



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Otto Johannes Penttilä

SÄHKÖMOPOAUTOPROJEKTIN
SÄHKÖKÄYTÖN JATKOSUUNNITTELU
JA TESTAUS

Tekniikka- ja liikenne

2011

ALKUSANAT

Tämä sähkömopoauto projektin jatkosuunnittelu ja testaus (opinnäytetyö) on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusohjelmaan.

Haluan kiittää kaikkia tässä projektissa mukana olleita osapuolia. Erityisesti haluan kiittää yliopettaja Kari Jokista, Technobotnian henkilökuntaa ja European batteriessia. Kari Jokinen auttoi opinnäytetyön tekemisessä ja antoi mahdollisuuden tähän mielenkiintoiseen opinnäytetyöhön.

Vaasa 20.4.2011

Otto Penttilä

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Otto Penttilä
Opinnäytetyön nimi	Sähkömopoautoprojektin sähkökäytön jatkosuunnittelu ja testaus
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	47 + 12 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Tässä opinnäytetyössä jatkosuunnitellaan ja testataan Vaasan ammattikorkeakoululle sähkömopoauton sähköjärjestelmää. Sähköjärjestelmän suunnitteluun ja testaukseen sisältyy akuston kokoonpano, kytkentätyöt sekä testaus. Lisäksi Ohjainjärjestelmän kokoonpanon läpikäynti, toiminta ja testaus sekä moottoriohjaimen ja moottorin testaus lataus-, kuormitus- ja jarrutustilanteissa.

Työn tarkoituksena on saada toimiva sähkömopoauton sähköjärjestelmä opetus- ja tutkimuskäyttöön. Sähkömopoautoprojekti on ollut kehitys- ja tutkimuskäytössä Vaasan ammattikorkeakoulussa ja siihen tullaan tekemään kehitys- ja tutkimustyötä vielä jatkossa. Tämän sähkömopoautoprojektin avulla saadaan mahdollisuus tutkia sähköajoneuvojen tekniikkaa sekä lisätä sähköajoneuvoihin liittyvää opetusta Vaasan ammattikorkeakoulussa. Sähköautot tulevat todennäköisesti haastamaan lähitulevaisuudessa polttomoottorikäyttöiset ajoneuvot niiden kehityksen ja ihmiskunnan yhä ympäristöystävällisemmän ajattelun takia.

Tässä työssä on tehty akustojen ja sähköjärjestelmän kytkentä- ja kokoonpanotyöt. Latausvaiheen mittauksissa on tutkittu akustojen ottamaa virtaa ja jännitettä sekä niiden käyttäytymistä ajanfunktiona akustojen latauksen ajan. Kuormavastuksella on simuloitu DC-välipiirin kondensaattorin ottamaa latausaikaa. Jatkuvankuormituksen kokeessa on mitattu akustojen varauksen kesto sekä akuston antama virta, jännite ja teho. Jarrutuskokeessa on simuloitu akuston varaama energia jarrutustilanteissa eri nopeuksilla ajaessa.

Asiasanat

sähköauto, sähköjärjestelmä, testaus, akusto

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VAASA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Otto Penttilä
Title	Further Design and Testing of Electric Quadricycle
Year	2011
Language	Finnish
Pages	47 + 12 Appendices
Name of Supervisor	Kari Jokinen

The purpose of this thesis was the further design and testing of an electric quadricycle. This project was made for Vaasa University of Applied Sciences. The design and testing of the electrical systems includes assembly, wiring work and testing of battery packs. In addition, the assembly, operation and testing, as well testing experiments for charging, loading and braking of frequency converter / squirrel cage motor module were part of the thesis.

The purpose of the thesis was to be able to use a functional electric quadricycle for a teaching and research purposes. This quadricycle project has been under development and research use in Vaasa University of Applied Sciences and there will be made more development and research work in the future.

In this project wiring and assembly of charger module and electrical system were made. The measurements of charging period were researched by the battery current and voltage as well their behavior in time lapse in the battery charging period. Also the loading period of DC intermediate circuit with load resistor was simulated. In the measurement of continuous load the battery charging duration and current, voltage and power of charger module were measured. In the braking test the battery charging energy with different speed situations was simulated.

This quadricycle project will help to increase teaching of electric vehicle and give a chance to a research work of electric vehicles technology in Vaasa University of Applied Sciences. The electric vehicle will probably come to challenge combustion cars for the reason of low-emission and the development of the electric vehicle technology.

Keywords	Quadricycle, Development, Charging, Battery, Squirrel Cage Motor, Frequency Converter
----------	---

KÄYTETYT LYHENTEET

IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
BMS	Battery Management System, akunhallintajärjestelmä
BMBU6	Battery Management balancing Unit, akun balansointiyksikkö
NTC	Negative Temperature Coefficient, termistori
CAN	Controller Area Network, automaatioväylä
FEFT	Finnish Electric Vehicle Technologies
BCM	Battery Cycle Monitor
BCMA	Battery Cycle Monitor Adapter
CTB	Can Adapter card

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
KÄYTETYT LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	8
2 SÄHKÖAUTOT YLEISESTI	9
2.1 Sähköautot	9
2.2 Keskeisimmät turvallisuusstandardit.....	10
3 SÄHKÖJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA OHJAUSPIIRIN LÄPIKÄYNTI	12
3.1 Sähköjärjestelmän kokoonpano ja rakenne	12
3.2 Pääpiirin kytkentä.....	14
4 AKUSTOJEN TURVALLISUUSVAATIMUKSET JA STANDARDIT ...	16
4.1 Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset	16
4.2 Sähköauton akkustandardit	16
5 LATAUS - JA OHJAUSTOIMILAITTEET	17
5.1 Akuston kokoonpano ja rakenne	17
5.2 Akuston kytkentä hallintajärjestelmään.....	19
5.3 Etu-kontaktorimoduuli	20
5.4 Taka-kontaktorimoduuli	21
5.5 Varaajamoduuli.....	22
5.6 CAN-adapterikortti.....	23
5.7 CAN-väylä	24
5.8 DC/DC -muuntimet	27
6 AKUSTON LATAUKSEN TESTAUS	28
6.1 Varaajamoduulin ja latauksen ohjauksen toiminta.....	28
6.2 Latausvaiheen mittaukset.....	29
7 DC-VÄLIPIIRIN KONDENSAATTORIN LATAUS	31
7.1 DC-välipiirin kondensaattorin lataustilanteen toiminta.....	31
7.2 DC-välipiirin latausvaiheen mittausten analysointi.....	32

8 MOOTTORIKÄYTÖN TESTAUS.....	34
8.1 Testausjärjestelyt.....	34
8.2 Moottoritoimintojen testaus	35
8.2.1 Jatkuva kuormitus.....	35
8.2.2 Jarrutuskoe.....	40
9 YHTEENVETO	45
LÄHDELUETTELO	46
LIITTEET	

LIITELUETTELO

LIITE 1. CCB block diagram

LIITE 2. Pääpiirin piirikaavio

LIITE 3. Balansointikaapelien asennus

LIITE 4. Lattakaapelien asennus

LIITE 5. Block diagram of the Front Contactor Module

LIITE 6. Block diagram of the Rear Contactor Module

LIITE 7. Varaajien virranjakorasia

LIITE 8. Charger & Power Supply Module

LIITE 9. PAC 3200 tekniset tiedot

LIITE 10. Charge & Maintenance block diagram

LIITE 11. Momenttikäyrät

LIITE 12. CAN-viesti

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on jatkaa aiemmin tehtyä sähkökäyttöjen suunnittelu- ja testausopinnäytetyötä tekemällä akustot ja ohjausjärjestelmä valmiiksi sekä testata akustojen latausta ja moottoreiden toimintaa kuormitus- ja jarrutustilanteissa. Sähkömopoauto tulee Vaasan ammattikorkeakoulun opetuskäyttöön ja siihen tehdään kehitystyötä vielä vuosia. Sähkömopooton suunnittelu- ja kokoonpanotyöt tehdään huomioiden liikennekäyttöä. Tarkoituksena olisi ajaa sitä tieliikenteessä.

Sähkömopootoprojekti tehdään tekniikan ja liikenteen toimialan kaikkien koulutusohjelmien välisenä yhteistyönä. Sähkötekniikan osastolla on tehty kaksi opinnäytetyötä tästä projektista, ensimmäinen on ohjaustekniikan suunnittelu ja testaus sekä toinen sähkökäyttöjen suunnittelu ja testaus. Konetekniikan koulutusohjelmassa on tehty opinnäytetyö moottorin ripustuksesta ja 3D-mallinnuksesta. Lisäksi sähkötekniikan ja konetekniikan koulutusohjelmissa on tehty neljä projektityötä akkukoteloiden suunnittelusta, potentiometriin perustuvasta kaasupolkimesta, akuston suunnittelu- ja kokoonpanotyöstä sekä ohjauksen käyttöönotosta. Jatkossa myös tietotekniikka ja ympäristötekniikka tulevat mukaan projektiin.

Sähköautot ovat yleistymässä maailmalla uudistuneiden päästömääräysten sekä ympäristöystävällisen käytön ja korjauksen helppouden takia, mutta vaikeuksia tuottaa akustojen korkea hinta sekä massatuotannon puute. Vuoteen 2020 mennessä EU:n ilmastopöimus edellyttää 16 % vähennyksen päästökaupan ulkopuolisiin kasvihuonepäästöihin sekä 10 % tieliikenteen käyttämästä energiasta on oltava uusiutuvaa. Sähköautot itsessään ovat melko vähäpäästöisiä ja nykyisillä tuotantorakenteilla saataisiin päästöt pienemmään noin kymmenesosaan. Sähkömoottorilla toimiva auto on yksi todennäköisimmistä tulevaisuuden vaihtoehdoista ajoneuvotekniikassa.

2 SÄHKÖAUTOT YLEISESTI

2.1 Sähköautot

Sähköauto on vanhempi keksintö kuin polttomoottoriauto. Sähköauto oli suositumpi 1900-luvun alussa, mutta sen valta-asema kuitenkin hävisi 1920-luvulla. Polttomoottorit valtasivat markkinat sarjatuotannon takia ja sähkömoottoreita alettiin käyttää pelkästään auton käynnistykseen. /7/ 1990-luvulla autoteollisuus kehitti sähköautoja, mutta akkuteknisten ongelmien vuoksi siirryttiin hybridi- ja polttokennoautoihin. Sähköautojen kehittäminen on saanut uutta puhtia hiilidioksidipäästöjen vaatimusten tiukentuessa ja suuret autovalmistajat ovat ilmoittaneet tuovansa akkusähköautoja markkinoille 2010-2012 välisenä aikana. /7/

Litiumakkujen antama toimintasäde riittää hyvin kaupunkiliikenteeseen. Sähkömoottoriauto on vähäpäästöinen ja vähentäisi näin kaupunkien ilmansaasteita huomattavasti. Sähköautot ovat myös hiljaisia verrattuna polttomoottoriautoihin. /7/ Sähköauton käyttökelpoisuuden ja suorituskyvyn ratkaisevat akku ja sen ominaisuudet. Sähköauton paras mahdollinen akku täyttäisi monta eri suorituskykyehtoä, kuten suuri ominaisenergia, suuri energiatiheys, suuri ominaisteho, pitkä käyttöikä ja nopea latausaika. Akun pitäisi myös olla turvallinen, kierrätettävä ja edullinen sekä laajalla lämpöasteikolla toimiva. Mikään tänäpäivänä markkinoilla oleva akku ei täytä näitä kaikkia vaatimuksia, joten akkujen valinnassa sähköauton valmistajien on tehtävä myönnytyksiä. /8/ Sähköautojen hankintakustannukset ovat melko suuret, mutta käyttökustannukset taas pienemmät kuin polttomoottoriautoilla. Sähköautojen taloudellinen ajotapa poikkeaa polttomoottoriautoista. Sähköautoa on kannattavaa ajaa suurilla kierrosnopeuksilla, jolloin energiakulutus on hyvin pientä verrattuna matalilla kierrosnopeuksilla. Matalilla kierrosnopeuksilla ajettaessa sähköauton energiakulutus on hyvin suurta, mutta vääntö on parhaimmillaan. Sähköauton taloudellinen ajotapa vaatii kouluttautumista, että päästäisiin mahdollisimman energiatehokkaaseen ajamiseen. /8/

2.2 Keskeisimmät turvallisuusstandardit

Sähköajoneuvojen keskeisimmät turvallisuusstandardit jakautuvat kolmeen eri osaan keskittyen ajoneuvoihin kiinteästi asennettuihin energiavarastoihin sekä vikatilanteilta- ja sähköiskuilta suojautumiseen. Sähköajoneuvoja koskevat turvallisuusmääräykset sijoittuvat ICS luokkaan 43.120. (Electric road vehicles). Näiden lisäksi sähköajoneuvojen turvallisuusstandardeihin kuuluvat soveltuvin osin muut tieliikenteeseen tarkoitettujen ajoneuvojen turvallisuusstandardit.

ISO 6469-1:2009

Nimi: Ajoneuvoon kiinteästi asennettu ladattava energianlähde.
Turvallisuusmääräykset - Osa 1

TC/SC: TC 22/SC 21

ICS: 43.120

Sisältö: ISO 6469-1:2009 määrittää kaikki sähköllä ladattavien energian varastointijärjestelmien turvallisuusseikat. Standardi kattaa ajoneuvot, joiden käyttövoiman lähteenä on akku, polttokenno tai hybridijärjestelmä, pois lukien tieliikenteeseen soveltumattomat ajoneuvot ja moottoripyörät. //

ISO 6469-2:2009

Nimi: Ajoneuvojen turvallisuusmääräykset toimintahäiriöitä vastaan.
Turvallisuusmääräykset - Osa 2

TC/SC: TC 22/SC 21

ICS: 43.120

Sisältö: ISO 6469-2:2009 määrittää vaatimukset häiriöistä ja vaaratilanteista, jotka ajoneuvo tai käyttövoiman lähde saattaa aiheuttaa matkustajille tai ulkopuolisille turvallisuusriskejä. /2/

ISO/CD 6469-3:2001

Nimi: Henkilöiden suojaaminen sähköiskuja vastaan.
Turvallisuusmääräykset - Osa 3

TC/SC: TC 22/SC 21

ICS: 43.120

Sisältö: ISO 6469-3:2001 määrittää turvallisuusmääräykset henkilöiden suojaamiseen sähköiskuja vastaan. /3/

Sähköautojen osalta standardointityö on vielä huomattavasti kesken, koska kehitystä tapahtuu jatkuvasti. Suurin osa nykyisistä sähköajoneuvojen standardeista on alunperin koskenut vain polttomoottoriautoja. Tänäpäivänä näitä standardeja on päivitetty kattamaan myös sähköautoja. Standardit ovat vielä hyvin paljon keskeneräisiä, mutta se antaa eri toimijoille mahdollisuuksia olla mukana standardoinnissa ja standardien luomisessa.

3 SÄHKÖJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA OHJAUSPIIRIN LÄPIKÄYNTI

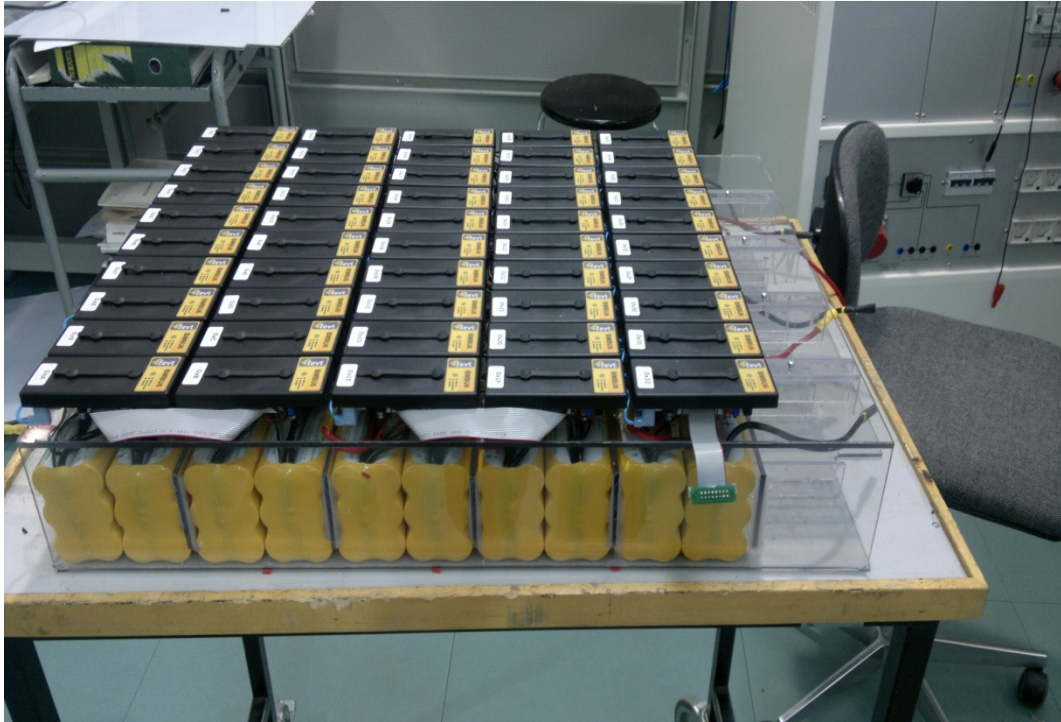
3.1 Sähköjärjestelmän kokoonpano ja rakenne

Sähkömopoauton sähköjärjestelmä koostuu kahdesta akkupaketista, etukontaktorimoduulista, takakontaktorimoduulista, varaajamoduulista, CAN-adapterimoduulista, CAN-väylästä, logiikasta, taajuusmuuttajasta ja oikosulkumoottorista. (LIITE 1)

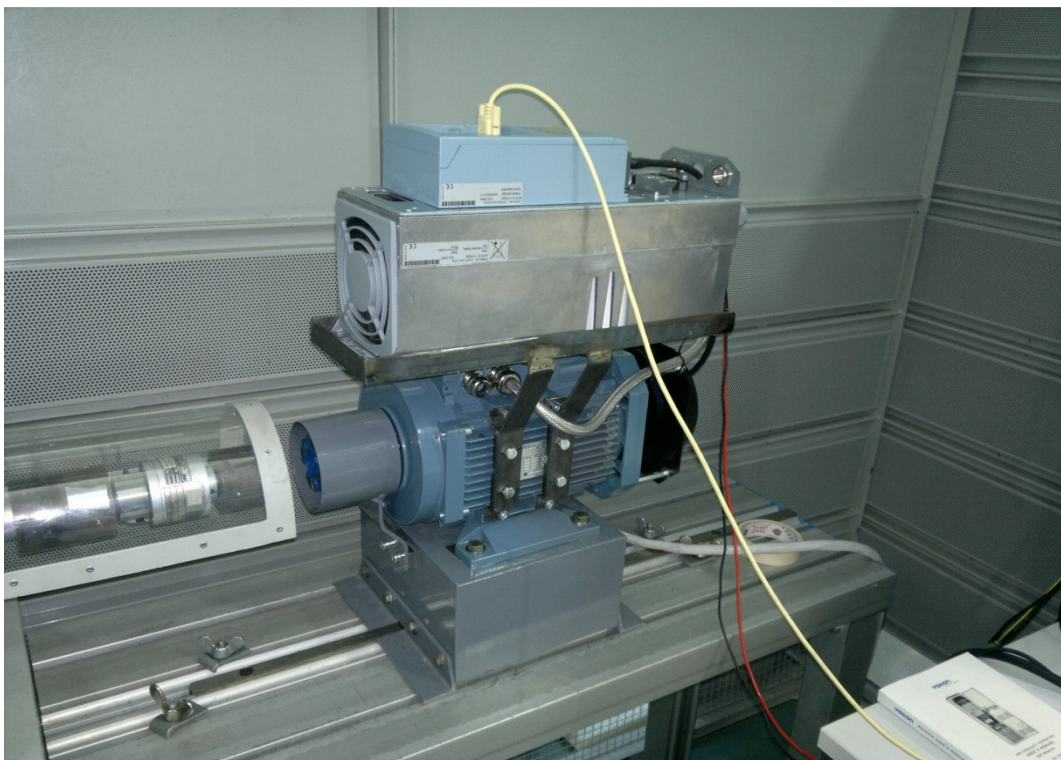
Kuvassa 1 on sähkömopoauton taka-osaan sijoitettava alustalevy, johon on kiinnitetty varaajamoduulit, etukontaktorimoduuli, takakontaktorimoduuli, DC/DC-muuntimet sekä sulakerasia. Kuvassa 2 on akkupaketti, joita tulee kaksi sähkömopautoon ja ne sijoitetaan penkkien alle. Kuvassa 3 on taajuusmuuttaja integroitu kiinni oikosulkumoottoriin metallikehikolla.



