseni lülitub sisse sünkroonmootori ergutussüsteem ja toimub üleminek otsekäivitamisele 6 kV käivitusseadmetelt. Sellel momendil toimub käivitusmootori väljalülitamine käivitusseadmetest. Kahe mootori võllid seotakse elektromehaanilise siduri abil.

Sünkroonmootori kiirendusmootoriga käivitamise eeliseks on see, et asünkroonmootoril on väiksem võimsus, vastavalt nõutakse vähem võimsust ja odavamad juhtimisseadet. Suurte sünkroonmootorite puhul on see kõige kuluefektiivsem lahendus.

Sellest valikust on saanud suurepärase alternatiiv sünkroonseadmete sujuvkäivitile ja sagedusmuundurile, kuna nende süsteemide turuhind on liiga kõrge.

#### **3.1 Lahenduse ettepanek**

Alternatiivse meetodi rakendamiseks valiti järgmine sujuvkäivitamise meetod: kiirendada peamise ventilaatori 500 kW sünkroonmootor, kasutades 250 kW asünkroonmootorit, edastada pöördemomendi elektromagnetilise siduri abil. 1500 p/min saavutamisel ergastatakse sünkroonmootori mähis, misjärel lülitub sidur välja paralleelselt kiirendusmootori deaktiveerimisega ja sünkroonmootor jätkab kiirendamist nimikiiruseni, saades otsekäivitusüsteemilt 6 kV pinget. Kiirendusmootori käivitamise seadmetena kasutatakse sobiva võimsusega sagedusmuundurit ja võllile koormust ja pöördemomenti taluma sobivat elektromagnetsidurit.

## 4 ALTERNATIIVNE SUJUVKÄIVITUSE SÜSTEEMI KASUTATUD SEADMED

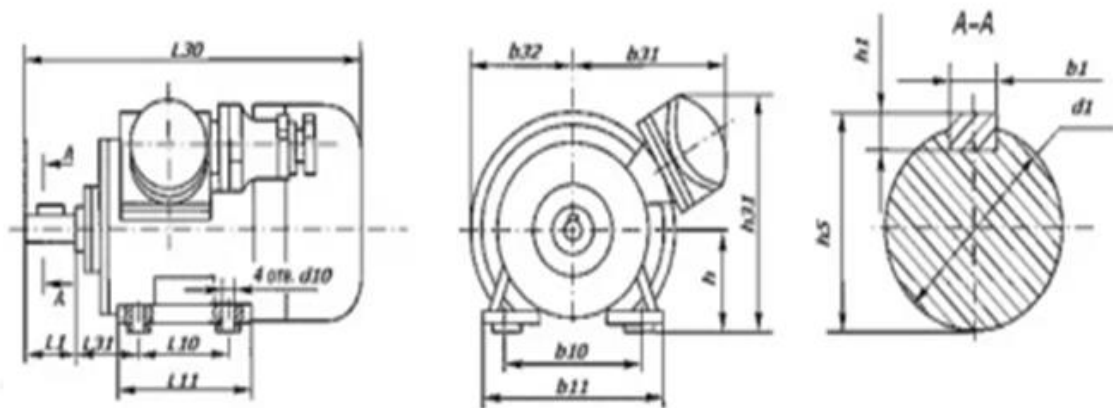
### 4.1 Elektrimootor BAO2-315M4

Pika tööajaga BAO-tüüpi mootorite seeria on praktikas näidanud kõrget töökindlust ja vastupidavust. Seda tüüpi mootoreid toodetakse nii keskpingele 6/10 kV kui ka madalpingevõrkudele 380/690 V. Lisa 4-I on toodud BAO2 mootorite seeria omadused.

BAO2 315M4 250 kW asünkroonmootor valiti mitmel põhjusel: majanduslikku poolt arvestades oli vaja saavutada ettevõttes olemasolevate ressursside võimalikult ratsionaalsem kasutamine. Antud seeria elektrimootorid on laialdaselt kasutusel eri tehnoloogilistes protsessides, selle tõttu on ka reservseadmete arv piisav. Samuti võimaldab määratud asünkroonmootori (vt Tabel 4.1) võimsus koos käivitamiseks paigaldatud sagedusmuunduriga sünkroonmootorit hõlpsalt kiirendada kuni 50 %-ni nimikiirusest.

Tabel 4.1 BAO2 315M4 mootori tehnilised andmed [7]

Mootori tehnilised andmed	BAO2-315M4
Võimsus, kW	250
p/min	1500
Faaside arv	3
Võimsustegur	0,89
Pooluste arv	4
Töösagedus, Hz	50
Pinge, V	380/660
Kasutegur, %	94,6
$M_{käiv}/M_{nom}$	1,7
$M_{max}/M_{nom}$	2,5



Joonis 4.2 Käivitusmootori BAO2 315M4 mõõtmed [7]

Tabel 4.2 Üldise paigaldus ja ühendusmõõtmed, mm [7]

Üldise paigaldus ja ühendusmõõtmed, mm													
BAO2-315M4	b1	b10	b31	b32	d1	d10	h	h5	h31	l1	l10	l30	Mass,kg
	25	508	630	390	90	28	315	95	715	170	508	1375	1475

## 4.2 Sagedusmuundur ACS880-07-0271A-7

ACS880-07-0271A-7 on universaalne sagedusmuundur (vt Joonis 4.3), mis on mõeldud kuni 250 kW mootorirakenduste jaoks. ACS880 tagab ülitäpse mootori juhtimise igas tööstuslikus juhtimissüsteemis.

