

Panu Kyytsönen

# E-RA-Sähköauton invertterien käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Insinöörityö  
5.6.2012

Tekijä Otsikko	Panu Kyytsönen E-RA-Sähköauton invertterien käyttöönotto
Sivumäärä Aika	33 sivua + 5 liitettä 5.6.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Sami Ruotsalainen lehtori Jari Ijäs
<p>Tämä insinöörityö on tehty osana Metropolia Ammattikorkeakoulun E-RA-sähköautoprojektia. Työssä oli tavoitteena tehdä kaikki invertterien käyttöönottoon liittyvät tehtävät noin kolmen kuukauden ajanjaksossa, koska auton piti ehtiä Nokian Renkaat oy:n kanssa sovittuun jäärata-ajoon.</p> <p>Työssä on käyty läpi E-RA:n tärkeimmät sähkötekniset komponentit ja kerrottu niiden vaikutuksesta uusien invertterien käyttöönottoprosessissa. Työssä on myös esitetty erityyppisten kuormitusprofiilien laskelmia, joita voi suuntaa antavasti käyttää sähköauton tehon tarpeen mitoitukseen.</p> <p>Auton uusille inverttereille tuli kehittää mahdollisimman keveä ja kompakti asennustapa. Invertterien sijaintia autossa kehitettiin sellaiseksi, että invertterien johdotuksista tulisi mahdollisimman lyhyitä ja siten samalla kevyitä.</p> <p>Auto ei päässyt ennen työn alkua mitatuista EMC-testeistä läpi. EMC-testeistä on tehty erillinen insinöörityö, jonka tuloksista selvisi aikaisempien invertterien ohjauslaitteen olleen ongelmana. Tarkoituksena oli läpäistä testit ennen tämän insinöörityön valmistumista. Uusien EMC-testien tuloksia on käsitelty tässä työssä.</p> <p>Uusien invertterien käyttöönotto saatiin valmiiksi keväällä 2012, ja auto teki sähköautojen maailmanennätysnopeuden jäällä. Käytöt ovat toimineet käyttöönotosta eteenpäin hyvin ja auton ajo-ominaisuudet, kuten kiihtyvyyys on selkeästi parantunut.</p>	
Avainsanat	Electric Raceabout, E-RA, sähköauto, sähkökäyttö, Invertteri, EMC

Author Title	Panu Kyytsönen Commissioning of new inverters for E-RA electric vehicle
Number of Pages Date	33 pages + 5 appendices 5 June 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Power Engineering
Instructors	Sami Ruotsalainen, Senior Lecturer Jari Ijäs, Senior Lecturer
<p>This Bachelors's thesis was made as a part of Metropolia's E-RA electric vehicle project. The Aim of this work was to commission new inverters for E-RA in a period of three months. The car had to be ready for speed record drive that was planned together with Nokian Renkaat company.</p> <p>This thesis explains the reader E-RA's most important electrical components and explains their effect in the process of commissioning the new inverters. The thesis also presents calculations for different types of load profiles that the electric vehicle might experience. Calculations can be used to approximate the electric vehicle's power need.</p> <p>The car's new inverters needed to be as light as possible and they needed a very compact way of mounting them to the car. The positioning of inverters had to be such that the power cords would be short and lightweight.</p> <p>The car could not pass the EMC-tests that were carried out twice before this work. The third EMC-test is made as a part of this work and results from all the tests are compared and explained in this thesis.</p> <p>The commissioning of the new inverters was completed in spring 2012 and the E-RA made the new world record speed of electric cars driven on ice. The new inverters have worked well since commissioning and they have affected the car's drivability positively. Some attributes, for example acceleration, have improved.</p>	
Keywords	Electric Raceabout, E-RA, Electric car, Inverter, EMC

## Sisällys

### Alkulause

### Tiivistelmä

### Abstract

### Sisällys

### Lyhenteet ja käsitteet

<b>1 Johdanto</b>	1
<b>2 Electric Raceabout -sähköauto</b>	2
<b>3 E-RA -sähköauton käyttöjen vaihto</b>	4
3.1 Käyttöjen vaihdon lähtökohdat	4
3.2 Invertterien käyttöönoton ehdot	5
<b>4 Powermaster-invertteri</b>	8
4.1 Invertterin valinta	8
4.2 Invertterin komponentit	8
<b>5 Moottorinohjaus</b>	10
5.1 Skalaarisäätö	10
5.2 Vektorisäätö	10
5.3 Suoravääntömomenttisäätö	11
5.4 Akkukäytön haasteet	12
<b>6 Sähköinen mitoitus</b>	12
6.1 Yleistä tietoa E-RA:n komponenteista	12
6.1.1 Uudet invertterit	12
6.1.2 Akusto	13
6.1.3 Sähkömoottorit	14

6.1.4	Voimansiirto	16
6.2	Invertterin johtojen mitoitus	16
<b>7</b>	<b>Invertterien asentaminen E-RA:aan</b>	<b>17</b>
7.1	Alkutilanne Vaconien kanssa	17
7.2	Asennuksen mekaaninen suunnittelu	18
7.2.1	Etuinvertterien asennus	18
7.2.2	Takainvertterien asennus	20
<b>8</b>	<b>Invertterien testaus</b>	<b>22</b>
8.1	Koeajot dynamometrillä	22
8.2	Auton EMC-testit	24
8.2.1	EMC:n perusteet	24
8.2.2	EMC vertailu	26
<b>9</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>31</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>33</b>
	<b>Liitteet</b>	
	Liite 1. Invertterin datalehti	
	Liite 2. Invertterin syöttöjohtojen datalehti	
	Liite 3. Sidontapantojen datalehti	
	Liite 4. Akkupussin datalehti	

## Lyhenteet ja käsitteet

BMS	Battery Management System; akustonvalvontajärjestelmä
CAN-väylä	Controller Area Network; Autoissa käytettävä automaatiiväylä
EMC	Electromagnetic Compatibility; sähkömagneettinen yhteensopivuus
EMI	Electromagnetic Interference; Sähkömagneettinen häiriö
E-RA	Electric Raceabout; Metropolia AMK:ssa valmistettu täyssähkö- urheiluauto
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor; Bipolaaritransistori, jonka hila on eristetty
Invertteri	vaihtosuuntaaja
IWS	Intelligent Wiring System; Älykäs sähkövirran syöttö- ja hallintajärjestelmä
Kentänheikennys	moottorin nimellisen pyörimisnopeuden ylittävä nopeus, jonka ylittämällä koneen vääntömomentti alkaa laskea
Monokokki	itsekantava kori on yksiosainen rakennetyyppi, jossa rakenteen kuori kantaa suuren osan kuormasta
SKAI II	Semikron GmbH:n valmistama autokäyttöön suunniteltu invertteri
Powermaster	SKAI II invertterin perustaan pohjautuva Visedo Oy:n valmistama laite

