



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## SERVOAJAMI KATSESTENDI ARENDAMINE

DEVELOPMENT OF SERVODRIVE TEST BENCH

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Rasmus Gantsev

Üliõpilaskood: 142881

Juhendaja: Anton Rassõlkin, teadur

Tallinn, 2019

## **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.

24.05.2019

Autor: Rasmus Gantsev

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Rasmus Gantsev

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* servoajami katsestendi arendamine

*Kuupäev:* 24.05.2019

102 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* teadur Anton Rassõlkin

*Töö konsultant (konsultandid):* Sergei Ovtsov

*Sisu kirjeldus:*

Lõputöö peamiseks eesmärgiks oli servoajami „Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive“ katsestendi arendamine ning selle tegemine huvitavamaks ja informatiivsemaks ülikooli küllastajatele ja tudengitele.

Selleks uuriti servoajami tootja poolt pakutuid manuaale ja tarkvarasi ning mõeldi üldise katsestendi kontseptsiooni peale.

Lõppkokkuvõttes tuli välja katsestend, terminaliga, mille peal on kokku 11 nuppu oma funktsioonidega, mootori küljes väiksema ülekannega, et teha seda visuaalselt arusaadavamaks ning tehnoloogilise rakenduse „acutator – speed“ (täitur – kiirus), mis oli installitud servovõimendisse, eesti keelse manuaaliga, mille abil tudengid saavad servoajamit edasi uurida või arendada.

*Märksõnad:* servoajam, servomootor, servovõimendi, ülekanne, katsestend, manuaal, rakendus, tudengid

## ABSTRACT

*Author:* Rasmus Gantsev

*Type of the work:* Bachelor

*Title:* development os servodrive test bench

*Date:* 24.05.2019

*102 pages (the number of thesis pages  
including appendices)*

*University:* Tallinn University of Technology

*School:* School of Engineering

*Department:* Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

*Supervisor(s) of the thesis:* scientist Anton Rassõlkin

*Consultant(s):* Sergei Ovtsov

*Abstract:*

The main objective of the thesis was to develop the servodrive „Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive“ test bench and make it more interesting and informative for university visitors and students.

For this purpose, the manuals and software, provided by the servo drive manufacturer were investigated and the concept of a general test bench was considered.

Ultimately, a test bench came out with terminal with a total of 11 buttons with its own functions, with a smaller transmission on the engine to make it more visually understandable and with the Estonian manual of the technological application „acutator – speed“ which was installed to the servodrive controller. So, using the manual, students can further explore or develop the servodrive.

*Keywords:* servodrive, servomotor, servodrive controller, test bench, manual, application, students

# SISUKORD

0. SISSEJUHATUS .....	7
1. TEHNIKA TASEME ANALÜÜS JA KASUTATAV TOPOLOOGIA .....	9
1.1 Servoajamid ja nende tööpõhimõtte .....	9
1.2 Servoajamite põhilised töörežiimid ning nende kasutamiskiirkonnad .....	1
1.3 Servoajam “Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive” .....	21
1.4 Katsestendi kontseptsioon .....	32
2. TARKVARA KASUTAMINE JA KATSEPINKI KOKKUPANEMINE.....	40
2.1 Tarkvara servoajami programmeerimiseks.....	40
2.2 Katsepinki kokkupanek .....	50
3. KATSETAMINE .....	56
4. KOKKUVÕTE .....	61
Kasutatud kirjandus .....	63
Lisad .....	65
Lisa 1. Tellitud komponentide loetelu .....	68
Lisa 2. Rakenduse “Acutator – speed” (täitur – kiirus) funktsionaal plokkide loetelu .....	69
Lisa 3. Manuaal katsestendi demonstreerimiseks .....	70
Lisa 4. Rakenduse “actuator – speed” (täitur – kiirus) eesti keelne manuaal .....	71

## EESSÕNA

Käesoleva bakalaureusetöö on valminud Anton Rassõlkini, Tallinna Tehnika Ülikooli teaduri, algatusega. Töö valmistamisel oli abistanud, andnud konsultatsioone doktorant Sergei Ovtsov. Töös kasutatud materjalid katsepinki kokkupanemiseks on osaliselt võimaldanud ettevõtte Naps Solar Estonia OÜ.

## O. SISSEJUHATUS

Energiatehnika OÜ lahkelt andis Tallinna Tehnika Ülikoolile kasutusele ning uurimisele servoajami firmalt Lenze. Selleks, et servoajam oleks kasutusel ja ei oleks asjatult labori riuli peal, oli pakutud teha servoajamist katsepink. Täpsemalt mudeli nimetus on „Lenze Servo Drives 9400 HighLine”, ehk sagedusmuundur koos servomootoriga. “Single Drive” üheteljelised servod sisaldavad vooluvõrku, vahesüsteemi ja inverterit. Ajami kontrollerisse on sisse ehitatud filtreerivad elemendid ja pidurisilinder, mis tagavad autonoomset kasutamist elektrikabiinide paigaldistes. “SingleDrive” ajamid on saadaval võimsusega vahemikus 0,37 kuni 370 kW.

Servomootor on juhtimiseks kasutatav mootor, mis muudab temaga käitatavate mehhanismide asendit vastavalt etteantud seadesignaale. Tagasisidestatud täpsed servomootorid on praeguses maailmas kasutusel igalpool. Alustades väike peremajakesest kuni suure ülemaailmse ettevõteteni nende lihtsuse, täpsuse, ergonoomsuse ja palju muu pärast. Seega servomootorid olid ja on aktuaalsed veel väga pikka aega, mis tähendab, et servomootorite ja nende komponentide (servovõimendiite, mootorite, muundurite, andurite jne.) uurimine, arendamine ning rakendamine on oluline meie riigi jaoks.

Servoajamid tuleb tutvustada ka ülikooli noorematele küllastajatele, et nad tunneksid nende vastu huvi, kuna, nagu oli juba öeldud, servoajamid on veel aktuaalsed väga pikka aega. Selle töö kaudu, autor tahab anda võimalust uurida ning tutvuda servoajamitega just nendele, kes sellega väga puutunud ei ole, äratades servoajamite vastu huvi. Seega selle töö lõppeesmärgiks oli luua servoajami katsepink, mille abil teised inimesed saaksid visuaalset ning interaktiivset ülevaadet servoajamist.

Töö raames oli autoril eelkõige eesmärk tutvuda “Lenze Servo Drives 9400 HighLine” servoajamiga ning talle külgneva tarkvaraga “L-force Engineer”. Sellel tarkvaral on kasutajasõbralik multifunktsionaalne liides, mida kasutatakse üksikute ajamikomponentide (servovõimendii, mootori, sisend / väljundüsteemi) parameetrite määramiseks, diagnoosimiseks ja konfigureerimiseks. Samuti kasutati tarkvara “MSCS Software”, mis andis võimalust klassifitseerida servoajamid võimsuse järgi ühe töörežiimi kaudu. Üks levinumaid töörežiimideid on liftitüüpi režiim. Võimsust siduduti ühe liftiga ning inimeste arvuga, et paremini luua ettekujutus. Teisena oli autoril ülesandeks juba katsepinki projekteerimine ning kokkupanemine.

Esimese eesmärgi saavutamiseks uuriti firma Lenze kodulehel ning Lenze esinduste kodulehtedel infomatsiooni nende toodete kohta. Sealt sai samuti tarkvara servoajamiga töötamiseks, infot tarkvara kohta. Tarkvaraga töötamisel ning selle uurimisel, jõudi järeldusele, et sagedusmuundurisse võib installida tehnoloogiline rakendus “actuator-speed” (täitur - kiirus), mis võimaldab ajamil defineerida seadistatud kiirust. Kiirust saab seadistada kiiruse regulaatori abil, mis kohandab vajaliku mootori pöördmomenti koormusele. Kuna informatsioon oli kõikides keeltes, hästi ettekantud ning leitav, ei tekkinud sellega probleeme.

Teise eesmärgi saavutamiseks tuli mõelda stendi üldise kontseptsiooni peale: kuidas stendi ülesehitada, milliseid nuppe välja tuua ning kuidas teha seda huvitamaks. Selleks uuriti samuti Lenze poolt pakutavat manuali tehnoloogilise rakenduse “actuator – speed” (täitur - kiirus) kohta. Vaadati mootori võimalusi ja saadaval olevate materjalide (karkassi, teraspaneelide jne.) võimalusi. Pärast pinki kokkupanemist, testiti servoajam ning sagedusmuundurisse installitud funktsioone. Selleks, et tulevatel tudengidel oleks võimalus seda katsepinki uurida ja arendada edasi, oli tõlgitud tehnoloogilise rakenduse “actuator – speed” (täitur – kiirus) manual eesti keelde, tänu millele tudengid saavad põhjalikuma infot servoajami ja talle külgneva rakenduse kohta. (Lisades 4, kasutatud kirjanduses [8])

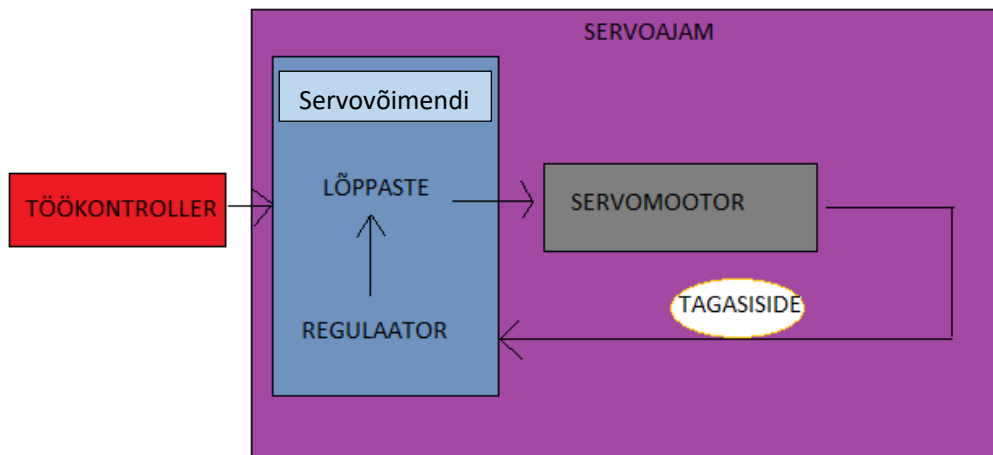


# 1. TEHNIKA TASEME ANALÜÜS JA KASUTATAV TOPOLOOGIA

Selles peatükis tehakse ülevaadet servoajamitest ja analüüsitakse töös kasutatavat tehnikat ning topoloogiat.

## 1.1 Servoajamid ja nende tööpõhimõtte

Servoajam koosneb servomootorist ja servovõimendist. Servovõimendi (ka servokontrolleri või servomuunduri) peamine ülesanne on mootori toitevoolude reguleerimine.[1]



Joonis 1.1 Servoajami struktuur [1]

Servomuundur reguleerib etteantud momendi ja kiiruse saavutamiseks mootori mähistesse antavat voolu. Servovõimendi koosneb põhiosadena lõppastmest ja regulaatorist. Regulaator tüürib lõppastet ja tagab etteande- ja tegelike suuruste (vool, asend, kiirus) pideva võrdlemisega mootori täpse töö ka muutuva koormuse tingimustes. Lõppaste kujutab endast jõuelektroonikal põhinevat modulaatorit, mis formeerib servomootori toitevoolud tagamaks täituri ettenähtud liikumistrajektoori. Erinevalt tavalistest elektriajamtist, mis töötavad enamasti püsikiirusel, on servoajami talitus reeglina ebaühtlane. Nimikiiruseni kiirendamine kestab tihti ainult mõne millisekundi, millele järgneb lühikese aja pärast sama kiire pidurdus; seejuures peab positsioneerimistäpsus olema sajandikmillimeetri suurusjärgus. [1]

Servoajamitele esitatakse paljudel juhtudel alljärgnevalt loetletud nõudeid:

- suur positsioonimistäpsus;

- suur kiiruse reguleerimistäpsus;
- suur reguleerimispiirkond;
- momendi stabiilsus;
- küllaldane ülekoormatavus;
- suur toimekiirus.

Servoajami eelised ülejäänud reguleeritavate ajamite ees on head dünaamilised näitajad, suur täpsus ja nullkiirusmoment (suur moment nullilähedastel kiirusel) ning kompaktne ehitusviis suure erivõimsuse juures. Ajami dünaamiliste omaduste all mõistetakse tema toimekiirust, mille suurenemisel kasvab ka töömashinate kiirus, töötsükli arv ja lõpptulemusena mashinate tootlikkus. Ajami nõutav täpsus on sageli määratud töömashinaga, mille käitamiseks ajamit kasutatakse. Moodne suure toimekiirusega ajam peab rahuldama erinevate töömashinate omadustega määratud nõudeid. Servoajamid on suure täpsuse ja toimekiirusega ning laias kiirusvahemikus töötavad ajamisüsteemid, mis täidavad oma funktsioone ka ajutiste ülekoormuste puhul. [1]

Selles töös kasutatav servovõimendi on servomuundur, täpsemalt sagedusmuundur.

Sagedusmuundurid on multifunktsionaalsed, targad seadmed, mis on ette nähtud kolmefaasiliste ja ühefaasiliste asünkroonsete ja sünkroonsete elektrimootorite juhtimiseks: pöörlemiskiirus, mootori käivitamine vastavalt eelnevalt kindalksmääratud programmile või juhtimissignaali kaudu, samuti ajami kaitsmine ülevoolu, faaside kaldu või lühiste eest. [2]

Vahelduvvoolumootorite pöörlemiskiirust on võimalik muuta järgnevalt:

- Elektrimootori pooluste arvu muutumisega. Vahelduvvoolumootoritel on kindel pooluste arv, samas mõned mootorid on omavad võimalust muuta pooluste arvu, muutes sellega pöörlemiskiirust.
- Vahelduvvoolu sageduse muutmisel. See meetod, mootori sageduse muutmise, on sagedusmuundurite tööpõhimõtte. Vahelduvvoolu toitepinge muundatakse alaldi abil alalisvooluks ning seejärel, vastaval seadistatud programmile, invertori abil, muundatakse vooluks, nõutud sagedusega ja amplituudiga.

### **Sagedusmuundurite kasutamise eelised:**

- Tippvoolude vähendamine elektrimootorite käivitamisel – Kui mootorit käivitatakse otsese seiskamisega starterite abil, tekkib järsk voolutõus kuni 15 korda, sõltuvalt töörežiimist, mis negatiivselt mõjutab elektrimootori elektrilisi komponente (starterite ja lülitusseadmete kontaktid võivad maha põleda, kaablite isolatsiooni purunemise oht).Elektrijami mehhaaniline osa samuti käivitamise hetkel on oluliselt koormatud, mis vähendab masina eluiga ning võib põhjustada seadme enneaegset rikket. Sagedusmuundurite kasutamisel, toimub käivitus sujuvalt, käivitusvoolud ning tõmblused oluliselt langevad.
- Energiatarve vähendamine – Sageli elektrimootorid, mis asuvad ventilatsiooniseadmetes ja pumpamiseseadmetes töötavad ilma sagedusmuundurita ning töötavad ühel sagedusel. Samal ajal õhu või vee voolu reguleerimine toimub klappide ja summutite abil. Sagedusmuundurite kasutamisel on võimalik reguleerida elektrimootori kiirust ja võimsust, sõltuvalt vajadusest, mis mõnikord vähendab energiakulusid kuni 30%.
- Automatiseeritud süsteemide ülesehitus – muunduri programmeerimisel seadistatakse juhtimissignaali järgi töö algoritm, mis võimaldab automatiseerida tootmisliinide, transpordi- ja pakendusseadmete tööprotsessi.
- Muundurite kaitsmine – Vaatamata asjaolule, et enamik sagedusajamid on kaitstud ülekoormusvoolude, lühiste eest, tavaliselt muundur kaitseb mootorit automaadidega ning faasikontrollreleedega. [2]

Töös on samuti kasutusel servomootor, täpsemalt sünkroonservomootor.

Servomootorid on elektrimootorid, mille konstrueerimisel on prioriteediks võetud dünaamika, st kiire käivitus ja pidurdus. Servomootoreid valmistatakse nii vahelduvvoolule (sünkroon- ja asünkroonmootorid) kui ka alalisvoolule (harjadega ja harjavabad). Sünkroonmootorid on mitmefaasilised mootorid, milles staatori ja rootori magnetväljad pöörlevad sünkroonselt. Pöörlev magnetväli tekitatakse staatorimähiste sobiva ruumilise paigutusega ning nende voolude ajalise järgnevusega. [1]

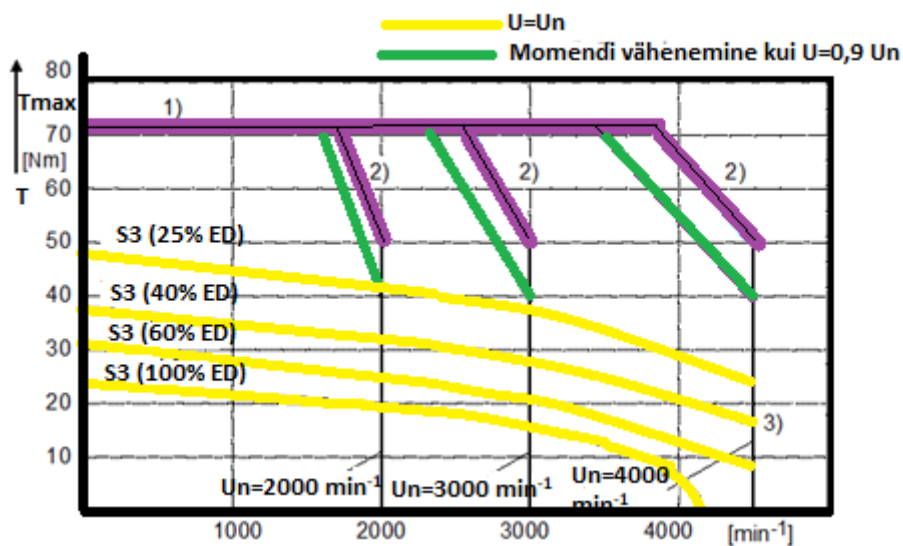
Servomootori kiiruse-momendi tunnusjoontel on näha kolm erinevat piirangut, mida ajami projekteerimisel tuleb arvestada (Joonis 1.2).

1. Mootori maksimaalne moment on peale muude suuruste piiratud ka püsomagnetite magnetvooga. Kui mootor on tugevasti koormatud ning staatori vool suureneb üle lubatud piiri, siis

magnetid demagnetiseeruvad ning mootoris tekib momendikadu. Mootori ja toitemuunduri õige valiku korral pole vaja demagnetiseerumist karta.

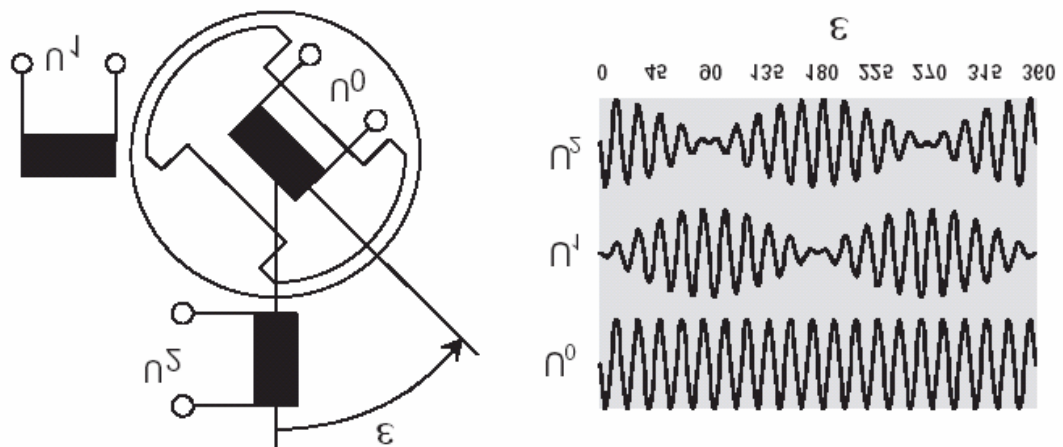
2. Mootori moment on suurematel kiirustel piiratud mootori maksimaalse klemmipingega. Klemmipinge sõltub omakorda lõppastme pingest ja pingelangust kaablis. Pöörlemisel tekkiva vastuelektromotoorjõu (mootoris indutseeritud pinge) tõttu ei saa mootor suuremal kiirusel arendada suuremat momenti. Seepärast, kiiruse suurenemisel vastuelektromotoorjõud suureneb, mootori vool ja moment aga vähenevad.

3. Mootori moment on piiratud ka soojusliku koormusega. Ajami keskmine koormusmoment arvutatakse välja selle projekteerimisel. Arvutuslik moment peab olema väiksem kui masina poolt nullkiirusel arendatav moment  $T_0$ . [1]



Joonis 1.2 Sünkroon-servomootori tüüpilised mehaanilised tunnusjooned[1]

Igal servomootoril on olemas tagasiside. Servomootorid komplekteeritakse tavaliselt resolveritega, mis määravad võlli absoluutasendi ühe pöörde ehk  $360^\circ$  ulatuses. Numbriliste servovõimenditega ühilduvad ka sincos-andurid (ühe- või mitmepöördelised absoluutväärtuse andurid) ja inkrementaalandurid ehk enkoodrid, mis tagavad eriti suure täpsuse ja dünaamika. Töös kasutataval servomootoril on tagasisideks olemas resolver. Resolver on spetsiaalse pöörleva trafo tüüp, mis koosneb silindrilisest rootorist ja staatorist. Resolver töötab pöördtrafo (Joonis 1.3), mille moodustavad rootoril ja staatoril paiknevad mähised, põhimõttel. Staatori kaks mähist on teineteise suhtes  $90^\circ$  võrra nihutatud ja nende siinuselisi väljundpingeid  $U_d$  ja  $U_q$  kasutatakse rootori kiiruse ning asendi juurdekasvusignaali määramiseks. Kontaktivabaks signaaliedastuseks on resolveri staatoril ja rootoril on ka lisamähised. [1]



Joonis 1.3 Resolveri tööpõhimõtte [13]

Tänu oma lihtsale transformaatori konstruktsioonile ja elektroonikaseadmete puudumisele on resolver palju efektiivsem seade kui enamik muudest tagasisideseadmetest ning see on parim valik neile rakendusele, kus on vaja usaldusväärset jõudlust kõrgetel temperatuuridel, vibratsioonidel, suurel kiirusel ning keskkonna saastumisel, mis teeb resolveri heaks alternatiiviks enkooderile. [13]

Resolverid on väga nõutud paljudes standardsetes ning ekstreemsetes rakendustes, nagu servomootorid, tehase automaatika, terase- ja paberivabrikud, nafta- ja gaasitootmine, reaktiivmootorite kütusesüsteemid, raketipidurid, erinevad sõjalised sõidukid. Ühekiirulised resolverid pakuvad absoluutset positsiooni ja neid saab kasutada absoluutsete seadmetena, muutes neid absoluutenkooderite alternatiiviks teatud olukordades. Kuid resolverid väljastavad analoogsignaali ja vajavad eraldi analoog-digitaalmuundurit, kus absoluutenkooderid väljastavad digitaalseid signaale. [13]

## 1.2 Servoajamite põhilised töörežiimid ning nende kasutamiskiirkonnad

Lisaks peamistele funktsioonidele – pöörlemiskiiruse reguleerimine ja stabiliseerimine, omab enamik tänapäevastest servosüsteemidest täiustatud funktsioone:

- Pöördemomendi juhtimise režiim (mootori võlli pingutusjõud on seadistatud analoogsignaali, samas servomuunduri parameetrites on määratud piirang maksimaalsele pöörlemiskiirusele);
- Pöördemomendi juhtimise režiim (mootori võlli pöörlemiskiirust määratakse analoogsignaali);
- Positsiooni juhtimise režiim (diskreetide arv, mille peale pöörleb servomootori võll on proportsionaalne impulsite arvule, mis saabusid servomuunduri sagedussisendisse).

Kaasaegsete servomootorite tunnuseks on automaatika ja „intelligentsuse“ kõrge tase, kuna servoajam tihti juba sisaldab valmis rakendusi, nt. materjali kokku rullimise protsess, positsioneerimine ja palju muu. Paljudel juhtudel servoajam sisaldab oma funktsionaalis vabalt programmeeritavat servovõimendit, mis võimaldab arendajale lahendada automatiseerimisprobleeme. [3]

Elektrimootorit võib talitleda järgmiselt [4]:

- ühtlasel püsikiirusel pööreldes
- muutuva kiirusega pööreldes
- muutuva kiiruse- ja pöörlemissuunaga
- ühtlaselt sirgjooneliselt
- perioodiliselt edasi-tagasi,
- mitteperioodiliselt edasi-tagasi

Täna on raske leida tegevusvaldkonda, kus servomootorid ei ole kasutatavad. Neid kasutatakse kõige enam järgmistes valdkondades:

- paberi valmistamine;
- lehtmetailde valmistamine;
- pakkimine;

- materjalide ümbertööstlus;
- käitlemiseadmed;
- puidutöötlemine;
- ehitusmaterjalide tootmine.

