



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄHKÖMOOTTORIKUORMITTEISEN AKKUJENTESTAUSJÄRJESTELMÄN OHJAUSOHJELMAN KEHITTÄMINEN JA AKKUMITTAUKSET

TEKIJÄ/T: Joonas Jokinen

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Automaatiotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t)			
Joonas Jokinen			
Työn nimi			
Sähkömoottorikuormitteisen akkujentestausjärjestelmän ohjausohjelman kehittäminen ja akkumittaukset			
Päiväys	27.05.2014	Sivumäärä/Liitteet	51/3
Ohjaaja(t)			
Markku Kosunen, Markku Halttunen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Savonia-ammattikorkeakoulu, VARKAUS			
Tiivistelmä			
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoululle osana Tekesin – teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen rahoittamaa EVE ohjelmaa, jonka tavoitteena on sähköajoneuvoihin liittyvän tutkimuksen kehittäminen ja Suomen kilpailukyyn varmistaminen osana valtakunnallista sähköajoneuvojen tutkimus ja kehitys organisaatiota. Opinnäytetyön aiheena oli sähköajoneuvojen akustojen testaukseen suunnitellun laitteiston ohjausohjelman jatkokehitys ja akkumittaukset.</p> <p>Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin perehtymällä testauslaitteistoon. Vaihdettiin väliaikaisen induktiomootorin tilalle aiemmin hankittu servomootori ja tehtiin tarvittavat laitehankinnat. Akuston lataukseen ja akkumittauksiin käyttöönotettiin CAN-väyläkäyttöinen akkulaturi. Ohjausohjelman kehitys aloitettiin sillä, että yhteensovitettiin laitteistomuutokset nykyiseen ohjausohjelmaan ja kehitettiin edelleen suunnittelun kautta.</p> <p>Tämän opinnäytetyön lopputuloksena saatiin kehitettyä ohjausohjelmaa ja saatiin hyödyllistä lisätietoa akkujentestausjärjestelmän lisäkehitykseen.</p>			
Avainsanat			
Sähköajoneuvo, Sähkömoottori, Taajuusmuuttaja, CAN-väylä, Akku, Akkulaturi, LabVIEW			

Field of Study			
Technology, Communication and Transport			
Degree Programme			
Degree Programme in Automation Technology			
Author(s)			
Joonas Jokinen			
Title of Thesis			
Developing Control Program of Electric Motor Loaded Testing System for Secondary Batteries and Battery Measurements			
Date	27.05.2014	Pages/Appendices	51/3
Supervisor(s)			
Markku Kosunen, Markku Halttunen			
Client Organisation /Partners			
Savonia UAS, VARKAUS			
Abstract			
<p>This thesis was made for Savonia University Of Applied Sciences as a part of EVE project which is funded by Tekes – the Finnish Funding Agency for Innovation, with the goal of developing research concerning electrical vehicles and ensure Finnish competitiveness as a part of a national electrical vehicle research and development organization.</p> <p>Topic of this thesis was Developing Control Program of Electric Motor Loaded Testing System for Secondary Batteries and Battery Measurements. The thesis was started by studying testing system. Temporary induction motor was changed to more accurate servomotor and necessary device purchases were made. To charge and measure accumulation battery, battery charger which uses can-bus was taken to use. Developing of control program was started by coordinating system changes to existing control program and was further developed through designing.</p> <p>The result of this thesis was that control program was developed ahead and useful additional information about the battery test system for further development was collected.</p>			
Keywords			
Electric vehicle, Electric motor, Frequency changer, Rechargeable battery, Battery charger, CAN bus, LabVIEW			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	EVELINA	8
2.1	Toiminta.....	8
2.2	Toiminnan osa-alueet.....	9
3	SÄHKÖMOOTTORI.....	10
3.1	Induktiomoottori.....	10
3.2	Servomoottori.....	11
3.3	Kestomagneettitahtimoottori.....	12
4	TAAJUUSMUUTTAJA	13
4.1	Taajuusmuuttajan rakenne ja toimintaperiaate	14
5	AKKU.....	15
5.1	Akun toimintaperiaate ja rakenne	15
5.2	Akut sähköajoneuvokäytöissä	16
6	CAN-VÄYLÄ	17
6.1	Ominaisuudet	18
6.1.1	CAN-viestien sanomakehykset.....	19
7	CANOPEN	20
7.1	CANopen protokollat	21
7.1.1	NMT protokollat	21
7.1.2	SDO (Service Data Object) protokolla	22
7.1.3	PDO (Process Data Object) protokolla	23
7.1.4	SYNC (Synchronization Object)protokolla	23
7.1.5	TIME (Time Stamp Object) protokolla.....	23
7.1.6	EMCY (Emergency Object) protokolla	23
8	OPINNÄYTETYÖSSÄ APUNA KÄYTETYT SOVELLUKSET	24
8.1	AutoCAD ja Inventor	24
8.2	LabVIEW	24
9	TESTAUSLAITTEISTO	26
9.1	Sähkömoottorit.....	27
9.2	ABB laitteistot.....	28
9.3	LABVIEW moduulit	29

KUVA 7 LABVIEW:in moduuleilla toteutetut ohjauskytkennät.....	29
9.4 Ohjausohjelma.....	30
9.5 Akusto.....	31
9.6 Sähkönsyötöt.....	31
10 TESTAUSLAITTEISTON TOTEUTUKSEN SUUNNITTELU	32
10.1 Konesuunnittelu.....	33
11 MOOTTORIKÄYTÖN TOTEUTUS	34
11.1 Servomoottorin asennus.....	34
11.2 Moottorin enkooderin asennus	36
11.3 Taajuusmuuttajan konfigurointi	38
12 OHJAUSOHJELMAN KEHITTÄMINEN	39
13 AKKULATURIN KÄYTTÖÖNOTTO	41
13.1 Ohjelmointi.....	42
13.2 Akkulaturin ohjausohjelma.....	43
14 YHTEENVETO.....	44
15 LÄHTEET	46

LIITTEET

LIITE 1 Akkulaturin ohjausohjelman lohkokaavio

LIITE 2 CANopen lohkokaavio

LIITE 3 Akkujentestausjärjestelmä, Varkaus

1 JOHDANTO

Eletään aikaa jolloin energian kulutus maailmassa on korkeammalla kuin koskaan ennen. Fossiilisten polttoaineiden korkean kulutuksen, kasvavan hinnan ja syntyvien saasteiden vuoksi on ryhdytty toimenpiteisiin, joissa fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään vähentämään ja mukaan ottamaan vähemmän ympäristöä kuormittavia energiaratkaisuja.

Tulevaisuutta silmällä pitäen on ajoneuvoteollisuus ja erilliset organisaatiot lähteneet kehittämään erilaisia päästöjä vähentäviä energiaratkaisuja ajoneuvokäytössä. Hybridi ajoneuvoissa tavanomaisen polttomoottorin rinnalle on tuotu sähkömoottori, joka osaltaan laskee kokonaispäästöjen määrää liikenteessä. Markkinoille on myöskin tuotu jo ajoneuvoja jotka toimivat täysin sähköenergialla.

Ongelmana toistaiseksi sähköajoneuvoissa on niiden korkea hinta. Tutkimus ja kehitys on tärkeää, jotta saadaan markkinoille toimivia sähköajoneuvo ratkaisuja joita voidaan sitten tuottaa suuria määriä ja näin saada yksittäishintoja laskettua.

Suomessa toimiva EVE on teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen – Tekesin rahoittama hanke, jossa pyritään yhteistyöhön erinäisten yritysten ja tutkijoiden kanssa, jolla pyritään luomaan Suomeen sähköajoneuvojen kehitys ja tutkimus konstruktio, joka on kilpailukykyinen myöskin kansainvälisellä mittakaavalla.

EVELINA on osa Tekesin EVE ohjelman rahoittamasta testiympäristöstä, missä testataan sähköajoneuvoja erilaisissa toimintaympäristöissä ja olosuhteissa. Mukana on yrityksiä ja tutkimuslaitoksia kautta maan. Kehityksellä ja tutkimuksella pyritään synnyttämään Suomeen uutta liiketoimintaa.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden yksikköön kuuluvaksi EVELINA hankkeen ajoneuvot osioon, missä vetäjänä toimii Risto Niemi. Savonia-ammattikorkeakoulun Kuopion ja Varkauden yksiköistä molemmista löytyy vastaavanlaiset akkujentestausjärjestelmät sekä sähköajoneuvot joiden avulla tutkimusta ja kehitystä ylläpidetään. Opinnäytetyön aiheena oli akkujentestausjärjestelmän ohjausohjelman kehittäminen ja akkumittaukset.

+

2 EVELINA

EVELINA on yksi Tekesin(Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus) EVE -ohjelman rahoittamasta testiympäristöstä. Ohjelmalla pyritään parantamaan suomalaisten yritysten sähköisiin ajoneuvoihin ja työkoneisiin liittyvää liiketoimintaa ja näin varmistamaan Suomen kilpailukykyä tälläkin kehityksen saralla osana kansainvälistä tutkimus- ja kehitysorganisaatiota. (EVELINA.)

2.1 Toiminta

Toiminnan tavoitteena on sähköajoneuvojen testaus erilaisissa olosuhteissa ja toimintaympäristöissä. Viiden vuoden aikana tutkitaan sähköajoneuvojen vaikutusta liikenteeseen, tuotantoon sekä energian jakeluun testiympäristössä. Myöskin sähköajoneuvojen huolto- ja palvelurakennetta edistetään.

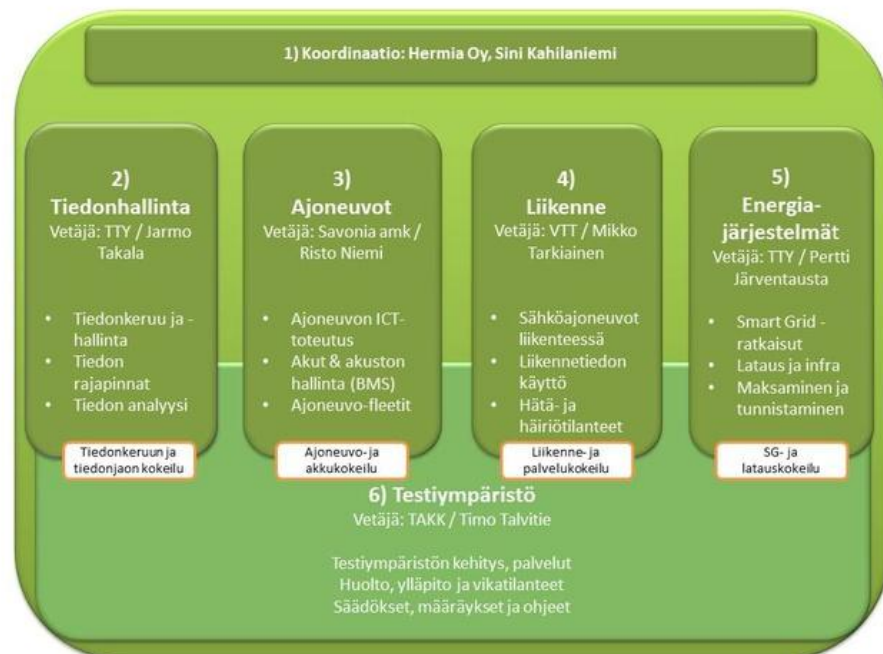
Tarkoitus on saada rakennettua valtakunnallinen sähköajoneuvojen testausympäristö joka on avoin, laaja ja joustava. Ajoneuvoja testataan monipuolisesti eri käyttökohteiden lisäksi myöskin huomioiden ympäristön vaihtelevuus sääolosuhteet mukaan lukien. Tavoitteena on yhteistyön kehitys laaja-alaisesti Suomessa ja myöskin ulkomailla.

Toiminnalla luodaan uutta liiketoimintaa, parannetaan sähköajoneuvokäyttöön liittyviä palveluita, tutkitaan mahdollisia esteitä ja sähköajoneuvokäytön mukanaan tuomia mahdollisuuksia toimivan kokonaisuuden aikaansaamiseksi. (EVELINA.)

2.2 Toiminnan osa-alueet

EVELINA on jakautunut seuraaviin viiteen eri toiminnan osa-alueeseen:

- Koordinaatio
- Tiedonhallinta
- Ajoneuvot
- Liikenne
- Energia-järjestelmät



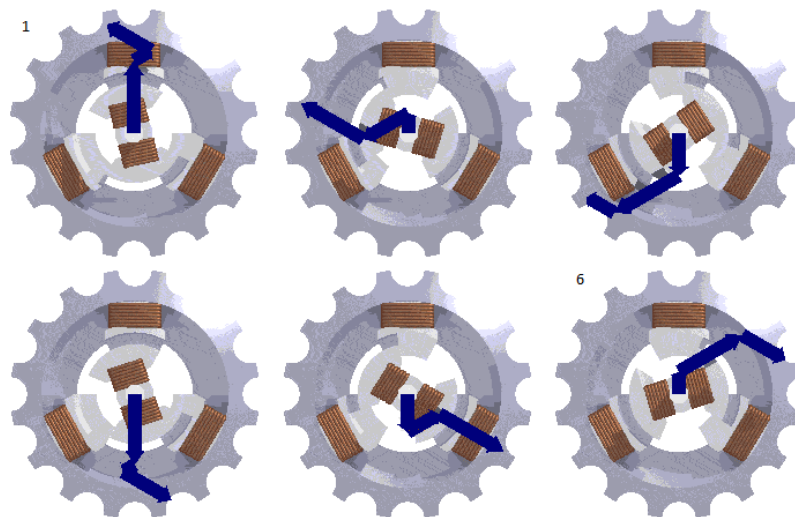
KUVIO 1 EVELINA-hankkeen osa-alueet (Kuvakaappaus EVELINA)

Tämä työ liittyy Ajoneuvot –osioon missä vetäjänä on Risto Niemi. Savonia-ammattikorkeakoululla on kaksi testauslaitteistoa, toinen Kuopiossa ja toinen Varkaudessa, lisäksi yksiköistä löytyy Tazzari Zero ja THINK City sähköajoneuvot, sekä sähkömoottoripyörä.

3 SÄHKÖMOOTTORI

Sähkömoottori on sähköllä toimiva moottori, joka muuntaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi. Sähkön avulla käämien väliin aikaansaadaan magneettikenttä ja sopivalla taajuudella, sen napaisuutta muuttamalla saadaan pyörimisliike synnytettyä. Yleisesti sähkömoottoreista ja generaattorista käytetään nimitystä sähkökoneet. (Wikipedia a.)

Toiminta sähkömoottoreilla perustuu siihen, että magneettisuus saadaan kytkettyä päälle ja pois. Sähkömagneetti aikaansaadaan syöttämällä johtimeen virtaa. Syntyntä heikkoa magneettisuutta voidaan kasvattaa kiertämällä johdinta rullalle. Kun muodostuneen kelan sisällä on magnetisoituva sydän, myös sydän magnetisoituu. Useimmiten sydän on valmistettu raudasta. Magneetti tarvitaan moottorissa niin pyörivään osaan eli roottoriin, kuin myös paikallaan pysyvään osaan eli staattoriin.



KUVIO 2 Vaihtosähkön taajuudella magneettikenttä siirtyy navasta toiseen. Pyörimistä esitetty voimavektoreilla. (Kuvakaappaus Wikipedia a.)

3.1 Induktiomoottori

Induktio eli oikosulkumoottori on teollisuudessa yleisimmin käytetty moottorityyppi. Oikosulkumoottoria voidaan käyttää suoraan verkossa tai taajuusmuuttajasyötteenä. Oikosulkumoottorissa magnetomotorisen voiman synnyttää staattorin uriin jaettu käämitys, joka indusoi roottorin oikosuljettuun häkkikäämiin sähkövirran. Tämä magneetoi roottorin ja muodostaa sille magneettikentän, joka pyrkii vastustamaan staattoriin synnytettyä pyörivää magneettikenttää. Muodostuva magneettivastus aikaansaa moottoria pyörittävän voiman. Staattorista magnetointi aiheuttaa sen, että moottorin tehokerroin on usein <1 , tyypillisesti noin 0.8. Oikosulkumoottorin roottori pyörii eri tahdissa staattorin syöttötaajuuteen nähden ja tämän vuoksi oikosulkumoottoria kutsutaan myös usein epätahtikoneeksi tai asynkronikoneeksi. Oikosulkumoottorin roottorin ja staattorin syöttötaajuuden eroa kutsutaan jättämätaajuudeksi. Tuotettu vääntömomentti on nimellistoimintapisteen tuntumassa verrannollinen jättämään. (Wikipedia b.)

