



Miika Kajula

# **SÄHKÖTYÖKONEEN MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

# **SÄHKÖTYÖKONEEN MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

Miika Kajula  
Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikan  
suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Miika Kajula

Opinnäytetyön nimi: Sähkötyökoneen moottorinohjausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Työn ohjaaja: Mauri Haataja

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013 Sivumäärä: 33 + 1 liite

---

Tämä työ on osa Hilux-sähkötyökoneprojektia. Projekti on Oamkin opiskelijoiden vetämä tutkimus- ja tuotekehitysympäristö, jossa muutetaan Oulun teknisen liikelaitoksen Teklin auras- ja hiekoituskäytössä oleva Toyota Hilux -avolava-auto sähkökäyttöiseksi. Työn toimeksiantaja on oululainen sähkömoottorivalmistaja Randax Oy. Sähkömoottoria voidaan ohjata suoraan nopeusohjeella tai momenttiohjeella. Tämä ei ole kuitenkaan ajoneuvokäytössä mahdollista, koska vääntömomentin turvallinen ja taloudellinen käyttö ajoneuvossa vaatii laskentaa ja säätösuureita. Tässä työssä suunniteltiin ja toteutettiin sähkötyökoneprojektin ajoneuvon moottorinohjausjärjestelmä.

Työssä tehtiin moottorinohjausjärjestelmän vaatimus- ja toimintomääritykset, joissa perehdyttiin liikenneturvallisuuteen, taloudellisuuteen, käyttömukavuuteen ja sähköisen voimansiirtojärjestelmän vaatimuksiin. Määrityksissä otettiin huomioon mm. ajoneuvon käyttöolosuhteet, lain asettamat vaatimukset ja komponenttien mekaaninen ja sähköinen kestävyys. Määrityksien perusteella luetteloitiin tarvittavat tulo- ja lähtösuureet ja suoritettiin komponenttivalinnat. Lopuksi suoritettiin komponenttien asennus ja moottorinohjauksen säätö. Moottorinohjauksen ohjelman teki alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen Oamkin automaatiotekniikan opiskelija Tuukka Pennanen opinnäytetyönään.

Työn tuloksena syntyi toimiva sähkökäyttöisen työkoneen moottorinohjausjärjestelmä, johon on integroitu kattava tiedonkeruujärjestelmä. Ajoneuvo oli Teklillä testikäytössä keväällä 2013. Testikäytössä selvisi, että järjestelmä toimii vaatimus- ja toimintomäärityksien mukaisesti. Kehitettävää jäi vielä jarrutusenergian talteenottoon, jonka toiminnan voisi säätää tehokkaammaksi ja käyttäjäystävällisemmäksi jarrupolkimen tarkan asennon tunnistavan anturin avulla.

---

Asiasanat: Toyota, Hilux, sähköajoneuvo

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 OHJAUSJÄRJESTELMÄ	8
2.1 Ohjelmoitava logiikkayksikkö PLC	8
2.2 Taajuusmuuttaja	9
2.2.1 Nopeussäätö	9
2.2.2 Momenttisäätö	10
2.3 CAN-väylä	11
3 VAATIMUS- JA TOIMINTOMÄÄRITTELY	14
3.1 Käytettävyys ja taloudellisuus	14
3.2 Liikenneturvallisuus	16
3.3 Voimansiirtojärjestelmän vaatimukset	17
3.3.1 Moottorin asettamat vaatimukset	18
3.3.2 Taajuusmuuttajan asettamat vaatimukset	19
3.3.3 Akuston asettamat vaatimukset	20
4 OHJAUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS	22
4.1 Moottorinohjausyksikkö	22
4.2 Voimansiirron tiedonsiirtoväylä	23
4.3 Tiedonkeruu- ja näyttölaitteisto	24
4.4 Ohjauslogiikan sisäänmenot ja ulostulot	25
4.4.1 Fyysiset sisäänmenot ja ulostulot	25
4.4.2 Voimansiirron väylän kautta kulkevat sisäänmenot ja ulostulot	28
4.5 Komponenttien mitoitus	29
4.6 Komponenttien sijoitus	29
4.7 Johdinsarjan valmistus	30
5 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34
LIITTEET	36
Liite 1. Ajoneuvon sähköjärjestelmän kytkentäkaavio	

## SANASTO

ACK	Acknowledge, kuittauskenttä CAN-väylässä
ACL	Advanced Central Logger, tiedonkeruulaite (MoTeC)
ADL	Advanced Dash Logger, tiedonkeruu- ja näyttölaite (MoTeC)
BMS	Battery Management System, akkujenhallintajärjestelmä
CAN	Controller Area Network, ohjainlaitoverkko
CRC	Cyclic Redundancy Checksum, tarkistuskenttä CAN-väylässä
DC	Direct Current, tasavirta
DTC	Dynamic Torque Control, dynaaminen vääntömomentin ohjaus
EMC	ElectroMagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikkayksikkö
Tekli	Oulun tekninen liikelaitos

# 1 JOHDANTO

Hilux-sähkötyökoneprojekti on Oamkin tekniikan yksikön auto- ja kuljetustekniikan opiskelijoiden vetämä tuotekehitys- ja tutkimusympäristö. Autotekniikan opettajat laboratorioinsinööri Janne Ilomäki ja laboratorioteknikko Arto Lehtonen ovat projektissa ohjaajina. Projektissa on muutettu Oulun teknisen liikelaitoksen Teklin kunnossapitokäytössä oleva Toyota Hilux -avolava-auto sähkökäyttöiseksi. Auton polttomoottori ja vaihteisto on poistettu ja tilalle asennettu oululaisen Randax Oy:n valmistama kestromagneettitahtimoottori.

Sähkömoottorin vääntömomenttipyyntöä voidaan ohjata suoraan taajuusmuuttajaan liitetyllä potentiometrillä. Tällainen ratkaisu ei kuitenkaan ole ajoneuvokäytössä mahdollinen, koska sähköisen voimansiirtojärjestelmän kestävyys, käytettävyyys ja liikenneturvallisuus vaativat lukuisasti säätöparametreja, joita ei oteta edellä mainitussa käytössä huomioon. Sähkömoottorin ohjaus vaatii erillisen moottorinohjausjärjestelmän, jonka tarpeeseen tämä opinnäytetyö on tehty.

Työhön kuuluu sähkökäyttöisen ajoneuvon moottorinohjausjärjestelmän suunnittelu, toteutus ja säätö sekä komponenttien valinta. Työ aloitettiin tammikuussa 2012 aiheeseen perehtymisellä ja moottorinohjauksen vaatimus- ja toimintamäärityksellä. Määrityksen perusteella valittiin sopivat pääkomponentit, joiden pohjalta järjestelmän tarkempi suunnittelu aloitettiin keväällä 2012.

Seuraavana syksynä perehdyttiin suunnittelun lisäksi moottorinohjaimeksi tulevan ohjelmoitavaan logiikkayksikköön. Logiikkayksikön ohjelmointiin tutustuttaessa havaittiin, ettei sen opettelu ole auto- ja kuljetustekniikan opiskelijalle tarkoituksenmukaista. Tämän vuoksi päädyttiin ratkaisuun, jossa logiikan ohjelmoinnin suorittaisi automaatiotekniikan osaaja tässä työssä tehdyn vaatimusmäärityksen perusteella. Oamkin automaatiotekniikan opiskelija Tuukka Pennanen otti tämän työn vastaan tehtäväksi hänen opinnäytetyönään (1). Ajoneuvon säätö tehtiin yhteistyössä.

Ajoneuvon loput komponenttivalinnat ja -asennukset suoritettiin joulukuussa 2012. Tammikuussa 2013 tehtiin järjestelmän käyttöönotto. Pienten häiriöön-

gelmien vuoksi ajoneuvo saatiin käyttökuntoon ja testiin Teklille helmi-  
maaliskuun vaihteessa.

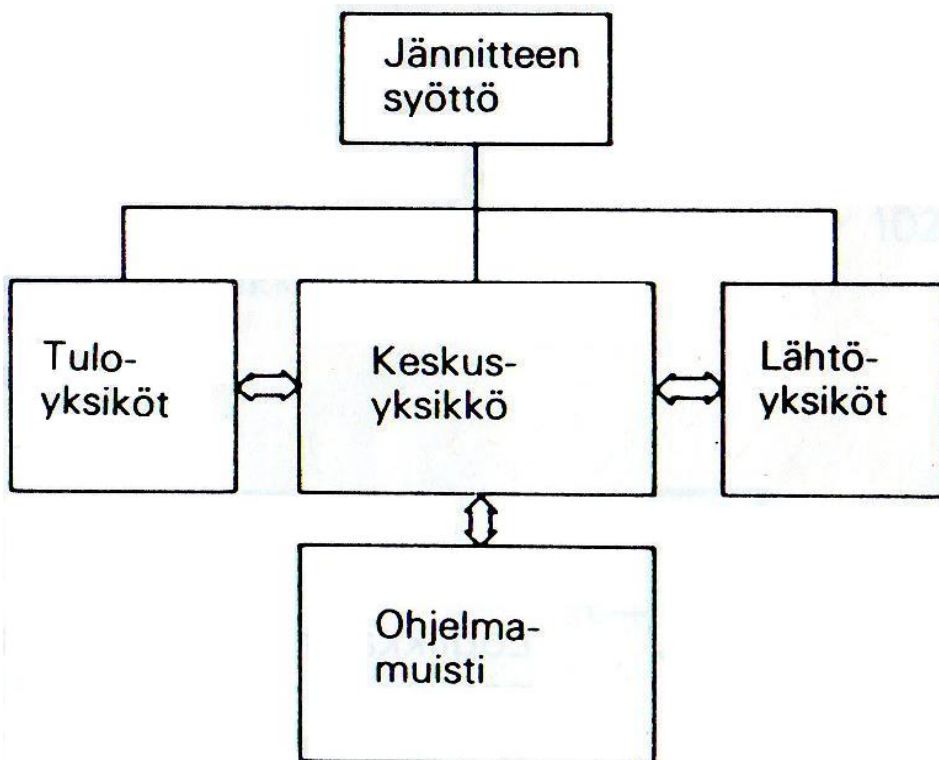
Ajoneuvon sähköjärjestelmän kytkentäkaavion piirsi vaihto-opiskelija Bastiaan  
Reymer (liite 1). Hän on suorittamassa Suomessa omaa lopputyötään, johon  
kytkentäkaavion laatiminen kuului.