## 1 Johdanto

Electric Raceabout eli E-RA on Metropolia Ammattikorkeakoulussa kehitetty täyssähköurheiluauto. Tämä työ on tehty osana E-RA-projektia. Autossa on käytetty pitkälle kehitettyä tekniikkaa Suomesta sekä ulkomailta. E-RA:n runko on valmistettu pääasiassa hiilikuidusta. Rungon sisään on asennettu noin 1 000 kg sähkötekniikkaa. Suuresta painosta huolimatta auto on menestynyt kilpailijoidensa rinnalla loistavasti. Toisinaan se on myös saanut tunnustusta erilaisissa paikoissa, tapahtumissa ja kilpailuissa, kuten Automotive-Xprize -kilpailussa, Michelin Challenge Bibendum -tapahtumassa, Le Mans -radalla, e-miglia -rallissa ja Nürburgringin Nordschleife -radalla.

Tämä aihe valittiin koska E-RA-tiimi haluaa jatkossakin olla tekniikan kehityksen huipulla, joten uusien invertterien tuoma lisä suorituskyvyssä on projektissa tärkeä auton kovien kilpailijoiden vuoksi. Auton kilpailijoiksi voi ainakin laskea mm. Peugeotin EX1 konseptiauton, Tesla Roadsterin, SLS AMG E-CELL:in ja Audi R8 e-Tronin.

Kesällä 2011 E-RA-tiimin vieraillessa Saksassa, Michelin challenge dum -tapahtumassa, tapasi lehtori Sami Ruotsalainen Semikron taajuusmuuttajavalmistajan edustajia. Semikronin edustajat tarjosivat tiimille Semikronin ja suomalaisen Visedo Oy:n yhdessä kehittelemiä invertterejä. Visedo on kehittänyt SKAI II –invertterin pohjalta oman powermaster tuotteen, jota on optimoitu siten, että se sopii paremmin E-RA:n tarpeisiin. Tarjous otettiin vastaan ja auton valmistelu uusia käyttäjiä varten alkoi syksyllä 2011.

Semikronin kanssa yhteistyötä tekevä lappeenrantalainen yritys Visedo Oy valmisteli invertterit E-RA:n järjestelmiin yhteensopiviksi. Visedo on myös auttanut invertterien käyttöönotossa kehittämällä ohjelmistoa sekä neuvomalla ongelmatilanteissa.

Työssä oli tavoitteena keventää autoa, nostaa huippunopeutta, parantaa kiihtyvyyttä, läpäistä EMC-mittaukset ja tehdä ajosta ylipäättään miellyttävää myös uusien käyttäjien asentamisen jälkeen. Uudet käytöt pääsivät ensimmäistä kertaa koetukselle 17.3.2012, jolloin autolla ajettiin nopeusennätys jäällä. Auto saavutti jääradalla 260,06 km/h huippunopeuden ja 252,09 km/h keskinopeuden. Nopeusennätys sai jonkin verran huomiota lehdistöltä, enimmäkseen ulkomailla.

Tällaiset näytöt parantavat sähköautojen mainetta sekä edistävät autojen myyntiä. Kasvava myynti alentaa hintoja massojen ekonomian avulla. Sillä on selvää, ettei nykyisenkaltaista saastuttavaa ja kestävämpää tapaa liikkua voida jatkaa ikuisesti.

## 2 Electric Raceabout -sähköauto

Electric Raceabout eli E-RA on Metropolia Ammattikorkeakoulussa kehitetty sähköauto. E-RA-sähköauton valmistaminen aloitettiin vuonna 2007. Projektissa oli tarkoituksena rakentaa ekologinen urheiluauto, joka on samalla myös suorituskykyinen. Tavoitteissa on onnistuttu hyvin, sillä auto kuluttaa energiaa vähemmän kuin Toyota Prius. Kulutusvertailut ovat tosin hieman hankalia, sillä E-RA on täysin sähköllä kulkeva toisin kuin Toyota Prius.

E-RA on valmistettu hiilikuidusta ja sen kori on rakenteeltaan hiilikuitumonokokki. Koriin on tehty sopivat paikat akkupaketeille ja teräksestä valmistetuille apurungoille, joissa auton moottorit ovat kiinni. Moottorit ovat sijoitettu suoraan renkaiden taakse apurunkoon auton keskelle ns. *selät vastakkain*. Auton kuljettamiseen tarvittu veto siirretään moottoreilta suorilla vetoakseleilla. Vaihteistoa ei tarvita, koska autossa on moottorityyppi, joka sallii pitkälle kentänheikennykseen menemisen ja siten myös suuren pyörimisnopeuden. Moottorityyppi on reluktanssiavusteinen kestopagneettitahtimoottori.

Akusto on sijoitettu autoon painopistettä ajatellen eli kaksi pakettia kuljettajan taakse ja yksi paketti keskitunneliin siten, että ylhäältä katsomalla akusto muodostaa T-kirjaimen. Auton painonhallinta on ollut haasteellista, eikä paino jakaudu nykyään täysin tasan etu- ja taka-akseleille taka-akseleilla on hieman enemmän massaa yllään.



E-RA on varustettu 33 kWh:n akustolla, jolla matkaa voi taittaa 80 km/h:n nopeudella noin 220 km olosuhteista riippuen. Lämpötilalla ei ole suurta vaikutusta ajomatkaan, sillä akusto on valittu kestämään -40 C:n lämpötilaa. Autossa on myös jokaiselle pyörälle oma moottori. Katsastusprosessi läpäisti erityisehdoilla 11.3.2011, joka on etenkin Suomessa varsin haasteellinen teko opiskelijaprojektin valmistamalle autolle.