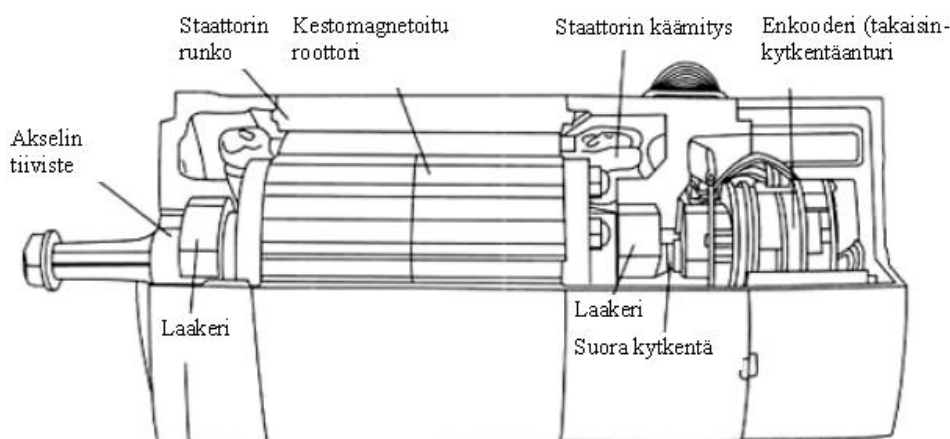
3.2 Servomoottori

Servomoottori on sähkömoottori, jossa saadaan mitattua akselin tarkka kulmatieto anturin avulla. Nykyään useat servomoottorit sisältävät pulssityyppisen anturin. Servomoottorit sisältävät myöskin servo-ohjaimen joka vertaa saatua kulmatietoa haluttuun ja ohjaa näin moottorin liikettä. (Wikipedia c.)

Ensimmäisissä servomoottori sovelluksissa, joita käytettiin toisen maailmansodan aikana mm. tutkalaitteistoissa sisältyivät vastus potentiometrejä akselin asennon mittaukseen. Servomoottoria käytetään robotiikassa, CNC-koneistuksessa(Computerized Numerical Control) eli tietokoneistetussa numeraalisessa ohjauksessa ja muissa automatisoiduissa järjestelmissä, jotka vaativat tarkkuutta ja akselin kulmatietoa. Servomoottoreita on toimintaperiaatteeltaan monenlaisia mm. AC-servomoottori, sekä harjallinen- ja harjaton DC-servomoottori. (Wikipedia c.)

Aiemmat servomoottorit olivat usein tyypiltään DC-moottoreita, koska virran säätäminen oli mahdollista vain SRC:n avulla(Silicon-Controlled Rectifier). Transistoreiden kehityksen myötä on myös vaihtovirtaservomoottorien käyttö yleistynyt. Vaihtovirtaservomoottoreita voi olla joko tahti- tai epätahtimoottorikäyttöön perustuvia. Epätahtimoottoreissa(asynkronimoottori) moottorin jättämän kautta syntyy vaihteleva magneettivuo, joka synnyttää roottorin oikosulkutangoissa virran ja magneettikentän. Tahtimoottoreissa taas vaadittava magneettikenttä synnytetään kestopagneettien avulla. Kestomagneettien käytön takia tahtimoottoreissa on rajallinen maksimitehoraja, kun taas epätahtimoottorissa ei ole maksimitehorajoitusta, mutta se tarvitsee puolestaan tarkan kulmatiedon mittaamisen joka on tyypillisesti noin 2500 pulssia / kierros). Alla näkyvässä kuviossa on esiteltyä tyypillisen kestopagneetisoidun servomoottorin rakenne.

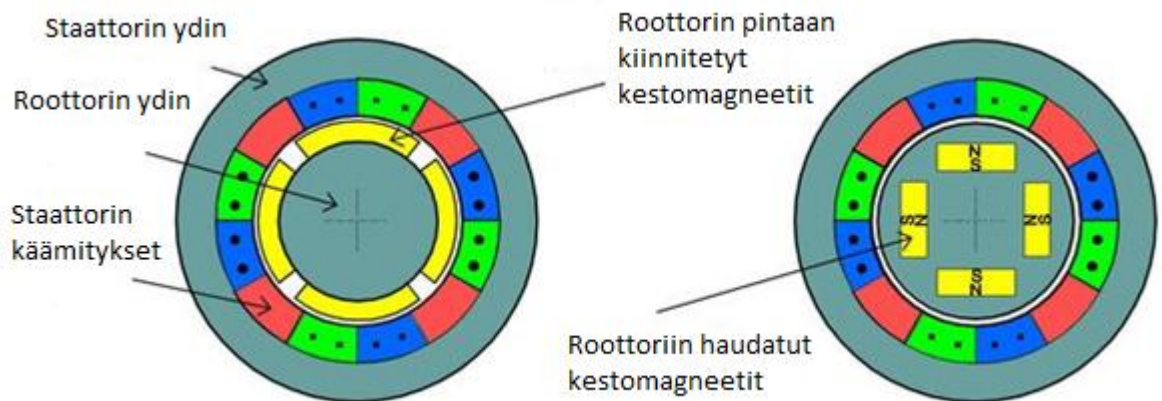
(Halme 2005, 5-6)



KUVIO 3 Kestomagneetoitu servomoottori (Kuvakaappaus Halme 2005)

3.3 Kestomagneettitahtimoottori

Kestomagneettitahtikoneessa koneen roottori on kestmagnetisoitu. Kestomagneettitahtikoneet voidaan jakaa pinnalta ja sisäisesti kestmagnetisoituihin koneisiin. Pinnalta kestmagnetoidussa koneessa magneetit ovat liimattuna staattorin pintaan ja sisäisillä kestmagneeteilla varustetussa koneessa kestmagneetit sijaitsevat roottorilaminoinnin sisällä.



KUVIO 4 Kestomagneettitahtikoneiden magnetoinnit (Kuvakaappaus Universität Paderborn)

Pintamagneettikone on tarkasteltaessa magneettisilta ominaisuuksiltaan melko symmetrinen, kun taas upotetuin magneetein varustetussa koneessa magneettiset ominaisuudet riippuvat paljolti tarkastelukulmasta. Upotetuin magneetein varustetussa koneessa tyypillisesti on pienempi induktanssi eli moottorin kelan kyky vastustaa virranmuutosta pitkittäisakselin kuin poikittaisakselin suunnassa.

Tyypillisesti hyötysuhde on parempi kestmagneettikoneilla kuin induktiokoneilla johtuen siitä, että niiden roottorissa ei juurikaan tapahdu häviöitä. Ominaisuudet kestmagneettikoneilla ovat erityisen otolliset pienillä pyörimisnopeuksilla, sillä moninapaisten kestmagneettikoneiden ominaisuudet eivät huonone samalla tavalla pyörimisnopeuden hidastuessa, kuin induktiokoneella. Tämä ominaisuus on mm. mahdollistanut sen että suoravetokäytöissä käytetyt alennusvaihteelliset induktiokoneet on voitu suoraan korvata toimilaitteeseen kytketyllä hitaasti pyörivällä kestmagneettikoneella.

Kestomagneettitahtimoottoreita käytetään usein sähköautojen moottoreina koska on etsitty ratkaisuja rakentaa moottori sähköautokäyttöille ilman vaihteistoa. Kestomagneettitahtimoottorilla voidaan saavuttaa hyvä vääntömomentti jo pienillä nopeuksilla, mutta maksiminopeutta rajoittaa magneettien kiinni pysyminen roottorissa.

Harjattomat tasavirtamoottorit ovat rakenteeltaan hyvin lähellä kestmagneettitahtimoottoreita. (Metropolia ammattikorkeakoulu)

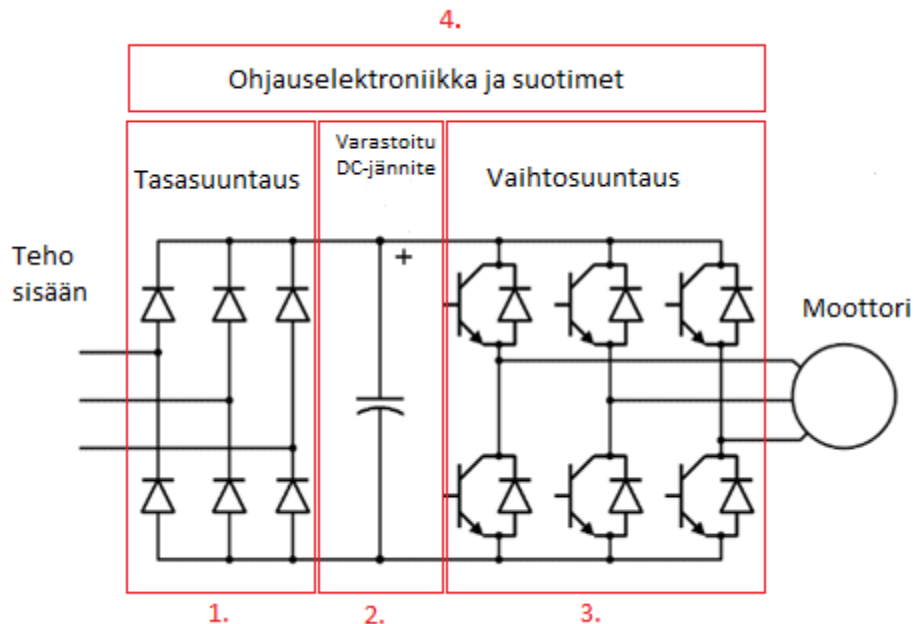
4 TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttaja (myöskin taajuudenmuuttaja, invertteri, moottorivaihtosuuntaaja) on laite joka kytketään kahden sähköverkon välille. Sähköverkoissa jännitteen taajuus ja amplitudi voivat poiketa. Yleisimmin taajuusmuuttajaa käytetään valtakunnallisen sähköverkon ja sähkögeneraattorin tai sähkömoottorin välissä. Näissä tapauksissa taajuusmuuttaja on osa generaattori- tai moottorikäyttöä ja vastaa niiden ohjauksesta.

Sähkömoottorikäyttö käsitteenä pitää sisällään sähkömoottorin ohjauslaitteiston ja sähköverkon. Moottorikäytön avulla saadaan sähkömoottori pyörimään prosessin vaatimalla tavalla, jolloin saadaan prosessia huomattavasti tehostettua. Ilman moottorikäyttöä, kytkettäessä sähkömoottori suoraan sähköverkkoon pyörii se sähköverkon taajuuden määräämällä nopeudella. Ilman taajuusmuuttajaa jouduttisiin käyttämään muita apukeinoja esimerkiksi kuristimia tai vaihteistoa. Taajuusmuuttajaa pystytään käyttämään prosessin ohjauksen vaatimalla tavalla, taajuutta säätämällä ja tarpeen mukaan, jolloin energian säästö kasvaa. Tämä onkin suurimpia etuja taajuusmuuttajakäytössä. Verrattaessa edellä mainittuihin muihin apukeinoihin voi taajuusmuuttajakäytöllä energiasäästöt nousta jopa yli 50%. Tästä syystä taajuusmuuttajakäytöt ovatkin lisääntyneet räjähdysmäisesti viime vuosikymmeninä. Taajuusmuuttajalla voidaan myöskin vähentää käyttölaitteistoon ja sähköverkkoon kohdistuvaa rasitusta esimerkiksi erilaisissa kiihdytys ja hidastus tilanteissa.

Taajuusmuuttajia voidaan käyttää useissa teollisuuden vaihtosähkömoottori sovelluksissa. Tyypillisimpinä näistä ovat pumppu, puhallin, kuljettimet, paperikoneiden voimansiirto, laivojen potkurikäyttö, sähköautot ja tuulivoimalat. Yleisesti siis kaikki vaihtosähköpohjaiseen voimansiirtoon lukeutuvat laitteistot. Taajuusmuuttajia on saatavilla niin pieni- kuin isotehoisiin sovelluksiin. (Wikipedia d; ABB)

4.1 Taajuusmuuttajan rakenne ja toimintaperiaate



KUVIO 5 Taajuusmuuttajan rakenne (Kuvakaappaus Hedman 2009)

KUVIOSTA 5 nähdään taajuusmuuttajan rakenne. Taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta(1), välipiiristä(2), vaihtosuuntaajasta(3), ohjauselektronikasta ja suotimista(4).

1. Tasasuuntaajan tehtävänä on muuntaa sähköverkon syöttämä vaihtosähkö(AC) -tasasähköksi(DC). Muunnos on usein hoidettu 6-pulssisella diodisillalla.
2. Taajuusmuuttajat usein sisältävät välipiirin, mutta on myös malleja, joissa syöttö tapahtuu suoraan ilman välipiiriä. Välipiirin tehtävänä on toimia energiavarastona ja yleisimpänä ratkaisuna on jännitevälipiiri, eli kondensaattoripatteri. Välipiiri sisältää myös usein kuristimen, joka kompensoi tasasähkön muutoksia.
3. Vaihtotasasuuntaus vaiheessa muutetaan välipiiriltä saatu tasasähkö moottorin tarvitsemaksi vaihtosähköksi, halutulla taajuudella.
4. Ohjauselektronikka ja suotimet ohjaavat taajuusmuuttajan ohjausmenetelmiä, jotka mitoitetaan taajuusmuuttajalta vaadittavien ominaisuuksien mukaan. Yksinkertaisimpana skalaarisäätö, missä ohjaus perustuu vaihtosuuntaajan lähtötaajuuden säätämiseen. Vektorisäädössä säädetään koneen käämiä ja väntömomenttia erikseen ja DTC säädössä säädettäviä suureita ovat koneen momentti ja käämiä. (Hedman 2009, 3)

5 AKKU

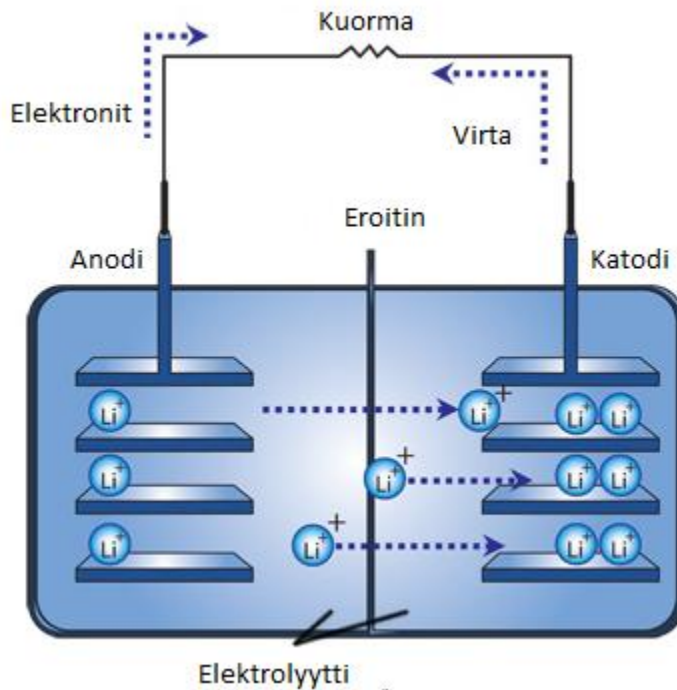
Akku on laite joka varastoi energiaa sähkökemiallisessa muodossa. Sanaa akku voidaan melko yleisesti käyttää, kun energiaa hetkellisesti säilötään johonkin. Ladattaessa akkua muuttuu syötetty sähköenergia akussa kemiallisen prosessin kautta kemialliseksi energiaksi ja puolestaan akkua purettaessa kemiallinen energia muuttuu takaisin sähköenergiaksi. (TTY.)

