

# Sähkökäyttöjen kulmasynkronointi SEW- tekniikalla

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelma  
Suunnittelupainotteinen  
mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Eppu Huusko

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

HUUSKO, EPPU:

Sähkökäyttöjen kulmasynkronointi  
SEW-tekniikalla

Sunnittelupainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 42 sivua, 21 liitesivua

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä ja vertailla SEW EURODRIVE Oy:n sähkökäyttöjen kulmasynkronointimenetelmiä ja luoda niistä helppolukuinen taulukko menetelmän valintaan sovelluskohteen rajoitteiden mukaan. Tämän lisäksi työn tavoitteena oli myös toteuttaa kulmasynkronointi sekä Multimotionilla että CCU:lla jo olemassa olevaan demolaitteistoon.

Sekä demo-ohjelmistot että taulukko synkronoinnin valintaan tehtiin SEW EURODRIVE Oy:n myyntiosaston ja drive engineering-osaston käyttöön. Demolaitteiston tarkoitus on näyttää asiakkaille, millä kalustolla ja miten kulmasynkronointi onnistuu. Vertailutaulukon tarkoitus on kartoittaa tilannetta, toteutustapojen eroista ja selvittää ovatko muut kuin CCU ja MultiMotion-pohjaiset ratkaisut tarpeellisia.

Työn aluksi tutustuttiin ohjatusti kaikkiin senhetkisiin käytössä oleviin SEWin käyttämiin menetelmiin, joilla synkronointi on mahdollista suorittaa. Tämän jälkeen menetelmien tutkiminen jatkui itsenäisenä työnä. Kuitenkin ohjausta oli mahdollista saada tarpeen mukaan.

Työn hyöty toimeksiantajalle oli taulukko josta ilmenee ettei tarvetta muihin menetelmiin kuin CCU:hun ja MultiMotioniin ole teknisiä syitä. Tämän lisäksi SEW Eurodriven käytössä on nyt myös CCU ja MultiMotion-tekniikalla toteutetut toimivat hihnademolaitteet.

Asiasanat: sähkökäyttö, kulmasynkronointi, MultiMotion, Movi-PLC, Movidrive

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Huusko, Eppu

Electric drive angular synchronization  
with SEW technology

Bachelor's Thesis in Mechatronics

42 pages, 21 pages of  
appendices

Spring 2016

ABSTRACT

---

The commissioner of the study was SEW Eurodrive. The purpose of this thesis was to get acquainted with and compare different techniques of electric drive synchronization with SEW-EURODRIVE technology and additionally create synchronization program to a demonstration machinery. Used synchronization technique to demonstration was parametrizable MultiMotion-platform and CCU parametrizable application. Results of the comparison were meant to be gathered to matrix which was displayed in excel sheet.

Both demonstration programs and comparison of the technologies were made for usage of sales and Drive Engineering departments. Demonstration machinery's purpose was to make fast and easy demonstration to customers possible.

In the beginning of the thesis supervised introductions were given on the existing technologies. After the supervised introductions the work continued as an independent working, but with support from Drive Engineering team when needed.

Result of this thesis was working demonstration of both CCU and MultiMotion techniques which can be used to demonstrate log deck conveyor which are used in saw mills. The comparison matrix of different technologies shows that there are no technical reasons to keep marketing other technologies than CCU and MultiMotion based solutions.

Key words: Electric drive, Angular synchronization, MultiMotion, Movi-PLC, MoviDrive

## SISÄLLYS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO  | 1  |
| 2     | SEW-EURODRIVE OY                                  | 2  |
| 3     | SÄHKÖKÄYTÖT                                       | 3  |
| 4     | MOOTTORIKÄYTTÖJEN KULMASYNKRONOINTI               | 5  |
| 4.1   | Kulmasynkronointi verrattuna nopeussynkronointiin | 5  |
| 4.2   | Synkroniin siirtyminen                            | 6  |
| 4.2.1 | Synkronoinnin siirtymätyypit                      | 6  |
| 4.2.2 | Synkronoinnin siirtymämuodot                      | 7  |
| 4.2.3 | Synkronoinnin aloitus- ja lopetustapahtuma        | 7  |
| 4.3   | Modulo ja lineaariakseli                          | 8  |
| 5     | LAITTEISTO PERUSTEITA                             | 11 |
| 5.1   | Movidrive MDX60/61B                               | 11 |
| 5.2   | MOVI-PLC  | 12 |
| 6     | SYNKRONOINTI MENETELMÄT                           | 15 |
| 6.1   | Synkronointi tahdistuskortilla                    | 15 |
| 6.2   | DriveSync via FieldBus                            | 16 |
| 6.3   | Internal Synchronous Operation                    | 17 |
| 6.4   | CCU SyncCrane application module                  | 19 |
| 6.5   | CCU Universal Application Module                  | 21 |
| 6.6   | MultiMotion                                       | 23 |
| 7     | HIHNADEMON TOTEUTUS                               | 26 |
| 7.1   | Demon laitteisto                                  | 27 |
| 7.2   | CCU Universal Application Module                  | 29 |
| 7.3   | MultiMotion toteutus                              | 36 |
| 8     | SYNKRONOINTI TEKNIKOIDEN VERTAILUN TOTEUTUS       | 38 |
| 9     | YHTEENVETO  | 40 |
|       | LÄHTEET   | 41 |
|       | LIITTEET  | 44 |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin SEW EURODRIVE Oy:lle yhteistyössä yrityksen Drive Engineering -tiimin opastamana. Työn tarkoituksena oli vertailla yrityksen tekniikkaa sähkökäyttöjen kulmasynkronoinnissa tehdä jo olemassa olevaan hihnademo-laitteistoon kulmasynkronointi-demo, jolla voidaan lyhyellä varoitusajalla esitellä asiakkaille SEW-tekniikoiden mahdollistama kulmasynkronointi.

Työtä varten perehdyttiin Drive Engineering-tiimin opastuksella kulmasynkronointitekniikoihin ja niiden ominaisuuksiin. Tämä tapahtui jo edellä mainitulla hihnademolaitteella ja jokaisella perehdytyskerralla oli tavoitteena saada käytöt synkronoitumaan keskenään. Perehdytykset antoivat perustavan käsityksen kulmasynkronointitekniikoiden toimintaperiaatteista.

Työn tavoitteena oli saada toimiva kulmasynkronoinnin demoaminen sekä CCU-parametroitavana valmiina sovelluksena sekä MultiMotion-sovelluspohjaan tapahtuvalla ohjelmoinnilla. Tämän lisäksi lopputuloksena oli tarkoitus saada demon lisäksi myös helppolukuinen taulukko myyntiosaston käyttöön helpottamaan oikean tekniikan valintaa. Demolaitteiston tarkoitus on mahdollistaa asiakkaille MultiMotion ja CCU-tekniikoiden toimintaa ja käytön helppoutta.

## 2 SEW-EURODRIVE OY

SEW-EURODRIVE on perustettu vuonna 1931, ja yrityksen alkuperäinen nimi on Süddeutsche Elektromotorenwerke. Yrityksen tuotevalikoimaan kuuluu vaihdemoottorit, taajuusmuuttaja- ja servokäytöt, hajautetut käytöt, kokonaiset mekatroniikkajärjestelmät sekä ohjaustekniikan komponentit. Maailmanlaajuisesti konsernissa työskentelee yli 16 000 työntekijää 48:ssa eri maassa. ja liikevaihto vuonna 2015 oli 2,6 miljardia euroa. Fyysisten tuotteiden lisäksi yritys tarjoaa myös kattavat tukipalvelut tuotteilleen. (SEW-EURODRIVE 2016a.)

Vaikka yrityksellä onkin toimipisteitä liki 100, niin on tuotantolaitoksia kuitenkin vain 15, jotka ovat jakautuneet ympäri maailman mahdollistaen toimituksen kokoonpanotehtaisiin tarpeen mukaan. Kokoonpanotehtaiden tehtävänä on kokoonpanna ja mukauttaa lopulliset tuotteet asiakkaalle sopiviksi. (SEW-EURODRIVE 2016a.)

Suomessa yrityksellä on toimipisteinä pääkonttori, huolto- ja kokoonpanotehdas Hollolassa sekä aluekonttoreita Oulussa, Vaasassa, Kuopiossa, Tampereella ja Kotkassa. Tämän lisäksi Suomessa on myös teollisuusvaihdetehdas joka sijaitsee Karkkilassa. Suomessa työntekijöiden määrä on yli 200, joista työskentelee Hollolassa noin 70 ja Karkkilan teollisuusvaihte tehtaalla noin 140 henkeä. (Kauppalehti 2016.)

### 3 SÄHKÖKÄYTÖT

Sähkökäyttö käsittää sähköverkon, sähkömoottorin sekä ohjauslaitteiston. Tässä kappaleessa moottorien käsittely on rajoittunut oikosulkumoottoreihin, koska hihnademossa käytössä olleet moottorit olivat oikosulkumoottoreita.

Sähkön syötön tehtävä on antaa käytölle jännitettä. Moottorin pyörimisnopeutta ohjataan muuttamalla vaihtovirran ja jännitteen taajuutta. (ABB 2016).

Oikosulkumoottorien toiminta perustuu kahden magneettikentän voimavaikutukseen sekä staattorikäilyksessä muodostuvaan pyörivään staattorikenttään. Staattorikäilyksessä syntyy pyörivä magneettikenttä 3-vaiheisen jännitteen kytkennän tuloksena. Tämä pyörivä magneettikenttä synnyttää moottorin roottorin pyörivän virran, joka tuottaa oman magneettikenttensä. Koska roottorikenttä pyrkii seuraamaan pyörivää staattorikenttää, aiheutuu moottorin pyöriminen. (Lahtinen 2012, 20.)

Oikosulkumoottorin staattorin luoma magneettikenttä pyörii tahtinopeudella joka on esitetty kaavassa 1.

Kaava 1. Magneettikentän tahtinopeus

$$n = \frac{f \times 60}{p} \text{ r/min}$$

jossa  $f$  = syöttöjännitteen taajuus hertseinä ja  $p$  = moottorin napapariluku joka on riippuvainen staattorikäilyksen rakenteesta. (Lahtinen 2012, 25.)

Kaavasta 1 voidaan päätellä, että paras keino säätää moottorin nopeutta on taajuuden säätäminen. Tämä toteutetaan taajuusmuuttajassa, jossa verkosta saatava syöttöjännite muutetaan taajuusmuuttajan välipiirissä tasajännitteeksi. Taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajassa moottorin käämejä kytketään suurella taajuudella välipiiriin tasajännitteeseen, jolloin saadaan

moottorille vaihtojännitettä, jonka taajuus ja suuruus on säädettävissä kytkentöjen taajuudella. (Lahtinen 2012, 25.)

Moottorikäytöissä paikoitukset perustuvat moottorin takaisinkytkentään jossa vertaillaan annettua paikkaohjetta senhetkiseen paikkatietoon. Takaisinkytkentä suoritetaan joko inkrementtianturilla tai absoluuttianturilla. Erona näillä kahdella on että absoluuttianturilla saadaan jatkuvasti absoluuttinen sijainti akselinasennosta eikä se vaadi referointia, kun taas inkrementtianturi lähettää tietyn matkan kuljettuaan pulssin, jonka laskuri logiikalla joutuu ottamaan talteen (Kettunen 2013.)

Moottorin nopeuden säätöä yleisimmin ohjataan ohjelmoitavalla logiikalla, jolla annetaan nopeusohje sekä mahdollisesti myös paikkaohje. Samanlaiseen ohjaukseen perustuu myöskin kulmasynkronointi, jossa slavelaitteille tulevat ohjearvot, kuten nopeus- ja paikkatieto, johdetaan masterlaitteen tilasta.

## 4 MOOTTORIKÄYTTÖJEN KULMASYNKRONOINTI

### 4.1 Kulmasynkronointi verrattuna nopeussynkronointiin

Kulmasynkroinnin tarkoitus on saada yksi tai useampi slave-moottori käymään tahdistettuna oikein masterlaitteeseen nähden. Tämän onnistumiseksi moottorien akselien asento ja pyörimisnopeus täytyy tietää jatkuvasti. Suurimmassa osassa sovelluksia tämä suoritetaan pulssiantureilla, jotka akselin pyörähtäessä tietyn astemäärän lähettävät pulssin laskuriin. Kun sekä masterlaitteen että slavelaitteen pulssiluku tiedetään, voidaan niiden erotuksesta laskea kulmaero akselien välillä. Kulmaeron ollessa 0 ovat akselit samassa kulmassa, eli ne ovat kulmasynkronoituneita.

Toisin kuin kulmasynkroinnissa, nopeussynkronointi tapahtuu vain asettamalla nopeus molemmille akseleille, jolloin niiden välille voi syntyä tasaisessakin vauhdissa jatkuvaa pientä eroa, mutta suurin ero näissä kuitenkin syntyy akselien nopeuden muuttuessa. Esimerkkinä tukkeja kuljettavassa kolakuljettimessa kuljetinkolat eivät pysy niille suunnitellulla etäisyydellä toisistaan. Kolien ollessa väärällä etäisyydellä tukki ei siirry suunnitellusti kuljettimelta toiselle kolien välissä, vaan voi esimerkiksi jäädä puristuksiin ensimmäisen kuljettimen painaessa sitä jälkimmäisen kuljettimen kolaa vasten.

Nopeussynkroinnissa on mahdollista myös seurata vain masterlaitteen akselin pyörimisnopeutta ja slavelaitteen ohjataan samalle nopeudelle eikä slavelaitteen nopeutta tällöin tarkkailla. Toinen mahdollisuus on seurata myös slavelaitteen akselin pyörimisnopeutta ja varmistaa tästä samansuuruinen pyörimisnopeus masterlaitteen kanssa.

## 4.2 Synkroniin siirtyminen

Tässä kappaleessa käydään läpi synkronoitumiseen vaikuttavia tekijöitä, määrittely miten slavelaite synkronoituu masteriin, minkälaisen ajan kuluessa tämä tapahtuu, millä ehdoilla synkronoituminen alkaa ja onko synkronoituminen absoluuttinen vai relatiivinen.

Näillä arvoilla määritellään muunmuassa pystytäänkö käytöt synkronoimaan keskenään paikoillaan ja/tai vauhdissa ja minkälaisen siirtymämatkan ne tarvitsevat tähän. Näillä käyttäytymisillä on sovelluskohde kohtaisesti erittäin suuri merkitys laitteen toimivuuteen.

### 4.2.1 Synkronoinnin siirtymätyypit

SEW-tekniikalla slavelaite on mahdollista synkronoida masterlaitteeseen ja poistaa synkronista masterlaitteesta kolmella eri tavalla. Nämä kolme tapaa ovat suorasynkronointi, aikaperusteinen ja paikkaperusteinen.

Suorassa synkronoinnissa sekä master- että slavelaitteen tulee olla pysähtyneinä, kun synkronointi aloitetaan ja lopetetaan. Jos synkronointi aloitetaan tai lopetetaan laitteiden ollessa liikkeessä, taajuusmuuttajat joutuvat virhetilaan.

Aikaperusteisessa synkronoinnissa slavelaitteelle on määritelty aika, jossa tämän täytyy saavuttaa haluttu sijainti masterlaitteeseen nähden.

Aikaperusteisena synkronointi onnistuu sekä liikkeessä olevaan masterlaitteeseen että paikoillaan olevaan laitteeseen.

Paikkaperusteisessa synkronoinnissa seurataan masterlaitteen kulkemaa matkaa. Slavelaitteelle on asetettu tietty matka, esimerkkinä 65536 pulssia. Slavelaitteen on saavutettava masterlaite synkronoinnin alkamishetkestä masterlaitteen kuljettua 65536 pulssia vastaavassa matkassa. Koska slavelaitteen liikkeen dynaamisuus määritetty masterlaitteen pulssien vastaanottamisesta, täytyy masterlaitteen olla liikkeessä jotta synkronointi tällä siirtymätyypillä onnistuisi.

Sekä aika- että paikkaperusteinen synkronointi luo slavelaitteelle siirtymän määritellyn ajan- tai paikanmuutoksen aikana masterlaitteen kanssa samaan kulmaan. Suoralla synkronoinnilla slavelaite taas ajaa itsensä samaan kulmaan saatuaan synkronoitumiskäskyn.

#### 4.2.2 Synkronoitumismuodot

Synkronoitumismuotoja on käytössä kaksi erilaista, relatiivinen ja absoluuttinen. Relatiivisessa synkronoinnissa slavelaitteen suhde masterlaitteeseen määräytyy pisteestä, josta sen synkronointi aloitetaan. Jos se lähtee pisteestä 0 ja siirtymä on 65536 pulssia se synkronoituu kohtaan 0, kun taas jos slavelaite on synkronoinnin alkaessa pisteessä 32768 ja samalla siirtymällä se synkronoituu kohtaan 32768.

Absoluuttisessa synkronoitumisessa slavelaite ensin ajaa itsensä määriteltyyn pisteeseen, josta synkronointi alkaa, ja synkronoituu tästä pisteestä siirtymänsä päässä synkroniin masterlaitteen kanssa. Tällöin slavelaitteen synkronoituminen tapahtuu esimerkiksi kolakuljettimissa aina samassa suhteessa masterlaitteen kolaväleihin, toisin kuin relatiivisessa synkronoitumisessa

#### 4.2.3 Synkronoinnin aloitus- ja lopetustapahtuma

Synkronoinnin aloitus- ja lopetustapahtumilla tarkoitetaan tapahtumaa, josta synkronoituminen tai synkronista poistuminen alkaa. Tähän on kolme erilaista vaihtoehtoa.

Nousevalla reunalla synkronoituva (Start with rising edge) on yksinkertaisin aloitustapahtumista. Tässä vaihtoehdossa synkronoinnin tilan muutos aloitetaan heti kun synkronoinnin aloittava signaali aktivoituu.

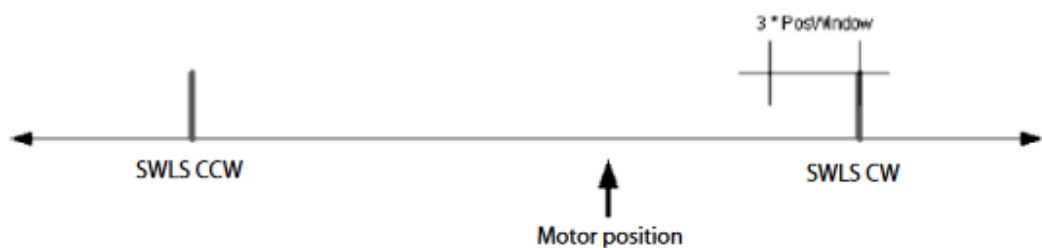
Aloita synkronointi masterlaitteen syklin alussa (Start of master cycle) vaihtoehdossa synkronointi alkaa, kun synkronoinnin aloittava signaali on aktivoitu ja masterlaitteen sijainti on 0. Kun siirtymismuodoksi on valittu absoluuttinen siirtyminen saadaan tarkka, joka kerralla täysin samaan

kohtaan masterlaitetta synkronoituva slavelaite. Aloita synkronointi masterlaitteen arvolla (Start with Master value) toimii samoin kuin Start of Master cycle, mutta tässä tapahtumassa voidaan määrittää masterlaitteen paikka, jonka saavutettuaan slavelaitteen synkronointi alkaa.

Lopetustapahtumia on kolme, jotka ovat vastaavia aloitustapahtumien kanssa, mutta käänteisiä. Synkronoinnin lopetus laskevalla reunalla (Start falling egde) on vastaavanlainen aloituksen nousevan reunan kanssa, mutta synkronointi lopetetaan kun synkronoitumista ohjaava signaali menee pois päältä. Synkronoinnin lopetus syklin lopussa synkronointi lopetetaan kun masterlaitteen sijainti saavuttaa maksiminsa, ja synkronoinnin lopetus masterlaitteen arvolla ( End with Master Value) synkronointi lopetetaan kun masterlaitteen sijainti saavuttaa ennalta määrätyn arvon ja synkronoitumista ohjaava signaali menee pois päältä.

#### 4.3 Modulo ja lineaariakseli

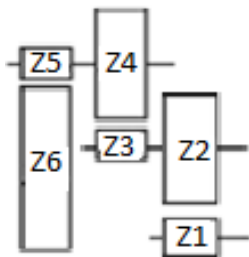
Synkronoitavat käytöt jaetaan ominaisuuksiensa perusteella lineaari- ja modulo-akseleiksi. Lineaari-akselilla tarkoitetaan edetakaista liikettä, jolla on tietyt rajat, joiden välillä se liikkuu. Tällainen sovellus voisi olla esimerkiksi siltanosturi, jossa liike rajoittuu selvästi kahden pisteen välille. SEWin tekniikalla suoritettaessa tällaisia sovelluksia on tärkeää muistaa määrittää sovellukseen ohjelmalliset raja-anturit. Ohjelmallisten rajakytkimien toiminta perustuu ajon estämiseen, kun akseli on saavuttanut tai ohittanut tämän pisteen. Virhe tilanteissa ajonesto pystytään myös ohittamaan mutta se vaatii koneenkäyttäjältä tietoista valintaa, joka ei onnistu vahingossa. (SEW EURODRIVE 2016c, 24 )



KUVIO 1. Ohjelman rajakytkinten periaatekuva. (SEW Eurodrive 2010c, 24)

Kuviossa 1 on esitetty ohjelmallisten rajakytkimien periaatteellinen toiminta. Moottorin pyöriessä myötäpäivään sen paikka kuvassa siirtyisi oikealle päin ja vastapäivään pyöriessä vasemmalle päin. Moottorikäynti kyseiseen suuntaan estetään kun paikka saavuttaa ohjelmallisen rajakytkimen paikan. Referoitaessa akselia sen paikka voi ohittaa rajakytkinpaikan, jolloin akselia ei pystytä käyttämään kumpaankaan suuntaan.