Kuva 1. Etu- ja takakontaktorimoduulit , varaajamoduuli ja DC/DC muuntimet.



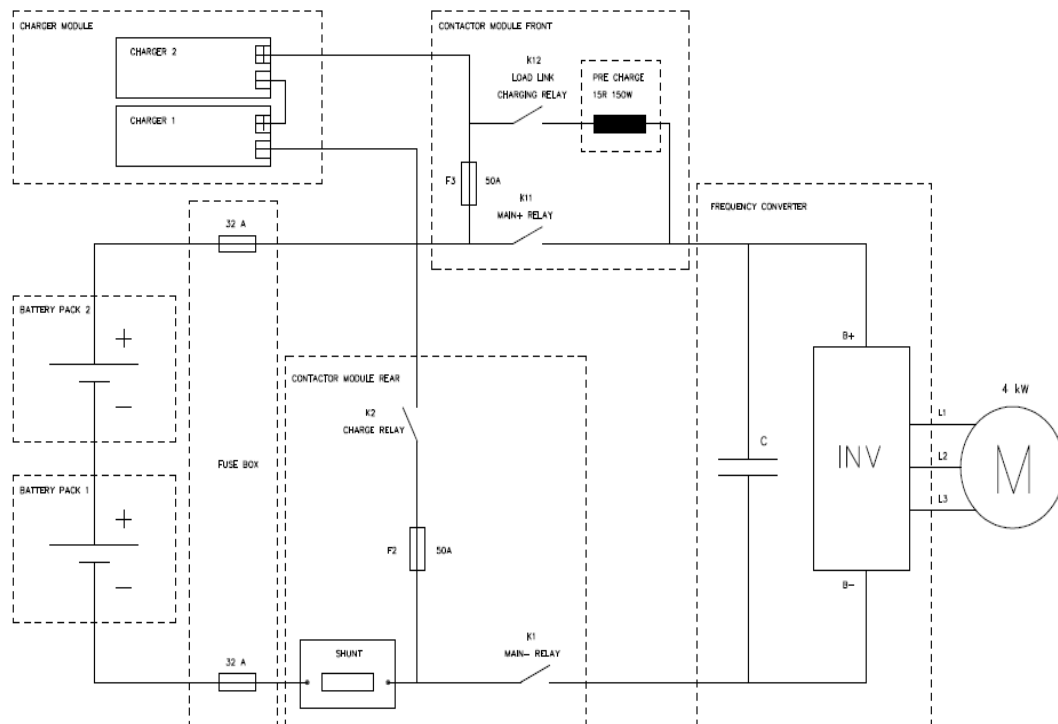
Kuva 2. Akusto.



Kuva 3. Taajuusmuuttaja integroituna oikosulkumoottoriin.

3.2 Pääpiirin kytkentä

Pääpiiri on vaikea hahmottaa koko sähköjärjestelmän piirikaaviosta, joten piirrettiin yksinkertainen pääpiirin piirikaavio. **(Kuva 4.), (LIITE 2)**



Kuva 4. Pääpiirin piirikaavio

Pääpiirin piirikaaviosta näkee hyvin kaikki pääpiirin osat. Akustopaketteja on kaksi, jotka ovat sarjaan kytketty. Akustoilta lähtevät plus- ja miinusnavat menevät sulakerasiaan, jossa molemmille plus- ja miinusjohtimille on 32 A:n kahvasulakkeet.

Plusjohdin on johdotettu sulakerasialta etu-kontaktorimoduulille, josta se on johdotettu K11 (Main+ relay) kontaktorin kautta taajuusmuuttajalle. Etu-kontaktorimoduulissa plusjohdin kiertää F3 (50 A) sulakkeen kautta K12 (Load link charging relay) kontaktorille, josta etulatausvastuksen kautta taajuusmuuttajalle B+ liittimelle. Etu-kontaktorimoduulista on johdotettu myös plusjodin varaajamoduulille, jossa on kaksi sarjaan kytkettyä varaajaa.

Miinusjohdin menee sulakerasian jälkeen taka-kontaktorimoduulin SHUNT (suodin) -piirin läpi K1 (Main- relay) kontaktorille, josta virtapiiri jatkuu taajuusmuuttajalle B- liittimelle. Taka-kontaktorimoduulilta SHUNTin jälkeen virtapiiri menee myös F2 (50 A) sulakkeen läpi K2 (charging relay) kontaktorin kautta varaajamoduulille, jossa se on kiinnitetty varaajan miinusnapaan.

Pääpiirin pluspuolella ohjataan taajuusmuuttajaa K11 kontaktorilla ja apuna K12 kontaktori, jossa mukana etulatausvastus. Etulatausvastuksella ladataan rajoitetulla virralla taajuusmuuttajan DC-välipiirin kondensaattori ennen akuston jännitteen kytkemistä.

Pääpiirin miinuspuolella ohjataan varaajamoduulin kytkeytymistä K2 kontaktorin avulla ja taajuusmuuttajalle menevää pääpiiriä K1 kontaktorilla.

Taajuusmuuttaja 7,5 kW on Vaconin valmistama ja oikosulkumoottori 4 kW on ABB:n valmistama. Taajuusmuuttaja on integroitu metallikehikolla oikosulkumoottoriin kiinni.

4 AKUSTOJEN TURVALLISUUSVAATIMUKSET JA STANDARDIT

4.1 Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset

SFS-EN 50 272-3 standardi käsittelee ajovoima-akkuja ja niiden asennuksia sähköisissä kulkuneuvoissa. Kulkuneuvoissa käytetyt ajovoima-akut on lajiteltu seuraavasti: teollisuudessa käytettävät ajovoima-akut, akkukäyttöisten vetureiden akut sekä sähköautojen ja vastaavien kulkuneuvojen akut. Akkujen nimellisjännitteen pienjännitteellä pitää olla alle 1000 VAC ja 1500 VDC. Akkujen turvallisuusvaatimukset käsittelevät suojautumisen perusmenetelmiä sähköön, kaasunkehityksen ja elektrolyytin aiheuttamia vaikutuksia vastaan. Standardissa käsitellään myös akkujen ja akustojen asentamiseen, käyttöön, tarkastukseen ja hävittämiseen liittyvät turvallisuusvaatimukset. Standardissa käsitellään lyijyakkuja ja nikkeli-kadiumakkuja sekä muita alkaliakkuja. Standardia SFS-EN 50 272-3 on tarkoitus täydentää sitä mukaa, kun uusia akkutyyppiä tulee markkinoille. /11/,/12/

4.2 Sähköauton akkustandardit

IEC 61982-1:2006. Secondary batteries for the propulsion of electric road vehicles - Part 1: Test parameters. /11/

IEC 61982-2:2002. Secondary batteries for the propulsion of electric road vehicles - Part 2: Dynamic discharge performance test and dynamic endurance test./11/

IEC 61982-3:2001. Secondary batteries for the propulsion of electric road vehicles - Part 3: Performance and life testing. /11/

5 LATAUS - JA OHJAUSTOIMILAITTEET

5.1 Akuston kokoonpano ja rakenne

Sähkömopoauton akusto koostuu kahdesta akustopaketesta (Battery pack 1 ja Battery pack 2). Akustopaketti koostuu puolestaan 50:tä sarjaan kytketystä akkukennosta. Yksi akkukenno sisältää 6 kpl rinnan kytkettyä K2 energyn 3,2 V batteria (26650EV). Jokaiseen akkukennoon on kytketty plus- ja miinusnapoihin 6 mm² vahvuiset johtimet akkukennojen sarjaan kytkemistä varten, lisäksi akkukennoista lähtee plus- ja miinusnavoilta 1,5 mm² johtimet batterin hallintatasausyksikölle (BMBU6). (**Kuva 4.**) Akustopaketin pintaan asennetaan jokaiselle akkukennolle oma BMBU6 (Battery Managment Balancing Unit). (**Kuva 5.**) Akustoille on tehty optio tuulettimista, mutta akustoihin ei laiteta tuulettimia.



Kuva 5. Kuusi rinnan kytkettyä akkubatteria.



Kuva 6. BMBU6 ja NTC lämpötila-anturi.

Akkukennot on kytketty kymmenen kennon sarjaan katkaistavilla liittimillä, mikä takasi akustojen turvallisen kytkemis- ja kokoonpanotyön. Jännite ei noussut yli 32 VDC.

Kun akkukennot oli kytketty kymmenen kennon sarjaan, laitettiin ne akuille tehdylle muovisen kotelon sisään. Muovikotelo on suunniteltu aiemmin tehdyssä projektityössä konetekniikan koulutusohjelmassa. Muovinen kotelo ei sopinut alkuperäisten suunnitelmien mukaan, joten jouduttiin muokkaamaan koteloa sopivaksi akkukennoille. Kun akkukennot sopivat hyvin koteloon, liimattiin Epox-kovetinmassalla NTC-lämpötila-anturit kiinni jokaiseen akkukennoon. NTC-lämpötila-anturit kytketään myös BMBU6- hallintajärjestelmään. Akkukennojen päällä on läpinäkyvästä muovista tehty suojakansi, jossa on jokaiselle akkukennon johtimelle tehty läpivientireikä. Läpivientireiästä on johdotettu johtimet ja lämpötila-anturi BMBU6:lle. Akustopakettien päälle on suunniteltu vielä paksusta läpinäkyvästä muovista tehty suojakansi, joka laitetaan akustoihin kun ne asennetaan sähkömopoautoon. Tässä vaiheessa akusto on valmis kytkettäväksi batterin hallintajärjestelmään.

5.2 Akuston kytkentä hallintajärjestelmään

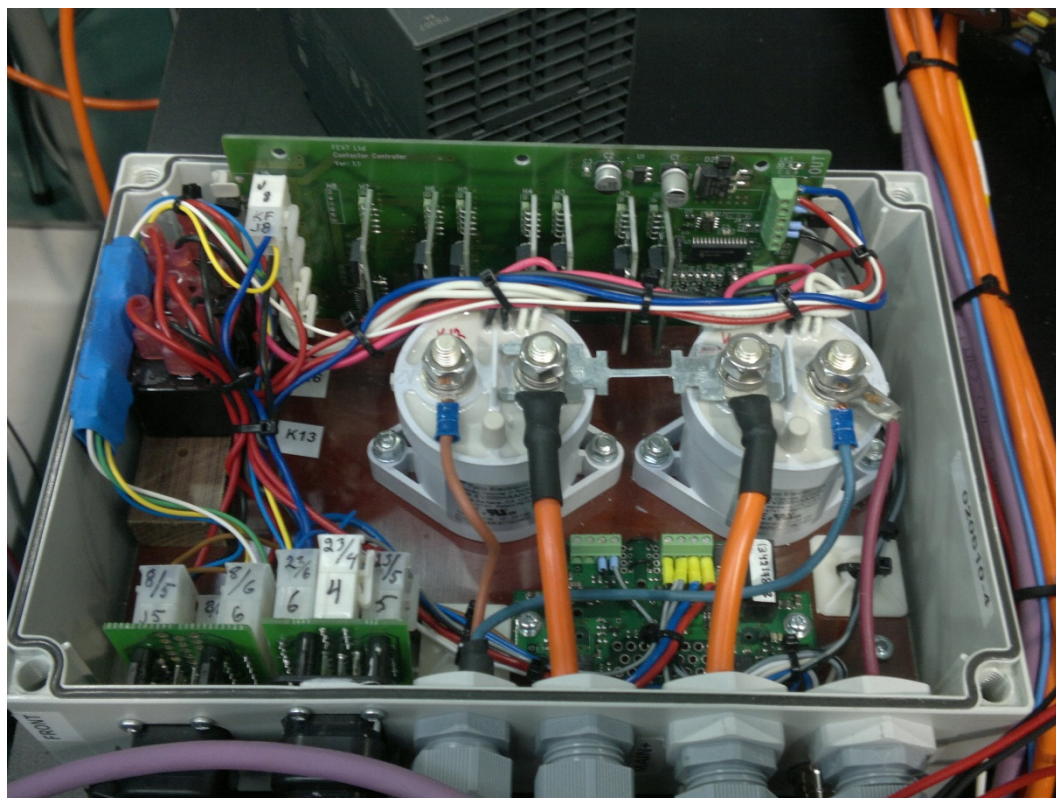
Akuston kytkeminen BMU- järjestelmään oli tämän päättötyön työläin vaihe. Kaikki johtimet ja paljaat jännitteiset osat oli suojattava oikosulkuvaaran vuoksi. Akustoissa ei ole kovin suuri sisäinen resistanssi, jonka vuoksi oikosulku saattaa aiheuttaa ison virran. Nämä akustot eivät myöskään "räjähdä" vaan halkeavat oikosulun tapahtuessa, joten se tekee viasta vaikean huomata. BMU- järjestelmä sulkee akustopakettin pois käytöstä mikäli yksikin akkukenno on vahingoittunut. BMU- järjestelmä havaitsee myöskin lämpötilan muutokset NTC- lämpötilantureilla. NTC- lämpötilantureilla estetään akustojen ylikuumentuminen. Jokaiseen BMBU6- yksikköön kytketään sarjaan CAN-väylä lattaliitinkaapelilla. Varaajan adabteriyksiköltä tuodaan 48 VDC BMBU6- yksikölle, jolla tasataan akustojen jännitteitä. BMBU6- yksiköt kytketään ruuveilla metallisiin kutistesukalla suojattuihin liittimiin. Samoihin liittimiin johdotetaan akkukennolta plus- ja miinusjohtimet. Musta suojakutistesukka on miinusjohdin ja punainen plusjohdin. Jokaisella BMBU6:lla on oma väyläosoite. Väyläosoitteen avulla pystyy CAN-väylän kautta valvomaan BMBU6:en toimintaa. **(Kuva 6), (LIITTEET 3 ja 4)**



Kuva 7. BMBU6 -yksiköiden kytkentä.

5.3 Etu-kontaktorimoduuli

Sähkömopon etu-kontaktorimoduuli on fevt:n valmistama. Etu-kontaktorimoduuliin kuuluu kontaktoriohjain, K12 (Load link charging relay), K11 (main+ relay), OPTO-erotin, repeater 1 (vahvistin), K13 (Start sense Zytec) ja K16 (Coolig fan). **(Liite 5)**



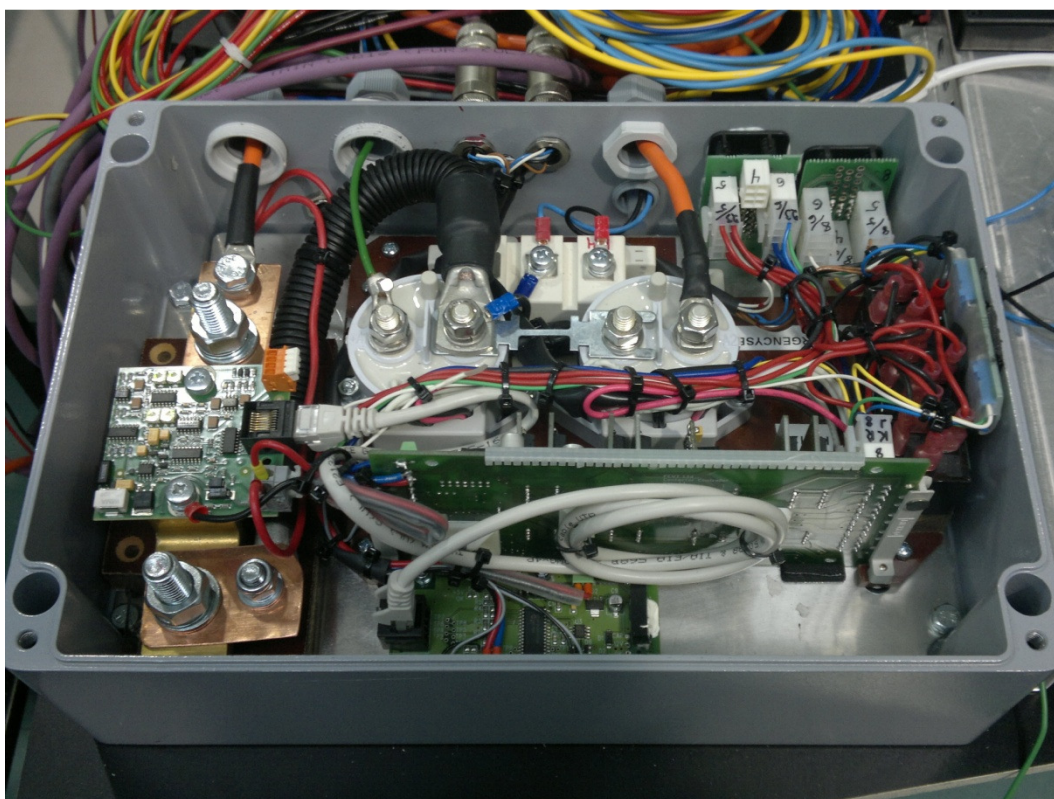
Kuva 8. Etu-kontaktorimoduuli (Contactor module front).