Vaikka akut ovat teoriassa toimintaperiaatteeltaan yksinkertaisia, on siltikin olemassa vain kourallinen hyväksi todettuja akkutyyppejä, sillä akkujen kehittämisprosessi on pitkälinen. Kehityksessä tulee huomioida monta eri näkökohtaa joiden pitää sovittua toimivan lopputuloksen saavuttamiseksi. Aluksi hyvältäkin vaikuttava ratkaisu voi kaatua joihinkin näihin seikkoihin. Koko, paino, energian varastointikyky; ovat kaikki huomioonotettavia asioita kehityksessä. Tekniikan kehittyessä laajempia toimintakokonaisuuksia halutaan saada kompaktiin ja keveään muotoon, mikä asettaa haasteen akkujen kehitykselle. Muita huomioitavia seikkoja suunniteltaessa ovat turvallisuus, käyttöikä, valmistutapa, hinta ja ympäristöystävällisyys. (TTY.)

Akuissa käytettyjä materiaaleja ovat mm. lyijy(Pb), litium(Li), nikkeli(Ni), rauta(Fe), hopea(Ag) ja sinkki(Zn).

5.1 Akun toimintaperiaate ja rakenne

Akku koostuu kahdesta elektrodista, anodi ja katodi, sekä elektrolyytistä eli väliaineesta. Väliaineen tehtävänä on erottaa elektrodit ja sallia ionien liikkumisen näiden välillä. Pääasialliset kemialliset reaktiot, eli hapettumis ja pelkistymisreaktiot syntyvät elektrolyytin ja elektrodien rajapinnoissa. Akun purkautuessa anodilta vapautuu hapettumisen yhteydessä elektroneja. Hapettumisen yhteydessä vapautuneet negatiiviset elektronit siirtyvät ulkoisen piirin kautta positiivisesti varautuneelle katodille, mikä saa aikaan sähkövirran. Pelkistyminen tapahtuu kun katodilla olevat ionit vastaanottavat elektroneja. Akkua ladattaessa reaktiot toimivat vastakkaiseen suuntaan. KUVIO 6 havainnollistaa kappaleessa mainittua akun toimintaperiaatetta.



KUVIO 6 Lithium-ioni akun toimintaperiaate purettaessa (Kuvakaappaus How Stuff Works 2006)

Käytännössä akut koostuvat kennoista. Näitä kennoja sarjaan kytkemällä saadaan muodostettua sopiva käyttöjännite akulle. Kennojen rakenne myöskin vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan mutta periaate on sama. (TTY.)

5.2 Akut sähköajoneuvokäytössä

Sähköautoissa käytettäviä akkuja ovat muun muassa Litiumioniakku, litiumionipolymeeriakku, LiFePO₄-litiumakku ja harvinaisempina sulasuola- ja sinkki-ilma-akut. Käytöstä pois ovat jäämässä lyijyakku, nikkelikadmiumakku(NiCd) ja nikkelimetallihydridiakku(NiMH). Kadmium akkujen käyttö on kielletty ympäristösyistä. Sähköautoissa kallein osa on usein akusto. Akkujen valmistus on kallista mutta tulevaisuudessa, kun sähköautoja ja muita sähköajoneuvoja aletaan tuottamaan massoittain akkujen hinta laskee merkittävästi. Tämän hetken parhaimmilla kaupallisesti ladattavilla akuilla (litiumpolymeeriakuilla) on energiatiheys 0,72 MJ/kg. Lämpöarvo bensiinillä on 43 MJ/kg. Huomioiden bensiinikäyttöisen auton hyötysuhde (0,15-0,20), voidaan todeta että bensiinikäyttöisessä autossa samanpainoisella energialatauksella on käytettävissä kymmenkertainen määrä energiaa liikkumiseen ja auton oheislaitteisiin. Akkuteknologia on 1900-luvun lopulta lähtenyt huomattavaan nousuun, nykyisin akulta vaadittavien ominaisuuksien myötä. On todennäköistä että akkuteknologian kehitys kiihtyy jatkossa entisestään sähköajoneuvojen akustoihin kohdistuvan tutkimustyön kautta. Tällä hetkellä markkinoilla olevien litiumakkujen käyttöönotto on teknisesti haastavampaa, kuin lyijyakkujen. Litiumakut ovat herkempiä ja täydellisesti purkautunutta litiumakkua ei pystytä enää lataamaan. Lisäksi ylikuumentuessa litiumioniakut ajautuvat

epävakaaseen tilaan ja voi pahimmillaan räjähtää. Vakain litiumakuista on LiFePO₄-litiumakku. Johtuen litiumakkujen herkistä ominaisuuksista täytyy niiden lataustasoa valvoa tarkasti kennotasolla ja ne tarvitsevat myös jäähdytysjärjestelmän osakseen. Vaikkakin nämä toimet mutkistavat laitekokonaisuutta ja lisäävät sähköajoneuvon hintaa voidaan tällä kehityssuunnalla kuitenkin saavuttaa riittävä etu kustannuksiin nähden. (Wikipedia d.)

6 CAN-VÄYLÄ

CAN-väylä(CAN bus) on automaatiöväylä, jonka käyttökohteina ovat nykyisin ajoneuvot, koneet ja teollisuuslaitteet. Alun alkaen CAN-väylä on suunniteltu autojen hajautettujen ohjausjärjestelmien välittömään tiedonsiirtoon. Verrattaen yksinkertaisen rakenteensa takia CAN-väylän toiminta on luotettava ja se sietää hyvin erilaisia vikoja ja häiriöitä. CAN-väylää voidaan periaatteessa soveltaa mihin tahansa sovellukseen, missä vaatimuksena on reaaliaikainen tiedonsiirto. Luonteeltaan CAN-väylä on usean isännän väylä, jolla liikenne välittyy kaikille asemille. CAN-väylällä käytetyt siirtonopeudet ja fyysiset pituudet ovat esitettyinä alla näkyvässä taulukossa. (Kianto 2000)

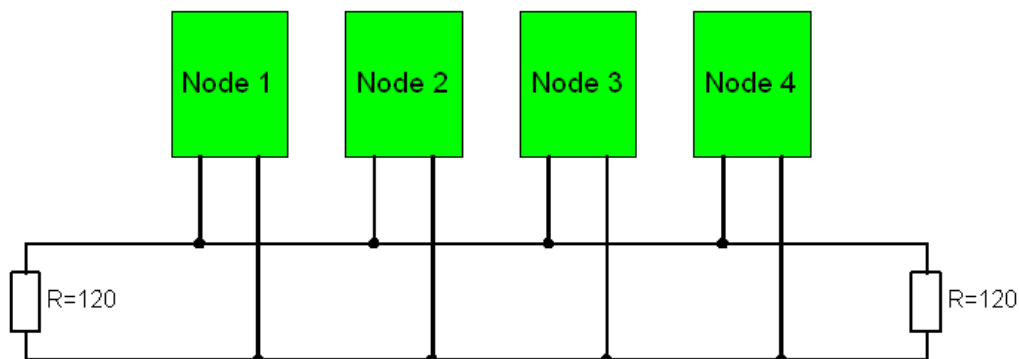
Low-CAN<125 kbit/s ja Hi-CAN 1Mbit/s. Näiden kahden suurin ero on siirtonopeudessa. Low-CAN:ssä myöskin vikasietoisuus on parempi kuin Hi-CAN:ssä. (Kianto 2000)

TAULUKKO 1. CAN-väylän fyysiset pituudet eri väylänopeuksilla. (Kianto 2000)

1 Mbit/s	30 m
800 kbit/s	50 m
500 kbit/s	100 m
250 kbit/s	250 m
125 kbit/s	500 m
62.5 kbit/s	1 km
20 kbit/s	2 km
10 kbit/s	5 km

CAN-väylän topologia eli rakenne on bus-tyyppiä. Tämä tarkoittaa sitä, että väylä kulkee jokaisen laitteen kautta ja päätetään päätevastuksilla (KUVIO 7). Väylään liitettyjen solmujen lukumäärä vai parhaimmillaan olla yli 100. Tämä on mahdollista, kun lähetin ja vastaanotin on toteutettu samalla

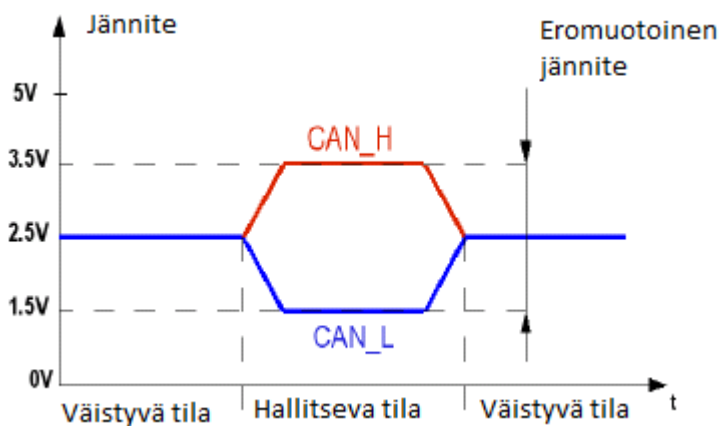
piirillä. Solmujen määrää voidaan lisätä toistimilla, mutta silloin myös siirtotien viive lisääntyy ja väylän enimmäispituus lyhenee. Lähettimen ja vastaanottimen kytkentää parantamalla ei voida vaikuttaa väylän maksimi pituuteen vaan se määräytyy siirtotien viiveen mukaan. (Kianto 2000)



KUVIO 7 CAN-väylän rakenne.(Kuvakaappaus Sprut)

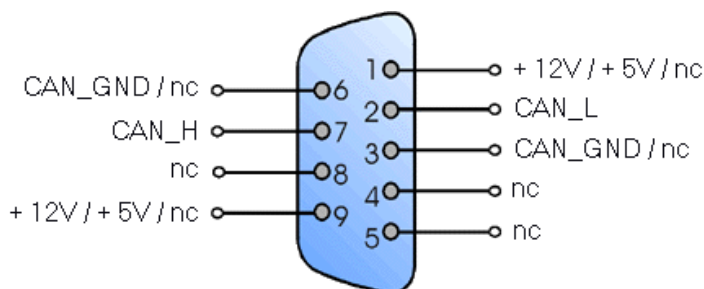
6.1 Ominaisuudet

CAN-väylä koostuu kierretystä parikaapelista, missä maksimissaan on 40 kierrosta metrille. Väylä voidaan myöskin toteuttaa optisella kuidulla. Väylä jaetaan käsitteisiin CAN-H ja CAN-L, jotka tässä asiayhteydessä tarkoittavat parikaapelin johtimia eivätkä väylän nopeutta. Väylä on differentiaalinen eli ns. kelluva, mikä tarkoittaa sitä että väylää ohjataan johtimien välillä syntyvillä jännite-eroilla. Tämä antaa etuna häiriönsietokyvyn magneettisia häiriöitä vastaan. KUVIOSSA 8 on esitetty periaatekuva väylän jännitetasoista. (Hyyrynen 2006, 21)



KUVIO 8 CAN-jännitetasot. (Kuvakaappaus Canbus)

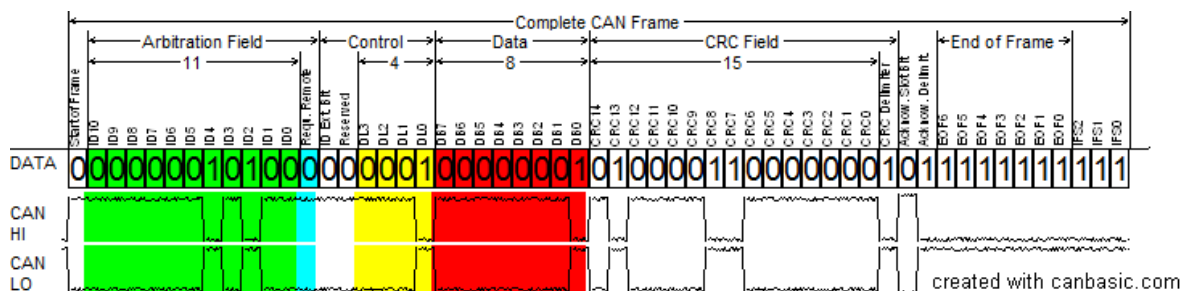
CiA(CAN in Automation) käyttöorganisaation määritelmän mukaan väyläliitin on yhdeksännapainen D-liitin. (CiA.)



KUVIO 9 CAN-väylän D-liitin ja kytkennät. (Kuvakaappaus CiA)

6.1.1 CAN-viestien sanomakehykset

Nykyiset CAN-laitteet käyttävät joko standardi kehysmallia(standard frame) tai pidennettyä kehysmallia(extended frame). Tärkein ero näiden kahden mallin välillä on ID-kentän pituus. Standardi malli käyttää 11 bitin tunnistetta ja laajennettu 29 bitin tunnistetta. CAN-väylän ID-kenttä kertoo lähetettävän viestin tyyppin tai laitteen, jolloin laajennetussa osoite kentässä on mahdollista suorittaa enemmän toimintoja. (Kianto 2010)



KUVIO 10 CAN-viestikehyksen rakenne. (Kuvakaappaus Wikipedia e)

TAULUKKO 2 CAN-viestikehyksen rakenne. (Wikipedia e.)

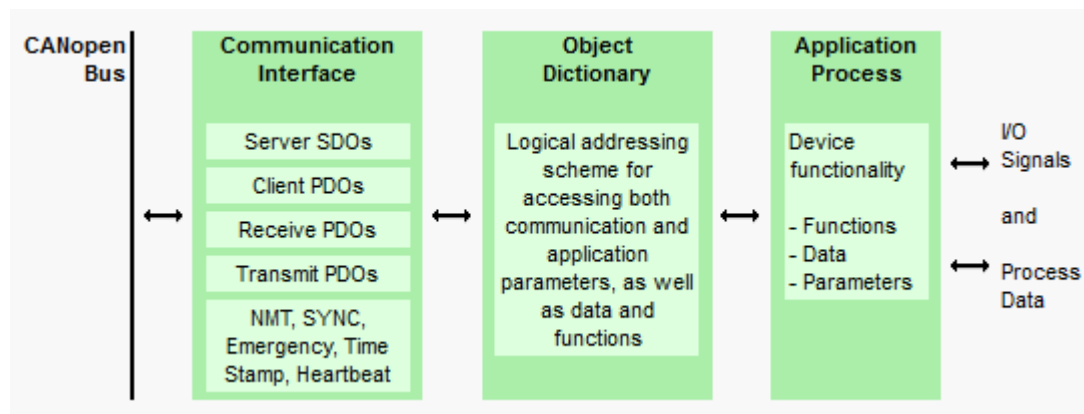
	Bitit	Tarkoitus
Kehyksen aloitus(Start-of-frame)	1	Ilmaisee lähetyksen aloituksen
Tunniste(Identifier)	11	Tunniste datalle. Määrää myös viestin prioriteetin
RTR(Remote Transmission Request)	1	Hallitseva (0), voi vastaanottaa muilta solmuilta tietoja
Laajennettu-ID bitti(Identifier extension bit 'IDE')	1	Hallitseva(0) Jos 0 käyttää laajennettua ID-kenttää (29 bittiä)
Talletettu bitti(Reserved bit)	1	Tallentaa bitin
Datan pituus tunniste(Data Length Code 'DLC')	4	Lähetetyn datan pituus tavuina (0-8 tavua)
Data kenttä(Data Field)	0-64(0-8 tavua)	Lähetettävä data
CRC	15	Ylimääräinen jaksottainen tarkastus(Cyclic redundancy check)
CRC-erotin	1	Oltava resessiivinen(1)
ACK	1	Lähetin lähettää resessiivistä (1) ja vastaanotin voi vaatia hallitsevaa (0)
ACK-erotin	1	Oltava resessiivinen (1)
Kehyksen lopetus(End-of-frame)	7	Oltava resessiivinen (1)

7 CANOPEN

CANopen on kansainvälisesti standardisoitu (EN 50325-4) CAN-väylä pohjainen ylemmän-tason protokolla sisällytetyille hallinta järjestelmille. Järjestelmä joukko sisältää sovellusalustan ja kommunikointiprofiilin, sekä sovellus- laite- ja rajapintaprofiilit. CANopen on varustettu hyvin monipuolisilla konfigurointi mahdollisuuksilla. Käyttökohteet ovat laajat. CANopen protokollaa hyödynnetään mm. laitehallinnassa, lääketieteellisissä laitteissa, ajoneuvoissa, merenkulku järjestelmissä, rakennusautomaatiossa ja myöskin sähkövoiman tuotossa. (CiA.)