DTC juhtimisalgoritm (otsene pöördemomendi juhtimine) võimaldab tagada mootori võlli kiiruse ja pöördemomendi suure täpsuse. Tulenevalt nimetusest antud meetod otseselt juhib elektrimootori pöördemomenti. Kui arvutuslik vool või pöördemoment kalduvad liiga kõrvale baasnäitajast, sagedusmuunduri transistorid lülituvad sisse ja välja selliselt, et voolu ning momendi näitajad oleksid uuesti lubatavate väärtuste raames. [13]

Selle sagedusmuunduri mudeli valimisel lähtuti ühendatud asünkroonse elektrimootori tehnilistest omadustest, mille ülesandeks on juhtida kiirendusmootori kiirust, ACS880-07 seeria sagedusmuundurite omadused (vt Lisa 3).



Joonis 4.3 Projektiks valitud sagedusmuundur ACS880-07-0271A-7 [8]

Tabel 4.2 Kasutatava sagedusmuunduri tehnilised parameetrid [9]

Sagedusmuunduri tehnilised andmed	ACS880-07-0271A-7
Võrgu nimipinge, V	525...690
Nominaalsagedus, Hz	50 / 60
Väljundpinge, V	0 / 525...690
Väljundvool, A	271 A
Võimsuse koormus, kW	250
Kaitseaste	IP22
Töötemperatuur, °C	-15 - +55
Mass, kg	300

### 4.3 Elektromagnetiline sidur EZA630

EZA seeria haakeseadised (vt Tabel 4.4) kujutavad endast hammassiduri mehhanismi vedava ning veetava võlli vahel, mis rakendub elektromagnetilise ploki vahendusel. Selline tehnilise sõlme ülesehituse kontseptsioon võimaldab automaat- ning kaugjuhtimisega opereerida tööseadmestikuga rasketes tööstuslikes tingimustes. Suure tootlikkusega muhvid antud seeriast on väga kompaktsed, lihtsad hoolduses ning puuduv sättimise vajadus. Tagatud on täpne võllide ühendus ning taandatud hõõrdejõu negatiivne mõju.[10]

Tabel 4.3 Tabel EZA-sarja elektromagnetiliste sidurite tehniliste parameetritega [10]

Siduri mõõtmed	U	I	P	$n_{max}$	Mass
	V	A	W	p/min	kg
EZA25	24	3,49	83,8	1500	24
EZA100	110	1,5	165	1500	43
EZA160	110	1,8	198	1500	57
EZA250	110	1,8	198	1500	77
EZA400	110	1,8	198	1500	103
EZA630	110	1,8	198	1500	158

Ergastusmähis asub siduri poolitatud magnetkorpuses. Peale alalisvoolu toite rakendamist ergutusmähisele poolmuhvi liikuv osa tihedalt haakub vastastikuse poolmuhviga hammasrõngaste vahendusel. Peale toitepinge kadumist vedrud lükkavad liugurit ning poolmuhvid ühenduvad lahti. EZA muhvid võivad lülituda ka võllide seismisel, võllide pöörlemisel sünkroniseeritud kiirusega või kui pöörlemiskiirustes on väike vahe, kui ajam on piisavalt paindlik ning vedavate elementide inertsimoment on väike. Väljalülitumine võib toimuda nii tühijooksul, kui ka momendi ülekande hetkel, kuid sellisel juhul rakendatav moment ei tohi ületada 50 % nominaalmomendist, mis on paika pandud igale EZA sarja muhvile. [10]

Elektromagnetiline sidur valiti mehaanilise koormuse taluvuse järgi. Muhvi osad paigaldatakse sünkroon- ning asünkroonmootori võllidele, saavutades vajamineva pöörete arvu toimub elektrimootorite võllide lahti ühendamine ning sünkroonmootor lülitub ringi 6 kV otsekäivitussüsteemile.



## 4.4 Siduri valik vastavalt käivitusmootori parameetritele

Käivitusmomendi valem (4.1):

$$M_{\text{käivitus}} = 9,55 * P_2 * 1000 / F_1 \quad (4.1)$$

kus,

P – kiirendav mootori nimivõimsus (vt Tabel 4.4);

F – mootori nimikiirus (vt Tabel 4.4).

Võimsus elektrimootori võllil käivitusmomendil (4.2):

$$P_2 = \frac{1,732 * U * I_{\text{käivitus}}}{S} \quad (4.2)$$

kus,

U – nimipinge;

$I_{\text{käivitus}}$  – käivitusvool;

S – libistus.

Arvutame koguvõimsuse (4.3):

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{250}{0,89} = 281 \text{ kVA} \quad (4.3)$$

kus,

P – aktiiv võimsus,

Arvutame koguvoolu (4.4):

$$I_n = \frac{S}{1,732 * U} = \frac{281}{1,732 * 0,69} = 235 \text{ A} \quad (4.4)$$

Käivitusvoolu arvutamine (4.5):

$$I_{\text{käivitus}} = I_n * 6,3 = 235 * 2,5 = 705 \text{ A} \quad (4.5)$$

Kuna kasutatakse sujuvkäivitussüsteem, siis kordsus  $I_{\text{käivitus}}/I_n = 2.5$ .