## 2 OHJAUSJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Ohjelmoitava logiikkayksikkö PLC

Ohjelmoitava logiikkayksikkö eli PLC (Programmable Logic Controller) on alun perin otettu käyttöön 1970-luvulla autoteollisuudessa. Ohjelmoitava logiikka korvasi monimutkaiset ja hitaat relekytkennät. Tuotantokoneet pystyttiin ohjelmoimaan erilaisiin suoritteisiin eikä sähköisiä kytkentöjä tarvinnut muuttaa. (2, s. 19.)

Ohjelmoitava logiikka koostuu vähintään keskusyksiköstä, tulo- ja lähtöyksiköistä, ohjelmamuistista sekä jännitteensyötöstä. Tuloyksikköön liitetään kaikki tulosignaalit kuten katkaisijat ja anturit. Lähtöyksikköön liitetään toimilaitteet kuten merkkivalot, solenoidit ja servomoottorit. Tulo- ja lähtösignaalit voivat olla analogisia tai digitaalisia. Lisäksi keskusyksikköön voidaan liittää kenttäväylälaitteita, esimerkiksi CAN-väylää (Controller Area Network) varten. Kuvassa 1 on esitetty ohjelmoitavan logiikan lohkokaavio. (2, s. 35.)



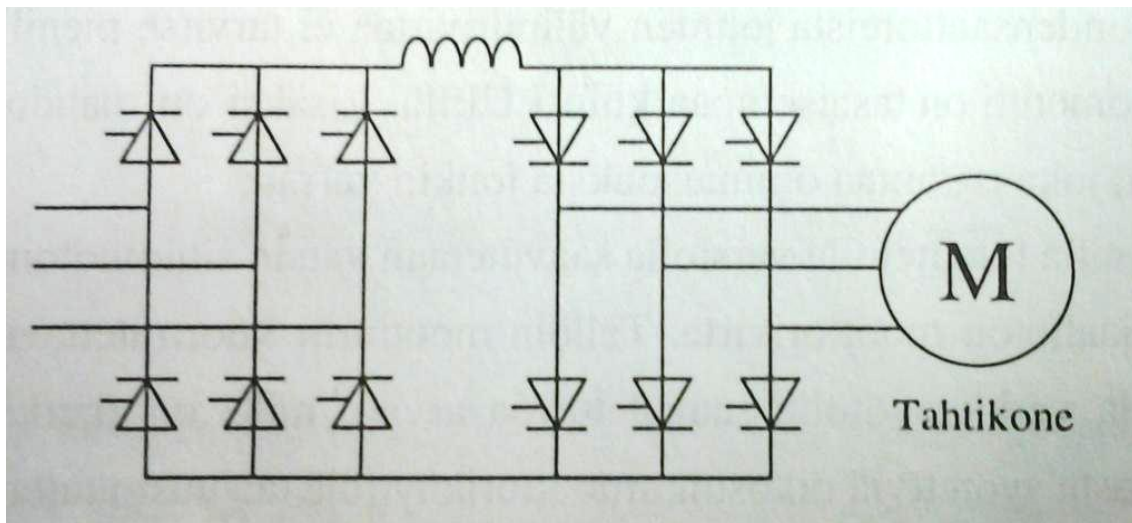
KUVA 1. Ohjelmoitavan logiikan lohkokaavio (2, s. 35)



Keskusyksikkö suorittaa ohjelmamuistissa olevan ohjelman ja asettaa tulot ja lähdöt ohjelman mukaisiin tiloihin. Releohjauksissa toiminnot voivat tapahtua samanaikaisesti toisistaan riippumatta, mutta yhdellä prosessorilla varustettu ohjelmoitava logiikka voi suorittaa vain yhtä tehtävää kerrallaan. Tehtävän suoritusnopeus on kuitenkin niin nopea, että näennäisesti kaikki tapahtuu yhtä aikaa. Aikaa, jonka keskusyksikkö tarvitsee kaikkien käskyjen suorittamiseen, kutsutaan ohjelmankiertoajaksi. (2, s. 37.)

## 2.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajia on kahta päätyyppiä, suoria ja välipiirillisiä. Suorissa taajuusmuuttajissa syöttösähkö pilkotaan puolijohdekytkimillä halutun taajuiseksi ja jännitteiseksi. Välipiirilliset muuttavat vaihtosähkön tasasähköksi ja sitten takaisin vaihtosähköksi. Välipiirilliseen voidaan syöttää myös suoraan tasasähköä. Välipiirillinen taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, tasajännite- tai tasavirtavälipiiristä ja vaihtosuuntaajasta. Kuvassa 2 on esimerkki kuormakommutoidusta taajuusmuuttajasta. (3, s. 48.)



KUVA 2. Kuormakommutoitu välipiiritaajuusmuuttaja (3, s. 49)

### 2.2.1 Nopeussäätö

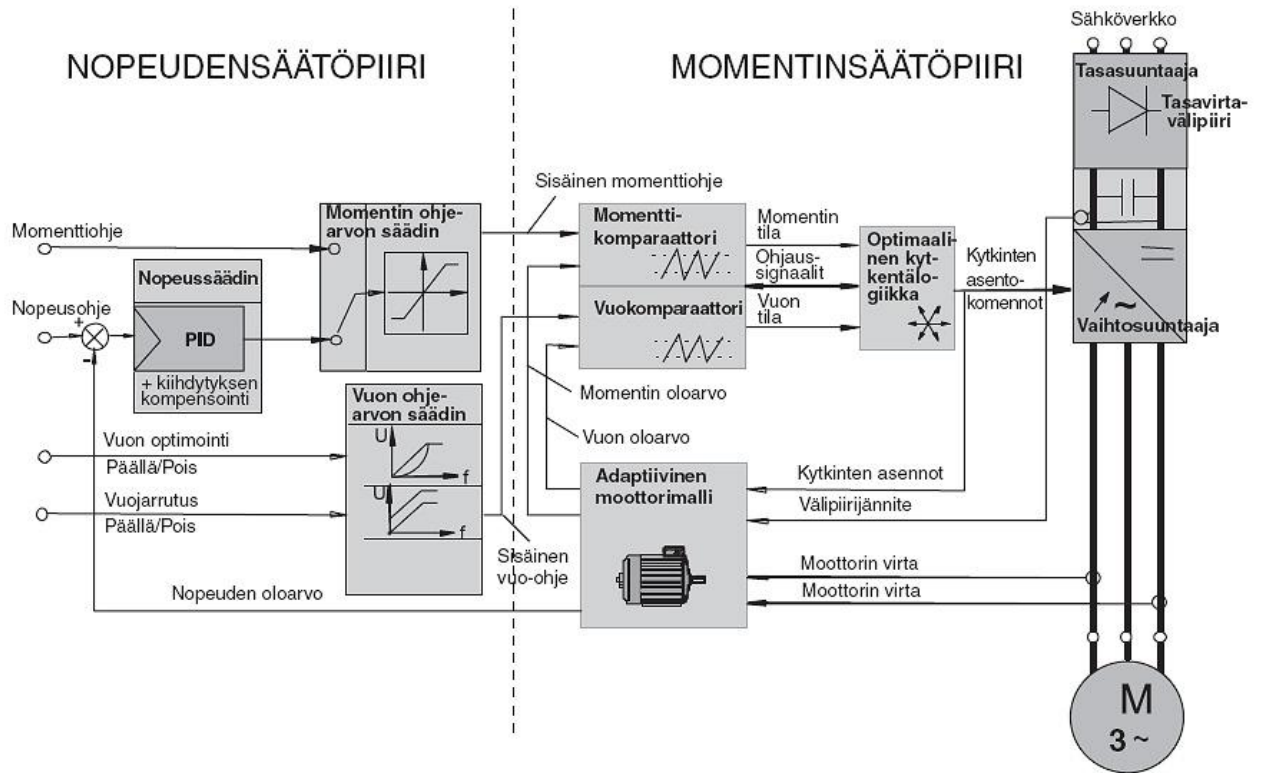
Nopeussäätö tarkoittaa sitä, että moottorille asetetaan tietty nopeusohje, johon taajuusmuuttaja pyrkii nopeuden säätämään. Vääntömomentti säätyy kuormituksen mukaan. (4, s. 6.)

Nopeussäätö on vaikein sähkökäytön säätötapa, koska kuormituksen vaihteluisuutta ei ole yksiselitteistä momentti-nopeusriippuvuutta. Joissakin tapauksissa pyörintänopeus on mahdollista arvioida ilman takaisinkytkentää. Yleensä nopeussäätö vaatii kuitenkin takaisinkytkennän kierroslukutiedon saamiseksi. Tämä toteutetaan esimerkiksi roottorin akselille kiinnitettävällä takometrillä. (3, s. 69.)

### **2.2.2 Momenttisäätö**

Momenttisäädössä moottorin pyörintänopeus säätyy kuormituksen mukaan. Kuormituksen kasvaessa pyörintänopeus laskee ja kuormituksen laskiessa pyörintänopeus kasvaa. Vaihtosähkökäytöissä vääntömomenttia voidaan säätää useilla säätötavoilla. (4, s. 6.)