CANopen hyödyntää edellisessä kappaleessa esitetyn CAN-väylän fyysistä mallia ja tiedonsiirtomekanismeja. Eroavaisuus näiden kahden välillä on tiedonsiirtoprotokollissa. (ABB.)

Kommunikointiliittymässä (Communication Interface) toteutetaan solmujen kommunikointi verkossa. Yksi tärkeimpiä ominaisuuksia CANopenissa on standardisoitu laitekuvaus jota kutsutaan objektikirjastoksi (Object Dictionary). Se on taulukko jossa on sama struktuuri laitteista riippumatta. Sen kautta on mahdollista päästä käsiksi laitteen tärkeisiin datoihin, parametreihin ja toimintoihin käyttäen loogista osoitejärjestelmää (index, sub-index). Laiteprosessi (Application Process) toteuttaa halutun toiminnon laitteelle. (CANopen Solutions)

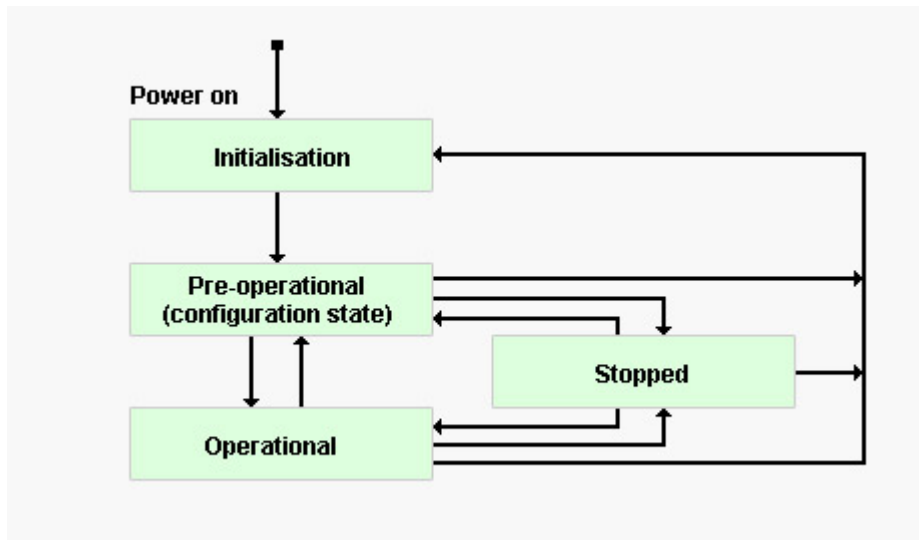


KUVIO 11 CANopen rakenne. (CANopen Solutions)

7.1 CANopen protokollat

7.1.1 NMT protokollat

Sen lisäksi että tuotetaan palveluja ja protokollia prosessidatan lähetyksille ja laitteiden konfiguroinneille, vaatii verkossa olevat yksittäiset solmut toiminnon millä niiden tilaa pystytään muuttamaan. Koska datan lähetykset usein CANopen laitteissa ovat tapahtumaohjattuja, jatkuva verkon solmujen monitorointi ja niiden kommunikointikyvyn varmistaminen on vaatimus. Juuri tätä tarkoitusta varten CANopen sisältää NMT(Network Management) eli verkonhallinta protokollat. NMT protokolla osallistuu siis verkon solmujen yhteystilan säätämiseen ja niiden monitorointiin.



KUVIO 12 Solmujen yhteystilat CANopen verkossa (Kuvakaappaus CANopen Solutions.)

Jotta voitaisiin resetoita tietty solmu edes osittain CANopen verkossa, tapahtuu tämä kolmessa vaiheessa: Laitteen resetointi (Reset-Application), Yhteyden resetointi(Reset-Communication) ja Initialisointi (Initialisation). Laitte resetoitaessa tai käynnistettäessä solmu on initialisointi tilassa. Solmun initialisoinnin päätyttyä lähettää solmu niin sanotun "boot-up viestin", jolloin se vaihtaa itsensä Pre-operational eli valmiustilaan. Reset-Application tilassa laitekohtaiset parametrit resetoidaan niiden uudelleenkäynnistys arvoille. Tämän jälkeen solmu vaihtuu Reset Communication eli uudelleenkäynnistys tilaan. Tässä tilassa yhteyden parametrit resetoidaan laitteen uudelleenkäynnistysarvoille, minkä jälkeen solmun tila siirtyy initialisointiin.

Pre-operational (Valmiustila) tilaa käytetään usein CANopen laitteiden konfigurointiin. Tässä tilassa ei voida käsitellä dataa Process Data Objektien (PDO) kautta vaan, pääsy laitteen objekti kirjastoihin, tapahtuu Service Data Objektien (SDO) kautta. Lähettämällä SDO viestin väylälle voidaan tietyn laitteen objekti kirjastoa muunnella.

Operational (Toiminta) tilassa voidaan dataa välittää PDO:n kautta.

Stopped (Pysäytetty) tilassa solmu ei välitä eikä vastaanota dataa, poikkeuksena Node guarding-tai Heartbeat viestit, jotka varmistavat väylässä olevien solmujen toimintaa tarvittaessa. (CANopen Solutions)

7.1.2 SDO (Service Data Object) protokolla

Service data objektit (SDO) sallivat pääsyn CANopenin objekti kirjastoihin. SDO:t luovat kommunikointiväylän kahden laitteen välille. Lisäksi SDO sallii määrätä riippumattoman lähetyksen segmenttisesti. SDO:ta käytetään yleensä laitteeseen tehtävään konfigurointiin. (CiA.)

7.1.3 PDO (Process Data Object) protokolla

Process data objektit (PDO) ovat lyhyitä korkean prioriteetin omaavia viestejä läheteessä. PDO:t sopivat parhaiten ajantasaisiin lähetyksiin esimerkiksi I/O moduulin tai moottorin säätö- ja tilatietojen lähetykseen, anturilta saadut mittaustiedot, jne. Kuitenkin pitää huomioida että PDO:t lähetetään vahvistamattomalla tavalla. Tämä tarkoittaa että ei voida vahvistaa että tietty verkon osa on vastaanottanut viestin.(CiA.)

7.1.4 SYNC (Synchronization Object)protokolla

Sync-Producer "tuottaja" välittää tahdistussignaalin Sync-Consumerille "kuluttaja". Kuluttajan vastaanottaessa signaalin alkavat ne toteuttaa tahdistus eli synkronisointi tehtävää.Yleisesti siis esimerkiksi tahdistettavat PDO:t käyttävät SYNC viestiä liipaisimena voimassaolevan datan lähetykseen. (CiA.)

7.1.5 TIME (Time Stamp Object) protokolla

Aikakriittiset järjestelmät laajoissa verkoissa pienillä lähetyksnopeuksilla vaativat tarkkaa tahdistusta. Voi olla välttämätöntä tahdistaa paikalliset kellot mikrosekunttien tarkkuuteen. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä TIME protokollaa. Protokolla lähettää "timestamp" viestin joka säätää paikalliset kellot vaadittuun arvoon. (CiA.)

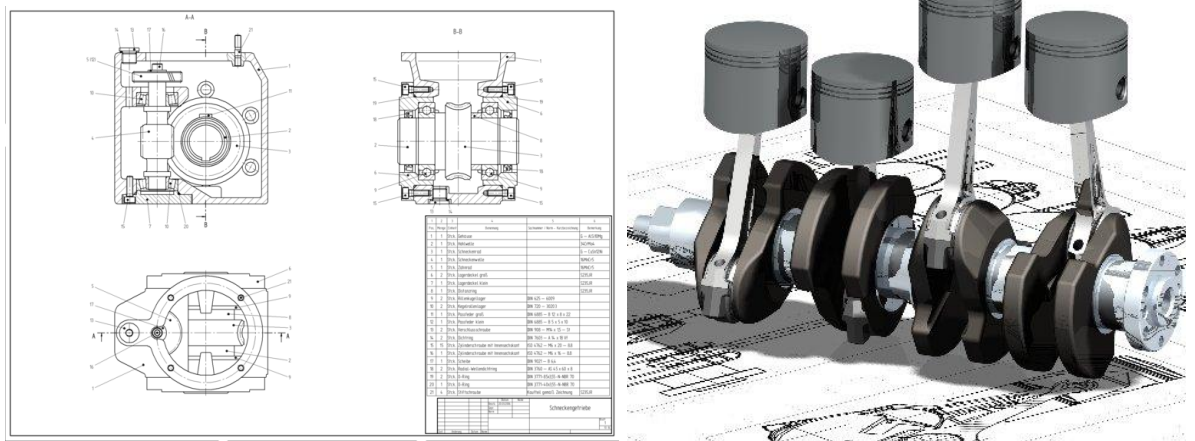
7.1.6 EMCY (Emergency Object) protokolla

Hätäviestit laukaistaan laitteen sisäisen toimintahäiriön ilmaannuttua ja välitetään laittelta jossa vika on ilmennyt toiselle laitteelle korkealla prioriteetillä.(CiA.)

8 OPINNÄYTETYÖSSÄ APUNA KÄYTETYT SOVELLUKSET

8.1 AutoCAD ja Inventor

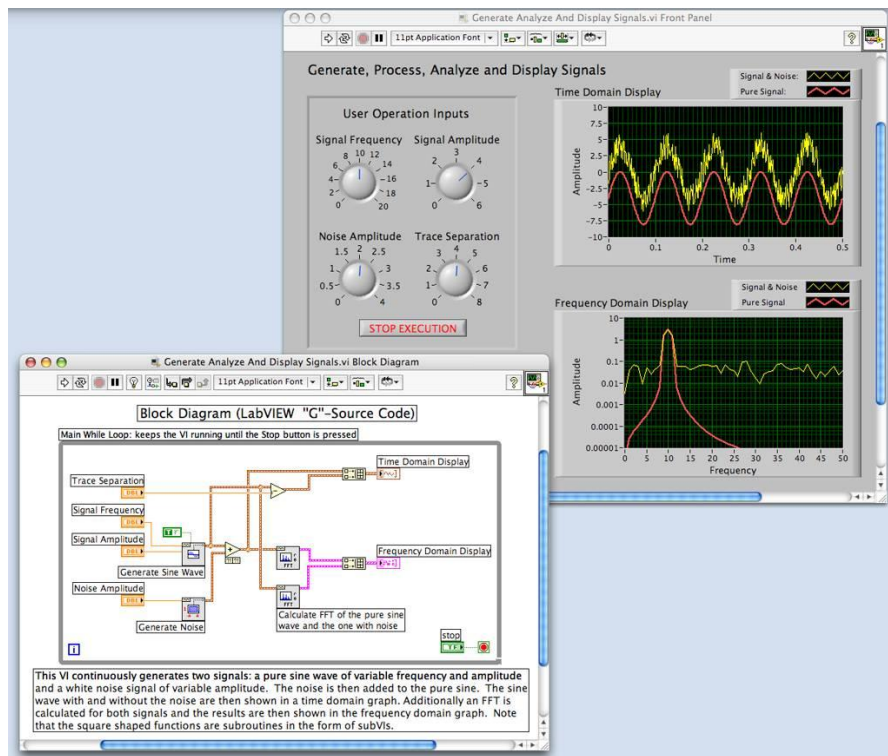
Inventor ja AutoCAD ovat molemmat Autodeskin tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmia (CAD eng. Computer Aided Design). AutoCAD:iä käytettiin työssä 2D-piirustusten luomiseen ja kolmiulotteisissa mallinnuksissa käytettiin Inventoria, joka on 3D-ominaisuuksiltaan (etenkin mekaaniset) laajempi kuin AutoCAD. Molemmat perustuvat graafisten objektien käsittelyyn laskennallisesti. (Wikipedia f.)



KUVIO 13 CAD 2D-piirros ja 3D-mallinnus.(Kuvakaappaus Wikipedia f.)

8.2 LabVIEW

LabVIEW (lyhennys sanoista Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) on National Instrumentsin järjestelmän suunnittelualusta ja kehitysympäristö visuaaliselle ohjelmointikielelle, joka perustuu G-kieleen. Versioita on saatavilla Windowsiin, Linuxiin, MAC:iin, Solarikseen ja joillekin kämmentietokoneille. (National Instruments.)



KUVIO 14 LabVIEW –ohjelman lohkokaavio ja käyttöliittymä. (Kuvakaappaus Wikipedia g.)

Nykyiset tietokonepohjaiset automaatio- ja mittaussovellukset vaativat aina osakseen ohjelmistonkehitystä. LabVIEW auttaa käyttäjää ratkaisemaan ohjelmistokehitykseen liittyviä ongelmia visuaalisesti. Juuri tämän idean pohjalta LabVIEW tuotiin aikoinaan markkinoille. Labview mahdollistaa kytkennän tuhansiin eri mitta- ja säätölaitteisiin sisältäen laitekohtaiset analysoinnit. LabVIEW on laajasti käytössä tuotannon eri osa-alueilla joissa vaaditaan mittauksia ja laitteiden kommunikointia(I/O), analyysijä ja signaalinkäsittelyä, vaikeaa päätöksentekoa, tiedon talletusta ja raportointia. LabVIEW:in käyttö aloitetaan luomalla ohjelma VI (Virtual Instrument). Ohjelma VI sisältää lohkokaaavion(Block Diagram) missä ohjelma tehdään ja käyttöliittymän (Front Panel) missä ohjelmaa havainnollistetaan. Käyttöliittymässä voi lisätä mm. nuppeja, nappuloita, ledejä ja kuvaalia ja muokata näiden ulkoasua ja ominaisuuksia. (National Instruments)

9 TESTAUSLAITTEISTO

Tätä opinnäytetyötä ryhdyttiin tekemään Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden yksiköstä löytyvään sähkökuormitteiseen akkujentestausjärjestelmään (KUVA 1). Kuvassa näkyvä laitteisto oli asennettuna ja ohjaukseen käytettiin tietokoneelta löytyvää LabVIEW sovellusta . Kuitenkin laitteisto oli hyvin alkuvaiheessa ja vaatii paljon kehittämistä, jotta sitä voidaan hyödyntää sille suunnitellulla tavalla. Kappaleessa käydään läpi laitteiston eri osat.



KUVA 1 Akkujentestausjärjestelmä (Kuvakaappaus Korhonen 2012)

9.1 Sähkömoottorit

Kuvissa 2 ja 3 kuormamoottorina käytössä ollut ABB:n 7,5 kW:n induktiomoottori, sekä ajomoottorina ME0907 4,5 kW:n kestmagnetisoitutahtimoottori, joka saa tehonsa akustosta. Ajomoottorin ohjauksesta huolehtii CANopen väylällä varustettu SEVCON:in moottorinohjain. Alemmassa kuvassa induktiomoottorin tilalle asennettava 8,2kW servomoottori.



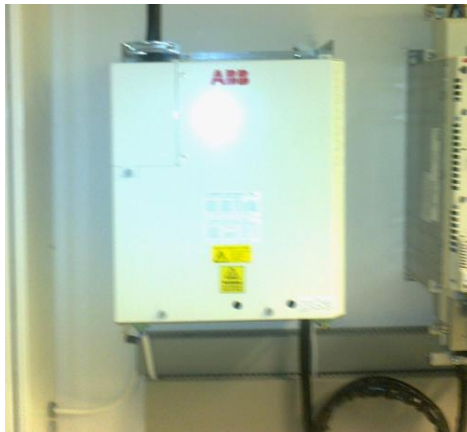
KUVA 2 7,5 kW induktiomoottori ja kestmagnetisoitutahtimoottori, sekä moottorinohjain.



KUVA 3 8,2 kW servomoottori.

9.2 ABB laitteistot

Kuvissa ABB:n laitteistot jotka varmistavat kuormamoottorin hallitun ohjauksen. KUVASSA 4 WFU-11 suodatinyksikkö. Viereisessä kuvassa ACSM1-204 vaihtotasasuuntaaja ja ACSM1-04 taajuusmuuttaja. Molemmissa on myös FCAN-01 CANopen lisämoduulit ja taajuusmuuttajassa FEN-11 lisämoduuli servomootorin enkooderille. KUVASSA 6 JBR-05 on jarruvastus, jonka käyttö tulee tarpeeseen aloitettaessa kuormitusajo moottoreilla. Moottorilla jarrutettaessa syntyy paljon lämpöenergiaa jonka johdosta ohjauslaitteisto kuormittuu. Käyttämällä jarruvastusta voidaan osa lämpöenergiasta johtaa jarruvastukseen, jolloin vältetään laitteiden ylikuormittuminen tai pahimmassa tapauksessa vioittuminen.