Võimsus mootori völlil käivituse hetkel (4.6):

$$P_2 = \frac{1,732 * 0,69 * 705}{1,1} = 765 \text{ kW} \quad (4.6)$$

Käivitusmoment (4.7):

$$M_{\text{käivitus}} = \frac{9,55 * 765 * 1000}{1500} = 4871 \text{ Nm} \quad (4.7)$$

Tabeli 4.5 järgi valime siduritüübi EZA630.

Tabel 4.4 Käivitusmootori parameetrid BAO2-315M4 [7]

Tüüp	P,kW	rpm	Libisemise koef. %	Kasulik tegur,%	Cos, φ	M <sub>max</sub> /M <sub>nom</sub>	Inertsimoment, N*m <sup>2</sup>
BAO2-315M4	250	1500	1.1	94.6	0.89	2.5	220

Tabel 4.5 EZA seeria siduri omadused [11]

Siduri mõõtmed	M <sub>nom</sub>	U	I	P	n <sub>max</sub>	Mass
	Nm	V	A	W	min	kg
EZA630	6300	110	1.8	198	1500	158

## 5 SEADMETE TÖÖ PÕHIMÕTE

Ventilaatorseadme sünkroonmootori (M1) käivitusvoolude suuruse vähendamiseks on rakendatud käivitusmeetod, kus algseks käivitamiseks kasutatakse sõltumatut asünkroonmootorit (M2). Asünkroonmootori võll ühendatakse sünkroonmootori võlliga läbi elektromagnetilise muhvi hammasülekandega (EZA 630). Muhvi nimivool on 1,8 ADC ning nimipinge 110 VDC.

Käivitusmootori (M2) kiiruse juhtimiseks kasutatakse skeemis programmeeritavat sagedusmuundurit, mille tootjaks antud juhul on ABB (ACS880-07-0271A-7). Sagedusmuunduri nimivool on 271A ning nimipinge 525...690 VAC.

Sagedusmuunduri toiteallikaks on jõutrafo T2 (6/0,69 kV) läbi automaatkaitselüliti QFR (vt Joonis 5- kaabel 3 x H07RN-F 1G95).

Omatarbe kilbi (JK2) 230 VAC toite tagamiseks on paigaldatud trafo T1 (tootja Polylux, 230-400-460/115-230 V). T1 saab toidet läbi kaitselüliti Q1 (X1: klemmid 1;2) sünkroonmootori ergutusseadmestiku trafo primaarmähiselt (vt Joonis 5- kaabel W1 H07RN-F 3G1,5).

Läbi sulavkaitsmete F1; F2 omatarbe toite saab toiteplokk G1 (230 VAC/24 VDC) ning 230 VAC juhtahelad. Samuti läbi kontaktori K4 saab toidet alaldi (BD), mis on mõeldud elektromagnetilise muhvi juhtimiseks. Trafo üldpunkt X2: klemm 1. Diodid D1-D2 plokis BD on ühendatud katoodega ning jõuavad asukohta X2: klemm 2 (+110 VDC). Läbi kaabli W2 H07RN-F 4G1,5 klemmidega on ühendatud elektromagnetiline muhv Y1 (vt Joonis 5). Elektromagnetjõu induktsioonimõju taandamiseks on kasutatud diodid D3 ja takisti R2. Muhvi voolu mõõdetakse läbi galvaanilise eraldusega lahutava võimendi (CC), tootjaks Phoenix Contact – MINI MCR-SL-UI-UI-NC. Voolu mõõdetakse läbi pingelangu takistil R3. Kui muhvil voolunäitajad puuduvad, siis käivitust ei toimu.

Kõikide protsesside kulgemist jälgib programmeeritav loogiline kontrolleri S7-1200 Siemens CPU1214C.

24 VDC pinge tagamiseks kasutatakse toiteplokki PRO ECO 72W 24 V 3 A (Weidmüller). Ühendamiseks kehtiva käivituskeemiga kasutatakse releed Ukat. 250 VAC – SDI 2CO F ECO Weidmüller:

- K1 – käivituse startimine
- K2 – Vaakumlüliti väljas
- K3 – Vaakumlüliti sees
- K5 – Vaakumlüliti rakendamine