ABB on kehittänyt suoran momenttisäädön (DTC, Dynamic Torque Control), joka on muita tekniikoita nopeampi ja yksinkertaisempi. Siinä ei myöskään tarvita takaisinkytkentää kuten monissa muissa toteutuksissa. DTC-tekniikan avulla tyypillinen momentin vasteaika on jopa kymmenkertainen vuovektorisäädettyihin käyttöihin tai tasavirtakäyttöihin nähden. Käytön dynaaminen nopeustarkkuus on kahdeksan kertaa parempi kuin takaisinkytkemättömillä vaihtovirtakäyttöillä, ja se on vertailukelpoinen takaisinkytkettyyn vaihtovirtakäyttöön. DTC:n avulla on mahdollista tuottaa täysi vääntömomentti nollassa nopeudella. Kuvassa 3 on esitetty DTC-säätöpiiri. (4, s. 12, 16.)



KUVA 3. DTC-säätöpiiri (4, s. 26)

### 2.3 CAN-väylä

CAN-väylä on ensimmäinen ajoneuvokäyttöön tarkoitettu väyläjärjestelmä. Se otettiin massatuotantoon vuonna 1991 Mercedes-Benzillä. Sitä käytetään ajoneuvojen lisäksi yleisesti myös automaatioteollisuudessa. CAN-väylä toimii muiden väylätyyppien tapaan järjestelmässä digitaalisen tiedon välittäjänä. Väylä mahdollistaa eri tietojen siirtämisen samaa johdinta pitkin. Jokaisella ohjainlaitteella ei tarvitse olla omaa anturointia, koska kullekin ohjainlaitteelle anturoitu tieto voidaan jakaa väylää pitkin muille ohjainlaitteille. Tämän vuoksi johtimia ja kytkentöjä on voitu merkittävästi vähentää vanhoista väylättömistä toteutuksista. (5, s. 16.)

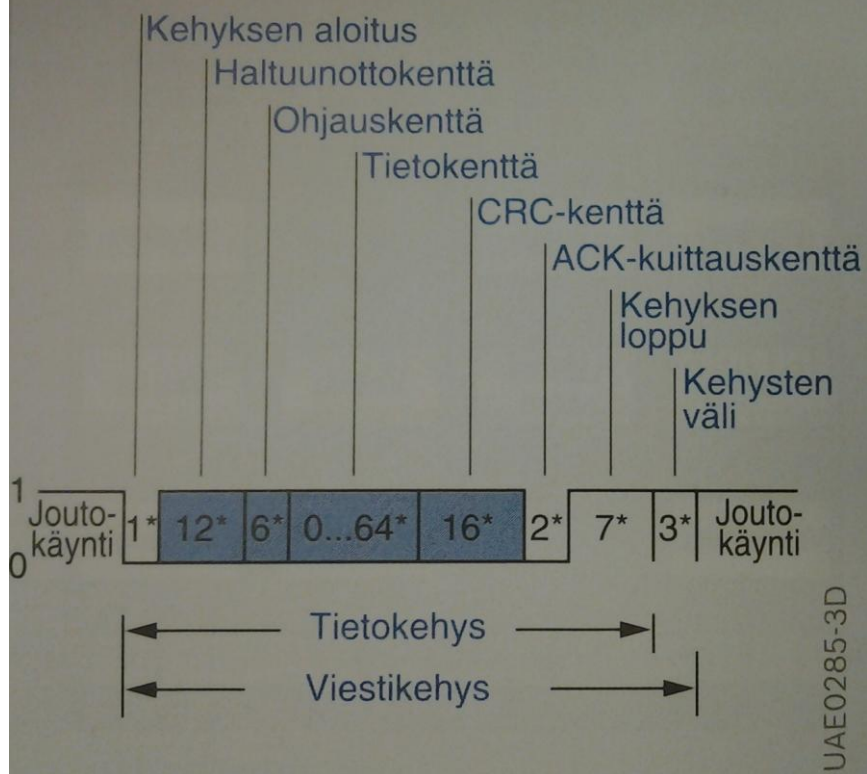
Väylää määritettäessä olennainen osa on tiedonsiirtonopeus, joka kuvaa tietomäärän välitystä aikayksikössä (5, s. 17). Voimansiirto- ja moottorinohjausjärjestelmissä tarvitaan nopeampi tiedonsiirtonopeus kuin mukavuuslaitteissa kuten sähköiset lasinostimet. CAN-väylät jaetaan hitaisiin ja nopeisiin väyliin.

Nopea CAN-väylä toimii nopeudella 125 kBit/s...1 MBit/s ja hidas väylä 5...125 kBit/s. (5, s. 30.)

Nopeissa CAN-väylissä käytetään yleensä suoraa tai kierrettyä parikaapelia. Digitaaliset signaalit lähetetään kumpaakin johdinta pitkin. Niiden arvo määräytyy keskinäisen jännite-eron perusteella. Tällainen kytkentä vähentää tahdistusneiden häiriöiden aiheuttamia virheitä, koska häiriö kohdistuu kumpaankin johtimeen kumoten toistensa vaikutuksen. Johtimien avoimista päistä lähtevät signaalien heijastukset saattavat häiritä tietoliikennettä. Näiden heijastuksien poistamiseksi johtimet kytketään toisiinsa 100...120  $\Omega$  vastuksella molemmista päistä. (5, s. 32.)

Hitaissa CAN-väylissä voidaan käyttää yhtä johdinta. Tällöin toisena johtimena toimii laitteiden yhteinen maadoitus. Tiedonsiirto on herkempi ulkoisille häiriöille, koska häiriöt eivät suodatu pois kuten kaksijohdinväylässä. (5, s. 32.)

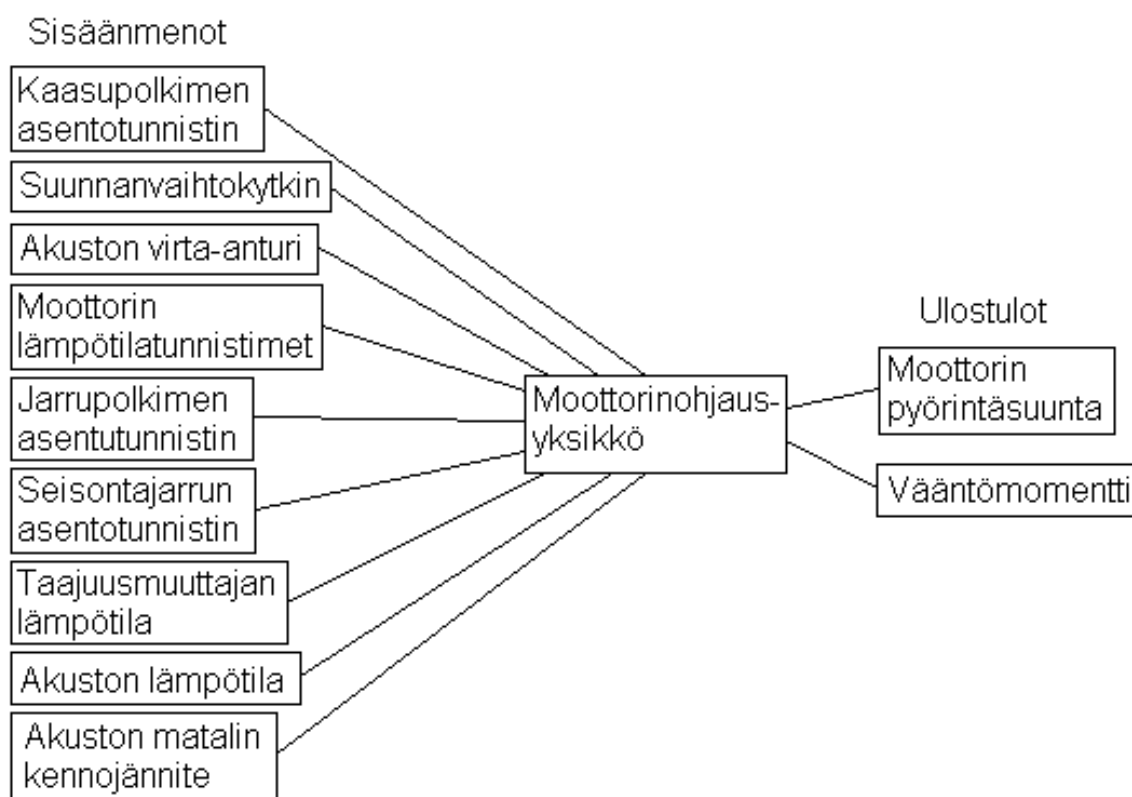
Tieto lähetetään väylässä paketteina, jolla on tietty muoto eli viestikehys (kuva 4). Viestikehyksestä käy ilmi, onko viestin muoto tieto-, pyyntö-, virhe- vai ylikuormakehys. Viestin muoto määritetään haltuunottokentässä. Ohjauskentässä määritetään tietokentän tavujen määrä, jotta vastaanottava kykenee päättämään, onko koko viesti saapunut. Tietokentässä on varsinainen viestin sisältö. Yhdessä viestissä voidaan lähettää useita suureita. CRC-kenttä (Cyclic Redundancy Checksum) eli tarkistuskenttä tarkistaa viestin aloituksesta tietokentän loppuun. Tällaisella tarkistuksella voidaan havaita monenlaisia tiedonsiirtovirheitä. Tämän jälkeen tulee kuittauskenttä eli ACK-kenttä (Acknowledge) vastaanottava asema kuittaa viestin saapuneeksi. Lopuksi tulee viestin lopetuskenttä. (6, s. 36–37.)



KUVA 4. CAN-viestin muoto (5, s. 36)

### 3 VAATIMUS- JA TOIMINTOMÄÄRITTELY

Polttomoottorikäytön muuttaminen sähkökäyttöiseksi ja vaihteiston poiston aiheuttama suoravetoisuus vaativat moottorinohjauslaitteelta useita toimintoja. Vaatimus- ja toimintomäärittelyssä otettiin huomioon ajoneuvon käytettävyys, liikenneturvallisuus, voimansiirtojärjestelmän asettamat rajoitteet ja turvarajat sekä vikadiagnostiikka. Määrityksiä perusteella saatiin tarvittavat sisäänmenosuureet moottorinohjausyksikölle (kuva 5). Tämän perusteella tehtiin ohjausjärjestelmän komponenttivalinnat ja käytännön toteutus.