KUVA 4 Suodatinyksikkö.



KUVA 5 Vaihtotasasuuntaaja ja taajuusmuuttaja.

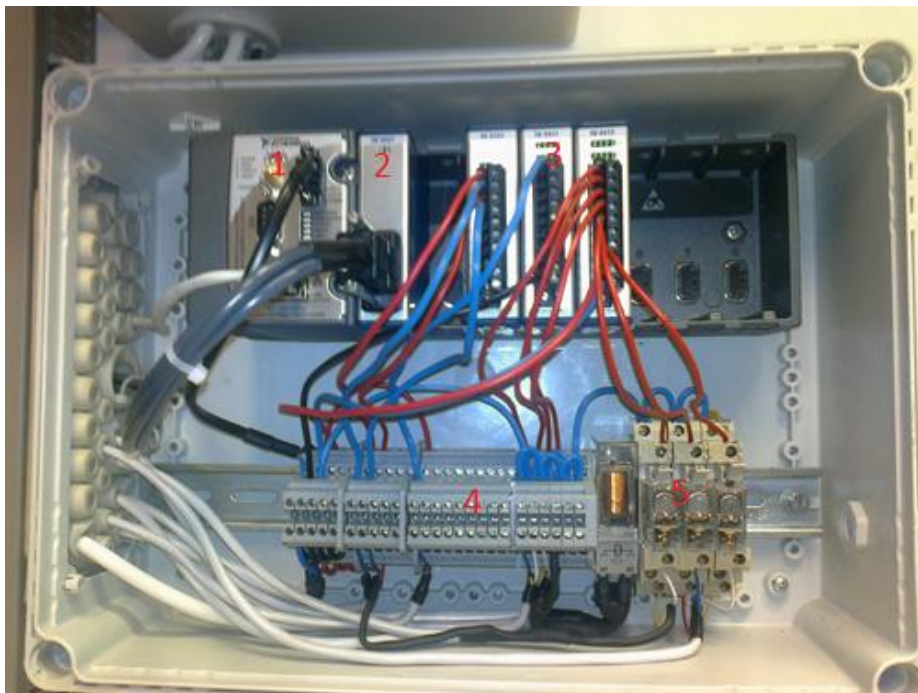


KUVA 6 Jarruvastus

9.3 LabVIEW moduulit

KUVA 7 LabVIEW:in moduuleilla toteutetut ohjauskytkennät.

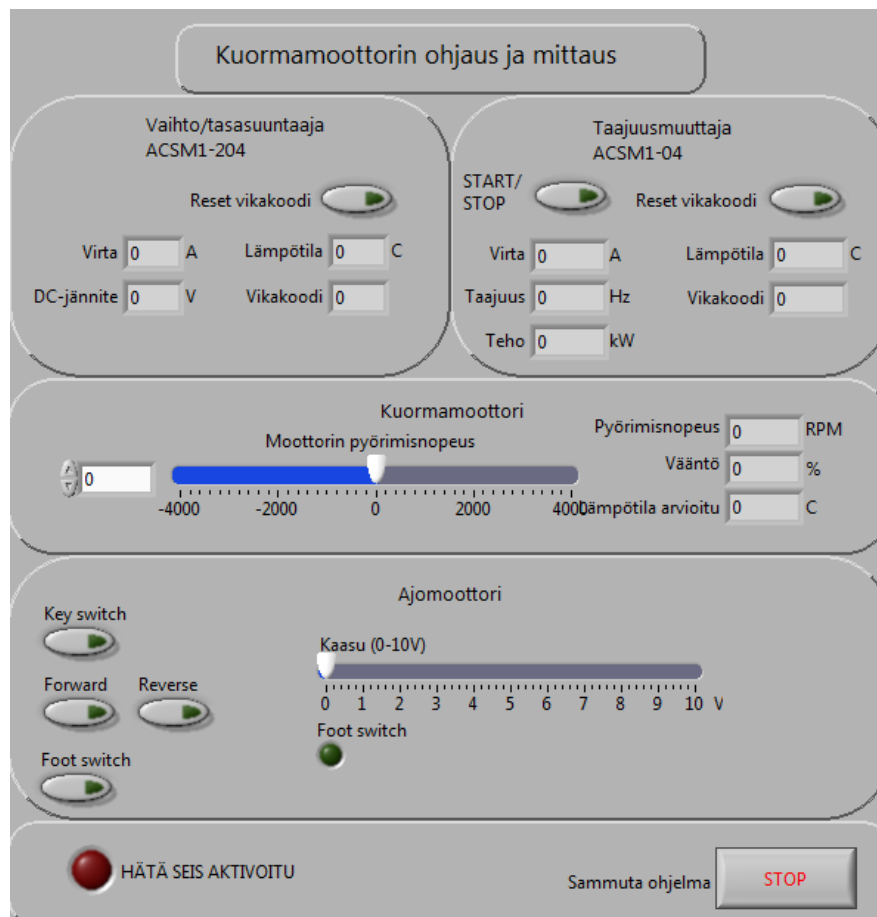
- 1) cRIO-9012 prosessiyksikkö
- 2) 9881 CANopen moduuli cRIO:lle
- 3) I/O moduulit
- 4) Kytkenärima
- 5) Relelähdöt moottorinohjaimelle



KUVA 7 LabVIEW moduulit.

9.4 Ohjausohjelma

Alla näkyy LabVIEW ohjelmalla toteutetun ohjausohjelman etupaneeli. Vaihto/tasasuuntaajalta, sekä taajuusmuuttajalta saadut parametrit on tuotu niiden CANopen lisämoduulien kautta LabVIEW prosessiyksikköön ja siitä PC:lle. Kuorma- ja ajomoottorin pyörimisnopeuden ohjaus koneelta toimii $\pm 10V$ jänniteviesteillä AO-kortin kautta. Taajuusmuuttajan käynnistys, sekä taajuusmuuttajan ja vaihto/tasasuuntaajan vikakoodien resetointi saadaan tehtyä ohjelman avulla, kuten kuvasta nähdään. Ajomoottorin ohjaus tapahtuu moottorinohjaimen kautta mikä toteuttaa halutun toiminnon ohjausohjelmalta saadun komennon mukaisesti. Key switch painikkeesta kytketään virta moottorinohjaimelle. Forward- ja Reverse-painikkeet määräävät pyörimissuunnan. Foot switch toimii kuten mekaanisessa kaasussa, eli pyörimisnopeuden ollessa suurempi kuin nolla, foot switch on päällä. HÄTÄ SEIS AKTIVOITU valo syttyy painettaessa ulkoista hätä-seis-painiketta.



KUVIO 15 Ohjausohjelman etupaneeli.

9.5 Akusto

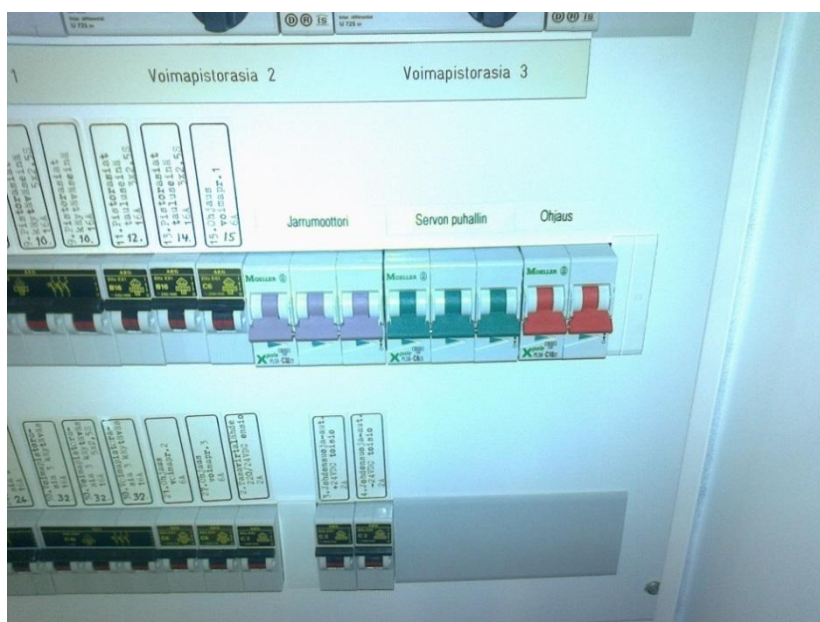
Akkupaketiksi laitteistolle oli valittu neljä sarjaankytkettyä Ultracell UXL65-12 lyijyakkua. Akun nimellinen jännite on 12V ja varauskapasiteetti 65Ah. Ampeeritunti eli Ah(A.h) ilmaisee ampeerin sähkövirran tunnin aikana kuljettaman sähkövarauksen. Neljällä kyseisellä sarjaankytketyllä akulla saadaan ajomootorin tarvitsema 48V tasajännite.



KUVA 9 Testausjärjestelmän akkupaketti.

9.6 Sähkönsyötöt

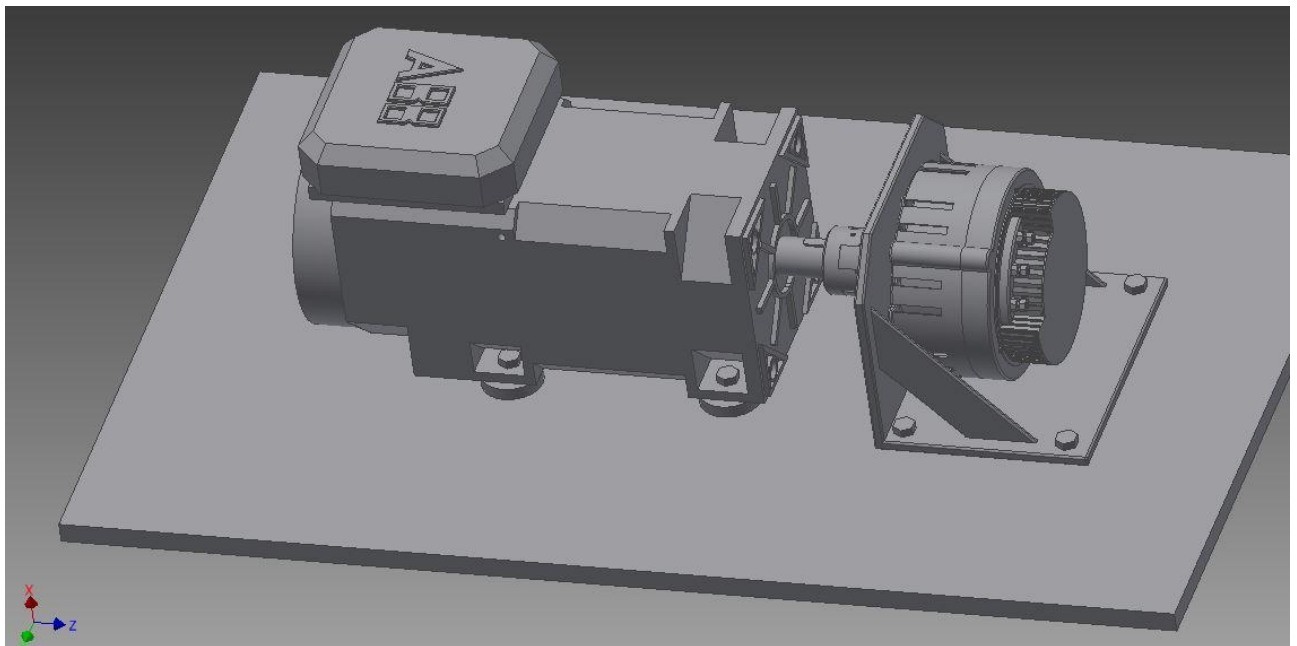
Servomoottori, servomootorin puhallin ja ohjauslaitteisto vaativat 400V kolmivaihe sähkönsyötön. Ohjausjärjestelmän varokkeet näkyvät kuvassa sähkökeskuksesta. Ohjaus varokkeelta saadaan 230V vaihtojännite, joka muunnetaan LabVIEWIN moduulien, suodatinyksikön tuulettimen vaihto/tasasuuntaajan ja taajuusmuuttajan lisämoduulien tarvitsemiin 24V tasajännitteisiin jännitelähteillä.



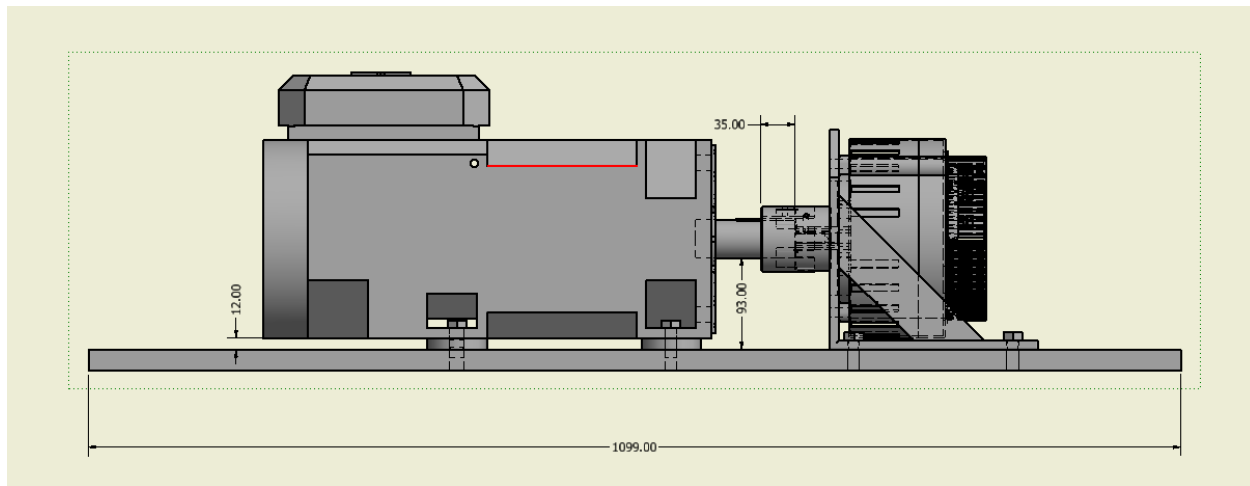
KUVA 10 Ohjausjärjestelmän varokkeet sähkökeskuksessa.

10.1 Konesuunnittelu

Jotta servomoottorin asennus induktiomoottorin tilalle kävisi jouhevasti piti ennen varsinaiseen asennukseen ryhtymistä suunnitella, miten lopputuloksesta saataisiin mahdollisimman hyvä. Koska servomoottorin akselikorkeus on matalampi kuin induktiomoottorin tarvitaan servomoottorille jonkinlainen korotusratkaisu. Moottoria asennettaessa sen asennossa ei saisi kuormaan nähden olla ± 1 mm suurempaa virhettä (ABB). Ajomoottorin akselinkorkeus on sovitettu induktiomoottorin mukaisesti ja sen akselin keskipisteen korkeus alustasta on 132 mm, 20 mm korotuspalojen kanssa. Servomoottorin akselin keskipisteen korkeus pohjasta on 100 mm, joten servomoottoria tulisi joko korottaa 38 mm tai 12 mm jos ajomoottorin 20 mm korotuspalat irroitettaisiin. Ajomoottorin laipan kiinnitystelineen kulmassa oli noin 1 mm:n heitto ja tästä syystä sitä ei voisi kiinnittää suoraan alustaan vaan tarvittiin joku ratkaisu virheen korjaamiseksi. Ehtoina oli myös että molempien moottoreiden pohjan ja alustan välissä tulisi olla jokin materiaali joka vähän korjaisi mahdollisia poikkeamia ja toimisi eristeenä. Induktiomoottorin akselin mitat ovat samat kuin asennettavassa servomoottorissa joten induktiomoottorin moottorinohjaimen pitäisi käydä myös servomoottoriin. Tapahtuman hahmottamiseksi piirrettiin moottoreista kokoonpanokuva ja erillinen piirros pohjalevyn reiittyksistä. Kuvissa servomoottorin korotus on toteutettu 12 mm korotuspaloilla.