E-RA:n voidaan katsoa olevan sukua aiemmin Metropolia Ammattikorkeakoulussa valmistetulle Raceabout-urheiluautolle. Raceaboutin valmistamiseen osallistuneet opiskelijat ehdottivat E-RA:n valmistamista jo vuoden 2004 aikana. Alun perin Raceaboutista aiottiin valmistaa muunnossähköauto, mutta koska Raceaboutissa ei olisi ollut tarpeeksi tilaa sähköteknisille komponenteille, ajatus hylättiin. Tämän seurauksena oli uuden, alusta asti sähköautoksi suunnitellun auton rakennusprojekti.

Projektiin on osallistunut kymmeniä opiskelijoita ja monilta yrityksiltä on saatu apua. Ilman suomalaista osaavaa sähkö- ja autoteollisuutta sekä innokkaita opiskelijoita olisi tämäkin taidonnäyte jäänyt näkemättä.

Kuvassa 1 auto on tieliikenteessä ja sillä on 5.6.2012 mennessä ajettu jo tuhansia kilometrejä.

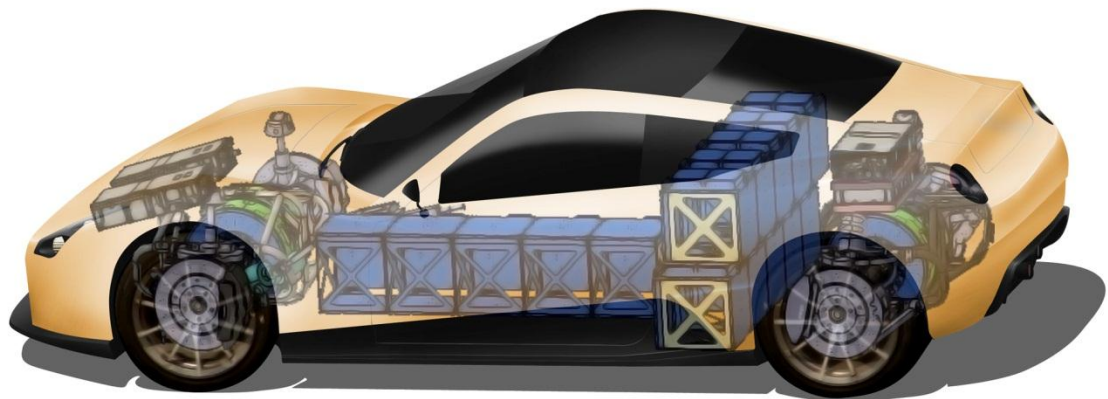


Kuva 1. E-RA liikenteessä

### 3 E-RA -sähköauton käyttöjen vaihto

#### 3.1 Käyttöjen vaihdon lähtökohdat

Käytöt voidaan nähdä kuvassa 2, jossa ne sijaitsevat etu- ja takarenkaiden yläpuolella. Vaconin käyttöjen vaihtoon päädyttiin lähinnä seuraavista syistä: auton kiihtyvyyttä 0 - 100 km/h haluttiin parantaa, auton kevennys, EMC-häiriöiden pienennys, ja siksi että uudet käytöt ovat erityisesti autokäyttöön tarkoitettuja.



Kuva 2. E-RA:n rakenne

E-RA:lla on ollut vaikeuksia läpäistä käyttöönottokatsastuksen vaatimat EMC- mittaukset, joita on viimeksi yritetty läpäistä syksyllä 2011 Nemkon tiloissa. Edellisissä mittauksissa E-RA:an oli edelleen asennettuina Vaconin teollisuuskäytöt, joiden EMC-vaatimukset eivät ole olleet niin vaativia niiden teollisperäisen käyttötarkoituksen vuoksi. Tästä huolimatta auto lähes läpäisi testit, mutta mittauksissa oli yksi radiotaajuinen piikki, joka ylitti Euroopan unionin direktiivin 72/245/ETY -vaatimukset. Viimeisen mittauksen tulokset ovat nähtävissä testaus -luvussa.

Työhön asetettiin tavoitteeksi myös invertterien huollon helpottaminen. Aikaisempien käyttöjen irrotus takakontista oli sietämättömän vaikeaa ja aikaa vievää. Auton huollossa mukana olleet ihmiset tietävät, miten vaikeaa huoltaminen auton vanhalla konfiguraatiolla oli.

### 3.2 Invertterien käyttöönoton ehdot

Uusien käyttöjen sijoituksesta autoon neuvoteltiin useasti. Sijoitukselle pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja. Samalla piti kuitenkin pohtia, miten käytöt kannattaisi asentaa painopistettä, painoa ja turvallisuutta ajatellen. Käytöt voidaan asentaa autoon monella tavalla, mutta luonnollisesti piti löytää asento, jossa käytöille menevät kaapelit ovat mahdollisimman lyhyet painonsäästön vuoksi. Yksi suurimmista ongelmista oli myös tilan puute, koska haluttiin säilyttää takakontin tilat. Turvallisuus on luonnollisesti tärkein seikka käyttöjen sijoituksessa. Piti keksiä keino, miten arvioidaan, kestävätkö käytöt paikallaan noin 15 g kiihtyvyydessä, eivätkä ne tulisi takakontista ajajan niskaan tai lentäisi edessä ulos konepellin alta.

Auto painaa noin 1 700 kg. Tästä lähtökohdasta voidaan alkaa selvittää, millaista energiamäärää tämänkokoisen massa tarvitsee kiihtyäkseen sulavasti. Energiamäärää voidaan lähteä hakemaan liike-energian yhtälöstä 1:

$$E_v = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

jossa  $E_v$  on liike-energia,  $m$  on massa ja  $v$  on vauhti.

Yhtälöstä 1 saadaan E-RA:n liike-energiaksi 100 km/h vauhdissa noin 660 kJ. Jos tämä halutaan saavuttaa 6 sekunnin aikana, tarvitaan noin 110 kW:n teho, jossa ei ole huomioitu häviöitä.