Servoajamid on laialt kasutusel erinevates valdkondades, kuid mitte kõik rakendused on väga dünaamilised. Kuid võimalus saada väga stabiilset või täpset juhtimist, suur kiiruse vahemik, kõrge mürataluvus, väiksed gabariidid ja kaal on sageli nende kasuks otsustavad tegurid. [4]

Tänu tänapäeva digitaalsetele tehnoloogiatele on servoajameid tänapäeval palju lihtsam kasutada kui paar aastat tagasi. Digitaaltehnikad pakuvad palju võimalusi, mis on suunatud spetsiifilistele lahendustele, kus tuleb kasutada servoajamite erilisi funktsioone, erinevaid sidevahendeid servoajamiga suhtlemiseks, ning võimalust kasutada personaalarvutit -juhtimiseks, optimeerimiseks ning automaatseks reguleerimiseks. [3]

Peamised töörežiimid võib leida ühes masinas, robotis. Täpsemalt on ette võetud päikesepaneelide sees olevate elementide jootmismasin:

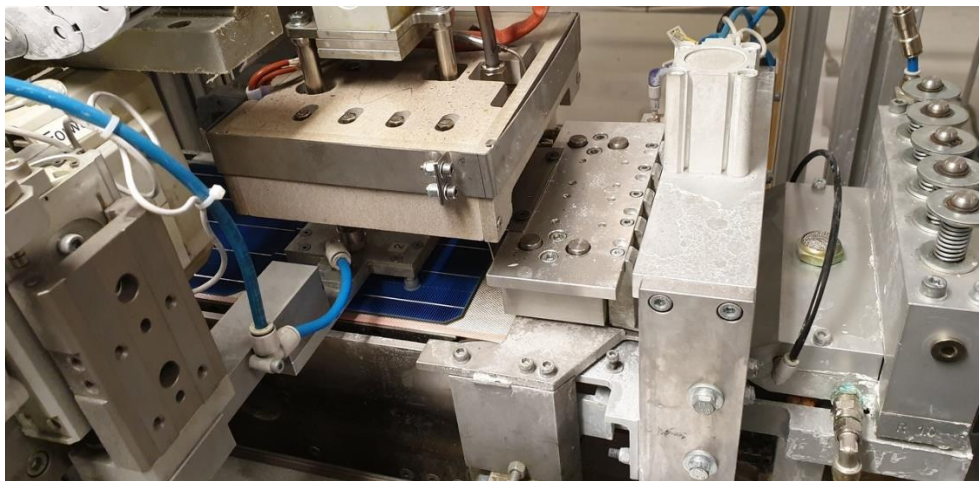


Joonis 1.4 Jootmismasin EcoProgetti [10]

- Positsioneerimine - servo arvutab vajaliku kiirenduse ja liikumiskiiruse, lähtudes antud positsioonist ja hetkeasendist, samuti mootori võllile rakendatavast koormusest. Seda funktsiooni saab rakendada siis, kui sagedusmuundur on lisaks kiiruse tagasiside kontuur, ka asendi tagasiside kontuur. Programmi järgi positsioneerimine - servoajam liigub järjekindlalt määratud asukoha

punktidesse. Üleminek järgmistesse punktidesse võib toimuda väliste signaalide abil või taimeril abil. [3]

Selline töörežiim on kasutusel paljudes robotites, kus on vaja teha täpsed, järjekindlaid tegevusi. Nagu näiteks päikesepaneelide tehastes olevatel elementide jootmismasinal, kus on vaja järjekindlalt elementi haarata vaakumiga, viia tsentreerimis lauale, pärast panna jootmiskohale ning lõpuks ära joota. Ning seda kõike teeb servoajam. (Joonis 1.5)

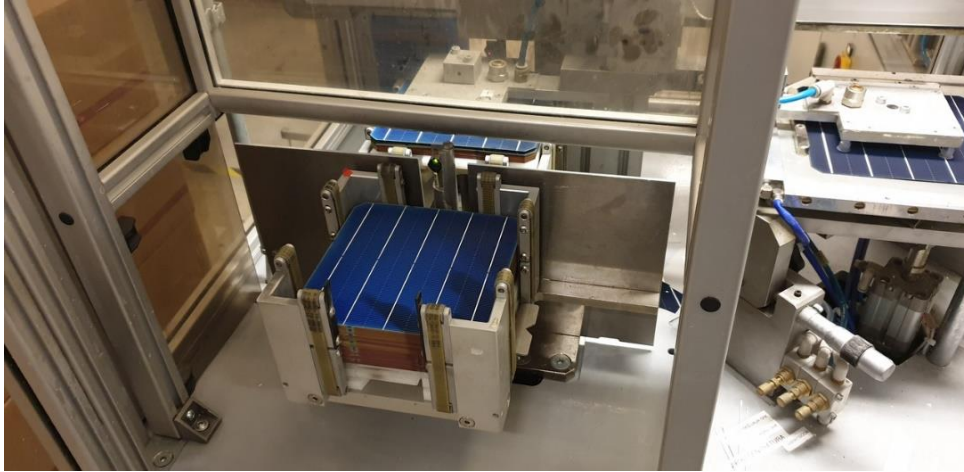


Joonis 1.5 Jootmismasina erinevad osad teevad tööd lähtudes positsioonist [11]

- Nullkiirusel positsiooni säilitamine - servomootori võll säilitab muutuva koormuse rakendamisel oma positsiooni. Tänu positsiooni tagasiside kontuuri abil, seadistatud positsiooni ning praeguse positsiooni vahel mittevastavuse tekkimisel, tagastab sagedusmuundur rootori seadistatud asendisse, kompenseerides rakendatud koormust. [3]

Selline töörežiim on laialt kasutusel tõstemehhanismidel. Varasemalt mainitud jootmismasinal on olemas samuti olemas elementide korv, mida tuleb tõsta elementide haaramiseks. (Joonis 1.6)

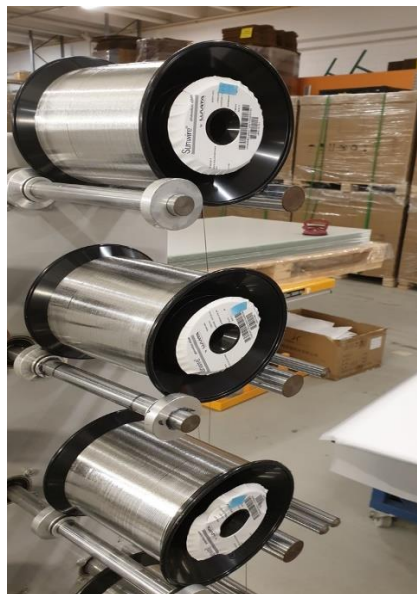




Joonis 1.6 Jootmismasina korv päikesepaneeli elementidega [11]

- Kiiruse reguleerimine pöördemomendi kontrolliga – annab võimaluse, vajadusel, piirata mootori võlli pöördmomendi. Servoajam säilitab seadistatud kiiruse senikaua, kuni pöördemoment ei ületa seadistatud väärtust. Seadistatud väärtuse ületamisel, kiirust vähendatakse täispeatuseni. Antud funktsiooni kasutatakse keeramismehhanismides. Pöördemomendi täpsus võib olla kuni 1% nimiväärtusest. [3]

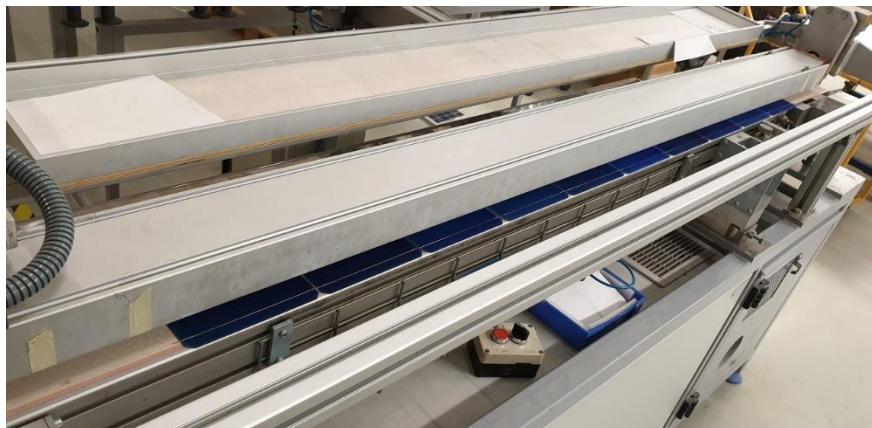
Kuna elemendil on mitu “busbari”, on vaja samuti mitu jootmisriba, jootmisribad on rullide peal, mida tuleb lahti kerida, ettenähtud ajaga ning ajahetkel. Kõikidel rullidel oma servomootor. (Joonis 1.7)



Joonis 1.7 Jootmisribade rullid [11]

- Kiirendus ja pidurdamine antud kiirenduse või antud kõvera alusel – suure täpsusega säilitatakse antud kiirenduse või pidurdamise aeg. Vajadusel, kui on vaja kõrvaldada jõnkse, on võimalik realiseerida kiirendust ja pidurdamist S-kõvera abil. [3]

Hästi laialt levinud konveeritüüpi robotites. Jootmismasinal on olemas konveiertüüpi rihm, mille peale paigutatakse tsentreeritud elemente jootmiseks. (Joonis 1.8)



Joonis 1.8 Jootmismasina konveier [11]

- Kiiruse sünkroniseerimine – kiiruse seadistamine arvutatakse proportsionaalselt täiendava kiiruseanduriga, mis on ühendatud eraldi sisendisse. Teisendustegur võib muutuda. Positsiooniline sünkroniseerimine - servomootori rootori kiiruse ja asukoha seadistus arvutatakse täiendava anduri andmete põhjal või signaalidest, mis on saadud teisest servoajamitest. [3]

Samuti kasutusel paljudes robotites, kus on vaja mitme servomootori kooskõlastatud tegevust. Võib tuua sama näite päikesepaneelide tehases, jootmismasinast, kus on vaja jootmispea, elementide rihma ning jootmisribahoidja kooskõlastatud tegevust. Kõikidel juppidel on oma eraldi servomootor. (Joonis 1.9)

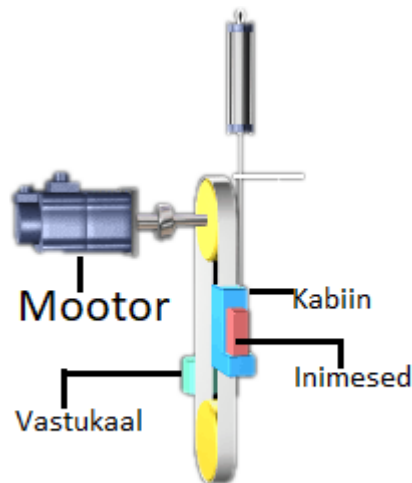


Joonis 1.9 Jootmismasina erinevad osad liiguvad sünkroonselt töö tegemisel [11]

2019. aastal servoajamid on kasutusel igas valdkonnas. Vajadus servoajamite järgi kasvab iga päevaga. Sellega kaasneb ka nende uurimine ja arendus. Just sellepärast on väga suur spekter nende klassifitseerimiseks. Ühes ja samas töörežiimis töötavad servoajamid, võivad erineda teineteisest absoluutselt. Alustades juhtimistüübist kuni gabariitideni välja, mis teeb nende klasifitseerimist keeruliseks. Kuid neid saab edukalt klassifitseerida võimsuse järgi.

Parema ettekujunduse formuleerimiseks, olid servoajamid klassifitseeritud võimsuse järgi ühe töörežiimi kaudu. Üks levinumaid töörežiimidest on liftitüüpi režiim. Võimsust siduduti ühe liftiga ning inimeste arvuga, et paremini ettekujutada. Arvutused tehti "MSCS Software" abil.

Oli võetud arvesse, et ühe inimese mass on 80 kg. , vastukaalu ja kaalu (kabiin+inimesed) vahe 500 kg. (nt. kui kabiin inimestega kaalub 1080 kg. siis vastukaal kaalub 1580 kg.) ja liftikabiini kogumass on umbkaudu 1 tonn. (Joonis 1.10)



Joonis 1.10 Servomootor liftitüüpi koormusega [14]

Tabel 1.2.1 Servoajami võimsuse ja inimeste arvu suhe liftitüüpi ajamites

Võimsus <i>P</i> / kW	Inimeste arv
0, 37-3, 0	Võimsust ei ole piisavalt palju. 0 inimest.
5, 5-11, 0	0-19
15, 0-30, 0	0-66
30, 0-55, 0	0-132

Kui analüüsida seda tabelit, võib välja tuua, et 0, 37-3, 0 kW, servomootorid on kasutusel väiksetes robotites, konveierites, nt. pakkimisel. Võimsamad, ehk 5, 5-11, 0 kW mootorid on kasutusel juba suuremates masinates, näiteks puutöötlemismasinates. Suuremates konveerites on kasutusel 15, 0-30, 0 kW. servomootorid, nt. autotööstlusel. Veel võimsamad mootorid, ehk 30, 0-55, 0 kW. On kasutusel suuremates veepumpades või õhupumpades.

### 1.3 Servoajam “Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive”

Selles töös kasutati ning uuriti servoajam „Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive“, kuna selle lahkelt andis “Energiatehnika OÜ” Tallinna Tehnika Ülikoolile kasutusele ja uurimisele. “Single Drive” üheteljelised servod sisaldavad vooluvõrku, vahesüsteemi ja inverterit. Ajami kontrollerisse on sisse ehitatud filtreerivad elemendid ja pidurisilinder, mis tagavad autonoomset kasutamist elektrikabiinide paigaldistes. “SingleDrive” ajamid on saadaval võimsusega vahemikus 0,37 kuni 370 kW. [5]

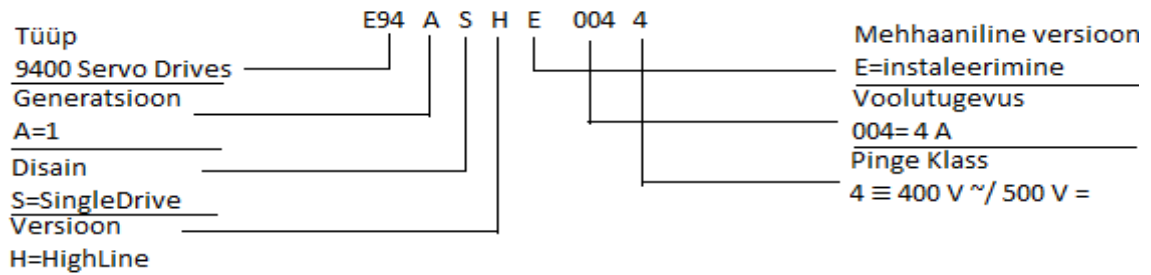


Joonis 1.11 Sageusmuundur “Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive” [5]

“Servo Drives 9400 HighLine” tagavad “intelligentsuse” ajamis ja on seega mõeldud nii detsentraliseeritud liikumisjuhtimisega rakenduste jaoks, kui ka tsentraliseeritud juhtimisga topoloogiate jaoks. Lenze pakub eelprogrammeeritud tehnoloogia rakendusi, nt. tabeli positioneerimine, elektrooniline reduktor ja erinevaid rakendusi automatiseerimis probleemide lahendamiseks lihtsalt parameetrite seadmise abil. “HighLine Servo Drive” tuleb koos CANopen siiniga, tavaliste I/O-ga, diagnoostilise LED-iga, diagnostilise ekraaniga, resolveriga ning universaalse encoderiga. Samuti, “HighLine” on varustatud kahe laienduspesaga side- või laiendusmoodulite jaoks. Lisaks pesa mälumooduli ja üks pesa turvamooduli jaoks, nii et ajam saab optimaalselt kohaneda kasutaja vajadustele. [5]

Üheteljeliste ajamite puhul toiteplokk, alalisvooluühendus ja inverter on ühendatud kokku. Integreeritud filtrielemendid ja pidurikopperid võimaldavad jaotatud seadmetes iseseisvaid rakendusi. Võimalikud on ka mitme telje ajamite kombinatsioonid.

Täpsem mudeli nimetus, mis oli töös kasutusel on E94ASHE0044, kus:



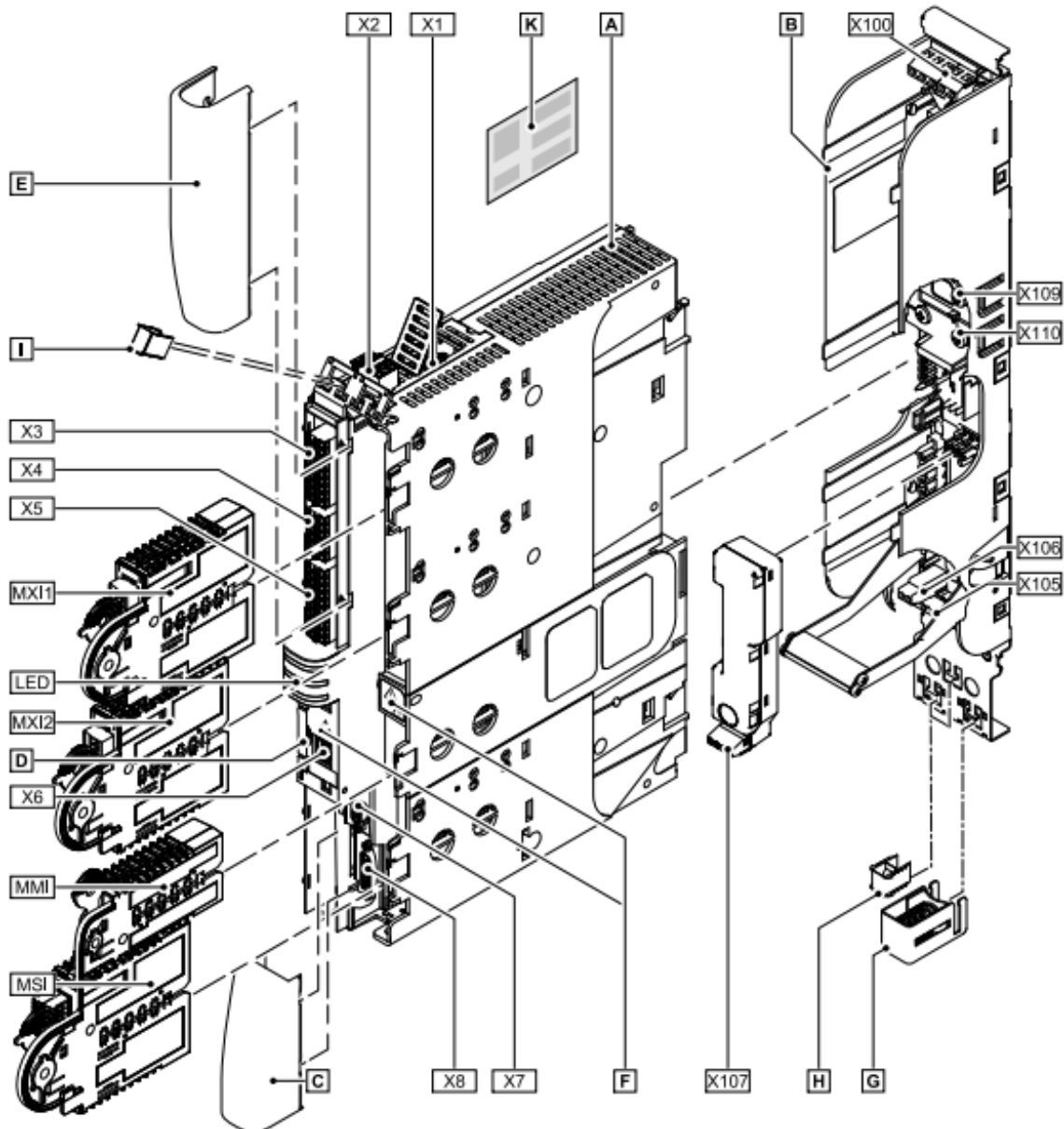
Joonis 1.12 Sagedusmuunduri “Lenze 9400” mudeli nimetuse definitsioon

Alljärgnevas tabelis on väljatoodud töös kasutatud sagedusmuunduri tehnilised andmed:

Tabel 1.3.1 Sagedusmuunduri “E94ASHE0044” tehnilised andmed [5]

<b>Mootori võimsus</b>	$P_n / \text{kW}$	1,5
<b>Mudel</b> SingleDrive		E94ASHE0044
<b>Toitepinge vahemik</b>	$U_{\text{Netz}} / \text{V}$	3/PE AC 180 ... 550V; 45 Hz ... 65 Hz
<b>Alternatiivne alalisvooluvarustus</b>	$U_{\text{DC}} / \text{V}$	DC 260 ... 775 V
<b>Nimiväljundvool</b> 4 kHz 8 kHz 16 kHz	$I_N / \text{A}$ $I_N / \text{A}$ $I_N / \text{A}$	5 4 3
<b>Maks. väljundvool</b>	$I_{\text{max}} / \text{A}$	7,5
<b>Maks. lühiajaline väljundvool</b>	$I_{\text{max}} / \text{A}$	16
<b>Ülekoormustegur</b>		4
<b>Nimivõrgu vool</b> Vooluklappiga Vooluklappita	$I_{\text{Netz}} / \text{A}$ $I_{\text{Netz}} / \text{A}$	3,9 5,5
<b>Nimialalisvool</b>	$I_{\text{DC}} / \text{A}$	6,7
<b>Piduriüksuse andmed</b> Pidev pidurdusjõud Maksimaalne pidurdusjõud Minimaalne pidurdustakistus	$P / \text{kW}$ $P / \text{kW}$ $R / \text{Ohm}$	2,3 13,3 47
<b>Võimsuse kadu</b>	$P_v / \text{W}$	160

Alloleva joonise järgi on mugav kirjeldada Lenze 9400 HighLine 1.5 kW sagedusmuunduri, mis oli selles töös kasutusel.



Joonis 1.13 Sagedusmuunduri “E94ASHE0044” demonteeritud olek, kus peamised osad on: A – sagedusmuunduri põhimoodul, B – paigalduse tagaplaat [5]

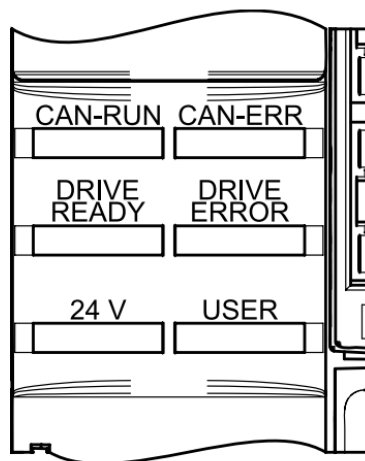
Joonisel on kujutatud erinevad sagedusmuunduri segmendid ning detailid, mis omavad konkreetset positsiooni ning selle järgi tähistit. „MX11” ning “MX12” positsioonid on lisamoodulite pesad. On mitu erinevat moodulid, mis soodustavad sagedusmuunduri käsitlemist, nt. muunduriga suhtlemisel arvuti kaudu. Autori konkreetsel juhul oli olemas Ethernet suhtlusmoodul, mille abil oli väga mugav saada sidet tarkvara ja muunduri vahel. “MMI” positsioon on mälumoodulite pesa,

mille abil on võimalik salvestada parameetreid ja töörežiime. „MSI” on ohutusmoodulite pesa, mis kaitsevad ajami erinevate ohtude eest.

Positsioon „X1” on süsteemi siin, mis asub katte all. Selle abil mikroprotsessor suhtleb teiste süsteemi komponentitega. „X2” on 24 V toiteallika ja tavasiini positsioon. Toiteallikas võib toita teisi juhtimisliisasi, kui seda on vaja. Positsioon „X3” on analoogiliste sisendite ja väljundite kogum. „X4” ja „X5” aga on digitaalsete sisendite ja väljundite kogumid. Nende abil saab tuua välja nupud, mis hakkavad vajutusel andma juhtimissignaale otseselt sagedusmuundurisse. „X6” on pesa diagnostikaseade jaoks, mille abil saab läbi viia servoajami hooldust ning diagnostikat. Resolver ja enkoderi jaoks on tehtud pesad „X7” ning „X8”. [5]

„C” ja „E” on kaitsekatted, „I” on EMC klamber, „D” on nimesilt ning „K” on ohutustähis, kuhu on kirjutatud ohutusnõuded.

LED ekraan võimaldab kiiret ülevaadet servoajami tööseisundist:






Joonis 1.14 Sagedusmuunduri „E94ASHE0044” LED ekraan [5]

- CAN-RUN indikaator näitab CAN-siini, ehk süsteemi peasiini korrasoleku seisundi ja põleb rohelise tulega.
- CAN-ERR omakorda näitab süsteemi peasiini viga ja põleb punase tulega.
- DRIVE READY indikaator näitab, et seade, ehk servoajam on valmis opereerimiseks, põleb rohelisega.
- DRIVE ERROR aga näitab, et seadmes on tekkinud viga või on viga rakenduses, ehk töörežiimi programmis, põleb punasega.
- 24 V indikaator näitab, et 24 V toiteallikas on korras ning samuti põleb rohelisega.



- USER indikaator põleb kollasega ning näitab, et parameetrid on edastatud rakendusega, programmiga.

Positsioon "F" on koht ohutussümbolite jaoks, täpsemalt:

1.  - Hoiatab kasutajat, et seade hoiab kaua ohtliku laengut peale voolu väljalülitamist, mis võib kesta kuni 30 minutit.
2.  - Hoiatab kasutajat, et laengust vabanemise vool on ohtlikult suur.
3.  - Hoiatab kasutajat, et seade on tundlik elektrostaatilise voolu vastu ning kasutaja peab enne tööle hakkamist veenduma, et ta on elektrostaatilise laengust vaba.

Kõik ülejäänud positsioonid käivad tagaplaati (pos. "B") kohta.

"X100" positsioon on peavoolu/DC-siini voolu ühendamiskoht. Omakorda "X105" välispiduri takisti. Positsioon „X106“ on mootori temperatuuri jälgimine. „X107“ on mootori hoidmispiduri juhtimine. Positsioonid „X109“ ning „X110“ on alalisvoolu siiniriba pluss ja miinus. „G“ ja „H“ on EMC klambrid kaablite jaoks.

Töös kasutataval sagedusmuunduril „Lenze 9400 HighLine“ on samuti olemas erinevad sisendid ning väljundid servoajami juhtimiseks. Kuna katsestendi kontseptioonis oli vaja kasutada nii analoogsignaale kui ka digitaalsignaale, oli analoog- ja digitaalsisendite ja väljundite olemasolu väga tähtis.