- K6 – käivitamise seiskamine

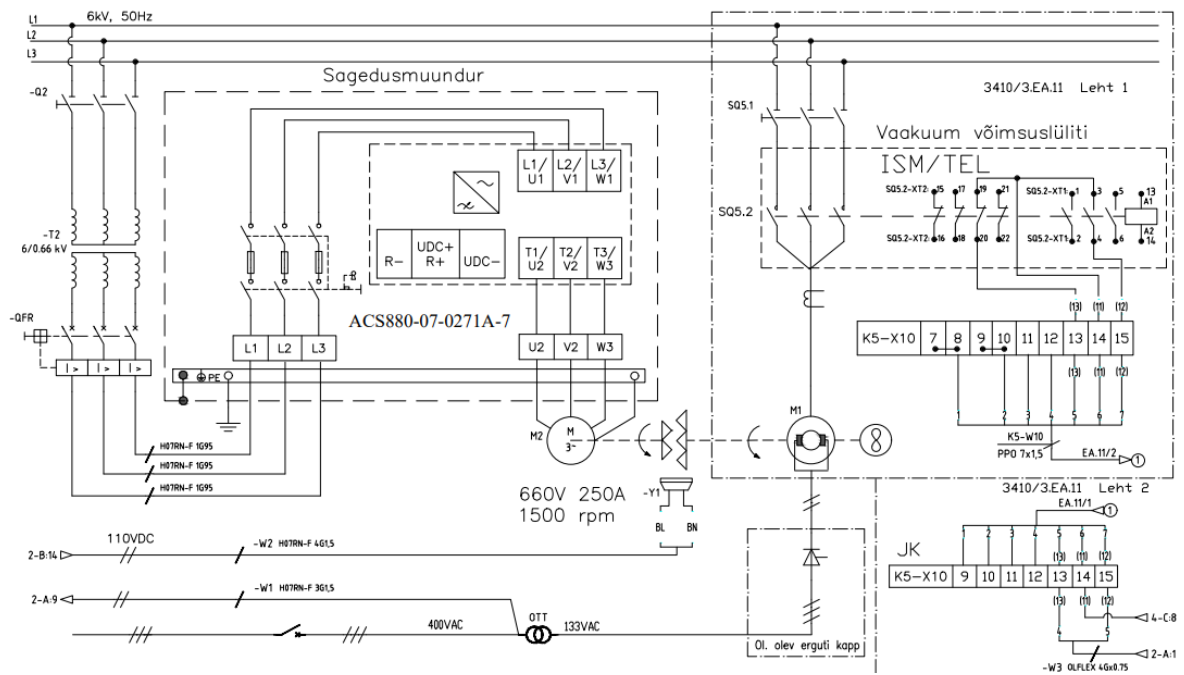
Releede K1 ja K6 juhtimiseks kapis JK on paigaldatud lisareleed K24:1 ja K25.1. Nende releede mähised on ühendatud paralleelsed olemasolevatele releedele K24; K25 (vt Lisa 1).

Releede K24.1 ja K25.1 töökontaktid on ühendatud klemmliistule X5, mis on paigaldatud kapis JK (klemmid 3 (14)-4(11); 5(11)-6(20)) (vt Lisa 1). Klemmliist X5 kapis JK on ühendatud liistuga X3, mis on paigaldatud kappi JK2 läbi signaalkaabli W3 OLFLEX 12G0,75 (vt Lisa 2).

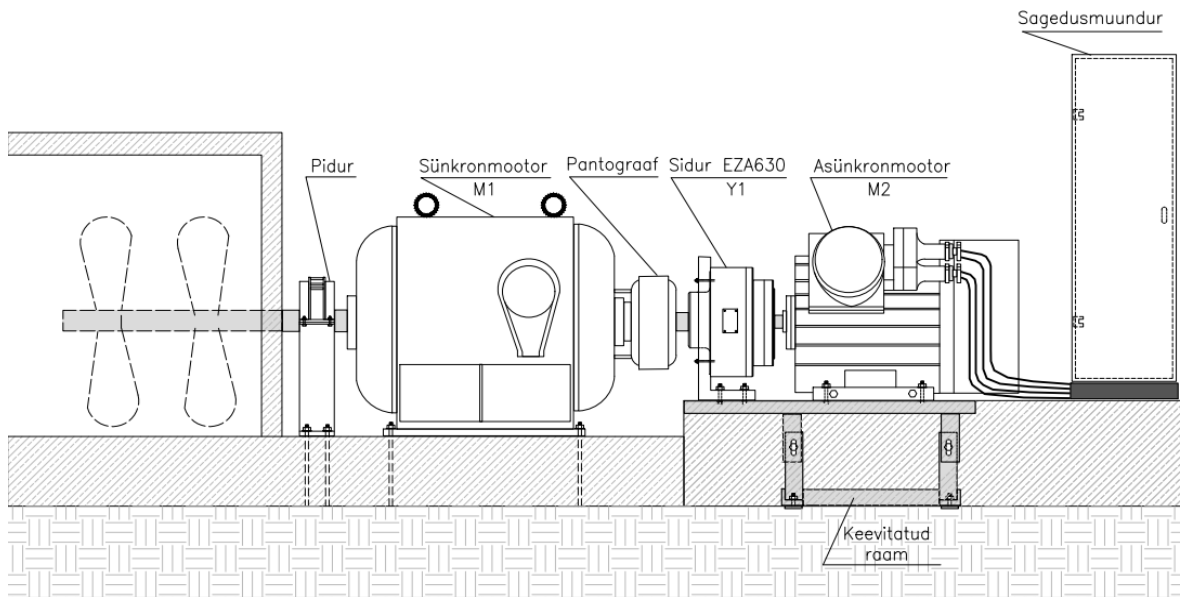
Käivitusrežiimis rele K24 töökontakt (21) lülitub ringi klemmile (7) klemmiistul X5. Kontakt (21) lülitub välja läbi lüliti SR JK2 kilbis. Vaakumlüliti sisselülitamise eest vastutab rele K5. Rele K5 kontakt on ühendatud klemmidele 1;2 liistul X3 kapis JK2 (vt Lisa 2). Edasi läbi signaalkaabli W3 rakenduvad klemmid X5:1 ja V5-X10:10 kapis JK. Läbi selle toimub vaakumlüliti sisselülitumine käivitusprotsessi lõpus.

Otsekäivituse režiimis rele K24 kontakt (21) läbi lüliti SR ühendatakse olemasoleva vaakumlüliti käivituskeemile (vt Lisa 1).