Käytännössä tämän saavuttaminen on raskaalla autolla vaikeaa jo renkaiden pidon vuoksi. Pitää huomioida lisäksi, että ilmanvastuksen vaatima tehon tarve lisää tarvittavaa tehoa huomattavasti. Tehon tarvetta tarkasteltiin ottamalla huomioon ilmanvastus yhtälöllä 2:

$$Pt = \frac{\delta * mv}{2 * ta} (vf^2 + vb^2) + \frac{2}{3} * mv * g * fr * vf + \frac{1}{5} * \rho * Cd * Af * vf^3 * \frac{1}{\eta M} * \frac{1}{\eta I} * \frac{1}{\eta R} \quad (2)$$

jossa  $Pt$  on ajoneuvolta vaadittu teho,  $\delta$  hitausmassoista riippuva kerroin (tyypillisesti 1,05),  $mv$  ajoneuvon kokonaismassa,  $ta$  haluttu kiihdytysaika,  $vf$  ajoneuvon loppunopeus,  $vb$  ajoneuvon perusnopeus,  $g$  putoamiskiihtyvyyys,  $fr$  vierintävastuskerroin,  $\rho$  ilmantiheys,  $Cd$  ajoneuvon ilmanvastuskerroin,  $Af$  ajoneuvon otsapinta-ala,  $\eta M$  moottorin hyötysuhde,  $\eta I$  invertterin hyötysuhde ja  $\eta R$  renkaiden hyötysuhde. Renkaiden hyötysuhde on lähinnä valistunut arvaus ja on yhtälössä kuvaamassa huomiotta jääneitä häviöitä. [1, s. 49.]

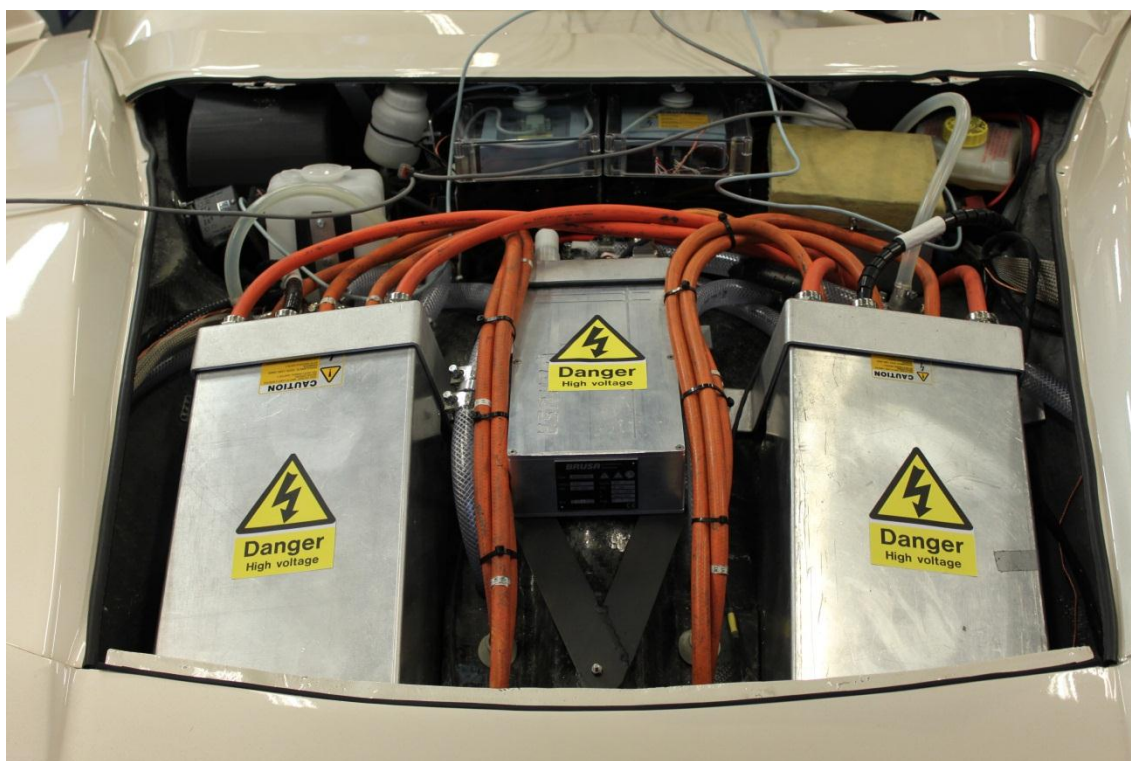
Sijoittamalla E-RA:n arvot kaavaan 2 saadaan 0 - 100 km/h kiihdytyksen tehon tarpeeksi 150 kW 6 sekunnin ajan tai 178 kW 5 sekunnin ajan. Vastaavasti sijoittamalla kaavaan kiihdytys 0 - 200 km/h nopeuteen 12 sekunnin ajassa 321 kW. Urheiluauton mitoitus kannattaa tehdä aina kalleimman osan maksimitehon mukaan.

Akustosta voidaan ottaa jatkuvasti 200 kW tehoa ja 10 sekunnin ajan 330 kW:n jännitteen vaihdella 280 - 370 V. Akuston jännite pienenee akun tyhjentäessä tai silloin, kun autosta otetaan suuri teho ulos, jolloin käyttöjen välipiirin jännite pienenee ja moottoreita ajettaessa yli nimellisuopeudella myös kentänheikennyspiste on dynaaminen. Dynaamisella kentänheikennyspisteellä tarkoitetaan kentänheikennyspisteen liikumista kuormituksen mukana.

Akuston jännitteen pieneneminen ei ole kyseessä olevan akkutyypin ominaisuus vaan yleisesti pienien voimanlähteiden, joka johtuu akuston sisäisestä resistanssista. Sisäisen resistanssin läpi kulkiessa virtaa, tämän resistanssin yli syntyy jännite  $U_h$ .  $U_h$  on aina napajännitteestä pois, joten se pudottaa akun napajännitettä ja lisää virrantarvetta. Yleisesti teollisuuskäytöissä ei tämätapaista ongelmaa ole, ja verkkoa voidaan pitää mitoituksen kannalta ns. *jäykkänä*. Kun käytettävissä ei ole ns. *jäykkää verkkoa*, tulee kentänheikennyspistettä hakea kokeellisesti, laskennalla ja testaamalla autoa dynamometriajoilla.

Muita mahdollisia pullonkauloja sähkötekniikkaa ajatellen on komponenttien lämpeneminen. Akusto on tällä hetkellä auton suorituskykyä rajoittava asia. Akuston ollessa samalla kallein yksittäinen komponentti, on sen suojeluksi tehtävä erityisiä toimenpiteitä. Myös invertterien IGBT-puolijohteiden lämpeneminen sekä johtojen virrankesto ja renkaiden pito rajoittaa yleisesti sähköautojen suorituskykyä.