Kontaktoriohjain ohjaa kaikkia kontakteita ja CAN-väylää etu-kontaktorimoduulissa. Akustolta tulevaa Main+ piiriä ohjataan taajusmuuttajalle B+ liittimelle K11- (Main+ relay) kontaktorin avulla. K12- (load link charging relay) kontaktorilla ohjataan etulatausvastuksen toimintaa. Optoerottimella välitetään signaaleja Start sen R (virta-avain päälle), Ignition sense (käynnistys pulssi) ja Fault sense (vikatila). Optoerottimessa on galvaaninen eristys häiriötä aiheuttavan ohjaavan virtapiirin ja häiriöalttiin ohjattavan virtapiirin välillä. Optoerotin lähettää valonsäteillä välitettäviä signaaleja tai dataa galvaanisesti

erotetun rajapinnan yli. Optoerotin lähettää päälle-pois -signaaleja ja se on luonteeltaan digitaalinen /5/. Repeater 1 on vahvistin, jolla vastaanotetaan CAN-väylän signaaleja ja lähetetään signaalit korkeammalla tasolla tai teholla kontaktoriohjaimille ja BMU:lle. Repeater 1 mahdollistaa pidemmän signaalin kantomatkan. K13- (Start Sense Zytek) kontaktoria ohjataan kontaktoriohjaimella ja se antaa käynnistyskäskyn Zytek- järjestelmän päälle laittoon. K16- (Cooling fan) kontaktorilla ohjataan akustojen tuulettimia.

5.4 Taka-kontaktorimoduuli

Sähkömopon auton taka-kontaktorimoduuli on FEVT:n valmistama. Taka-kontaktorimoduuliin kuuluu kontaktoriohjain, K1 (Main- relay), K2 (Charge relay), K3 (12 V Relay), K4 (48 V IGBT), K5 (Emergency Sense Relay), K6 (Cooling fan), optoerotin, SHUNT (BCM ja BCMA). **(LIITE 6)**



Kuva 9. Taka-kontaktorimoduuli (Contactor module rear).

Kontaktoriohjaimella ohjataan kaikkia kontaktoreita ja CAN-väylää taka-kontaktorimoduulissa. K1- (Main- relay) kontaktorilla ohjataan akuilta tulevaa MAIN- piiriä taajuusmuuttajalle B- liittimelle. K2 (Charge relay) kontaktorilla ohjataan Main- piiri varaajamoduulille. K3- (12 V Relay) kontaktorilla ohjataan 12 V varaajamoduulille. K4 (48 V IGBT) on suuritehoinen bibolaaritransistori. IGBT:tä käytetään yleensä kytkinkäytöissä. Se kestää suuren virran kiinni-tilassa ja suuren jännitteen auki-tilassa. K5:lla (emergency Sense) ohajataan K1- (Main-relay) kontaktori jännitteettömäksi hätätapauksissa. K6- (Colling fan) kontaktorilla ohjataan akkupaketin tuuletusta. SHUNT ja siihen integroitu BCM (Battery Cycle Monitor) tekevät akustojen valvonnan mahdolliseksi. SHUNT:lla saadaan virranmittaus BCM:lle. BCMA (Battery Cycle Monitor Adabter) on adabteri, jolla siirretään signaalit väylämuotoon RJ45- ethernet-kaapelin avulla. Optoerottimella taka-kontaktorimoduulissa siirretään vain (emergency sense) hätäsignaalia kotaktoriohjaimelle.

5.5 Varaajamoduuli

Akuston varaajina käytetään kahta kappaletta POWERFINNin valmistamaa PAC 3200 mallin varaajaa. Varaajat on kytketty sarjaan ja niitä syötetään 230 VAC verkkovirralla. Varaajan ulostulojännite on 160 VDC, ulostulovirta 20 A ja teho 3200 W. (LIITE 7)



Kuva 10. POWERFINN PAC3200 -varaaja.

POWERFINN PAC 3200 käyttää nykyaikaista kytkentäteknikkaa. PAC3200 sisältää älykkään mikrokontrollerin, joka lisää ladattavan akun elinikää valvomalla latausprosessia. /9/

Varaajat lataavat akkuja 320 VDC jännitteellä. Varaajien jännitesyöttö tulee virranjakorasian kautta pistotulpasta, käyttäen verkkovirtaa (**LIITE 7**). Varaaja 2:sta syötetään DC/DC muuntimille syöttö. Molemmat varaajat on kytketty CAN-väylään, joka mahdollistaa älykkään toiminnan muun järjestelmän kanssa. Varaajan indikointivalot kertovat kun lataus on päällä (oranssi), lataus on valmis (vihreä) ja vikatila (punainen). PAC 3200 -varaajan tekniset tiedot liitteenä (**LIITE 8**).

5.6 CAN-adapterikortti

CAN-adapterikorteilla (CTB) välitetään akkupakettien BMBU6 -yksiköiden ja BMU:n välistä tietoliikennettä. BMBU6 -yksiköille syötetään CAN-adapteri

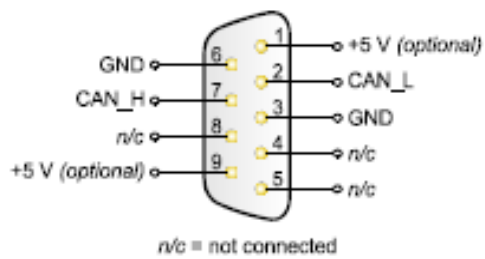
korttien kautta 48 VDC (akuston tasausjännite) ja 12 VDC (apujännite) syötöt. CAN-adapterimoduuli jakaa 48 VDC jännitteen kolmessa ryhmässä ja on rinnan kytkettynä BMBU6 -yksiköiden kanssa. 48 VDC:llä tasataan akkujen jänniteeroja. CAN-väylän liikennöinti toimii 12 VDC syötöllä, joka tulee CAN-adapterin kautta. CAN-adapterilla muutetaan CAN-BUS -väylä CAN-väyläksi. **(LIITTEET 1, 3, 4)**

5.7 CAN-väylä

CAN-väylä (Controller Area Network) on automaatiöväylä. CAN-väylää käytetään ajoneuvoissa ja teollisuudessa. Vuonna 1986 Bosch niminen yritys yksinkertaisti uudella ajoneuvoväylällä (CAN) autojen sähkölaitteiden johdotuksia. CAN-väylä on hyvin vikasietoinen ja sitä on yleisesti käytetty häiriöalttiissa laitteissa, kuten terveydenhuollon ja lääketieteellisuuden laitteissa /4/.

Jokainen moduuli CAN-väylässä välittää tietoliikennettä väylää pitkin toisilleen. Kaikilla CAN-väylään kuuluvilla laitteilla on oma osoite, josta tunnistaa kuuluuko viesti myös kyseiselle laitteelle. Samalla viestillä voidaan lähettää useisiin osoitteisiin sama tieto mikä mahdollistaa erittäin kätevän toimintatavan, esim. sähkömopoautossa käytettävien akustojen lämpötila- ja jännitetiedot molemmille varaajille ja kontaktiohjaimille. /4/

CAN-väylän johdotuksessa käytetään 4-napaista kierrettyä kaapelia, jossa on 40 kierrosta metriä kohti. CAN-väylässä käytetään 120 Ω päätevastusta. /4/, **(LIITE 10)**



Kuva 11. CAN-väylän D-liitin

CAN-väylässä käytetään 9-napaista D-liitintä. Pienellä virran kulutuksella toimivat laitteet voidaan suoraan syöttää 1 ja 9 pinnin +5 V:lla. /10/ CAN_H- ja CAN_L -navoilla siirretään CAN-väylän tietoliikenneviestejä. Sähkömopoautoprojektissa käytetään PEAK SYSTEMin PCAN-USB -sovitinta, millä saadaan kannettava tietokone kytkettyä CAN-väylään. **(Kuva 11.)**



Kuva 11. PCAN-USB -sovitin

CAN-väylän valvomiseen käytetään PCAN-View -ohjelmaa. PCAN-Viewistä pystyy valvomaan laitteiden toimintaa, paikantamaan osoitetietoja ja nähdä vika-tilanteet. Uusia osoitteita ja toimintaa pystyy ohjelmoimaan PCAN-Basic versiolla.

PCAN-View -ohjelman avulla voidaan kommunikoida jokaisen akkukennon kanssa ja selvittää toimintakunto. Alla on esimerkki akkukennosta 0x55, josta voidaan tulkita BMBU:n tärkeimmät lähettämät CAN-viestit PCAN-View -ohjelmaan. Liitteessä 12 on PCAN-View -ohjelmasta saadut CAN-viestit.

Esim. 1

CAN-Id: 0x0250ID20, jossa ID on kennon ID

Data:

byte	data
0	kennojännite adc (B8), (8 eniten merkitsevää bittiä)
1	kennojännite adc boostauksen aikana (8 eniten merkitsevää bittiä)
2	lämpötila-anturi adc (9A), (8 eniten merkitsevää bittiä)
3	dc/dc lämpötila-anturi adc (A1), (8 eniten merkitsevää bittiä)

CAN-viesti: ID 02505520 8 B8 00 9A 77 A1 00 02 00

CAN-viesti tarkoittaa, että kennon 0x55 jännitteeksi on luettu 0xB8 (184 desimaalina) ja lämpötilaksi 0x9A (154 desimaalina). Jännitteet on luettu suhteessa 4.5 V:n referenssiin.

Kennojännitteen arvo saadaan kaavalla:

$$(0xB8 / 0xFF) * 4.5 \text{ V} \sim 3.24 \text{ V.} \quad (1)$$

Lämpötilasensorin lukema jännite-arvo saadan kaavalla:

$$(0x9A / 0xFF) * 4.5 \text{ V} \sim 2.7 \text{ V} \quad (2)$$

Lämpötila lasketaan kaavalla:

$$\begin{aligned} & ((\text{jännite } -2.5 \text{ V}) / -0.0474) + 25 \text{ C}^\circ \\ & = ((2.7 \text{ V} - 2.5 \text{ V}) / -0.0474) + 25 \text{ C}^\circ \sim 20 \text{ C}^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

Akkukennosta 0x55 voidaan todeta, että jännite (~3,24 V) on kunnossa ja akkukennon lämpötila on huoneenlämpöinen (~20 C°).

5.8 DC/DC -muuntimet

Sähkömopoauton varaajamoduulissa on VIPAC Arrayn 12 V (12Vout, 500W, V300A12C500BL) ja 48 V (48Vout, 500W, V300A48C500BL) DC/DC muuntimet. /13/, (LIITE 8).

DC/DC -muuntimet on kiinnitetty samalle lämpöä johtavalle alustalevyllä ja ne on suojattu metallisella kannella. Potentiaalintasaus ja häiriönpoistokondensaattorit on kiinnitetty DC/DC -muuntimien suojakanteen. Potentiaalintasauksessa käytetään 1 MΩ / 1 W vastuksia. Häiriönpoistossa käytetään 47 nF ja 68 nF häiriönpoistokondensattoreita.

Sähkömopoautoon tarvitaan vielä yksi DC/DC -muunnin, joka syöttää DC-jännitteen Siemensin logiikkaan. Logiikka tarvitsee 24 VDC syötön. CARLO CAVAZZI:n 240 W, 10 A DC/DC -muunnin asennetaan jo paikalla olevien VIPAC Arrayn muuntimien viereen. Tämä DC/DC -muunnin on hieman ylilimitoitu, mutta käy hyvin tähän käyttötarkoitukseen.

6 AKUSTON LATAUKSEN TESTAUS

6.1 Varaajamoduulin ja latauksen ohjauksen toiminta.

Ennen lataustestin aloittamista oli akuille menevät kahvasulakkeet laitettava paikoilleen ja CAN-väylä toimintakuntoon. Kannettavaan tietokoneeseen laitettiin kiinni PCAN-USB -sovitin ja se kytkettiin CAN-väylään. Kun Kaikki osoitteet näkyi PCAN-View -ohjelmasta, eikä mitään vikoja ilmennyt, CAN-väylä oli kunnossa. Oskilloskooppi laitettiin mittaamaan akuston jännitettä ja virtaa. Etulatausvastuksen tilalle laitettiin toinen tehovastus ($50 \Omega / 10 A$). Varaajille kytkettiin syöttö pistotulpalla verkkovirralla, lisättiin virtakytkin (Key On) ja käynnistyskytkin (Ignition On) sekä hätä-seis nappi. Akuston jännite oli ennen latauksen aloittamista n. 333 VDC.

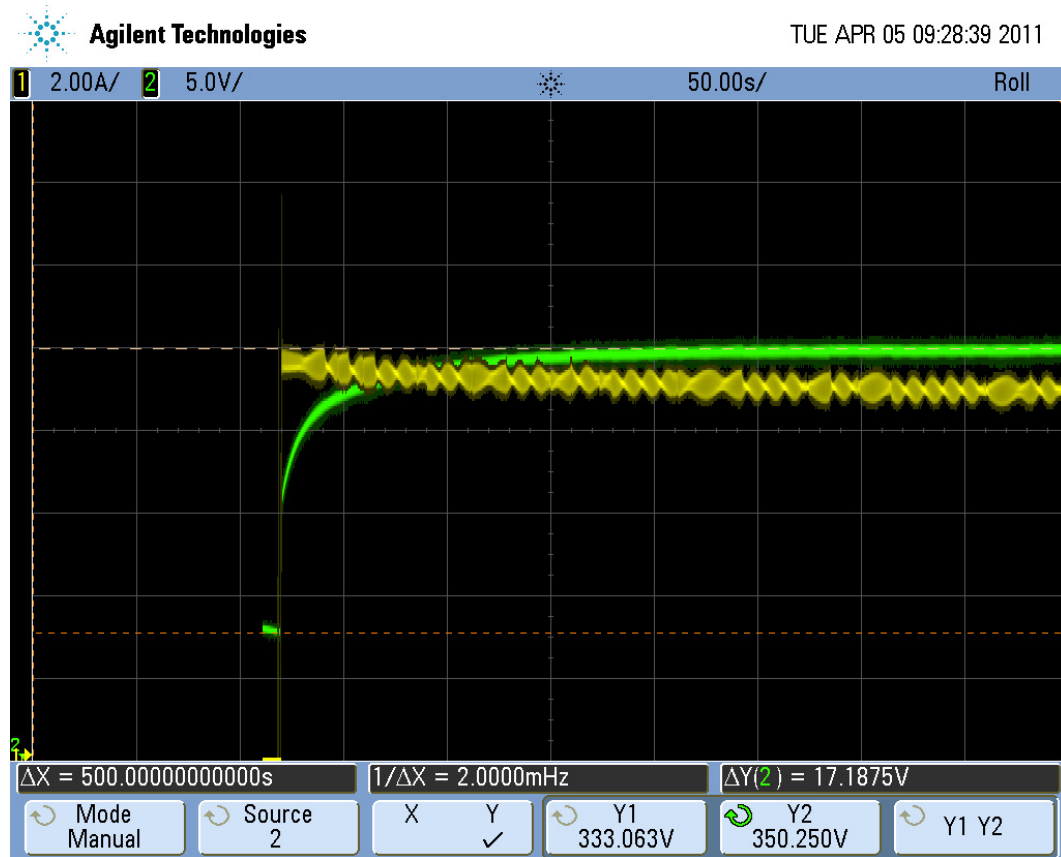


Kuva 12. Sähkömopoauton akuston latauksen testaus.

Varaajien käynnistämisen seurauksena K2 (Charge relay) -kontaktori vetää kiinni. K2 -kontaktori sai apujännitteen kontaktoriohjaimelta.

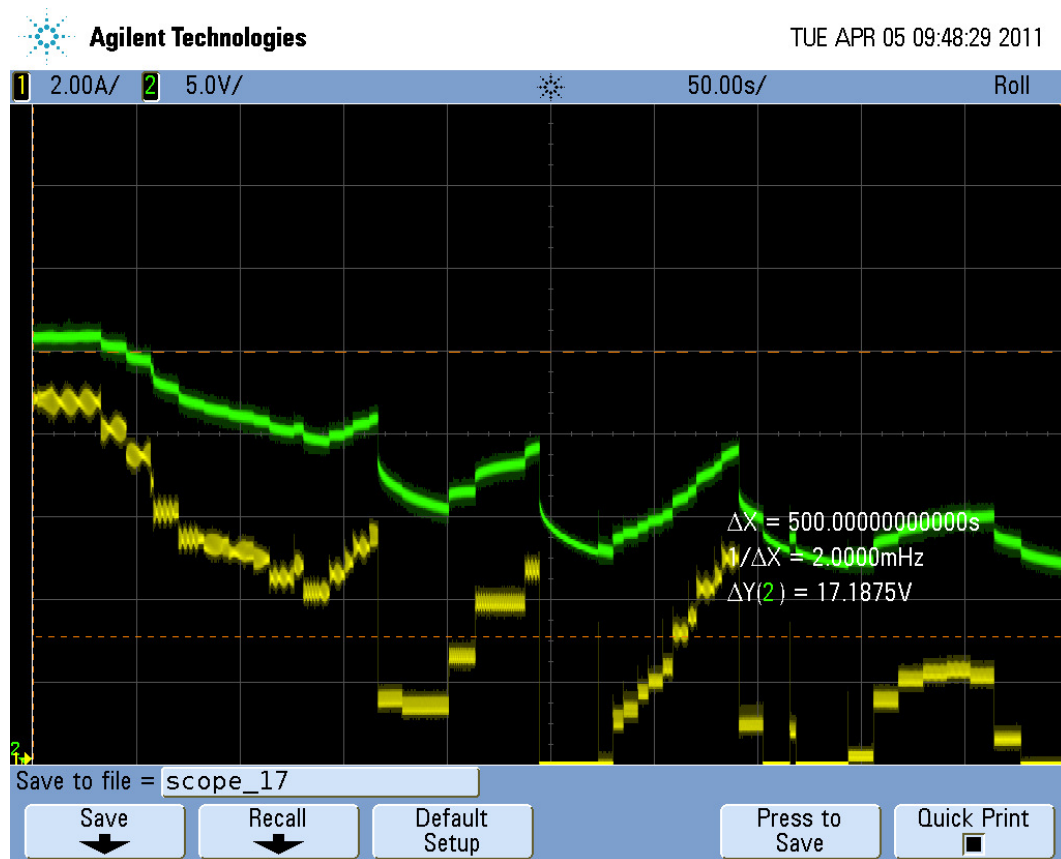
6.2 Latausvaiheen mittaukset

Latausvaiheen mittauksissa tutkitaan akustojen ottamaa virtaa ja jännitettä sekä niiden käyttäytymistä ajanfunktiona koko latauksen ajan.