JK kapi ergutuse ajalise viivituse rakendamiseks on paigaldatud lisarele K7 (vt Lisa 1). Rele mähis saab toidet käivituskapist JK2 läbi kaabli W3 (X3: klemmid 9-10). Kapis JK rele mähis on ühendatud klemmidele 8;9 liistul X3. Ajaline viivitus releel K7 toimub peale vaakumlüliti rakendumist ning ajasätteks on 4 sekundit. Rele kontakt on ühendatud kaablile H07RN-F 2X1,5. Kaabel on paigaldatud kuni sünkroonmootori ergutuskapini ol. olevale kaablile V5-W15/ PPJ 3x1,5.



Joonis 5 Ühenduskeem mootorite ühendamiseks läbi muhvi



Joonis 5.1 Üldine paigalduskeem

## KOKKUVÕTE

Selle lõputöö raames uuriti erinevaid sujuvkäivitussüsteeme ja nende rakendusi. See teema valiti mitmel põhjusel. Esiteks - Eesti Energia on Eesti suurim elektritarnija ja suurprojektis osalemine on autorile võimalus end tõestada. Teiseks tõestab see lõputöö teema, et isegi aastate jooksul välja töötatud seadmete kasutamise meetodeid saab alati viimistleda või täiustada, et säästa ressursse ilma suuri investeeringuid tegemata.

Autori peamised ülesanded olid:

- Uurida ja analüüsida viise, kuidas vältida suuri käivitusvoolud;
- Uurida võimalike sujuvkäivituse süsteemide variante;
- Valida õige sujuvkäivituse süsteem;
- Teha vajalikud arvutused.

Autori jaoks oli kõige olulisem välja mõelda, milline sujuvkäivituse meetod kõige paremini toimiks, kuna arvestada on paljude teguritega, mis võivad lõpptulemust mõjutada.

Uuritud andmete põhjal otsustas autor koos Estonia Kaevanduste inseneridega valitud sobiva meetodi suurte käivitusvoolude probleemi lahendamiseks, nimelt teostada põhiventilatsioonipaigaldise sünkroonmootori kiirendus, kasutades väiksema võimsusega asünkroonmootorit. Oli valitud elektromehaaniline sidur, mis arvutati kahe mootori ühendamiseks, mis kannab pöördemomendi asünkroonmootorilt üle sünkroonmootorile. Asünkroonse mootori kiirenduse kiiruse reguleerimiseks kasutatakse ABB sagedusmuundurit.

Autor loeb käesolevas lõputöös püstitatud eesmärgid saavutatuks. Autor loodab, et see projekt on alguseks selliste süsteemide kasutuselevõtule, et parandada tootmist kogu Eestis.

## SUMMARY

In the framework of this thesis, various soft start systems and their applications were studied. This topic was chosen for several reasons. First of all - Eesti Energia is the largest electricity supplier in Estonia and participation in a major project is an opportunity for the author to prove himself. Secondly, the topic of the dissertation proves that even the methods of using the equipment developed over the years can always be refined or improved in order to save resources without making a large investment.

The main tasks of the author were:

- Researching and analyzing ways to avoid high starting currents;
- Examine possible variants of soft start systems;
- Choose the right soft start system;
- Make the necessary calculations.

The most important thing for the author was to figure out which soft start method would work best, as there are many factors to consider that can affect the end result.

Based on the researched data, the author decided together with Estonia mining engineers to choose a suitable method to solve the problem of high starting currents, namely, to accelerate the synchronous motor of the main ventilation installation using a lower power asynchronous motor. An electromechanical clutch was calculated to connect two motors that transfer torque from the asynchronous motor to the synchronous motor. An ABB frequency converter is used to control the acceleration speed of the asynchronous motor.

The author considers the goals set in this dissertation to have been achieved. The author hopes that this project will be the beginning of the introduction of such systems to improve production throughout Estonia.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