KUVIO 16 Moottorien kokoonpanokuva.



KUVIO 16 Mottorien kokoonpanokuva sivuprofilista.

11 MOOTTORIKÄYTÖN TOTEUTUS

11.1 Servomootorin asennus

Mootoreiden korotus asian tiimoilta oltiin yhteyksissä Varkauden Industria Centeriin. Erilaisia korotusratkaisuja oli reilusti toimittajien tuotekatalogeissa, mutta käypää ratkaisua ei kuitenkaan saatu koottua tarvittavien ominaisuuksien pohjalta. Tuotetoimittajilta oli kyllä mahdollista saada kappaleet mittatilaustyönä, mutta tämä ei tullut kyseseen korkean hinnan ja pitkän toimitusajan vuoksi. Lopulta päädyttiin ratkaisuun missä ajomootorin nylon muovia olevat korotuspalat työstettiin 12 millimetriin ja käytettiin niitä servomootorin korotukseen. Ajomootorin ja kiinnitysalustan eristeeksi valikoitui noin 3 mm paksu muovimatto jolla saatiin myös moottorin laipan kulman millimetrin heitto korjattua vääntämällä pultit sopivaan momenttiin. Kiinnitysalustan reikien poraamiseen servomootorille hyödynnettiin tehtyjä piirustuksia. Molemmat moottorit kiinnitettiin M12x65 pulteilla ja M12 muttereilla.

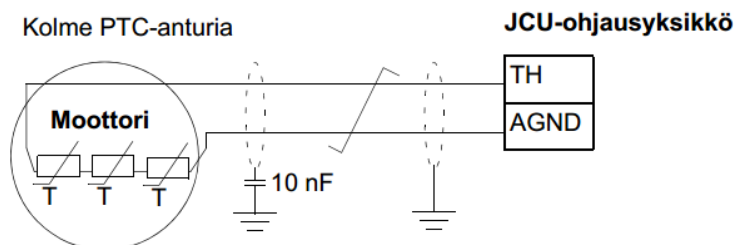


KUVA 12 Servomootorin kiinnitys ME0907 ajomoottoriin.

Ykkössähkö Oy:ltä kävi asentaja tekemässä tarvittavat sähköasennukset. Servomootorin syötön lisäksi asennettiin moottorin tuuletin sähkökeskuksesta jo sille varatun sulakkeen kautta. Moottori kuin myös sen tuuletin käyttävät 400V kolmivaihesähköä. Tuulettimen ja keskuksen välille asennettiin myös erillinen turvakytkin.

Moottori sisältää kolme lämpötila-anturia ylikuumentumisen varalta. Moottorin lämpötilan noustessa myös anturin resistanssi kasvaa ja ohjausyksikön laskennan kautta saadaan moottorin lämpötila. Lämpötilarajat voidaan valita ja se miten taajuusmuuttaja näihin reagoi. (ACSM1 manuaali.)

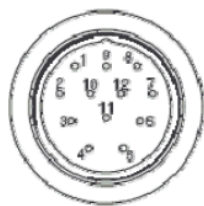
Anturit kytkettiin kuvan mukaisesti sarjaan servomootorin kopasta parikaapelilla taajuusmuuttajan JCU-ohjausyksikköön.



KUVIO 17 PTC-anturien asennus ACSM1 taajuusmuuttajan ohjausyksikköön. (ACSM1 manuaali.)

11.2 Moottorin enkooderin asennus

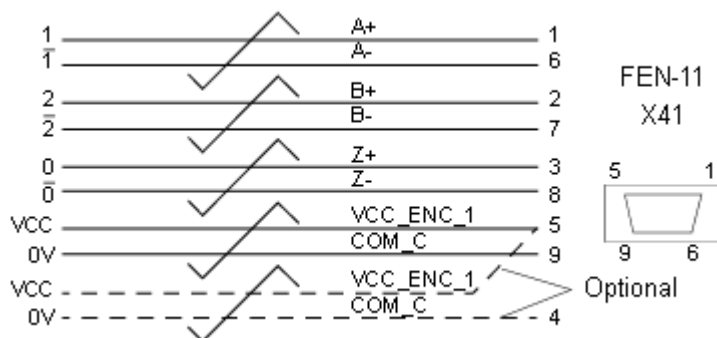
Servomoottorin enkooderin asennusta varten tilattiin Elfalta lumbergin RKU-12, M23 kaapeli joka kytkettiin servomoottorin kyljessä olevasta urosliitännästä taajuusmuuttajan FEN-11 enkooderi lisämoduuliin. Kaapeli kytkettiin enkooderilta taajuusmuuttajan FEN-11 moduuliin manuaalien mukaisesti. Kaapelin aukinaisen pään johtimet liitettiin juottamalla koululta löytyneeseen 9-napaiseen D-liittimeen.



PIN	Signal
1	Channel B-
2	-
3	Channel Z+
4	Channel Z-
5	Channel A+
6	Channel A-
7	-
8	Channel B+
9	-
10	0 V
11	*
12	Supply +E

* Shield connected to pin11 if present; internally connected to case alternatively.

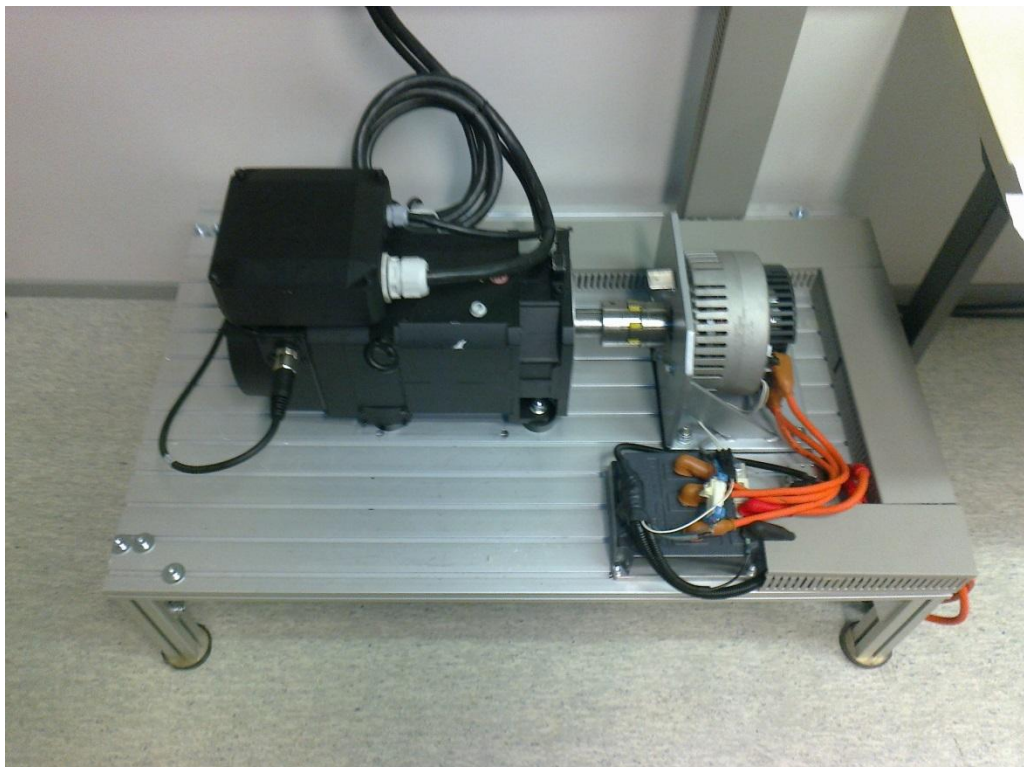
KUVIO 18 Enkooderin nastajärjestys. (ABB Servomotors manuaali.)



KUVIO 19 Nastajärjestys FEN-11 moduulissa. (FEN-11 manuaali.)



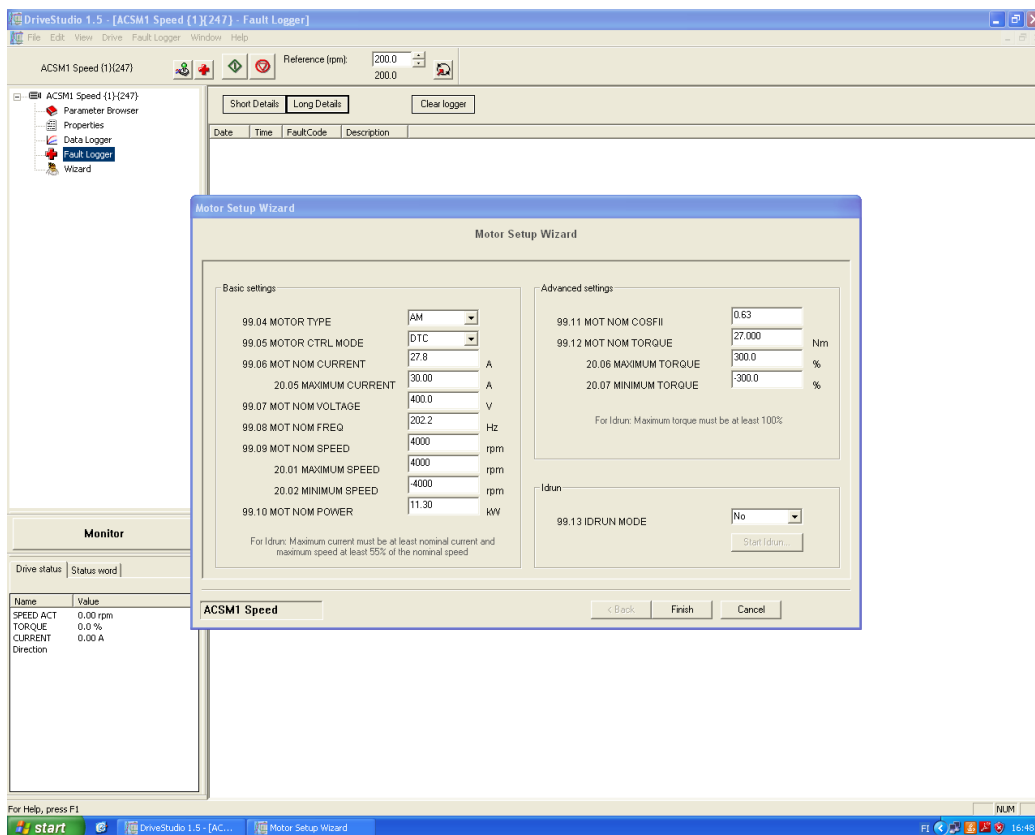
KUVA 13 Enkooderin johdin kytkettynä FEN-11 moduulin.



KUVA 14 Servomootori asennettuna.

11.3 Taajuusmuuttajan konfigurointi

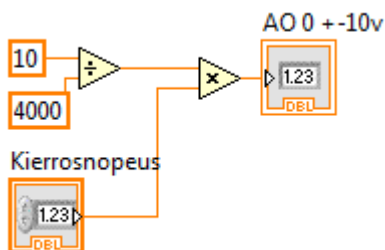
Taajuusmuuttajan ohjausohjelmasta DriveStudiosta tehtiin tarvittavat parametrien asetukset, jotta taajuusmuuttaja pystyisi ohjaamaan moottoria hallitusti. Moottorista haluttuja tietoja oli mm. moottorin tyyppi, virta, taajuus, nopeus, teho ja vääntömomentti (KUVIO 20). Tarvittavat tiedot löytyivät moottorin tyyppikilvestä. Taajuusmuuttajan konfiguroinnin helpottamiseksi ohjelmasta löytyi valmiina Wizard –toiminto moottorin ja CANopen väylän käyttöönotolle. CANopen väylä oli toiminnassa joten siihen ei tarvinnut tehdä muutoksia. Moottorin käyttöönotossa viimeisenä suoritettiin IDRUN, missä taajuusmuuttaja tunnistaa moottorin ominaisuuksia optimaalista moottorinohjausta varten. Asetetussa normaalissa IDRUN modessa taajuusmuuttaja käytti moottoria molemmissa suunnissa ja eri nopeuksilla, myös maksimi nopeudessa. IDRUN ominaisuutta suositellaan tehtäväksi normaali tilassa jos suinkin mahdollista. Huomioitavaa oli että kuormamomentti eli tässä tapauksessa ajomoottori sai kuormittaa ajomoottoria alle 20 prosenttia sen momentista. Myöskin kuorman kestävyys testin aikana oli huomioitava. IDRUN toiminnassa on myös mahdollista valita erilaisia testitoimintoja jos normaali toiminnon suoritus ei ole olosuhteisiin nähden mahdollinen. Esimerkiksi, jos yli 20 prosentin menevän kuormamomentin vähentäminen ei ole mahdollista tai muutenkaan akseli ei saa pyöriä. Tässä tapauksessa saatiin suoritettua normaaliajo kuorman ollessa mukana.



KUVIO 20 Drive Studio. (Kuvakaappaus Projekti kuormamoottori)

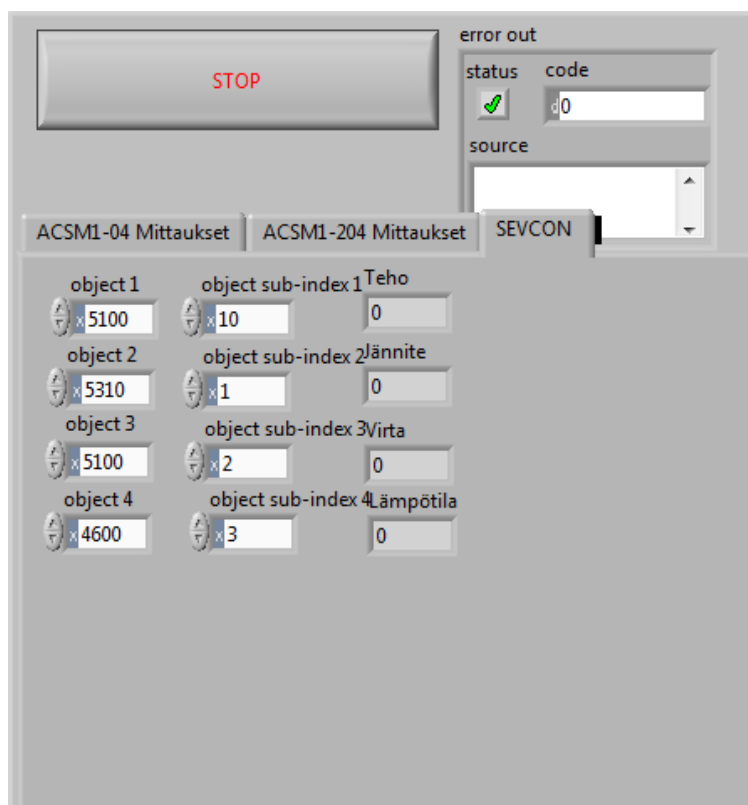
12 OHJAUSOHJELMAN KEHITTÄMINEN

Ohjausohjelman kehitys aloitettiin siitä että tehtiin tarvittavat muutokset, jotta saataisiin ohjelma yhteensopivaksi servomottorin kanssa. Ensimmäinen muutos koski pyörimisnopeudelle tehtyä laskelmaa joka oli mukautettu edellisen induktiomoottorin pyörimisnopeuden mukaan. Induktiomoottorin nimellinen pyörimisnopeus ja DriveStudioon asetettu parametriarvo on 2890 rpm, kun taas arvot servomottorilla ovat 4000 rpm. Ohjelmaa muutettiin siten että nopeus skaalautuu taajuusmuuttajan vastaanottaman $\pm 10V$ jänniteohjauksen mukaisesti. Eli jakamalla jännitealue $\pm 10V$ moottorille asetetun nopeusparamertin mukaisesti ja kertomalla siihen asetettu kierrosnopeus saadaan ohjaus skaalattua oikeanlaiseksi.