### **Süsteemne siin CAN**

Servovõimendisse on integreeritud CANopen süsteemi siini liides, et vahetada protsessiandmeid ja parameetri väärtusi erinevate sõlmede vahel ja ühendada täiendavaid mooduleid. [5]

## 24 V toiteplokk

Servovõimendi genereerib toitepinge juhtimiselektronika jaoks võrgupingest. Samuti võib toitepinget toita sõltumatu 24 V allikas. Seega jäävad kontrollfunktsioonid aktiivseks ka pärast voolurikket.[5]

Tabel 1.3.2 24 V toiteplokki elektrilised andmed [5]

24 V allikas	Nimipinge $U_n / V$	24
	Pinge vahemik $U / V$	19,2...28,8
	Voolutarbe $I / A$	1,2 ; Max. 3 käivitamisel
	Kaitse	Kaitseüliti kolmekordse karakteristikuga C või B
	Kaabli pikkus $L / m$	Max. 5

## Olekusiin

Olekusiin on siinisüsteem, mis on mõeldud ainult Lenze servovõimenditele, mille kaudu saab ühendada kuni 20 servovõimendit. Oleku juhitakse süsteemi mooduli SFBDigitalOutput kaudu. [5]

- Olekusiin teab seisundit "OK" ja "Viga".
- Olekusiin on "multi-master-compliant", s.t iga olekusiiniga ühendatud sõlm võib seadistada olekusiini "veaks" muutes end "LOW" tasemele.
- „Vea” olekus aktiveerivad kõik sõlmed oma programmeeritud vastuse, nt. ajami süsteemi sünkroonne pidurdamine.

Tabel 1.3.3 Olekusiini elektrilised andmed [5]

Olekusiin	Nimipinge $U_n / V$	24
	Ühendus	Max. 20 seadet
	Kaabli pikkus $L / m$	Max. 5

## Analoogsisendid, analoogväljundid

Servovõimendil on kaks analoogsisendit, mis suudavad tuvastada diferentsiaalpinge signaale vahemikus  $\pm 10 V$ , nt. analoogkiiruse seadeväärtuse valik või välise anduri pinge signaal (temperatuur, rõhk jne). Analoogsignaali 1 võib tuvastada ka vooluga sätestatud tähendust. [5]

Servovõimendil on kaks analoogväljundit, mis võivad väljendada sisemisi analoogsignaale pinge signaalidena, nt. analoognäidikute juhtimiseks või alamseadmete seadeväärtuseks.

Tabel 1.3.4 AnalooGISisendite/väljundite elektrilised andmed [5]

Analoogsisend 1	Tasand: $U / V$	-10...+10
	Resolutsioon:	11 bits+sign
Analoogsisend 2	Skaleerimine: $U / V$	+/- 10 $\equiv$ +/-16384
	Tasand: $I / mA$	-20 ... +20
Analoogsisend 1 vooluna	Resolutsioon:	10 bits+sign
	Skaleerimine: $I / mA$	+/-20 $\equiv$ +/-16384
Analoogväljund 1	Tasand: $U / V$ $I / mA$	-10 V ... +10 V, max. 2 mA
	Resolutsioon:	11 bits+sign
Analoogväljund 2	Skaleerimine: $U / V$	+/-16384 $\equiv$ +/-10

### Digitaalväljundid ja sisendid

Servovõimendil on neli vabalt konfigureeritavat digitaalväljundit. [5]

Tabel 1.3.5 Digitaalväljundite elektrilised andmed [5]

240 (valikuline)	Nimipinge $U_n / V$	24
	Voolutarbe $I / mA$	Max. 300
DO1  ... DO4	Lülitustase: $U / V$	
	LOW	0...+ 5
	HIGH	+15... +30
	Väljundvool $I / mA$	Max. 50
	Koormus $R / Ohm$ $U / V$	480 Ohm – 24V

Ajami servovõimendi on varustatud vabalt seadistatavate digitaalsisenditega.

- Järgmised digitaalsisendid on puuetundliku anduriga:

–"HighLine": Kõik sisendid

–"StateLine": DI1

- Servovõimendi sisselülitamiseks mõeldud juhtimissisend RFR on seadme juhtimisega kindlalt seotud. See peab olema juhtmega, et võimaldada servovõimendi sisselülitamist HIGH-signaaliga.

Tabel 1.3.6 Digitaasisendite elektrilised andmed [5]

240 (valikuline)	Nimipinge $U_n / V$	24
	Voolutarbe $I / mA$	Max. 50
RFR DI1	Lülitustase: $U / V$	
...	LOW	0 ...+ 5
DI8	HIGH	+15...+30
	Sisendvool $I / mA$	Max. 8

### Diagnostiline adapter/klaviatuur

"X6" pesasse saab ühendada:

- USB diagnostiline adapter E94AZCUS või
- Klaviatuur E94AZKAE.

Diagnostikaadapter ja arvuti, millel on tarkvara Lenze »Engineer« on mõeldud ulatuslike seadistuste teostamiseks, nt. esmakordsel kasutuselevõtul. Klahvistik võimaldab kogunud kasutajatel individuaalseid seadeid kontrollida või muuta. [5]

### Resolver

Resolver on ühendatud pesasse "X7". Kolmandate osapoolte resolverite kasutamine on lubatud. Sel juhul tuleb C00080-s olevate resolveri pooluste paaride arvu kohandada kasutatud resolveriga. Kui staatori mähised on erutatud 4 kHz-ga, resolveri näivtakistus ei tohi langeda alla 65 oomi. Kui on ühendatud madalamad impedantsid, ülekoormuskaitse, mis on integreeritud väljundisse, piirab väljundvoolu.

Tabel 1.3.7 Resolveri elektrilised andmed [5]

Üldine informatsioon	Kaabli pikkus $L / m$	Max. 150
$V_{cc}$	Toitepinge $U / V$	5
	Maksimaalne väljundvool $I / mA$	110
+REF, -REF	Sisendsagedus $f / kHz$	Max. 250
+COS, -COS	Erutuspinge $U_{ss} / V$	10
+SIN, -SIN	Vedaja sagedus $f / kHz$	4
+KTY, -KTY	Tüüp	KTY 83-110

„Servo Drives 9400 HighLine“ muunduril on väga lai kasutamiskiirkond ning samuti palju erinevaid töörežiime. Kuna servoajami kasutus on piiratud ainult kasutajate kujutusvõimega ning igal konkreetsel ülesannel on oma konkreetne lahendus, on mõttekas nimetada kõige laiemalt levinud servoajami „Lenze 9400 Highline“ kasutamiskiirkonad [5]:

#### **Pumbad ja ventilaatorid**

Protsesside automatiseerimise tõsisem tase, nagu rõhu jälgimine, kaugjuhtimine ning energiasäästlikud seadmed, nõuavad elektrimootorite juhtimiseks üha sagedamini sagedusmuundureid.

Tüüpilised rakendused on:

- Ehitusmasinad (HVAC)
- Keemia- ja toiduainetööstus
- Veevarustus
- Kokkusurutud gaaside tootmine (aerosoolid, hapnikusilindrid ...)
- Vaakumgeneraatorid
- Tööstuslikud ventilaatorid
- Külmutusseadmed

### **Ekstruuderite ja vormimismasinade ajamid**

Valmistoodete luuakse toormaterjalidest vormimise protsessis või lõpliku kuju andes deformeerimise käigus. On palju tooraineid - valmistoodete allikaid ja seetõttu on palju erinevaid vormimisprotsesse ja erinevaid ajami lahendusi, mis töötavad pika või tsüklilise režiimiga.

Tüüpilised kauakestva protsessiga rakendused on:

- Ekstruuderid
- Vibraatorid

### **Liftid**

Ajameid liftides kasutatakse koormuste tõstmiseks ja langetamiseks ning nende hoidmiseks.

Tüüpilised rakendused on:

- Kaubaliftid, kraanad, vintsid
- Laosüsteemide liftid

### **Rullimisajamid**

Sageli, tehnoloogiliste protsesside käigus, neid rullitakse lahti ning lõpetamisel rullitakse kokku. Kokku ja lahti rullimise protsesside vahele, paigatakse ajameid, mis sünkroniseerivad neid protsesse.

Tüüpilised rakendused on:

- Rullismehhanismid kangaste, kilede, paberi, lehtmaterjali, juhtmete jaoks
- Trükimasinad
- Pakendamismasinad

### **Sünkroniseerimise ajamid**

Sünkroniseerimise ajamid tagavad erinevates täiturmehhanismides (reduktorid) pideva kiiruse ja pöördenurga vahelist suhet.

Tüüpilised rakendused on:

- Pikkade materjalide valtsimine, venitamine ja sirgendamine
- Trükimasinad

## **Positsioneer**

Positsioneerid liigutavad materjali, tooteid, tööriistu, kasutades pöörlevat või lineaarset liikumist, et saavutada nõutud asend.

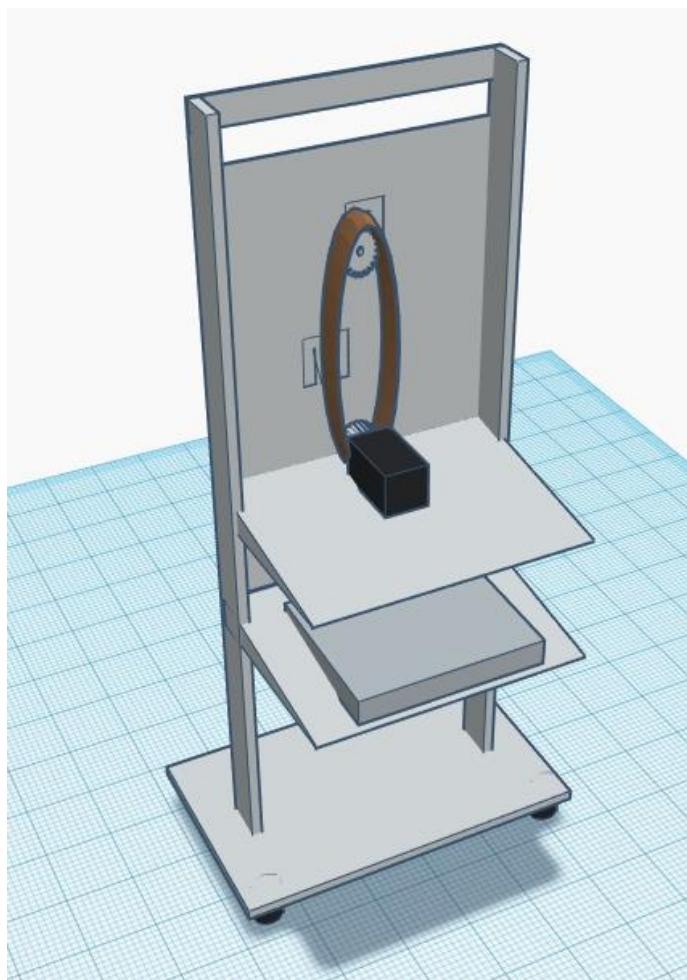
Tüüpilised rakendused on:

- Paigaldusmasinad
- Pöörlemislauad
- Liftid, tõstemehhanismid, horisontaalsed konveierid

## 1.4 Katsestendi kontseptsioon

Autori eesmärk oli teha mitte ainult funktsionaalne katsestend, vaid ka atraktiivne, et seda saaks näidata avatuduste päevadel. Tuli välja mõelda selline stend, et haarata koolilaste tähelepanu.

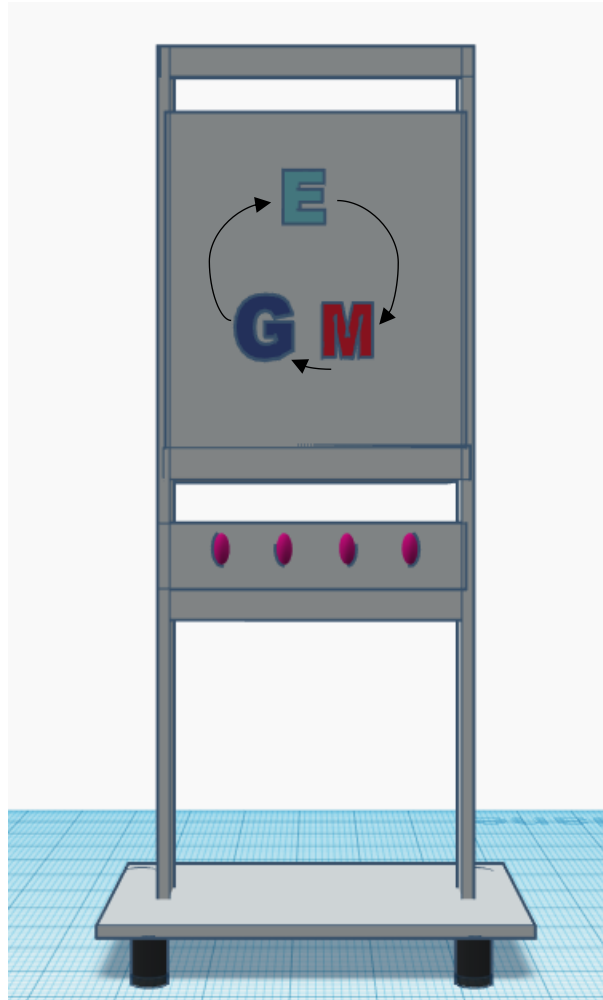
Variante oli palju, kuid lõpuks oli valitud selline, kus väikse konveieri rihma peal on kinnitatud magnetid. Rihma liikumisel, liiguvad ka kinnitatud magnetid. Liikuv konstruktsioon on peidetud mitteläbipaistva paneeli taga. Kinnitades magneti vastupidise poolusega paneeli külge, paralleelselt teise magnetiga, hakkab magnet järgima liikuvat osa. Magnetit saab kinnitada mingi atraktiivse objekti külge, näiteks tähede või etikettide hoidjate, et oleks tähelepanuväärsem. Esialgne kontseptsioon on kujutatud jooniste 1.15 ning 1.16 peal.



Joonis 1.15 Katsestendi esialgse kontseptsiooni tagavaate



Eespool katsestendi on paigutatud peale attraktiivse osa ka paneeli sisse monteeritud digital- ning analoogsignaali nupud. Nuppe vajutades saab juhtida mootorit: käivitada, muuta kiirust, seisma panna või manual režiimis juhtida.



Joonis 1.16 Katsestendi esialgse kontseptsiooni eesvaade

Tagapool on paigutatud Lenze sagedusmuundur ja mootor koos hammasrattatega ja rihmaga, et nad ei häiriks tegutsemist eespool.

Terminali peal on kokku 11 nuppu:

1. Piduri nupp – andes 24V toide mootorisse, võimaldab see nupp piduri maha võtta, või vastupidi -peale panna.
2. Sagedusmuunduri sisselülitamise nupp – lülitab sagedusmuunduri sisse või välja

3. Kiirpiduri nupp – Võimaldab kasutada kiirpidurit, mis peatab mootori vastavalt seadistatud ajaga
4. Kiiruse järgija nupp – lülitab sisse/välja kiiruse järgijat, mis hoiab seadistatud kiirust vastaval koormusele.
5. Pote nupp – annab võimalust reguleerida kiirust
6. Reversi nupp – võimaldab mootoril pöörata vastu/päripäeva
7. Kiiruse seadistuse nupp – alternatiiv pote nuppule , mis võimaldab lülitada sisse/välja salvestatud kiirust
8. Manuaalse juhtimise nupp – lülitab sisse/välja manuaal juhtimist
9. Manuaal juhtimise päripäeva nupp
10. Manuaal juhtimise vastupäeva nupp
11. Vea lähtestamise nupp – annab võimalust vea tekkimisel ning kokkuvõttes kõrvaldamisel teha „reset“

Kuna tehnoloogiline rakendus “actuator-speed” sobib hästi katsestendide jaoks, tekitab sellega tudengidel võimalus servoajamit lähemalt uurida. Seoses sellega, et katsestendi kontseptsioonis ei ole arvutit, mille abil saab Lenze tarkvara kaudu seadistada servoajami parameetreid, saab seda teha klaviatuuri abil, mis on paigutatud Lenze tehase poolt otseselt sagedusmuunduri peale. Igal salvestatud rakenduse funktsioonil on olemas oma parameetrid , mida saab muuta ning salvestada klaviatuuri abil, mõjutades sellega servoajami tööd. [8]

Selleks, et klaviatuuri kaudu valida õige parameeter ning seda muuta, tuleb tudengidel valida klaviatuuri ekraani abil peamenüüd ( „Main Menu“ ekraani peal), kust nad saavad siseneda parameetrite otsingu aknasse („Parameter set management“). Peale seda tuleb sisestada vajaliku parameetri kood, mille tagajärjel ekraan näitab parameetri praguse väärtuse. Parameetri väärtuse saab muuta ning uuesti salvestada ning jälgida ajami tööd. [8]

Esimene funktsioon, mille parameetri tudengid saavad muuta ning uurida on kiiruse seadistus analoog sisendi kaudu, katsestendi terminali peal - pote nupp. Parameeter koodiga C02731:001 on analoog sisendi lähtepunk, ehk piduri maha võtmisel, hakkab mootor käima kiirusega, sättestatud selle parameetriga protsentides viitekiirusest. Teine parameeter on koodiga C02730, mis on analoog sisendi kiiruse juurdekasvu protsent mootori nimikiiruse raamides. Mõlema parameetri piirang on -200% kuni 200%. [8]

Teine funktsioon on üleminek fikseeritud kiirusele, katsestendi terminali peal -... nupp .Tudengid saavad muuta parameetri koodiga C03500, mis muutub samuti protsentides viitekiirusest. See

parameeter annab võimalust muuta võlli pöörlemiskiirust nuppu vajutamisega. Kuna sellel parameetril saab olla korraga salvestatud 15 tähendust, saab seda parameetrit mitte ainult muuta, vaid ka lihtsalt ekraani abil ümber lülitada erinevatele kiirustele. Samuti on tudengitel vajadusel võimalus, muutes tarkvara abil koodi, ühendada selle parameetri erinevate tähenduste jaoks eraldi digitaalsisendite nupud. [8]

Et vältida astmelisi kiiruse muutusi, kiiruse seadistus alguses käib läbi rambigeneraatorist, enne kui see jõuab funktsiooni „kiiruse järgija“. See tähendab, et tudengid saavad samuti muuta rambigeneraatori parameetreid. Eelnimetatud funktsioonide käivitamisel on võllil kiirenduse ning aeglustuse aeg, mida saab muuta parameetrite abil koodidega C03502 ning C03503, mille mõõteühikuks on sekundid. Samuti saab valida rambide profiili parameetri C03010 abil, vastavalt kas S-kujuga või lineaarsed rambid. Valides S-rambi profiili, parameetri C03504 abil saab muuta S-rambi aega. Rambigeneraatoril on samuti olemas võimalus korraga salvestada kuni 15 parameetrite komplekti. [8]

Juhul, kui „kiiruse järgija“ funktsioon on väljalülitatud digitaalsisendi 2 abil, mis terminali peal on „kiiruse järgija“ funktsiooni sisse/välja lülitamine, peatub mootor tavapiduri abil. Tavapiduril on samuti olemas parameeter, mida saab muuta koodi C02610 abil ning muutub sekundides. [8]

Digitaalsisendi 1 sisse/välja lülitamisel, kasutavad tudengid funktsiooni „Kiirpeatus“, mis paneb mootori seisma. Muutes parameetri C00105, saab muuta kiirpeatuse aega sekundides, millel pole limiteeringuid. [9]

Kuna rakenduses on olemas ka manuaalne juhtimine, saab ka manuaaljuhtimis parameetreid muuta. Parameeter C02620 vastutab mootori päripäeva kiiruse eest, mille mõõteühikuteks on mm/s. Parameeter C02621 aga vastutab mootori vastupäeva kiiruse eest. Parameetrid C02622 ning C02623 omakorda on võlli kiirendus ning pidurdus, mille mõõteühikuteks on mm/s<sup>2</sup>. [9]

Tänu tehnoloogilisele rakendusele „acutator speed“ on ülikooli tudengitel võimalus ühendada oma välja projekteeritud ülekannet (näiteks sobiks väga hästi selline, kus on vaja vastavalt koormusele jälgida kiirust), ning väga lihtsasti muuta servoajami parameetreid, vajalike selle ülekande jaoks. Parameetrid koodidega C02520 ning C02521 vastutavad reduktori ülekandearvust. Parameeter C02520 on lugeja ning C02521 nimetaja. Parameeter C02524 on reduktori nihkekonstant millimeetrites. Samuti saab sisestada ülekanne ning mootori inertsimomendi, vastavalt parameetrite C00273/1 ja C00273/2 abil. [9]

Klaviatuuri peal saab samuti näha servovõimendi staatust erinevate sümbolite (1) abil:



Joonis 1.17 Lenze 9400 sagedusmuunduri klaviatuur ekraaniga [9]

Tabel 1.4.2 Lenze 9400 sagedusmuunduri ekraani ikoonide tähendused[9]

Ikoon	Tähendus	Märkus
<b>RDY</b>	Servovõimendi on tööks valmis	
<b>RUN</b>	Servovõimendi on sisselülitatud	
<b>STP</b>	Rakendus servovõimendis on peatatud	
<b>QSP</b>	Kiirpeatus on aktiivne	
<b>CINH</b>	Servovõimendi on peatatud	Toite väljundid on blokeeritud
<b>OFF</b>	Servovõimendi on stardiks valmis	
<b>Mmax</b>	Kiiruse regulaator 1 piirangus	Ajam on reguleeritud pöördemomendi abil.
<b>Imax</b>	Mootori puhul on seatud volupiirang ületatud või generaatori režiimis.	
<b>IMP</b>	Impulsi inhibeerimine on aktiivne	Toite väljundid on blokeeritud
<b>ISPLT</b>	Süsteemi viga on aktiivne	
<b>IFLT</b>	Viga on aktiivne	
<b>ITRB</b>	Probleem on aktiivne	
<b>ITOSP</b>	Kiirpeatus on aktiveeritud probleemiga	
<b>WRN</b>	Hoiatus on aktiivne	

Kasutades klaviatuuri saab samuti võrrelda ning diagnoosida seadistatuid/tegelikke väärtusi järgmiste koodide abil:

Tabel 1.4.3 Lenze 9400 sagedusmuunduri diagnoosiliste parameetrite loetelu[9]

Parameetrid	Ekraan
C00183	Seadme olek
C00168	Vea number
C000051	Tegelik kiirus
C00052	Mootori pinge
C00054	Mootori vool
C000051/1	Maksimaalne pöördemoment
C000051/2	Pöördemoment piirvoolul
C00059	Mootori pooluspaaride arv
C00060	Rootori positsioon
C00061	Radiaatori temperatuur
C00062	Servovõimendi sisemine temperatuur
C00063	Mootori temperatuur
C00064	Servovõimendi koormus (I x t) viimased 180 sekundid.
C00065	Väline 24 V pinge
C00066	Mootori termiline koormus (I <sup>2</sup> xt)
C00068	Elektrolüüt-kondensaatori temperatuur
C00069	CPU temperatuur
C00178	Servovõimendi töötamise aeg
C00179	Toide olemasolu aeg
C00186	ENP: tuvastatud mootori tüüp

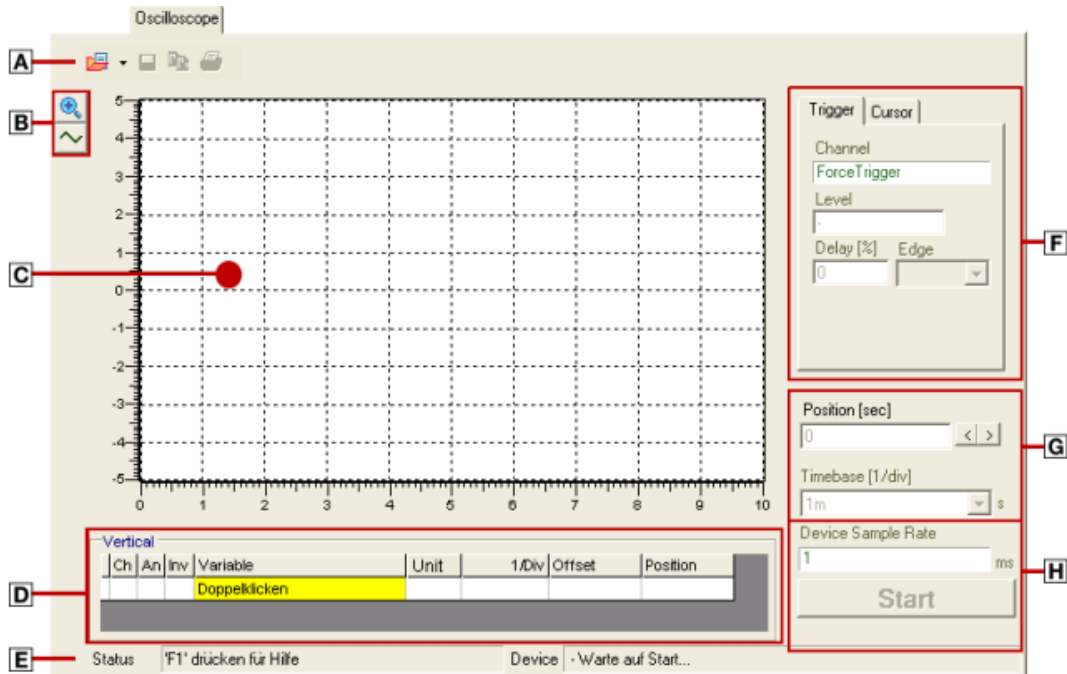
Et tudengitel oleks mugavam kasutada töös kasutatavat rakendust ning servoajamit on lisades tõlgitud manual, mida saab vajadusel välja printida ning millele saavad tudengi orienteeruda, kasutades katsepinki. [8]

Kasutades arvutit ning tarkvara „Lenze Engineer“ on tudengidel samuti võimalus uurida servoajam ostsiloskoopi abil, mis on integreeritud servoajami „Lenze 9400 High Line“.

Ostsiloskoopi abil saab igast mõõdetud väärtusele graafilist kuju (nt. seadistatud kiirusest, tegelikust kiirusest ning pöördemomendist). Samuti ei pea kasutama teisi mõõtevahendeid.