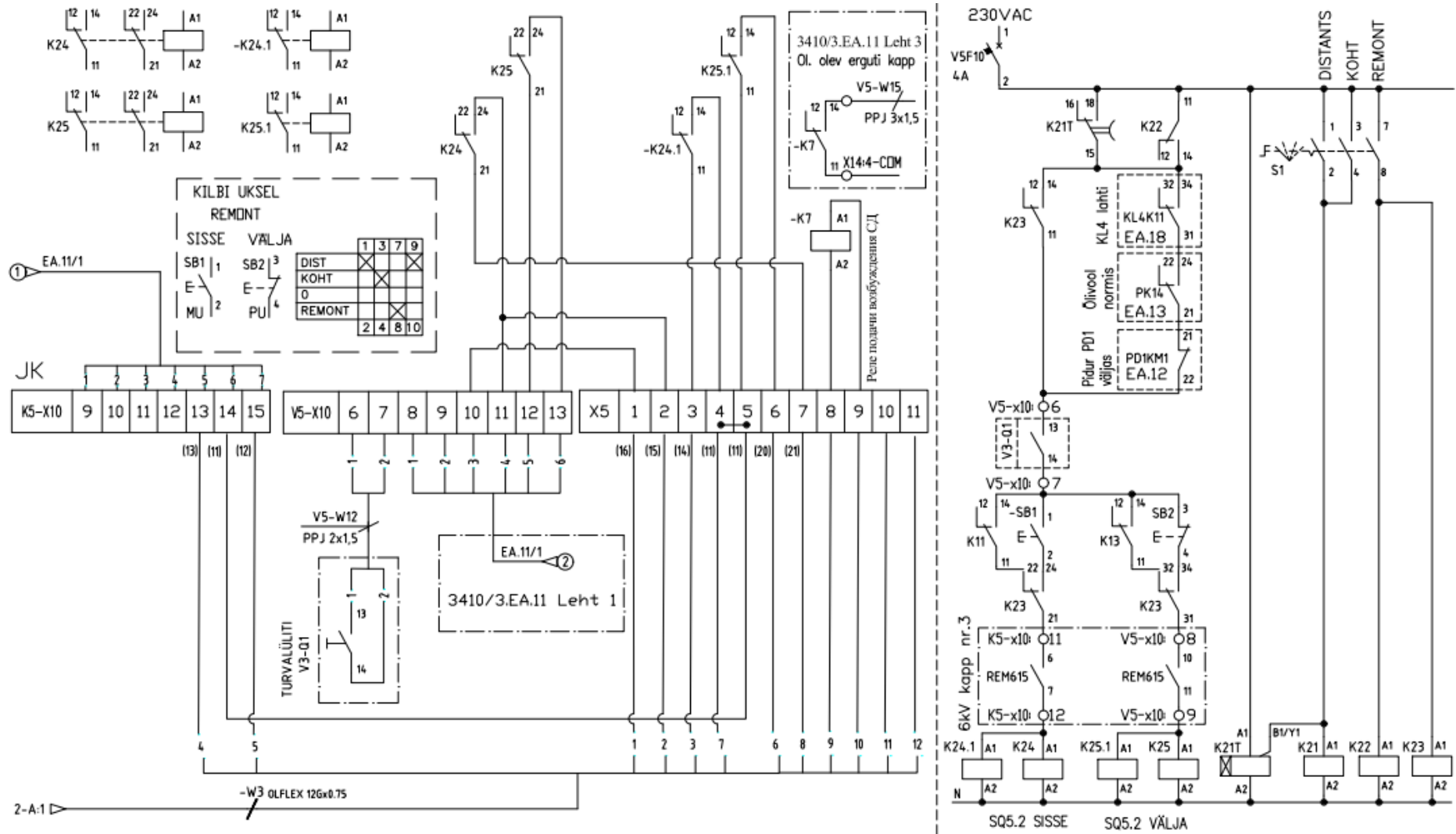
1. Mootori käivitamise viisid [Online] [http://www.tthk.ee/Elektriamid\\_2011/Elektriamite\\_juhtimine.html#Sujuv](http://www.tthk.ee/Elektriamid_2011/Elektriamite_juhtimine.html#Sujuv) (03.05.2022)
2. Soft starter work [Online] <http://www.electricalterminology.com/how-does-a-soft-starter-work/> (03.05.2022)
3. Soft Starter [Online] <https://gesrepair.com/what-is-a-soft-start/#:~:text=Essentially%2C%20a%20soft%20starter%20works,a%20smooth%20progression%20of%20current> (03.05.2022)
4. Sagedusmuundur [Online] [Operation of fans with frequency converters | official ...](#) (03.05.2022)
5. Sujuvkäivituse süsteemi ja sagedusmuunduri võrdlus [Online] [What is the difference between VFD and Soft Starter?](#) (03.05.2022)
6. Elektrimootor BAO2 315M4 [Online] <https://el-dvigatel.ru/vao2280,315,355> (03.05.2022)
7. BAO2-315M4 seeriamootori mõõtmed ja ühendusmõõtmed [Online] <https://all-electro.com.ua/p197569442-vao2-315I4-315kvt.html> (03.05.2022)
8. ACS880-07 seeria sagedusemuundurite omadused [Online] [https://galp.com.ua/supload/cms/Catalogs/Elektrodvigateli/ABB/Chastotnyj\\_Preobrazovatel\\_ABB\\_ACS880\\_Katalog\\_ABB\\_2013\\_Ru.pdf](https://galp.com.ua/supload/cms/Catalogs/Elektrodvigateli/ABB/Chastotnyj_Preobrazovatel_ABB_ACS880_Katalog_ABB_2013_Ru.pdf) (03.05.2022)
9. Sagedusmuundur ACS880-07-0271A-7 [Online] <https://new.abb.com/products/3AUA0000138175/acs880-07-0271a-7> (03.05.2022)
10. Elektromagneetiline sidur [Online] <https://vecgroup.com/equipment/elektromagnitnyie-tormozyi,-elektromexanicheskie-muftyi/zubchatyie-muftyi/psp-pohony/zubchatie-elektromagnitnie-mufti-psp-pohony-eza-ezb> (03.05.2022)
11. Elektromagneetiline sidur [Online] <http://linkor-pro.ru/goods/clutches/elmagnet/claw/eza/eza-630> (03.05.2022)
12. Кацман М.М. Электрические машины (3-е издание, 2000) [Online] <https://www.elec.ru/files/2014/01/23/Elektricheskie-mashiny.pdf> (03.05.2022)
13. DTC töö algoritm [Online] <https://new.abb.com/drives/dtc> (06.05.2022)