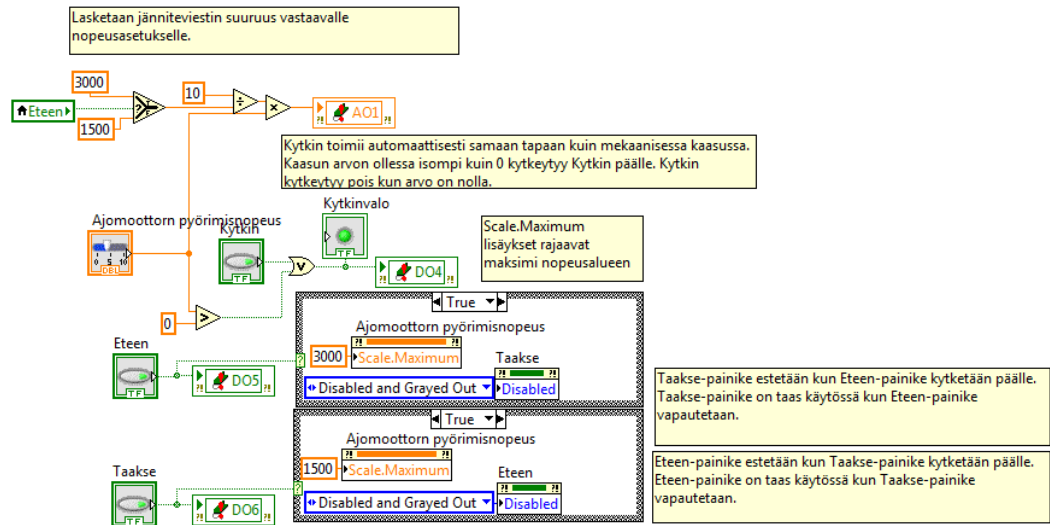


KUVIO 21 Kierrosnopeuden skaalaus aliohjelmassa.

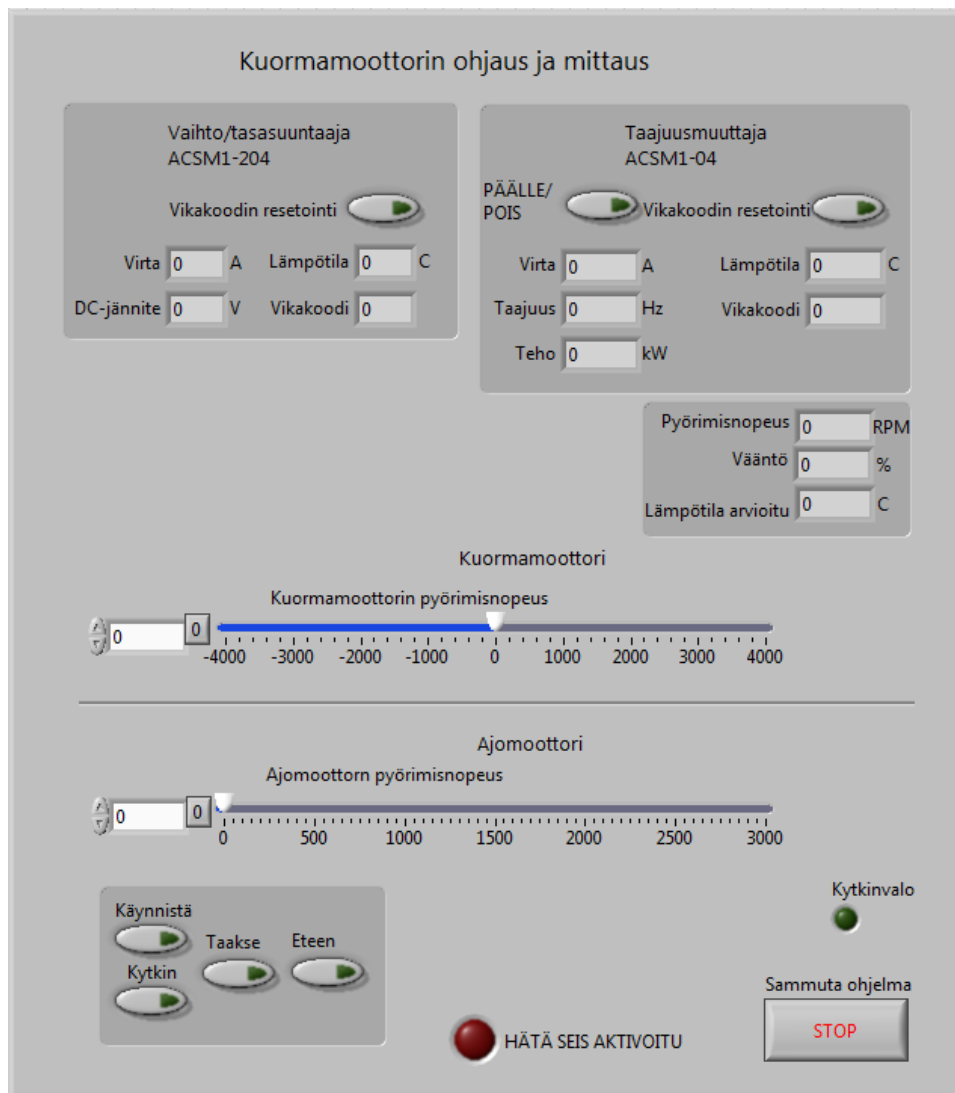
Yhteys luotiin SEVCON:in CANopen väylään SDO protokollan mukaisesti jatkeena ABB laitteiden väyläyhteyteen. Indeksiarvot on saatavilla Master Object Dictionary Database V3 tiedostosta, joka löytyy laitteistoon kuuluvan tietokoneen EVELINA kansiota koululta.



KUVIO 22 Mittaus etupaneeli.



KUVIO 23 Ajomoottorin nopeuden skaalaus ohjauspaneelin liukupalkkiin.

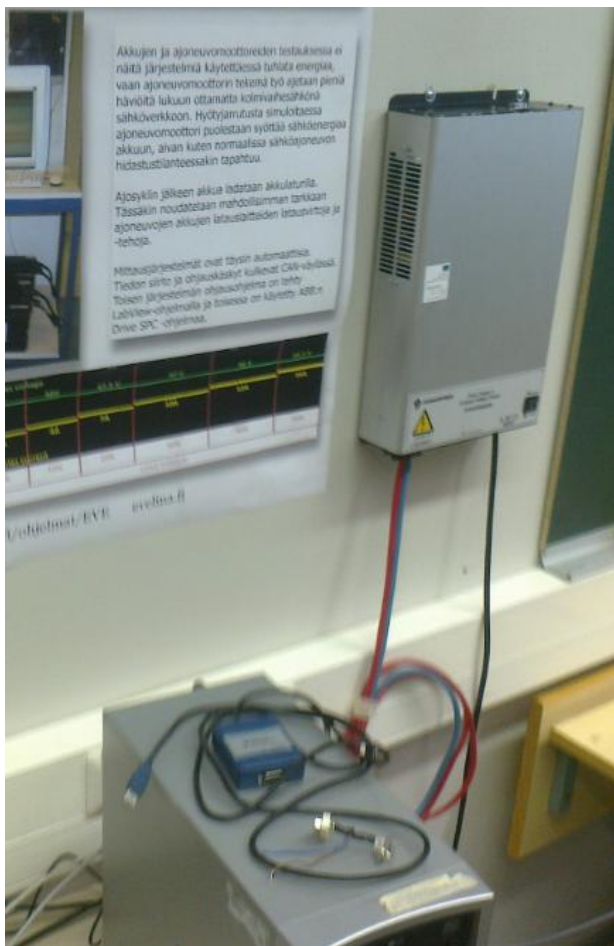


KUVIO 24 Kuormamoottorin ohjaus ja mittaus etupaneeli.

13 AKKULATURIN KÄYTTÖNOTTO

Koululta löytyvästä keskeneräiseksi jääneestä litiumioniakkujen testausjärjestelmästä saatiin tähän työhön otettua PAC 3200 akkulaturi. Laturissa ulostulojännitettä ja -virtaa on mahdollista säätää väleillä 0-320VDC ja 0-14A. Jännite- ja virtaohjeiden säätö toteutuu CAN-väylän kautta.

Kuvassa PAC 3200 akkulaturi asennettuna. Asennuksessa huomioitiin laite manuaalista löytyvät turvallisuus vaatimukset. Kuvassa näkyy myös National Instrumentsin USB-8473 CAN-väyläadapteri jota lainattiin koulun toisesta projektista tähän työhön. Adapteria käytettiin akkulaturin ohjaukseen PC:ltä USB-portin kautta. Väyläkortti tarvitsi toimiakseen 12VDC:tä joka saatiin ulkoisesta jännitelähteestä. Adapterin D-liittimeen kytkettiin vain CAN_H ja CAN_L nastoihin 2 (CAN_L) ja 7 (CAN_H) kappaleessa kuusi esitellyn CAN-väyläliitännän mukaisesti. Akkulaturin (+) ja (-) johtimet kytkettiin kuorman eli ajomoottorin johtimien tilalle akuston (+) ja (-) napoihin. Akun teknisissä tiedoissa ilmoitettiin jaksottaisen käytön latauksenvirraksi alle 19,5A ja jatkuvan latausjännitteen väliksi 14,4 ~ 15,0V. Neljällä sarjaankytketyllä akulla jänniteväli on 57,6 ~ 60V. Valmiustila (Standby) käytössä akun jännitteen ollessa matalampi välillä 13,5 ~ 13,8V - ei virtarajoitusta. (Ultracell.)



KUVA 15 PAC 3200 Akkulaturi.

Kytettäessä laturi verkkoon kytkimen 0 asennossa laturi on valmiustilassa. Kytkin käännettäessä asentoon 1 akkulaturin tilavalo on joko oranssi tai punanen. Latauksen aikana tilavalo on oranssi. Jos akun jännite on liian matala tai korkea, tai akkua ei ole kytketty, palaa tällöin tilavalo punaisena. (POWERFINN.).

PAC 3200 manuaalissa sanotaan seuraavasti: "Tarkista akku ja varmista, että viiden tunnin kapasiteetti (ampeeeritunteina: 5 Ah) on 5–14 kertaa suurempi kuin laturin nimellisvirta (ampeeria). Esimerkiksi 10 A laturi sopii akuille, joiden viiden tunnin kapasiteetti on 50–140 Ah." PAC 3200 laturin 10 tunnin kapasiteetti on 65Ah ja virta on säädettävissä 0-14V, joten laturi on soveltuu akuston lataukseen.

Akkulaturin ollessa kytkettynä akustoon voitiin se kytkeä 1 tilaan selvitettyjen tietojen pohjalta. Ensimmäisen käynnistyksen jälkeen tilavalo paloi oranssina, mutta laturista ei tullut mitään ulos. Tämä johtui siitä että akkulaturin CAN-väylä ei ollut toiminnassa. Jotta laturin lähtö pysyy päällä tulee jännite- ja virtaohjeita päivittää maksimissaan 30s välein.

13.1 Ohjelmointi

Akkulaturi oli kytkettynä akustoon ja muuten toimintavalmis, se tarvitsi enää yhteyden jolla sitä voidaan ohjata. PAC 3200 akkulaturin CAN-väylän ohjaukseen käytettiin National Instrumentsin NI-CAN väyläadapteria. NI-USB adapterin ajurien asennuksen jälkeen adapterin toimiminen varmistettiin NI Measurement & Automation ohjelmasta, joka näyttää muun muassa tietokoneeseen liitetyt NI:n kanssa yhteensopivat laitteet ja liittymät. Laitteet välilehdellä tuli näkyviin USB-8473, mistä voitiin käynnistää "Bus monitor" millä pystyttiin varmistamaan että väylällä on liikennettä. Start monitoring painettaessa tuli ruutuun näkyviin CAN-viesti jonka ID oli 2240F010 ja data 01 00 00 00 30 00 00 00. Myöskin Adapterin ledi alkoi vilkkumaan vihreänä joka tarkoittaa että väylä on toiminnassa.

CAN-väyläkortin valmistajan manuaalista saatiin selville ohjusviestin ID ja muut tarvittavat tiedot ohjaukseen. Ohjaus käyttää laajennettua ID kenttää ja ohjaus viestin ID on 240F010 Seuraavassa taulukossa on kuvattu miten vastaanotettu viesti pitää sisällään. Aikaisemmin väylän testauksen yhteydessä saadusta viestistä (01 00 00 00 30 00 00 00) voidaan taulukon avulla tulkita että akkulaturi on päällä ja mitattu jännitearvo on 30. Kahdeksan bitin tavuun voidaan tallentaa kokonaisluku 0-255 välillä. Jännitteen arvo 30 on heksaluku joka on kokonaislukuna 48 eli 19% 255:n kokonaisluvusta ja jännitealueella (0-320V), arvo vastaa siis 60,2V.

TAULUKKO 3 Status kuvaus

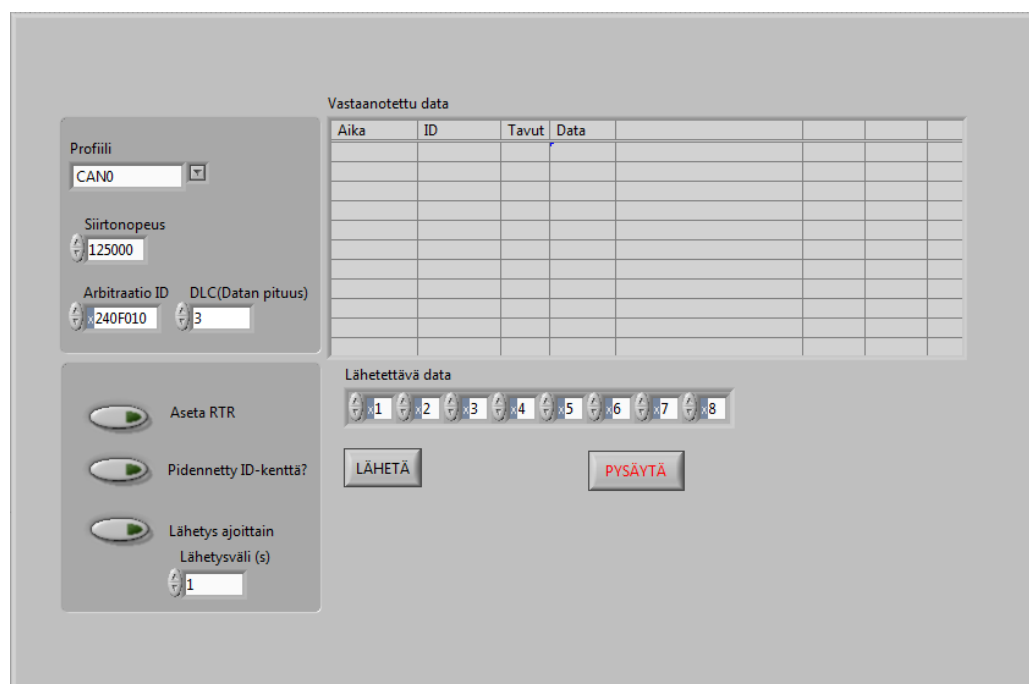
MSG.ID = 0x20 DLC = 8	
byte	data
0	charger power on
1	I control
2	I read 8 msb
3	U control
4	U read 8 msb
5	2 lsb of I read and U read
6	reserved value
7	reserved value

TAULUKKO 4 Jännitteen ja virran ohjausviesti. (FEVT.Charger.CAN.Protocol.)

DLC	CMD. ID	PARAM.0	PARAM.1	meaning
3	0x01	I	U	set current and voltage

13.2 Akkulaturin ohjausohjelma

Akkulaturin ohjauksessa käytettiin Lab VIEW ohjelmasta löytyvää CAN väylän ohjaukseen tarkoitettua esimerkkiohjelmaa, jota muokkaamalla saatiin se soveltumaan akkulaturin ohjaukseen. Koska käytössä ollut väyläadapteri ei tukenut jatkuvaa lähetystä ja akkulaturin virtaviestiä tuli päivittää maksimissaan 30 sekunnin välein, jotta laturi pysyisi toiminnassa lisättiin ohjelmaan ajoittainen lähetys. Lisäämällä lähetettävään dataan halutut virta- ja jänniteohjeet saatiin laturin toimintaa ohjattua. CAN viestin sisältö oli luettavissa asettamalla DLC 8 ja ensimmäisen bitin arvoksi 0x20 (KUVIO 26).



KUVIO 25 Akkulaturin ohjausohjelman etupaneeli.