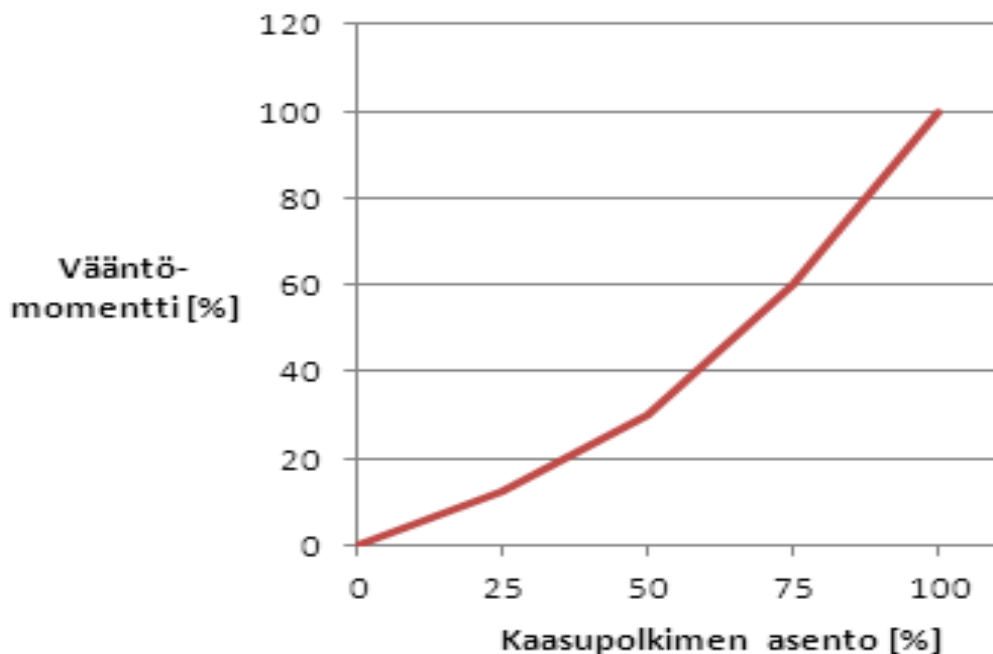
KUVA 5. Moottorinohjausjärjestelmän lohkoakaavio

#### 3.1 Käytettävyys ja taloudellisuus

Käytettävydessä olennaisena erona käsivalintaisella vaihteistolla ja polttomoottorilla varustettuun aikaisempaan kokoonpanoon on suoravetoisuus. Tämä tarkoittaa sitä, että autossa on vain yksi kiinteä vaihde, eikä näin ollen kytkinpoljinta tarvita. Autolla ajetaan kuten automaattivaihteisella ajoneuvolla. Vaihteiston

puuttuessa menetettiin myös peruutusvaihte. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma sähkömoottorikäytössä, koska sähkömoottoria voidaan pyörittää molempiin suuntiin toisin kuin polttomoottoria. Pyöritettäessä moottoria vastakkaiseen suuntaan auto liikkuu taaksepäin. Moottorin pyörintäsuunnan muutosmahdollisuus kuljettajan ulottuvilla olevalla kytkimellä oli siis yksi vaatimusmäärityksen tärkeimpiä kohtia.

Perinteisten polttomoottorikäyttöjen tapaan vääntömomenttipyyntö ei ole lineaarinen, vaan määritettiin muuttumaan kaasupolkimen liikkeen funktiona kuvan 6 mukaisesti. Ajokäyttö on tämän vuoksi osakuorimituksella rauhallisempi, joten akuston kapasiteetti riittää hieman pidempään ajosuoritteeseen.



*KUVA 6. Vääntömomentti kaasupolkimen asennon funktiona*

Ajoneuvossa on regenerointitoiminto, joka lataa akustoa moottorijarrutuksessa. Kun kaasupoljin nostetaan ylös ajoneuvon liikkuessa, ajomoottori muuttuu generaattoriksi, joka syöttää jännitettä taajuusmuuttajan kautta akustoon. Jarrutusvoima säädetään moottorinohjauksella haluttuun hidastuvuuteen. Hidastuvuudessa pyrittiin luonnolliseen tuntuiseen polttomoottorista tuttuun voimakkuu-

teen. Hyvin pienillä pyörintänopeuksilla regenerointia ei voi käyttää nykyisen toiminnan vuoksi.

### **3.2 Liikenneturvallisuus**

Liikenneturvallisuus on yksi ajoneuvon tärkeimpiä asioita. Työssä perehdyttiin liikenneturvallisuutta vaarantaviin vikatilanteisiin, kuljettajan virheestä aiheutuviin mahdollisiin vaaratilanteisiin sekä suoravetoisen sähkömoottorivoimansiirron aiheuttamiin mahdollisiin vaaratilanteisiin.

Sähkömoottoria voidaan pyörittää molempiin suuntiin, joten mahdolliseksi vaaratilanteeksi muodostuu moottorin pyörintäsuuntapyyntön vaihtaminen vastakkaiseen suuntaan ajoneuvon liikkeessä. Pyörintäsuunnan vaihtamisyritys ja kaasupolkimen painaminen aiheuttaa negatiivisen vääntömomenttipyyntön. Tästä aiheutuu voimakas moottorijarrutus, jossa esimerkiksi hyvin liukkaalla tiellä renkaat voivat lukkiutua aiheuttaen ajoneuvon hallinnan menetyksen. Tämä otettiin huomioon moottorinohjauksen ohjelman suunnittelussa asettamalla nopeusrajat, joiden sisällä ajosuunnan vaihtaminen onnistuu.

Moottorin vääntömomenttia säännöstellään kaasupolkimella, johon on liitetty kaasupolkimen asennon tunnistava potentiometri. Potentiometri on kaksiliukainen, jotta toisen liu'un tai sen johdotuksen mennessä epäkuuntoon autolla pysyisi normaalisti ajamaan. Potentiometrin normaalit raja-arvot asetettiin moottorinohjausyksikköön. Nämä rajat ylittyvät, jos signaalijohdin oikosulkeutuu maadoitukseen tai potentiometrille menevään syöttöjännitteeseen. Tällainen tilanne tuottaa vikatilanteen, joka tallentuu PLC:lle. Tällöin moottorinohjaus siirtyy käyttämään ehjää tunnistinta.

Vääntömomenttipyyntö on estetty, mikäli jarrupoljin on painettuna. Tällainen kaksoispoljennan esto on ajoturvallisuuden ja komponenttien keston vuoksi nykyisin yleisesti käytössä kaikissa ajoneuvoissa.

#### **E100-sääntö**

Tieliikennekelpoisuutta määritettäessä täytyi ottaa huomioon lain asettamat vaatimukset. Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE)



sääntö nro 100 määrittelee täyssähkökäyttöisen ajoneuvon ohjausjärjestelmän toimintaturvallisuudelle seuraavat vaatimukset (6, s. 7) :

- Kuljettajalle on annettava ainakin lyhyt ilmoitus siitä, mikäli ajoneuvo on aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa. Lisäksi ajosuunnan ohjausyksikön asento on ilmoitettava kuljettajalle.
- Kuljettajan on saatava ajoneuvosta poistuessaan ilmoitus, esimerkiksi valo- tai äänimerkki, mikäli ajoneuvo on vielä aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa.

Ajoneuvon keskikonsolissa olevassa näytössä näkyy eteenpäin ajettaessa D (Drive) ja peruutettaessa R (Reverse). Mikäli kumpikaan ajosuunta ei ole kytketty, näytössä näkyy N (Neutral).

Ajoneuvoon on asennettu äänimerkki, joka piippaa, jos ajoneuvon kuljettajan ovi aukaistaan vaihteen ollessa kytkettynä. Äänimerkki sammuu 10 sekunnin kuluttua tai oven sulkeutuessa. Määräävä arvo on se, kumpi ensin toteutuu.

### **3.3 Voimansiirtojärjestelmän vaatimukset**

Voimansiirtojärjestelmässä omat vaatimuksensa asettavat moottori, taajuusmuuttaja ja akusto. Nämä komponentit oli ajoneuvoon jo valittu ennen tämän työn aloittamista.

Ajoneuvokäytössä myös komponenttien mekaaninen kestävyys täytyi ottaa huomioon. Ajoneuvo altistuu monenlaiselle tärinälle, ilmankosteuden vaihteluille sekä lämpötilojen vaihteluille. Moottorista eteenpäin oleva mekaaninen voimansiirtorakenne on niin kestävä, ettei sen rikkoutumisesta ole vaaraa.

Akkujenhallintajärjestelmässä ja taajuusmuuttajassa on oma vikadiagnostiikkansa ja vikakoodien lukuprotokollansa. Moottorinohjausyksiköltä vaadittiin siihen kytkettyjen antureiden vikojen havaitseminen. PLC:n valinnan jälkeen havaittiin, että taajuusmuuttajan vikakoodit voidaan nähdä myös PLC:n kautta.

### 3.3.1 Moottorin asettamat vaatimukset

Moottori on oululaisen Randax Oy:n valmistama nestejäähdytteinen kestopagneettitahtimoottori. Nestejäähdytteisen moottorin suljettu rakenne kestää paljon paremmin epäpuhtauksia ja kosteita olosuhteita. Lisäksi sillä saavutetaan paremman jäähdytyksen vuoksi selkeästi suurempi teho kuin vastaavankokoisella ilmajäähdytteisellä moottorilla. Näiden asioiden vuoksi se on erittäin hyvä ratkaisu ajoneuvokäyttöön. Jäähdytysnesteenä käytetään 50 prosenttista vesiglykoliseosta.