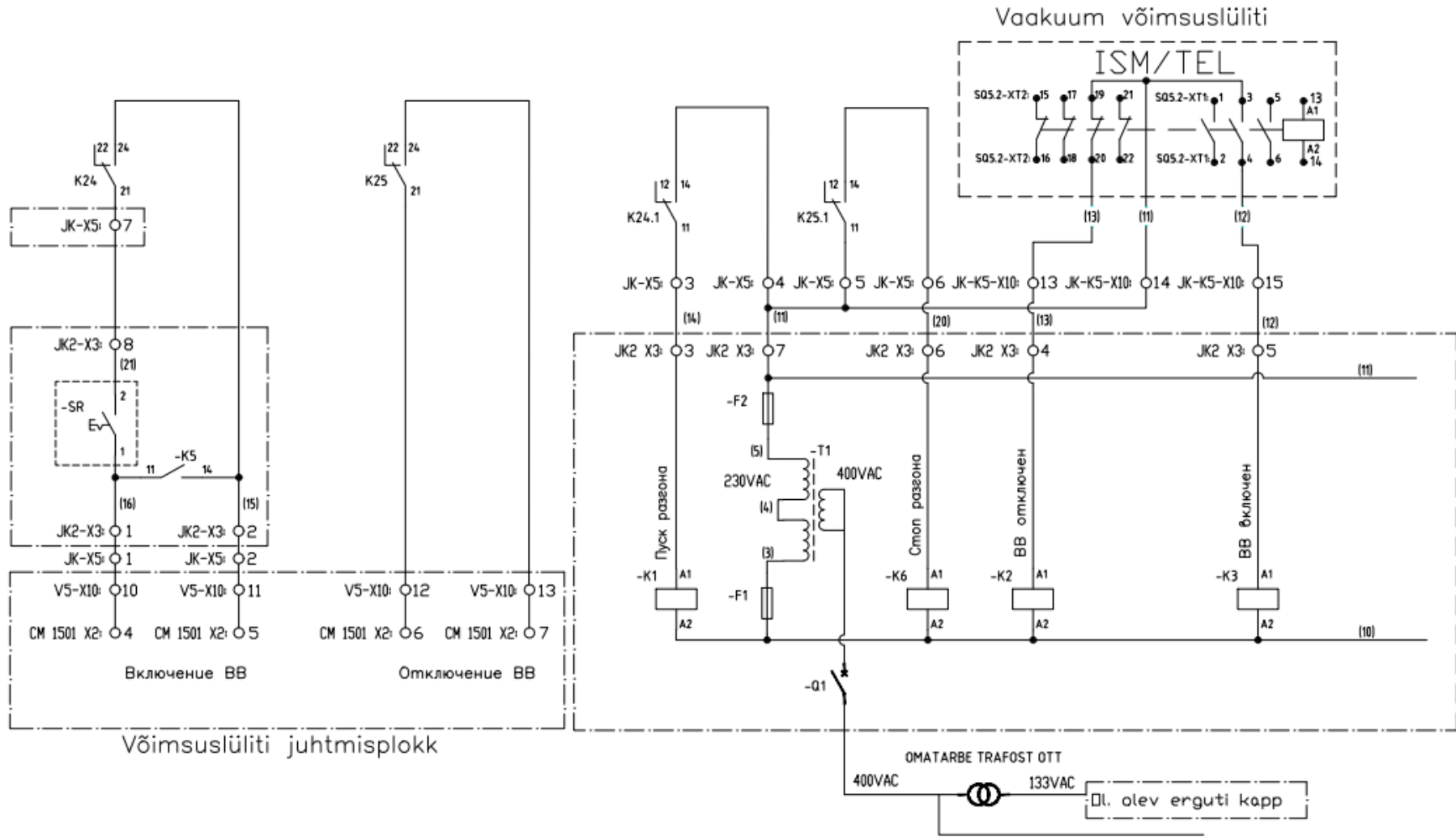
14. Sagedusmuunduri kasutusjuhend [Online]  
<https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NX-All-in-One-Application-Manual-DPD00903F-UK.pdf> (13.05.2022)
15. Asünkroonmootori sagedusreguleerimine [Online]  
[https://moodle.taltech.ee/pluginfile.php/74638/mod\\_resource/content/5/Sagedusjuhtimine.pdf](https://moodle.taltech.ee/pluginfile.php/74638/mod_resource/content/5/Sagedusjuhtimine.pdf) (17.05.2022)

**LISAD**

Lisa 1 Käivitamise juhtkapi (JK) ühendusskeem koos kiirenduse reguleerimise juhtkapiga (JK2)



Lisa 2 Käivitamise juhtkapi (JK) ühendusskeem koos kiirenduse reguleerimise juhtkapiga (JK2)