Modulo-akselilla tarkoitetaan loputonta liikealuetta, jossa sama sijainnin arvo esiintyy useammassa kuin yhdessä paikassa. Tärkeä muistettava asia konfiguroitaessa käyttöä on, että vaihteen välityssuhde on syötettävä konfigurointiin tarkkana arvona, vaikka se olisi päättymätön desimaaliluku. Tällöin se on siis syötettävä murtolukuna. Jos tässä käytetään pyöristettyä arvoa tulee käytön pidentyessä kasvava virhe todelliseen sijaintiin suhteessa ohjelmassa laskettuun sijaintiin. (SEW EURODRIVE 2016c, 24.)



KUVIO 2. Esimerkkivaihte tarkkan välityssuhteen määrittelyyn

Jos vaihteen tarkka välityssuhde ei ole tiedossa, se saadaan laskettua vaihteen hammaspyörien hammaslukujen avulla. Käytetään kuvion 2 kolmiportaista vaihdetta esimerkkinä. Kuvassa hammaspyörä 1 on moottoriin kytketty pyörä. Hammaspyörillä välityssuhde saadaan jakamalla toisiopyörän hammasluku ensiöpyörän hammasluvulla. (Yrjölä 2009, 19.)

Moniportaisessa vaihteistossa kokonaisvälityssuhde saadaan kertomalla portaiden välityssuhteet keskenään. Kuvion 2 mukaisessa tilanteessa välityssuhde saataisiin kaavasta 2:

$$i = \frac{Z_2 \times Z_4 \times Z_6}{Z_1 \times Z_3 \times Z_5}$$

jossa  $i$  vaihteen kokonaisvälityssuhde ja  $Z_1$  on hammaspyörän 1 hammasluku,  $Z_2$  hammaspyörän 2 hammasluku ja niin edelleen.



sähkömagneettisten häiriöiden vaimennuksen tasosta. Luvulla 3 kerrotaan kytkentätyypin olevan kolmivaiheinen. Viimeinen merkkiyhdistelmä kertoo, minkä tyyppinen taajuusmuuttaja on kyseessä, 00 on standardi-versio 0T on Application-versio, XX on erikoisyksikkö ja XX/L on plynkloorattu bifenyylisuojaus, joita piirilevyissä on käytetty eristeaineina.

Movidrive-taajuusmuuttajat jakautuvat sekä Standard- että Application-versioon. Standard-versio on nimensä mukaisesti yksinkertaisempi versio näistä kahdesta. Se sisältää integroidun IPOS-paikoitus- ja sekvenssi-ohjausjärjestelmän, mutta Standard-versio ei Application version tavoin tue MotionStudio-ohjelmalla parametroitavia valmiita sovelluksia. (SEW EURODRIVE 2016b)

Application-versioissa tärkeänä erona Standard-versioon on myös sovellusmoduulien käytön mahdollisuus. Sovellusmoduulit ovat standardoituja ohjausohjelmia, jotka keskittyvät paikoitukseen ja muihin yksinkertaisiin sovelluksiin. Application-version käytettävyys on huomattavasti parempi kuin Standard-versioiden. Tämä johtuu suurelta osin laitteen parametroidin helpoudesta, jonka MotionStudio opastaa. Standard-versiolla käyttäjä joutuu tutustumaan taajuusmuuttajien ohjelmointiin, joka on aikaa vievää ja monimutkaista.

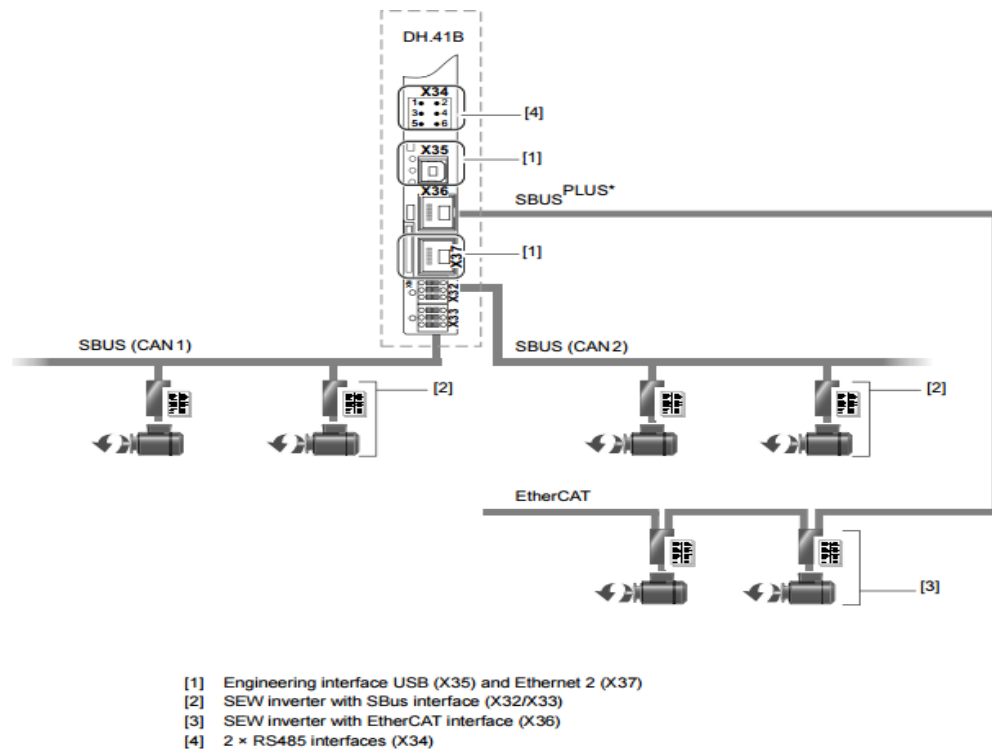
## 5.2 MOVI-PLC

MOVI-PLC:stä puhuttaessa tarkoitetaan vapaasti ohjelmitavaa liike- ja logiikkaohjainta, joka pystyy ohjaamaan kaikkia SEWin taajuusmuuttajia. Movi-PLC:tä voidaan käyttää joko vapaasti ohjelmitavana liikeohjaimena tai helposti konfiguroitavana valmiita sovelluksia käyttävänä CCU:na.

Olemassa on standardimalli DH.21B ja kehittyneempi DH.41B. DH.21B-malleja käytetään yksinkertaisissa ja keskivaikeissa sovelluksissa, jotka eivät vaadi erityisen suurta laskentatehoa, kun taas DH.41B:llä pystytään toteuttamaan haastaviakin automaattiosoluja. Kehittyneemmässä DH.41B-ohjaimessa on suuri määrä erilaisia interfaceja sekä korkeampi suoritustaso, jolla voidaan suorittaa monimutkaisia laskuja sekä liikkeiden

interpolointia. MOVI-PLC:tä voidaan käyttää konfiguroitavana sovellusohjaimena (CCU:na) käyttämällä OMC41B SD-muistikortteja. Tällöin ainoastaan SEWin tekemät sovellukset pystytään toteuttamaan. Tämän etuna on, että sovellustoiminnot avautuvat graafiseen konfigurointiin. (SEW EURODRIVE 2010a, 10-12.)

Sekä kaikki DH.21B- että DH.41B-mallit sisältävät useita vaihtoehtoisia tiedonsiirtoliitäntöjä. Kaikki mallit sisältävät kaksi CAN-väyläliitäntää, SBUS 1 ja SBUS 2, joita käytetään Movi-PLC:n ja Movidriiven välisen keskustelun ja yhdistämään hajautetut I/O-moduulit. Jos taajuusmuuttajissa ja I/O-yksiköissä on EtherCat-liitäntä, ne voidaan liittää SBUS Plus -väylään. (SEW EURODRIVE 2010a, 12. ) Erilaiset tiedonsiirtovaihtoehdot havainnollistettu kuviossa 4.



KUVIO 4. DH.41B Movi-PLC:n tiedonsiirtoliitännät (SEW EURODRIVE 2010a, 13)

Konfiguroitavat jakautuvat sovellusohjaimet erillisiin teknologiatasoihin, joista T0 on yksinkertaisin ja sisältää vain nopeusohjatun ajon sekä paikoitusajon. T1 sisältää sähköisen vaihteen ja sähköisen akselin. T2-luokasta ylöspäin jokaisella luokalla on tietty määrä teknologiapisteitä, ja

tietyllä määrällä pisteitä saadaan tietty ominaisuus avattua. Esimerkkinä ominaisuuksista on coming direct ja coming expert, ensin mainittu on kulmasynkronointi molempien akselien ollessa paikallaan ja jälkimmäisenä mainittu akselien ollessa liikkeessä. (SEW EURODRIVE 2010a 30.)

## 6 SYNKRONOINTI MENETELMÄT

### 6.1 Synkronointi tahdistuskortilla'

SEW-tekniikalla kulmasynkronointi on mahdollista toteuttaa kuudella eri tavalla. Kaikissa tapauksissa ja sovelluksissa ei ole mahdollista käyttää mitä tahansa menetelmää vaan kaikilla on oma soveltuvuus alueensa ja omat rajoituksensa johtuen käytössä olevasta kalustosta.

DRS11B-kortilla synkronoinnin suoritus on ainoa SEWin käyttämä niin kutsuttu hardware-synkronointitapa. Tällä tarkoitetaan sitä että synkronointi tapahtuu lisäkortilla, joka liitetään Movidrive MDX61B-taajuusmuuttajaan. Kyseessä on siis slavelaitteen taajuusmuuttajan lisäkortti joka yksinkertaistetusti toimii seuraavasti. Sekä masterkäytön että slavekäytön pulssiantureilta tuodaan kortille pulsseja, joita kortin laskuri laskee jatkuvasti. Nämä laskurien tulokset kerrotaan käyttöjen vaihdekertoimilla. Master- ja slavelaitteen matkatietojen ero tallennetaan kortin sisäiseen differentiaalilaskuriin inkrementtianturisignaalien muodossa. Digitaalisilla viesteillä kerrotaan tämän eron suuruus. Master- ja slavelaitteen kulmaeron minimoimiseksi ohjauslaite laskee nopeudeksi korjaus arvon. Todellinen slavelaitteen korjausarvo saadaan kertomalla nykyinen kulmaero vahvistusparametrillä P220. P220 vahvistusparametrin asettaminen oikean suuruiseksi on erityisen tärkeää, koska sillä on erittäin suuri merkitys käyttöjen synkronoitumisen ohjaamisessa. Jos arvo on liian suuri, slavelaite tulee värähtelemään epätoivotulla tavalla kulmaeron molemmin puolin, kun taas parametrin ollessa liian pieni slavelaite ei saa kurottua masterlaitteen vaihe-eroa kiinni siirtymävaiheissa (SEW EURODRIVE 2007, 6.)

Tahdistuskortin käyttö synkronoinnissa on teknisesti helpoin suorittaa, sekä se ei vaadi koodin tekoa, jonka osa kuluissa on merkittävä. Kuitenkin lisäkortin käyttö on myös rajoittunein synkronointimenetelmä. (Hiltunen 2016).



Niin kutsuttuja vapaa-ajo moodeja joissa kuljettimet eivät kulje synkronoituina, ovat jog-mode, referencing-mode, paikoitus- ja nopeusajo. Jog-ajotilassa käytöstä taajuusmuuntajalle tuodaan tieto, pyöritetäänkö akselia myötä- vai vastapäivään kahden ohjausbitin avulla. Nopeus ja kiihtyvyyssrampitietoja voidaan muuttaa kenttäväylän kautta. Referencing-ajossa ajetaan laitteen nollapisteeseen, joka voi olla esimerkiksi raja-anturi. Laitteen ajaessa tähän pisteeseen se tietää olevansa nollapisteessään, jolloin sillä on absoluuttinen paikkatieto, jota tarvitaan paikoitukseen positioning-moodissa. Positioning-ajossa ohjauslaite osoittaa paikoituskohteen kahdella datasanalla, johon laite pyrkii. Nykyisestä sijainnista lähetetään myös tieto kahdella datasanalla takaisin ohjauslaitteelle. Paikoituksen aikana on mahdollista vaihtaa paikoituskohdetta ohjelman syklisen rakenteen ansiosta. (SEW EURODRIVE 2010b, 16).

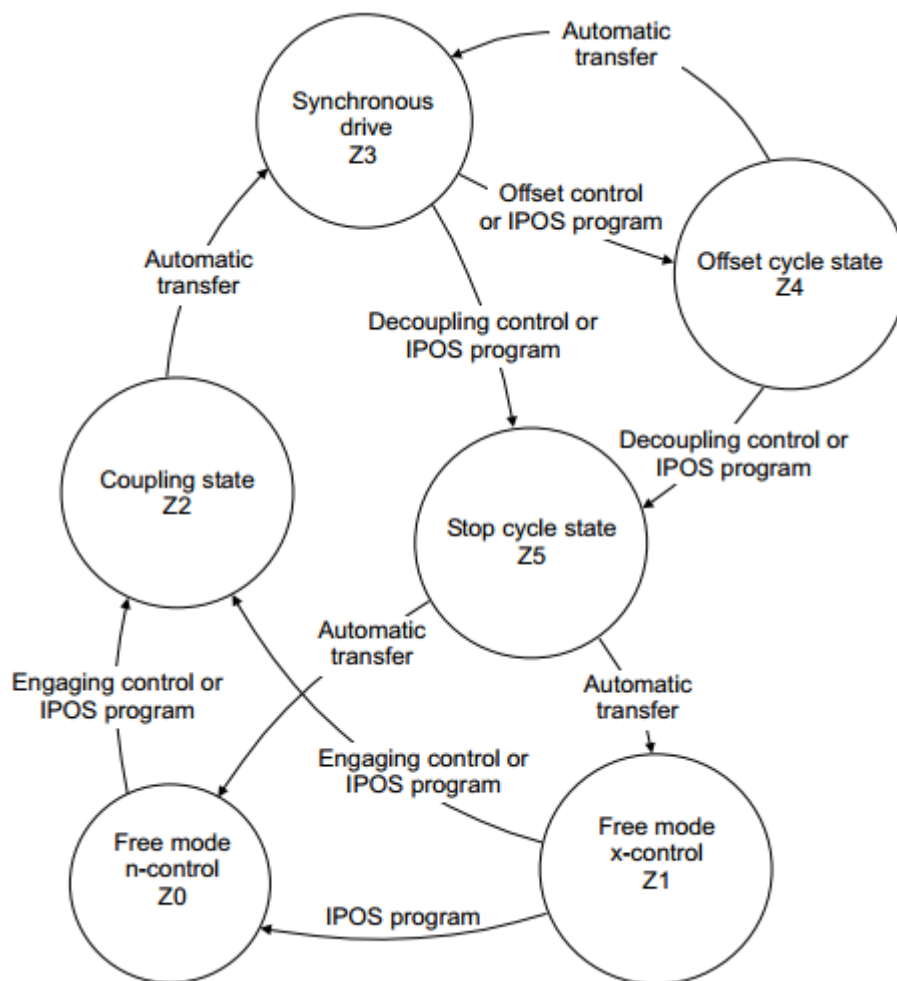
Vapaiden ajomoodien lisäksi on Synchronous Operation –moodi, jossa synkronointi tapahtuu. Tämä perustuu liikeohjausteknologia-funktioon ”Internal Synchronous operation” eli ISYNCiin. Kun synkronointioperaatio on valittu, synkronointi alkaa tapahtumasta, josta se on määritetty alkavan konfiguroinnin yhteydessä. Kun slavelaite on synkronoitunut, se on samassa kulmassa masterlaitteen kanssa, niin se liikkuu synkronoituneena masterlaitteeseen nähden. Synkronoinnista poistutaan, kun synkronoinnim aloittava bitti nollautuu tai kun synkronoitumismoodin valinta poistetaan. (SEW EURODRIVE 2010b, 16).

### 6.3 Internal Synchronous Operation

Internal Synchronous Operation -ohjelma, eli ISYNC, on DriveSyncin tapaan Movidrive-taajuusmuuttajan IPOS-yksikössä tapahtuva synkronointi, jossa ulkoisen synkronointioperaation sovellusohjelma koodataan IPOS compiler-ohjelmalla. Koska ratkaisu on ohjelma-pohjainen, se ei vaadi minkäänlaista lisäkorttia. Ulkoisella synkronoinnilla moottoreita voidaan käyttää samassa kulmassa tai säädettävällä

säädettävällä suhteella, jolloin se toimii sähköisenä vaihteena (SEW EURODRIVE 2011, 6, 16).

ISYNClin suuria etuja on sijaintiriippuvainen offset toiminto jolla slavelaitteen sijaintia suhteessa masterlaitteeseen voidaan siirtää synkronoinnin aikana niin sanotulla offset-toiminnolla. Toiminnolla voidaan esimerkiksi kolakuljettimessa siirtää slavekäytön akselin synkronoitumisasentoa. Tällöin kuljettimen kola siirtyy halutun matkan eteenpäin alkuperäisestä synkronoitumisasennosta. (SEW EURODRIVE 2011, 6, 16).



KUVIO 6. Käyttötilojen siirtymisen yleiskatsaus (SEW-EURODRIVE 2011, 8)

Pääkäyttötiloja ISYNClissä on 6, kuten kuviossa 6 nähdään. Z0 on vapaa-ajo nopeusohjauksella, jossa slavekäyttöä ajetaan sille annetulla

nopeudella. Kun IPOS-ohjelmaan syötetyt ehdot täyttyvät tila siirtyy kuvion 2 mukaisesti tilaan Z2 eli lähestymistilaan. Tässä tilassa slavekäyttö pienentää kulmaeron joko aika- tai paikkaperusteisella synkronoitumisella. Tilaa Z2 seuraa automaattisesti tila Z3, slavelaitteen ajaminen synkronoituna masterlaitteeseen, jolloin käyttöjen välillä ei ole kulmaeroa. Vaiheesta Z3 on ohjelmalla on kaksi eri mahdollisuutta jatkaa kulkua. Ensimmäinen vaihtoehto on offsetin asetus vaiheessa Z4, jossa slavelaitteen synkronoitumiskulmaa siirretään halutun matkan verran.