Integreeritud oscilloskoop võimaldab lindistada ning salvestada mõõdetuid väärtusi servovõimendisse, edaspidiseks uurimiseks. [9]

Ostilloskoopi kasutajaliides sisaldab järgmisi juhtimis- ja funktsioonelemente:



Joonis 1.18 Lenze Engineer ostilloskoopi kasutajaliides [9]

Kus:

- A. Ostilloskoopi tööriistariba
- B. Ostilloskoopi funktsiooniriba
- C. Ostilloskoop
- D. Vertikaalsed seaded
- E. Olekuriba
- F. Triggeri / Kursori seaded
- G. Horisontaalsed seaded
- H. Salvestamise seaded

Tudengid saavad vajadusel muuta koodi tarkvara „Engineer“ abil. On olemas Salvestada uusi tehnoloogilisi rakendusi ning vahetada digitaal - ning analoogsisendeid.

On olemas sellised rakendused nagu:

„Actuator – torque“, mis tekitab ajami pöördemomendi mootori kiirusest sõltumata. [9]

„Elektroniline reductor“, mida kasutatakse sünkroniseerimiseks süsteemis olevate ajamite vahelist venitussuhet. [9]

„Tabeli positsioneerimine“, mis võimaldab käivitada vajalike parameetritega reisiprofiilid. Järjestust juhitakse pealiskaudse kontrolli abil. [9]

## 2. TARKVARA KASUTAMINE JA KATSEPINKI KOKKUPANEMINE

Selles peatükis autor kirjeldab tarkvaraga töötamist ning katsestendi kokkupanemise töökäiku.

### 2.1 Tarkvara servoajami programmeerimiseks

Katsestendi arendamisel autor kasutas tarkvara nimega "L-force Engineer". Sellel tarkvaral on kasutajasõbralik multifunktsionaalne liides, mida kasutatakse üksikute ajamikomponentide (servovõimendi, mootori, sisend / väljundsüsteemi) parameetrite määramiseks, diagnoosimiseks ja konfigureerimiseks. Töötada saab nii offline kui ka online (Etherneti kaudu) režiimis. Programmi käivitamisel saab luua uue projekti või laadida juba valmis projekti ja kõik edasised tööd on selle projekti parameetrite muutmine. [6]

L-force Engineer on tööriist, mis toetab kasutajat kogu masina elutsükli jooksul alates projekteerimisest kuni hoolduseni ning spetsiaalsed kasutajaliidesed muudavad I / O-süsteemi häälestust eriti lihtsaks. L-force Engineeri tarkvara funktsiooniploki toimetaja aitab Lenze servoajamit kohandada tehnoloogiliste ülesannetega.

Tarkvaraga suhtlemiseks, ehk ühendus tarkvara ning sagedusmuunduri vahel oli saavutatud Ethernet mooduli kaudu „E94AYCEN”. Ethernet moodul on installitud sagedusmuunduri „MXI 2” pesasse.[6]

Toote "E94AYCEN" omadused [7]:

- Eraldi moodul "Ethernet" ühenduse jaoks, mida saab kinnitada "Servo Drive-I 9400" laienduspesasse.

Andmeedastuskiiruse ja ülekande režiimi automaatne seadistamine

- Juhtmevigade automaatne tuvastamine ja andmesignaali polaaruse ümbersuunamine (autopolaarsus)

- Andmesignaali automaatne tuvastamine ja (sisemine) vahetamine vastuvõtuteedelt ja edastusteedelt (automaatne ületamine)

- Juurdepääs kõigile Lenze parameetritele Lenze'i »Engineer-i« kaudu



Töös kasutatavasse sagedusmuundurisse Lenze autor salvestas rakendust "actuator - speed" katsestendi kontseptsioonis.

Tehnoloogiline rakendus "acutator-speed" võimaldab ajamil defineerida seadistatud kiirust. Kiirust saab seadistada kiiruse regulaatori abil, mis kohandab vajaliku mootori pöördmomenti koormusele. [8]

- Ajami kiirust saab seadistada mõlemas suunas, mis tähendab, et mootori võll saab liikuda mõlemas suunas. Liikumissuunda saab muuta digitaalse sisendi DI3 abil.
- Pärast kiiruse reguleerimist digitaalse sisendi DI2 abil, kiirendust/aeglustust reguleerib rambigeneraator, mis lähtub seadistatust/tegelikust kiirusest.
- Vajadusel saab reguleerida ka maksimaalset pöördmomenti.

Põhilised ajamifunktsioonid:

- Kiiret peatumist saab aktiveerida digitaalse sisendi DI1 kaudu.
- Seadistamise jaoks on ette nähtud käsiti juhtimine. Käsiti juhtimist käivitatakse sisendi DI6 kaudu. Sisendid DI7 ja DI8 aktiveerivad vastava neile pöörlemissuunda.
- Põhifunktsioon "Limiter" (Limiter) võimaldab liikumiskiirkonda jälgida lülitite abil.
- Kui pidur on saadaval, pidurikontroll rakendab seda või lülitab välja

Kasutusala:

- Üldine servoajam kiiruse reguleerimiseks:
  - – Konveieri ajamid (ühendatud ühte süsteemi)
  - – Ekstruuderid
  - – Katsestendid
  - – Vibrolauad
  - – Liikumisajamid
  - – Pressid
  - – Tööriistaajamid
  - – Dosaatorid

Tehnoloogiline rakendus salvestatakse mälumooduli programmide 2 mälupiirkonda ja seda saab valida rakenduse „Engineer“ kataloogist. [8]

Rakendusega juhtimine käib terminalide kaudu.

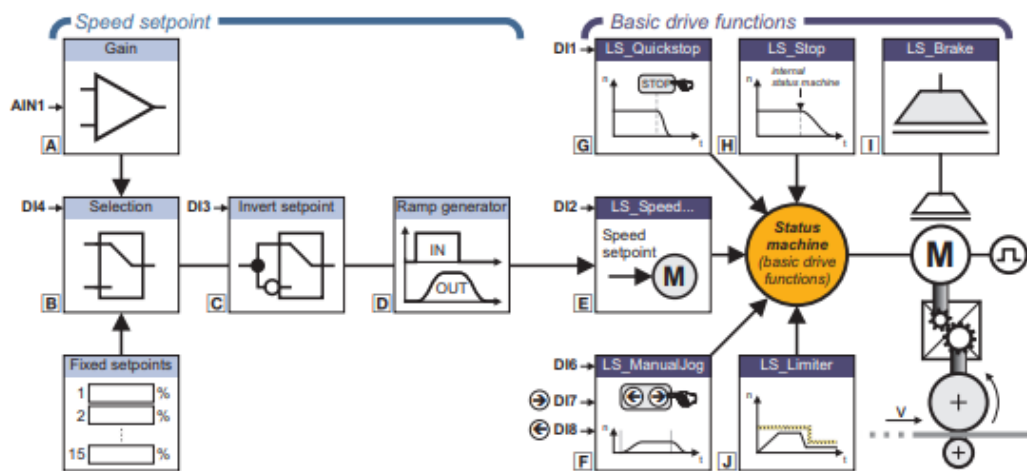
Terminalid tuleb ühendada analoog- ja digitaalsisenditesse/väljunditesse, peale mida saab rakendusega kaugusel juhtida.

Tabel 2.1.1 Rakenduse „actuator-speed” terminalide jaotus [8]

Ühendusklemm		Eesmärk
X3	A11- A11+	+/-10 V $\equiv$ +/- 100% Nimikiirusest
X5	RFR	Servovõimendi sisselülitamine
	DI1	Kiir pidurdus Juhul, kui digitaalsisend DI1 on sisselülitatud, ajam pidurdab nullkiiruseni. Juhul, kui DI1 on väljalülitatud, ajam saavutab oma seadistatud kiirust taas.
	DI2	Kiiruse jälgija aktiveerimine
	DI3	Kiiruse inversioon
	DI4	Kiiruse seadistuse aktiveerimine. Kiirust saab aktiveerida digitaalsisendi DI4 abil , alternatiivselt analoogsisendile.
	DI5	Vea lähtestamine
	DI6	Käsitsi juhtimine
		<b>DI7</b>   <b>DI8</b>   <b>Funktsioon</b>
		LOW   LOW   Pidurdus
	HIGH   LOW   Käsitsi juhtimine päripäeva	
	LOW   HIGH   Käsitsi juhtimine vastupäeva	
	HIGH   HIGH   Eelmine funktsioon jääb aktiivseks	

Rakendus „actuator-speed” koosneb koodist, mis on koostatud funktsiooniplokkide keele põhimõttel. (Vt. Lisa)

### Signaalide liikumine:



Joonis 2.1 Signaalide liikumine rakenduses „actuator-speed” (skemaatiline diagramm) [8]

Kiiruse seadmise tingimused:

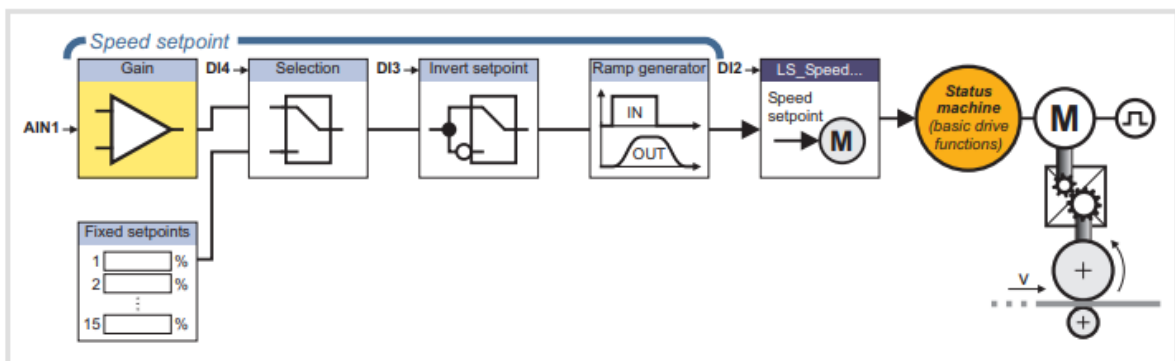
- A. Kiiruse seadmise koeffitsient
- B. Valik kiiruse analoog seadistamise/fikseeritud seadistuse vahel
- C. Kiiruse inversioon
- D. Rambigeneraator

Ajami peamised funktsioonid

- E. Kiiruse järgimine
- F. Käsitsi juhtimine
- G. Kiirpidurdus
- H. Pidurdus
- I. Piduriga juhtimine (optionaalne)
- J. Limiter (optionaalne)

Mis tähendab, et mootori käivitamiseks, peab kiiruse järgija „E“ saama signaali funktsiooniplokkidest „A“, „B“, „C“ ja „D“ kiiruse parameetritest. Järgmisena kasutaja saab kasutada rakenduse peamisi funktsioone.

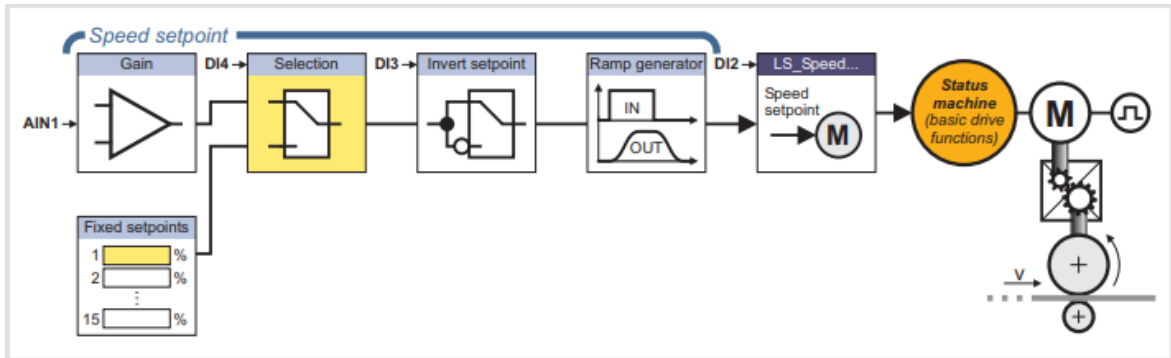
**Tingimused kiiruse seadmiseks**



Joonis 2.2 Tingimused kiiruse seadmiseks (skemaatiline diagramm) [8]

Kiiruse seadistamine toimub analoogsisendi 1 kaudu ja töötab mõlemas suunas (bipolaarne) ja masina veoosa liigub vastavalt. Analoo sisendi koodi sisestamiseks kasutati funktsiooniplokki „LS\_Analoginput“, mis omakorda, pärast mõningaid muutusi ning täiendusi kasutati funktsiooniplokkis „L\_SdSpeedSet“, ehk rambigeneraatoris.

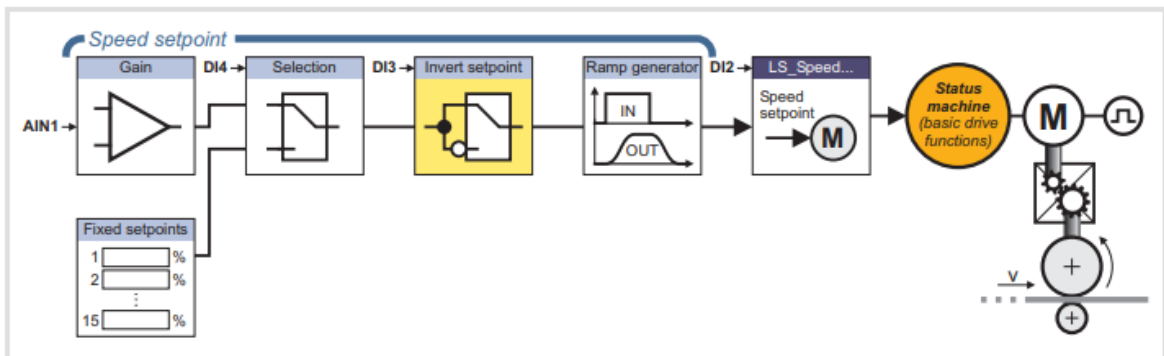
## Üleminek fikseeritud kiiruse seadmisele



Joonis 2.3 Üleminek fikseeritud kiiruse seadmisele(skemaatiline diagramm) [8]

Digitaalsisendi DI4 abil saab teostada ülemineku fikseeritud kiiruse seadmisele, mida saab alati vajadusel muuta tarkvara/liidese abil. Selleks kasutati koodis funktsiooniploki „LS\_Digitalinput“, mis omakorda oli kasutusel „L\_SdSpeedSet“, ehk rambigeneraatoris.

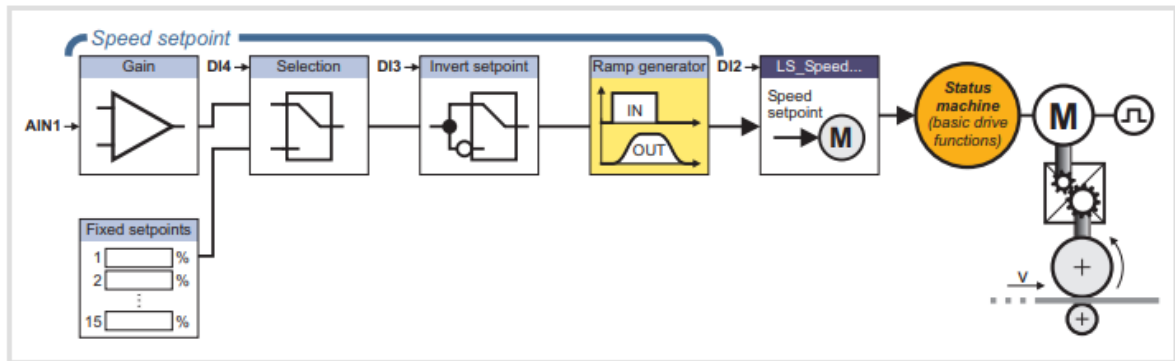
## Kiiruse inversioon



Joonis 2.4 Kiiruse inversioon(skemaatiline diagramm) [8]

Digitaalsisendi DI3 kaudu võib tegutseva suunda vajadusel muuta vastupidiseks, ehk teostada inversiooni. Selleks kasutati koodis funktsiooniploki „LS\_Digitalinput“, mis omakorda oli kasutusel „L\_SdSpeedSet“, ehk rambigeneraatoris.

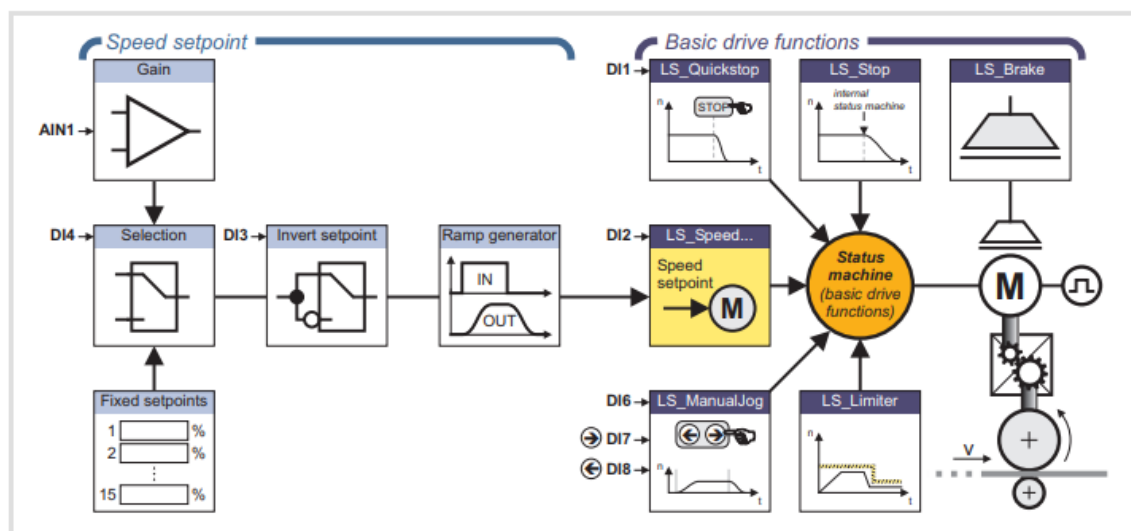
## Kiiruse rambigeneraator



Joonis 2.5 Kiiruse rambigeneraator(skemaatiline diagramm) [8]

Et vältida astmelisi kiiruse muutusi, kiiruse seadistus käib läbi rambigeneraatorist, milles saab seadistada kiirendust/pidurdust ning S-ramb-i, ennem, kui signaal jõuab peamise ajami funktsiooni "Speed Follower", ehk kiiruse järgijasse. Koodis kasutati selleks plokki "L\_SdSpeedSet", milles on kõikehõlmavad parameetrid ja juhtimisvõimalused, kiiruse lõppsignaali formuleerimiseks.

## Kiiruse järgija



Joonis 2.6 Kiiruse järgija(skemaatiline diagramm) [8]

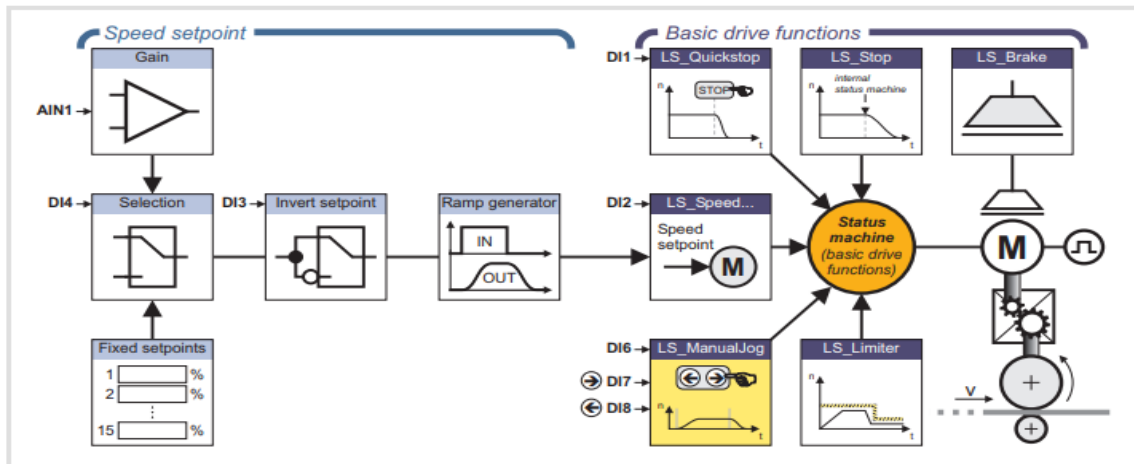
Selleks, et hakkata seadistama kiirust ja näha või teostada rakenduse funktsiooni kiiruse järgija tööd, tuleb taotletakse digitaalsisendi DI2 kaudu luba. Juhul, kui mõni muu põhifunktsioon või viga on mitteaktiivne, on kiiruse järgija ning kiiruse reguleerimise kasutamine lubatud.

Ajami kiirendamist / aeglustamist lõppunkti reguleeritakse rambigeneraatori abil, mis võrdleb seadistatud kiirust / tegeliku kiirust.

Juhul, kui ajami töö on välja lülitatud digitaalsisendi DI2 kaudu, ajam pidurdab nullkiiruseni, põhifunktsiooni "Stop" (koodis „LS\_Stop“) abil.

Koodis oli selleks kasutusel plokk "LS\_SpeedFollower", koos teiste reguleeritavatega funktsionaalplokkidega.

### Käsitsi juhtimine

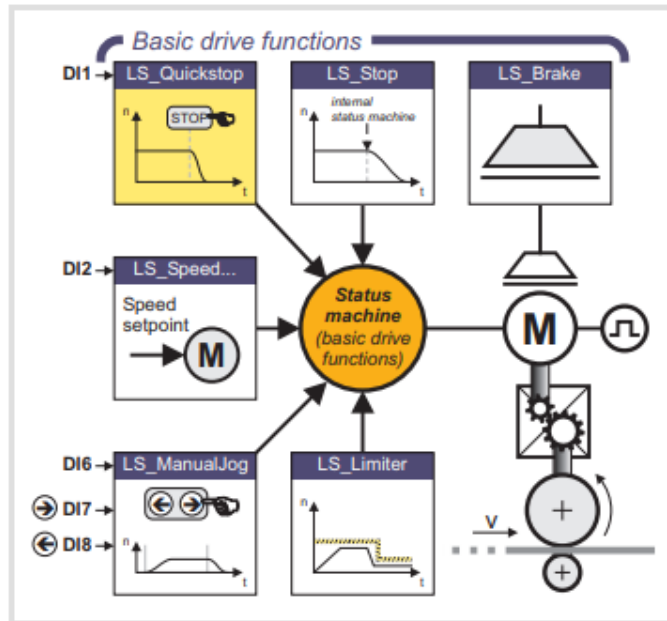


Joonis 2.7 Käsitsi juhtimine(skemaatiline diagramm) [8]

Töö seadistamiseks on saadaval põhifunktsioon käsitsi juhtimine, ehk "Manual.jog". Seda taotletakse digitaalsisendi DI6 kaudu. Juhul, kui teine põhifunktsioon, ehk kiirpeatus või kiiruse järgija ja viga on mitteaktiivsed, lubatakse käsitsi juhtimist ning käsitsi juhtimine käib digitaalsisendite DI7 ja DI8 abil, mis liigutavad mootori võlli kas päri – või vastupäeva.

Koodis kasutati selleks plokki "LS\_ManualJog".

## Kiirpeatus



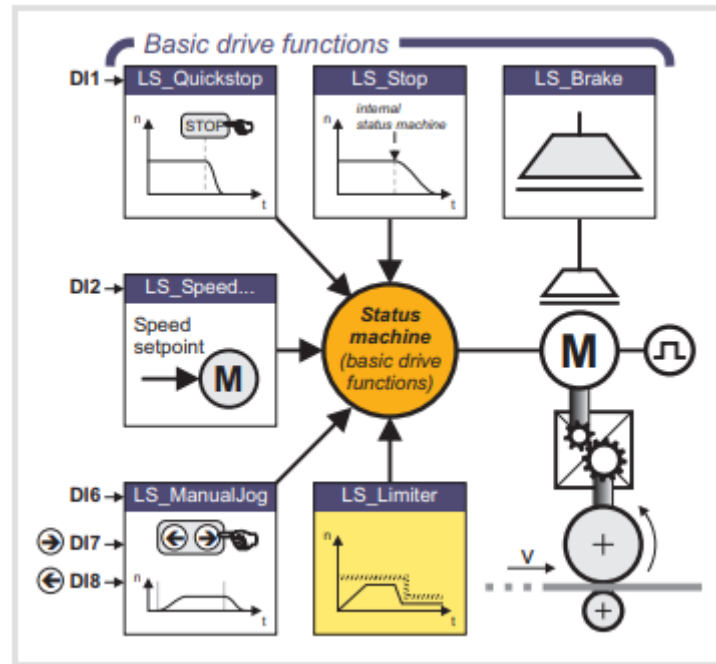
Joonis 2.8 Kiirpeatus(skemaatiline diagramm) [8]

Põhifunktsioon kiirpeatus pidurdab ajami nullkiiruseni pidurdamisaja jooksul, mis on seadistatud eraldi selle funktsiooni jaoks. Juhul, kui funktsioon on väljalülitatud, ajam saavutab taas seadistatud kiirust, kiirendusega, mis on seadistatud rambigeneraatoris.

Kiirpeatuse funktsiooni saab aktiveerida digitaalsisendi DI1 kaudu, lülitades sisendi välja.

Koodis oli kasutusel funktsiooniplokk „LS\_Quickstop“.