Käyttöjen tulee myös soveltua yhteen auton viestiliikenteen kanssa. Moottoreita ohjataan CAN-kenttäväylällä. Aiemmissa Vaconin käytöissä oli invertterin lisäksi erilliset ohjausyksiköt, joihin CAN-väylä ja moottorin takometrit oli yhdistetty. Ohjausyksiköiden hyvä puoli oli vaarallisen suurten ja pienten viestijännitteiden isolointi auton muista järjestelmistä valokaapelin avulla. Tämä paransi suuresti auton turvallisuutta teoreettisissa vikatilanteissa. Auton keulan vanha konfiguraatio esitetään kuvassa 3:



Kuva 3. Keulan vanha konfiguraatio

Kuvassa 3 takana näkyy kaksi sinimustaa esinettä, jotka ovat etuinvertterien ohjauslaitteet. Edessä oikealla, ja vasemmalla näkyy vanhat käytöt. Oikean puoleisesta invertteristä näkyy musta valokaapelinippu, jossa on myös ohjauslaitteiden 24 V:n syöttö.

Kaikki edellisissä luvuissa (1 - 3) mainitut seikat tekevät erilaisista mitoituksista haasteellisia, koska komponenttien ylimitoitusta tulee esimerkiksi painon vuoksi välttää. Turvallisuusmielessä tulee kuitenkin jättää marginaaleja, esimerkiksi käyttöjen kiinnityksen kestoon sekä käyttöjen ottamaan virtaan, jotta vältytään henkilövahingoilta. Kun kiinnitykset tehdään hyvin, voidaan autoa pitää turvallisena.

Käyttöjen johdotuksen ja tehonsäädön mitoituksessa tulee ottaa huomioon auton painopisteen siirtyminen kiihdytystilanteessa. Kiihdytyksessä takarenkaille siirtyy enemmän painoa, ja siten pito paranee renkaan kitkakertoimen suurentuessa.

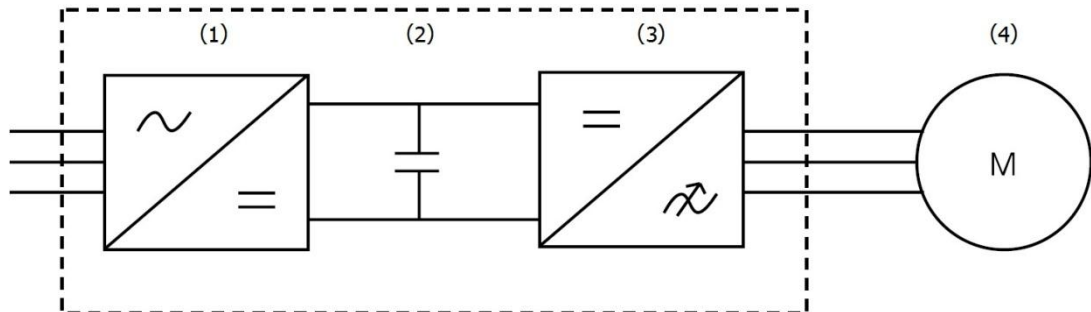
## **4 Powermaster-invertteri**

### 4.1 Invertterin valinta

Powermaster on autoihin, veneisiin ja työkoneisiin sopiva invertteri. Sähköautoihin soveltuvia käyttöjä valmistavat useat yritykset mm. Semikron, Brusa ja Visedo. Semikronin käyttöihin päädyttiin niiden hyvien ominaisuuksien, kuten keveyden, tehon ja vesijäähdytyksen vuoksi. Tärkeä seikka valinnassa oli myös Semikronin kanssa yhteistyötä tekevän suomalaisen Visedo yrityksen antama tuki. Visedon tuomia etuja ovat sama kieli, aikavyöhyke ja yrityksen asiantuntevan henkilökunnan tuki. Käytöt ehdittiin valita jo ennen insinööriyön aloittamista.

### 4.2 Invertterin komponentit

Laitteen sisäinen rakenne on luottamuksellista tietoa, joten tässä insinööriyössä voidaan asiaa käsitellä vain tyyppillisen esimerkin kautta. Kuvassa 4 esitetään tyyppillinen taajuusmuuttajasovellus. Kuvassa numeroidut osat ovat tasasuuntaaja (1), tasajännitevälipiiri (2), vaihtosuuntaaja (3) ja sähkömoottori (4). Sähköautossa komponentit eroavat hieman: tasasuuntaajan tilalla on laturi ja tasajännitevälipiirin tilalla on akusto. Tyyppilliseen käyttöön verrattuna tasajännitevälipiiri kykenee vastaanottamaan suuren tehon, kun taas tyyppillisessä kondensaattoreilla toteutetussa versiossa energianvastaanottokyky on hyvin rajallinen. Invertteri kykenee ottamaan vastaan suuren tehon välipiirinä toimivan akuston vuoksi. [2, s. 6.]



Kuva 4. Tyypillinen taajuusmuuttajasovellus [2, s. 6]

Powermaster -invertterin moottorilähdöissä sekä invertterin DC-syötössä on yhteismuotokuristimet vähentämässä EMI:ä. Yhteismuotoinen virta voidaan selittää käsitteenä siten, että kahden piirin välillä on kaksinapainen johto, jossa kulkee tietty yhteismuotoiseksi kutsuttu virta vain toista piiriä kohden.

Invertterin tärkein osa on IGBT eli eristehilabipolaaritransistori. IGBT omaa fet-transistorien pienet johtohäviöt ja nopean kytkentäajan sekä bipolaaritransistorin hyvän virranjohtokyvyn. Kuten jo IGBT nimestä selviää, siinä on eristetty hila, joka ohjaa sähkökentän avulla transistorin johtavaan tilaan. IGBT:llä on viive sytytys- ja sammutus-hetkellä. IGBT:tä tulee myös estää olemasta johtava yhtä aikaa eri vaiheen puolijohteen kanssa, jotta vältetään oikosululta vaiheiden välillä. Oikosulun välttämiseksi tulee komponentille jättää suoja-aika. IGBT mahdollistaa neljän kvadrantin käytön. Esimerkiksi regeneroiva jarrutus on tärkeä auton toimintasäteen kannalta. [3, s. 6.]