Vaiheesta Z4 voidaan joko palata synkronoituna ajamiseen tai siirtyä vaiheeseen Z5, johon päästään myös vaiheesta Z3. Vaiheessa Z5 slavekäyttö poistuu synkronointitilasta joko paikka- tai nopeusohjattuun ajoin, Z1 tai Z0. Sijainti-tilassa slavelaite pitää sijaintinsa vakiona. (SEW-EURODRIVE 2011, 8)

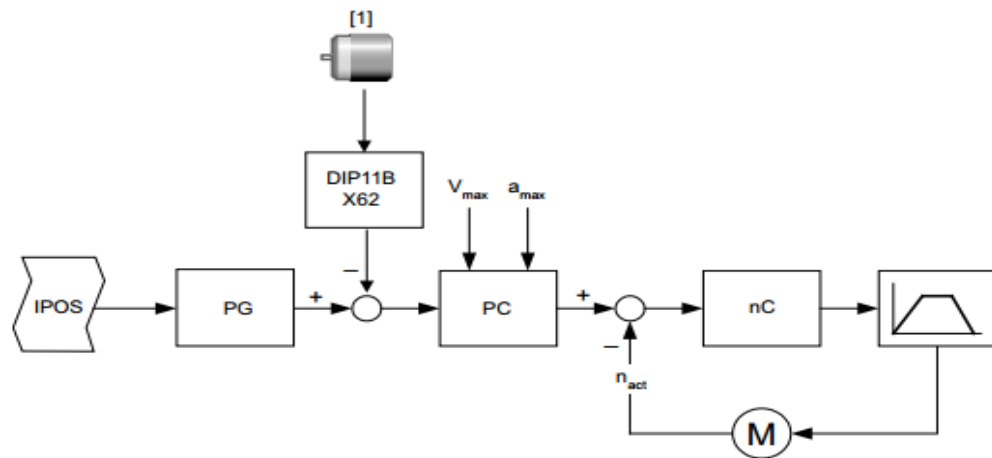
#### 6.4 CCU SyncCrane application module

CCU SyncCrane application module, eli SyncCrane on ensimmäinen käsitellyistä sovelluksista, joka tarvitsee ohjauslaitteen, MOVI-PLC:n, johon varsinainen synkronointisovellus ladataan. Käytännössä synkronointisovelluksen ”äly” sijaitsee siis CCU:lla joka käskyttää Movidrive taajuusmuuttajia ohjelmansa mukaisesti kenttäväylän kautta. (SEW-EURODRIVE 2014, 18)

Suurimpia etuja SyncCranen käytössä on tarve vain yhdelle CCU ohjauslaitteelle kaikille akseleille, sovelluksen helppokäyttöisyys ja mahdollisuus käyttää niin kutsuttua virtuaalista akselia masterlaitteena. Helppokäyttöisyys tulee esiin käyttöönotossa, jossa suoritetaan yksinkertainen ja ohjattu aloitus perusratkaisuihin, jotka perustuvat epäsuoraan paikoitukseen ja synkronointiin. Tämän lisäksi ohjelmassa on erittäin kattava diagnostiikka, jolla ohjelman toiminnan hahmottaminen helpottuu. (SEW-EURODRIVE 2014, 10)

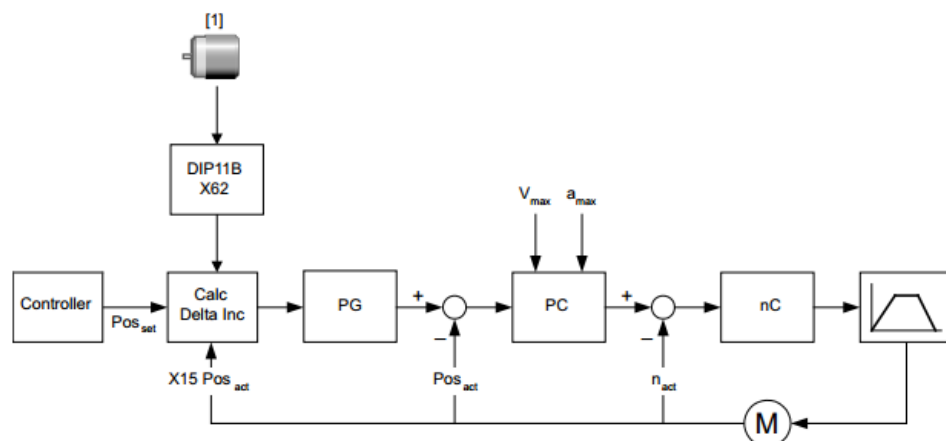
Sekä jog- että paikoitusajossa paikkatieto ei välttämättä perustu pelkästään moottorin sisäiseen pulssianturiin, vaan on mahdollista käyttää

myös epäsuoraa paikoitustietoa moottorin ulkoisella, eli vaihteen jälkeisellä absoluuttipulssianturilla. (SEW-EURODRIVE 2014, 10-15)



KUVIO 7. Suora paikoitus paikkatiedon korjauksella (SEW-EURODRIVE 2014, 14)

Kun paikoitus suoritetaan kuvion 7 mukaisesti erilaisten häiriötekijöiden kuten luiskahdus moottorinsisäisen pulssianturin ja absoluutti pulssianturin [1] välissä johtaa nopeuden suuruuden vaihteluun. Tällöin hetkellinen optimaalinen nopeus ja todellinen nopeus vaihtelevat, mikä aiheuttaa käyttöön nykivää liikettä, joka ei ole toivottua. (SEW-EURODRIVE 2014, 10,15)



KUVIO 8. Epäsuora paikoituksen ohjaus. (SEW-EURODRIVE 2014, 15)

Kun paikoitus toteutetaan epäsuoralla ohjauksella absoluuttisesti anturin signaalia käytetään korjaamaan paikkatietoa ja näin ollen pitää myös käytön liikenopeuden lähempänä optimia ilman nykimistä. (SEW-EURODRIVE 2014, 15-16)

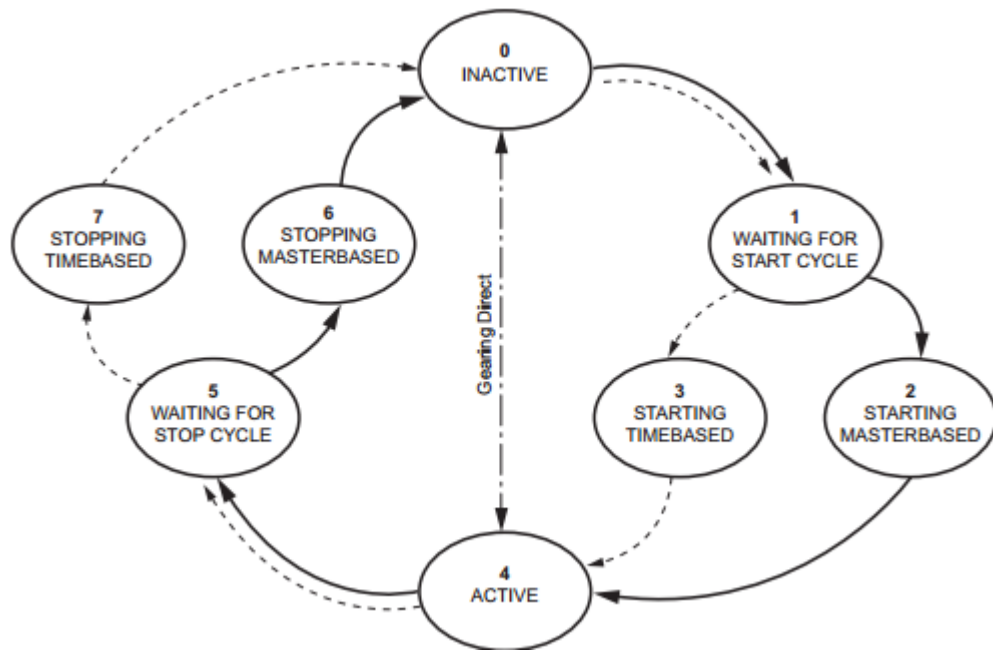
Myös SyncCranessa on aiemmista sovelluksista tutut jog- ja paikoitusajo. Näiden lisäksi on se sisältää referencing-, automaatti- ja hätätila-ajon. Referencing-ajossa laite ajaa itsensä pisteeseen ehdoilla, jotka on laitteiston konfiguroinnissa määritelty pisteeseen, joka on myös määritelty. Piste voisi esimerkkinä käytetyssä kolakuljettimessa olla piste jossa, kolakuljettimesta tunnistettava osa poistuu induktiivisen anturin tunnistusetaisyydeltä. Automaattiajo perustuu ISYNC-funktioon jossa ohjaus tapahtuu taajuusmuuttajalla. Hätätila-ajossa moottoreita käytetään joko myötäpäivään tai vastapäivään kahden bitin ohjauksella. Tämä hätätila-ajon ominaisuus tekee siitä erittäin hyvin soveltuvan nosturilaitteissa, joissa hätätilanteessa on mahdollista, että nosturin alle on jäänyt jotain sinne kuulumatonta ja nosturi täytyy saada ylös sen poistamiseksi.

## 6.5 CCU Universal Application Module

Universal Application Module 10PB laajentaa ohjelman CCU Universal Module Standardin toimintoja lisäämällä siihen kulmasynkronointi sovelluksen "Gearing". Sovelluksella pystytään synkronoimaan kahdeksaan erilliseen käyttöön asti master- ja slavelaitteiden yhdistelmillä. Synkronoinnit pystyy aloittamaan sekä laitteiden ollessa pysähdyksissä, kiihdyttäen slavelaite asetetun ajan sisällä tai vaihtoehtoisesti asetetun masterlaitteen kulun mukana tietyn matkan kuluessa.

Synkronointisovellusta pystyy muuttamaan muunmuassa slavelaitteen paikoituksella absoluuttisesti masterlaitteen sijaintiin nähden sekä offset-toiminnolla siirtämällä synkronointipistettä. Käytännössä käyttöjen ohjausta suoritetaan nimenmukaisesti kymmenellä datasanalla. (SEW-EURODRIVE 2015, 12, 44)

Edellisten synkronointiohjelmien tavalla myös Universal Application Modulesta löytyy referencing-, paikoitus- ja hätätila-ajo. Tämän lisäksi Universal Application Module sisältää synkronoinnin kannalta tärkeemmän Gearing-ajon. Kyseisessä ajossa on kaksi erillistä aliohjelmaa, joista tulee valita käyttöön, kumpi soveltuu paremmin kyseiseen laitteeseen. Ensimmäinen näistä tavoista on suorasykroni, jossa slavelaite synkronoidaan suoraan masterlaitteeseen. Tässä tilassa rajoituksena on että ohjelman aloittaessa ja lopettaessa synkronointi kumpikaan laitteista ei saa olla liikkeessä, koska niin sanottua siirtymisohjelmaa suoralla synkronisoinnilla ei ole. Toinen aliohjelma on nimeltään Gearing Expert, jossa siirtymäohjelma on olemassa ja se on käyttöönotossa mahdollista konfiguroida halutunlaiseksi. (SEW-EURODRIVE 2015, 13).



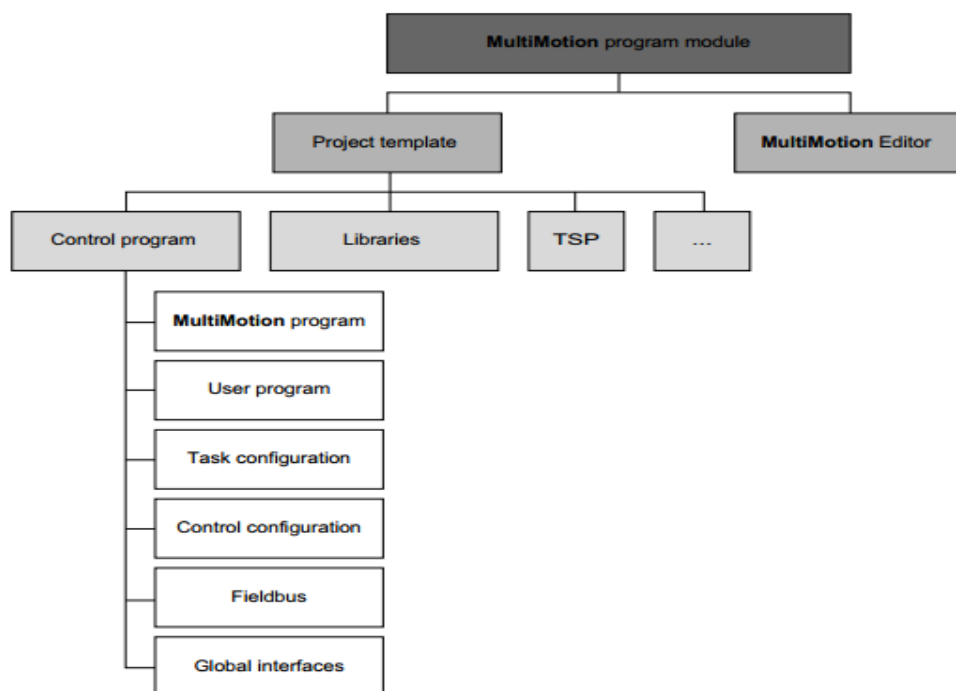
KUVIO 9. Gearing synkronoinnin tilan määrittely (SEW-EURODRIVE 2015, 25).

Kuten kuviosta 9 nähdään hyvin synkronoinnintoiminnan periaatteet, suorasykronointi aktivoituu heti, jolloin kumpikaan käyttö ei saa olla liikkeessä, jotta siirtymää ei tarvita. Myös synkronoinnin poiskytkeminen tapahtuu suoraan, jolloin tiloja on vain päällä ja pois päältä. Gearing Expert-ajossa taas ohjelma luo pohjan siirtymäfunktiolle, jolla liikkuvatkin

laitteet saadaan synkroniin keskenään ajan tai masterlaitteen sijainnin perusteella.

## 6.6 MultiMotion

Multimotionin toimintaidea on olla parametroitava sovellusohjelma-alusta MOVI-PLC -liikeohjaimelle, joka sisältää teknologiafunktioita esimerkiksi kulmasynkronoinnin ja interpoloinnin. MultiMotion on myös täysin itsenäinen taajuusmuuttajien elektroniikasta. Virtuaalisia akseleita ja oikeita akseleita käsitellään samoin tavoin, mikä mahdollistaa sovelluksen toimivuuden testaamisen ilman oikeita fyysisiä käyttöjä. CCU Universal Application Modulen tavoin MultiMotionin käyttö vaatii MOVI-PLC:ltä T2-teknologiatason. (SEW EURODRIVE 2016c, 6).



KUVIO 10. MultiMotion-alustan rakenne (SEW Eurodrive 2010c, 11)

Kuten kuvasta 10 nähdään MultiMotion-ohjelman perustana on projektipohja ohjausohjelmalle. MultiMotion Editor sisältää sovelluksen konfiguroinnin ja diagnostiikka-sovellukset. MultiMotion ohjelma sisältää liikkeen ohjausfunktiot ja standardoidut käyttöliittymät, jotka voidaan yhdistää käyttäjän ohjelmiin. Konfiguroinnissa käyttäjä voi asettaa yleisiä

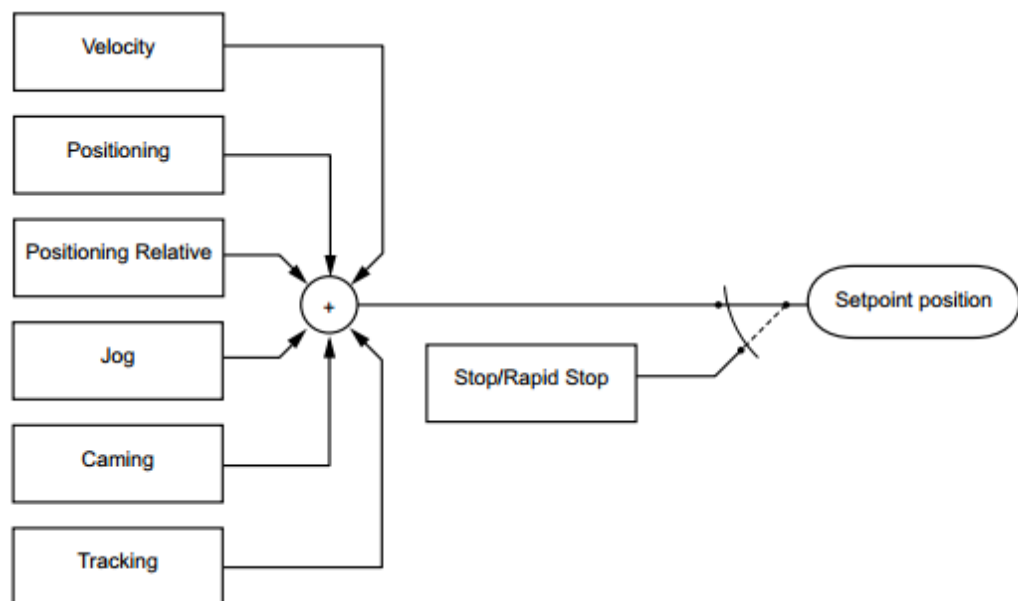
parametrejä kuten käyttäjän omia mittayksiköitä, raja-arvoja ja teknologia funktioita kuten synkronoinnit ja interpolointi. Sovellus on lähes riippumaton taajuusmuuttajan elektroniikasta, joten kaikki käytöt esitetään samalla tavalla riippumatta onko käytössä MOVIDRIVE, MOVIAXIS tai MOVITRAC. (EURODRIVE 2016c, 12)

Varsinainen sovellusohjelma luodaan PLC-ohjelmoinnilla halutulla ohjelmakielellä. Tämä mahdollistaa erittäin laaja-alaisen käytön erilaisissa sovelluksissa, koska MOVI-PLC:lle, johon kerätään kaikki käyttöjen tiedot ja mahdollisesti vielä niiden lisäksi ulkoisten pulssianturien tietoa ja mahdollisesti vielä muutakin prosessiin liittyvää tietoa, on suoraan ohjelman käytössä halutulla tavalla. Myöskin mitä tahansa konfiguroinnissa annettua tietoa voidaan helposti lukea ja kirjoittaa PLC - ohjelmalla haluttuun arvoon. Nämä tiedot kulkevat erillisen AxisInterfacen, eli akselien käyttöliittymän kautta. Jo tehtyjä konfigurointivalintoja voidaan muuttaa ohjelmallisesti tarpeen mukaan. Esimerkiksi synkronointitapaa ja synkronoinnin aloittavaa tapahtumaa voidaan muuttaa tarvittaessa PLC-ohjelmalla käyttöliittymien kautta. Tämä on erittäin kätevää, jos sovelluksessa slavelaitteelle tarvitaan mahdollisesti useampi kuin yksi tapa synkronoitua masterlaitteen kulmaan.

MultiMotion on sopiva sovellusalusta lähes kaikille eri käyttötarkoituksille. Käyttöjen ohjaukset kattavat yksinkertaisista nopeus- ja paikoitusohjauksista aina vaativampiin teknologia toimintoihin. Eri toimintoja on enemmän kuin edellisissä synkronointitavoissa, mutta jo aiemmin mainituista on nopeus- ja paikkaohjattu-ajo, joga sekä synkronointiin tarkoitettut Caming ja tracking. Paikkaohjattuun-ajoon on lisäksi tullut absoluuttisen paikoituksen lisäksi myös relatiivinen paikoitus, eli paikoitus, jossa paikoitusetäisyys ei lähde nollapisteestä, vaan laitteen lähtöpisteestä. Tracking-synkronointia käytetään pakoillaan olevaan master-käyttöön synkronointiin ja Camingillä pystytään suorittamaan myös liikkuvien akseleiden synkronointi. (EURODRIVE 2016c, 13)

Kaikkia ajotapoja voidaan käyttää samanaikaisesti lukuunottamatta referencing-ajoa. Jos ajo-moodeja on samanaikaisesti päällä niin

esimerkiksi synkronoituna käytettäessä relatiivista paikoitusta voidaan helposti luoda offset toiminto synkronoidulle akselille halutun paikoitusetäisyyden päähän synkronoidusta asemasta. Kuten kuvasta 6 nähdään käytettäessä ohjaustapoja päällekkäin niiden käytölle antamat käyttötiedot lasketaan yhteen, jolloin edellämainittu offset-toiminto onnistuu. Myös eri ohjaustapojen nopeusohjeet, kiihtyvyydet ja kaikki muutkin parametrit lasketaan vastaavasti yhteen. (SEW-EURODRIVE 2016c, 24 ). Kuviossa 11 on havainnollistettu ajotilojen parametrien summaantumisen periaate.



KUVIO 11. Ajotilojen samanaikaisen käytön parametrien lohkokkaavio. (SEW Eurodrive 2016c, 24).

## 7 HIHNADEMON TOTEUTUS

Demolaitteen toteutuksessa tavoitteena oli saada SEWin käyttöön laitteisto, jolla on mahdollista demota asiakkaille eri kulmasynkronointimahdollisuuksia. Laitteiston synkronointi toteutettiin, siten että lähtökohta oli suorittaa sahateollisuuden kolakuljettimien synkronointi, jossa masterkäytön ollessa paikoillaan slavekäytöt saadaan absoluuttisesti samaan vaiheeseen. Synkronointimahdollisuuksista demottavaksi valikoituivat CCU ja MultiMotion, jotka ovat SEWin uusimmat käytössä olevat tekniikat tällä hetkellä.

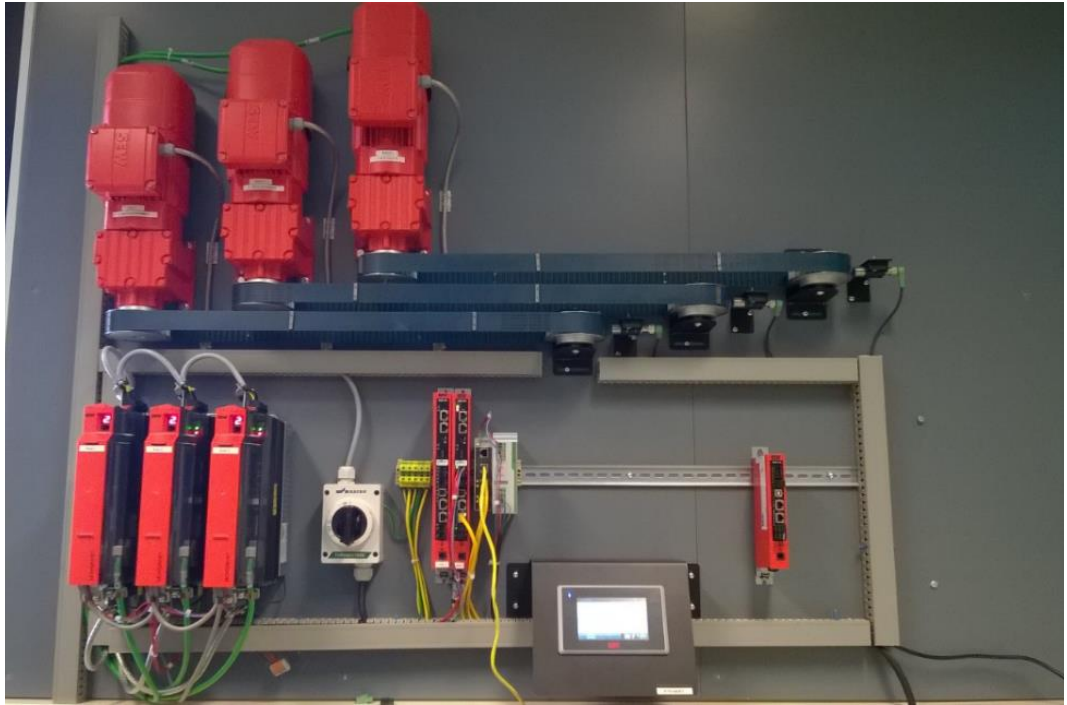
Huomioitavaa demontoteutuksessa oli sahateollisuuden kolakuljettimien todellinen toiminta. Synkronointi yleisesti suoritetaan kolakuljettimissa masterlaitteen ollessa paikoillaan. Tällöin slavelaite ajetaan oikeaan sijaintiin ja sijainnin saavutettuaan se lukitaan kulkemaan masterkäytön kanssa samassa kulmassa.