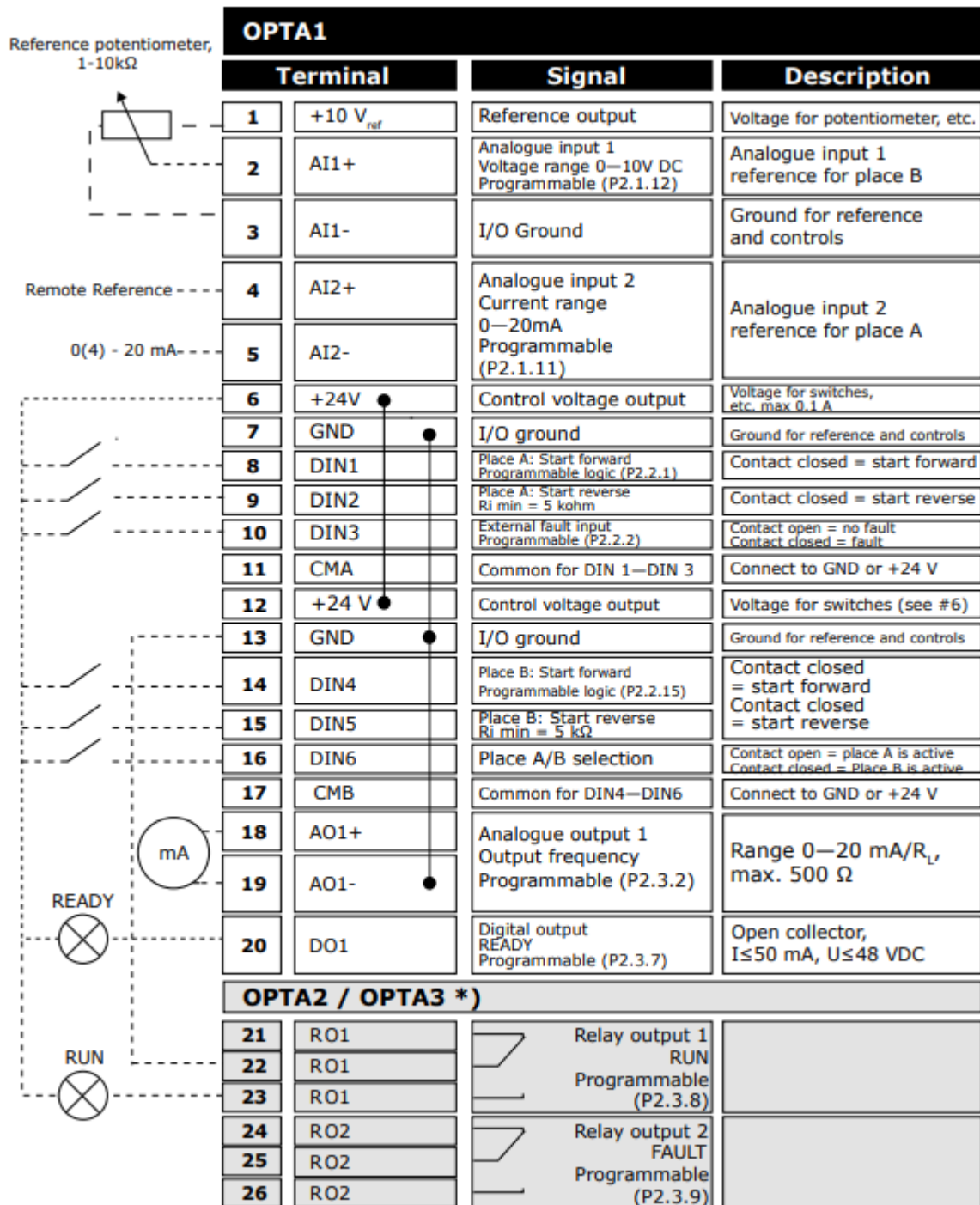


Lisa 3 ACS880-07 seeria sagedusmuundurite omadused

Nimiväärtus			Töötamine väikese ülekoormusega		Töötamine raske ülekoormusega		Seadme nimetus	Tüüp
$I_n, A$	$I_{max}, A$	$P_n, kWt$	$I_{LD}$	$P_{LD}$	$I_{Md}$	$P_{Md}$		
96	148	55	91	55	77	45	ACS880-07-0096A-5	R6
124	178	75	118	75	96	55	ACS880-07-0124A-5	R6
156	247	90	148	90	124	75	ACS880-07-0156A-5	R7
180	287	110	171	110	156	90	ACS880-07-0180A-5	R7
240	350	132	228	132	180	110	ACS880-07-0240A-5	R8
260	418	160	247	160	240	132	ACS880-07-0260A-5	R8
361	542	200	343	200	302	200	ACS880-07-0361A-5	R9
414	542	250	393	250	361	200	ACS880-07-0414A-5	R9

Lisa 4 BAO2 serija mootorite omadused

Tüüp	Võimsus, kWt	rpm	Libisemise koef. %	Kasulik tegur,%	Cos φ	Mmax/Mnom	Мпуск/Мном	Ипуск/Ином	Inertsimoment, N*m <sup>2</sup>
BAO2-280S2	132	3000	1.3	93.4	0.9	2.7	1.6	6.5	67
BAO2-280M2	160	3000	1.3	93.8	0.91	2.7	1.7	7	78
BAO2-280L2	200	3000	1.3	94	0.91	2,8	1,7	7	90
BAO2-315M2	250	3000	1.2	94.2	0.91	2.8	1.5	7	116
BAO2-315L2	315	3000	1.2	94.7	0.91	2.8	1.6	7	144
BAO2-280S4	132	1500	1.3	93.9	0.88	2.6	2	6.5	130
BAO2-280M4	160	1500	1.3	94	0.89	2.7	2	6.5	140
BAO2-280L4	200	1500	1.3	94.3	0.89	2.7	2.2	6.5	170
BAO2-315M4	250	1500	1.1	94.6	0.89	2.5	1.7	6.3	220
BAO2-315L4	315	1500	1.1	94.7	0.89	2.5	1.8	6.5	270



Lisa 6 Sagedusmuunduri juhtimisskeem