Kuva 13. Käynnistyksen latausvirta (keltainen) ja -jännite (vihreä)

Akuston latausvirta kasvaa 40 sekunnissa huippuarvoon (9,5 A), jonka jälkeen virta tasaantuu 8,8 A. Latausjännite nousee kahdessa minuutissa 17,2 V jonka jälkeen jännitekin tasaantuu noin 350 V. Akuston latausvirta ja jännite pysyvät hyvin tasaisina koko latauksen ajan. Lähempänä latauksen loppua jännite oli kohonnut 351 V ja virta oli hivenen laskenut 8,2 A. Latausta ehti kulua noin 30 minuuttia, kunnes virta ja jännite alkoivat laskea. (**Kuva 13.**)



Kuva 13. Pysäytyksen latausvirta (keltainen) ja jännite (vihreä)

Kun akusto on täydessä jännitteessä, alkaa varaajan syöttämä virta ja jännite laskea. SHUNT ja BCM (Battery Cycle Monitor) -moduuli tarkkailevat jännitettä ja virtaa. BCM-moduulilta muunnetaan jännitetieto CAN-väylälle. CAN-väylää pitkin tulee viesti laskea varaajien jännitettä ja virtaa eli tehoa, kunnes varaajan syöttämä teho on lähellä nollaa. Kun akkupaketit on ladattu täyteen otetaan pistotulppa irti verkkovirrasta. Akkuvaraajat sammuvat hetken kuluessa ja K2 (Charge relay) -kontaktori palautuu aukitilaan.

Akustojen lataus sujui hyvin. Jännite ja virta kasvoi sopivin välein eikä maksimivirtaa ylitetty. BMS -järjestelmä sääteli varaajien antamaa tehoa etenkin latauksen lopussa, jossa akkujen jännite kasvoi asetetulle maksimirajalle. Akkujen latauksen kesto oli noin puoli tuntia mikä kertoo, ettei akkupaketit olleet tyhjiä. Tyhjän akuston täyteen lataaminen kestää noin 1 h 10 min, mikä tuli ilmi sähkömopoautoprojektin myöhemmistä latauskerroista.

7 DC-VÄLIPIIRIN KONDENSAATTORIN LATAUS

7.1 DC-välipiirin kondensaattorin lataustilanteen toiminta

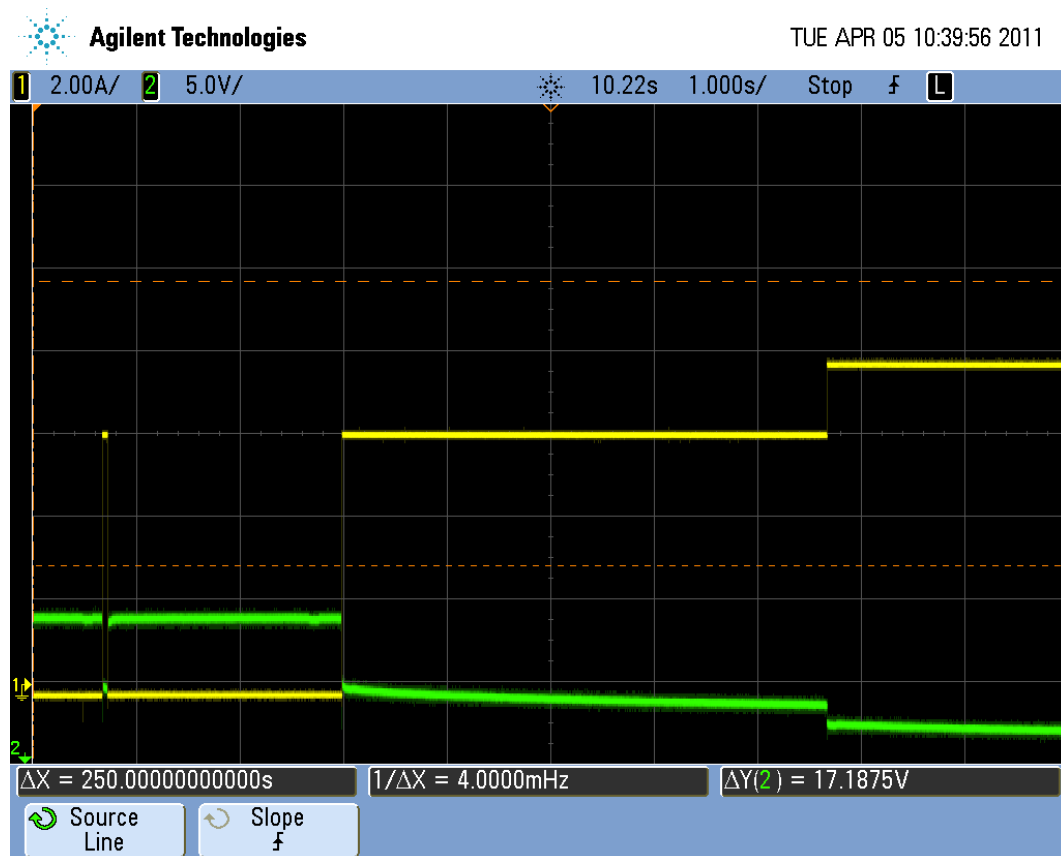
Testin tarkoitus on simuloida taajuusmuuttajan DC-välipiirin kondensaattorin toimintaa kuormavastuksella käynnistystilanteessa. DC-välipiirin lataustestit aloitettiin lisäämällä $50 \Omega / 10 \text{ A}$ kuormavastus taajuusmuuttajan paikalle. Oskilloskoopilla mitattiin kuormavastuksen jännite ja virta. Akustot oli ladattu täyteen jo akustojen latauskokeessa. Virtakytkin (Key On) väännettiin päälle. 12 V apujännite meni päälle ja akustojen BMBU6 -yksiköt alkoivat vilkkumaan. Kaikkien akkukennojen tilat olivat kunnossa. Käynnistyskytkin (Ignition On) väännettiin päälle. K1 (Main- Relay) ja K12 (Load link charging relay) -kontaktorit vetävät kiinni. Virtapiiri kulkee nyt etulatausvastuksen kautta kuormitusvastukselle, ohittaen K11 (Main+ relay) kontaktorin. Kuormavastus on nyt kuormitettu ja välipiirin latausaika alkaa. (LIITE 2)



Kuva 14. DC-välipiirin latauksen testaus

7.2 DC-välipiirin latausvaiheen mittausten analysointi

Välipiirin latausvaiheen mittauksissa tutkitaan kuormavastuksen ($50 \Omega / 10 \text{ A}$) ottaman virran ja jänniteen käyttäytymistä ajanfunktiona sekä DC-välipiirin ottamaa latausaikaa.

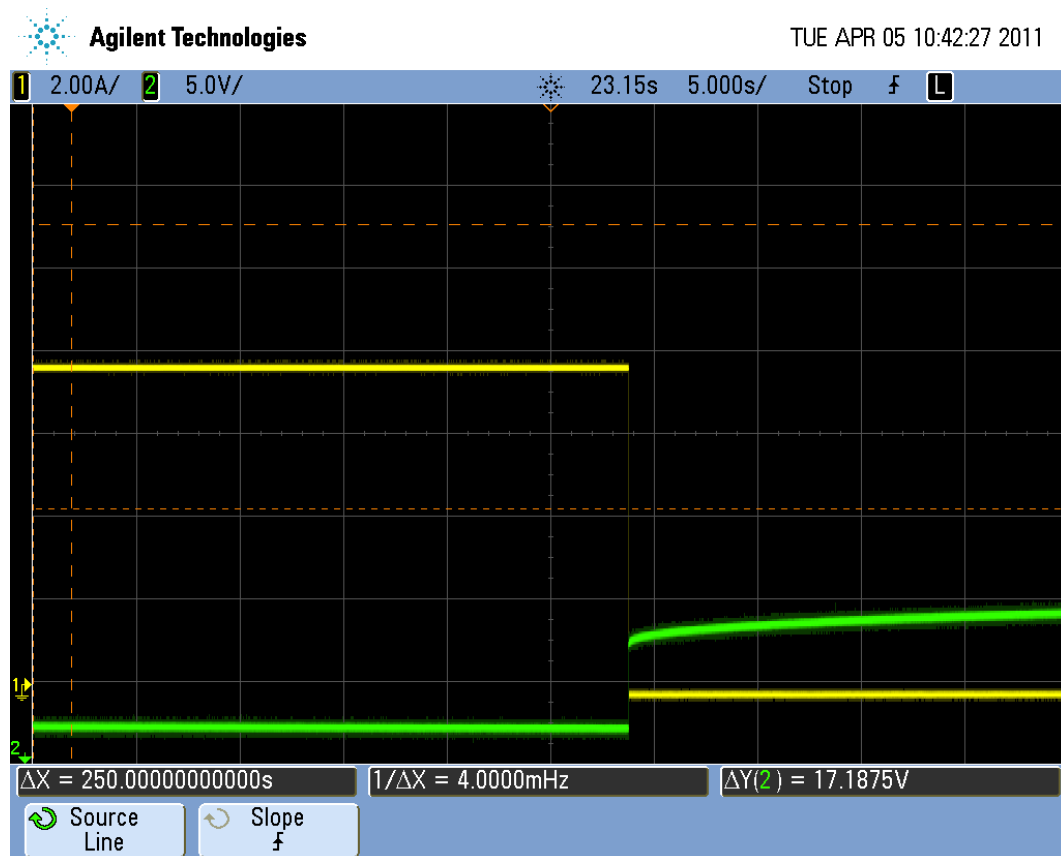


Kuva 15. Kuormavastuksella simuloitu DC-välipiirin latausaika.

DC- välipiirin ottama latausaika on noin 4,6 sekuntia. Virta kasvaa 6,2 A kun taas akuston jännite laskee noin 5 V. Latausvaiheen alussa virtapiiri kiertää K12-kontaktorin kautta 4,6 sekunnin ajan, kunnes K12 -kontaktori päästää auki ja virtapiiri palautuu normaaliksi K11 -kontaktorin vetäessä kiinni. DC-välipiirin latausajan jälkeen K1- ja K11-kontaktorit ovat kiinnivetäenä ja kuormavastus ottaa tasaista noin 7,5 A virtaa ja jännite laskee 6 V.

Testissä tuli hyvin ilmi DC-välipiirin latauskontaktorin ohjelmoitu käyttöaika. Välipiirin latauksella tarkoitetaan taajuusmuuttajan kondensaattorien latausta

täyteen. Etulatausvastuksen tarkoitus on rajoittaa kondensaattorien akuilta ottamaa virtaa. Myös suuri virtapiikki voi olla kohtalokas itse kondensaattorille ja akustolle. Kondensaattorilla tasoitetaan taajuusmuuttajan invertterin aiheuttamia äkillisiä jännitemuutoksia.



Kuva 16. Kuormavastuksen poiskytkentä.

Kuormavastuksen poiskytkentä tapahtuu virtakytkintä (Key On) vääntämällä pois päältä. Tämän seurauksena K1 ja K11 -kontaktorit päästävät auki. Virta laskee nolnaan ja akuston jännite kohoaa takaisin 336 V:iin.

8 MOOTTORIKÄYTÖN TESTAUS

8.1 Testausjärjestelyt

Ennen moottoritoimintojen testausta oli suunniteltava turvallinen testauspaikka. Paikaksi valittiin sama kuin DC-välipiirin testauspaikka. Testaukset tehdään muuten samalla kokoonpanolla kuin DC-välipiirin testi, mutta nyt testauspaikalle lisättiin moottoripenkkiin sähkömopoautoon käyttöön tuleva ABB:n 4 kW oikosulkumoottori, johon on integroitu VACONin 7,5 kW taajuusmuuttaja. Oikosulkumoottorin kaapeloinnit ja takometri on kytketty valmiiksi taajuusmuuttajaan niille varatuille paikoille. Samaan moottoripenkkiin on kiinnitetty vastakoneeksi 5,5 kW oikosulkumoottori, jonka momenttia tai pyörimisnopeutta voidaan säätää.



Kuva 17. Moottorikäytön testaus.

DC-välipiirin testeissä käytettiin kuormavastusta, kun taas moottorikäytön testauksissa käytetään taajuusmuuttajaa ja oikosulkumoottoria. Kuormavastuksen tilalle on kytketty taajuusmuuttaja / oikosulkumoottoriyhdistelmä, Liitteen 2

mukaisella pääpiirin kytkennällä. Taajuusmuuttajaa ohjataan VACONin erikoiskäyttösovellutuksella, jonne oikosulkumoottorin parametrit on asetettu. Sähkömopoauton taajuusmuuttajan käyttöön tuleva sovellutus oli vielä keskeneräinen, joten tämän vuoksi käytettiin testeihin sopivaa erikoiskäyttösovellutusta, jolla pystytään ajamaan nopeustakaisinkytkennällä varustettua moottoa sekä tarkalla nopeus- että momenttisäädöllä.

8.2 Moottoritoimintojen testaus

8.2.1 Jatkuva kuormitus

Oikosulkumoottorin kuormituskokeessa on tarkoitus ajaa moottoa maksiminopeutta, 45 km/h, vastaavalla pyörimisnopeudella niin pitkään kunnes sähkömopoauton sähköjärjestelmä pysäyttää oikosulkumoottorin. Akuston jännitetasolle on ohjelmoitu minimi- ja maksimirajat, minkä sisällä akuston ohjausjärjestelmä toimii. Testissä selvitetään todellinen minimiraja, jolle jännite voi laskea ajettaessa ennen kuin BMS katkaisee apujännitteet K1 ja K11 - kontaktoreilta. Tämä on sähkömopoauton akuston suojausmekanismi, joka varmistaa akustojen jännitetason pysyvän annettujen arvojen sisäpuolella. Litiumakkuja ei saa päästää liian tyhjiksi, koska akkujen elinikä kärsii. Jatkuvan kuormituksen kokeessa mitataan akuston virta ja jännite, joista lasketaan akuston antama teho.

BMS Parameters

Parameter	Value	Notes
Min Cell Voltage	2.5V	
Max Cell Voltage	3.9V	
Cell Voltage at End of Charge	3.75V	
Battery Voltage at End of Charge	376V	
Max Cell Temperature	65C	
Max Charge Current	9.6A	

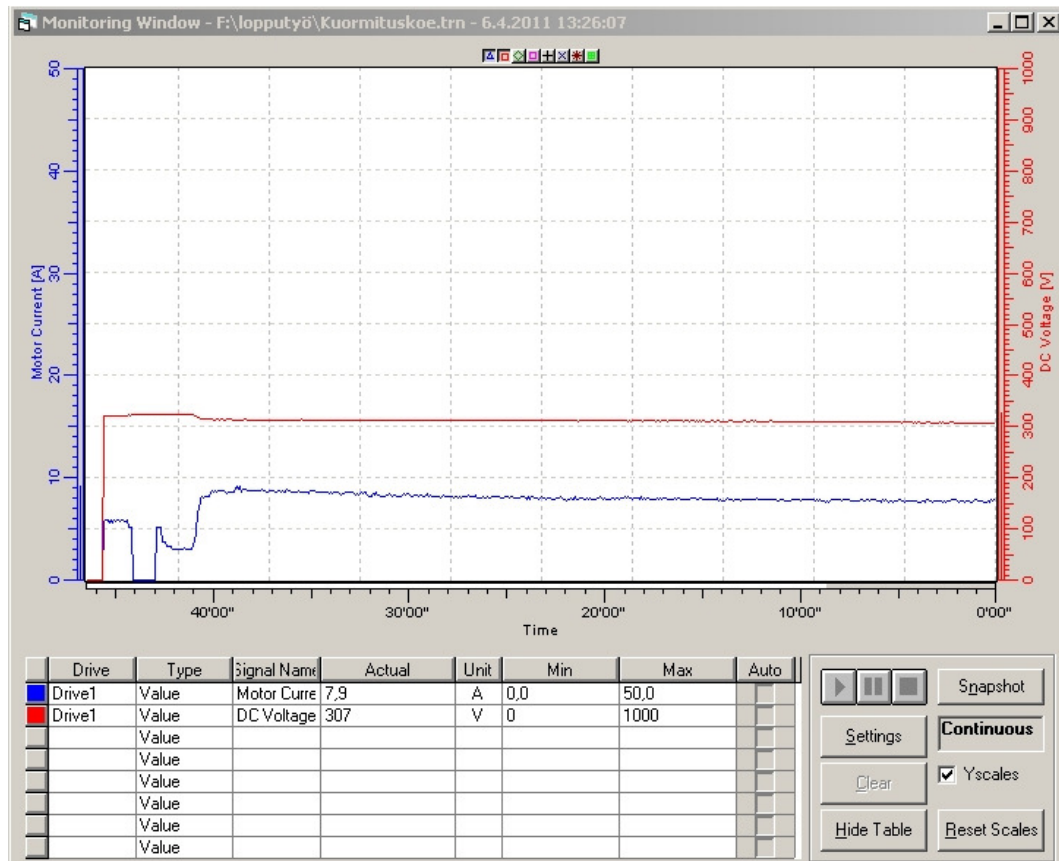
Kuva 18. BMS raja-arvot

Sähkömopoauton jatkuvan kuormituksen kokeessa ajetaan taajuusmuuttajaa nopeusohjeella ja säädetään kuormituspenkin vastakoneen pyörimisnopeus vastaamaan vaakasuoralla tiellä ajamista. Sähkömopoauton oikosulkumoottoria ajetaan 2430 kierrosta/minuutissa, mikä vastaa arvoa 45 km/h. Vastamomentin arvo on 9,6 Nm.

Moottorin jatkuvan kuormituksen testaus aloitetaan kääntämällä virtakytkin (Key On) päälle. Sähköjärjestelmän apujännite 12 V menee ohjausjärjestelmään ja BMBU6 -yksiköille.