Sahateollisuuden kolakuljettimen demoamisen lisäksi MultiMotion-sovelluksen vapaan ohjelmitavuuden esittämiseksi MultiMotionilla toteutettiin liikkuvaan masterlaitteeseen absoluuttinen synkronoituminen. Tämän toteutukseen tarvitsi pystyä ohjelmallisesti muuttamaan konfiguroinnissa annettuja arvoja. Esimerkiksi CCU:lla tämä ei ole mahdollista, joka rajoittaa sen käyttösovelluksia haastavammissa laitteissa.

Synkronoitaessa synkronoituva slavekäyttö ei myöskään saa kulkea linjaston materiaalivirran suunnan vastaisesti. Tämä mahdollisesti aiheuttaisi vikatilanteen koneessa, jos kuljettimilla on sahatavaraa ja ne joutuisivat paikallaan olevan masterlaitteen ja synkronoituvat slavelaitteen kolien väliin puristuksiin.

## 7.1 Demon laitteisto

Kuljettimia laitteistossa oli kolme kappaletta, joissa jokaisessa ohjattu vaihdemoottori oli DRS71M. Jokaisessa kuljettimessa käytetty vaihde oli eri välityssuhteella. Kuvasta 1 nähdään hihnademon laitekoonpano ja järjestelmän rakenteesta.



KUVA 1 Hihnademon laitteistokoonpano.

Jokaisen moottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia säädetään Movidrive MDX61-taajuusmuuttajilla, jotka ovat kuvassa 1 vasemmalla alareunassa. Taajuusmuuttajien pyörimisnopeuden ja momentin säätämistä käskyttää toinen Movi-PLC:eistä, jotka ovat kuvassa keskellä. Movi-PLC:eitä on kaksi, jotta käyttöjen demoaminen sujuisi nopeammin. Toiseen Movi-PLC:eseen on ladattu CCU Universal Application ja toiseen MultiMotion-pohjainen sovellus. Kaksi Movi-PLC:tä nopeuttaa esittelyä asiakkaille. Jos demolaitteistossa olisi vain yksi PLC, täytyisi ensimmäisen esittelyn jälkeen ladata toinen sovellus PLC:lle. Kahdella on mahdollista siirtää vain liitännät ja virransyöttö PLC:stä toiseen, kun taas ohjelma voi olla jo valmiiksi ladattuna molempiin laitteisiin.

Moottorit pyörittävät hammashihnakuljettimia, joissa kolavälit on merkitty metallisilla liuskoilla. Nämä liuskat nähdään myös kuvasta 12.

Teollisuudessa hihnat olisi korvattu esimerkiksi kolaketjuilla, mutta demokäytössä kätevämpi vaihtoehto on käyttää hihnoja.

Synkronointisovelluksen toteutuksessa tästä ei synny muuta eroa kuin välityssuhteen konfiguroinnin muutos, sovelluksen konfigurointi käydään läpi tarkemmin CCU ja MultiMotion-sovelluksien erillisissä kappaleissa.

Käyttäjä ohjaa hihnojen ajoa SEW:in DOP-paneelilla, johon on tehty sovellusta vastaava ohjelma. Paneeli on ainoastaan käytössä MultiMotion-sovelluksessa, koska CCU ei suoraan tue paneelia eikä CCU:ta käytettäessä ohjaimella ole käyttäjän kannalta muuta tietoa kuin sovelluksen konfigurointi. Käytännössä tämä tarkoittaa että CCU:ta käytettäessä ohjaavaksi laitteeksi tarvitaan PLC johon ohjelmoidaan normaalilla tavalla ohjausohjelma joka antaa käskyjä CCU:lle.

Moottori, jolla vaihdetta pyöritetään, on kaikissa käytöissä DRS71M 1,1kW takaisinkytketty oikosulkumoottori. Jokainen moottori sisältää sisäisen pulssianturin, josta moottorin akselin asentoa tarkkaillaan. Pulssianturi mahdollistetaan nopeusvalvonnan, kunhan käytön kokonaisvälityssuhde on tiedossa. Kokonaisvälityssuhteeseen vaikuttaa vaihteen välityssuhteen lisäksi myös hammashihnapyörän hampaiden lukumäärä ja pyörän hammasväli. Hihnapyörä joka pyörittää hihnaa on jokaisessa käytössä samanlainen, 32 hampainen ja hammasväliltä 10mm. Taulukkoon 1 on kerätty käyttöjen laitteiden ominaisuudet.

TAULUKKO 1. Hihnakujuettimien teknisiä tietoja

|                              | Axis1 Master     | Axis2 Slave      | Axis3 Slave      |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Taajuusmuuttaja              | MoviDrive MDX61B | MoviDrive MDX61B | MoviDrive MDX61B |
| Moottorin malli              | DRS71S4          | DRS71S4          | DRS71S4          |
| Moottorin jännite            | 400V             | 400V             | 400V             |
| Moottorin taajuus            | 50Hz             | 50Hz             | 50Hz             |
| Moottorin pulssianturi       | AS7W             | AS7W             | AS7W             |
| Vaihteen välityssuhde        | 173999/4807      | 17755/627        | 335/17           |
| Hihnahammaspyörän hammasluku | 32kpl            | 32kpl            | 32kpl            |
| Hihnahammaspyörän jako       | 10mm             | 10mm             | 10mm             |
| Kuljettimien kolavälit       | 300mm            | 300mm            | 300mm            |

## 7.2 CCU Universal Application Module

CCU:lla synkronointisovellus päätettiin tasolle, jossa kaikkien laitteiden konfigurointi on ladattu CCU:lle ja käyttöä ajetaan MotionStudio CCU application configuraattorin omalla diagnostiikkatyökalulla. Tällä diagnostiikkatyökalulla voidaan simuloida ohjaavaa logiikkaa, joka kenttäväylän kautta ohjaa CCU:ta

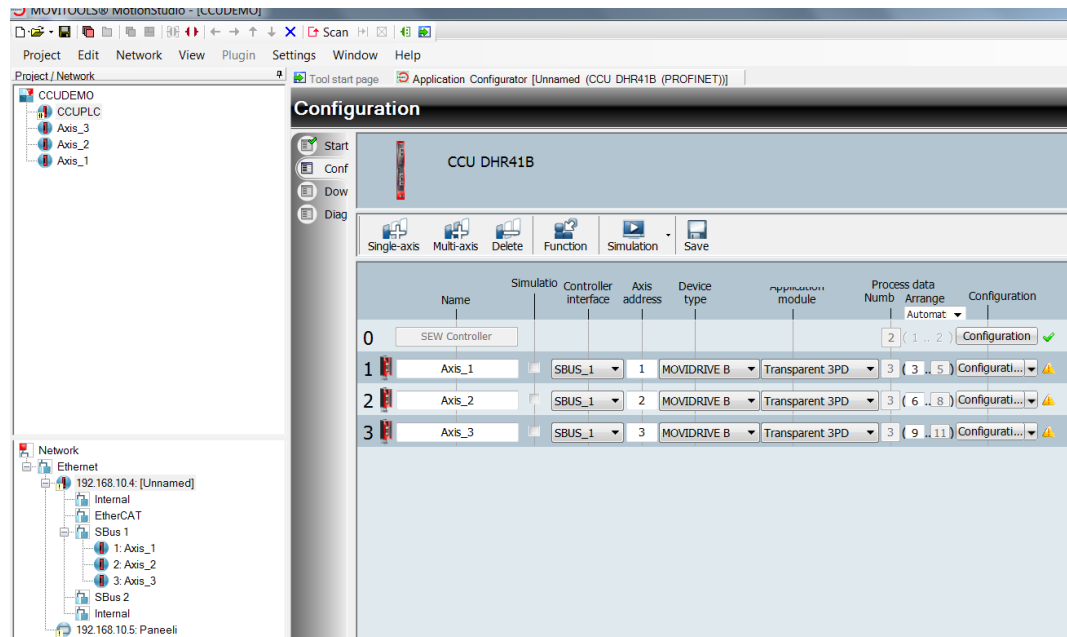
Ensimmäinen vaihe toteutuksessa oli jokaiselle taajuusmuuttajalle käyttöönotto. Käyttöönotto tapahtuu MotionStudio-ohjelmalla ohjatulla aloituksella. Käyttöönoton tarkoitus on antaa taajuusmuuttajalle tiedot sen säätämästä moottorista, jotta ohjaus voidaan suorittaa optimaalisesti. SEWin valmistamista moottoreissa suurin osa tiedoista, kuten moottorin hitausmomentit ja vastaavat suureet, ovat ohjelman tiedossa. Kuitenkin näitä tietoja voi muuttaa käyttöönoton yhteydessä, ja muiden valmistajien moottoreissa tiedot täytyykin syöttää ohjelmaan manuaalisesti. Taajuusmuuttaja ja tietokone kytketään yhteen SEWin RS485-adapterilla. Adapterin tietokoneeseen kytkettävä liitin on USB-liitin ja taajuusmuuttajaan RJ11-pistoke. Adapteri muuttaa taajuusmuuttajan

käyttämät RS485-signaalit tietokoneen käyttämiksi USB-signaaleiksi. (SEW-EURODRIVE 2009,12).

Ensimmäisenä käyttöön otossa syötetään siis moottorintyyppi, sen käyttämä jännite ja taajuus. Demolaitteiston moottori oli tyyppiä DRS71 ja käyttämä jännite 400 V sekä taajuus 50 Hz. Samassa sivussa näiden tietojen kanssa määritetään myös moottorinsisäisen pulssianturin malli, tyyppi sekä pulssien määrä kierrosta kohden. Sovelluksessa käytössä oleva absoluuttianturi oli mallia AS7W, joka on absoluuttinen pulssianturi, jonka resoluutio on 2048 pulssia/kierros.

Taajuusmuuttajan käyttöönoton yhteydessä määritellään myös tapa, jolla taajuusmuuttaja keskustelee ohjaimensa, Movi-PLC:n, kanssa. Mahdollisuuskia tähän on käyttää Serial Interfacea, CAN-väylää tai kenttäväyliä. Demolaitteessa käytössä oli Sbus. Laitteita käyttöönottaessa jokaiselle laitteelle annetaan oma väyläosoitteensa, jolloin ohjaimen käskyt siirtyvät taajuusmuuttajille oikein. Huomioitavaa väylän käyttöönotossa on asettaa kaikki laitteet toimimaan samalla tiedonsiirtonopeudella. Jos ne ovat toisistaan poikkeavia, väylä ei toimi.

Taajuusmuuttajien käynnistyksen jälkeen luodaan itse CCU-konfigurointi MultiMotionin Application Configurator -sovelluksella. Kuviossa 12 on esitetty Application Configuratorin päävalikko, jossa on jo lisätty kaikki demon akselit. Klikkaamalla Single-axis kohtaa voidaan lisätä uusi laite konfiguraatioon. Tästä näkymästä voidaan vaihtaa laitteen nimeä, simulaatiotilaa, yhteyttä ohjauslaitteeseen ja sen osoitetta kyseisessä yhteydessä sekä määrittää taajuusmuuttajan tyyppi.



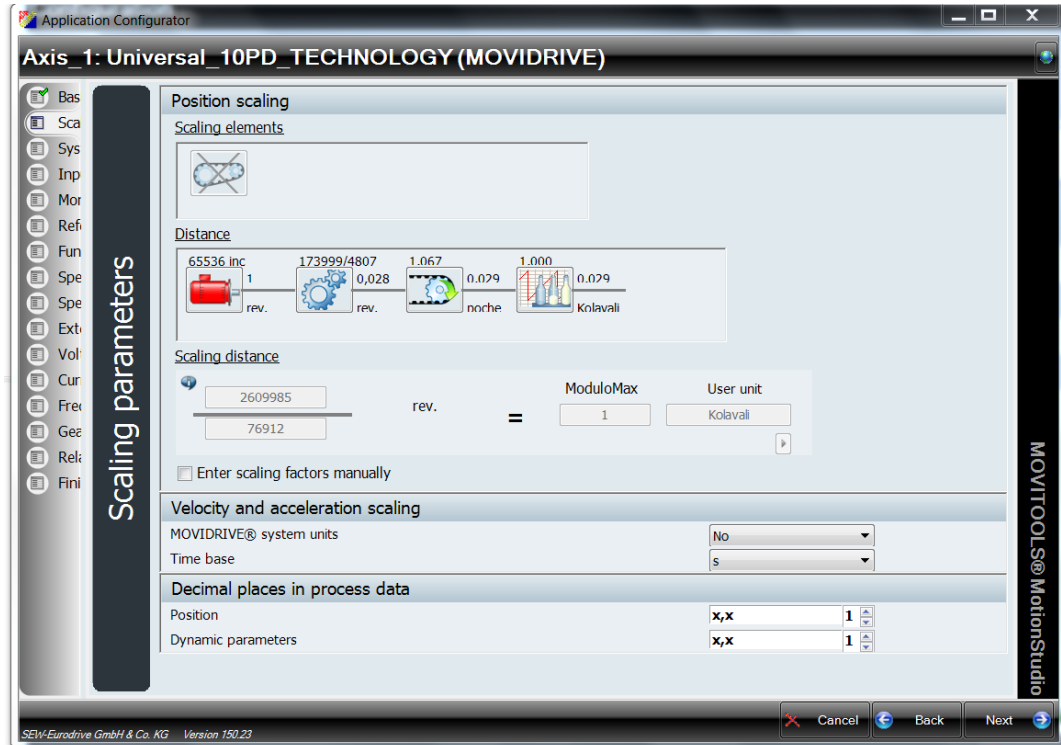
KUVIO 12. CCU-konfiguroinnin päävalikko.

Laitteen määrittämisen viereisestä alavetovalikosta valitaan sovellustyyppi. Sovellustyyppien lukumäärä ja niiden kattavuus riippu käytössä olevasta teknologiaversiosta (ks. luku 3.5). Jotta käytöt olisi mahdollista kulmasynkronoida täytyy sovellustyyppiä valita Universal technology 10PD application module. Jotta tämän valitseminen olisi mahdollista, Movi-PLC:llä täytyy olla käytössä vähintään teknologiaversio T2.

Valitsemalla configuration-painike avautuu ohjattu konfigurointi, jolla konfiguroidaan käyttö Movi-PLC:lle. Konfiguraation perusteella suoritetaan kaikki laskutoimitukset ja vertailut, joiden perusteella käyttöjä ohjataan. Koko konfigurointi on ohjattua alusta loppuun.

Ensimmäisenä konfiguroinnissa määritetään akselin tyyppi modulo- ja lineaariakselin väliltä. Kolakuljetin tapauksessa käytön kuljetin on modulo-akseli. Samalla sivulta asetetaan myös paikoitus-ajo mahdolliseksi, todellisen sijainnin antavan pulssianturin tulo sekä onko laite master vai slave-laite. Jokaisessa akselissa paikoitus on mahdollinen, moottorin takaisinkytkentä liitetään Movidriveen tulon X15 ja akseleista Axis\_1 on masterlaite ja Axis\_2 ja Axis\_3 ovat sitä seuraavia slavelaitteita.

Kun nämä perustiedot on syötetty, määritetään käyttäjän mittayksiköt, joita sovelluksessa käytetään. Tämän tehdäkseen käyttöönottajän täytyy syöttää tarkka välityssuhde koko sovelluksesta sekä määrittää käytetyn mittayksikön suhde välityssuhteeseen. Tämä näkymä vaihtelee edellisellä sivujen tehtyjen valintojen mukaan, esimerkiksi lineaariakseleilla on valittavana erilaisia käyttöjä, joissa liike on lineaarista. Kuviossa 13 esitetään määrittelyt hihnademoinen masterlaitteelle jossa on esitetty ensimmäisenä moottorinkierroksen olevan 65536 pulssia pulssianturilta. Pulssianturin jälkeen määrittelyyn on sijoitettu vaihde, jonka välityssuhde on ilmoitettu murtolukuna, jotta ohjelma saa siitä tarkan arvon eikä desimaalista likiarvoa. Kuten edellä luvussa 3.3 on mainittu tämä aiheuttaisi epätarkkuutta pitemmässä ajossa. Vaihteen jälkeen määritellään pyöritettävän hihnan olevan hammashihna-kuljetin. Tästä tiedettävät arvot on eritelty aiemmin taulukossa 1. Viimeinen määriteltävä asia skaalauksessa on käyttäjän oman mittayksikön määritelmä. Hihnademossa perusmittayksikkönä käytettiin konfiguroinnissa kolaväliä jonka pituus taulukon 1 mukaisesti on 300 mm.



KUVIO 13. CCU konfiguroinnin skaalausmäärittelyt

Käyttäjän on myös mahdollista vaikuttaa siihen onko sovelluksessa käytössä oleva ajanyksikkö minuutteja vai sekunteja sekä kuinka monta desimaalia kaikkiin hinnan liikkumiseen liittyviin arvoihin otetaan mukaan. Valittaessa käytettäväksi yksi desimaali annettavat parametrit annetaan tällöin 0,1 kolavälinä. Tämä tarkoittaa että jos taajuusmuuttajalle lähetetään esimerkiksi nopeudeksi kokonaisluvun 1, nopeuden perusyksikkö on silloin 0,1 kolaväliä sekunnissa.

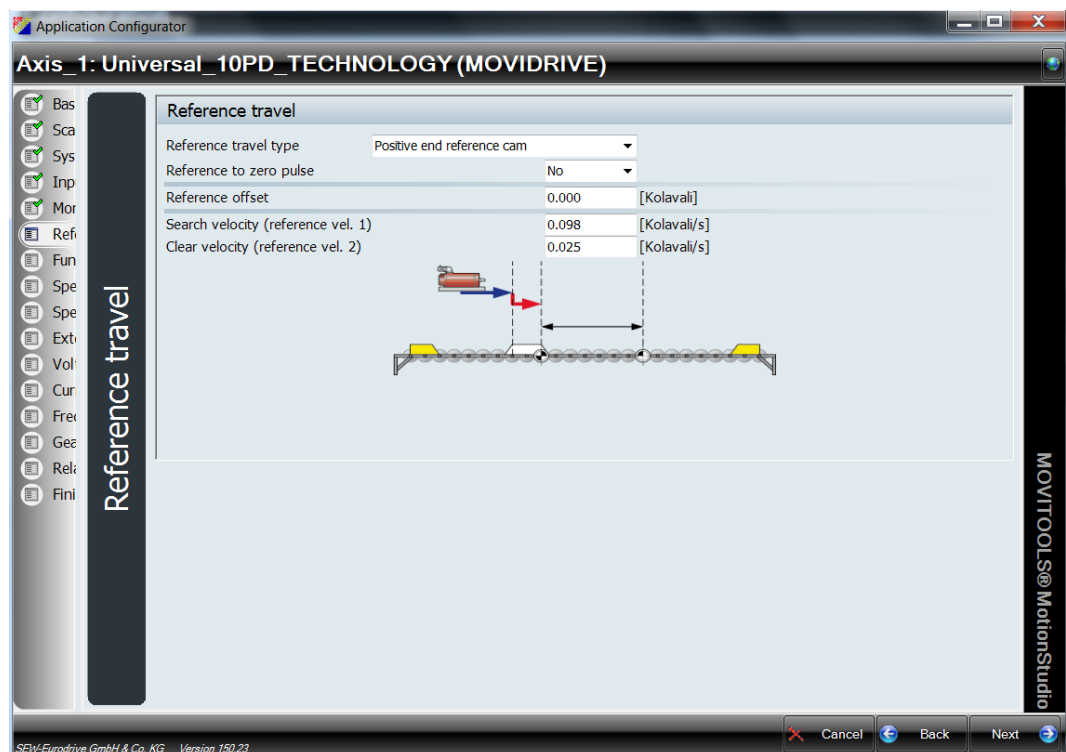
Seuraavaksi konfigurointiin asetetaan järjestelmän dynamiikan rajoitukset. Rajoitukset sisältävät maksiminopeuden, kiihtyvyyden ja hidastuvuuden sekä automaattisissa ajoissa että manuaali-ajossa. Nämä konfiguraatiossa asetettavat rajoitukset siirtyvät myös taajuusmuuttajalle. Jos järjestelmä jostain syystä ylittää nämä rajat, taajuusmuuttaja menee vikatilaan, jolloin käyttö pysähtyy ja vaatii vian nollauksen.

Oleellista synkronointikäytöissä slave- ja masterlaitteen dynamiikassa on, että slavelaitteen on oltava dynaamisempi. Tämä tarkoittaa, että sen huippunopeuden, kiihtyvyyden ja hidastumisen on oltava suurempi kuin masterlaitteen. Tämä mahdollistaa slavelaitteen synkronissa pysymisen myös silloin kun masterlaitteen nopeuden muuttuessa. Jos masterlaite on kiihdyttäessä dynaamisempi kuin slavelaite, kiihdyttäessä masterlaitetta slave ei pysy kiihdytyksessä perässä ja jää jälkeen sijainnista jossa sen pitäisi olla. Tällöin moottorien akseleiden välille syntyy kulmaeroa. Toisaalta myös hidastaessa liikettä slavelaitteen hidastuvuuden on oltava suurempi, jotta se ei ole edellä sijainnista, jossa sen pitäisi olla. Tässä tapauksessa syntyy vastakkaissuuntaista kulmaeroa.