TAULUKKO 1. Moottorin suoritusarvot

Teho	70,4 kW/4 200 rpm
Jännite	400 V
Taajuus	280 Hz
Hyötysuhde	95,6 %
Massa	82 kg
Maksimi kierrosluku	5 300 rpm

Kestomagneettitahtimoottoria kuormitettaessa tärkein huomioonotettava suure on lämpötila. Mikäli moottori pääsee ylikuumentamaan, moottorissa olevat magneetit menettävät osan tehostansa. Tämän vuoksi ohjausjärjestelmään on tehty rajoitin, joka rajoittaa annettavaa vääntömomenttia lämpötilan lähestyessä ylikuumentamisrajaa. Mikäli raja kuitenkin ylittyy, vääntömomenttia ei anneta ollenkaan.

Toinen huomioonotettava seikka on moottorin kierrosluku. Valmistaja on määrittänyt moottoriin kiinnitettyssä tyyppikilvessä maksimi kierrosluvun, jota ei saa ylittää. Kierrosluvun rajoitus on toteutettu taajuusmuuttajan sisäisellä logiikalla.

### 3.3.2 Taajuusmuuttajan asettamat vaatimukset

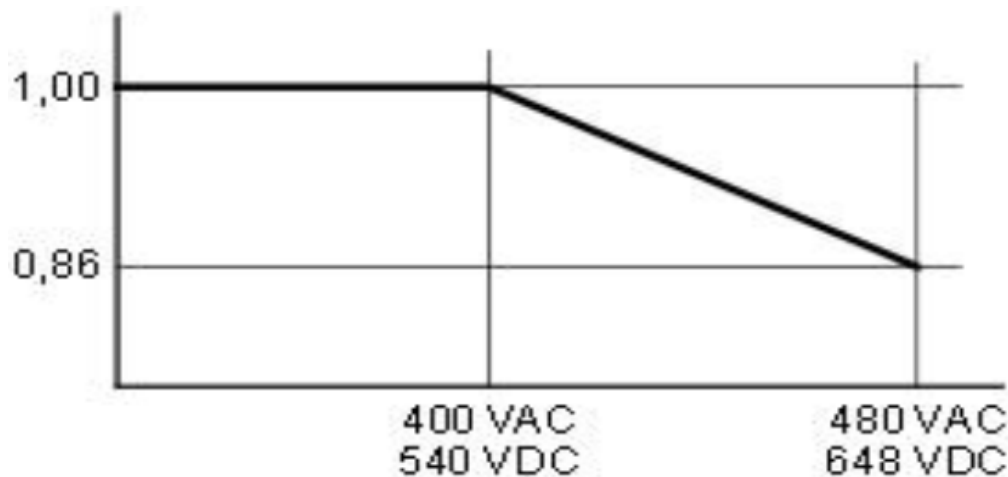
Ajoneuvossa on nestejäähdytteinen ABB ACSM1-04CS-090A-4 -taajuusmuuttaja. Sen nimellisteho on 45 kW ja nimellisvirta 90 A (7, s. 71). Nestejäähdytys on toteutettu erillisellä jäähdytyslevyllä, johon taajuusmuuttaja on kiinnitetty. Jäähdytyslevyssä kiertää sama vesi-glykoliseos kuin moottorissa.

Taajuusmuuttajan sisäistä logiikkaa voidaan käyttää siihen kytketyllä korkeajännitteellä tai ulkoisella 24 V jännitteellä (7, s. 59). Ohjausjärjestelmä ohjaa korkeajännitteen pääkontaktoreita, joten ohjausjärjestelmän on oltava toimintakunnossa ennen korkeajännitteen kytkeytymistä. Tämän vuoksi taajuusmuuttajan logiikka käynnistetään yhtä aikaa PLC:n kanssa ulkoisella jännitteellä. Samasta syystä myös akkujenhallintajärjestelmän logiikka käynnistyy yhtä aikaa.

Taajuusmuuttajaa kuormitettaessa on otettava huomioon sen lämpötila ja lähtövirta. Teknisissä tiedoissa on mainittu nimellisvirran lisäksi lyhytaikaiseksi maksimilähtövirraksi 150 A (7, s. 71). Maksimilähtövirta on asetettu taajuusmuuttajan sisäisen logiikan parametreihin, jolla sen ylittäminen on estetty. Käytännössä akustosta lähtevän virran rajoitus rajaa taajuusmuuttajan lähtövirran nopeasti alle nimellisarvon.

Taajuusmuuttajan lämpötila nousee ylikuormitustilanteessa, minkä vuoksi ohjelmassa täytyy olla se huomioon ottava vääntömomentin rajoitus. Käytännön testeissä taajuusmuuttajan lämpötila ei noussut yli 40 °C, jossa taajuusmuuttajan sisäinen kompensointikerroin alkaa rajoittaa nimellisvirtaa (7, s. 72).

Taajuusmuuttajalle tuleva välipiirijännite vaihtelee akuston varaustilan ja kuormituksen mukaan välillä 453,6 V...613,2 V. Taajuusmuuttaja rajaa maksiminimellisvirtaa kompensointikertoimella yli 540 V jännitteillä (kuva 7). Jännite laskee kuitenkin kuormitustilanteessa lähes välittömästi tämän jänniterajan alle, jolloin kompensointikerroin ei ala rajoittamaan virtaa. (7, s. 72.)



*KUVA 7. Taajuusmuuttajan lähtövirran kompensointikerroin syöttöjännitteen funktiona (7, s. 72)*

Taajuusmuuttajan asennuskorkeuden ylittäessä 1 000 m merenpinnasta sen kuormitettavuus pienenee 1 % jokaista 100 metriä kohden (7, s. 72). Tämän ajoneuvon toimintaympäristö on kuitenkin kokoajan reilusti alle raja-arvon, joten tämä rajoitus voidaan jättää huomioimatta.

Taajuusmuuttajan käyttöympäristön lämpötila on oltava  $-10...55\text{ }^{\circ}\text{C}$  (7, s. 79). Tässä käytössä ajoneuvo lähtee aina lämpimästä hallista ja palaa sinne ajosuorituksen jälkeen. Taajuusmuuttaja sijaitsee ajoneuvon matkustamossa, jossa lämpötila säilyy ajon aikana noin  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa.

### **3.3.3 Akuston asettamat vaatimukset**

Ajoneuvossa on European Batteriesin valmistama akusto ja akkujenhallintajärjestelmä BMS (Battery Management System). Hallintajärjestelmässä on itsessään turvarajat ylikuormituksen varalle. Riittävän pitkässä ylikuormitustilanteessa se aukaisee kontaktorit, jolloin ajoneuvo sammuu ilman ennakkovaroitusta. (8, s. 27.)

Akustosta otettavan virran rajoittamiseksi tehtiin ohjelmaan säädin, joka rajoittaa virran BMS:ltä tulevan purkuvirtarajoitustiedon (discharge current limit) mukaan. Säädin ottaa huomioon myös moottorin kierrokset ja taajuusmuuttajalle

menevän vääntömomenttipyyntöä. Tällä säätimellä estetään purkuvirtarajan ylitys, joka aiheuttaisi edellä mainitun sammumisen.

Säädin ei pysy mukana äkillisissä kuormituksen muutoksissa, minkä vuoksi tehtiin moottorin kierrosluvun mukaan muuttuva maksimivääntömomentin rajoitus. Tällä estettiin hetkellisten purkuvirtapiikkien aiheutuminen ja saavutettiin tasaisempi vääntömomentti.

Toinen ylikuormituksessa mahdollisesti ylittyvä raja-arvo on matalin akkukennon jännite, joka ei saa laskea tietyn rajan ali. Käytännön testit kuitenkin osoittivat, että purkuvirranrajoitus riittää pitämään myös kennojännitteet riittävän korkeina.

## 4 OHJAUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

Työssä ei ollut mahdollista käyttää ajoneuvon alkuperäisiä ratkaisuja ohjausjärjestelmän hallintaan kaasu- ja jarrupolkimia lukuun ottamatta. Polkimet haluttiin pitää alkuperäisinä, koska ne on kyseiseen ajoneuvoon suunniteltu ja mitoitettu.

Työn aluksi tehtiin vaatimusmäärittelyn tuloksen perusteella lista tarvittavista komponenteista. Tämän jälkeen tutustuttiin erityylisiin vaihtoehtoihin, tehtiin valinnat ja lopuksi asennukset.

### 4.1 Moottorinohjausyksikkö

Moottorinohjausyksiköksi valittiin ABB AC500-XC PM573 -ohjelmoitava logiikkayksikkö eli PLC (Programmable Logic Controller). PLC moduuleineen kuuluu XC-sarjaan (eXtreme Conditions), joka on nimensä mukaisesti suunniteltu äärimmäisiin olosuhteisiin sisä- ja ulkokäyttöön. Sen toimintalämpötila on  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ...  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ja se käynnistyy luotettavasti jopa  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilasta. Suhteellinen ilmankosteuskestävyys on 95 %. Laitteet kestävät satunnaista tärinää 4 g kiihtyvyydellä ja 500 Hz taajuudella. Myös immuniteetti vaarallisia kaasuja, suolavesisumua ja sähkömagneettisia häiriöitä vastaan on tavallista mallia parempi. Laite täyttää useita eri standardeja. PLC vaativissa olosuhteissa on esitetty kuvassa 8. (9, s. 12–13.)



KUVA 8. ABB AC500-XC vaativissa olosuhteissa (9, s. 13)

PLC toimii 24 V jännitteellä (9, s. 31). Tätä varten ajoneuvoon asennettiin liikku-  
van kaluston EMC (ElectroMagnetic Compatibility) direktiivin täyttävä WAECO  
PerfectPower DCDC 20 -jännitteenmuunnin, joka nostaa jännitteen 12 V–24 V.  
Muuntimen virranantokyky on 20 A, joka riittää tähän käyttöön hyvin (10). 24 V  
järjestelmän laskennallinen maksimivirta on 12 A.