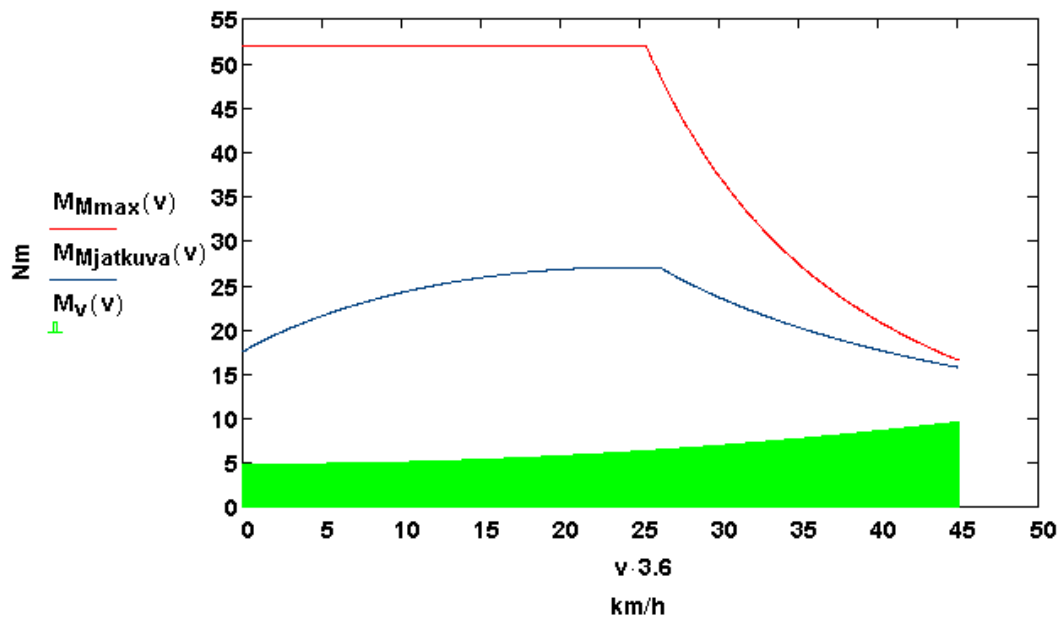
Käynnistyskytkin (Ignition On) käännetään päälle. K1 ja K12 -kontaktorit vetävät kiinni, tämä on etulatausvaihe joka kestää 4,6 s. Tämän jälkeen K12 -kontaktori päästää auki ja K11 -kontaktori vetää kiinni. Taajuusmuuttajalle menee nyt akuston jännite ja etulatausvaihe on suoritettu.

Taajuusmuuttaja on kytketty kaapelilla kannettavaan tietokoneeseen, jolla ohjataan taajuusmuuttajaa VACONin erikoiskäyttösovellutuksella. Taajuusmuuttajaa ajetaan nopeusohjeella ja arvoksi laitettiin 2430 rpm vaastaava luku. Oikosulkumoottorin käynnistys tapahtuu VACONin PC-ohjausohjelmaa käyttäen (NCDrive). Annetaan taajuusmuuttajalle käsky käynnistää oikosulkumoottori. Oikosulkumoottori käynnistyy ja kiihdyttää 2430 rpm nopeuteen. Tämän jälkeen vastakone laitetaan moottorin testauspenkissä toimimaan generaattorina ja nostetaan vastamomentti 9,6 Nm. Ajetaan oikosulkumoottoria ja mitataan akuston jännitettä ja virtaa ajanfunktiona, kunnes akusto on ajettu niin tyhjäksi kuin BMS -järjestelmä sallii. **(LIITE 11)**



Kuva 19. Kuormituskokeen mitattu akuston jännite ja moottorin ottama virta.

Tässä kokeessa oikosulkumoottoria ajetaan kentänheikennysalueella. Kentänheikennysalueella virta kasvaa momenttiin verrannollisesti enemmän kuin vakiovuoalueella eli voidaan todeta, että tässä ajotilanteessa virta vastaa hieman yli puolta nimellisvirrasta. Oikosulkumoottori pyörii 2430 rpm ja vastakoneen antama vastamomentti on säädetty 9,6 Nm:iin



Kuva 20. Vastavoimien voittamiseen tarvitsema momentti ja moottorin momentti sähköauton ajonopeuteen verrattuna. /6/

Akuston jännite tasaantui käynnistyksen jälkeen 317 V:iin ja virta 8,7 A:iin. Akuston jännite-, virta- ja tehoarvot sekä moottorin virta- ja jännitearvot kirjattiin testauspöytäkirjaan viiden minuutin välein. (TAULUKKO 1)

Akuston antama virta pysyi koko testin ajan hyvin tasaisena vaikka akuston varaustila laski 317 V:ta noin 309 V:iin. Sen tuottama teho oli ennalta määritelty ja se pysyi mielekkäänä koko kuormituskokeen ajan. Sitä mukaan kun akuston antama DC-välipiirin jännite laski, myös taajuusmuuttajan antama moottorin jännite laski.

Kun moottoria oli ajettu 40 minuuttia, akuston jännite oli laskenut BMS:lle asetettuihin rajoihin. Jännite laski 309 V, jonka jälkeen BMS katkaisi apujännitteet K1 ja K12 -kontaktoreilta. Taajuusmuuttaja sammui. Tämän jälkeen käännettiin käynnistyskytkimestä (Key On) BMS:n apujännitteet pois päältä.

Tämän testin perusteella vaakasuoralla tiellä ajettaessa sähkömopoautolla 45 km/h akuston varaustila kestää 40 minuuttia kunnes akunhallintajärjestelmän suojausmekanismi katkaisee taajuusmuuttajalta syötön. Akustojen jännite oli

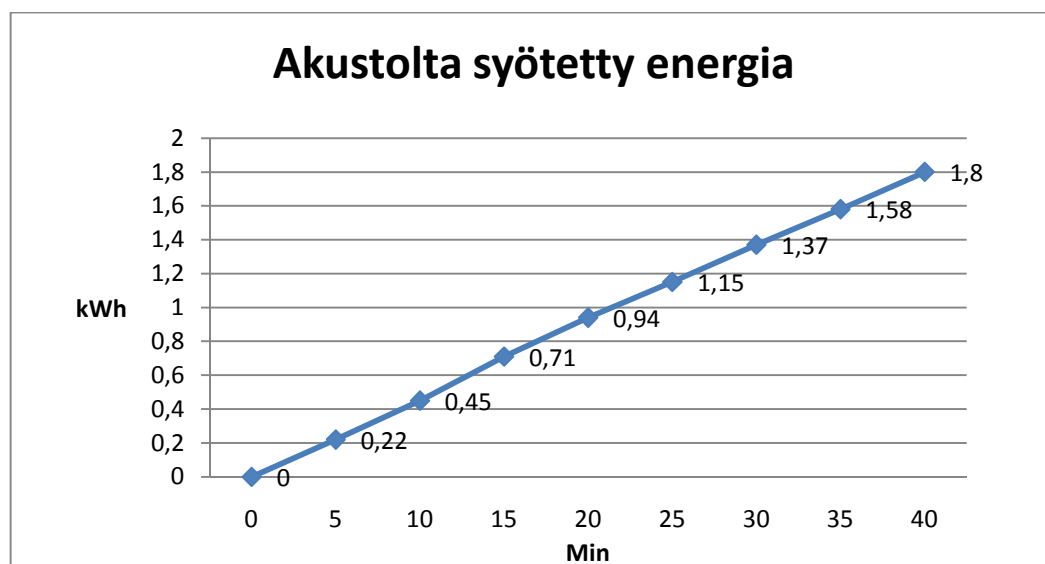
laskenut alle BMS:lle annettujen raja-arvojen. Akustot eivät myöskään lämmenneet kovin paljon kuormituskokeen aikana.

Sähkömopoautoprojektin sähkökäytön suunnittelu ja testaus opinnäytetyössä selvitettiin teoriassa, kuinka kauan akkujen varaustilan pitäisi kestää ajon aikana kun ajetaan 45 km/h vaakasuoralla tiellä. /13/

Tulokseksi saatiin noin puolitoista tuntia. Akkujen varaustilan raja-arvot BMS:ssä on asetettu hivenen pienemmiksi, kuin kuva 19 osoittaa. Tämä on akustojen kannalta kuitenkin viisasta, koska käyttöikä kärsii mitä tyhjemmäksi akustot ajetaan.

Taulukko 1. Akuston ja moottorin ottamat virrat ja jännitteet

Ajo aika	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min	40 min
Akuston virta (A)	8,71	8,52	8,3	8,25	8,2	8,2	8,2	8,22
Akuston jännite (V)	316	315	314	313	313	312	311	309
Akuston teho (kW)	2,74	2,66	2,65	2,6	2,59	2,58	2,56	2,56
Moottorin virta (A)	8,2	8,1	8,1	8	8	8	7,9	7,8
Moottorin jännite (V)	351,9	351,4	350,5	350,1	349,7	348,5	347,4	345,3
Hyötysuhde (η)	0,89	0,91	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95
Syötetty energia (kWh)	0,22	0,45	0,71	0,94	1,15	1,37	1,58	1,8



Kuva 21. Akustolta syötetty energia (kWh) ajon aikana.

8.2.2 Jarrutuskoe

Jarrutuskokeen tarkoituksena on mitata jarrutusenergian talteenottoa sähkömopoautolla eri nopeuksilla ajettaessa. Testipaikkana käytetään samaa kuin kuormituskokeessa. Tässä testissä ajetaan kuormapenkin konetta moottorina ja tutkittavaa sähkömopoauton oikosulkumoottoria generaattorina negatiivisella momenttiohjeella.

Jarrutuskokeessa mitattiin akuston lataama virta, jännite ja teho. Koe tehtiin kolmella eri nopeudella. Nopeuksina käytettiin 45 km/h, 25 km/h ja 10 km/h, joille laskettiin vastakoneelle tarvitsemat nopeusohjeet. Väilyssuhteista laskemalla auton nopeus 45 km/h vastaa pyörimisnopeutta 2430 rpm. Tällöin muut nopeudet saadaan yhtälöistä.

$$25 \text{ km/h} = 1350 \text{ rpm} \quad (4)$$

$$((25 \text{ km/h}) / (45 \text{ km/h})) * 2430 \text{ rpm} = 1350 \text{ rpm}$$

$$10 \text{ km/h} = 540 \text{ rpm} \quad (5)$$

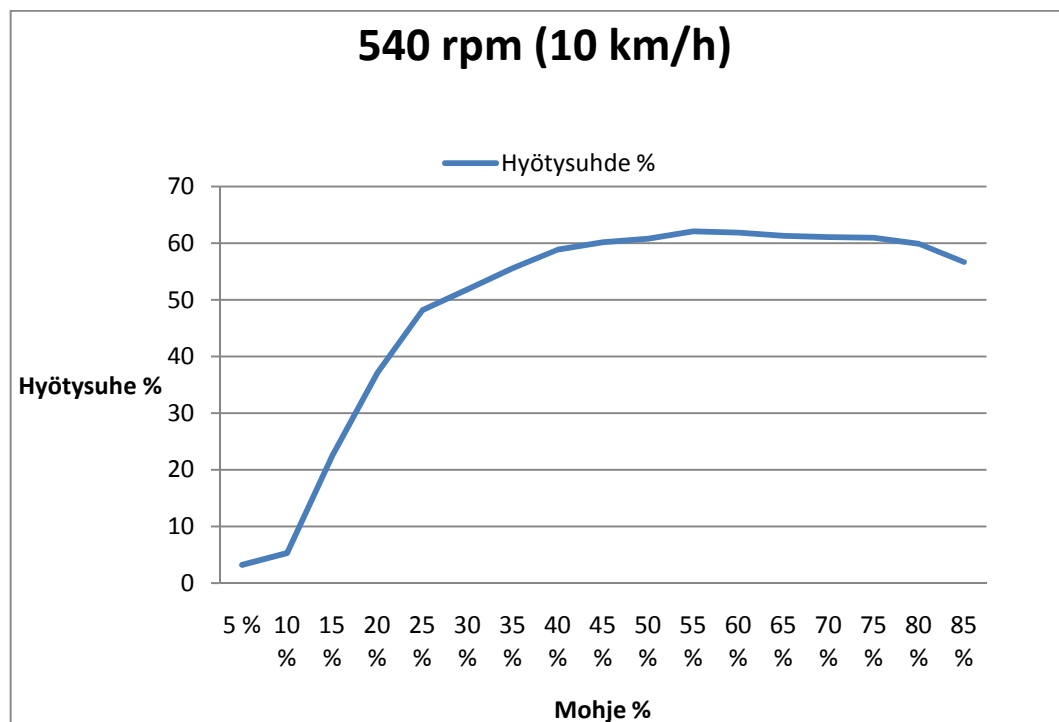
$$((10 \text{ km/h}) / (45 \text{ km/h})) * 2430 \text{ rpm} = 540 \text{ rpm}$$

Negatiivista momenttiohjetta nostamalla 0 - 100 % saadaan jarrutusenergia simuloitua akuston latauksena, kun vastakonetta ajetaan tietyllä nopeudella. Testeihin oli asetettava rajoja, koska akusto ei kestä liian korkeaa latausvirtaa. Akustoa ladataan normaalisti korkeintaan 9,6 A:n virralla, joten noin 10 A:n virta asetettiin rajaksi. Moottorin vastamomentti asetettiin 26 Nm:iin, joka on moottorin nimellismomentti.

Ensimmäinen jarrutuskoe tehtiin 10 km/h eli 540 rpm. Vastakone käynnistettiin pyörimään myötäpäivään nopeudella 540 rpm. Kokeet suoritettiin sähkömopoauton moottorin negatiivista momenttiohjetta muuttamalla lineaarisesti ylöspäin 0-100 %:iin

Taulukko 2. Jarrutuskoee 540 rpm (10 km/h).

Mohje %	U/DC V	I/DC A	P/DC kW	M Nm	P/akseli kW	η %
5 %	329,5	0,28	0,09	-1,8	0,1	3,2
10 %	328,9	0,04	0,01	-3,3	0,18	5,3
15 %	329,2	-0,19	-0,06	-4,7	0,26	22,5
20 %	329,6	-0,41	-0,13	-6,2	0,35	37,1
25 %	329,8	-0,63	-0,21	-7,7	0,44	48,2
30 %	330,1	-0,84	-0,27	-9,2	0,52	51,9
35 %	330,6	-1,04	-0,34	-10,8	0,58	55,6
40 %	330,8	-1,24	-0,41	-12,3	0,7	58,9
45 %	331,2	-1,41	-0,47	-13,8	0,78	60,2
50 %	331,6	-1,6	-0,53	-15,4	0,87	60,8
55 %	331,8	-1,77	-0,59	-16,8	0,95	62,1
60 %	332,5	-1,92	-0,64	-18,3	1,04	61,9
65 %	332,7	-2,08	-0,69	-19,9	1,13	61,3
70 %	332,9	-2,22	-0,74	-21,4	1,21	61,1
75 %	333,1	-2,37	-0,79	22,9	1,29	61
80 %	333,4	-2,51	-0,84	-24,6	1,39	59,9
85 %	333,6	-2,64	-0,88	-26,2	1,48	56,7
90 %						
95 %						
100 %						

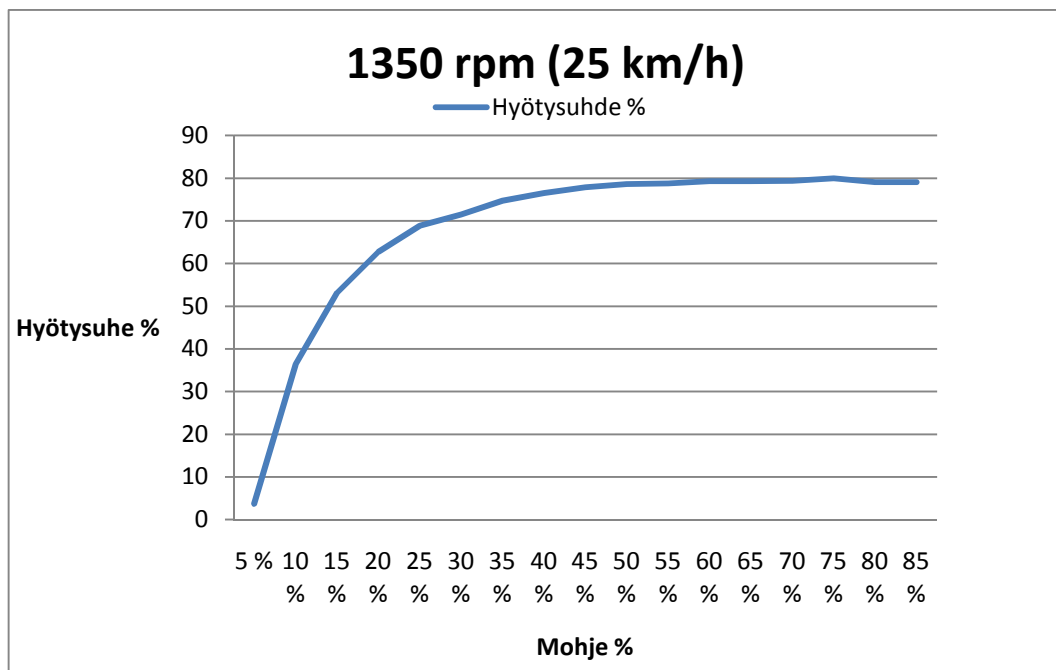
**Kuva 22.** Jarrutuskokeen hyötysuhde 10 km/h ajettaessa.

Hiljaa ajettaessa jarrutusenergia ei ole kovin suuri. 10 % jälkeen alkaa akusto latautumaan hyvin pienellä virralla ja teholla. Akuston jännitetaso alkaa hiljalleen nousta ja 50 %:lla ajettaessa akuston latausvirta on 1,6 A:a ja teho noin 530 W:a. Jarrutuskoe ajettiin 85 %:iin negatiivisella momenttiohjeella, kunnes asetettu vastamomentin raja-arvo tuli vastaan ja koe saatiin päätökseen.

Akuston jännite nousi noin 4 V:a kokeen alusta lähtien, eikä latausvirtakaan noussut kuin neljännesosaan normaalista latausvirrasta. Mitä hiljempaa ajaa sitä huonommin akusto lataa jarrutusenergiaa, jarrutusilanteessa. Hyötysuhde nousee parhaimmillaan 62 %:iin ja moottorin akseliteho noin 1,5 kW:iin.