Konfiguroinnissa asetetaan myös paikoitukseen liittyviä arvoja, joita on sekä paikoitustoleranssi ja hystereesi. Kun akseli on saavuttanut sen ohjausarvoksi asetetun paikan, se asettaa bitin päälle, jolla seurataan, onko paikoitus valmis. Paikoitustoleranssilla ja hystereesillä kontrolloidaan tämän bitin päällä pysymistä. Ensin mainitulla tarkoitetaan toleranssia, joka paikoituksessa saa olla asetetun ja todellisen sijainnin välillä. Tämä arvo on erittäin tärkeä suurta tarkkuutta vaativissa sovelluksissa, mutta kolakuljetin ei vaadi todella suurta tarkkuutta. Paikoitushystereesillä

hidastetaan akselin muutoksiin reagoimista. Molemmat arvot ovat hihnademon toteutuksessa suhteellisen pieniä. Niiden arvot ovat millin kymmenyksiä.

Myös akselien referointi on tärkeää, jotta tiedetään kolian tarkka sijainti. Koska käytössä on absoluuttianturi referointi on tarpeen vain kerran kunhan mekaniikka pysyy samana. Jos mekaniikkaan tulee muutoksia tulee referointi suorittaa uudelleen. Kuvassa 1 nähdään kuljetinhihnoissa kolakuljettimen demonstroivat metalliset liuskat sekä kuljettimien oikeassa reunassa olevat induktiiviset anturit. Konfigurointi tapahtuu kuvion 14 mukaisesti. Ensin hihnaa ajetaan etsintänopeudella 0,098 kolaväliä/s, joka on noin 29mm/s, kunnes induktiivinen anturi tunnistaa metallisen "kolan". Tunnistetuksen jälkeen nopeus putoaa 0,025kolaväliin sekuntissa, 7mm/s, kunnes anturin metalli poistuu anturin tunnistusetaisytydeltä. Heti sen poistuessa anturi on nolapisteesään, jos siihen ei ole asetettu nolapisteen siirtoa. Hihnademon masterlaitteessa ei ollut siirtymää, mutta jotta kolia demonstroivat liuskat osuisivat kohdalleen synkronoitumisen tapahduttua slavelaitteisiin asetettiin nolapisteen siirtymät. Axis\_2 siirtymä oli 0,7 kolaväliä ja Axis\_3 1,4 kolaväliä.



KUVIO 14. Referoinnin konfigurointi

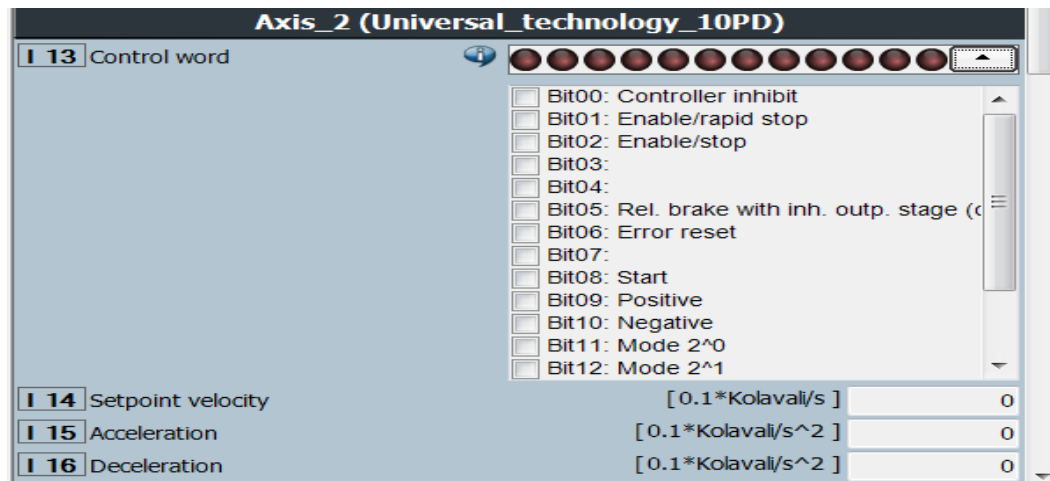
Viimeisenä määritetään synkronoitumistapa ja akselikohtainen master-akseli, johon konfiguroitava akseli synkronoituu. Koska CCU:lla ei voida ohjelmallisesti muuttaa konfiguroinnin arvoja, toisin kuin MultiMotionia käytettäessä, demoon on valittava sahojen kolakuljettimiin sopivin synkronoituminen. Vaihtoehtoina on suora, paikkaperusteinen ja aikaperusteinen synkronointi. Sahojen kolakuljettimien ollessa käytössä ne kulkevat jatkuvasti synkronoituna, eikä synkronia ole tarpeellista poistaa tietyissä vaiheissa sykliä. Tällainen synkronin poiskytkeminen on tarpeen esimerkiksi lentävissä sahoissa. Mutta kolakuljettimien synkronointiin riittää, että slavelaite asetetaan paikallaan olevaan masterkäyttöön, ja kun slavelaite on hakeutunut tähän sijaintiin, masterkäyttö käynnistetään.

Hihnademon CCU-sovelluksen ohjaus toteutettiin MotionStudio Application Cofiguratorin omalla diagnostiikkatyökalulla, joka esitetty kuviossa 15. Työkalulla pystytään muuttamaan Movi-PLC:n prosessidatasanojen tilaa jolloin Movi-PLC ohjaa taajuusmuuttajaa määritetyllä tavalla. Muutokset eivät tapahdu pelkällä bitin päälle tai pois päältä laittamisella, vaan tiedot pitää myös lähettää Movi-PLC:hen päivittämällä ohjaussanan sisältö.

Jotta taajuusmuuttaja saataisiin pyörittämään moottoria täytyy sekä bitin 01 ja bitin 02 olla aktiivisia. Tämän lisäksi on myös määritettävä ajon moodi ja suunta, jos halutaan mennä negatiiviseen suuntaan. Jog-ajossa määritetään suunta joka tapauksessa. Ajomoodi määritetään neljällä bitillä, joista saadaan kahdeksan eri ajomuotoa, jotka on lueteltu luvussa 5.5.

Kun edellä mainitut määrytykset on tehty valittu ajomoodi päällä ja moottorin pyöriminen ei vaadi enää kuin nopeus- ja kiihtyvyysohjeen ja Start-luvan. Nopeus ja kiihtyvyys syötetään, kuten edellä mainittu, 0,1 kolavälinä ohjaussanan alapuoleisiin kenttiin.

CCU toteutuksen konfiguraation arvo ovat esitettyinä liitteessä 1.



Kuvio 15. CCU:n tulojen diagnostiikkatyökalulla.

### 7.3 MultiMotion toteutus

MultiMotion-sovellusalusta tukee erittäin laajasti toimintoja ja sitä käyttäessä Movi-PLC:hen käyttäjä pystyy itse ohjelmoimaan PLC-editorilla sovellusohjelman, jonka perusteella ohjataan taajuusmuuttajia. Tämän ansiosta sovelluksesta tulee erittäin paljon joustavampi. Tämän takia lähtökohta MultiMotion demoon oli, että ohjelmasta tulee hieman monipuolisempi ja että käyttäjä ohjaa demoa HMI-paneelin kautta. Tämä näkyy myös kuvassa 12 laitteistokokoonpanosta.

Demolaitteisto on muuten täysin sama kuin CCU-sovelluksessa, mutta Movi-PLC:hen ladataan aivan ensimmäisenä PLC editorin kautta PLC-projekti. Kyseinen projekti voi olla tyhjäkin, mutta Movi-PLC:lle on oltava ladattuna PLC-projekti, jotta akselien konfiguraatiot voidaan tehdä sille. Käytetty ohjelmapohja oli SEWin kirjastoista suoraan otettu ja PLC-koodissa käytettiin hyväksi jo olemassa olevaa demolaitteen ohjelmointia. Tähän olemassa olevaan PLC-koodiin täytyi lisätä kokonaisuudessaan synkronoinnin-ohjaus sekä tehdä muitakin pienempiä muutoksia, jotta kokonaisuus olisi toimiva.

Kun PLC-projekti on ladattuna ohjaimelle, luodaan konfigurointi MultiMotion Editorilla. Akselien lisäys tapahtuu MultiMotionissakin askel-askeleelta ohjatulla konfiguroinnilla, jossa käyttäjän tulee seurata tarkasti, että kaikki kohdat tulee käsiteltyä ja ettei ristiriitoja synny. Hihnademon

toteutuksessa kävi erittäin helposti virheitä esimerkkinä SBUS-väylän osoitteiden ja tiedonsiirtonopeuksien kanssa. Jos näissä on ristiriitoja keskenään taajuusmuuttajien tiedonsiirto Movi-PLC:n kanssa ei toimi, jolloin koko sovellus ei toimi.

Kun moottoria ohjaavan taajuusmuuttajan tyyppi on määritelty ja akseli nimetty, määritetään seuraavassa ikkunassa akselin tyyppi modulon ja lineaari-akselin väliltä. Kuten jo CCU-toteutuksessa todettiin, määritetty akselin tyyppi on modulo. Akselin tyyppin kanssa samalla sivulla määritetään myös tiedonsiirtoon käytetty väylä ja kyseisen taajuusmuuttajan väyläosoite.

Käyttäjän mittayksiköiden määrittäminen tapahtuu samalla tavoin kuin CCU-toteutuksessa. Tähän lehteen siis määritellään, millä anturilla todellista sijaintia seurataan, määritellään pulssianturin resoluutio, sovelluksen välityssuhde ja viimeisenä määritetään käytettävä mittayksikkö. Mittayksikkönä käytetään CCU-sovelluksen tavoin kolaväliä, jonka pituus demolaitteistossa on 300mm. Viimeisenä asetetaan kiihtyvyyksien ja hidastuvuuksien arvot kolaväleinä. Kun arvo on syötetty, kiihtyvyys näytetään myös nopeuden muutoksena kuinka monta kierrosta minuutissa vauhti kasvaa sekunnissa. Master-laitteelle tämä arvo hihnademossa pidettiin  $6000 \text{ rpm/s}^2$  ja slavelaitteissa  $8000 \text{ rpm/s}^2$ , jotta slavelaitteen olisivat masteria dynaamisempia. Laitteiden konfiguroinnin arvot on esitetty liitteessä 2.

Demoa on tarkoitus ohjata DOP-paneelilla, jonka toteus on kuvattu liitteessä 3. Paneelissa on painonappeina esitetty ajotapojen valinta, ja painonappulan tila voidaan lukea sen väristä. Alaspainettuna se on vihreä paitsi reset-painikkeella. Jos käyttäjä valitsee ajotapoja, jotka eivät voi olla samanaikaisesti päällä, paneeli poistaa aiemmin valitun napin päällä olon. Nopeus-, kiihtyvyys- ja paikoitusarvot syötetään kokonaislukuna millimetreinä ja nopeudelle ja kiihtyvyydelle on asetettu akselikohtaiset rajoitukset, joita ei voida ylittää. Tämä estää osaltaan taajuusmuuttajien vikaantumista.

## 8 SYNKRONOINTI TEKNIKOIDEN VERTAILUN TOTEUTUS

Vertailussa tekniikoiden kesken tavoitteena oli kartoittaa tekniikoiden ominaisuuksia ja rajoittuneisuuksia verrattuna toisiinsa. Tällä oli tarkoitus helpottaa muun muassa myyntiosastolla asiakkaalle tarjottavan tekniikan valitsemista ja mahdollisesti myös tehdä johtopäätöksiä, onko järkevää jatkaa muiden tekniikoiden kuin CCU:n ja MultiMotionin aktiivista myymistä asiakkaille.

Vertailussa lähdettiin liikkeelle yksinkertaisesti käymällä läpi saatavilla olevista lähteistä ja omaan kokemukseen perustuvaa listausta kunkin tekniikan ominaispiirteistä. Listauksen edettyä tarpeeksi pitkälle täytyi myös tehdä päätös, miten vertailu esitetään. Vertailun esityksessä painottui helppolukuisuus ja havainnollisuus. Näistä syistä paras ratkaisu oli yksinkertainen vertailumatriisi. Käytännössä matriisissa oli listattu ominaisuuksia, ja kunkin tekniikan kohdalla oli merkitty, täyttääkö tekniikan ominaisuudet listatun ominaisuuden.

Tärkeimpänä lähteenä tekniikoiden ominaisuuksista toimivat manuaalit, joissa tekniikat oli esitelty seikkaperäisesti. Kun tekniikoiden teknisiä ominaisuuksia oli listattu ja kun niistä oli muodostettu kokonaisvaltaisempi käsitys, tuli selväksi, että tekniikoissa on erittäin paljon vastaavuuksia sekä päällekkäisyyksiä. Uudemman sukupolven CCU ja MultiMotionilla pystytään tekemään kaikki, mitä aikasemmilla tekniikoillakin, mutta niiden käyttö on myös huomattavasti helpompaa.

Koko opinnäytetyöprosessin aikana ei tullut vastaan tehtävää, joka voitaisiin toteuttaa vanhemmalla tekniikalla, mutta ei CCU:lla tai MultiMotionilla. Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, CCU ja MultiMotion ovat ehdottomasti kehittyneempiä tekniikoita verrattuna muihin, ja vanhemman tekniikan käytössä ei suoranaista hyötyä ole nähtävissä.

TAULUKKO 2. Synkronointimenetelmien ominaisuuksien vertailutaulukko

|  | DRS-kortti | DriveSync | ISYNC | SyncCrane | CCU | MuMo |
|--|------------|-----------|-------|-----------|-----|------|
| Slave-käyttöjen maksimi lukumäärä                          | 3          | 8         | 8     | 8         | 8   | 16   |
| Ohjattu askel-askeleelta käyttöönotto                      | -          | -         | -     | X         | X   | X    |
| Master ja slaven "skaalauskerroimen joutuu laskemaan käsin | X          | X         | X     | -         | -   | -    |
| Vapaasti ohjelmitavissa                                    | -          | -         | X     | -         | -   | X    |
| Tarve Movi-PLC:lle   | -          | -         | -     | X         | X   | X    |
| Movi-PLC:n vähimmäis-tekniologiatarve                      | -          | -         | -     | T2        | T2  | T2   |
| Väylä liitettä   | -          | X         | X     | X         | X   | X    |
| Ohjelmalliset rajakytkimet                                 | -          | X         | -     | X         | X   | X    |
| Kahden pulssianturin käyttö luiskahduksen kompensointiin   | -          | X         | -     | X         | -   | X    |
| Ohjelmalliset rajakytkimet                                 | -          | X         | -     | X         | X   | X    |
| Virtuaalinen diagnostiikkatyökalu                          | -          | -         | -     | X         | X   | X    |
| Synkronointi pysähtyneeseen Masteriin                      | X          | X         | X     | X         | X   | X    |
| Synkronointi liikkeessä olevaan Masteriin                  | X          | X         | X     | X         | X   | X    |
| Suora synkronoituminen                                     | X          | -         | -     | X         | X   | X    |
| Paikkaperusteinen synkronointi                             | -          | X         | X     | -         | X   | X    |
| Aikaperusteinen synkronointi                               | -          | X         | -     | -         | X   | X    |
| Absoluuttinen synkronoituminen                             | -          | X         | X     | X         | X   | X    |
| Relatiivinen synkronoituminen                              | X          | X         | X     | -         | X   | X    |
| Modulo-akseli  | -          | X         | -     | -         | X   | X    |
| Mahdollisuus virtuaaliseen enkooderiin masterlaitteena     | -          | X         | X     | X         | X   | X    |

## 9 YHTEENVETO

Tavoitteena opinnäytetyössä oli toteuttaa kulmasynkronoinnin demoaminen jo olemassa olevalla hihnademolla, sekä suorittaa vertailua eri synkronointi tekniikoiden välillä.

Demoamisia lähestyttiin sahateollisuudessa käytettyjen kolakuljettimien kautta, ja CCU tekniikalla tähän lopputulokseen päästiinki. MultiMotion-tekniikalla tuotiin myös tiettyjä lisäominaisuuksia joita ei yleensä sahateollisuuden kuljettimissa esiinny, mutta ne toivat demoon lisäarvoa. Tämän takia ne sisällytettiin työhön. Suurimpana ongelmana demoamisissa olikin juuri se että kyseessä oli demolaitteet, joilla ei ole tarkasti määriteltyjä nopeus- ja kiihtyvyyssarvoja vaan demoista oli tehtävä hieman laajemmilla arvoilla toimivia kuin todellisuuden sovellukset olisivat.

Synkronointitekniikoiden vertailussa paljastui CCU:n ja MultiMotionin ylivertaisuus. Lisäarvoa muiden, vanhempien menetelmien, aktiivisessa käytössä ei ole. Tämä johtuu siitä että CCU pystyy korvaamaan DriveSyncin, DRS-kortin käytön ja osittain CCU SyncCranen käytön ja MultiMotionilla pystytään korvaamaan edellä mainitut sekä ISYNC. MultiMotionin etuna on myös se, ettei tekstipohjaista koodia tarvitse tehdä itse. Tämä helpottaa käyttöä huomattavasti, sekä mahdollisesti myös vähentää käyttöönottoon käytettyä aikaa ja samalla myös kuluja.

## LÄHTEET

ABB 2016. Tekninen opas nro 4. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas [viitattu 29.4.2016]. Saatavissa:

[https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen\\_opas\\_nro4.pdf](https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf)

Hiltunen, A. 2016. Drive Engineer. SEW EURODRIVE. Haastattelu 5.2.2016.

Kauppalehti. 2016. SEW-EURODRIVE Oy. Kauppalehti Oy [viitattu 23.3.2016]. Saatavissa:

<http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/seweurodrive+oy/01493943>

Kettunen, A: 2013 Anturitekniikan perusteet. Kurssimateriaali Lahden ammattikorkeakoulu.

Lahtinen, T. 2012. Sähkömoottorit. Kurssimateriaali, Lahden ammattikorkeakoulu.

SEW-EURODRIVE 2000. MOVIDRIVE Drive Inverters. Manual IPOS Positioning and Sequence Control. [viitattu 3.4.2016].

Saatavissa:<http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/09191712.pdf>

SEW-EURODRIVE. 2007 MOVIDRIVE MDX61B Synchronous Operation Card DRS11B [viitattu 28.3.2016]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11671815.pdf>

SEW-EURODRIVE 2009. MOVIDRIVE MDX60B/61B Communication and Fieldbus Unit Profile. [viitattu 16.4.2016]. Saatavissa:

<http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11264926.pdf>

SEW-EURODRIVE 2010a. Controllers DHE21B / DHF21B / DHR21B (standard) DHE41B / DHF41B/ DHR41B (advanced). [viitattu 5.4.2016].

Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16897226.pdf>

SEW EURODRIVE 2010b. DriveSync via Fieldbus application [viitattu 28.3.2016]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/17004411.pdf>

SEW Eurodrive 2010c. Program Module MultiMotion Universal, Parametrizable software Platform for MOVI-PLC. [viitattu 16.4.2016]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16970810.pdf>

SEW EURODRIVE 2011a. MOVIDRIVE MDX61B Internal Synchronous Operation [viitattu 31.3.2016]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/19295626.pdf>

SEW-EURODRIVE 2011b. CCU "Universal Module" [viitattu 31.3.2016]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/17061210.pdf>

SEW-EURODRIVE 2014. Manual SyncCrane application module [viitattu 2.4.2016]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/21275793.pdf>

SEW-EURODRIVE 2015. "Universal Module Technology 10PD" Application Module [viitattu 31.3.2016]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/21363390.pdf>

SEW-EURODRIVE. 2016a. Facts & Figures [viitattu 23.3.2016] Saatavissa: [http://www.sew-eurodrive.com/en\\_us/index.html#zahlen\\_und\\_fakten](http://www.sew-eurodrive.com/en_us/index.html#zahlen_und_fakten)

SEW-EURODRIVE 2016b. MOVIDRIVE B Drive Inverter. [viitattu 8.4.2016]. Saatavissa: [http://www.seweurodrive.com/produkt/movidrive-b-drive-inverter.htm#Standard version](http://www.seweurodrive.com/produkt/movidrive-b-drive-inverter.htm#Standard%20version)

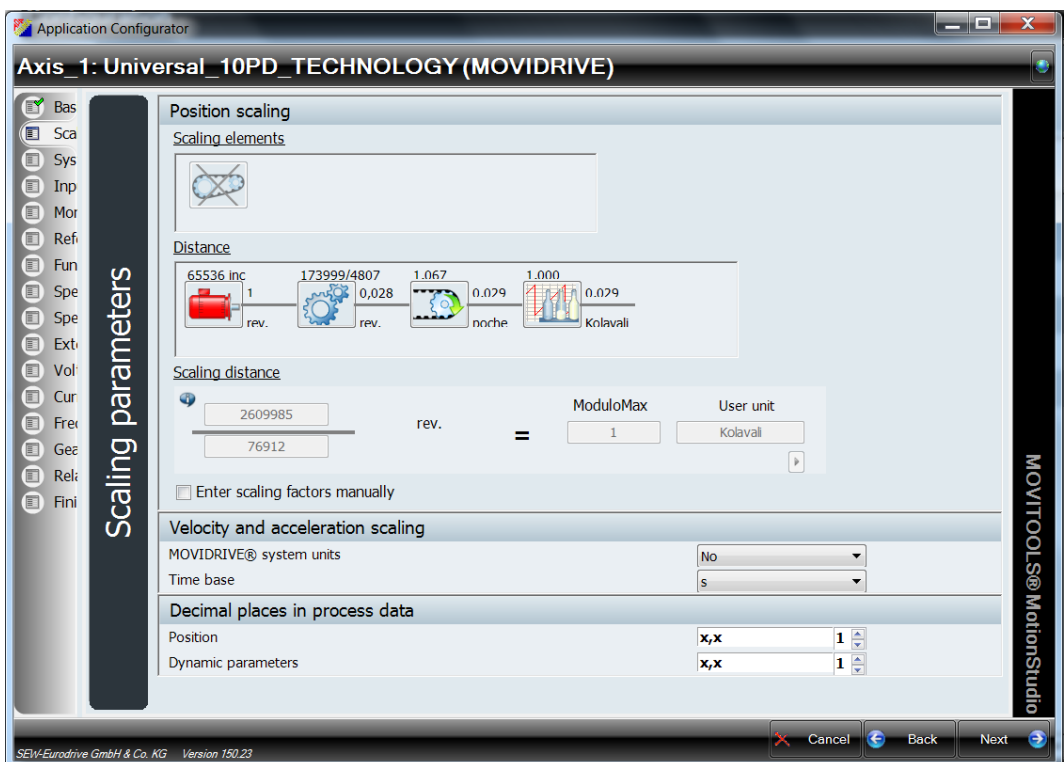
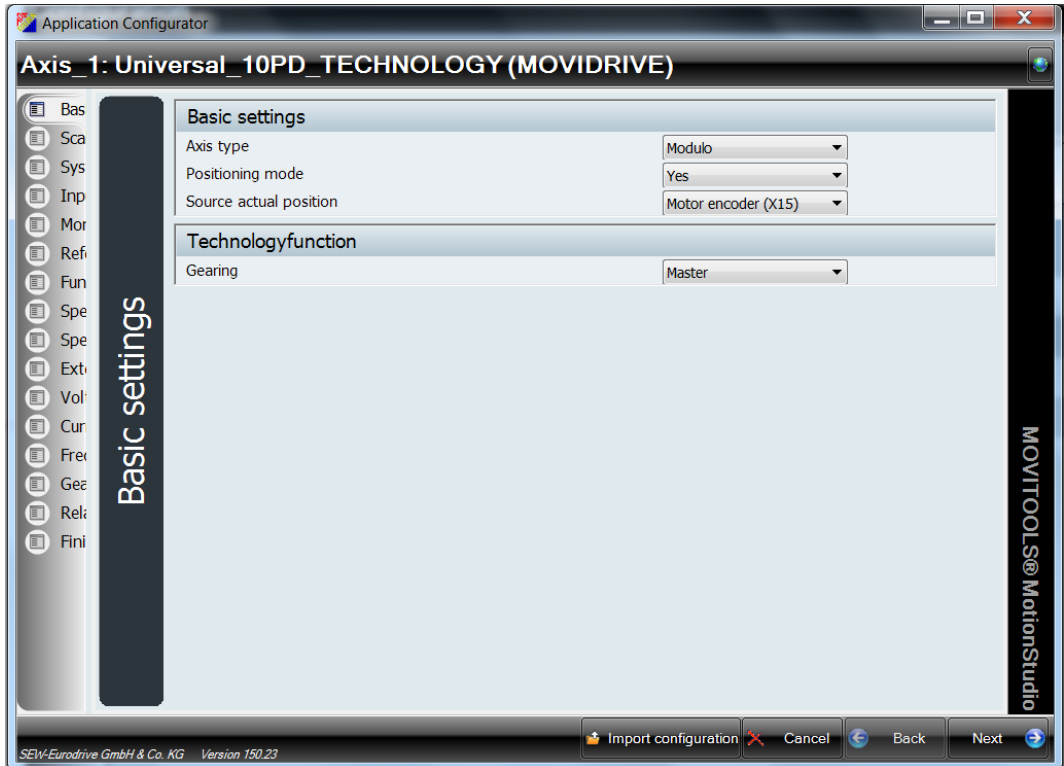
SEW-Eurodrive 2016c. Workbook MultiMotion V120.201

Yrjölä, J. 2009. Etuvetoisen auton voimansiirto. [viitattu 29.4.2016]. Saatavissa:

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8346/Yrjola.Jukka.pdf?sequence=2>

# LIITTEET

## Liite 1. CCU konfigurointi askel-askeleelta



Application Configurator

### Axis\_1: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

System limits

#### Limits

Maximum acceleration: 3.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Maximum velocity: 1.500 [Kolavali/s]

Maximum deceleration: 3.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Deceleration enable/stop: 3.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Jerk: 0.000 [Kolavali/s<sup>3</sup>]

Deceleration enable/rapid stop: 3.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

MOVITool S® MotionStudio

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23

Cancel Back Next

Application Configurator

### Axis\_1: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

Monitoring

#### Digital inputs

Default input assignment (DI1 - DI3): Activate

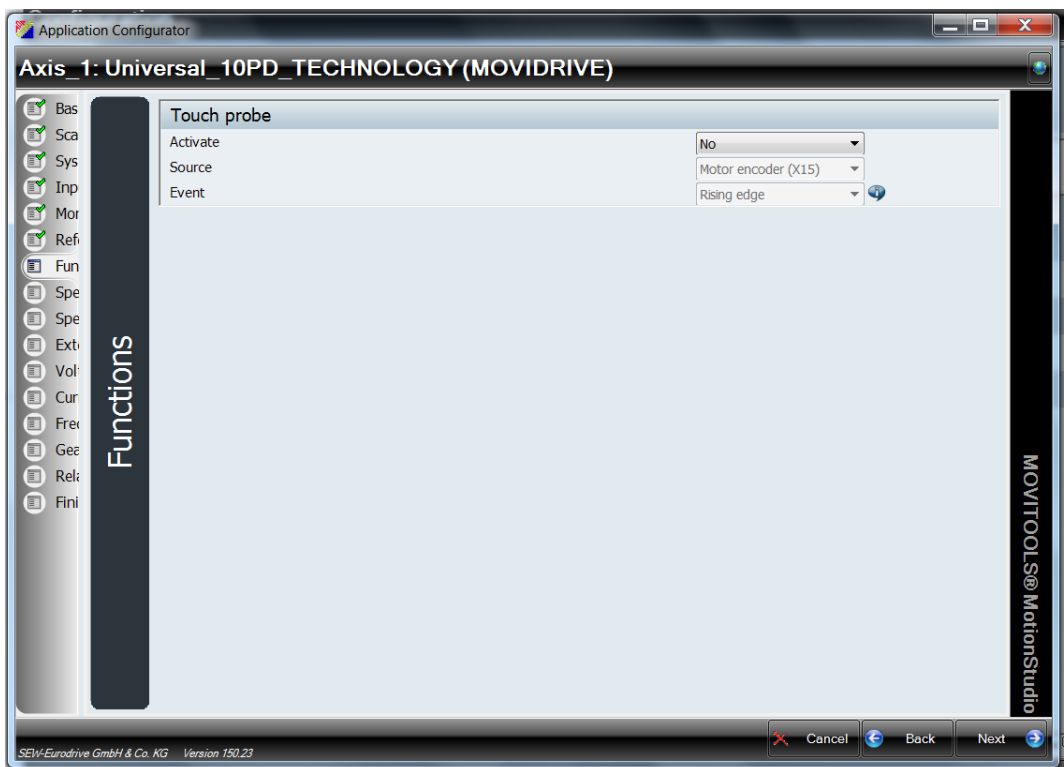
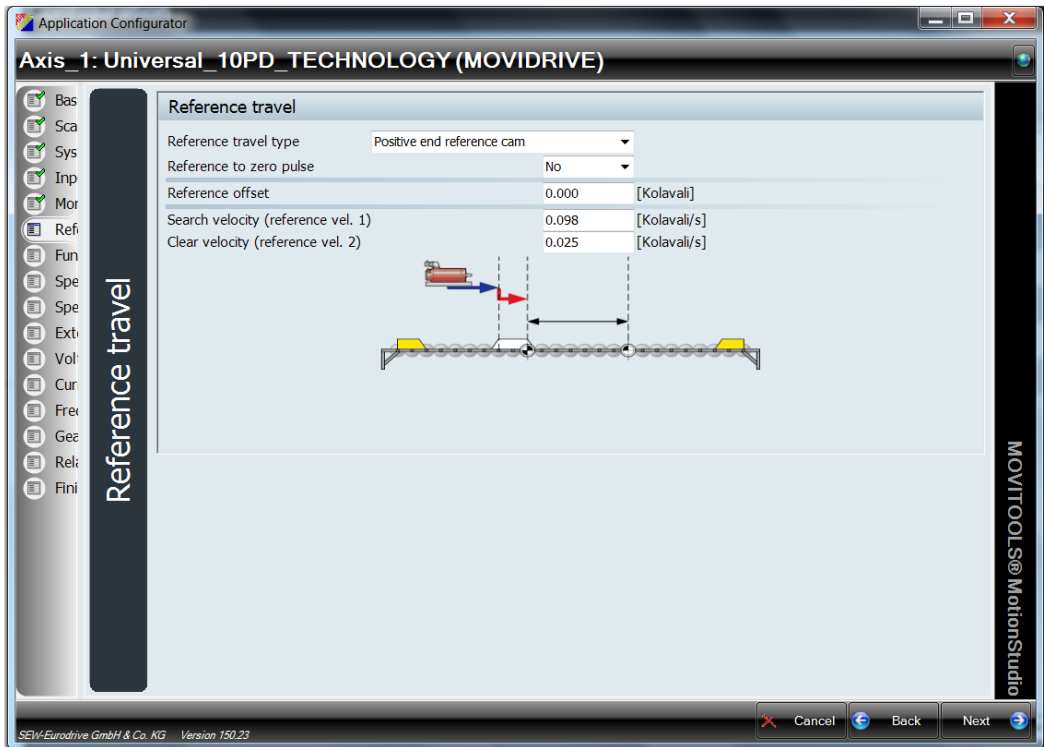
#### Position monitoring

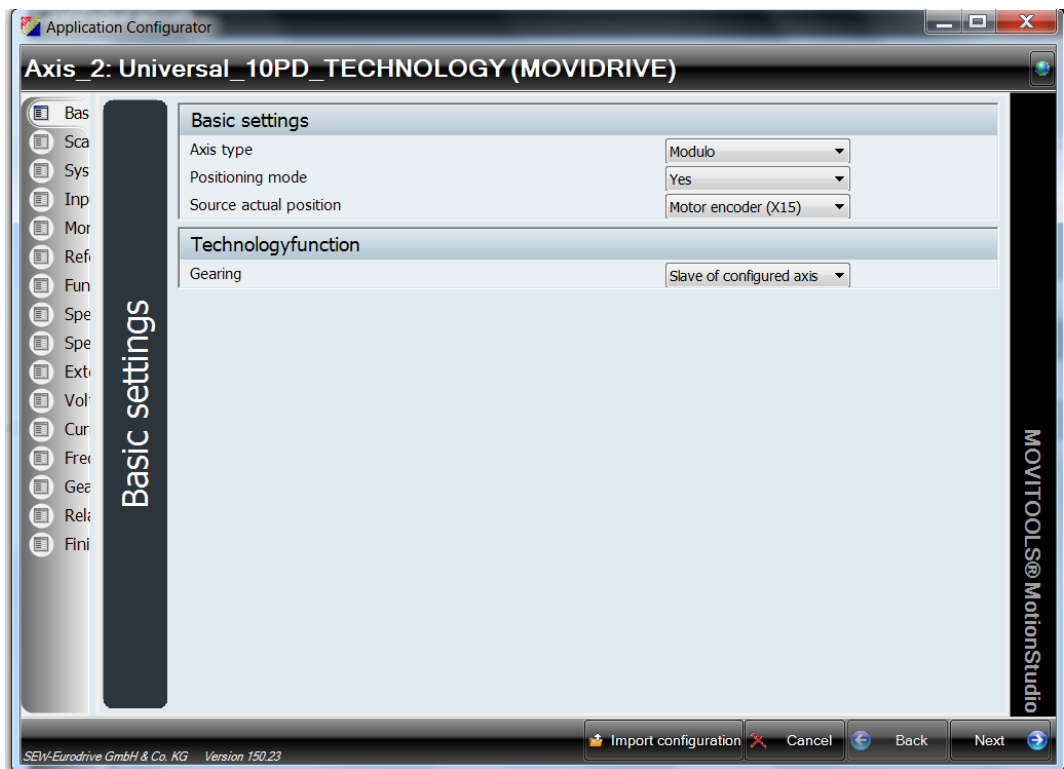
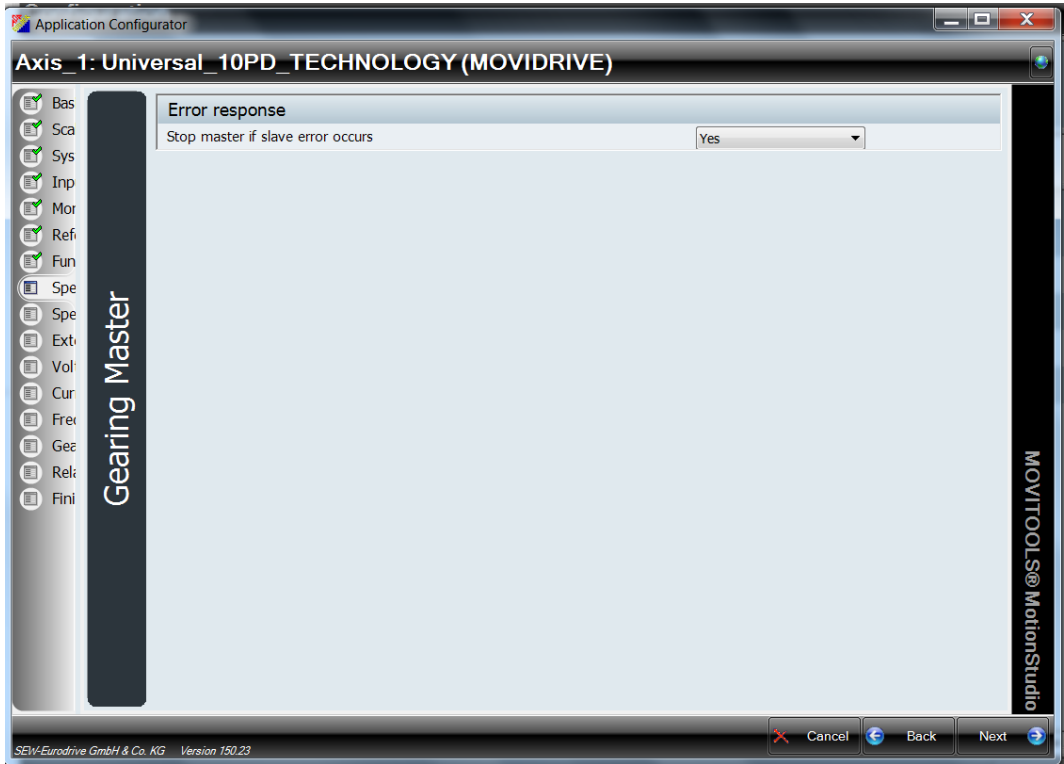
|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| Position window     | 0.000 [Kolavali] |
| Position hysteresis | 0.001 [Kolavali] |
| Delay time          | 5 [ms]           |

MOVITool S® MotionStudio

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23

Cancel Back Next





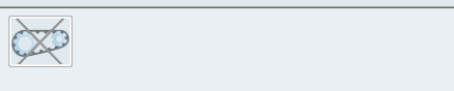
Application Configurator

### Axis 2: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

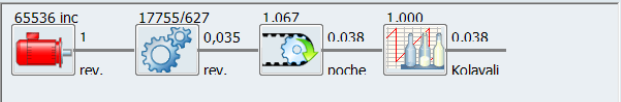
Scaling parameters

#### Position scaling

Scaling elements



Distance



Scaling distance

|       |      |   |           |           |
|-------|------|---|-----------|-----------|
| 88775 | rev. | = | ModuloMax | User unit |
| 3344  |      |   | 1         | Kolavali  |

Enter scaling factors manually

#### Velocity and acceleration scaling

MOVIDRIVE® system units: No

Time base: s

#### Decimal places in process data

|                    |     |   |
|--------------------|-----|---|
| Position           | x,x | 1 |
| Dynamic parameters | x,x | 1 |

MOVI TOOL S® MotionStudio

Cancel Back Next

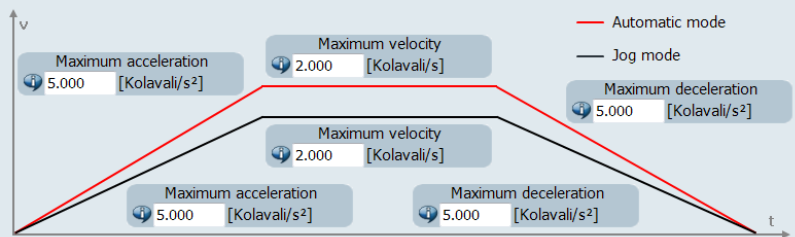
SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23

Application Configurator

### Axis 2: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

System limits

#### Limits



— Automatic mode  
— Jog mode

Maximum acceleration: 5.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Maximum velocity: 2.000 [Kolavali/s]

Maximum deceleration: 5.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Deceleration enable/stop: 5.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Deceleration enable/rapid stop: 5.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Jerk: 0.000 [Kolavali/s<sup>3</sup>]

MOVI TOOL S® MotionStudio

Cancel Back Next

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23

Application Configurator

### Axis\_2: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

Monitoring

**Digital inputs**

Default input assignment (DI1 - DI3) Activate

---

**Position monitoring**

|                     |       |            |
|---------------------|-------|------------|
| Position window     | 0.000 | [Kolavali] |
| Position hysteresis | 0.001 | [Kolavali] |
| Delay time          | 5     | [ms]       |

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23
Cancel
Back
Next

Application Configurator

### Axis\_2: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

Reference travel

**Reference travel**

Reference travel type Positive end reference cam

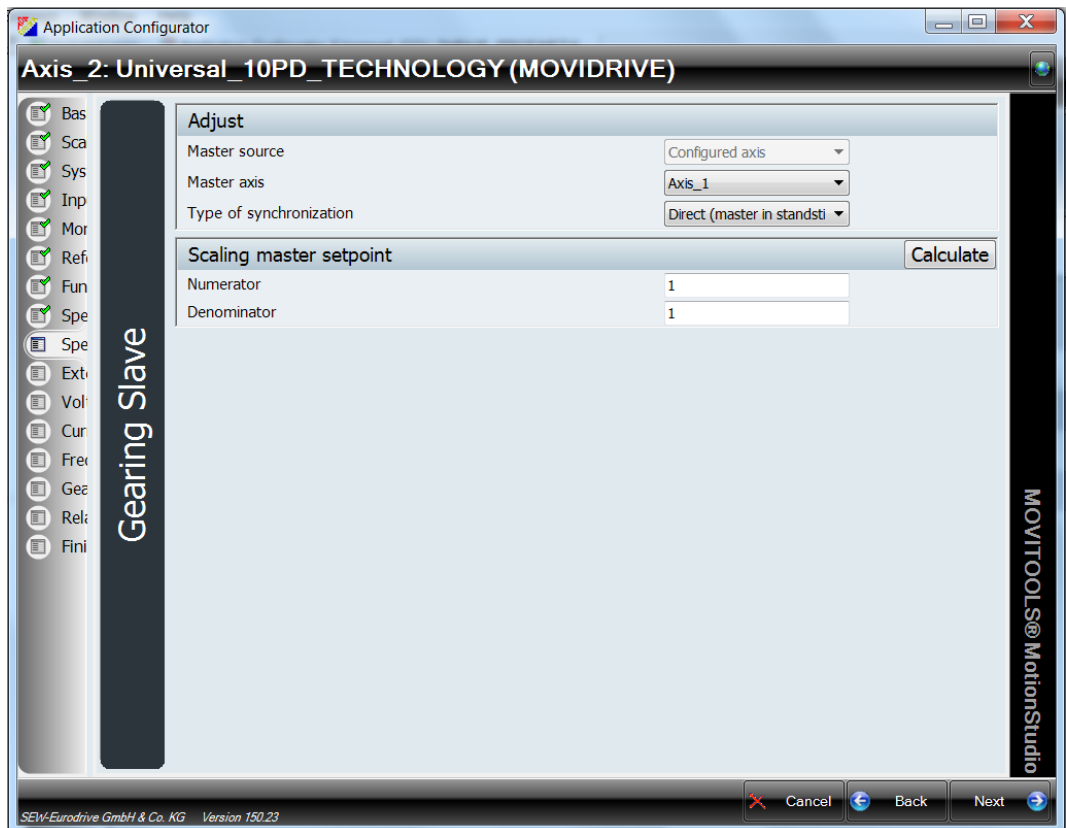
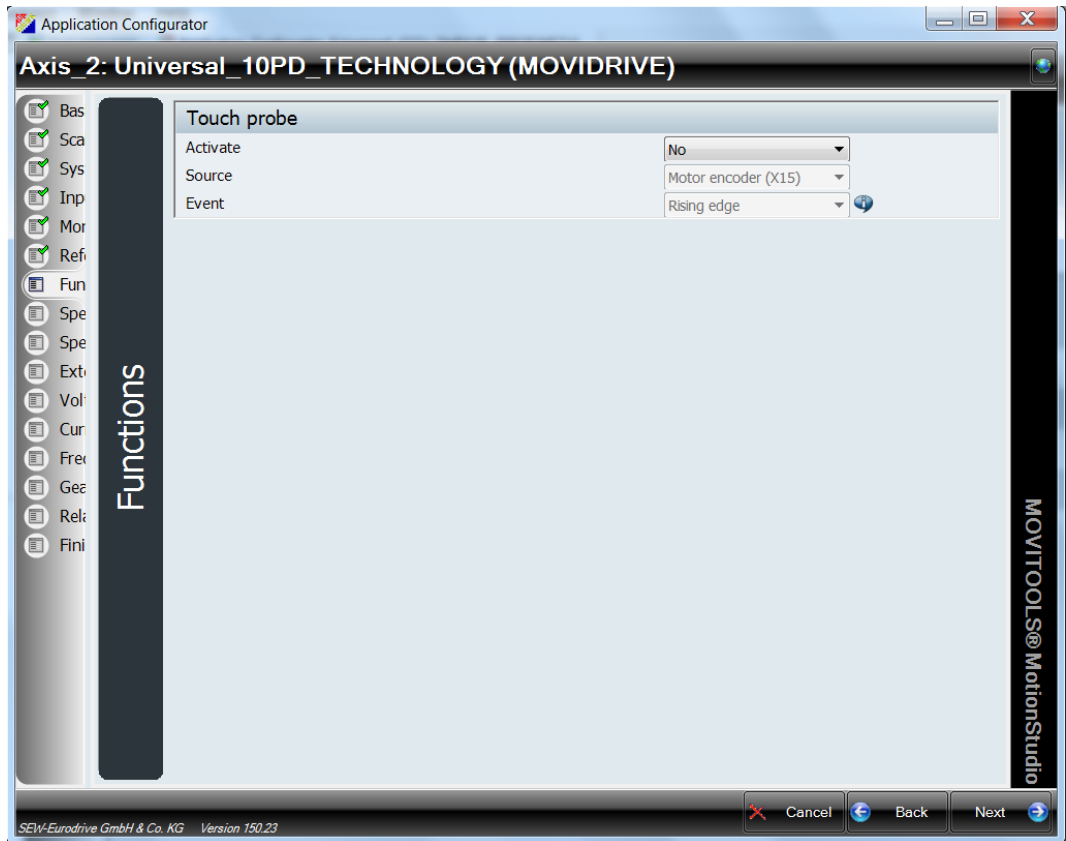
Reference to zero pulse No