Ohjauslogiikkaan voidaan liittää useita erilaisia sisäänmeno- ja ulostulomoduu-  
leita. Digitaalisten sisäänmenojen jännite välillä  $-3\text{ V} \dots +5\text{ V}$  tulkitaan 0-  
signaaliksi ja  $+15\text{ V} \dots +30\text{ V}$  1-signaaliksi. Näiden rajojen välinen jännite  $> +5$   
 $\text{V} \dots < +15\text{ V}$  tulkitaan määrittelemättömäksi signaaliksi (9, s. 42). Ajoneuvon al-  
kuperäisestä sähköjärjestelmästä tarvittiin katkaisijatietoja, joiden signaalijännite  
on 12 V. Tämän vuoksi auton sähköjärjestelmästä otetut katkaisijatiedot täytyi  
muuttaa releillä 24 V jännitteelle. PLC:n digitaaliset ulostulot ovat 24 V ulostulo-  
ja (9, s. 42), joten auton sähköjärjestelmää ohjaavat signaalit täytyi muuttaa re-  
leillä 12 V jännitteelle. Näiden jännitteenmuutoksien vuoksi autossa on useita  
releitä.

PLC laskee ohjelman perusteella vääntömomenttipyyynnön, jonka se lähettää  
väylän kautta taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttaja toteuttaa pyynnön asetettu-  
jen turvarajojen puitteissa. Taajuusmuuttaja lähettää oloarvonsa PLC:lle, joka  
ottaa ne huomioon takaisinkytkentätietoina.

Ajoneuvossa on keskikonsolissa näyttö, joka on kytketty Ethernet-  
verkkokaapelilla PLC:hen. Näytössä on kaksi Ethernet-liitäntää, jotka on sisäi-  
sesti kytketty toisiinsa. Näin ollen toisen näytön liitännän kautta saa tietokoneel-  
la yhteyden PLC:hen. Tällä yhteydellä voidaan lukea vikamuistia ja päivittää  
moottorinohjauksen ohjelmaa aukaisematta toimilaitteiden koteloa. Tämä on  
käytettävyyden lisäksi turvallisuutta edistävä ratkaisu, koska auton ollessa  
käynnissä kotelossa on korkeajännitteisiä komponentteja.

## **4.2 Voimansiirron tiedonsiirtoväylä**

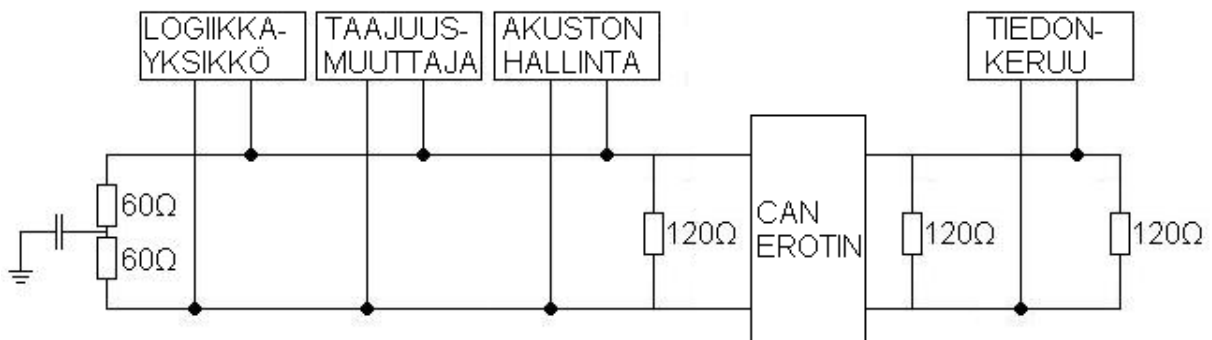
Voimansiirtojärjestelmän tiedonsiirtotavaksi määrittyi jo alkuvaiheessa CAN-  
väylä, koska BMS käyttää ainoastaan tätä väylätyyppiä (8, s. 31). BMS:n lisäksi

voimansiirron väylässä on PLC-yksikkö, taajuusmuuttaja ja MoTeCin tiedonkeruujärjestelmä.

Häiriöongelmien, virtapiikeistä aiheutuneiden tiedonkeruulaitteiden rikkoutumisien sekä eri väylänopeuksien vuoksi tiedonkeruulaitteisto erotettiin muusta CAN-väylästä galvaanisella erottimella. Erotin estää sähkövarauksen siirtymisen CAN-väylän ja tiedonkeruulaitteiston välillä. Erottimeksi valittiin Wachen-dorff HD67117, jonka galvaaninen erotuskyky on yli 2 000 V DC. Laite kykenee myös liittämään erinopeuksisia väyliä toisiinsa. (11.)

Tiedonkeruulaitteisto toimii 1 Mbit/s tiedonsiirtonopeudella, koska järjestelmässä oleva näyttölaite ei tue muita nopeuksia (12, s. 60). Voimansiirtojärjestelmä toimii 250 kbit/s nopeudella, koska akustonhallintajärjestelmä tukee maksimissaan tätä tiedonsiirtonopeutta.

Väylähäiriöiden vuoksi logiikkayksikön puoleisen päätevastuksen tilalle tehtiin alipäästösuodatus (kuva 9), joka vähentää taajuusmuuttajasta tulevia korkea-taajuuksisia häiriösignaaleja. Toisen 120 Ω päätevastuksen tilalle vaihdettiin kaksi 60 Ω vastusta, joiden väliin kytkettiin 47 nF kondensaattori. Tällaisella kytkennällä väylän kokonaisvastus pysyy samana mahdollistaen häiriöttömän toiminnan.



KUVA 9. Voimansiirtoväylän periaate

### 4.3 Tiedonkeruu- ja näyttölaitteisto

Moottorinohjausjärjestelmän toimintaa ei voi tutkia riittävän tarkasti reaaliaikaisella tarkkailulla. Tämän vuoksi toiminnan syvällisempi tarkastelu vaati tiedon-



keruulaitteiston, josta saatavan tiedon perusteella voitiin päätellä järjestelmän toimintaa. Esimerkiksi vikatilanteissa tällainen laitteisto helpottaa huomattavasti, koska nähdään todella tarkasti, mitä on tapahtunut ennen vikaa ja sen jälkeen. Tiedonkeruulaitteistoa suunniteltaessa on otettava huomioon mittaustaajuus, tallennustila ja liitännät. Tässä sovelluksessa päädyttiin valitsemaan MoTeC ACL -tiedonkeruulaitteisto. ACL:n maksimi mittaustaajuus on 5 000 Hz, joka riittää hyvin tähän käyttöön (13, s. 3).

MoTeCin tiedonkeruujärjestelmä tallentaa kaiken väylässä liikkuvan datan lisäksi ohjausjärjestelmään kuulumattomia mittaussuureita ajosuorituksen ja laitteiston käyttäytymisen analysoinnin tueksi.

Ajodatan perusteella voidaan tehdä säätötoimenpiteitä, joiden tekeminen ilman tiedonkeruulaitteistoa olisi arvailua. Esimerkiksi akustosta otettavan virran säätö vaatii useita ohjelmaversioita ja ajodatan perusteella tehtyjä säätöjä. Datan perusteella havaittiin, kuinka suuri vääntömomentti milläkin virralla ja kierrosluvulla on mahdollista saavuttaa. Näiden tietojen perusteella tehtiin väännönrajoituksen peruskartat kierrosten funktiona.

ACL:n lisäksi järjestelmään asennettiin MoTeC ADL -tiedonkeruu- ja näyttölaite. Tässä käytössä se toimii ainoastaan näyttölaitteena, josta voimansiirtojärjestelmän tilaa voidaan tarkkailla reaaliaikaisesti ajon aikana.

#### **4.4 Ohjauslogiikan sisäänmenot ja ulostulot**

Ohjauslogiikan fyysiset sisäänmenot ja ulostulot ovat suoraan sisään- ja ulostulomoduuleihin kytkettyjä analogi- tai digitaalisignaaleja. Lisäksi on CAN-väylän kautta lähetettäviä ja vastaanotettavia suureita.

##### **4.4.1 Fyysiset sisäänmenot ja ulostulot**

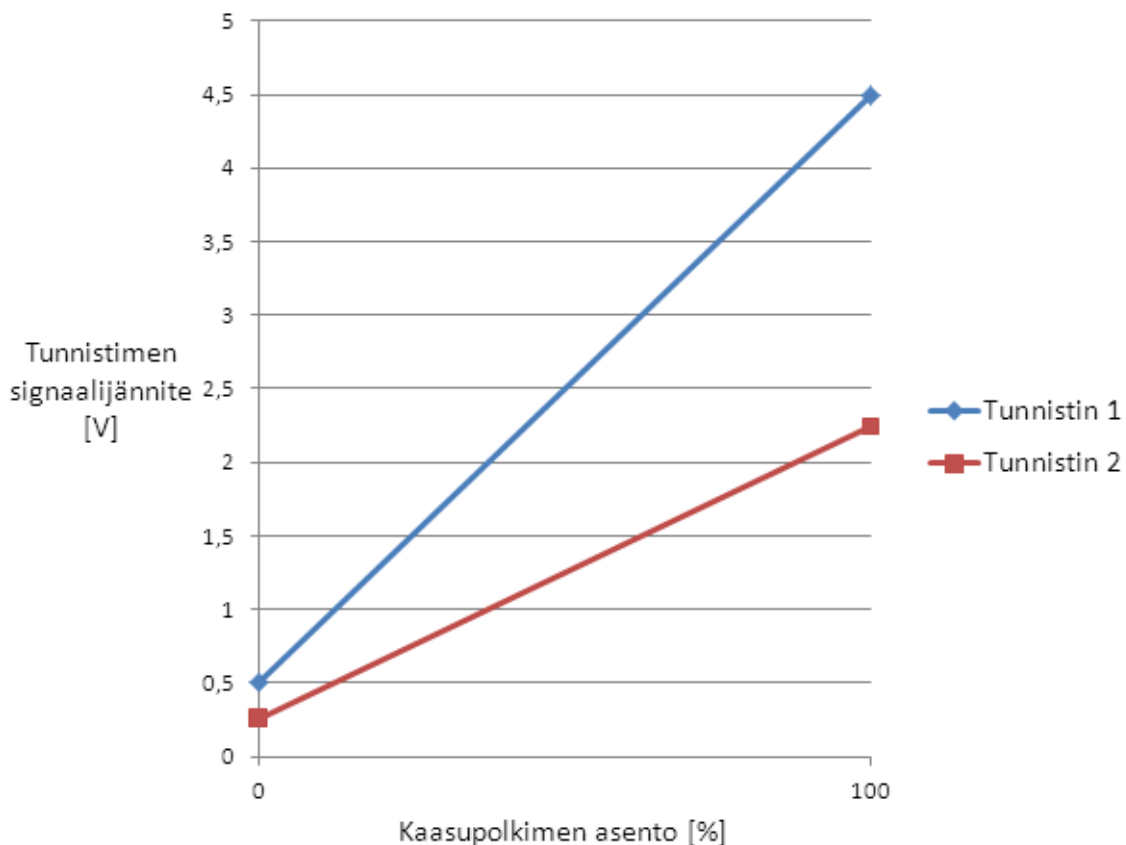
###### **Moottorin lämpötilatunnistimet**