Taulukko 3. Jarrutuskoe 1350 rpm (25 km/h)

Mohje	U/DC	I/DC	P/DC	M	P/akseli	η
%	V	A	kW	Nm	kW	%
5 %	330,2	0,02	0,01	-1,9	0,27	3,7
10 %	330,5	-0,54	-0,17	-3,3	0,46	36,4
15 %	331,1	-1,11	-0,36	-4,8	0,68	53,1
20 %	331,9	-1,67	-0,55	-6,2	0,88	62,7
25 %	332,7	-2,25	-0,75	-7,7	1,09	68,9
30 %	333,5	-2,81	-0,93	-9,2	1,3	71,5
35 %	334,4	-3,38	-1,13	-10,7	1,52	74,7
40 %	335,2	-3,94	-1,32	-12,2	1,72	76,5
45 %	335,9	-4,48	-1,51	-13,7	1,94	77,9
50 %	336,8	-5,02	-1,69	-15,2	2,15	78,6
55 %	337,2	-5,52	-1,86	-16,7	2,36	78,8
60 %	338,3	-6,05	-2,04	-18,2	2,57	79,3
65 %	339	-6,55	-2,22	-19,8	2,8	79,3
70 %	339,5	-7,06	-2,4	-21,4	3,02	79,4
75 %	340,3	-7,56	-2,58	-22,8	3,22	80
80 %	341	-8,04	-2,75	-24,6	3,48	79,1
85 %	341,7	-8,54	-2,93	-26,1	3,69	79,1
90 %						
95 %						
100 %						

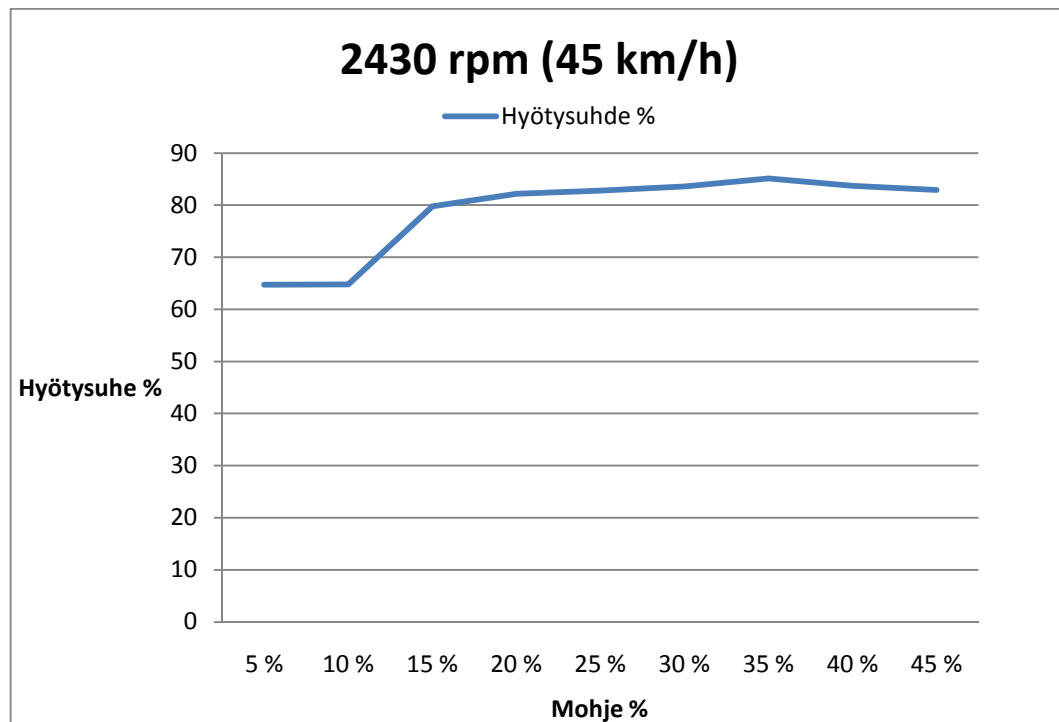


Kuva 23. Jarrutuskokeen hyötysuhde 25 km/h ajettaessa.

Vastakoneen kierrosnopeutta nostettiin vastaamaan 25 km/h. Akuston lataama jarrutusenergia kasvaa nyt paljon nopeammin kuin edellisessä 10 km/h testissä. 85 %:n momenttiohjeella ajettaessa akuston jännite oli kasvanut alkuperäisestä 330 V:ta noin 342 V:iin ja akuston latausvirta 8,5 A:iin, mikä on lähellä normaalia akuston lataus virtaa. Akuston latausteho oli noin 3 kW:a. Myös tämä 25 km/h testi saatiin päätökseen vastamomenttirajan noustessa yli 26 Nm:n.

Taulukko 4. Jarrutuskoe 2430 rpm (45 km/h).

Mohje %	U/DC V	I/DC A	P/DC kW	M Nm	P/akseli kW	η %
5 %	332,6	-1,45	-0,48	-2,9	0,74	64,7
10 %	334,2	-2,83	-0,94	-5,7	1,45	64,8
15 %	335,6	-4	-1,34	-6,6	1,68	79,8
20 %	337,6	-5,3	-1,8	-8,6	2,19	82,2
25 %	338,8	-6,34	-2,15	-10,2	2,6	82,8
30 %	340,1	-7,39	-2,51	-11,8	3	83,6
35 %	341,6	-8,37	-2,86	-13,2	3,36	85,1
40 %	343,4	-9,58	-3,3	-15,5	3,94	83,7
45 %	344,9	-10,56	-3,65	-17,3	4,38	82,9
50 %						



Kuva 24. Jarrutuskokeen hyötysuhde 45 km/h ajettaessa.

Viimeinen jarrutuskoe tehtiin 45 km/h vastaavalla moottorinopeudella. Akuston jännite kasvoi kokeen aikana 12 V alkuperäisestä ja virta kasvoi jo 45 %:n jarrutusmomentilla yli sallitun akuston latausvirran. Akuston ottama latausteho kasvoi 3,65 kW:iin. Vastamomentti ei kasvanut kuin 17,3 Nm eikä nimellismomenttiin asti päästy. Suurilla kierrosnopeuksilla ajaessa akuston latausvirta kasvaa jarruttaessa huomattavasti. Suurilla kierrosnopeuksilla hyötysuhde on erittäin hyvä koko jarrutuksen ajan. Jarrutusenergian talteen keräämisen hyötysuhde riippuu siitä millaiseen jarrutteluun auto on tehty. Kun jarrutus tapahtuu suuresta nopeudesta ja moottorin kannalta sopivalla teholla, energiasta voidaan saada talteen suurin osa. Kun lasketaan jarrutustehoa ja nopeus hidastuu, jarrutusenergian talteenotto on vähäisempää.

9 YHTEENVETO

Sähkömopoauton sähköjärjestelmässä on paljon huomioon otettavia teknisiä ja turvallisuuteen viittaavia asioita, joiden vuoksi akustojen ja ohjausjärjestelmän tekeminen oli aikaavievää. Sähköjärjestelmä oli tarkoitus asentaa mopoautoon tämän opinnäytetyön aikana, mutta se jäi pois lukuisten vastoinkäymisten ja toimitusten viivästymisten takia. Sähkömopoautoissa on vielä paljon tekemistä ennen kuin se saadaan tieliikennekuntoon. Seuraavilla opiskelijoilla on hyvät lähtökohdat jatkaa tätä mielenkiintoista Vaasan ammattikorkeakoulun sähkömopoauto projektia.

Projektissa on vielä huomioitavia asioita, kuten akkupakettien muoviset suojakotelot. Kun akkukenno on vioittunut, on se todella aikaavievää vaihtaa uuteen. Akkupaketin päältä on irroitettava kaikki BMBU:t ja suojakansi, johon kaikki akkukennojen mittausjohtimet on kiinnitetty. Tässä olisi vielä suunniteltavaa seuraaville projektiin osallistujille.

Tämän opinnäytetyön tärkeimmät tavoitteet saavutettiin. Akustojen kokoaminen, kytkentätyöt ja testaukset saatiin tehtyä valmiiksi. Selvitettiin sähköjärjestelmän ohjaustoiminnot sekä sovitettiin sähköjärjestelmän fyysinen rakenne autoon sopivaksi. Moottorikäytön testaukset, kuten kuormitus- ja jarrutuskokeet, saatiin tehty. Logiikan toimivuutta ei päästy kokeilemaan muun sähköjärjestelmän kanssa niin kuin oli aluksi tarkoitus.

Sähkömopoauto oli todella mielenkiintoinen projekti. Sähköautot tulevat varmasti kilpailemaan polttomoottoriautojen kanssa kunhan, akku-teknologiaa kehitetään ja saadaan akustojen hinnat halvemmiksi. Tätä kautta sähköautojen hinnat saadaan halvemmiksi ja massatuotanto varmasti käynnistyy monilla autovalmistajilla. Sähköautojen valmistuksen kallein osa on tällä hetkellä akusto. Nykyisellä tekniikalla voidaan sähköauto rakentaa melkein polttomoottorikäyttöistä autoa vastaavaksi.

LÄHDELUETTELO

/1/ISO 6469-1:2009, [online] [viitattu.10.5.2011]. Saatavilla www-muodossa. :<URL:http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=45477

/2/ISO 6469-2:2009, [online] [viitattu.10.4.2011]. Saatavilla www-muodossa. :<URL:http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=45478

/3/ISO 6469-3:2001, [online] [viitattu.10.4.2011]. Saatavilla www-muodossa. :<URL:http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=27118

/4/Interfacebus, CAN-väylä. [online] [viitattu.19.4.2011]. Saatavilla www-muodossa. :<URL:<http://www.interfacebus.com/CAN-Bus-Description-Vendors-Canbus-Protocol.html>

/5/Jaycar, optoerotin.[online] [viitattu.20.4.2011]. Saatavilla www-muodossa. :<URL:http://www.jaycar.com.au/images_uploaded/optocoup.pdf

/6/Veli, Koukkula. Theseus, opinnäytetyö. [online] [viitattu.29.4.2011]. Saatavilla, www-muodossa.:<URL:<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16792/Koukkula%20Veli.pdf?sequence=1>

/7/Motiva, moottoritekniikka. [online] [viitattu.10.4.2011]. Saatavilla www-muodossa:<URL:http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ja_ajoneuvotekniikka/moottorit_ekniikka/sahkomoottori

/8/Motiva, vaihtoehtoiset polttoaineet. [online] [viitattu.10.4.5.2011]. Saatavilla www-muodossa.:<URL:http://www.motiva.fi/files/2131/Vaihtoehtoiset_polttoaineet_ja_ajoneuvot.pdf

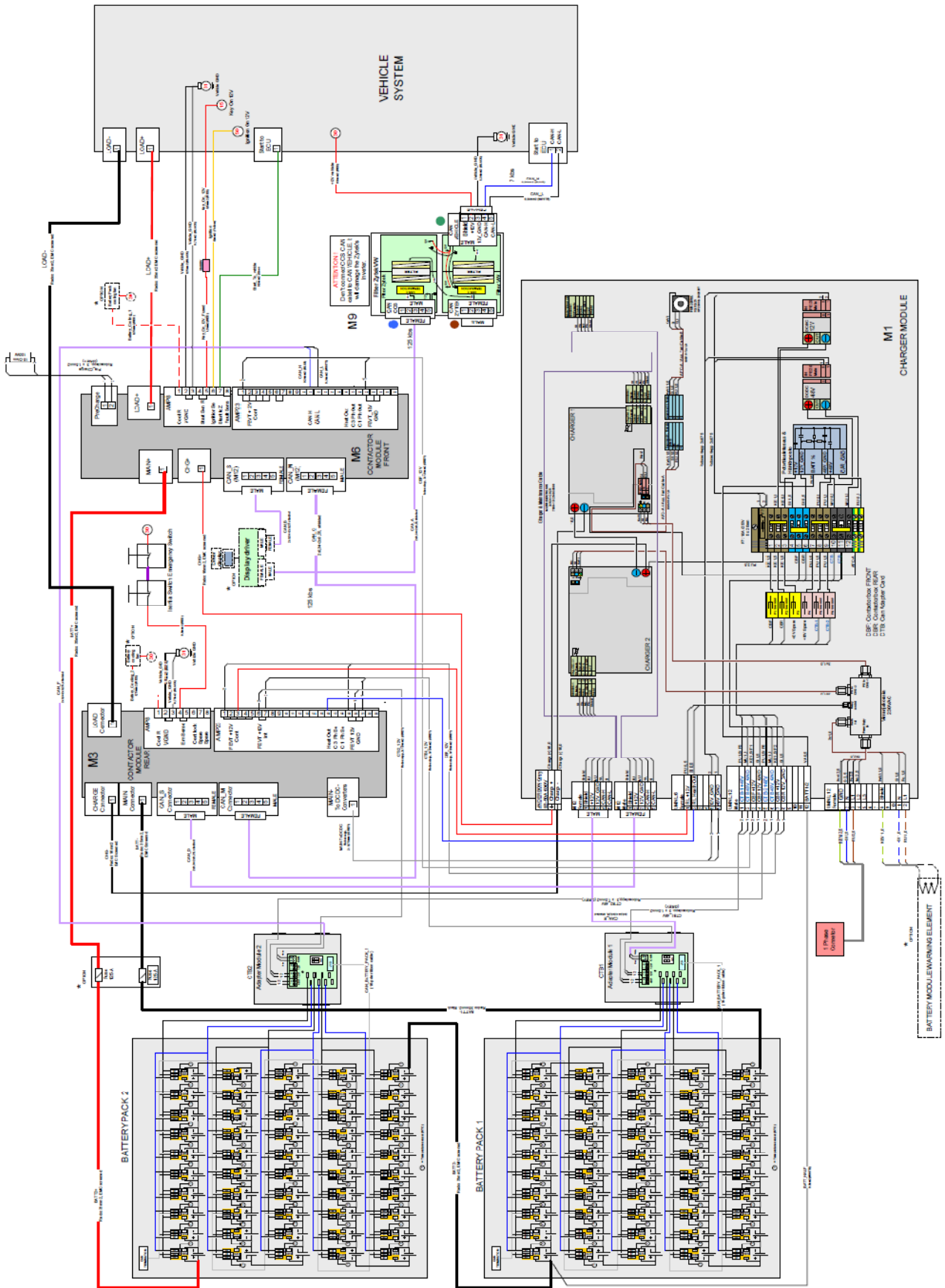
/9/Peak-system, PCAN-View -user manual. [online] [viitattu.19.4.2011]. Saatavilla. www:muodossa.:<URL:http://www.peaksystem.com/produktcd/Pdf/English/PCAN-USB_UserMan_eng.pdf

/10/PowerFinn, varaajat. [online] [viitattu.20.4.2011]. Saatavilla www-muodossa.:<URL:<http://www.powerfinn.fi/3200W>

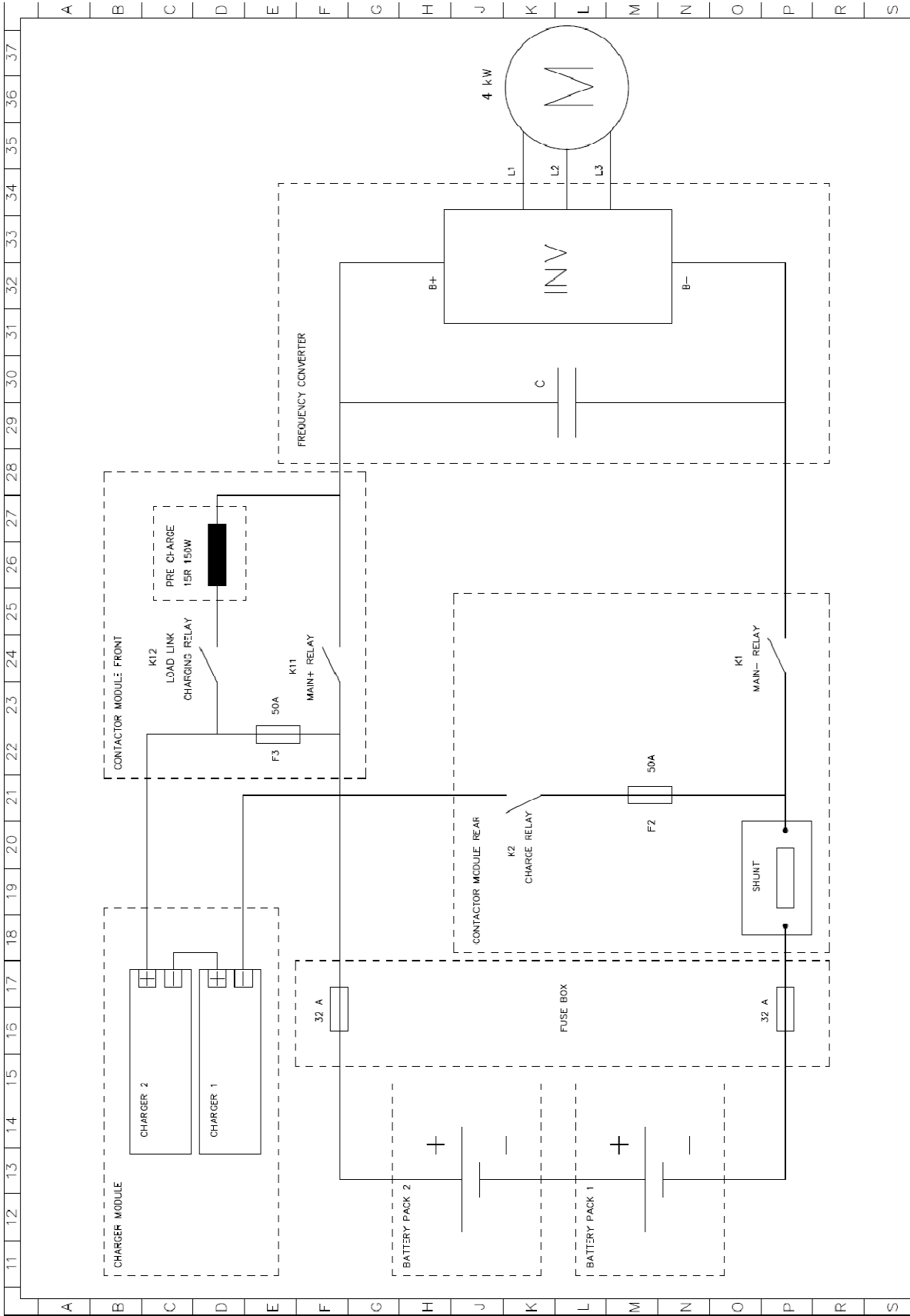
/11/Sesko, turvallisuusvaatimukset[online] [viitattu.13.4.2011]. Saatavilla www-muodossa.:<URL:http://www.sesko.fi/attachments/komiteaesitteet/komiteaesite_s_k69.pdf

/12/Tukes, akusto käyttöiset tuotteet. [online] [viitattu.11.4.2011]. Saatavilla www-muodossa. :<URL:<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Akut-paristot-seka-akku--ja-paristokayttoiset-tuotteet/>

/13/Vicor Power, DC/DC muunnin, opas. [online] [viitattu.20.4.2011]. Saatavilla, www:muodossa.:<URL:http://www.vicorpower.com/documents/design_guides/vi_pacarray_configguide.pdf