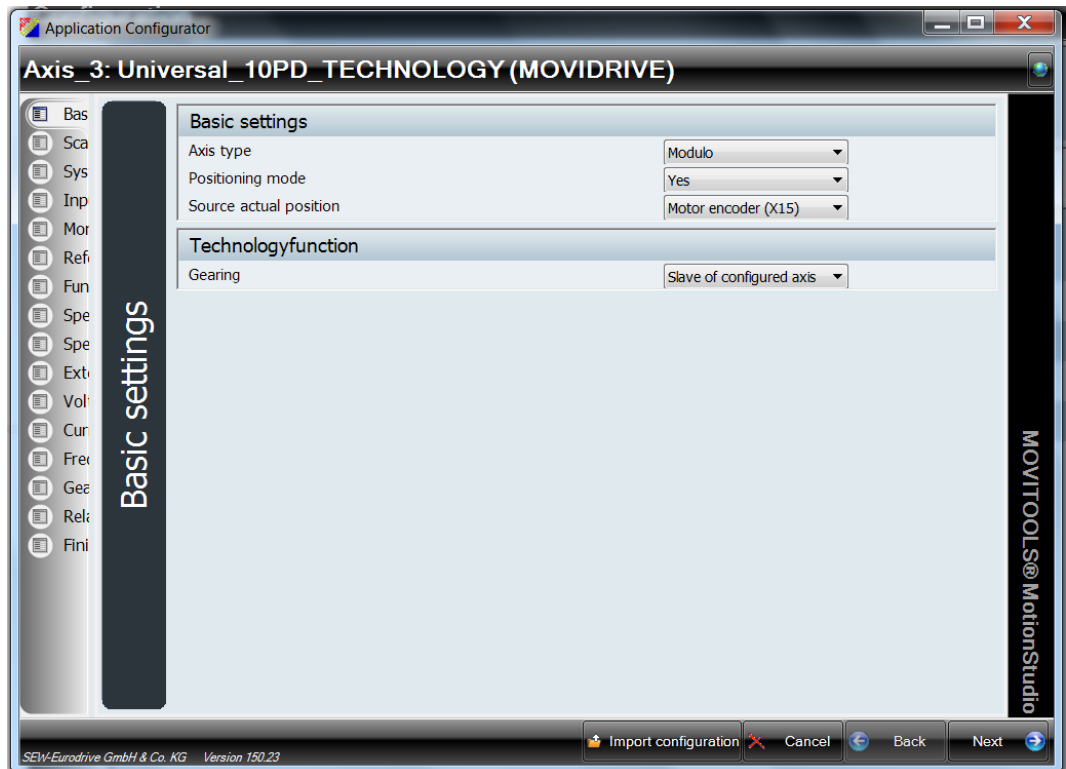
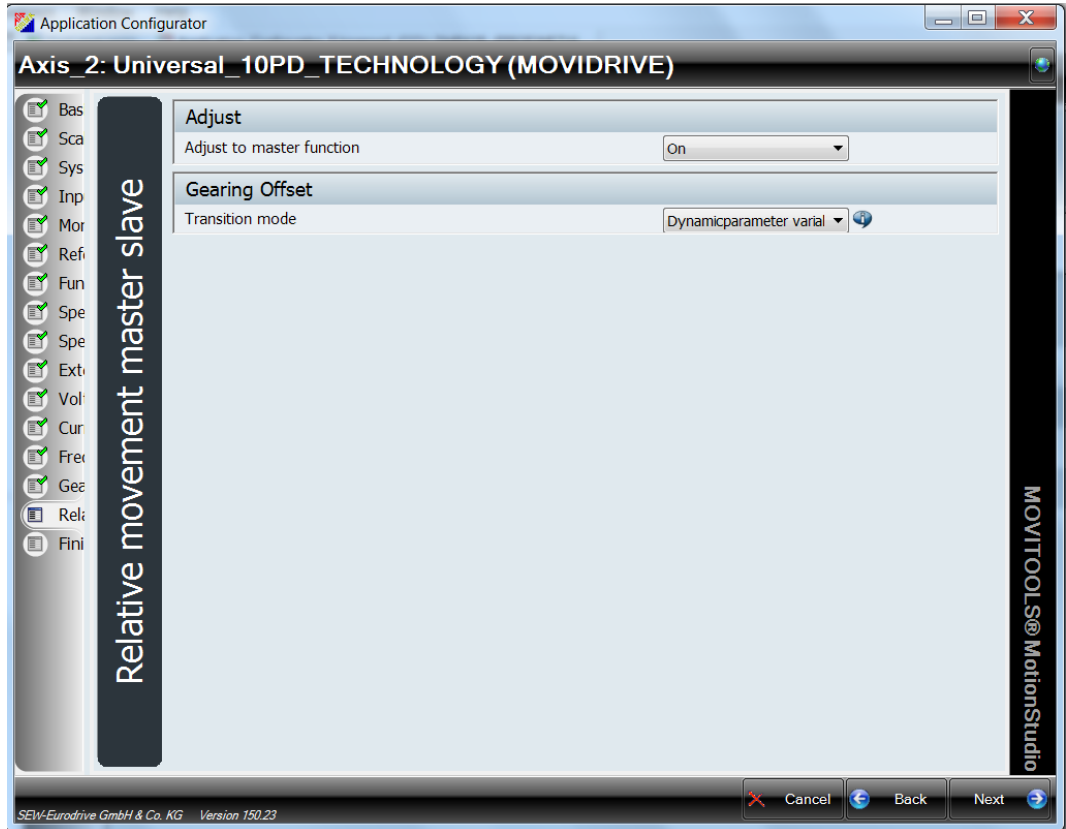
Reference offset 0.400 [Kolavali]

Search velocity (reference vel. 1) 0.126 [Kolavali/s]

Clear velocity (reference vel. 2) 0.031 [Kolavali/s]

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23
Cancel
Back
Next





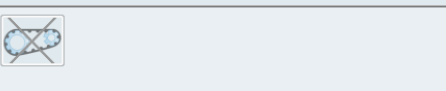
Application Configurator

### Axis\_3: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)


Scaling parameters

#### Position scaling

Scaling elements



Distance



Scaling distance

5025 rev. = ModuloMax 1 User unit Kolavali

272

Enter scaling factors manually

#### Velocity and acceleration scaling

MOVIDRIVE® system units: No

Time base: s

#### Decimal places in process data

Position: x 0

Dynamic parameters: x 0

MOVIToolS® MotionStudio

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23

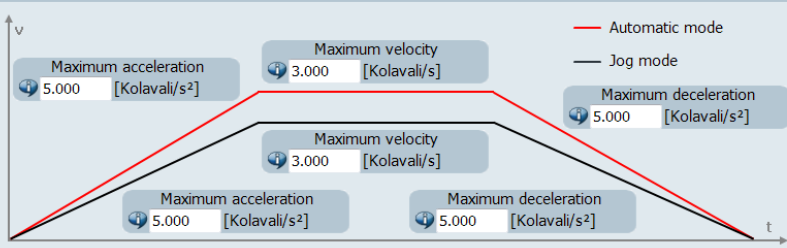
Cancel Back Next

Application Configurator

### Axis\_3: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

System limits

#### Limits



Maximum acceleration: 5.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Maximum velocity: 3.000 [Kolavali/s]

Maximum deceleration: 5.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Deceleration enable/stop: 7.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Deceleration enable/rapid stop: 7.000 [Kolavali/s<sup>2</sup>]

Jerk: 0.000 [Kolavali/s<sup>3</sup>]

MOVIToolS® MotionStudio

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23

Cancel Back Next

Application Configurator

### Axis\_3: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

Monitoring

**Digital inputs**

Default input assignment (DI1 - DI3) Activate

---

**Position monitoring**

Position window 0.001 [Kolavali]

Position hysteresis 0.001 [Kolavali]

Delay time 5 [ms]

Cancel Back Next

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23

Application Configurator

### Axis\_3: Universal\_10PD\_TECHNOLOGY (MOVIDRIVE)

Reference travel

**Reference travel**

Reference travel type Positive end reference cam

Reference to zero pulse No

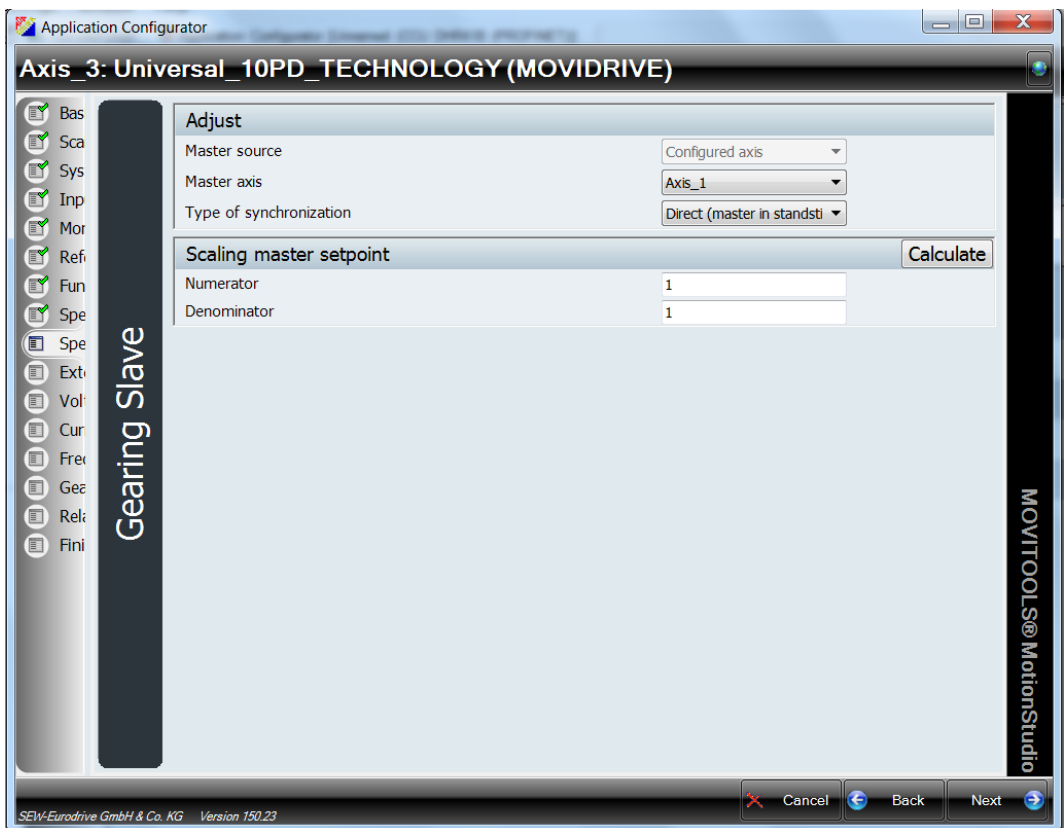
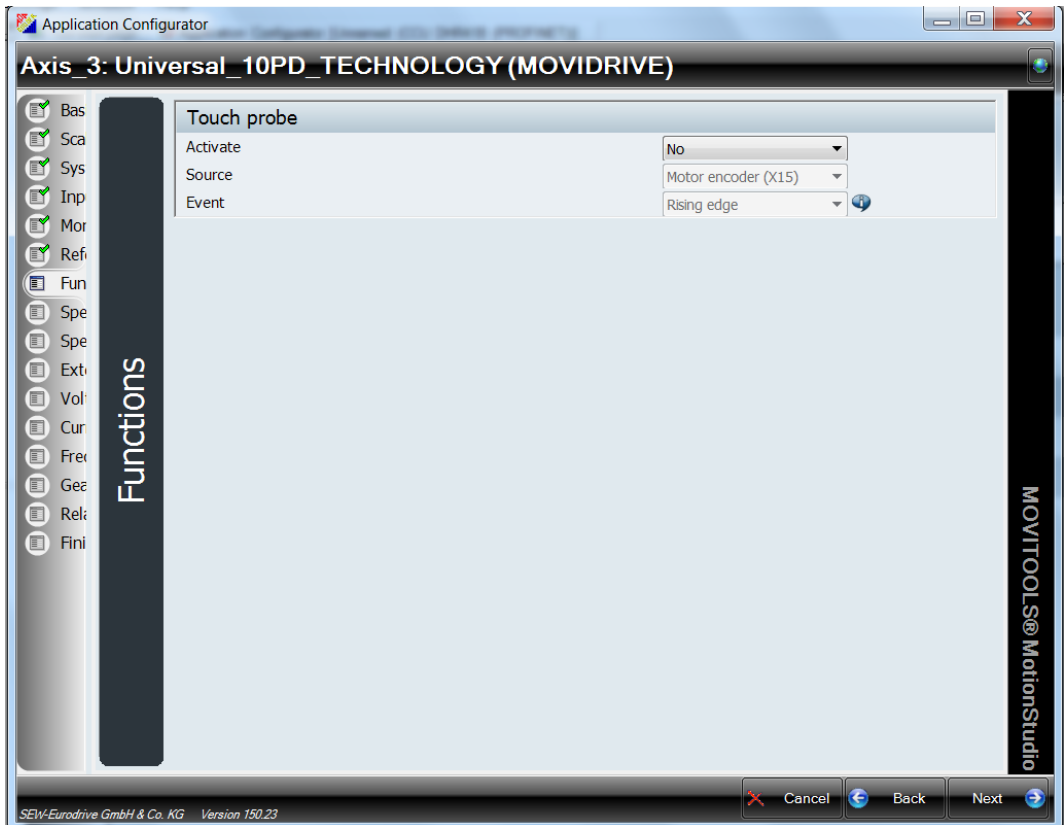
Reference offset 0.800 [Kolavali]

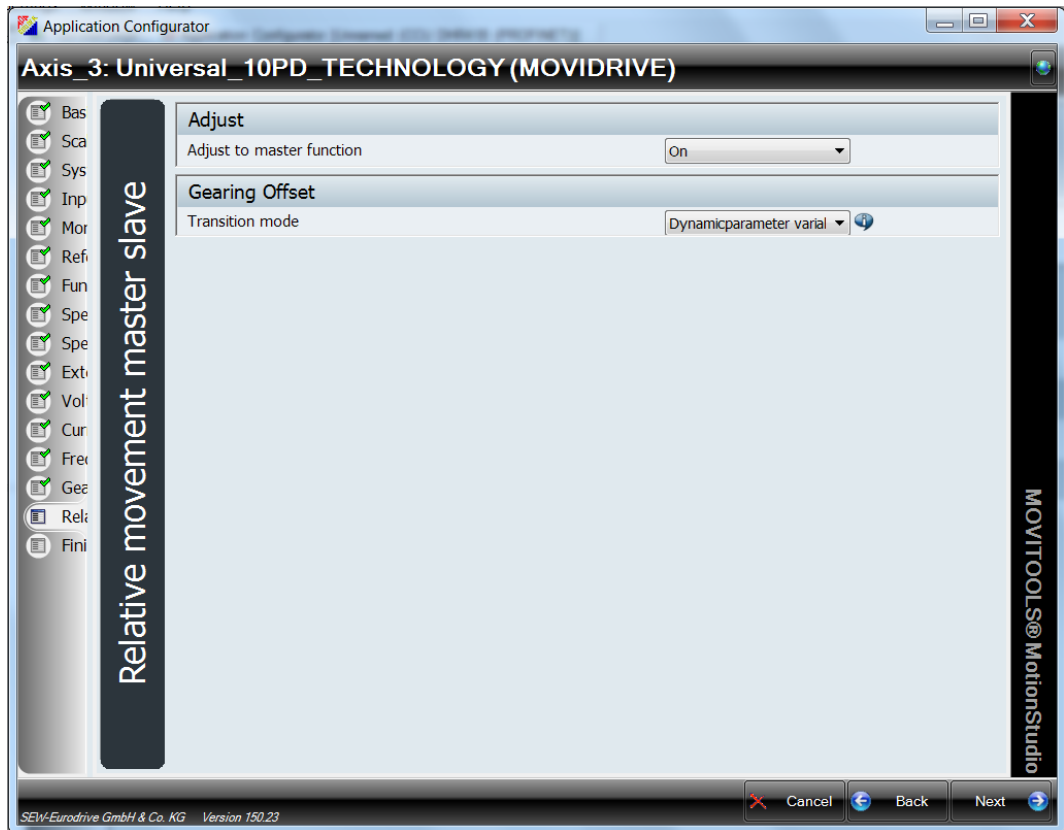
Search velocity (reference vel. 1) 0.180 [Kolavali/s]

Clear velocity (reference vel. 2) 0.045 [Kolavali/s]