Moottorissa on kolme PT100 vastuslämpötila-anturia sekä yksi KTY84 lämpötila-anturi. PT100-anturit on kytketty PLC-yksikköön ja KTY84-anturi taajuusmuuttajaan. Kuumimman PT100-anturin lämpötilatiedon mukaan rajoitetaan tarvittaessa vääntömomenttia. KTY84-anturi on turvallisuussyistä kytketty suo-

raan taajuusmuuttajaan. Tällä varmistetaan, ettei moottori pääse ylikuumentamaan PT100-antureiden tai ohjauslogiikan vikaantuessa.

### Kaasupolkimen asentotunnistin

Kaasupolkimen asentotunnistimeksi valittiin Mercedes-Benz E:n vaijeriin kiinnitettävä tunnistin. Alkuperäinen kaasupoljin toimii myös vaijerilla, joten tämä ratkaisu mahdollistaa alkuperäisen kaasupolkimen käytön. Tunnistimessa on kaksi sisäistä optista tunnistinta. Toisen tunnistimen kulmakerroin on puolet toisen tunnistimen kulmakertoimesta (kuva 10). Tunnistin sijoitettiin moottoritilaan, jossa alkuperäisenkin rakenne on sijainnut.



KUVA 10. Kaasupolkimen asentotunnistimen toimintaperiaate.

Tunnistin kytkettiin ohjauslogiikkaan, joka vertaa tunnistimien toimintaa. Oikosulun tai katkoksen sattuessa ohjelma siirtyy käyttämään ehjää piiriä. Tunnistin vaatii 5 V syöttöjännitteen, joka toteutettiin RECOM R-78B5.0-1.5

-kytkentäsäätimellä. Sen virranantokyky on 1,5 A, joka riittää hyvin myös muihin mahdollisiin 5 V antureihin (14, s. 1).

### **Suunnanvaihtokytkin**

Suunnanvaihtokytkimeksi valittiin nykyaikaisen traktorin suunnanvaihdin, jossa on eteen- taakse- ja vapaa -asennot. Suunnanvaihdin asennettiin ohjauspylvääseen vilkkukytkimen alapuolelle, josta sitä pystyy käyttämään irrottamatta otetta ohjauspyörästä (kuva 11). Kytettäessä ajosuunta tai vapaa-asento kyseisen asennon kytkennän vastus muuttuu 560  $\Omega$ :sta 2 760  $\Omega$ :iin. Tämä vastusmuutos tulkitaan ohjauslogiikan ohjelmassa kytkimen asentoa vastaavaksi asennoksi. Suunnanvaihtokytkimen sisäinen kytkentä on esitetty liitteessä 1.



*KUVA 11. Suunnanvaihtokytkin sijoitettuna ohjauspylvääseen.*

### **Akuston virta-anturi**

Akkujenhallintajärjestelmän mittaustaaajuus akustosta otettavalle virralle on 1 Hz. Järjestelmä lähettää tiedon CAN-väylää pitkin PLC:lle. Tämä on kuitenkin takaisinkytkentätietona liian hidas, jotta sitä voisi käyttää virranrajoitukseen. Käytännön testeissä havaittiin, että sekunnin aikana virta ehtii muuttua jopa 50

A. Säädin ei voi pysyä mukana tällaisen mittauksen perusteella, joten järjestelmään päädyttiin asentamaan riittävän mittaustaaajuuden ja virranmittauskyvyn omaava erillinen virta-anturi. Anturiksi valittiin 2 kHz mittaustaaajuuteen ja kykenevä LEM DHAB S/14, jonka mittausalue on –350 A...150 A (15, s. 3). Tämä riittää myöhempäänkin käyttöön, jolloin akkukapasiteettia on tarkoitus kasvattaa. Anturi sijoitettiin matkustajan istuimen takana olevaan koteloon taajuusmuuttajalle tulevan korkeajännitekaapelin plusnavan ympärille.

### **Jarrupolkimen asentotieto**

Ajoneuvossa tarvitaan jarrupolkimen asentotietoa vääntömomentin estämiseksi kaasua painettaessa. Lisäksi regenerointia tehostetaan hieman jarrua painettaessa. Signaali otettiin jarruvalolle menevästä johtimesta, joka kytkettiin ohjauslogiikkaan releen välityksellä.

### **Seisontajarrun asentotieto**

Seisontajarrun asentotunnistin on maadoittava kytkin. Signaali haaroitettiin releen maadoitukseen. Jännite syötettiin virtalukon kautta, joka kytkeytyy virran ollessa ajoasennossa.

### **Ovikytkin**

Kuljettajan ovikytkimen asento on myös maadoittava kytkin. Sen signaali PLC:lle toteutettiin samalla lailla kuin seisontajarrulla.

### **Peruutusvalo**

Peruutusvalo kytkettiin alkuperäiseen peruutusvaloille menevään johtimeen releen välityksellä PLC:n digitaaliulostulosta. Peruutusvalo syttyy, kun ajoneuvo on käynnissä ja ajosuunta asetetaan R-asentoon.

#### **4.4.2 Voimansiirron väylän kautta kulkevat sisäänmenot ja ulostulot**

Logiikkayksikkö lähettää väylän kautta ohjelman perusteella laskemansa vääntöpyynnin taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttaja lähettää toteutuneen väännön väylän kautta takaisin. Taajuusmuuttajalta saadaan myös lämpötila, jonka noustessa yli raja-arvon rajoitetaan ohjelmallisesti vääntömomenttia.

Akustosta tulee moottorinohjausta varten voimansiirron väylän kautta akuston matalimman kennon jännite, jotta akustoa ei kuormiteta liikaa. Lisäksi sieltä saadaan maksimi purkuvirtatieto akustosta otettavan virran mukaan säätävälle rajoitukselle. Akuston keskilämpötilan noustessa tietyn rajan ylitse rajoitetaan vääntömomenttia. Taajuusmuuttajalta ja akustosta saadaan lisäksi useita eri suureita tiedonkeruujärjestelmää ja ajoneuvon keskikonsolissa sijaitsevaa näyttölaitetta varten.

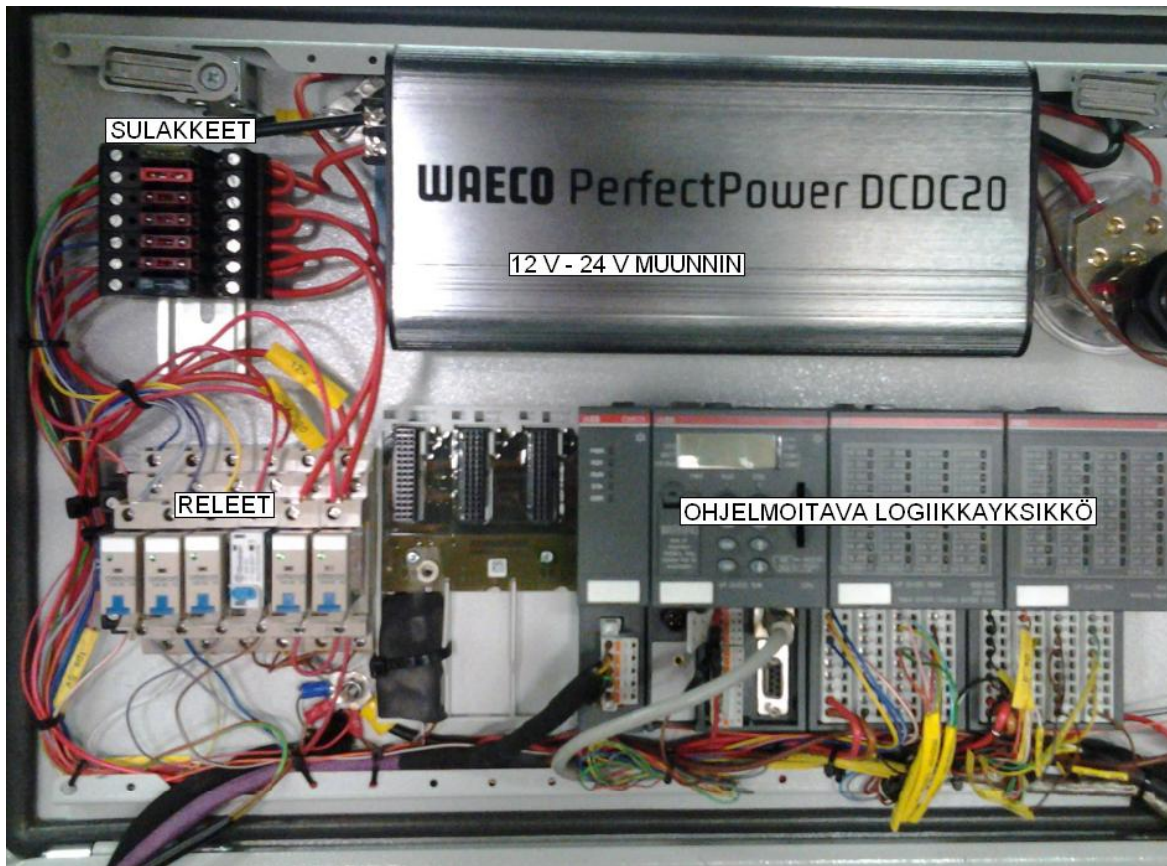
#### **4.5 Komponenttien mitoitus**

Ohjausjärjestelmän komponenttien valinnassa täytyy ottaa huomioon virran- ja jännitteenkesto. Liian alhaisen virrankeston omaava komponentti aiheuttaa jännitehäviön, josta seuraa lämpeneminen ja mahdollinen laitteen rikkoutuminen. Lämpenemisestä aiheutuva ylikuumeneminen aiheuttaa myös palovaaran.