## Limiter

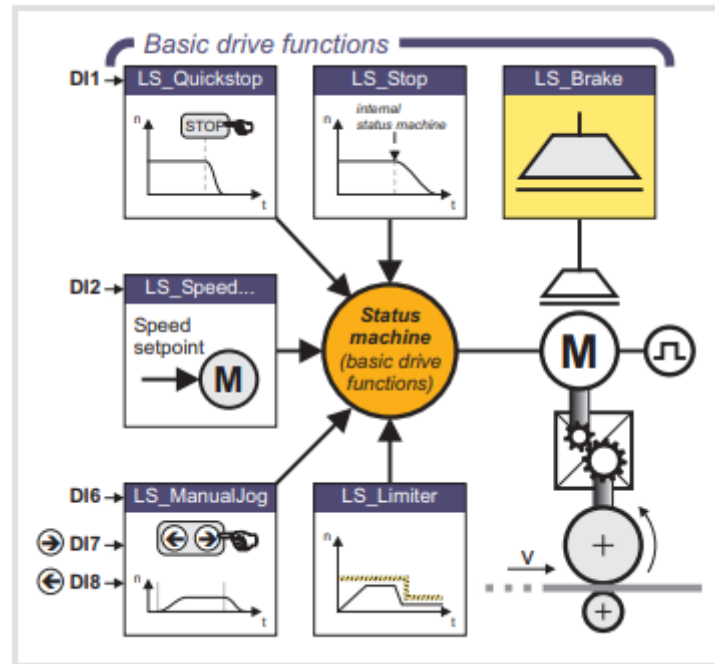


Joonis 2.9 Limiter(skemaatiline diagramm) [8]

Põhifunktsioon "Limiter", seal, kus on võimalik, piirandurite abil jälgib liikumiskiire. Juhul, kui seda on vaja, tagab "Limiter" ühilduvust piiridega. Koodis kasutati funktsiooni „Limiter“ jaoks plokki „LS\_Limiter“.



## Piduri juhtimine



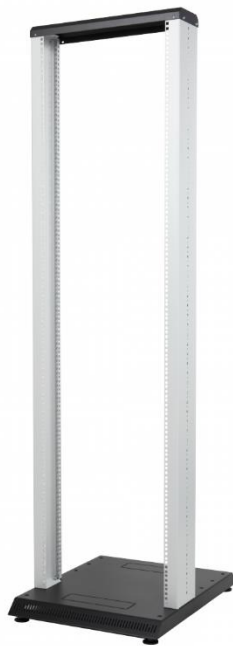
Joonis 2.10 Piduri juhtimine(skemaatiline diagramm) [8]

Põhifunktsiooni "Piduri juhtimine" kasutatakse pidevaks kulumiskindlaks piduri juhtimiseks ning jälgimiseks. Kõige lihtsamal juhul kasutatakse optionaalselt kättesaadavat pidurimoodulit. Alternatiivselt saab pidurit reguleerida ja jälgida ka digitaalsisendite / väljundite kaudu. Koodis kasutati „LS\_Brake” plokki.

Peale kõike põhifunktsioonide plokkide, on koodis samuti olemas funktsiooniplokkid, nagu "LS\_DriveInterface" (sagedusmuunduri oma) ja "LS\_MotorInterface" (mootori oma), mis pakuvad funktsiooniploki redaktoris sisemisi liideseid ajamliideste jaoks. Väljundite jaoks kasutati plokkid "LS\_AnalogOutput" ning "LS\_DigitalOutput".

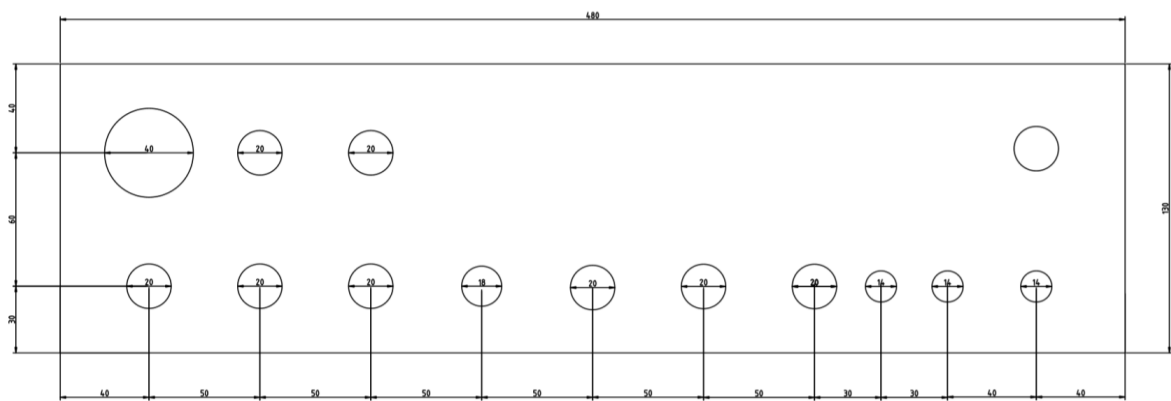
## 2.2 Katsepinki kokkupanek

Katsepinki alusena, kuhu monteeriti katsepinki osi(mootor, nuppud, sagedusmuundur), oli võetud terasest karkass (Joonis 2.11). Tänu oma pikliku konstruktsioonile, kujutatud joonisel 2.2.1 alus on hea variant, kuna lubab monteerida osi vertikaalselt ning ei võtta palju ruumi. Kõik vajalikud osad mahtusid ilusti aluse peale.



Joonis 2.11 Kokkupanemisel kasutatav karkass

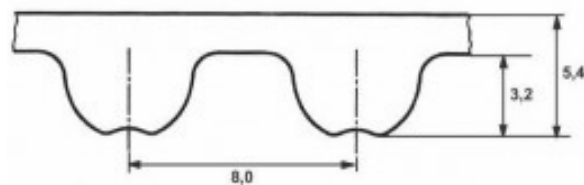
Kuna koodis on kasutusel 8 digitaalsisendi ning üks analoogsisend, tuli ehitada eraldi terminalpaneel. Samuti terminalpaneeli tehti auk piduri nuppu jaoks, mis annab 24 V toidet mootorisse, mis teeb mootori võlli lukkust vabaks. 24 V pingemuundur oli paigaldatud karkassi aluse külge. Terminali alusena oli võetud terasest paneel, kuhu tuli saagida augud nuppude jaoks. Selleks tuli drelliga freesida paneeli sisse augud. Oli vaja teha AutoCadis joonis, kus oli ära märgistatud nuppude asukohad. (Joonis 2.12).



Joonis 2.12 Teraspaneeli joonis nuppude asukohadega

Kuna mõnede digitaalsisendite puhul oli vaja kasutada klahvlüliteid, mis hoiaksid oma digitaalseisundi konstantsena, oli tellitud 6 klahvlüliteid. Samuti oli tellitud üks pote nupp analoogsisendi jaoks ning signaalide kaabel. Teised nuupud, mis ei hoia oma digitaalseisundi, neid oli vaja kolm tükki, olid kohe olemas. (Tellitud komponentide loetelu saab vaadata lisa 1.)

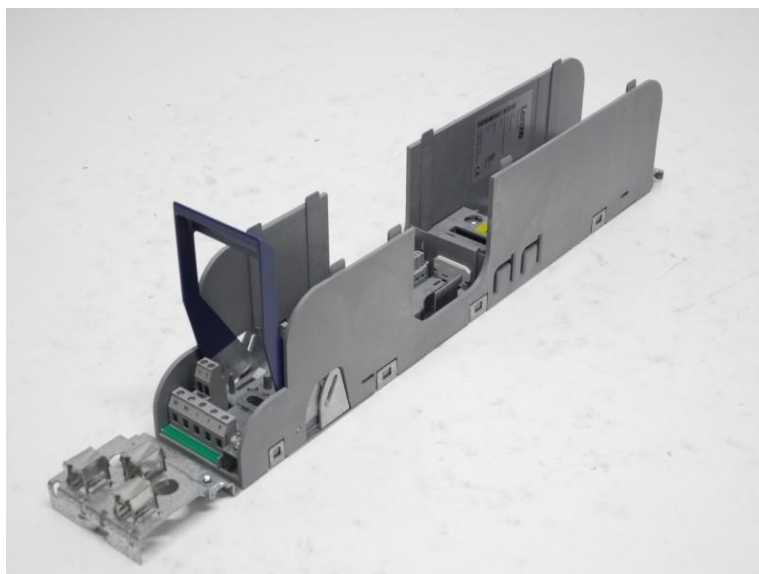
Katsepinki kontseptsioonis oli samuti vaja kasutada hammasrattaid ning hammasrihma. Koheselt oli saadaval kaks hammasratta, sammuga 8 mm ning hamba kõrgusega 2 mm. Hammasrattade välimine diameeter oli 130 mm, laius oli 20 mm. Et kinnitada hammasrattast mootori võlli külge, tuli rattas läbi puurida neli auku, kuna võlli diameeter oli palju väiksem hammasratta omast. Kuid mootor oli antud ülikooli kätte koos kinnitus otsaga võlli peal, kuhu sai monteerida erinevaid osi, vastavalt vajadusele. Hammasrattade jaoks oli vaja tellida rihtm. Oli leitud rihtm, mis sobiks olemasolevate hammasrattade jaoks. (Joonis 2.13)



Joonis 2.13 Hammasrihma skeem [12]

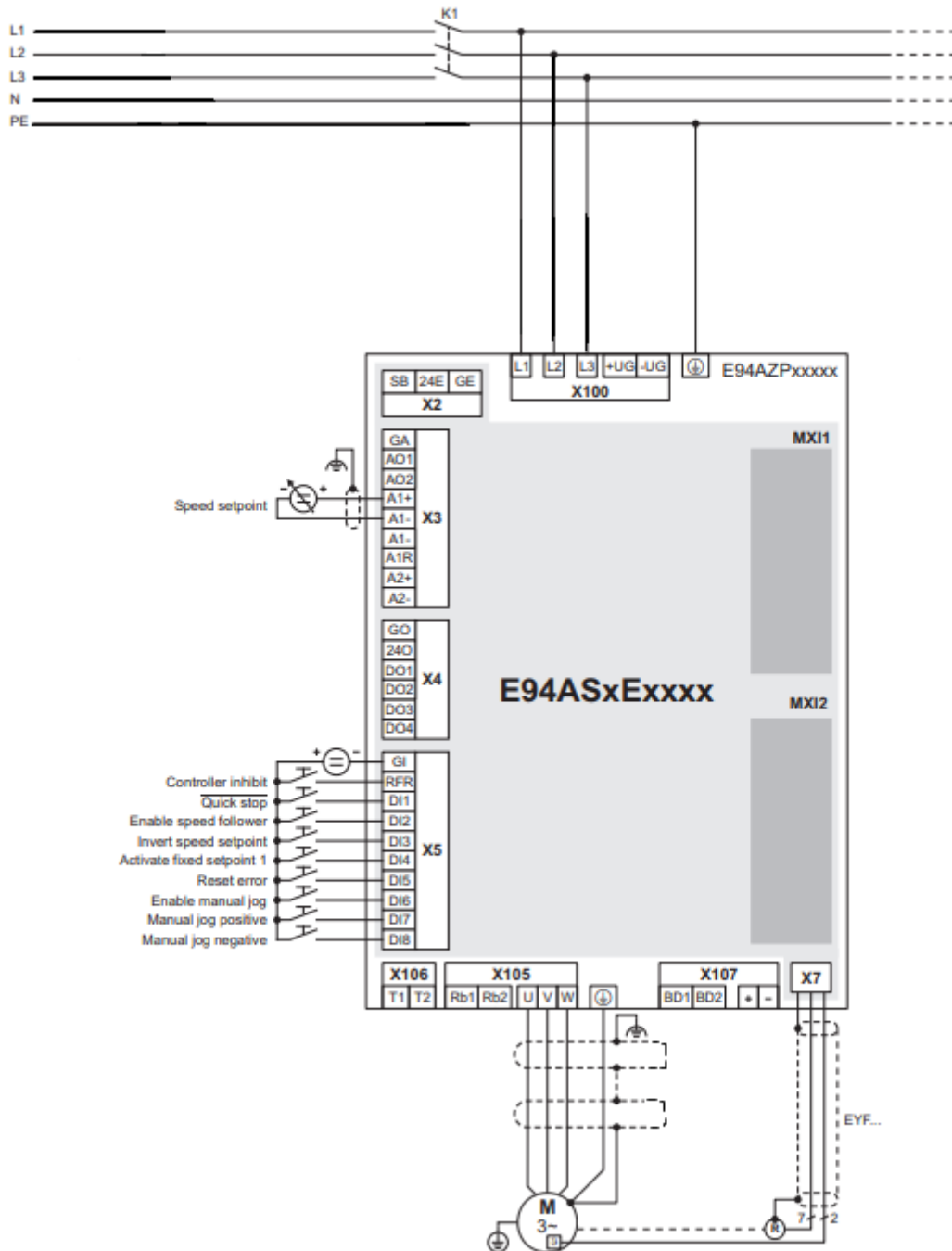
Rihm on M profiiliga, mis tähendab, et rihma hambad on keskel soonega, rihma pikkus on 1760 mm, samm 8 mm hamba pikkus 3.2 mm, hamba kogupikkus 5.4 mm ning rihma laius on 20 mm. Teine hammasrattas oli kinnitatud teraspaneeli külge karkassi keskele, arvestades mootori võlli peal olevat hammasrattast. Mootor ise oli kinnitatud karkassi aluse külge. Katsetamisel tuli välja, et ülekanne tekitab suurt vibratsiooni, sellepärast oli otsustatud kinnitada karkassi külge kolmas hammasrattas, väiksema välise diameetriga, ehk 70 mm ning laisuega 20 mm.

Sagedusmuundur Lenze oli kinnitatud tagaplaati abil, mida kasutatakse sagedusmuunduri Lenze paigaldamisel.(Joonis2.14)



Joonis 2.14 Sagedusmuunduri Lenze 9400 tagaplaat

Nupud ning mootor tuli ühendada sagedusmuunduriga Lenze. (Joonis 2.15)



Joonis 2.15 Ühendus diagramm [9]

Joonise 2.15 peal on näha, et kõik nupud on ühendatud digitaalsisendite abil ning pote nupp on ühendatud analoogsisendi abil. Mootori resolver on ühendatud pesasse „X7“ ning mootori kolmefaasiline toide tuleb pesast „X105“ mis asub sagedusmuunduri tagaplaadi peal. Kolmefaasilise võrku sagedusmuundur on ühendatud tagaplaadi pesa „X100“ abil.



Visuaalse väljanägemise põhimõttes oli ettepoole paigutatud terminal ning ülekanne. Tagapoole oli paigutatud aga mootor ning sagedusmuundur. (Joonis 2.17)



Joonis 2.17 Katsepinki lõpliku konstruktsiooni tagavaade. 1 – sagedusmuundur, 2 – servomootor, 3 – pingemuundur

Joonisel 2.17 on näha numbri 1 all sagedusmuunduri Lenze, 2 – Lenze servomootor ning 3 – 24 V pingemuundur.



### 3. KATSETAMINE

Selles peatükis kirjeldatakse katsepinki katsetust ning analüüsitakse tulemusi.

Katsepinki kokkupanemisel testiti algselt kõigi nuppude ning hammasrattade funktsionaalsust eraldi ning seejärel ühendati ühtesse süsteemi.

Katsetamisel oli vaja veenduda konstruktsiooni vastupidavuses ning nuppude ja nende funktsioonide korrasolekus. Kuna katsepinki põhiline eesmärk on servoajami töö visualiseerimine ülekande abil, oli tähtis jälgida servoajami tööd ning konstruktsiooni vastupidavust erinevatel kiirustel. Joonisel 3.1 on numerdatud terminali peal olevad nupud, et oleks mugavam katsetamist kirjeldada.



Joonis 3.1 Katsepinki terminal paneel

Esimene nupp, mida tuli katsetada oli sagedusmuunduri sisse- või väljalülitamise nupp (Controller Enable). Nupp oli ühendatud digitaalsisendi RFR kaudu ning nuppu seadistamisel asendisse I hakkas sagedusmuunduri ventilaator tööle, mis viitab sellele, et nupp ning selle funktsioon töötab.

Teine nupp oli "kiirpeatuse" (Quick stop) nupp, mis oli ühendatud digitaalsisendi 1 kaudu. Pärast seda nuppu väljalülitamist, pidi servoajami mootor peatuma vastavalt seadistatud ajaga. Seda nuppu tuli katsetada üheskoos teiste nuppudega ning nende funktsioonidega. Pärast sagedusmuunduri sisselülitamist esimese nuppu abil, tuli välja lülitada kiirpeatuse funktsiooni, seadistades vastavat nuppu asendisse I. Edasi tuli sisse lülitada kiiruse järgija funktsiooni nuppu number kolm abil. Peale nende tegevusi sai seadistada kiirust kas pote nuppu abil või nuppu



number 5 abil. Kiirpeatuse funktsiooniga oli tehtud 5 katsetust erinevatel kiirustel, kus oli väljatoodud seadistatud patumise aeg ning tegelik peatumise aeg.

Tabel 3.1 Kiirpeatuse funktsiooni katsetamine

Jrk nr	Mootori kiirus $\text{min}^{-1}$	Kiirpeatuse seadistatud aeg $t / s$	Kiirpeatuse tegelik aeg $t / s$
1	1000	5	5
2	700	5	5
3	500	5	4
4	200	5	3,5
5	50	5	3

Analüüsid tabelit 3.1 võib väita, et kiirpeatuse funktsioon töötab paremini suurtel kiirustel, võrreldes väiksemate kiirustega.

Kolmas nupp ja selle funktsioon oli “kiiruse järgija” (Speed follower), mis sisselülitamisel kohandab vajaliku mootori pöördmomenti koormusele ning annab võimalust kasutada kiiruse seadistamist. Seda funktsiooni tuli katsetada samuti koos teiste funktsioonidega. Pärast sagedusmuunduri sisselülitamist esimese nuppu abil, tuli välja lülitada kiirpeatuse funktsiooni ning sisse lülitada kiiruse järgija funktsiooni. Peale seda tuli seadistada kiirust ning jälgida servoajami tööd. Oli tehtud samuti 5 katsetust, kus oli väljatoodud mootori pöördmoment vastavalt kiirusele.

Tabel 3.2 Kiiruse järgija funktsiooni katsetamine

Jrk nr	Mootori seadistatud kiirus $\text{min}^{-1}$	Mootori tegelik kiirus $\text{min}^{-1}$	Pöördmoment $T / \text{Nm}$
1	1000	1001	1,21
2	700	702	0,95
3	500	499	0,78
4	200	203	0,38
5	100	98	0,25

Analüüside tabelit 3.2 võib väita, et funktsioon “Kiiruse järgija” töötab ning pöördmoment tõuseb kiiruse tõusuga ning hoiab kiirust vastavalt seadistatud kiirusele.

Neljas funktsioon oli kiiruse seadistamine analoogsisendi kaudu (Speed setpoint). See funktsioon seadistab kiirust vastavalt analoog sisendisse saadetud signaalile. Saadetud signal oli pinge suurus, mis sõltus pote nuppu “pea” asendist. Seda funktsiooni tuli katsetada koos teiste funktsioonidega. Pärast sagedusmuunduri sisselülitamist esimese nuppu abil, tuli välja lülitada kiirpeatuse funktsiooni ning sisse lülitada kiiruse järgija funktsiooni. Peale mida sai seadistada kiirust

analoogsisendi abil. Oli tehtud 5 katsetust, kus oli väljatoodud mootori kiirus sõltuvalt voolutugevusest analoogsisendis.

Tabel 3.3 Kiiruse seadistamine analoogsisendi kaudu

Jrk nr	Vool I / mA	Kiirus min <sup>-1</sup>
1	0,41	15
2	1,65	63
3	2,91	105
4	3,32	130
5	3,79	141

Oli seadistatud, et analoogsisendi kaudu mootor kiireneb 10% võrra oma nimikiirusest ning maksimum on 40 % nimikiirusest, mis tähendab, et iga 2 mA tagant, motor kiireneb 150 RPM võrra. Analüüsid tabelit 3.3 võib väita, et kiiruse seadistamise funktsioon analoogsisendi kaudu töötab, kuid mitte nii, nagu vaja. Voolutugevus muutub järsult ning maksimaalne väärtus on 3,80 mA, kuid peaks olema 20 mA. Kiirus aga muutub iga 2 mA umbes 5% võrra. Arvatavasti oli valesti valitud potentsiomeetri nupp ning Lenze firmal on olemas spetsiaalne selle rakenduse jaoks potentsiomeeter.

Viies nupp aktiveerib inversiooni (Inversion). Pärast sagedusmuunduri sisselülitamist, kiirpeatuse väljalülitamist ning Kiiruse järgija sisselülitamist, seadistati kiirust digitaalsisendi kaudu ning tehti 5 katset kuus toodi välja seadistatud kiirust ning tegeliku kiirust inversiooni kasutamisel.

Tabel 3.5 Inversiooni katsetamine

Jrk nr	Seadistatud mootori kiirus min <sup>-1</sup>	Tegelik mootori kiirus min <sup>-1</sup>
1	1000	-1001
2	700	-699
3	500	-500
4	200	-202
5	100	-97

Analüüsid tabelit 3.5 võib väita, et inervsiooni funktsioon töötab ning tegelik kiirus vastab seadistatud kiirusele.

Kuues funktsioon oli fikseeritud kiiruse seadistamine digitaalsisendi 4 kaudu (Fixed setpoint). See funktsioon annab võimalust seadistada kiirust alternatiivselt analoogsisendile. Seeda funktsiooni samamoodi, nagu ka kiiruse seadistamine analoogsisendi kaudu, tuli katsetada koos teiste

funktsioonidega , ehk sagedusmuunduri sisselülitamine, kiirpeatuse väljalülitamine ning Kiiruse järgija sisselülitamine. Oli tehtud 5 katset, kus toodi välja seadistatud kiirust ning tegeliku kiirust.

Tabel 3.4 Kiiruse seadistamine digitaalsisendi kaudu

Jrk nr	Seadistatud mootori kiirus $\text{min}^{-1}$	Tegelik mootori kiirus $\text{min}^{-1}$
1	1000	998
2	700	701
3	500	499
4	200	200
5	100	99

Analüüsis tabelit 3.4 võib väita, et kiiruse seadistamine funktsioon digitaalsisendi kaudu töötab ning tegelik kiirus vastab seadistatud kiirusele.

Seitsmes, kaheksas ning üheksas nupud vastavad käsitsi juhtimise funktsioonist (Manual jog). Selleks, et katsetada käsitsi juhtimist, tuleb sisselülitada sagedusmuunduri ja manuaal juhtimist nuppu ning väljalülitada kiirpeatust ja Kiiruse järgijat. Digitaalsisend 7 vastab mootori pöörlemisest päripäeva ning digitaalsisend 8 vastab mootori pöörlemisest vastupäeva. Oli tehtud 10 katsetust, kus toodi välja seadistatud kiirust käsitsi juhtimiseks ning tegeliku kiirust.

Tabel 3.6 Käsitsi juhtimist katsetamine

Jrk Nr	Seadistatud mootori kiirus $\text{min}^{-1}$	Tegelik mootori kiirus $\text{min}^{-1}$
1	0,8	0,8
2	1,6	1,7
3	2,5	2,5
4	4,2	4,3
5	8,3	150 + võnkumised
6	0,8	-0,8
7	1,6	-1,6
8	2,5	-2,5
9	4,2	-4,3
10	8,3	- 150 + võnkumised

Analüüsis tabelit 3.6 võib väita, et manuaal juhtimise funktsioon töötab, kui mitte nii, nagu vaja. Kiirustel rohkem, kui  $4,2 \text{ min}^{-1}$  lülitab motor sisse võnkumis režiimi ning hakkab pöörlema edasi-tagasi. Ülekande maha võtmisel töötab see funktsioon nagu vaja ning seadistatud kiirus vastab tegelikule. Võib väita, et ülekande on kas liiga raske või halvasti paigaldatud. Kuna manuaalses juhtimises ei osale Kiiruse järgija ning rambigeneraator, võivad võnkumised tekkida nende funktsioonide puudumise tõttu.

Kümnes nupp vastutab vea lähtestamisest (RESET). Servoajamis viga tekkimisel, hakkab põlema sagedusmuunduri LED ekraani peal vastav segment. Vea kõrvaldamisel on vaja lähtestada seda sagedusmuunduris. Selleks on olemas nupp „reset“. Ajamiga töötamisel juhtus, et tekkib viga, mida sai alati edukalt kõrvaldatud ning lähtestatud nuppu „reset“ abil.

Üheteistkümnes nupp vastutab mootori pidurist (Holding brake). Selle nuppu sisselülitamisel, saab mootor läbi pingemuunduri 24 V pinget, peale mida mootor võtab piduri maha ning võll saab vabalt pöörleda.

Samuti terminali peale oli paigaldatud kolm tagasiside indikaatori.

Esimene indikaator hakkab põlema (Speed follower in limitation), kui 24 V pidur ei ole maha võetud ning „Kiiruse järgija“ funktsioon ei saa teostada tööd. Teine indikaator (Speed follower enabled) hakkab põlema, kui „Kiiruse järgija“ funktsioon on aktiivne. Ning kolmas indikaator (Drive ready) näitab, et servoajam on tööks valmis. Kõik kolm indikaatorit töötavad.

Katsestendi katsetamisel oli samuti pandud tähele, et suurtel kiirustel, üle 500 RMP, tekkib suur vibratsioon. Vibratsiooni kõrvaldamiseks kasutati kolmass hammasrattas, mida paigutati karkassi parema küljele, mis vähendas vibratsiooni, kui ei kõrvaldanud seda lõplikult. Suured kiirused võivad mõjuda stendile kahjulikult. Sellepärast ei ole pikkaajaline katsestendi suurte kiiruste talitamine väga soovitatav.

## 4. KOKKUVÕTE

Servomootor on juhtimiseks kasutatav mootor, mis muudab temaga käitatavate mehhanismide asendit vastavalt etteantud seadesignaale. Tagasisidestatud täpsed servomootorid on praeguses maailmas kasutusel igalpool. Alustades väike peremajakesest kuni suure ülemaailmse ettevõteteni nende lihtsuse, täpsuse, ergonoomsuse ja palju muu pärast. Servoajamite eelisteks on suur positsioonitäpsus, suur toimekiirus, suur kiiruse reguleerimistäpsus, momendi stabiilsus ja veel palju muu. Seega servomootorid arenevad üha kiiremini iga päevaga ning nendele leitakse palju huvitavaid ning erinevaid kasutamisevõimalusi. Servoajamid on aktuaalsed veel väga pikka aega, mis tähendab, et servomootorite ja nende komponentide (servovõimendite, mootorite, muundurite, andurite jne.) uurimine, arendamine ning rakendamine on oluline meie riigi jaoks.