Data received				
TimeStamp	ID	Bytes	Data	
05:06:44.676	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:43.677	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:42.676	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:41.676	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 09 80 30
05:06:40.676	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:39.676	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:38.676	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 09 80 30
05:06:37.675	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:36.677	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:35.675	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30
05:06:34.676	2240F020	CAN D:	8	01 80 41 30 30 08 80 30

Data to write																	
↑	x20	↓	x0	↑	x0	↓	x0	↑	x0	↓	x0	↑	x0	↓	x0	↑	x0

KUVIO 26 Viestin sisältö.

14 YHTEENVETO

Työn tekemiseen käytettiin aikaa neljä kuukautta 01.02.2013-31.05.2013. Alussa työ lähti hyvin liikkeelle ja induktiomootorin tilalle vaihdettavan servomootorin käyttöönotto onnistui hyvin ilman suurempia ongelmia. Työssä kaikkein haastavimmaksi asiaksi osottautui LabVIEW ohjelmointi yhdistettynä käytäntöön. Tekijällä oli entuudestaan perusteet asiasta joka helpotti asiaa jokseenkin, mutta uutta asiaa oli paljon ja näihin perehtymiseen meni aikaa.

Eniten päänvaivaa aiheutti moottorinohjaimen CANopen väylä. Kun väyläyhteyttä yritettiin luoda vikaledi ilmoitti yhteysvikaa. Kytkenät oli kunnossa ja asiasta oltiin yhteyksissä SEVCON:in tekniseen asiakastukeen, mistä sanottiin että vian selvitykseen olisi hyvä olla käytössä esimerkiksi IXXAT:in CANopen väylän konfigurointiin käytettävä laite, jotta saisi selville tarkemman vikailmoituksen ja voisi varmistua asetusten yhteensopivuudesta ABB:n CANopen väylän kanssa. Asiasta tuli kyllä mainittua ohjaajalle, mutta siinä samassa oli vielä toivoa sen suhteen että väylän saisi toimimaan nykyisilläkin laitteilla, mutta lopulta kaikki keinot oli käytetty, laite jäi hommaamatta, eikä väylää saatu toimimaan kunnolla.

Ongelmilta ei myöskään välttytty servon enkooderin kanssa. Elfalta oli aikaisemminkin tehty muun muassa komponenttitilauksia koululla ja tämä väylä tuntui oikealta myöskin enkooderin signaalikaapelin tilaukseen. Tuotekatalogista löytyi RKU-12, M23 kaapeli joka vaikutti soveltuvan hyvin moottorin enkooderin 12 napaiseen urosliittimeen ja siitä FEN-11 moduuliin. Enkooderi osottautui kuitenkin hyvin häiriö alttiiksi, eikä tilatun kaapelin suojaus ollut riittävä. Jotta enkooderin saisi toimimaan vaaditulla tavalla olisi parasta tilata kaapeli valmistajan kautta.

Haastetta oli myös akkulaturin kanssa. Akkulaturin CAN-väyläkortti viottui testailun yhteydessä ja uusi väyläkortti jouduttiin tilaamaan paikalliselta European Batterien yritykseltä. Samalla ilmeni tärkeää lisätietoa laitteen toiminnasta ja asiassa päästiin kunnolla etenemään. Saatiin rakennettua ohjausohjelma jonka avulla pystyttiin akustoa lataamaan. Laitteiston kehityksen kannalta laitteistoon voisi harkita hommattavaksi cRIO yhteensopiva CAN-moduuli ohjaukseen, nykyisen toisesta projektista lainatun NI USB-8473 CAN-väyläadapterin sijaan. Tässä tapauksessa kyllä voisi sitten jo harkita akkupaketin uusimista esimerkiksi litiumioniakustoon, joista voisi kerätä laajemmin tietoa.

Ohjausohjelman kehitys ja akkumittaukset jäivät lopulta vähäisiksi aihealueen laajuuden ja vastaantulleiden ongelmien vuoksi. Apua olisi voinut hakea rohkeammin eikä vatvoa ongelmien kanssa yksin. Kuopiossakin missä vastaavanlainen ohjausjärjestelmä oli tekeillä oli se tilanne että enemmän kokemusta omaava opinnäytetyöntekijä oli vetäytynyt projektista, eikä tästäkään syystä kommunikaatio pelannut niin hyvin kun olisi voinut.

Opinnäytetyö oli kaikinpuolin hankala mutta sen parissa oli mukava työskennellä ja ainakin opinnäytetyöntekijälle siitä oli valtavasti apua. Opinnäytetyö käsitti monipuolisesti koulutuksen eri osa-alueita kuten ohjelmointia, väyläteknikkaa, moottorinohjausta, suunnittelua jne. joita pääsi toteuttamaan käytännössä. Toivottavasti sähköajoneuvojen kehitys ja tutkimustyö Savonia-ammattikorkeakoulussa jatkuu ja projektin parissa viihtyy opinnäytetyöntekijä jos parikin.

15 LÄHTEET

- ABB Oy. CANopen ja DeviceNet-tietoliikenne. [Viitattu 2013-04-08.] Saatavissa: <http://www.abb.fi/product/seitp329/086ebfce967e20aac12570970045c668.aspx?tabKey=7>
- ACSM1. Laitemanuaali. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2013-05-02.] Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9bf0924bb822fb32c12574210049f46d/\\$file/Link_List_ACSM1.html](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9bf0924bb822fb32c12574210049f46d/$file/Link_List_ACSM1.html)
- Akun toimintaperiaate. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Kurssimateriaali. Tietoverkkolaboratorio. [Viitattu 2013-03-04.] Saatavissa: <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>
- Can-bus. Canbus.pl. [Viitattu 2013-04-04.] Saatavissa: http://canbus.pl/images/iso11898-levels_en.png
- CANopen solutions. Communication. [Viitattu 2013-04-09.] Saatavissa: http://www.canopensolutions.com/english/about_canopen/communication.shtml
- CiA. CANopen. [Viitattu 2013-04-01.] Saatavissa: <http://www.can-cia.org/index.php?id=canopen>
- EVELINA-hanke. www-sivu. [Viitattu 2013-02-12.] Saatavissa: <http://www.hermia.fi/evelina>
- FEN 11. Laitemanuaali. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2013-05-02.] Saatavissa : [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/e9bf78507e5f76bdc12572d00023fbbe/\\$file/en_fen_11_um_c.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/e9bf78507e5f76bdc12572d00023fbbe/$file/en_fen_11_um_c.pdf)
- Halme, Jari. 2005. Tutkimusraportti. AC-servomoottori. VTT. [Viitattu 2013-02-20.] Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf
- Hedman, A. 2009. Taajuusmuuttajat. [Verkkajulkaisu]. ABBGroup. [Viitattu 2013-03-28.] Saatavissa: http://cna.mikkeli.ami.fi/Public/KosonenH/s%C3%A4hk%C3%B6_ja_automaatio/Taajuusmuuttaja_ABB.pdf
- Hyrynen, I 2006. Tiedonkeruu linja-auton can-väylästä. Lahden Ammattikorkeakoulu. Tietotekniikka. Opinnäytetyö. [Verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11859/2006-08-17-14.pdf?sequence=1>
- Kestomagneettitahtimoottori. Metropolia-ammattikorkeakoulu. Koneautomaatio. [Viitattu 2013-03-15.] Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Kestomagneettitahtimoottori>
- Kianto, Tapio 2010-11-01. CAN ARTIKKELI 1. Sijainti: VARKAUS: Savonia ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2013-04-01.]
- Korhonen, V 2012. Sähkökuormitteisen akkujentestauslaitteiston toteuttaminen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Varkaus. Opinnäytetyö. [Viitattu 2013-05-01.] Saatavissa: Theseus tietokanta
- Lab View Tour. National Instruments [Viitattu 2013-04-12.] Saatavissa: <http://zone.ni.com/wv/app/doc/p/id/wv-1344>
- Lithium-ion rechargeable battery Discharge mechanism. HowStuffWorks. [Viitattu 2013-02-01.] Saatavissa: <http://static.ddmcdn.com/gif/lithium-ion-battery-6.jpg>
- POWERFINN. PAC 3200 Asennus- ja käyttöohje. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2013-05-02.] Saatavissa: http://www.powerfinn.fi/_file/46234/PAC3200_EN_1.pdf
- Sprut. Can-bus. [Viitattu 2013-04-01.] Saatavissa: <http://www.sprut.de/electronic/interfaces/can/can.htm>
- Ultracell. Manuaali. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2013-03-28.] Saatavissa: <http://www.ultracell.co.uk/datasheets/uxlseries/UXL65-12.pdf>

Universität Paderborn. pmsm-control. [Viitattu 2013-03-15.] Saatavissa: <http://www.lea.uni-paderborn.de/forschung/pmsm-control.html>

Wikipedia a. Sähkömoottori. [Viitattu 2013-02-16.] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6moottori>

Wikipedia b. Induktiomoottori. [Viitattu 2013-02-18.] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vaihtos%C3%A4hk%C3%B6moottori>

Wikipedia c. Servomotor. [Viitattu 2013-02-16.] Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor>

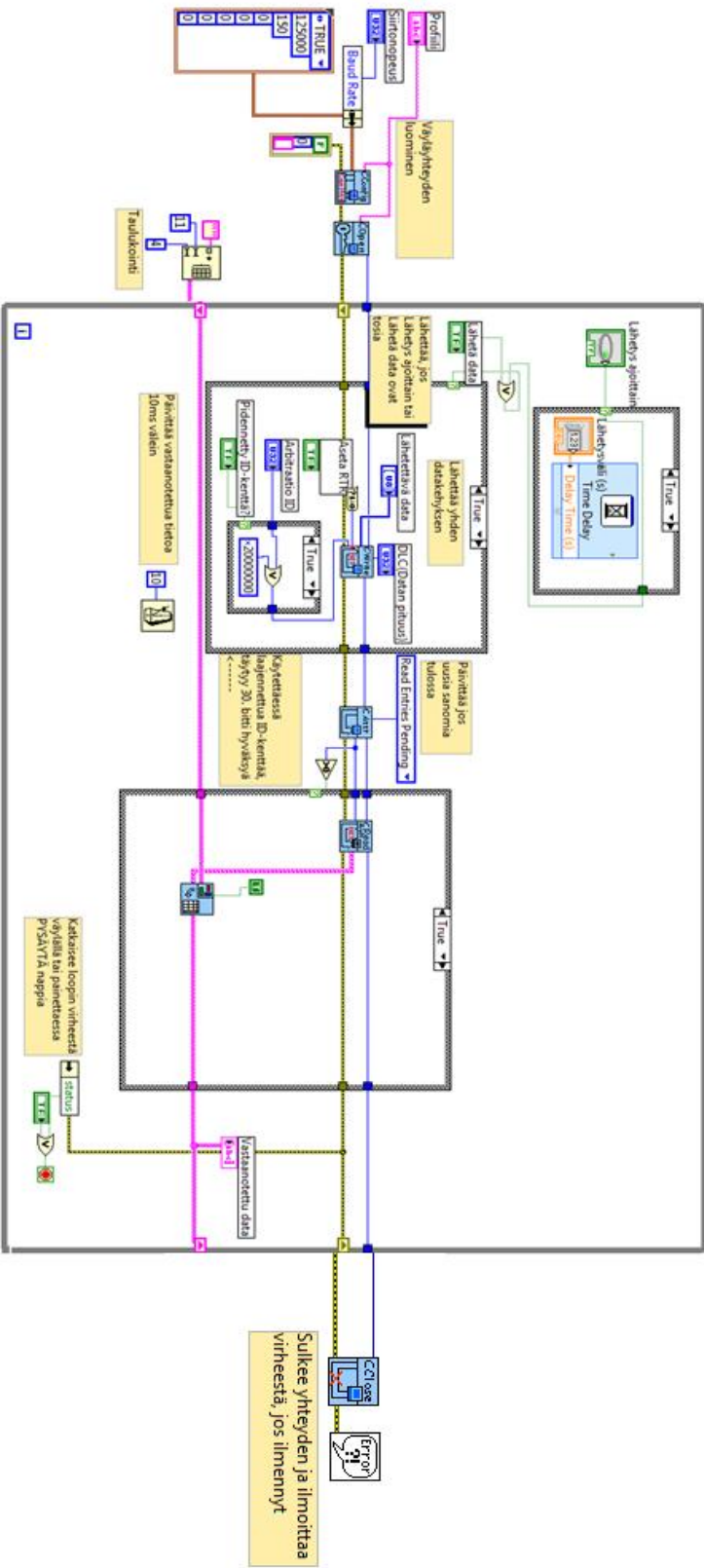
Wikipedia d. Sähköauto. [Viitattu 2013-02-25.] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6auto>

Wikipedia e. CAN bus. [Viitattu 2013-03-20.] Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus

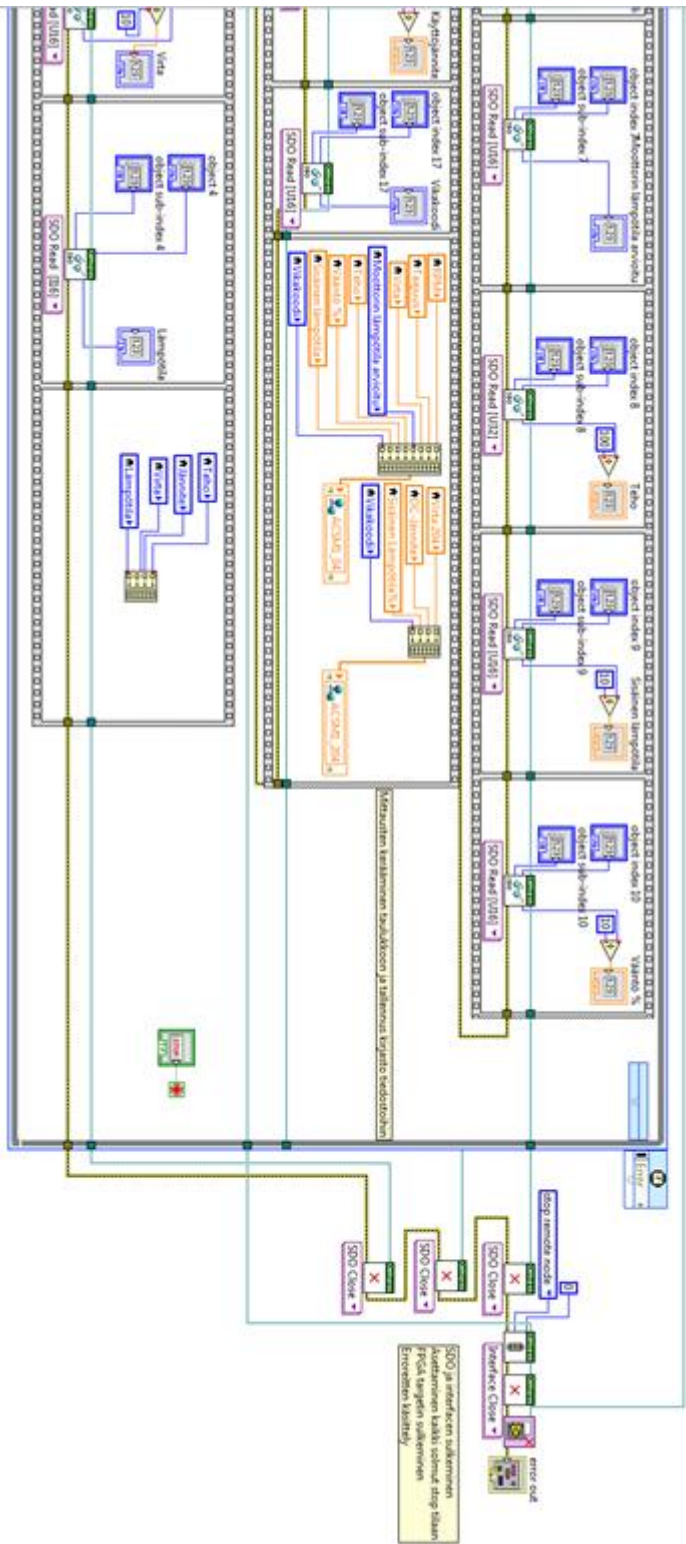
Wikipedia f. Computer-Aided design. [Viitattu 2013-02-16.] Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design

Wikipedia g. LabVIEW. [Viitattu 2013-04-12.] Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

LIITE 1



LIITE 2 (2/2)



LIITE 3