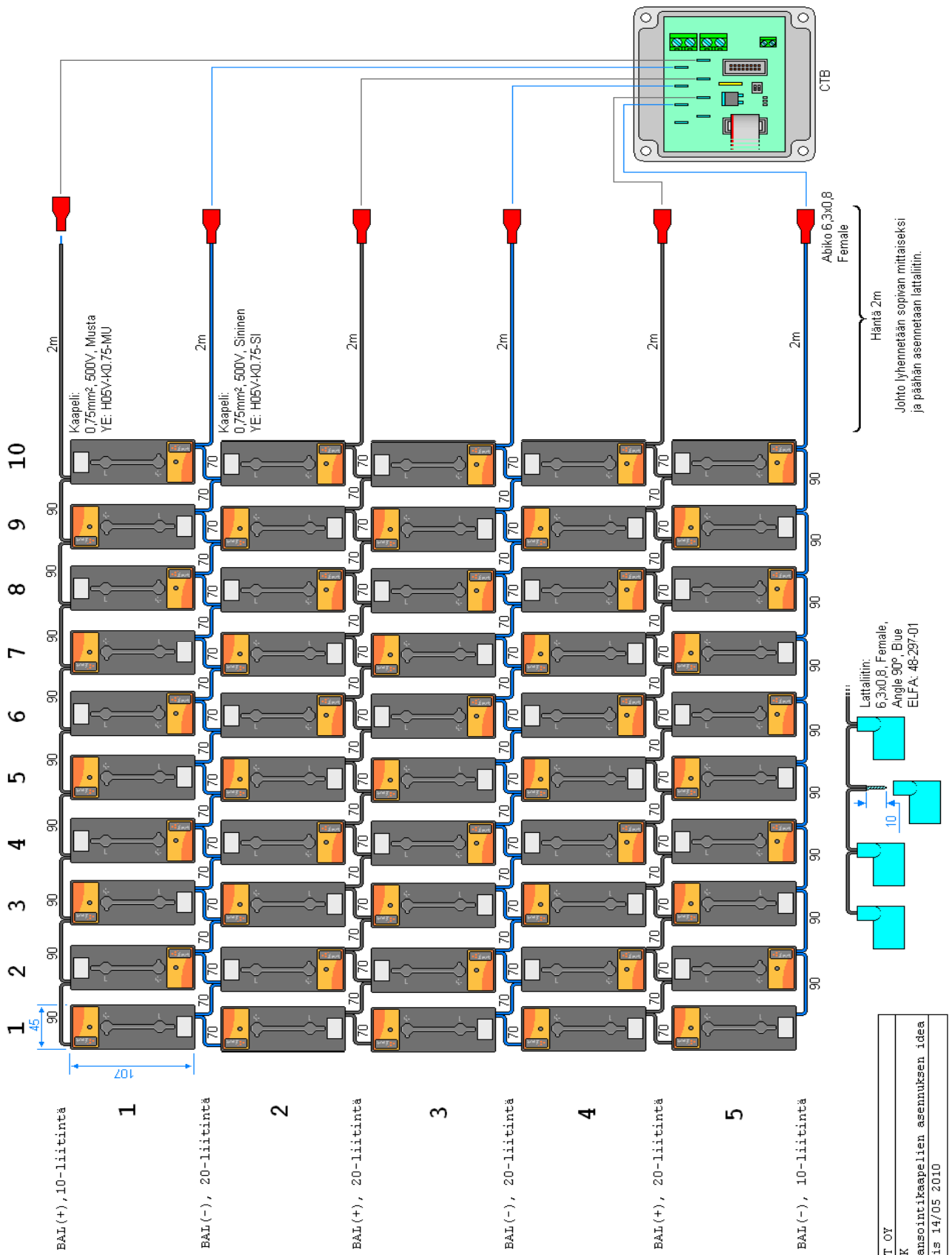


LIITE 2



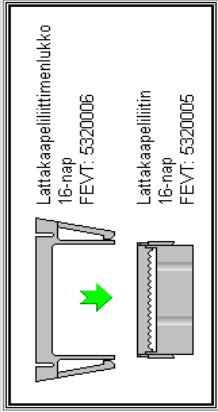
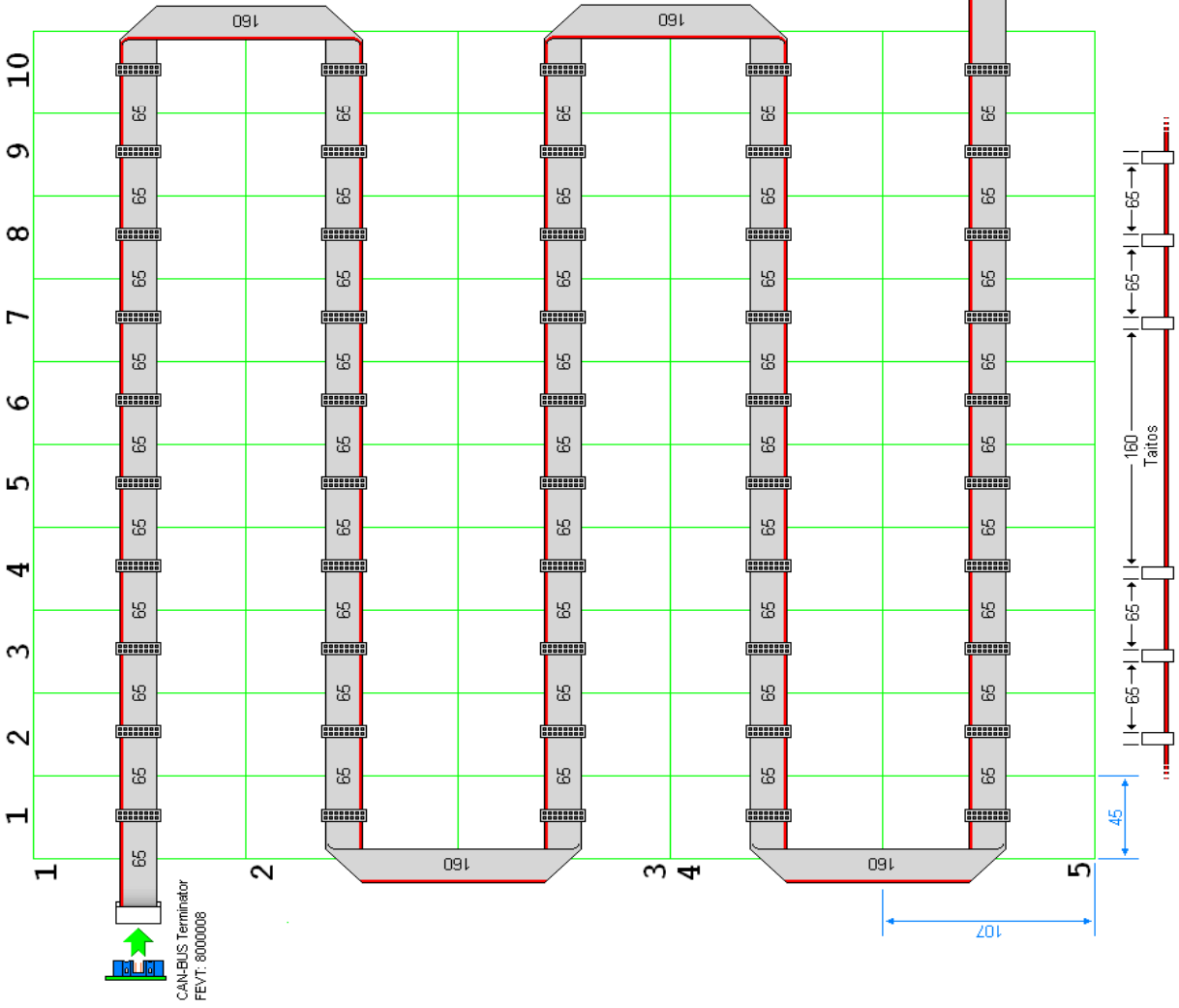
D	mutos		C	mutos			B	mutos		A	mutos
---	-------	--	---	-------	--	--	---	-------	--	---	-------

Suunn. / 8.4.2011	Kokonaissuus	Lisäpositio	Päiv. / 8.4.2011	Kokonaissuus	Työnumero
Örtö Penttilä	Lehti	1 / 1	Pöytäkirja	Pöytäkirjan numero	VAMK



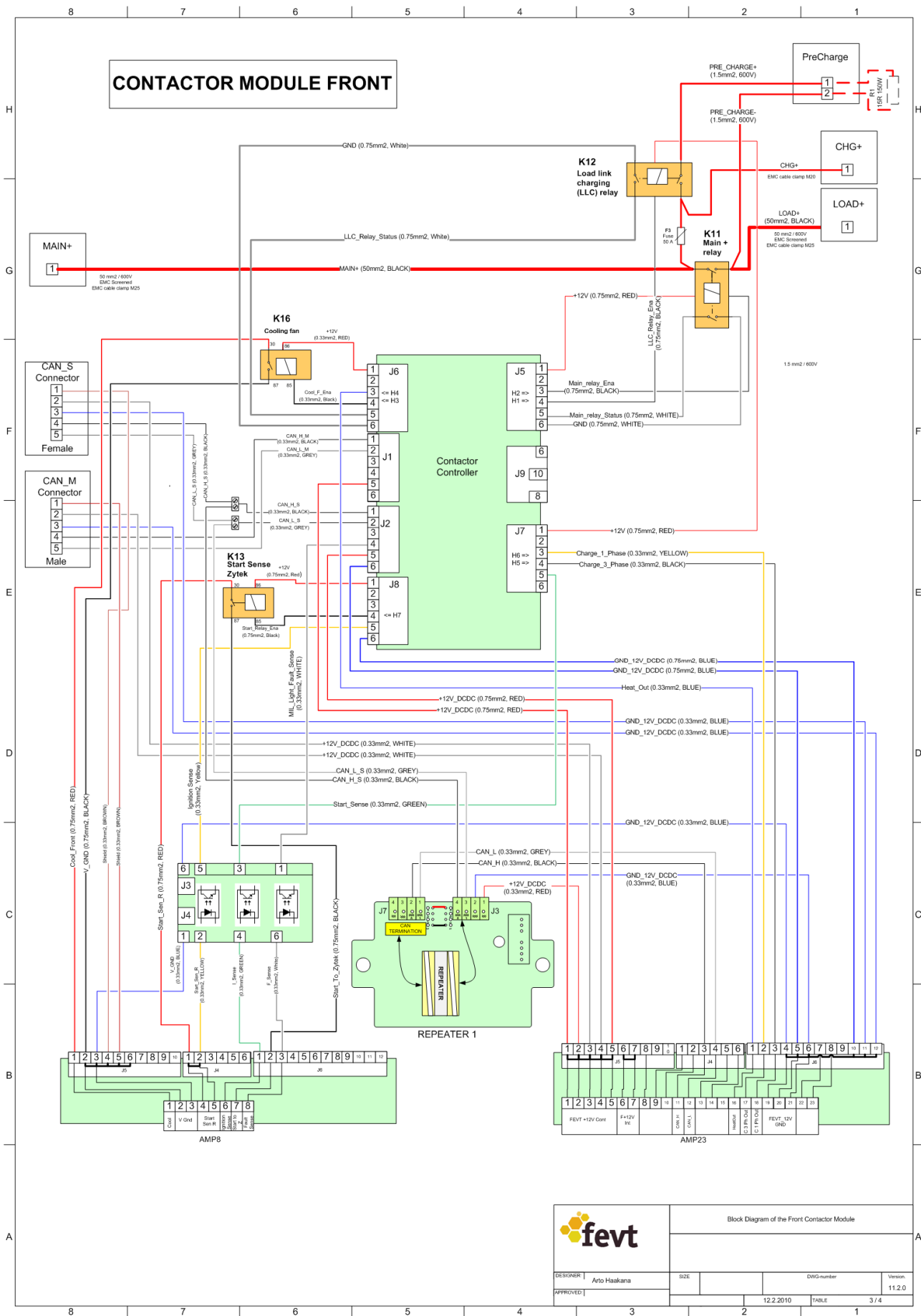
LIITE 4

FEVTOY
VAMK
Lattakaapelin asennuksen idea
majaj 14/05 2010



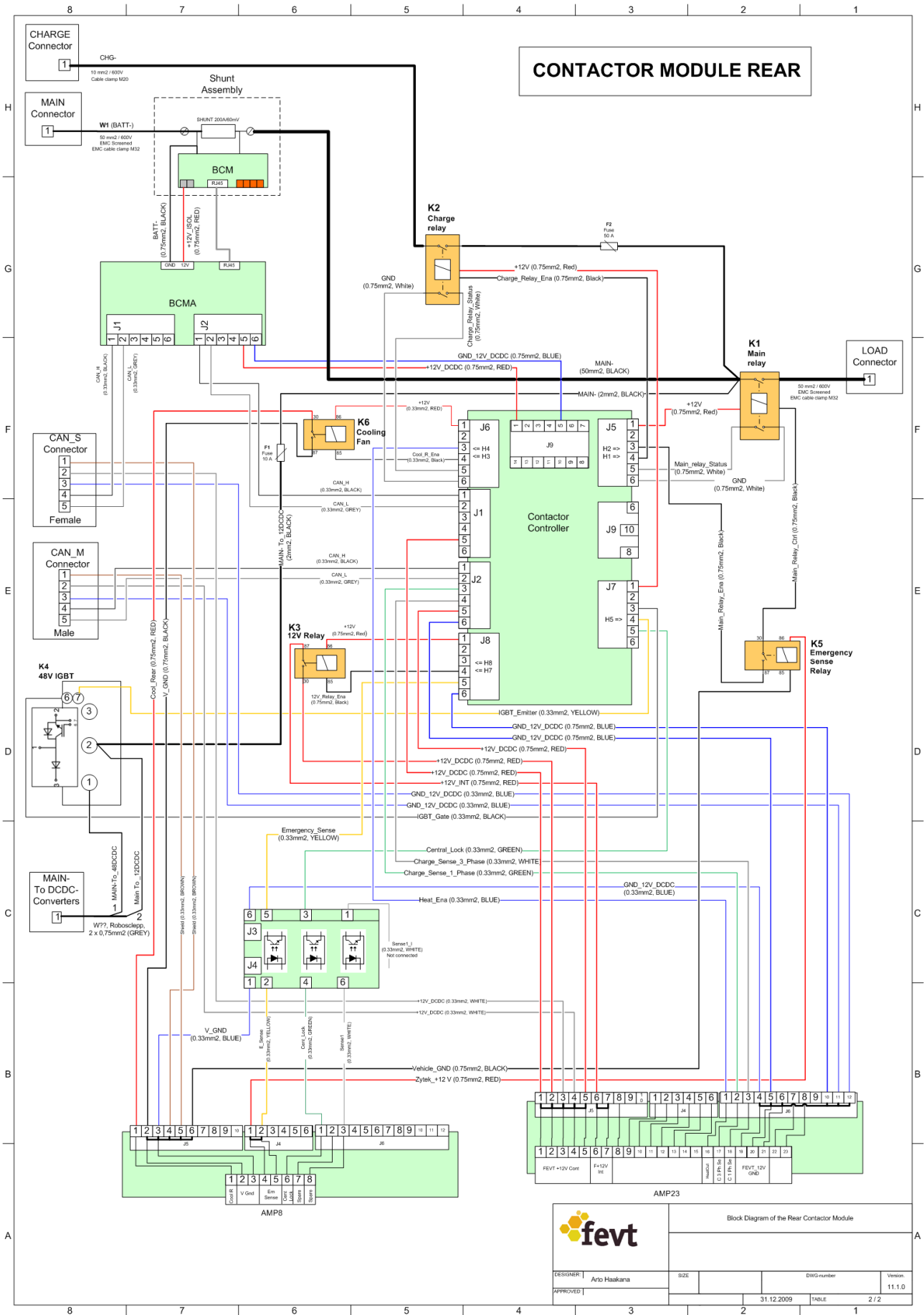
Kaapelin kokonaispituus on 580cm,
kun häntä on 2 metrin pituinen.

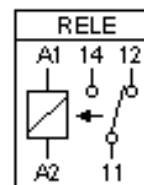
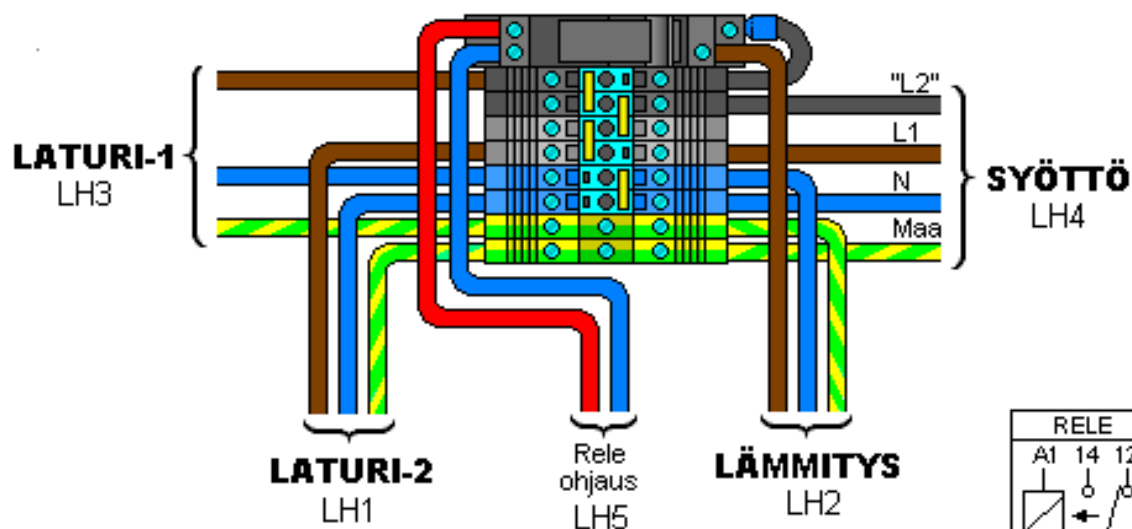
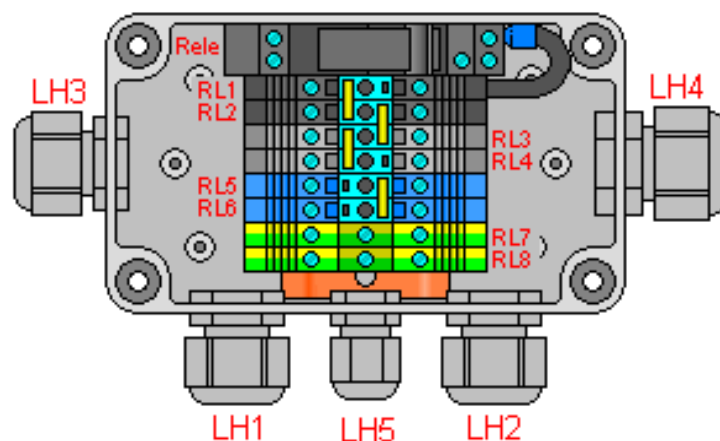
Häntä:
Katkaistaan sopivaan mittaan ja asennetaan
lattaiitin kaapelille joka kytketään CTB:lle.