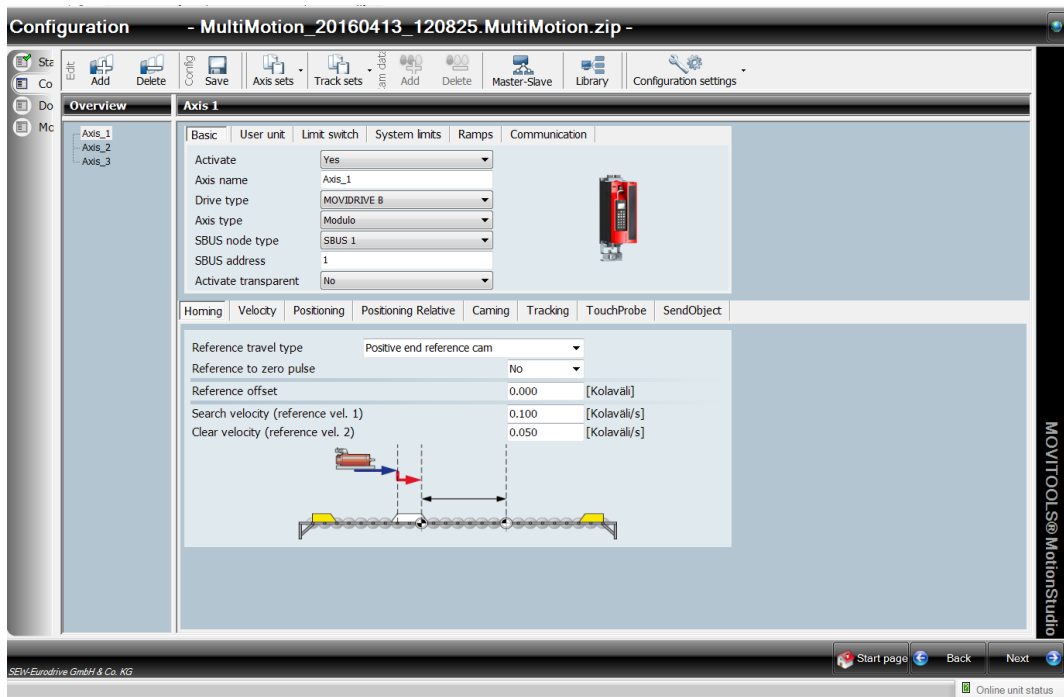
Cancel Back Next

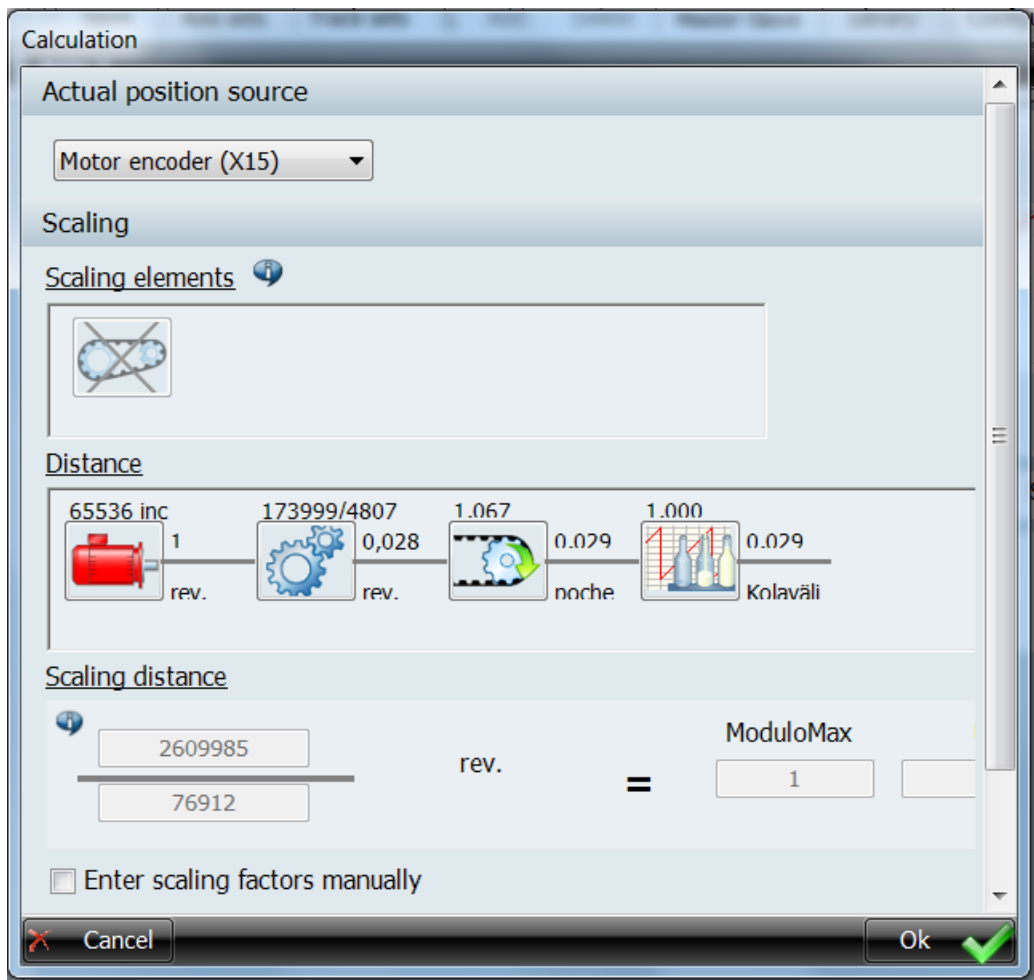
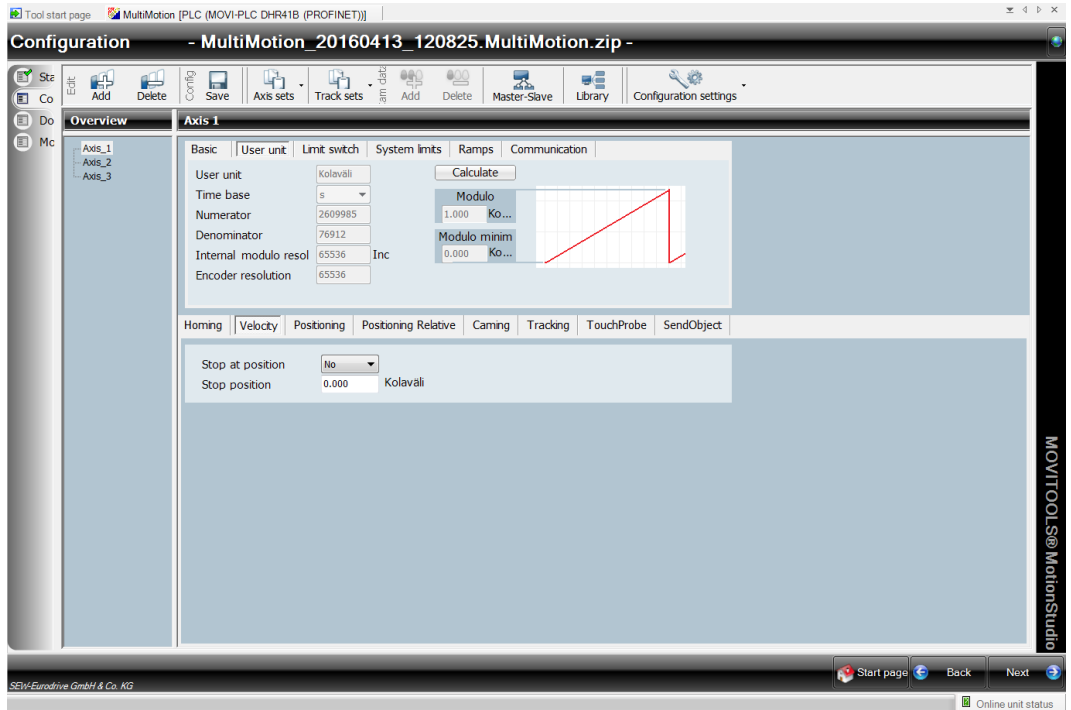
SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Version 150.23





Liite 2. MultiMotion konfiguroinnin arvot





Tool start page MultiMotion [PLC (MOVI-PLC DHR41B (PROFINET))]

### Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip -

Stz Edit Add Delete Config Save Axis sets Track sets Add Delete Master-Slave Library Configuration settings

Overview Axis 1

Axis\_1  
Axis\_2  
Axis\_3

| Basic                        | User unit            | Limit switch | System limits | Ramps | Communication  |
|------------------------------|----------------------|--------------|---------------|-------|--|
| SW limit switch neg          | 0.000                | Kolaväli     |               |       |  |
| SW limit switch posi         | 0.000                | Kolaväli     |               |       |  |
| Limit switch clear s         | 0.000                | Kolaväli/s   |               |       |  |
| DI04 & DI05 (Hardware limit) | Keep device settings |              |               |       | Hardware limit switch:<br>DIO : positive HW L<br>DIO : negative HW |
| DI03 (Reference cam)         | Keep device settings |              |               |       |  |

Homing Velocity Positioning Positioning Relative Caming Tracking TouchProbe SendObject

Positioning without referansrad annotar

Target position monit

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Start page Back Next

Tool start page MultiMotion [PLC (MOVI-PLC DHR41B (PROFINET))]

### Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip -

Stz Edit Add Delete Config Save Axis sets Track sets Add Delete Master-Slave Library Configuration settings

Overview Axis 1

Axis\_1  
Axis\_2  
Axis\_3

| Basic                   | User unit  | Limit switch | System limits  | Ramps      | Communication |
|-------------------------|------------|--------------|----------------|------------|---------------|
| System limits: Kolaväli |            |              |                |            |               |
| Max. system velo        | 1.500 /s   |              | 3054.122 RPM   |            |               |
| Max. system acce        | 3.000 /s^2 |              | 6108.244 RPM/s | 491.139 ms |               |
| Max. system dec         | 3.000 /s^2 |              | 6108.244 RPM/s | 491.139 ms |               |
| Lag error window        | 0.029      | Kolaväli     | 65536          | Inc        |               |

Homing Velocity Positioning Positioning Relative Caming Tracking TouchProbe SendObject

Target position monit

Continue relative m

Mode

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Start page Back Next

Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip

[Edit](#) [Add](#) [Delete](#) [Config](#) [Save](#) [Axis sets](#) [Track sets](#) [am data](#) [Add](#) [Delete](#) [Master-Slave](#) [Library](#) [Configuration settings](#)

Overview

Axis 1

Axis\_1  
Axis\_2  
Axis\_3

| Basic               | User unit | Limit switch    | System limits | Ramps | Communication |
|---------------------|-----------|-----------------|---------------|-------|---------------|
| Stop ramps:         |           | Kolavali        |               |       |               |
| Enable / stop       | 3.000     | /s <sup>2</sup> | 6108.244      | RPM/s | 491.139 ms    |
| Enable / rapid stop | 3.000     | /s <sup>2</sup> | 6108.244      | RPM/s | 491.139 ms    |

[Homing](#) [Velocity](#) [Positioning](#) [Positioning Relative](#) [Caming](#) [Tracking](#) [TouchProbe](#) [SendObject](#)

General Master Start Stop

Mode:

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG

Start page Back Next

MOVITool SEW MotionStudio

Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip

[Edit](#) [Add](#) [Delete](#) [Config](#) [Save](#) [Axis sets](#) [Track sets](#) [am data](#) [Add](#) [Delete](#) [Master-Slave](#) [Library](#) [Configuration settings](#)

Overview

Axis 2

Axis\_1  
Axis\_2  
Axis\_3

| Basic                | User unit | Limit switch | System limits | Ramps | Communication |
|----------------------|-----------|--------------|---------------|-------|---------------|
| Activate             |           | Yes          |               |       |               |
| Axis name            |           | Axis_2       |               |       |               |
| Drive type           |           | MOVIDRIVE B  |               |       |               |
| Axis type            |           | Modulo       |               |       |               |
| SBUS node type       |           | SBUS 1       |               |       |               |
| SBUS address         |           | 2            |               |       |               |
| Activate transparent |           | No           |               |       |               |

[Homing](#) [Velocity](#) [Positioning](#) [Positioning Relative](#) [Caming](#) [Tracking](#) [TouchProbe](#) [SendObject](#)

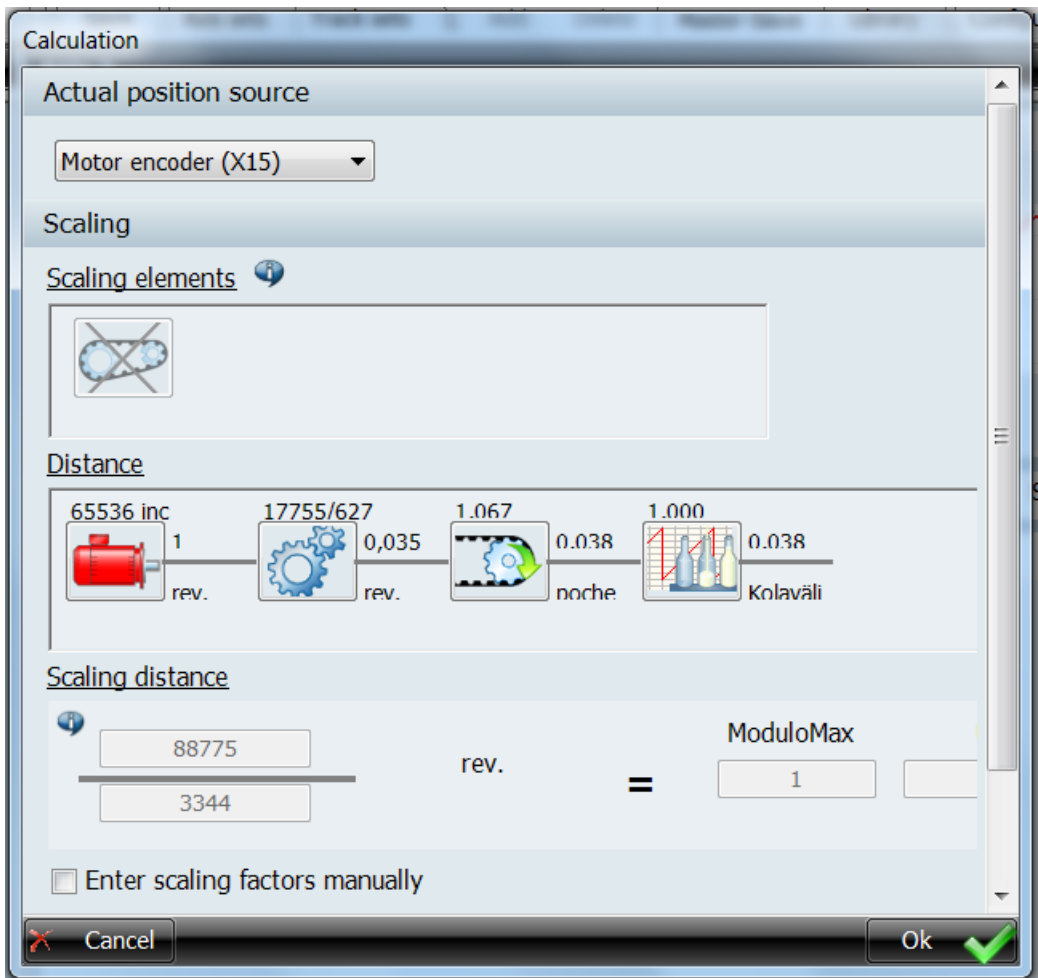
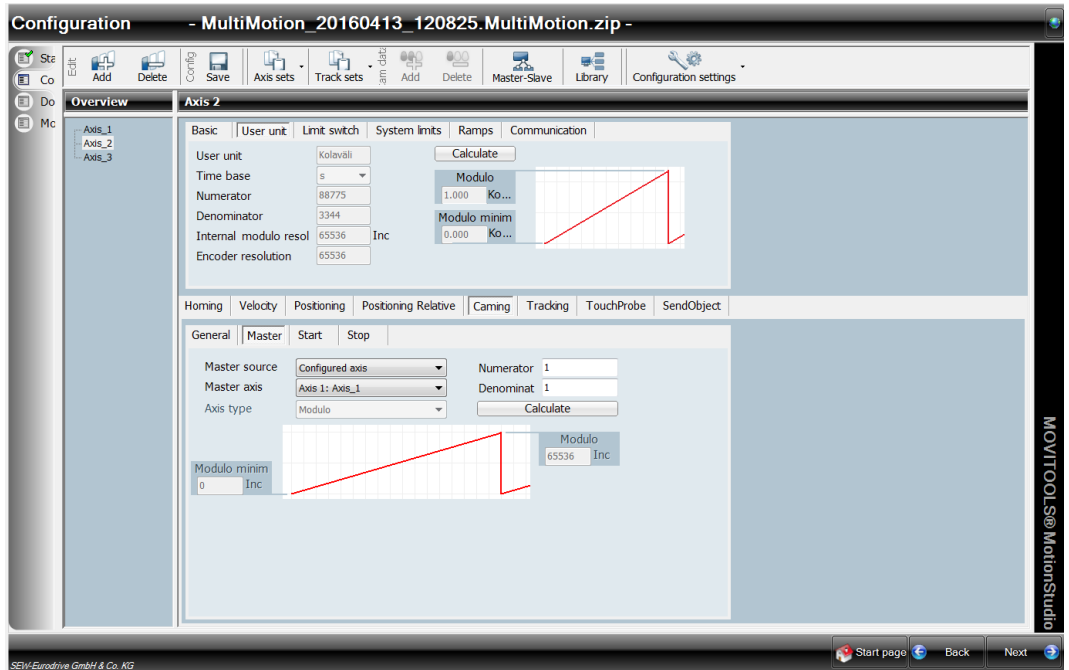
General Master Start Stop

Mode:

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG

Start page Back Next

MOVITool SEW MotionStudio



Tool start page MultiMotion [PLC (MOVI-PLC DHR41B (PROFINET))] Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip -

Stc Co Do Mc

Axis 2

Axis\_1  
Axis\_2  
Axis\_3

Basic User unit Limit switch System limits Ramps Communication

System limits: Kolavali

|                  |       |                 |          |       |            |
|------------------|-------|-----------------|----------|-------|------------|
| Max. system velo | 2.000 | /s              | 3185.706 | RPM   |            |
| Max. system acce | 5.000 | /s <sup>2</sup> | 7964.264 | RPM/s | 376.683 ms |
| Max. system dec  | 5.000 | /s <sup>2</sup> | 7964.264 | RPM/s | 376.683 ms |

Lag error window 0.038 Kolavali 65536 Inc

Homing Velocity Positioning Positioning Relative Caming Tracking TouchProbe SendObject

General Master Start Stop

Start event Start with "Master v"

Master value 32768 Inc

Start mode Absolute

Transition mode Master based

Transition type Optimized

Transition distanc 131072 Inc

MasterStartPositio 32768 Inc

Start delay distanc 0 Inc

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Start page Back Next

MOVI TOOL SEW MotionStudio

Tool start page MultiMotion [PLC (MOVI-PLC DHR41B (PROFINET))] Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip -

Stc Co Do Mc

Axis 2

Axis\_1  
Axis\_2  
Axis\_3

Basic User unit Limit switch System limits Ramps Communication

Stop ramps: Kolavali

|                     |       |                 |          |       |            |
|---------------------|-------|-----------------|----------|-------|------------|
| Enable / stop       | 5.000 | /s <sup>2</sup> | 7964.264 | RPM/s | 376.683 ms |
| Enable / rapid stop | 5.000 | /s <sup>2</sup> | 7964.264 | RPM/s | 376.683 ms |

Homing Velocity Positioning Positioning Relative Caming Tracking TouchProbe SendObject

General Master Start Stop

Stop event End with "Master va"

Master value 32768 Inc

Stop mode Absolute

Transition mode Master based

Transition type Optimized

Transition distanc 65536 Inc

MasterStopPositio 32768 Inc

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG Start page Back Next

MOVI TOOL SEW MotionStudio

Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG

Overview

Axis 3

Basic | User unit | Limit switch | System limits | Ramps | Communication

Activate: Yes  
 Axis name: Axis\_3  
 Drive type: MOVIDRIVE B  
 Axis type: Modulo  
 SBus node type: SBus 1  
 SBus address: 3  
 Activate transparent: No

Homing | Velocity | Positioning | Positioning Relative | Caming | Tracking | TouchProbe | SendObject

General | Master | Start | Stop

Master source: Configured axis  
 Master axis: Axis 1: Axis\_1  
 Axis type: Modulo

Numerator: 1  
 Denominator: 1  
 Calculate

Modulo minim: 0 Inc  
 Modulo: 65536 Inc

Start page | Back | Next

MOVITool@MotionStudio

Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG

Overview

Axis 3

Basic | User unit | Limit switch | System limits | Ramps | Communication

User unit: Kolavälli  
 Time base: s  
 Numerator: 5025  
 Denominator: 272  
 Internal modulo resol: 65536 Inc  
 Encoder resolution: 65536

Modulo: 1.000 Ko...  
 Modulo minim: 0.000 Ko...

Homing | Velocity | Positioning | Positioning Relative | Caming | Tracking | TouchProbe | SendObject

General | Master | Start | Stop

Start event: Start with "Master v"  
 Master value: 32768 Inc  
 Start mode: Absolute  
 Transition mode: Master based  
 Transition type: Optimized  
 Transition distanc: 131072 Inc  
 MasterStartPositio: 32768 Inc  
 Start delay distanc: 0 Inc

Start page | Back | Next

MOVITool@MotionStudio

Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip -

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG

MOVITool SEW MotionStudio

Overview

Axis 3

Basic | User unit | Limit switch | System limits | Ramps | Communication

System limits: Kolaväli

|                  |       |                 |          |       |         |    |
|------------------|-------|-----------------|----------|-------|---------|----|
| Max. system velo | 3.000 | /s              | 3325.368 | RPM   |         |    |
| Max. system acce | 7.200 | /s <sup>2</sup> | 7980.882 | RPM/s | 375.898 | ms |
| Max. system dec  | 7.200 | /s <sup>2</sup> | 7980.882 | RPM/s | 375.898 | ms |

Lag error window 0.054 Kolaväli 65536 Inc

Homing | Velocity | Positioning | Positioning Relative | Caming | Tracking | TouchProbe | SendObject

General | Master | Start | Stop

Stop event End with "Master va" ▾

Master value 32768 Inc

Stop mode Absolute ▾

Transition mode Master based ▾

Transition type Optimized ▾

Transition distanc 65536 Inc

MasterStopPositio 32768 Inc

Start page Back Next

Configuration - MultiMotion\_20160413\_120825.MultiMotion.zip -

SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG

MOVITool SEW MotionStudio

Overview

Axis 3

Basic | User unit | Limit switch | System limits | Ramps | Communication

Stop ramps: Kolaväli

|                     |       |                 |          |       |         |    |
|---------------------|-------|-----------------|----------|-------|---------|----|
| Enable / stop       | 7.200 | /s <sup>2</sup> | 7980.882 | RPM/s | 375.898 | ms |
| Enable / rapid stop | 7.200 | /s <sup>2</sup> | 7980.882 | RPM/s | 375.898 | ms |

Homing | Velocity | Positioning | Positioning Relative | Caming | Tracking | TouchProbe | SendObject

General | Master | Start | Stop

Stop event End with "Master va" ▾

Master value 32768 Inc

Stop mode Absolute ▾

Transition mode Master based ▾

Transition type Optimized ▾

Transition distanc 65536 Inc

MasterStopPositio 32768 Inc

Start page Back Next

Liite 3. Ohjauspaneelin layout-kuvat