Servoajamid tuleb tutvustada ka ülikooli noorematele küllastajatele, et nad tunneksid nende vastu huvi, kuna, nagu oli juba mainitud, servoajamid on veel aktuaalsed väga pikka aega. Selle töö kaudu, autor tahtis anda võimalust uurida ning tutvuda servoajamitega just nendele, kes sellega väga puutunud ei ole, äratades servoajamite vastu huvi. Seega selle töö lõppeesmärgiks oli luua katsepink, mille abil teised inimesed saaksid visuaalset ning interaktiivset ülevaadet servoajamist.

Selles töös kasutati ning uuriti servoajam „Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive“, kuna selle lahkelt andis „Energiatehnika OÜ“ Tallinna Tehnika Ülikoolile kasutusele ja uurimisele. „Single Drive“ üheteljelised servod sisaldavad vooluvõrku, DC-siini ja inverterit. Ajami kontrolerisse on sisse ehitatud filtreerivad elemendid ja pidurisilinder, mis tagavad autonoomset kasutamist elektrikabiinide paigaldistes.

Servo Drives 9400 tagavad „intelligentsuse“ ajamis ja on seega mõeldud nii detsentraliseeritud liikumisjuhtimisega rakenduste jaoks, kui ka tsentraliseeritud juhtimisga topoloogiate jaoks. Lenze pakub eelprogrammeeritud tehnoloogilisi rakendusi, nt. kiiruse järgija, tabeli positsioneerimine, elektrooniline reduktor ja erinevaid rakendusi automatiseerimis probleemide lahendamiseks lihtsalt parameetrite seadmise abil.

Selles töös oli kasutusel tehnoloogiline rakendus „actuator – speed“ (täitur - kiirus), mis oli tarkvara „Lenze Engineer“ abil installitud sagedusmuundurisse. See tehnoloogiline rakendus sobis hästi katsepinki kontseptsiooni, kuna annab võimalust muuta ajami kiirust, mis on visualiseerimisel väga tähtis.

Oli ehitatud katsepink terminaliga, mille peal oli kokku 11 nuppu. Mootori külge oli samuti paigaldatud väike ülekanne, mis muudab katsepinki huvitamaks ning mille kaudu katsepinki kasutajad saavad visuaalselt näha muudatusi, funktsioonide kasutamisel või muutumisel. Olid tehtud katsutused nuppudega ning nende funktsioonidega ja tehtud tabelid, mida analüüsi. Katsete analüüsi põhjal võib väita, et kõik funktsioonid töötavad. Kuid käsitsi juhtimis funktsioon ja kiiruse seadistuse analoogisisendi kaudu funktsioon ei tööta nii, nagu vaja. Käsitsi juhtimisel kiirustel rohkem, kui  $4,2 \text{ min}^{-1}$  tekkisid mootori võllil võnkumised, ülekanne maha võtmisel töötab see funktsioon nagu vaja ning seadistatud kiirus vastab tegelikule. Võib väita, et ülekanne on kas liiga raske või halvasti paigaldatud. Kuna manuaalses juhtimises ei osale kiiruse järgija ning rambigeneraator, mis hoiavad mootori pöördemomendi paigal, võivad võnkumised tekkida nende funktsioonide puudumise tõttu. Analoogisisendi puhul, arvatavasti, oli valesi valitud potentsiomeetri nupp ning Lenze firmal on olemas spetsiaalne selle rakenduse jaoks potentsiomeeter.

Samuti oli tõlgitud eesti keelde tehnoloogilise rakenduse "actuator – speed" (täitur - kiirus) manuaal selleks, et tulevikus katsestendi kasutajad, tudengid saaksid servoajamit lähemalt uurida. Seoses sellega, et katsestendi kontseptsioonis ei ole arvutat, mille abil saab Lenze tarkvara kaudu seadistada servoajami parameetreid, saab seda teha klaviatuuri abil, mis on paigutatud Lenze tehase poolt otseselt sagedusmuunduri peale. Igal salvestatud rakenduse funktsioonil on olemas oma parameetrid, mida saab muuta ning salvestada klaviatuuri abil, mõjutades sellega servoajami tööd.

Katsestendi jaoks on olemas palju arenguvõimalusi. Alati saab katsestendi külge panna ekraani, arvutit, mille abil on palju mugavam uurida servoajami tööd. Tarkvara „Lenze Engineer“ pakub ka ostsiloskoopi funktsiooni mis võimaldab tulevikus tudengidel uurida põhjalikumalt sagedusmuunduri ning mootori füüsilisi suurusi. Tarkvara „Lenze Engineer“ kaudu on peale muu, väga mugav harjutada programmeerimist, kuna tarkvaras on olemas funktsionaal plokkide keele põhjal programmeerimis keskkond.

Kokkuvõttes, tuli välja katsepink, mille küljes on terminal koos 11 nuppudega ja motor koos ülekannega, mille abil saab visuaalselt ülevaaded servoajami tööst ning mida saab alati uurida ning arendada, kasutades eesti keelset manuaali, mis on lisatud lisadesse. Vajadusel saab alati kasutada arvutit ning ühendada servoajamit tarkvaraga "Engineer".

## Summary

A servomotor is a control motor that changes the position of the mechanisms it controls according to predetermined setting signals. Feedback precise servo motors are used everywhere in the world today. Starting from a small family house to a large global company for their simplicity, accuracy, ergonomics and much more. The advantages of servodrives are high positioning accuracy, high speed, high speed control accuracy, torque stability and much more. So servomotors are evolving faster and faster and people are finding many interesting and diverse applications to them every day. Servodrives will be topical for a very long time, what means, that researching, developing and implementing of servodrives and their components (servoamplifiers, motors, transducers, sensor, etc.) is important for our country.

Servodrives must be also introduced to the younger visitors of the university to be interested in them, because, as has already been mentioned, servodrives will be relevant for a very long time. Through this work, the author wanted to give the opportunity for younger visitors to study and familiarize servodrives, attracting interest to servodrives. So the ultimate goal of this work was to create a test bench that would allow other people to get a visual and interactive overview of servodrives.

The servo drive "Servo Drives 9400 HighLine SingleDrive" was used and studied in this work, as "Energiatehnika OÜ" kindly gave it to Tallinn University of Technology for use and research. Single drive devices combine mains supply, DC bus and inverter in a single unit. The filter elements and the brake chopper are integrated in the servo inverter and allow autonomous use in distributed control cabinet installations.

The Servo Drives 9400 HighLine feature intelligence in the drive and are therefore designed for decentralised motion control applications as well as for centralised control topologies. Lenze provides pre-programmed technology applications, e.g. table positioning, electronic gearbox, speed follower for solving various applications simply by parameter setting.

In this work, the technological application "actuator - speed" was used, which was installed in the frequency converter with the software "Lenze Engineer". This technological application was well suited to the test bench concept as it provides the opportunity to change the speed of the drive, which is very important for visualization.

Were built a test bench with a terminal with 11 buttons on top. A small transmission was also installed to the motor that makes the test bench more interesting and attractive. Through transmission students or visitors can visually see changes, when bench functions will be used or changed. Based on the analysis of the experiments, it can be said that all functions are working. However, the manual control function and the speed setting through analogue input function do not work as needed. When manually controlled at speeds greater than  $4,2 \text{ min}^{-1}$ , oscillations on the engine shaft occurred. Taking off the transmission, manual jog function works as needed and set speed corresponds to the actual speed. It can be argued that the transmission is either too heavy or poorly installed. Since the manual speed control is not involved in the speed follower function and the ramp generator that keeps the engine torque stationary, oscillations may occur due to the absence of these functions. For analog input, probably the wrong potentiometer button was selected and Lenze has a dedicated potentiometer for this application.

The manual for application “actuator – speed” was also translated into Estonian in order to be able to study the servodrive in the future for the bench users, students. Due to the fact that the test bench concept does not include a computer that can be used to configure the servo drive parameters through Lenze software, it can be done using a keyboard placed directly by the Lenze factory on the frequency converter. Each stored function of the application has its own parameters that can be changed and saved using the keyboard, thus affecting the operation of the servodrive. There are many development opportunities for the test bench. You can always put a screen on the test bench, a computer that makes it much more convenient to study the servodrive. The “Lenze Engineer” software also offers an oscilloscope function that makes easier for future students to explore the physical sizes of the frequency converter and the engine. In addition, through the Lenze Engineer software, it is very convenient to practice programming, because there is a functional block language programming environment in the software.

A test bench with a terminal with 11 buttons and a motor with a transmission were created, which provides a visual overview of the work of the servodrive, which can always be explored and developed using an Estonian manual attached to the annexes. If necessary, you can always use the computer and connect the servodrive with the “Engineer” software.



## Kasutatud kirjandus

[1] Brindfeldt, E; Pettai, E.; Hõimoja, H.; Beldjajev, V. (2011). Täiturid tööstusautomaatikas. Tallinn University of Technology Press. [Kasutatud 01.03.19]

[2] Бамдас А. М., Кулинич В. А., Шапиро С. В., Статические электромагнитные преобразователи частоты и числа фаз, 1961. [Kasutatud 08.03.19]

[3] Бычков М.Г., Ладыгин А.Н. Современный сервопривод — классификация и терминология, Национальный исследовательский университет «МЭИ». Москва. 2013. [Võrgumaterjal]  
[http://iwed.science/wp-content/uploads/Seminar\\_2013.pdf](http://iwed.science/wp-content/uploads/Seminar_2013.pdf) [Kasutatud 10.03.19]

[4] Brindfeldt, E; Rottenberg, V; Lepiksoo, U. (2014). Mehhatroonika komponendid. Õppematerjal kutsekoolidele. Tallinn. [Võrgumaterjal]  
<https://www.digar.ee/arhiiv/et/download/114996> [Kasutatud 10.03.19]

[5] L-force Drives, Servo Drives 9400 Hardware Manual, Lenze Automation, Aenzen, GERMANY, 2018. [Võrgumaterjal]  
[http://download.lenze.com/TD/E94A\\_\\_Servo%20Drives%209400%20HighLine\\_\\_v11-0\\_\\_EN.pdf](http://download.lenze.com/TD/E94A__Servo%20Drives%209400%20HighLine__v11-0__EN.pdf)  
[Kasutatud 28.03.19]

[6] L-force Drives, Servo Drives 9400 HighLine Reference Manual, Lenze Automation, Aenzen, GERMANY, 2018. [Võrgumaterjal]  
[http://download.lenze.com/TD/E94AxHE\\_\\_Servo%20Drives%209400%20HighLine%20\(from%20Firmware%2001-50\)\\_\\_v12-0\\_\\_EN.pdf](http://download.lenze.com/TD/E94AxHE__Servo%20Drives%209400%20HighLine%20(from%20Firmware%2001-50)__v12-0__EN.pdf) [Kasutatud 29.03.19]

[7] L-force Communication, Communication Manual, 9400, E94AYCEN Ethernet communication module, Lenze Automation, Aenzen, GERMANY, 2018. [Võrgumaterjal]  
[http://download.lenze.com/TD/E94AYCEN\\_\\_Ethernet%20%20Ports%20MXI%20module\\_\\_v9-0\\_\\_EN.pdf](http://download.lenze.com/TD/E94AYCEN__Ethernet%20%20Ports%20MXI%20module__v9-0__EN.pdf) [Kasutatud 04.04.19]

[8] L-force Runtime Software, Software Manual, 9400, Technology application "actuator – speed", , Lenze Automation, Aerzen, GERMANY, 2008. [Võrgumaterjal]

[http://download.lenze.com/TD/E94AxHE\\_\\_Technology%20Application%20Actuating%20drive%20-%20Speed\\_\\_v1-1\\_\\_EN.pdf](http://download.lenze.com/TD/E94AxHE__Technology%20Application%20Actuating%20drive%20-%20Speed__v1-1__EN.pdf) [Kasutatud 12.04.19]

[9] L-force Firmware Manual, L-force 9400 Servo Drives, 9400 HighLine V01.37 Parameter setting & configuration, Lenze Drive Systems GmbH, Hameln, Germany, 2006. [Võrgumaterjal]

<http://www.manualsdir.com/manuals/566320/lenze-e94axhe-servo-drives-9400-highline-firmware-01-37.html> [Kasutatud 05.05.19]

[10] Firma Ecoprogetti jootmimasin, illustreeriv pilt on võetud nende kataloogist. [Võrgumaterjal]

<https://ecoprogetti.com/product/ets700/> [Kasutatud 10.03.19]

[11] Fimas Naps Solar Estonia OÜ tehtud lõputöö autori poolt illustreerivad pildid.

[12] Põllumehe kaubamaja kataloogist võetud illustreeriv pilt. [Võrgumaterjal]

<https://www.pmkaubamaja.ee/et/8m-20-1760mm-z-220-omega.html>[Kasutatud 10.05.19]

[13] W. Granig, S. Hartmann, B. Köppl, Performance and Technology Comparison of GMR versus commonly used Angle Sensor Principles for Automotive Applications, Austria , 2006 [Võrgumaterjal]

[https://www.researchgate.net/publication/273343677\\_Performance\\_and\\_Technology\\_Comparison\\_of\\_GMR\\_Versus\\_Commonly\\_used\\_Angle\\_Sensor\\_Principles\\_for\\_Automotive\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/273343677_Performance_and_Technology_Comparison_of_GMR_Versus_Commonly_used_Angle_Sensor_Principles_for_Automotive_Applications) [Kasutatud 21.05.19]

[14] Tarkvarast "MSCS Software" võetud joonis. [Kasutatud 27.03.19]

## **LISAD**

*Lisa 1. Tellitud komponentide loetelu*

*Lisa 2. Rakenduse "Acutator – speed" (täitur – kiirus) kood*

*Lisa 3. Manuaal katsestendi demonstreerimiseks*

*Lisa 4. Rakenduse "actuator – speed" (täitur – kiirus) eesti keelne manuaal*

**Lisa 1 Tellitud komponentide loetelu**

Nimetus	Kogus	Kogumaksumus
Klahvlüliti ON-OFF 6A 250V kollane/roheline/sinine	6 tk.	
Pote ning pote nupp	1tk. /1 tk.	
Signal. Kaabel 12 soont	1 tk.	
Skaala pote nuppule	1 tk.	
Hammasrihm	1 tk.	
Teraspaneel terminali jaoks	1 tk.	

## Lisa 2 Rakenduse "Acutator – speed" (täitur – kiirus) funktsionaal plokkide loetelu

Name	Type	Order	Time	Code number offset	Task
AxisControlWord	L_DcWordToBits	1	5,00us	-	ApplicationTask
Norm_nPortAxisIn1	L_DcNorm_aToNo...	2	3,00us	-	ApplicationTask
L_DcIntToDIntA	L_DcIntToDInt	3	3,00us	-	ApplicationTask
ShiftPortAxisIn1	L_DcBitShift	4	3,00us	3990	ApplicationTask
ControlWord1	L_DcWordToBits	5	5,00us	-	ApplicationTask
ControlWord2	L_DcWordToBits	6	5,00us	-	ApplicationTask
Norm_nPort16In1	L_DcNorm_aToNo...	7	3,00us	-	ApplicationTask
L_DcIntToDInt1	L_DcIntToDInt	8	3,00us	-	ApplicationTask
ShiftPort16In1	L_DcBitShift	9	3,00us	3991	ApplicationTask
Norm_nPort16In2	L_DcNorm_aToNo...	10	3,00us	-	ApplicationTask
L_DcIntToDInt2	L_DcIntToDInt	11	3,00us	-	ApplicationTask
ShiftPort16In2	L_DcBitShift	12	3,00us	3992	ApplicationTask
Norm_nPort16In3	L_DcNorm_aToNo...	13	3,00us	-	ApplicationTask
L_DcIntToDInt3	L_DcIntToDInt	14	3,00us	-	ApplicationTask
ShiftPort16In3	L_DcBitShift	15	3,00us	3993	ApplicationTask
Eingangssollwert	L_TbSelect	16	3,00us	-	ApplicationTask
MuSetpoint	L_TbMul_n	17	4,00us	-	ApplicationTask
SF_NotEnabled	L_TbNot	18	3,00us	-	ApplicationTask
NegMISpeedSetpoint	L_TbNeg	19	3,00us	-	ApplicationTask
SelSignDIMISpeedSetpoint	L_TbSelect	20	3,00us	-	ApplicationTask
NegMISpeedActual	L_TbNeg	21	3,00us	-	ApplicationTask
SelSignDIMISpeedActual	L_TbSelect	22	3,00us	-	ApplicationTask
SpeedRamp	L_SdSpeedSet	23	41,00us	3500	ApplicationTask
SF_Enable	L_TbOr	24	3,00us	-	ApplicationTask
L_TbDelay1	L_TbDelay	25	6,00us	3550	ApplicationTask
SpeedLimitation	L_TbOr	26	3,00us	-	ApplicationTask
SF_CannotFollow	L_TbAnd	27	3,00us	-	ApplicationTask
L_DevAppErr1	L_DevAppErr	28	7,00us	5900	ApplicationTask
AxisStatusWord	L_DcBitsToWord	29	9,00us	-	ApplicationTask
ShiftPortAxisOut1	L_DcBitShift	30	3,00us	3995	ApplicationTask
L_DcDIntToInA	L_DcDIntToIn	31	3,00us	-	ApplicationTask
StatusWord1	L_DcBitsToWord	32	9,00us	-	ApplicationTask
StatusWord2	L_DcBitsToWord	33	9,00us	-	ApplicationTask
ShiftPort16Out1	L_DcBitShift	34	3,00us	3996	ApplicationTask
L_DcDIntToIn1	L_DcDIntToIn	35	3,00us	-	ApplicationTask
ShiftPort16Out2	L_DcBitShift	36	3,00us	3997	ApplicationTask
L_DcDIntToIn2	L_DcDIntToIn	37	3,00us	-	ApplicationTask
ShiftPort16Out3	L_DcBitShift	38	3,00us	3998	ApplicationTask
L_DcDIntToIn3	L_DcDIntToIn	39	3,00us	-	ApplicationTask
LS_AnalogInput	LS_AnalogInput	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_AnalogOutput	LS_AnalogOutput	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_Brake	LS_Brake	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_DigitalInput	LS_DigitalInput	System	0,00us	-	ApplicationTask

Name	Type	Order	Time	Code number offset	Task
LS_DriveInterface	LS_DriveInterface	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_Feedback	LS_Feedback	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_Limiter	LS_Limiter	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_ManualLog	LS_ManualLog	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_MotorInterface	LS_MotorInterface	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_Quickstop	LS_Quickstop	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_SpeedFollower	LS_SpeedFollower	System	0,00us	-	ApplicationTask
LS_Stop	LS_Stop	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort16In1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort16In2	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort16In3	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort16Out1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort16Out2	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort16Out3	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort32In1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort32In2	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort32In3	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort32Out1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort32Out2	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPort32Out3	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPortAxisIn1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPortAxisOut1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPortControl1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPortControl2	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPortStatus1	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
LPortStatus2	<Port>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3000 Speed setpoint	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3003 Enable SpeedFollower	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3009 Speed setting	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3100 DigitalOutput	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3110 AnalogOutput	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3120 Axis status word	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3121 Status word 1	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3122 Status word 2	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3124 Axis-Port Out1,2	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3125 Port32,16 Out1,2,3	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3130 DriveInterface	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3135 Quickstop	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3141 MotorInterface - norm	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3150 Limiter - digital	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3155 ManualLog	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3165 Brake - digital	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask
X 3166 Brake - norm	<Multiplexer>	System	0,00us	-	ApplicationTask

### ***Lisa 3 Manuaal katsestendi demonstreerimiseks***

1. Et alustada tööd, lülitage sisse servovõimendi nuppu “Controller enable” abil.
2. Lülitage sisse nupp “Quick stop”
3. Lülitage sisse nupp “Speed follower”
4. Nüüd on võimalik valida kuidas seadistada kiirust. Kiiruse seadistamiseks kasutage nuppu “Speed setpoint” , fikseeritud kiiruse seadistamiseks lülitage sisse nuppu “Fixed setpoint”
5. Vajadusel on võimalik kasutada inversiooni nuppu, et mootori võll hakkaks keerama teise suunda.
6. Käsitsi juhtimiseks pange motor seisma nuppu “Quick stop” abil, lülitage välja funktsioon “Speed follower”, peale mida lülitage sisse nupp “Manual jog”. Peale nende tegevuste nuppude “+” ja “-“ abil on võimalik liigutada mootori võlli.
7. **TÄHTIS!** “Speed follower” funktsiooni väljalülitamiseks, lülitage välja alguses nupp “Quick stop”, peale mida lülitage välja funktsioon “Speed follower”.

## L1. Lühikirjeldus

Tehnoloogiline rakendus "acutator-speed" võimaldab ajamil defineerida seadistatud kiirust. Kiirust saab seadistada kiiruse regulaatori abil, mis kohandab vajaliku mootori pöördmomenti koormusele.

- Ajami kiirust saab seadistada mõlemas suunas, mis tähendab, et mootori võll saab liikuda mõlemas suunas. Liikumissuunda saab muuta digitaalse sisendi DI3 abil.
- Pärast kiiruse reguleerimist digitaalse sisendi DI2 abil, kiirendust/aeglustust reguleerib rambigeneraator, mis lähtub seadistatust/tegelikust kiirusest.
- Vajadusel saab reguleerida ka maksimaalset pöördmomenti.

Põhilised ajamifunktsioonid:

- Kiiret peatumist saab aktiveerida digitaalse sisendi DI1 kaudu.
- Seadistamise jaoks on ette nähtud käsiti juhtimine. Käsiti juhtimist käivitatakse sisendi DI6 kaudu. Sisendid DI7 ja DI8 aktiveerivad vastava neile pöörlemissuunda.
- Põhifunktsioon "Limiter" (Limiter) võimaldab liikumiskiiruse jälgida lülite abil.
- Kui pidur on saadaval, pidurikontroll rakendab seda või lülitab välja

Kasutusala:

- Üldine servoajam kiiruse reguleerimiseks:
  - – Konveieri ajamid (ühendatud ühte süsteemi)
  - – Ekstruuderid
  - – Katsesendid
  - – Vibrolauad
  - – Liikumisajamid
  - – Pressid
  - – Tööriistajamid
  - – Dosaatorid

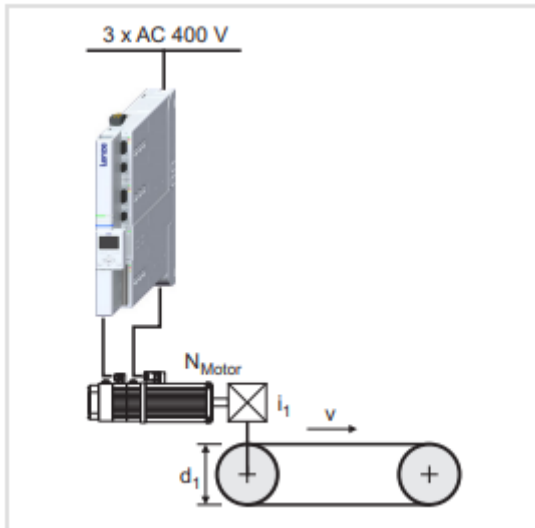
Tehnoloogiline rakendus salvestatakse mälumooduli programmide 2 mälupiirkonda ja seda saab valida rakenduse „Engineer“ kataloogist.

Rakendusega juhtimine käib terminalide kaudu.