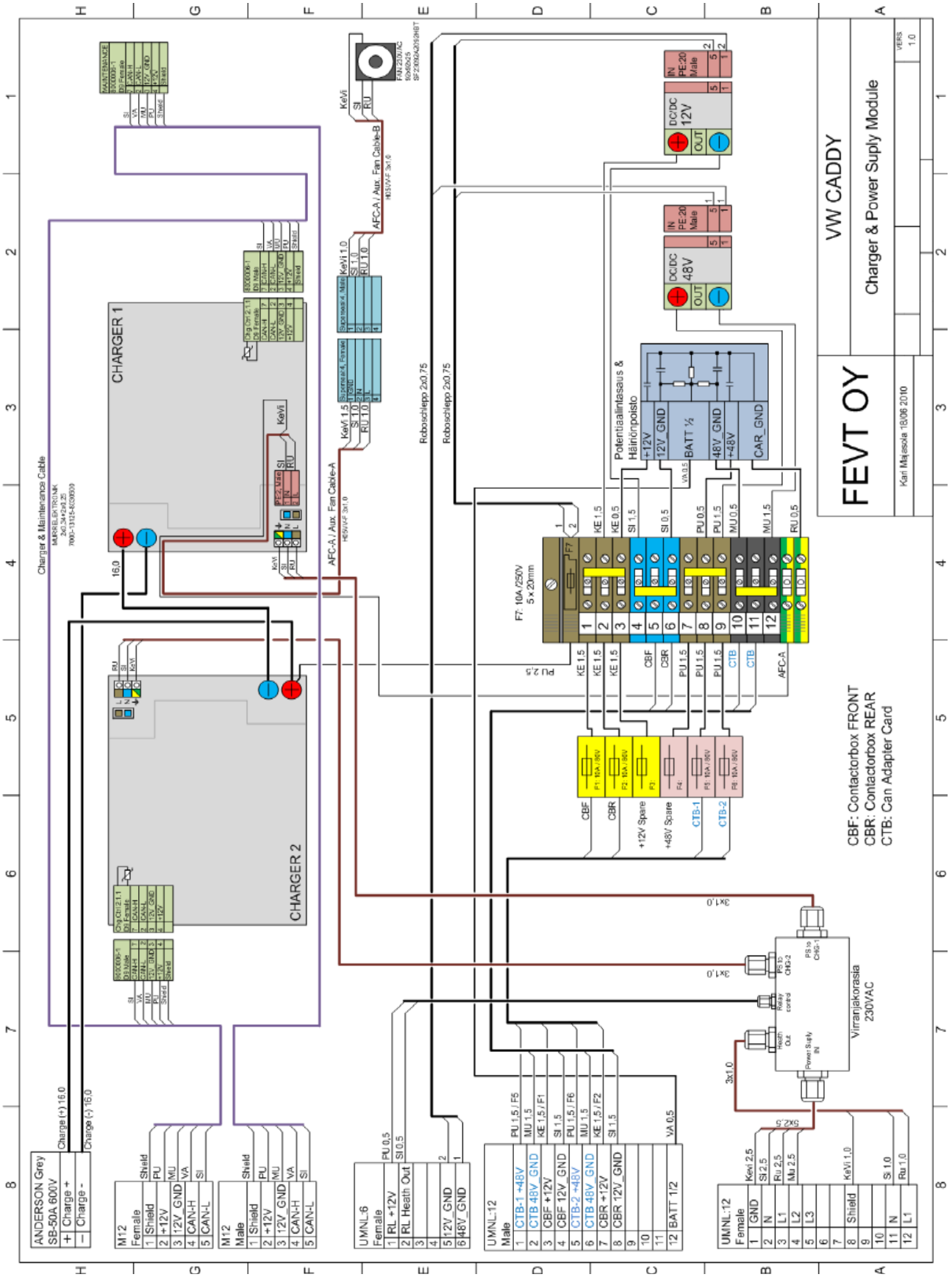
Block Diagram of the Front Contactor Module

DESIGNER	Arto Haakana	SIZE		DWG-number		Version	11.2.0
APPROVED							
				12.2.2010	TABLE		3 / 4





FEVT OY
 VAMK
 Laturien virranjakoboxi
 majis 16/06 2010



Technical data

Input voltage	70...264Vac (70...230Vac, reduced power) 70...369Vdc
Efficiency	>0.89 at full load, >0.90 at 50% load
Input current	16A (max)
Frequency	47-63Hz
Power factor	>0.98
Inrush current	soft start
Output ripple	<1% from output voltage, rms

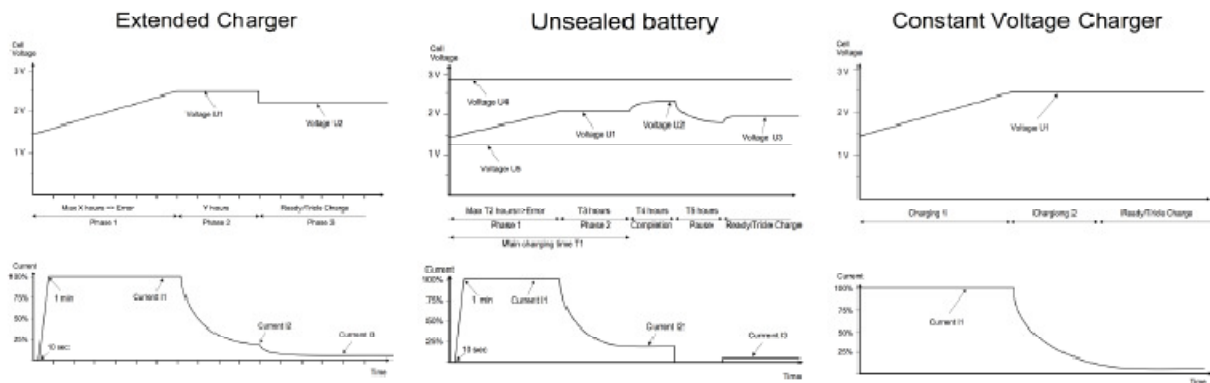
Status LED indication		
Power supplies / CV chargers	orange LED	Power OK
Cyclic chargers	orange LED	charging
	green LED	charging ready
	red LED	error

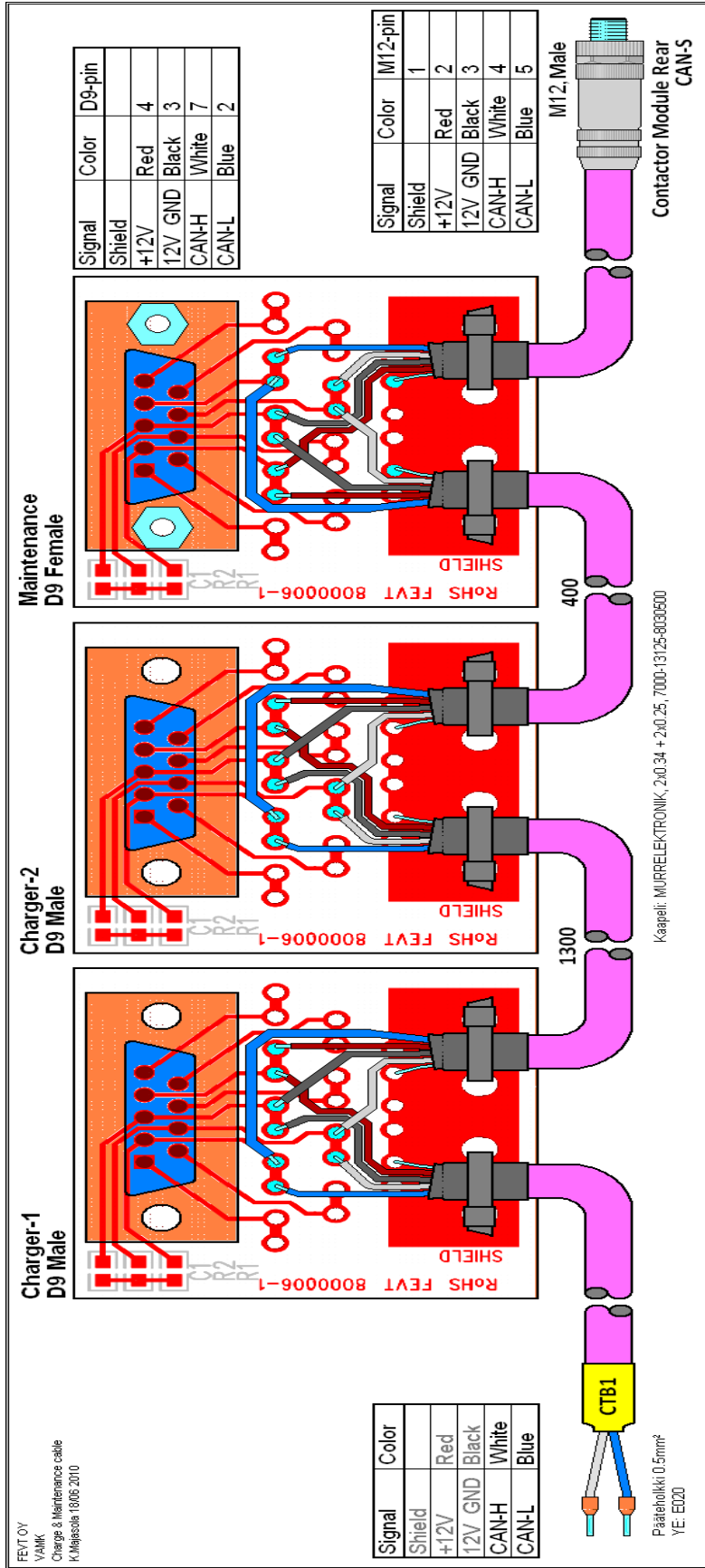
Isolations	
input-chassis	1500Vac
input-output	3750Vac
output-chassis	500Vac

Construction	aluminum case, IP20
Dimensions	400 x 250 x 80 mm
Weight	7.1 kg without cables
Mounting	wall, bench
Cooling	temperature controlled fan
Ambient humidity	0...95%, non condensing
Ambient temperature range (excluding cables)	-20°C...+40°C at full load, abs. max. +55°C
Markings	CE

Standards	Safety	Class 1 EN60335-2-29:2004 EN60335-1:2002 + A11:2004 +A1:2004 +A12:2006 +A2:2006 EN50366:2003 +A1:2006 Conformity can be limited depending end application, output control method or unit mechanical structure
-----------	--------	--

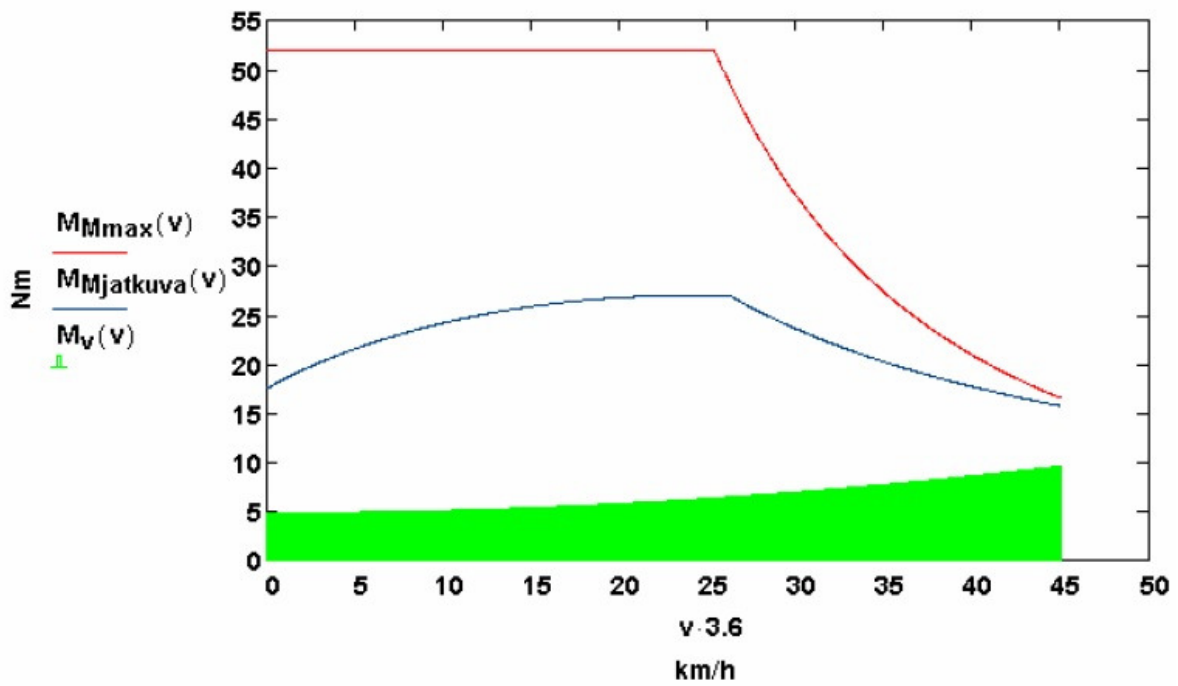
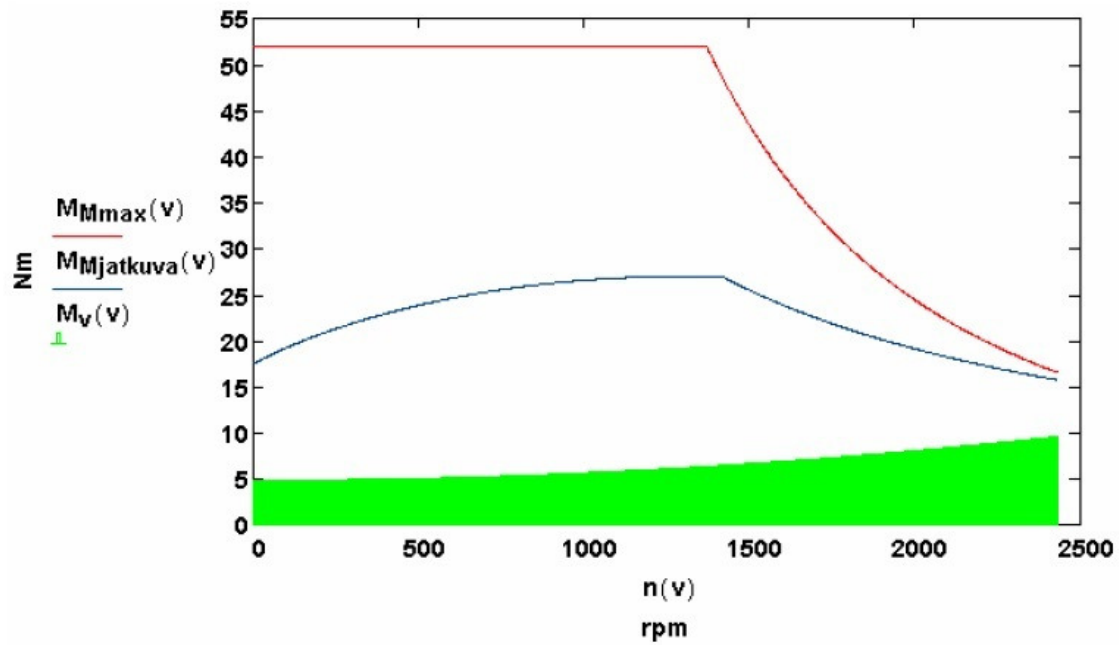
EMC	Limits EN55022 Class A or B, Application must discuss in detail
-----	---





LIITE 11

Vastavoimien voittamiseen tarvittava momentti ja moottorin momentit, moottorien kierros nopeuteen ja auton ajonopeuteen verrattuna.



LIITE 12

```

; $FILEVERSION=1.1
; $STARTTIME=40661.6524256713
;
; D:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\can_kennot.trc
;
; Start time: 28.4.2011 15:39:29.578.x
;
; Message Number
; |          Time Offset (ms)
; |          |          Type
; |          |          |          ID (hex)
; |          |          |          |          Data Length Code
; |          |          |          |          |          Data Bytes (hex) ...
; |          |          |          |          |          |
; ---+---  ---+---  ---+---  ---+---  +  -+  --  --  --  --  --  --  --
1)          20.7  Rx          02501D00  0
2)          21.3  Rx          02501E00  0
3)          21.9  Rx          02501F00  0
4)          22.5  Rx          02502000  0
5)          23.7  Rx          0240FF85  8  4F 00 0A 00 01 01 01 03
6)          25.7  Rx          02501D20  8  B6 00 90 74 31 00 02 00
7)          26.8  Rx          02501F20  8  A7 00 91 77 A0 00 01 03
8)          27.9  Rx          02501E20  8  B7 00 93 77 C0 00 02 00
9)          29.0  Rx          02502020  8  B6 00 92 74 D3 00 01 03
10)         33.3  Rx          0240FFC3  8  68 83 00 00 D8 2D 83 07
11)         62.4  Rx          0240FF86  8  00 FF 03 BB 2F 94 90 04
12)        130.1  Rx          0240FFC6  8  6D 83 00 00 D8 24 83 07
13)        182.3  Rx          0240FF82  8  50 00 00 00 01 00 03 03
14)        242.0  Rx          0240FF83  8  00 FF 03 B8 2F 94 90 04
15)        270.8  Rx          02502100  0
16)        271.4  Rx          02502200  0
17)        271.9  Rx          02502300  0
18)        272.5  Rx          02502400  0
19)        273.7  Rx          0240FF85  8  50 00 0A 00 01 01 01 03
20)        275.8  Rx          02502420  8  B7 00 93 73 E1 00 02 00
21)        276.9  Rx          02502120  8  B7 00 93 74 80 00 01 03
22)        278.0  Rx          02502220  8  B7 00 93 75 01 00 02 00
23)        279.1  Rx          02502320  8  B4 00 93 74 63 00 02 01
24)        311.2  Rx          0240FFC3  8  68 83 00 00 D8 2D 83 07
25)        342.6  Rx          0240FF86  8  00 FF 03 BB 2F 94 90 04
26)        410.3  Rx          0240FFC6  8  6D 83 00 00 D8 24 83 07
27)        432.4  Rx          0240FF82  8  51 00 00 00 01 00 03 03
28)        519.0  Rx          0240FF83  8  00 FF 03 B8 2F 94 90 04
29)        520.9  Rx          02502500  0
30)        521.4  Rx          02502600  0
31)        522.0  Rx          02502700  0
32)        522.6  Rx          02502800  0
33)        523.8  Rx          0240FF85  8  51 00 0A 00 01 01 01 03
34)        525.8  Rx          02502820  8  14 00 91 77 41 00 00 01
35)        526.9  Rx          02502520  8  B6 00 92 73 43 00 01 03
36)        528.0  Rx          02502620  8  B6 00 93 72 02 00 01 03
37)        529.1  Rx          02502720  8  B7 00 92 72 C0 00 02 00
38)        575.0  Rx          0301          8  00 00 00 00 2C 00 00 00
39)        576.4  Rx          0240FF84  8  00 00 00 00 00 01 00 00
40)        589.1  Rx          0240FFC3  8  68 83 00 00 D8 2D 83 07
41)        620.5  Rx          0240FF86  8  00 FF 03 BB 2F 94 90 04
42)        682.5  Rx          0240FF82  8  52 00 00 00 01 00 03 03
43)        688.8  Rx          0240FFC6  8  6D 83 00 00 D8 24 83 07

```