IGBT:tä suojataan liian suurelta jännitteen nousunopeudelta eli  $du/dt$ :ltä RC-suojalla. RC-suojan ollessa rinnan puolijohteen kanssa, puolijohteen yli oleva jännite ei voi muuttua yhtäkkisesti, koska IGBT:n kanssa rinnan oleva kondensaattori leikkaa suojattavan puolijohteen yli olevasta jännitteestä huipun pois. RC-suojan resistanssi antaa kondensaattorin varaukselle purkautumistien.

Aikaisemmassa E-RA:n konfiguraatiossa oli moottorien pt-100 lämpötilanmittausanturi-  
en ja auton väylän välillä invertterin ns. *ohjausboxi*, joka välitti väylälle tiedon valokaa-  
pelin välityksellä. Nykyisessä invertterissä ei ole isoituja mittauksia, joten on olemassa  
pieni riski moottorien käyttöjännitteen kytkeytymisestä mittauspulelle.

## 5 Moottorinohjaus

### 5.1 Skalaarisäätö

Skalaarisäätö ohjaa moottoria muuttamalla jännitettä ja taajuutta, kunnes saavutaan  
kentänheikennykseen, jonka jälkeen ei voida enää nostaa taajuutta virran nousun  
vuoksi. Pelkän taajuuden nosto kentänheikennysrajalla pitää virran kurissa ja moottorin  
käämitykset eivät ylikuormitu. Skalaariohjaus on säätötapana hyvin epätarkka ja sovel-  
tuu parhaiten sovelluksiin, joiden ohjaukselta ei vaadita hyvää dynamiikkaa, kuten pu-  
hallinsäädöt. Momenttivaste on noin 150 millisekuntia. [4, s. 472]

### 5.2 Vektorisäätö

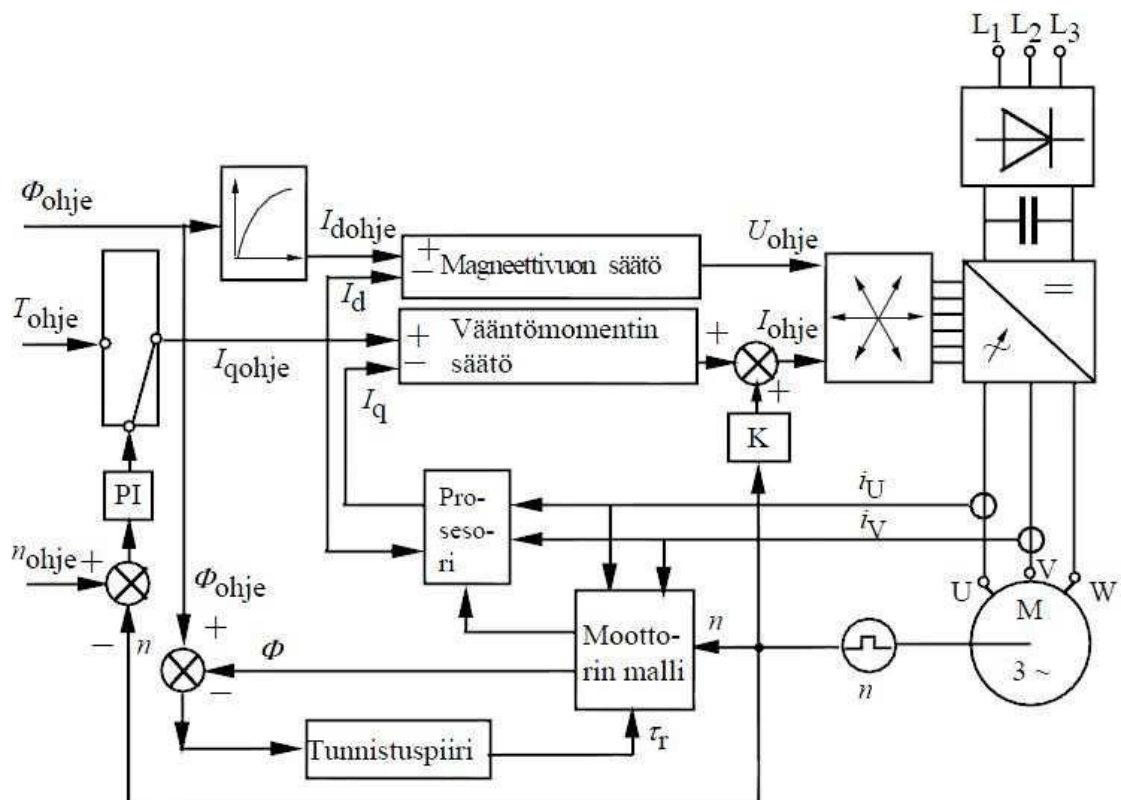
Vektorisäätö on magneettikenttäorientoitunut säätö, joka on yleisesti taajuusmuuttaja-  
valmistajien paras malli. Tässä työssä parhaalla mallilla tarkoitetaan sitä, että ainoas-  
taan ABB myy DTC-säädöllä varustettuja laitteita. DTC on hieman tarkempi ohjaus,  
mutta auton invertterissä todella tarkka säätö ei ole välttämätön vaan on järkevämpää  
keskittyä hyvään hyötysuhteeseen.

Tehdään vielä selväksi säädön ja ohjauksen ero, koska se usein hämää monia. Säädön  
ja ohjauksen ero on se, että säädössä on aina takaisinkytkentä säädettävänä olevan  
suureen arvosta. Takaisinkytkentä voi tarkoittaa esimerkiksi takometria, virranmittausta  
tai jännitteenmittausta riippuen sovelluksesta. E-RA:an on implementoitu vektorisäätö,  
jolla on pulssianturi mittaamassa pyörimisnopeutta.