## L2. Lühisdeadistus

### L2.1 Rakenduse näide

Konveieri tüüpi ajamit kasutatakse lühiseadistuse näitena:



$$N_{\text{motor}} = 1680 \text{ rpm}$$

$$i_1 = 12.612$$

$$d_1 = 200 \text{ mm}$$

$$V_{\text{max}} = 100 \text{ m/min}$$

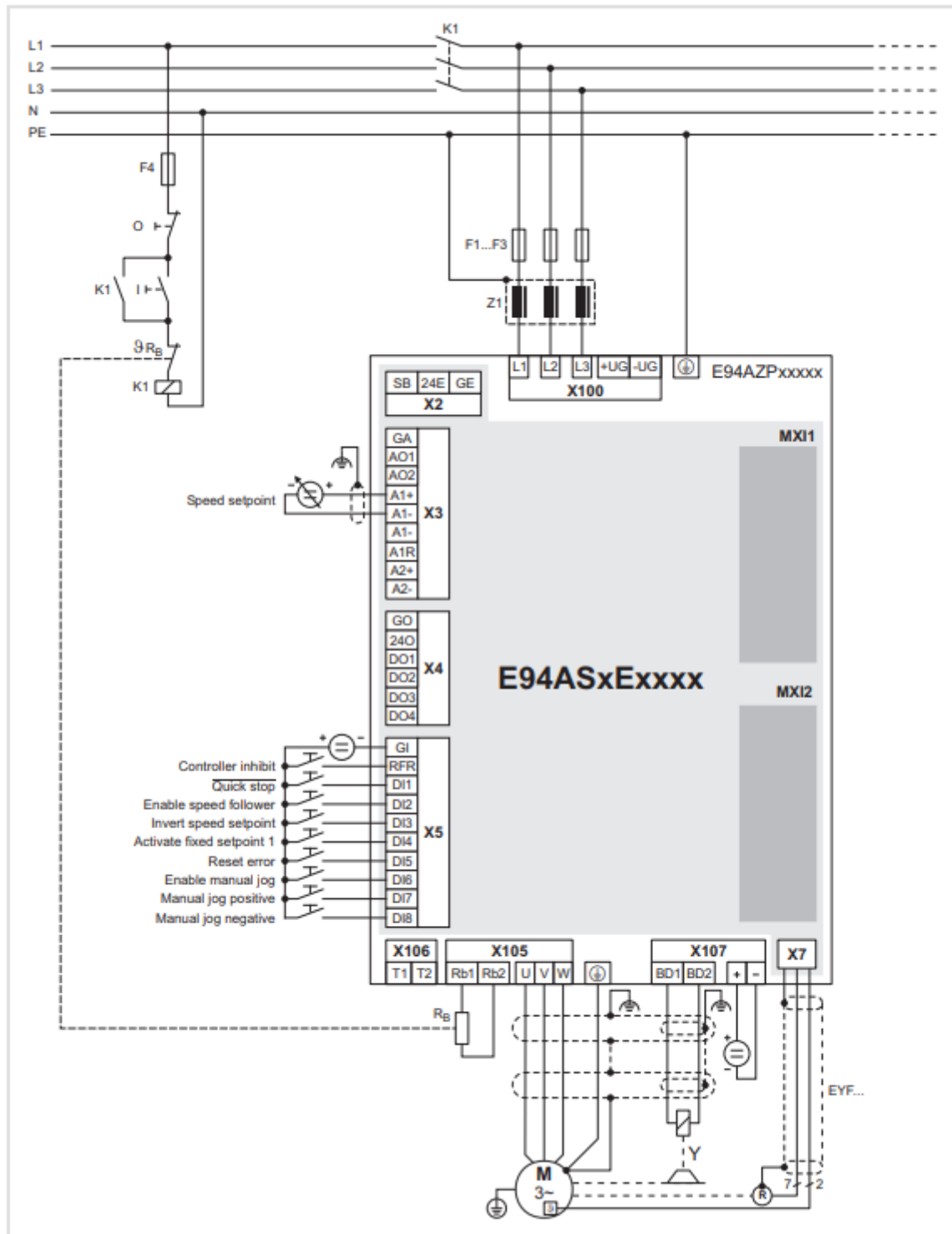
Joonis 2.1 Struktuurskeem

Komponent	Tehnilised andmed	
Servovõimendi	9400 SignleDrive HighLine	
Mootor	MDFKA-090-22, 60	
	Tüüp:	Asünkroone servomootor
	Ühendus:	Y
	Võimsustegur:	0,8
	Nimivool:	8,5 A
	Nimisagedus:	60 Hz
	Nimivõimsus:	3,8 kW
	Nimikiirus:	1680 rpm
	Nimipinge:	390 V
Pidur	24 V	
Reduktor	GKS06	12,612
	Vähendustegur	


Tabel 2.1.1 Kasutatavad komponendid




## L2.2 Ühendusskeem



Joonis 2.2 Ühendusskeem

Nimetus	Komponent
E94ASxExxxx	Servo Axis moodul 9400 Single Drive
E94AZPxxxxx	Paigaldamise ühenduspaneel
K1	Võrgu kontaktor
F1...F4	Kaitsmed
Z1	Võrgu filter / RFI filter (valikuline)
	Maandus
EYF...	Süsteemi kaabel resolveri jaoks
R	Resolver
R <sub>B</sub>	Piduri takisti
Y	Mootori pidur (optionaalsel piduriga juhtimisel)

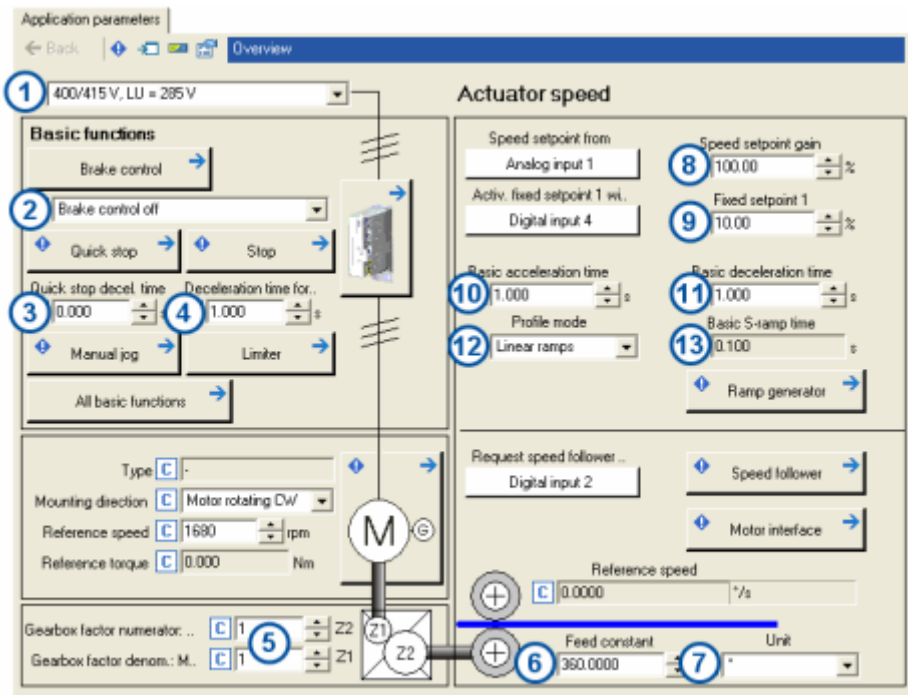
## L2.3 Samm 1: Projekti loomine

1. Käivitage tarkvara „Engineer“
2. Avage „Start-up“ – „wizard“ ning valige suvand „New project(empty)“ ning sisestage projekti nimetust.
3.  Sisestage konveieriliini telg.
  - Lisage vajalikud komponendid (servovõimendi, mootor, laiendusmoodulid)
  - Valige servovõimendile rakendus „Actuator – Speed“
  - Projekti ülevaade näide tarkvaras „Engineer“:



## L2.4 Samm 2: Rakenduse parameetrite seadistamine

Rakenduse seadete konfigureerimiseks tarkvaras „Engineer“ kasutage Application parameters vahekaarti, mis ilmub vaikimisi, kui valite servovõimendi projekti ülevaates:



Joonis 2.3 Rakenduse parameetrid

Rakenduse „acutator speed“ parameetrite seadistamine:

1. Valige toitepinge (C00173).
2. Juhul, kui pidur on kasutusel, aktiveerige automaatne piduriga juhtumine läbi pidurimooduli (C02580 = "Autom. with brake module").
3. Valige kiirpidurduse aeg (C00105), näiteks „0,1 s“.
4. Valige tavapidurdus aeg (C02610), näiteks „0,5 s“.

Tähtis!

Käsitsi juhtimise funktsioon nõuab reduktori ülekanduarvu ning nihkekonstandi seadistamist.

- Käsitsi juhtimise funktsiooni seadistatakse masinaühikutes.

- Valitud ülekandearv ja nihkekonstant kasutatakse ka „online“ masina kiiruse arvutamisel

5. Sisestage reduktori ülekandearvu koefitsientina (lugeja ja nimetaja)  $i_1 = 12612/1000$ :
  - Lugeja (C02520) = 12612



- Nimetaja (C02521) = 1000
6. Seadistage reduktori nihkekonstanti (C02524).
    - Nihkekonstant vastab masina liikumisele reduktori ühe välisvõlli pöörde võrra.
    - Konveieri ajamile :  $V_k = d_1 * \pi = 628,32$
  7. Seadke "mm" mõõteühikuteks (C02525).
    - See parameeter on kasutatav masina tegelike väärtuste määramisel, füüsiliste väärtuste valimiseks (nt. kiirused, kiirendused ja pidurdused)
  8. Kui on vaja, seadistage uuesti analoogsisendi koeffitsiendi (C03002)
  9. Valige fikseeritud seadeväärtust 1 (C03500 / 1).
    - Analoogsisendi alternatiiv
  10. Valige kiiruse järgija kiirendusaeg (C03502), näiteks „0,5 s“.
  11. Valige kiiruse järgija pidurdusaeg (C02610), näiteks „0,5 s“
  12. Valige rambigeneraatori režiimiks „S-rapmid“, et kiirendus oleks sujuv (C03010).
  13. Valige S-rambi ajakonstanti (C03504).

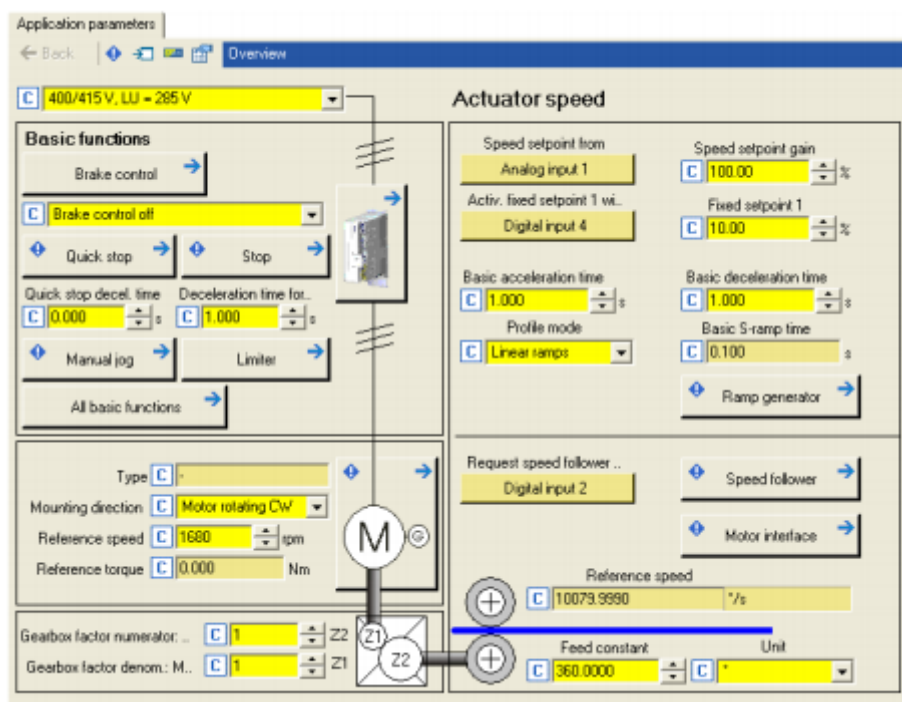
## L2.5 Samm 3: Rakenduse edastamine servovõimendisse

### Tähtis!

Edastatud rakendus on alati salvestatud esimeses mälu rakenduste positsioonis, servovõimendi mälumoodulis.

Ennem salvestatud tehnoloogilised rakendused on samuti saadaval.

1.  Uuendage seadmeid.
  - Valige "Recreate all"
  - Vajutage "Create" uuendusprotsessi käivitamiseks
2.  Looge ühendus ja edastage rakendus servovõimendisse.
  - "Online" ühenduse korral, näitab "Engineer" praegused servovõimendi seadeid, mis on märgistatud kollase värviga.



Joonis 2.4 Servovõimendi seaded

## L2.6 Samm 4: Rakenduse juhtimine terminali kaudu

Terminalide jaotus

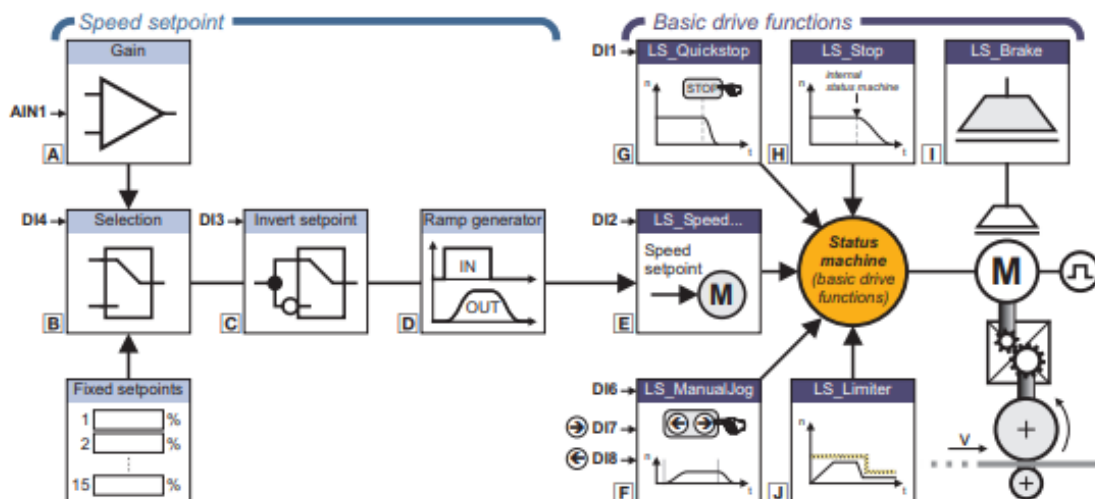
Ühendusklemm		Eesmärk		
<b>X3</b>	<b>AI1- AI1+</b>	+/-10 V $\equiv$ +/- 100% Nimikiirusest		
<b>X5</b>	<b>RFR</b>	Servovõimendi sisselülitamine		
	<b>DI1</b>	Kiir pidurdus Juhul, kui digitaalsisend DI1 on sisselülitatud, ajam pidurdab nullkiiruseni. Juhul, kui DI1 on väljalülitatud, ajam saavutab oma seadistatud kiirust taas.		
	<b>DI2</b>	Kiiruse jälgija aktiveerimine		
	<b>DI3</b>	Kiiruse inversioon		
	<b>DI4</b>	Kiiruse seadistuse aktiveerimine. Kiirust saab aktiveerida digitaalsisendi DI4 abil , alternatiivselt analoogsisendile.		
	<b>DI5</b>	Vea lähtestamine		
	<b>DI6</b>	Käsitsi juhtimine		
		<b>DI7</b>	<b>DI8</b>	<b>Funktsioon</b>
		LOW	LOW	Pidurdus
		HIGH	LOW	Käsitsi juhtimine päripäeva
	LOW	HIGH	Käsitsi juhtimine vastupäeva	
	HIGH	HIGH	Eelmine funktsioon jääb aktiivseks	

### Käivitamis protseduur:

1. Käivitage sservovõimendi: „Enable Controller“ nupp
2. Lülitage välja kiirpeatuse funktsiooni: „Quick stop“ nupp
3. Aktiveerige kiiruse järgijat: „Speed Follower“ nupp
4. Seadistage kiirust „Pote“ nuppu või „Fixed Setpoint“ nuppu abil

## L3. Parameetrite seadistamine ja konfigureerimine

### L3.1 Signaalide liikumine:



Joonis 3.1 Signaalide liikumine rakenduses „actuator-speed“ (skemaatiline diagramm)

Kiiruse seadmise tingimused:

- A. Kiiruse seadmise koeffitsient
- B. Valik kiiruse analoog seadistamise/fikseeritud seadistuse vahel
- C. Kiiruse inversioon
- D. Rambigeneraator

Ajami peamised funktsioonid

- E. Kiiruse järgimine
- F. Käsitsi juhtimine
- G. Kiirpidurdus
- H. Pidurdus
- I. Piduriga juhtimine (optionaalne)
- J. Limiter (optionaalne)



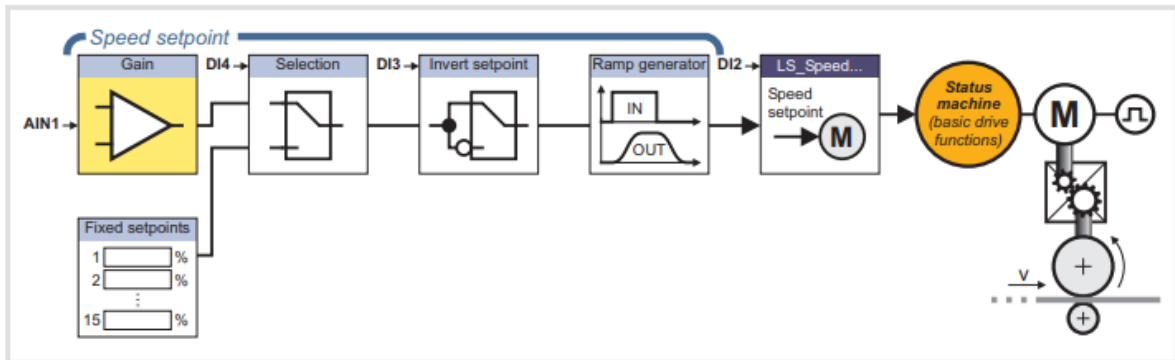
## L3.2 Masina parameetrid

Masina parameetrid kirjeldavad näiteks mehaanikat mootori võlli peal. Masina parameetrite seadistus toimub tarkvaras „Engineer“ , vahekaardil „Application parameters - Overview - Drive interface“

### Lühiülevaade masina parameetritest

Parameeter		Lenze-seadistus	
C00173	Toidepinge	400/415	V
C00174	Madala pinge lävi (LU)	285	V
C00600	Reaktsioon ootamatu pinge tõusule siinil	Trouble	
C02520	Redukti koefitsiendi lugeja	1	
C02521	Redukti koefitsiendi nimetaja	1	
C02527	Mootori pöörlemissuund	Mootor pöörleb päripäeva	
C02570	Asukoha juhtimise struktuur	Faasi juhtimine	
Mehaanika kirjeldus (koormus, tööriist)			
C02528	Liikumise vahemik	Piiramatult	
C02524	Nihkekonstant	360.000	Ühikuid
C02525	Ühikud	°	
C02526	Kasutajaga määratud ühikud	°	
C02533	Aja ühikud	s	
C00273/1	Mootori inertsmoment	Sõltub mootorist	Kg/sm <sup>2</sup>
C00273/2	Koormuse inertsmoment	0.00	Kg/sm <sup>2</sup>

### L3.3 Tingimused kiiruse seadmiseks



Joonis 3.2 Tingimused kiiruse seadmiseks (skemaatiline diagramm)

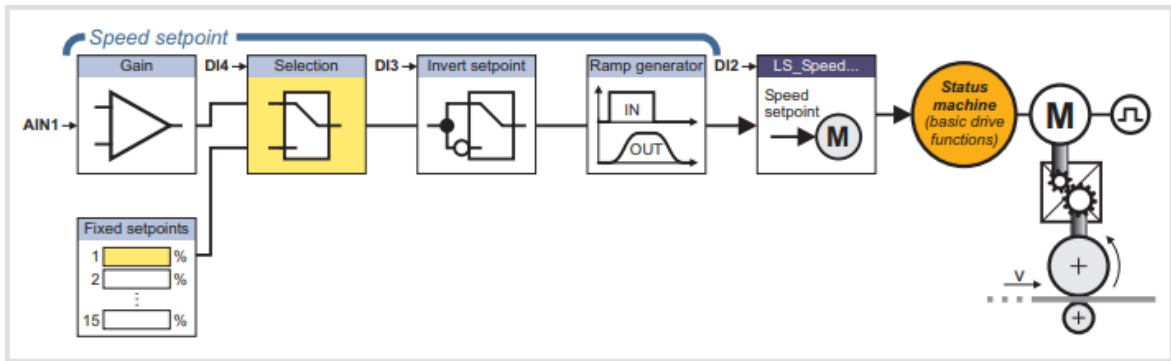
Kiiruse seadmine toimub analoogsisendi 1 kaudu ja töötab mõlemas suunas (bipolaarne) ja masina veoosa liigub vastavalt.

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview“

Parameeter		Lenze-seadistus
C03002	Seadistuse tugevdamise koeffitsient	100,00 %

Funktsiooni sisendid		
Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
AIN 1	Kiiruse seadistus	C03000

### L3.4 Üleminek fikseeritud kiiruse seadmisele



Joonis 3.3 Üleminek fikseeritud kiiruse seadmisele(skemaatiline diagramm)

Digitaalsisendi DI4 abil saab teostada ülemineku fikseeritud kiiruse seadmisele

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview“

Parameeter		Lenze-seadistus
C03500/1	Fikseeritud seadistus 1	10,00 %

Funktsiooni sisendid		
Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
DIGIN 4	Fikseeritud kiiruse seadistuse aktiveerimine	C03009/4

## Erinevate fikseeritud seadistuste kasutamine

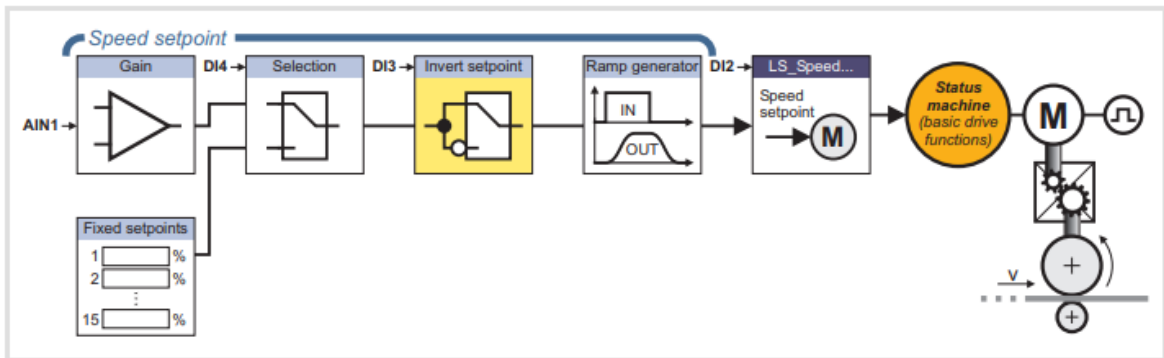
15 erinevat fikseeritud seadistust on võimalik kohandada. Selleks, et valida fikseeritud kiiruse seadistus vahemikus 2 kuni 15 valiku sisendid peavad olema määratud vastavate signaalidega. Fikseeritud seadistuste valimine on teostatav läbi binaarse-kodeeritud põhimõtte kaudu.

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview – Ramb generator – All fixed setpoints“

Parameeter		Lenze-seadistus
C03500/1	Fikseeritud seadistus 1	10,00 %
C03500/2	Fikseeritud seadistus 2	0.00 %
C03500/...	Fikseeritud seadistus ...	...
C03500/15	Fikseeritud seadistus 15	0.00 %

Funktsiooni sisendid Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
DIGIN 4	Fikseeritud seadistuse 1 aktiveerimine	C03009/4
FALSE	Fikseeritud seadistuse 2 a aktiveerimine	C03009/5
FALSE	Fikseeritud seadistuse 4 a aktiveerimine	C03009/6
FALSE	Fikseeritud seadistuse 8 a aktiveerimine	C03009/7

### L3.5 Kiiruse inversion



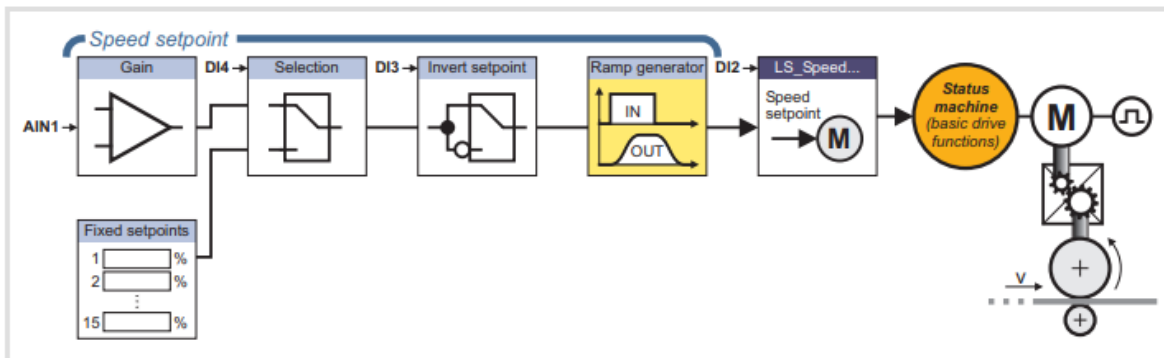
Joonis 3.4 Kiiruse inversioon(skemaatiline diagramm)

Digitaalsisendi DI3 kaudu võib tegutseva suunda vajadusel muuta vastupidiseks, ehk teostada inversiooni.

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview – Ramp generator“

Funktsiooni sisendid		
Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
DIGIN 3	Pöörlemissuuna ümberpööramine	C03009/1

### L3.6 Kiiruserambi generaator



Joonis 3.5 Kiiruserambi generaator(skemaatiline diagramm) [8]

Et vältida astmelisi kiiruse muutusi, kiiruse seadistus käib läbi rambigeneraatorist, milles saab seadistada kiirendust/pidurdust ning S-ramb-i, enne, kui signaal jõuab peamise ajami funktsiooni "Speed Follower", ehk kiiruse järgijasse.

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview“

Parameeter		Lenze-seadistus
C03502	Kiirendusaeg	1,000 s
C03503	pidurdusaeg	1,000 s
C03504	S-rambi ajakonstant	0,100 s
C03510	Profili režiim	Lineaarsed rambid

## Täendavaid rambiparameetrite komplekte kasutamine

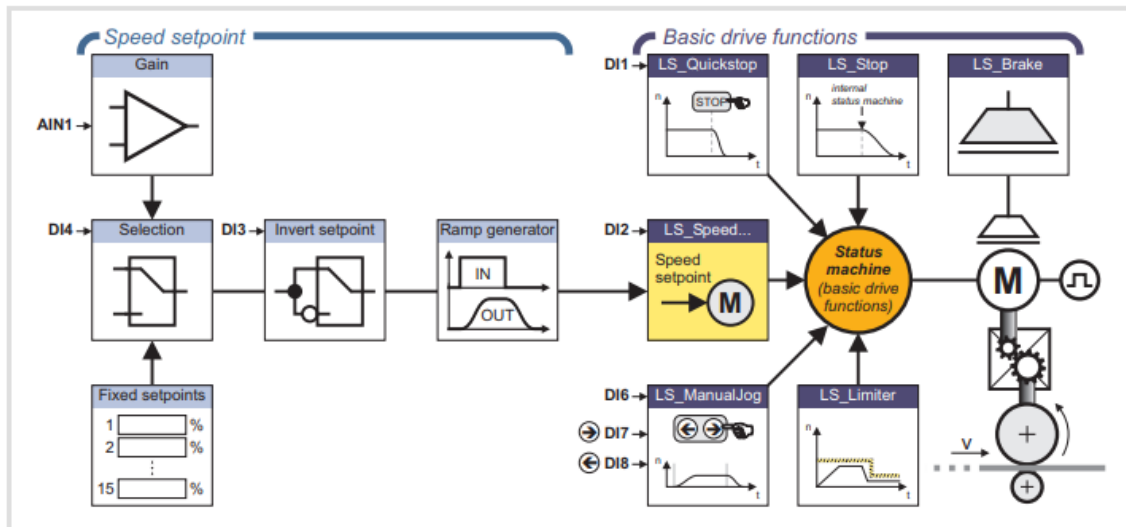
Kui vaja, 15 erinevat rambiparameetrite komplekte on võimalik kohandada. Selleks, et valida rambiparameetrite komplekte vahemikus 1 kuni 15 valiku sisendid peavad olema määratud vastavate signaalidega. Rambiparameetrite komplektide valimine on teostatav läbi binaarse-kodeeritud põhimõtte kaudu.