Komponenttien ylimääräinen virran- ja jännitteenkesto ei aiheuta suoranaista haittaa. Tässä työssä käsitellyssä järjestelmässä johtimet on ylimitoitettu, koska komponentteja tullaan mahdollisesti tulevaisuudessa vaihtamaan erityyppisiin. Tällä pyrittiin siihen, ettei johtimien vaihtotarvetta tulisi. Johtimia asennettiin suhteellisen vähän, joten niiden ylimitoituksesta ei muodostunut tilaongelmaa.

#### **4.6 Komponenttien sijoitus**

Taajuusmuuttaja oli jo aiemmin sijoitettuna matkustajan istuimen taakse asennettuun arkkumaiseen peltikoteloon (kuva 12). Logiikkayksikkö, 12 V–24 V DC-DC-muunnin, releet ja sulakkeet sijoitettiin kotelon kanteen. Siinä ne olivat hyvin ulottuvilla ja näkyvissä kotelon ollessa auki. Kotelossa on em. komponenttien lisäksi DC-DC-muunnin, joka muuttaa ajoakuston korkeajännitteen auton alkuperäisen sähköjärjestelmän jännitetasoon.



*KUVA 12. Komponenttien sijoitus kotelon kannessa*

Kaikki kotelon kanteen tulevat komponentit asennettiin kansi irrotettuna. Tämä mahdollisti huolellisen työskentelyn ja komponenttien tarkan sijoituksen lisäksi ergonomisen työasennon.

#### **4.7 Johdinsarjan valmistus**

Aluksi tehtiin irrotettuun kanteen tulevat kytkennät valmiiksi. Kanteen tulevia johtimia ei suojattu eikä koteloitu mitenkään, koska tällaisessa tuotekehitysympäristössä tehdään mahdollisesti useita kytkentämuutoksia sekä kotelo antaa johtimille riittävän suojan.

Moottoritilassa ja ohjaamossa olevien tunnistimien johtimien reitit määritettiin, tarvittava pituus mitattiin ja suunniteltiin yhtymäkohdat toisiin johtimiin. Johtimiin jätettiin hieman ylimääräistä, etteivät ne missään kohdassa pääsisi kiristymään. Ajoneuvossa on suojamuovien alla niin hyvin tilaa, etteivät lievästi ylittämiset

johtimet aiheuta ongelmaa. Johtimien tuennassa on otettu huomioon riittävän lyhyet tuentavälit, jotta ajoneuvosta ja tiestä siirtyvät värähtelyt eivät herätä johtimia värähtelemään. Johtimien värit määritettiin siten, etteivät samaan pistokkeeseen menevät johtimet ole samanvärisiä.

Liittiminä käytettiin kosteussuojattuja liittimiä tai tinausta ja liimalla varustettua kutistesukkaa. Kaasupolkimen asentotunnistimen liitin on alkuperäinen Mercedes-Benzin liitin ja muut liittimet Superseal-liittimiä.

## 5 YHTEENVETO

Tässä työssä suunniteltiin ja toteutettiin sähkökäyttöisen ajoneuvon voimansiirron ohjausjärjestelmä. Työ jakaantui vaatimus- ja toimintomäärityksiin, komponenttien valintaan ja asennukseen sekä säätöön. Määrityksissä otettiin huomioon turvallisuus, taloudellisuus, käyttömukavuus ja voimansiirtojärjestelmän sähköiset ja mekaaniset vaatimukset.

Ohjausjärjestelmän komponenttien valinta tehtiin vaatimusmäärityksen perusteella. Moottorinohjausyksiköksi valittu PLC-logiikkayksikkö toimii suuremmalla jännitteellä kuin auton alkuperäinen sähköjärjestelmä. Tämän vuoksi jouduttiin asentamaan komponentteja, jotka olisi voinut jättää pois samalla jännitetasolla toimivan yksikön kanssa. Taajuusmuuttaja ja ohjauslogiikka ovat saman valmistajan tuotteita ja suunniteltu toimimaan yhdessä, joten niiden yhteensovittaminen ei ollut vaikea tehtävä. Erityyppisellä yksiköllä olisi voinut tulla arvaamattomia haasteita järjestelmän toimintaan saattamisessa.

Asennustöiden loppuvaiheessa järjestelmää käyttöönotettaessa tuli yllättäviä vastoinkäymisiä erilaisten väylähäiriöiden ja laitteita rikkovien jännitepiikkien vuoksi. Osa häiriöistä johtui viallisista akkumoduulien piirikorteista, joiden uusimisen jälkeen ajoneuvo saatiin ajokuntoiseksi.

Moottorinohjauksen säätö ja käyttöönotto tehtiin moottorinohjauksen ohjelman opinnäytetyönään tehneen Tuukka Pennasen (1) kanssa yhteistyössä. Akuston purkuvirran mukaan säätävää väännönrajoitusta säädettäessä havaittiin, että akustosta voimansiirron väylällä tuleva virtatiedon mittaustaajuus on liian hidas. Tämän vuoksi päädyttiin vielä erillinen korkean mittaustaajuuden omaava virtaanturi.

Kehitettävää jäi vielä regenerointiin, joka on nyt toteutettu kaasua ylös nostettuna tapahtuvalla lievällä moottorijarrutuksella ja lievästi tehostettuna jarrua painettaessa. Jarrupolkimeen asennettuna tarkkan asentoanturin perusteella regenerointia voisi säätää portaattomasti, jolloin moottorilla pystyisi tekemään turvallisesti tehokkaankin jarrutuksen.



Tätä suunnittelu- ja toteutustyötä voidaan hyödyntää monenlaisien sähköisten voimansiirtojärjestelmien suunnittelussa. Tämä prototyyppi tehtiin tutkimus- ja tuotekehitysympäristöksi. Tuotantomallissa moni asia kannattaisi tehdä toisella tavalla kustannussyistä.

## LÄHTEET

1. Pennanen, Tuukka 2013. Sähkötyökoneen moottorinohjausjärjestelmän ohjelmointi. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Valmisteilla oleva opinnäytetyö.
2. Ohjelmoitava logiikka. 1991. Suomen sähköurakoitsijaliitto ry:n julkaisu. Automaation perustieto. Espoo: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy.
3. Niiranen, Jouko 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Hakapaino Oy.
4. Tekninen opas numero 1: Suora momentinsäätö. 2001. ABB Oy. Saatavissa:  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/\\$file/Tekninenopasnro1.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/$file/Tekninenopasnro1.pdf). Hakupäivä 3.4.2013.
5. Ajoneuvojen verkottuminen. 2008. Robert Bosch GmbH. Suom. Matti Juha-la. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
6. Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 100. 2011. UNECE. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:057:0054:0085:FI:PDF>. Hakupäivä 3.4.2013.
7. Laiteopas ACSM1-04-taajuusmuuttajamoduulit 0,75...45 kW. 2007. ABB Oy. Saatavissa:  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/ec6b1bf5cfd4458dc1257379002b7848/\\$file/FI\\_ACSM1\\_04\\_HW\\_C\\_screenres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/ec6b1bf5cfd4458dc1257379002b7848/$file/FI_ACSM1_04_HW_C_screenres.pdf). Hakupäivä 18.3.2013.
8. EBattery™ Battery System. BMS 1.2 System manual. 2011. European Batteries Oy.

9. Main catalog, Industrial automation PLC, control panels, SCADA, engineering software, wireless. 2012. ABB Oy. Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/4446f12da27ab972c1257ac500510c98/\\$file/1SBC125003C0205.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/4446f12da27ab972c1257ac500510c98/$file/1SBC125003C0205.pdf). Hakupäivä 3.4.2013.
10. WAECO PerfectPower DCDC 20. 2013. Dometic WAECO International GmbH. Saatavissa: [http://www.waeco.com/en/products/4101\\_849.php](http://www.waeco.com/en/products/4101_849.php). Hakupäivä 3.4.2013.
11. CAN Bus Repeater/Isolator. 2011. Wachendorff Prozesstechnik GmbH & Co. KG Saatavissa: [https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/hd67117\\_hd67181\\_eng\\_tds.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/hd67117_hd67181_eng_tds.pdf). Hakupäivä 3.4.2013.
12. ADL / EDL User's Manual. 2004. MoTeC Pty Ltd. Australia: Motec Pty Ltd.
13. Central Logging System User Manual. 2008. MoTeC Pty Ltd. Australia: Motec Pty Ltd.
14. INNOLINE DC/DC-Converter R-78Bxx-1.5(L) Series. 2007. Recom. Saatavissa: [https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/zkR-78Bxx-1\\_5\\_L.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/zkR-78Bxx-1_5_L.pdf). Hakupäivä 3.4.2013.
15. Automotive current transducer DHAB S/14. 2013. LEM Holding SA. Saatavissa: <http://www.lem.com/docs/products/dhab%20s14.pdf>. Hakupäivä 4.4.2013.

# AJONEUVON SÄHKÖJÄRJESTELMÄN KYTKENTÄKAAVIO

## LIITE 1