Vektorisäätö on vääntömomenttisäätö, jolle pyörimisnopeussäätö antaa ohjearvon.  
Moottorin virta jaetaan kahteen komponenttiin,  $I_d$ :hen ja  $I_q$ :hun.  $I_d$  magnetoi konetta



ja  $I_q$  tuottaa vääntömomentin. Kuvassa 5 (ks. seur. s.) esillä olevaan moottorimalliin saadaan usein tiedot identifiointi-ajolla tai käsin kirjaamalla ne ohjelmaan. Moottorimalli antaa tiedot prosessorille laskettaviksi, prosessori syöttää ne edelleen vääntömomentin säädölle. Kuvassa 5 on myös modulaattori, joka on helppo paikallistaa sen ollessa kytkettynä suuntaajaan. Modulaattorin tehtävänä on ohjeita tulkitsemalla asettaa järkevät kytkinkombinaatiot suuntaajalle. Modulaattoreita on useita erityyppisiä, mutta niihin ei tässä työssä paneuduta tarkasti. Vektorisäädön momenttivaste on noin 20 - 30 millisekuntia. [4, s. 474]



Kuva 5. Vektorisäädön lohkokkaavio [4, s. 475]

### 5.3 Suoravääntömomenttisäätö

Suoravääntömomenttisäätö eli DTC on tarkin markkinoilla oleva ohjaustapa, joka säätelee käämivuota ja vääntömomenttia. Hystereesisäätö tarkistaa 25 mikrosekunnin välein arvojen olevan toleranssien sisällä. Säädöllä saadaan hyvin nopea momenttivaste momenttipyyynnölle, tyypillisesti noin 2 - 3 millisekuntia. [4, s. 475]

## 5.4 Akkukäytön haasteet

Koska powermaster-invertteriä käytetään VSI:nä (*voltage source inverter*) E-RA:ssa, ei voida säätää välipiirin jännitettä, joten myöskään puolijohteiden moottorille syöttävän jännitteen huippuarvoa ei voida säätää. Akun napajännite kuitenkin muuttuu riippuen akun kuormituksesta ja varauksesta välillä 280 - 370 V. Moottorin pääjännite saadaan yhtälöllä 3,

$$U_d = \frac{U_{bat}}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

Jossa  $U_d$  on moottorin pääjännite.

Moottorin maksimi pääjännite vaihtelee akun maksimi- ja minimijännitteen mukana 261 Voltista 198 Volttiin, tai jopa alemmas kuormituksen aiheuttaman jännitteenaleneman vuoksi. Normaaleissa teollisuuskäytöissä tällainen jännitteen heiluminen ei olisi hyväksyttävää ja käyttö olisi todennäköisesti asetettu sammumaan viimeistään verkon noin 10 %:n jännitteenaleneman kohdalla.

## 6 Sähköinen mitoitus

### 6.1 Yleistä tietoa E-RA:n komponenteista

#### 6.1.1 Uudet invertterit

Powermaster on tarkoitettu sähköautoille, hybrideille ja vastaaviin sovelluksiin. Inverttereihin on onnistuttu integroimaan hyvin pieneen tilavuuteen ja massaan kaikki tarpeellinen. Semikronin inverttereiden painoksi mitattiin 14 336 g, jota voi verrata edellisien käyttöjen 18 083 g + ohjainlaite 2 046 g painoon. Painonsäästö käyttöjen osalta ottaen huomioon vain invertterin ja ohjauksen on noin 23 kg. Kuvassa 6 (ks. seur. s.) on uusi invertteri.



Kuva 6. Uusi invertteri

Laitteessa on jännite-, virta-, lämpötila-sensorit sekä EMI-suojaus. IGBT-puolijohteiden jäähditys on toteutettu nestejäähdytyksellä. Laitteen suojausluokka on IP67, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa täydellinen suojaus (pölytiivis), toinen numero tarkoittaa laitteen kestäväen hetkellisen upotuksen veteen. Korkea suojausluokka on tärkeä, koska autolla ajetaan kosteissa olosuhteissa. Nestejäähdytys on käytännöllinen, sillä E-RA:ssa aiemmin olleet invertterit olivat myös nestejäähdytteisiä, joten tältä osalta laite oli *plug & play* -tyylinen. Nestejäähdytyksestä piti tarkistaa pumppujen tuottama virtaama ja se ylitti reilusti käytön jäähdityksen vaatiman virtaaman. Laite soveltuu DC-jännitteille 0 - 800 V ja yhden laitteen maksimiteho on 250 kW. Laitetta voidaan käyttää ympäristön (ja jäähditysnesteen) lämpötilavälillä -40 - 105 C. (Invertterin datalehti, ks. Liite 1)

### 6.1.2 Akusto

Akuston maksimijännite nominaali 370 V, minimi 300 V ja teoreettinen maksimi 460 V. Teoreettista maksimia ei voida käyttää käytännössä koskaan. Maksimi latausteho on 20 kW ja akusto voidaan myös pikaladata noin 90 % kapasiteetille, 250 kW:n teholla 10

minuutissa. Akkua voidaan purkaa 200 kW:n teholla jatkuvasti ja 10 sekunnin pyrähdystenä 330 kW teholla. Käytettävissä oleva energiamäärä on noin 33 kWh. Akku kykenee antamaan virtaa noin 600 A jatkuvasti ja 1 000 A 10 sekunnin ajan. Akusto koostuu 286 litium-titanaatti akkukennosta. Kennon kapasiteetti on 50 Ah ja paino 1,6 kg. (Akkukennon datalehti, ks. Liite 4)

Akuston lataamista ja purkua valvoo BMS eli *battery management system*. Usein sähköautoista puhuttaessa puhutaan kalliista akkupaketista, joka ei kestä pitkään ja uhkuvissa maalaillaan akuston vanhenevan nopeasti satojen lataussykliä jälkeen.