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview – Ramb generator – All ramb parameters“

Parameeter		Lenze-seadistus
C03512/1	Kiirendusaeg 1	0.000 s
C03512/...	Kiirendusaeg...	...
C03512/15	Kiirendusaeg 15	0.000 s
C03513/1	Pidurdusaeg 1	0.000 s
C03513/...	Pidurdusaeg ...	...
C03513/15	Pidurdusaeg 15	0.000 s
C03514/1	S-rambi ajakonstant 1	0.000 s
C03514/...	S-rambi ajakonstant ...	...
C03514/15	S-rambi ajakonstant 15	0.000 s

Funktsiooni sisendid Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
FALSE	Rambiparameetrite komplekti 1 a aktiveerimine	C03009/8
FALSE	Rambiparameetrite komplekti 2 aktiveerimine	C03009/9
FALSE	Rambiparameetrite komplekti 4 aktiveerimine	C03009/10
FALSE	Rambiparameetrite komplekti 8 a aktiveerimine	C03009/11

### L3.7 Kiiruse järgija



Joonis 3.6 Kiiruse järgija(skemaatiline diagramm)

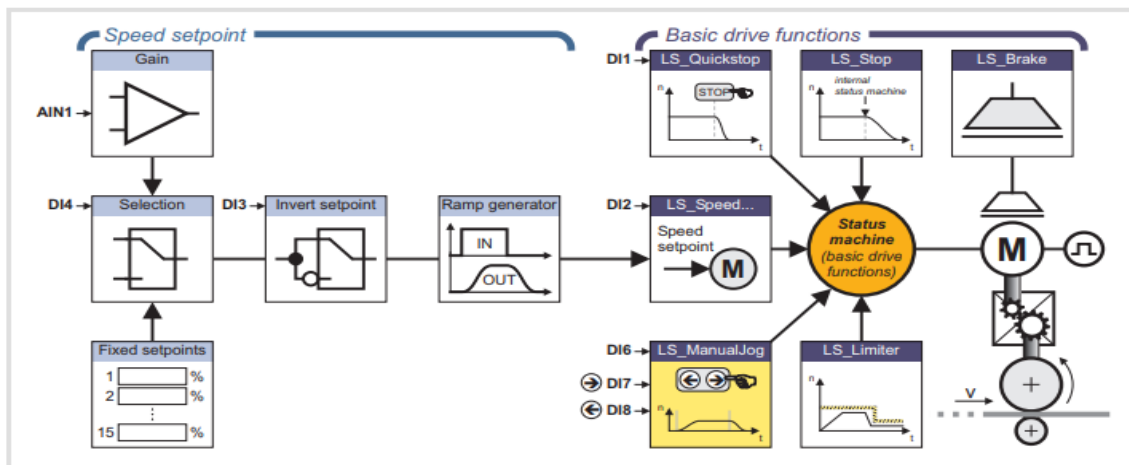
Selleks, et hakkata seadistama kiirust ja näha või teostada rakenduse funtsiooni kiiruse järgija tööd, tuleb taotletakse digitaalsisendi DI2 kaudu luba. Juhul, kui mõni muu põhifunktsioon või viga on mitteaktiivne, on kiiruse järgija ning kiiruse reguleerimise kasutamine lubatud.

Ajami kiirendamist / aeglustamist lõppunkti reguleeritakse rambigeneraatori abil, mis võrdleb seadistatud kiirust / tegeliku kiirust.

Juhul, kui ajami töö on välja lülitatud digitaalsisendi DI2 kaudu, ajam pidurdab nullkiiruseni, põhifunktsiooni "Stop" abil.



### L3.8 Käsitsi juhtimine



Joonis 3.7 Käsiti juhtimine(skemaatiline diagramm)

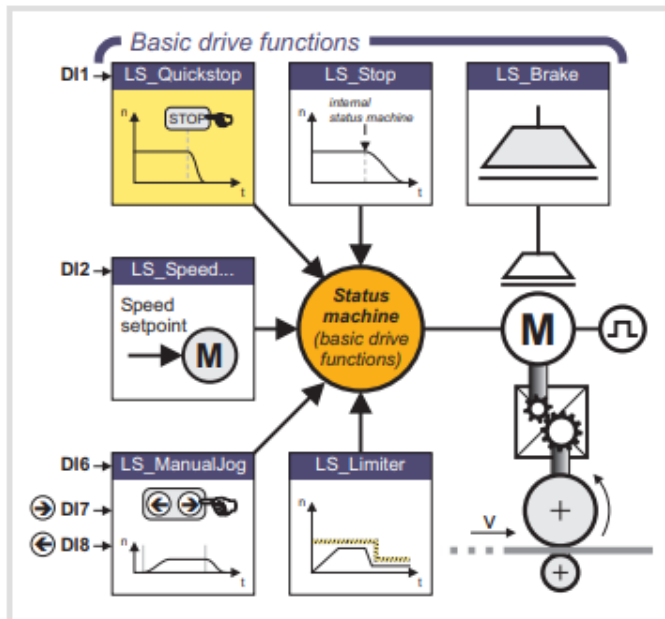
Töö seadistamiseks on saadaval põhifunktsioon käsitsi juhtimine, ehk "Manual.jog". Seda taotletakse digitaalsisendi DI6 kaudu. Juhul, kui teine põhifunktsioon, ehk kiirpeatus või kiiruse järgija ja viga on mitteaktiivsed, lubatakse käsiti juhtimist ning käsitsi juhtimine käib digitaalsisendite DI7 ja DI8 abil, mis liigutavad mootori võlli kas päri – või vastupäeva.

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview – Manual jog“

Parameeter		Lenze-seadistus
C02620	Käsitsi juhtimine: kiirus 1	360,000 u / s
C02621	Käsitsi juhtimine: kiirus 2	720.000 u / s
C02622	Käsitsi juhtimine: kiirendus	360,000 u / s <sup>2</sup>
C02623	Käsitsi juhtimine: pidurdus	1440,000 u / s <sup>2</sup>
C02624	Käsitsi juhtimine: S-rambi ajakonstant	0,100 s

Funktsiooni sisendid Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
DIGIN 6	Käsitsi juhtimise aktiveerimine	C03155/1
DIGIN 7	Käsitsi juhtimine päripäeva	C03155/2
DIGIN 8	Käsitsi juhtimine vastupäeva	C03155/3
FALSE	Kiiruse 2. aktiveerimine	C03155/4

### L3.9 Kiirpeatus



Joonis 3.8 Kiirpeatus(skemaatiline diagramm)

Põhifunktsioon kiirpeatus pidurdab ajami nullkiiruseni pidurdamisaja jooksul, mis on seadistatud eraldi selle funktsiooni jaoks. Juhul, kui funktsioon on deaktiveeritud, ajam saavutab taas seadistatud kiirust, kiirendusega, mis on seadistatud kiiruse rambigeneraatoris.

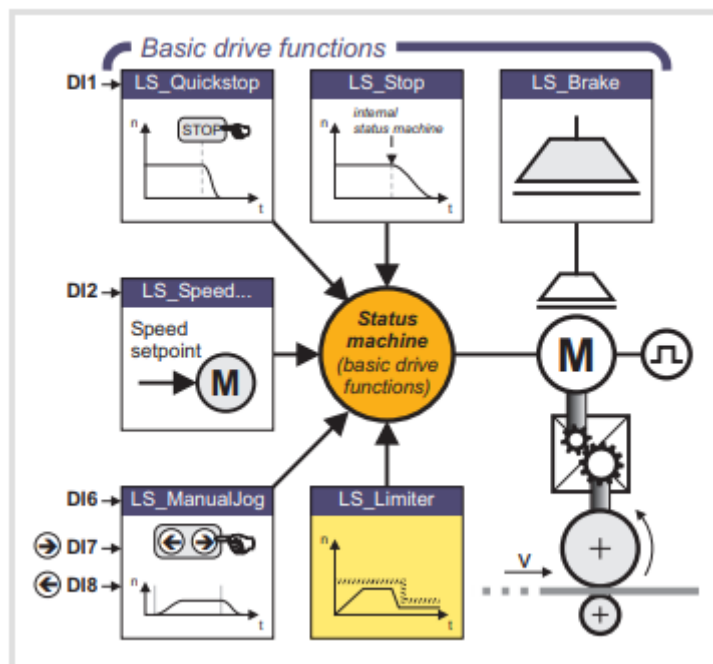
Kiirpeatuse funktsiooni saab aktiveerida digitaalsisendi DI1 kaudu, lülitades sisendi madala impulssi peale.

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview – Quick stop“

Parameeter		Lenze-seadistus
C00105	Pidurdus aeg	0,000 s
C00106	S- rambi aeg	0,00 %
C00107	Kiirpeatuse lähtepunkt	Mootori nimikiirus (C00011)

Funktsiooni sisendid Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
DIGIN 1	Kiirpeatuse aktiveerimine 1	C03135/1
Käsk sõna 1 bit 02	Kiirpeatuse aktiveerimine 2	C03135/2
FALSE	Kiirpeatuse aktiveerimine 3	C03135/3

### L3.10 Limiter



Joonis 3.9 Limiter(skemaatiline diagramm)

Põhifunktsioon "Limiter", seal, kus on võimalik, piirandurite abil jälgib liikumiskiire. Juhul, kui seda on vaja, tagab "Limiter" ühilduvust piiridega.

#### TÄHTIS!

Piirväärtused ei kehti põhifunktsioonide jaoks, nagu „Speed follower“, „Torque follower“, „Position follower“

Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview – Limiter“

Parameeter		Lenze-seadistus
C02702	Piirangud on aktiivsed	Välja lülitatud
C02703	Maks. Kiirus	3600.000 u / s
C02705	Maks. Kiirendus	3600,000 u / s <sup>2</sup>
C02706	Min. S-rambi ajakonstant	100 ms
C02707	Lubatud pöörlemisuund	Päripäeva ja vastupäeva

Funktsiooni sisendid Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
FALSE	Positiivne piirilüliti	C03150/1
FALSE	Negatiivne piirilüliti	C03150/2



Parameetrite seadistamine: Vahekaart „Application parameters – Overview – Brake control“

Parameeter		Lenze-seadistus
C02580	Piduri töörežiim	Piduri juhtimine väljalülitatud
C02581	Piduri lävel	50 rpm
C02582	Piduri reaktsioon impulspidurdusele	Kohene piduri aktiveerimine
C02583	Sisendite oleku jälgimine	Ei ole aktiivne
C02585	Piduri juhtimise polaarsus	Pöördumine puudub
C02586	Käivitusmoment 1	0,00 Nm
C02587	Käivitusmoment 2	0,00 Nm
C02588	Käivitusmomendi allikas	Käivitusmoment 1/2
C02589	Pidurdamise aeg	100 ms
C02590	Pidurist vabastamise aeg	100 ms
C02591	Ooteaeg - oleku jälgimine	100 ms
C02593	Ooteaeg - piduri aktiveerimine	0,00 s
C02594	Testimismoment	0,00 Nm
C02595	Lubatud pöördenurk	5 °
C02596	Hõõrumise kiirus	100 rpm
C02597	Kiirendus / aeglustusaeg - hõõrumine	1,00 s
C02598	Hõõrumise sisse lülitamise aeg	0,5 s
C02599	Hõõrumise välja lülitamise aeg	0.5 s

Funktsiooni sisendid Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
FALSE	Piduri avamine (vabastamine)	C03165/1
FALSE	Käivitusmomendi 2 aktiveerimine	C03165/2
FALSE	Piduri lahtijätmine seiskumisel	C03165/3
FALSE	Piduri oleku signaa	C03165/4
FALSE	Pidurikontrolli aktiveerimine	C03165/5
FALSE	Piduri hõõrumine	C03165/6
0 %	Täiendav moment	C03166

## L3.12 Signaali konfiguratsioon

### Mootori ja ajami liides

Vajadusel, eelseadistatud juhtimissisendite ning ajami seadistused ja mootori liidese signaalide konfiguratsiooni saab hõlpsasti muuta, seadistatud parameetrite , mis on kordaja parameetrid, seadistamise teel.

### Ajami liides

Signaal Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
FALSE	Servovõimendi seiskamise seadistus	C03130/1
DIGIN 5	Vea lähtestamine 1	C03130/2
Käksõna 1 bit 07	Vea lähtestamine 2	C03130/3
FALSE	Vea lähtestamine 3	C03130/4
FALSE	Vea seadistus	C03130/5
Käksõna 1 bit 00	Ajami sisselülitamine	C03130/6

### Mootori liides

Signaal Lenze-seadistus	Sisendi käsk	Signaali konfiguratsioon
100 %	Max. moment	C03141/1
-100 %	Min. moment	C03141/2
100 %	Mehaanilise inertsiga reguleerimine	C03141/3

### L3.12 Väljundpordid

Vajadusel, eelseadistatud väljundpordide signaalide konfiguratsiooni saab hõlpsasti muuta, seadistatud parameetrite, mis on kordaja parameetrid, seadistamise teel.

#### Väljundport "LPortAxisOut1"

Väljundport LPortAxisOut1 on loodud järgmise telje ühendamiseks

Signaal	Väljundport	Signaali konfiguratsioon
Lenze-seadistus		
Telje olekusõna Lisada saab rakendusspetsiifilisi signaale.		
Ajam on valmis	Biti sõna telje olekule 00	C03120/1
FALSE	Biti sõna telje olekule 01	C03120/2
Töö on lubatud	Biti sõna telje olekule 02	C03120/3
Viga on aktiivne	Biti sõna telje olekule 03	C03120/4
FALSE	Biti sõna telje olekule 04	C03120/5
Kiirpeatatus on aktiivne	Biti sõna telje olekule 05	C03120/6
Ajam stardiks valmis	Biti sõna telje olekule 06	C03120/7
Hoiatus on aktiivne	Biti sõna telje olekule 07	C03120/8
FALSE	Biti sõna telje olekule 08	C03120/9
FALSE	Biti sõna telje olekule 09	C03120/10
FALSE	Biti sõna telje olekule 10	C03120/11
Mootori juhtimine piirangutega	Biti sõna telje olekule 11	C03120/12
FALSE	Biti sõna telje olekule 12	C03120/13
FALSE	Biti sõna telje olekule 13	C03120/14
FALSE	Biti sõna telje olekule 14	C03120/15
FALSE	Biti sõna telje olekule 15	C03120/16
Horisontaalse suhtluse seadepunktid		
Filtreeritud momendi seadeväärtus	Telje väljundport 1	C03124/1
	Skaala: $16384 \equiv 2^{14} \equiv 100\% \text{ mootori moment (C00057/2)}$	
Kiiruse seadistus	Telje väljundport 2	C03124/2
	Skaala: $1073741824 \equiv 230 \equiv 100\% \text{ mootori kiirus (C00011)}$	

## Väljundport "LPortStatus1"

Väljundport LPortStatus1 on loodud ühendamiseks juhtimisseadega.

Signaal	Väljundport	Signaali konfiguratsioon
Lenze-seadistus		
Olekusõna 1		
Ajam on valmis	Olekusõna 1 bit 00	C03121/1
FALSE	Olekusõna 1 bit 01	C03121/2
Töö on lubatud	Olekusõna 1 bit 02	C03121/3
Viga on aktiivne	Olekusõna 1 bit 03	C03121/4
FALSE	Olekusõna 1 bit 04	C03121/5
Kiirpeatus on aktiivne	Olekusõna 1 bit 05	C03121/6
Ajam stardiks valmis	Olekusõna 1 bit 06	C03121/7
Hoiatus on aktiivne	Olekusõna 1 bit 07	C03121/8
FALSE	Olekusõna 1 bit 08	C03121/9
FALSE	Olekusõna 1 bit 09	C03121/10
FALSE	Olekusõna 1 bit 10	C03121/11
Mootori juhtimine piirangutega	Olekusõna 1 bit 11	C03121/12
FALSE	Olekusõna 1 bit 12	C03121/13
FALSE	Olekusõna 1 bit 13	C03121/14
FALSE	Olekusõna 1 bit 14	C03121/15
FALSE	Olekusõna 1 bit 15	C03121/16


Signaal	Väljundport	Signaali konfiguratsioon
Lenze-seadistus		
Olekusõna 2		
FALSE	Olekusõna 2 bit 00	C03122/1
FALSE	Olekusõna 2 bit 01	C03122/2
FALSE	Olekusõna 2 bit 02	C03122/3
FALSE	Olekusõna 2 bit 03	C03122/4
FALSE	Olekusõna 2 bit 04	C03122/5
FALSE	Olekusõna 2 bit 05	C03122/6
FALSE	Olekusõna 2 bit 06	C03122/7
FALSE	Olekusõna 2 bit 07	C03122/8
FALSE	Olekusõna 2 bit 08	C03122/9
FALSE	Olekusõna 2 bit 09	C03122/10
FALSE	Olekusõna 2 bit 10	C03122/11
FALSE	Olekusõna 2 bit 11	C03122/12
FALSE	Olekusõna 2 bit 12	C03122/13
FALSE	Olekusõna 2 bit 13	C03122/14
FALSE	Olekusõna 2 bit 14	C03122/15
FALSE	Olekusõna 2 bit 15	C03122/16




### L3.13 Tegelik väärtuse ja staatuse signaalid

Järgnev tabel sisaldab analoog- ja digitaalväljundite seadistust tehnoloogia rakendusele „acutator - speed“. Vajadusel, eelseadistatud signaalide konfiguratsiooni saab hõlpsasti muuta, seadistatud parameetrite, mis on kordaja parameetrid, seadistamise teel.


#### Analoogväljundid

Terminal „X3“	Signaal (Lenze-seadistus)	Signaali konfiguratsioon	
	AO1	Kiiruse seadistus Normaliseerimine: $\pm 10 \text{ V} \equiv$ mootori kiirus (C00011)	C03110/1
	AO2	Filtreeritud pöördemomendi seadistus Normaliseerimine: $\pm 10 \text{ V} \equiv$ Mootori moment (C00057 / 2)	C03110/2


#### Digitaalväljundid

Terminal „X4“	Signaal (Lenze-seadistus)	Signaali konfiguratsioon	
	DO1	Staatuse „Drive ready“ Sagedusmuunduri siini pinge on saadaval ning vigu ei ole	C03100/1
	DO2	Staatuse „Speed follower enabled“ Kiiruse järgija oli aktiveeritud digitaalsisendi DI2 abil	C03100/2
	DO3	Staatuse „Speed follower in limitation“ Kiiruse järgija on piiratud rohkem, kui 100 ms. On piiratud kas maks. kiirusega või min. kiirusega (C00909/1 või C00909/2)	C03100/3
	DO4	Staatuse „Error active acknowledgement is required“ Jälgimis funktsioon sõnumitega „Error“ või „Quick stop by trouble“ on aktiveeritud ning servovõimendi on olekus „Error active“ või „Quick stop by trouble active“	C03100/4

## Olekusiin

Terminal „X2“	Signaal (Lenze-seadistus)	Signaali konfiguratsioon
	SB  Staatus „Speed follower in limitation“ Kiiruse järgija on piiratud rohkem, kui 100 ms. On piiratud kas maks. Kiirusega või min. Kiirusega (C00909/1 või C00909/2) Olekusiin on staatuses “Error”	C03100/5

## Kuva elemendid

LED	Signaal (Lenze-seadistus)	Signaali konfiguratsioon
	Staatus „Speed follower enabled“ Kiiruse järgija on aktiveeritud digitaalsisendi DI2 kaudu.	C03100/6

### L3.14 Rakenduse veateated

Selleks, et kuvada spetsiifilisi rakenduse jaoks veateateid, FB objekt L\_DevApplErr1, mis asub funktsionaal plokis L\_DevApplErr on saadaval.

8 loogiliste sisendite kaudu on võimalik kuvada kuni 8 erinevat veateateid.

Veateade		Vea ID	Vastus vea peale
1	Kiiruse järgija on piirangus	8001	Warning locked
2	-	8000	Viga
3	-	8000	Viga
4	-	8000	Viga
5	-	8000	Viga
6	-	8000	Viga
7	-	8000	Viga
8	-	8000	Viga

Parameetrite seadistus: Vahekaart „All parameters“

Parameeter		Lenze-seadistus	
C05900	Mooduli ID	980	
C05901/1...8	Vea ID 1 ... 8	Vt. tabelit ülevalt	
C05902/1...8	Vastus vea peale 1 ... 8	Vt. tabelit ülevalt	

#### Veateade lähtestamine

Lenze seadetega saab digitaalsisendi DI5 abil viga lähtestada. Digitaalsisend Di5 on ühendatud sisendisse DI\_bResetError1 ajami liidesel.

### L3.15 Kohandatavad funktsiooniplokid

See alajaotis loetleb kõik olulised kohandatavad tehnoloogilise rakenduse funktsiooniplokid ning nende parameetrid tähestikulises järjekorras.

#### L\_DevApplErr1

Objekt	Funktsioon
L_DevApplErr	Vigade haldamine

Parameeter	Võimalikud seadised			Info
C05900	980		999	Mooduli ID
C05901/1...8	0		65535	Vea ID
C05902/1...8				Vastus vea peale
	0	Ei ole		
	1	Fault		
	2	Trouble		
	3	Quick stop by trouble		
	4	Warning locked		
	5	Warning		
	6	Information		

#### L\_TbDelay1

Objekt	Funktsioon
L_TbDelay1	Signaali MI_bSpeedCtrlLimited viivitus vigade haldamiseks

Parameeter	Võimalikud seadised			Info
C03550				Impulsi külje valik
	0	Ülemine impulse külg		Lenze-seadistus
	1	Alumine impulse külg		
	2	Mõlemad küljed		
C03551	0,00	s	60,00	Viivitusaeg Initsialiseerimine: 0.100 s

## SpeedRamb

Objekt	Funktsioon
L_SdSpeedSet	Rambi generator kiiruse seadmiseks

Parameeter	Võimalikud seadised			Info
C03500/1...15	-200,00	%	200,00	Fikseeritud seadistus 1 ... 15
C03501	0		15	Aktiivne seadistus Ainult lugemine
C03502	0,00	s	1000,00	Kiirendusaeg Initsialiseerimine: 1,000 s
C03503	0,00	s	1000,00	Pidurdusaeg Initsialiseerimine: 1,000 s
C03504	0,00	s		S-rambi ajakonstant Initsialiseerimine: 0,100 s
C03507				bStop sisendi polaarsus
	0	Aktiivne HIGH		
	1	Aktiivne LOW		
C03508	0,00	%	100,00	Saavutatud seadistuse veamäär Initsialiseerimine: 1,00 %
C03512/1...15	0,00	s	1000,00	Kiirendusaeg 1 ... 15 Initsialiseerimine: 0,00 s
C03513/1...15	0,00	s	1000,00	Pidurdusaeg 1 ... 15 Initsialiseerimine: 0,00 s
C03514/1...15	0,00	s	1000,00	S-rambi ajakonstant 1 ... 15 Initsialiseerimine: 0,00 s
C03515	0		15	Rambi aktiivsed parameetrid Ainult lugemine
C03520				Profiili režiim Ainult lugemine
	0	Lineaarsete rambidega profiili loomine Kooskõlastatud mootori kiirusesega (C00011).		
	1	S-kujulise rambi loomine		
	10	Lineaarsete rambidega profiili loomine Kooskõlastatud mootori kiirusesega (C00011). Impulsi külje vahetamisel sisendis bStop kooskõlastatult praeguse väärtusega. Seadistus sisendis dnExtSpeedSetpoint_n on kasutusel algpunktina.		
C03521	-200,00	%	200,00	Seadistus sisendis Ainult lugemine

Parameeter	Võimalikud seadised			Info
C03522	-200,00	%	200,00	Sihiline seadistus Ainult lugemine
C03523	-200,00	%	200,00	Seadistus väljundis Ainult lugemine
C03524	0	Kiiruse seadistus ei ole saavutatud		Staatus "Target setpoint reached" Ainult lugemine
	1	Kiiruse seadistus saavutatud		
C03525	0,00	rpm	50000,00	Koormuse kiirus Ainult lugemine
C03526	0,00	rpm	50000,00	Seadistatud koormuse kiirus Ainult lugemine
C03527	0,00	u./t	214000,00	Kiirus Ainult lugemine
C03528	-214000,00	u./t	214000,00	Seadistatud kiirus Ainult lugemine
C03529	Sümbolite rida AxisData-st			Kiirusühik Ainult lugemine
C03537	-200,00	%	200,00	Välimine seadistus dnExtSpeedSetpoint_n sisendi signaali näitamine
C03538	-200,00	%	200,00	Praegune pöörlemiskiirus dnActualMotorSpeed_n sisendi signaali näitamine
C03539/1	0	Seadistus ei ole ümberpööratud		Seadistuse inversion bInvertSetpoint sisendi signaali näitamine
	1	Seadistus on ümberpööratud		
C03539/2	0	Seadistuse väljund aktiveeritud		Seadistuse väljundi hoidmine bHoldOutput sisendi signaali näitamine
	1	Seadistuse väljund on hoitav		
C03539/3	0	Peatus ei ole aktiveeritud		Peatuse aktiveerimine bStop sisendi signaali näitamine
	1	Peatus on aktiveeritud		
C03539/4...7	0	Liikumise sisend ei ole aktiveeritud		Fikseeritud seadistuse aktiveerimine 1 ... 8 bJog1 ... bJog8 sisendi signaali näitamine
	1	Liikumise sisend on aktiveeritud		
C03539/8...11	0	Ti sisend ei ole aktiveeritud		Rambi parameetrite aktiveerimine 1 ... 8 bTi1 ... bTi8 sisendi signaali näitamine
	1	Ti sisend on aktiveeritud		
C03539/12	0	Laadimine ei ole aktiveeritud		Välimise seadistuse laadimine bLoadExtSpeedSetpoint sisendi signaali näitamine
	1	Laadimine välimist seadistust		
C03539/13	0	Laadimine ei ole aktiveeritud		Pöörlemiskiiruse laadimine bLoadActualMotorSpeed sisendi signaali näitamine
	1	Pöörlemiskiiruse laadimine		