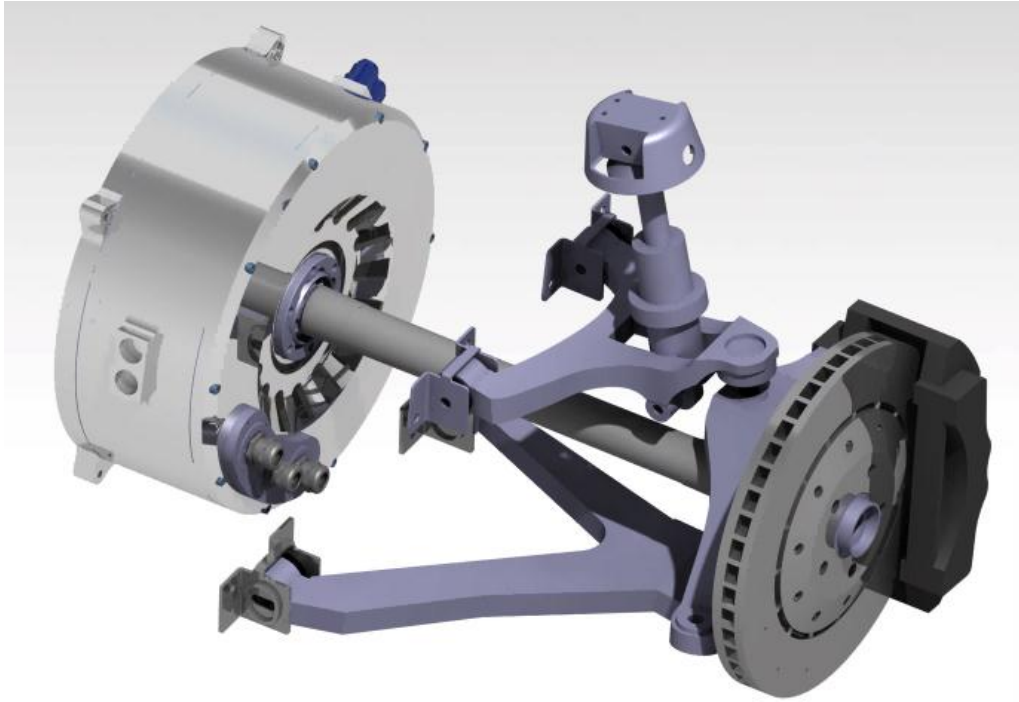
E-RA:n akkukennojen valmistaja Altairnano ilmoittaa kuitenkin akkujen kestoiksi noin 5 000 lataussykliä, jossa yksi sykli tarkoittaa tyhjäksi purkamista ja latausta.

Akuston lataukseen on useita vaihtoehtoja. Hidaslaturin teho on 3,3 kW, joka lataa auton noin 10 tunnin aikana. Akun lataukseen voidaan myös käyttää jopa kolmea hidaslaturia, jolloin myös latausaika putoaa kolmasosaan. Laturin hyötysuhde on korkea, jolloin myös tehonmuunnon hyötysuhde sähköisestä potentiaalienergiasta auton liikeenergiaksi on suhteellisen hyvä.

Tulevaisuudessa on suunnitteilla myös auton pikalataus. Pikalaturi on jo valmistettu ja odottaa käyttöönottoa, mutta laturin ja auton välinen viestiliikenne ei ole vielä ollut täysin yhteensopivaa, joten latauksen demonstrointi käytännössä on jäänyt vielä tekemättä. Pikalaturin teho on 250 kW.

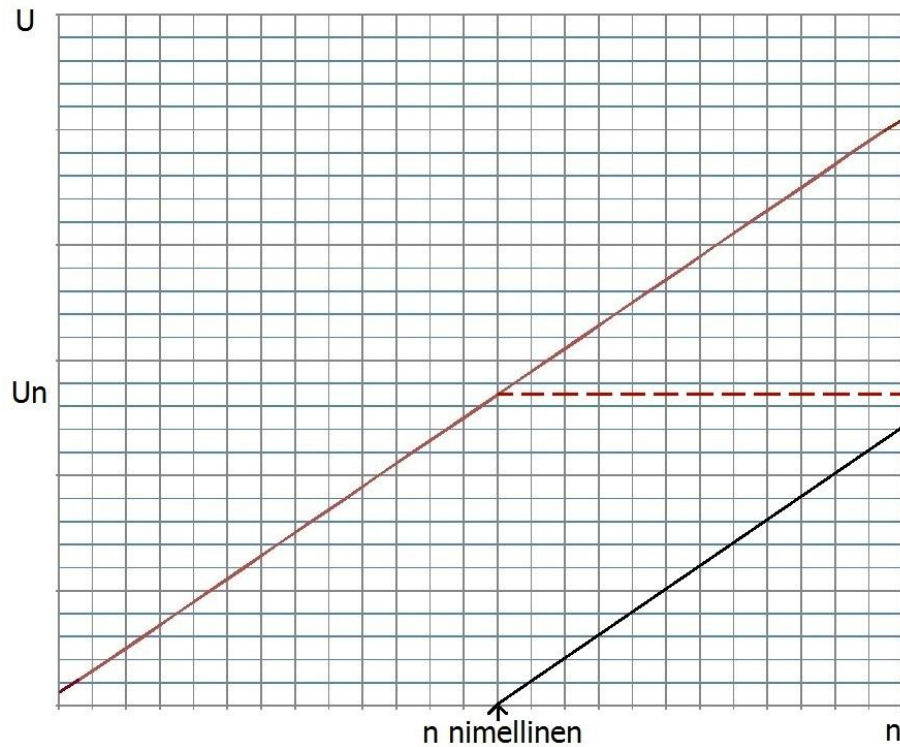
### 6.1.3 Sähkömoottorit

Kuvassa 7 on havainnollistettu moottorin suoravetoa ja sijaintia pyörien takana. Sähkömoottorien tyyppi on reluktanssiavusteinen kestopagneettimoottori. Kestomagneettimoottorin hyötysuhde on yleisesti hyvä, ja se on yksi syy, miksi sellaista tässäkin autossa käytetään. PM-kone toisaalta tuo haasteita säädölle, koska ajettaessa yli nimellinopeudella, tarvitsee kone vastamagnetointia, sillä magnetointi kasvattaa lineaarisesti käämien jännitettä pyörimisnopeuden noustessa, ja eristeet on mitoitettu kestäämään vain nimellijännite tietyllä toleranssilla. Moottorin kestopagneettien vakiomagnetointi, siis kasvattaa moottorin käämien jännitettä kierrosluvun noustessa. Käämien jännitteen nousua kompensoidaan vastamagneetoinnalla moottoria.



Kuva 7. E-RA:n moottori

Kuvassa 8 (ks. seur. s.) esitetään vastamagnetointia. Pystyakselilla on käämien jännite ja vaaka-akselilla on pyörimisnopeus. Jännitettä esittää punainen viiva, josta nimellisenopeuden kohdalla lähtee vaakatasossa punainen katkoviiva. Musta viiva esittää alkaneen vastamagnetoinnin toimintaa. Jännite ei jatka nousua punaisen viivan mukana vaan jatkaa katkoviivan mukaan vastamagnetoinnin käynnistyessä. Nyt punaisen yhtenäisen ja katkonaisen viivan väliin jää  $\Delta U$ , josta voi aiheutua harmia invertterin hätäsammutuksessa kentänheikennyksessä ajettaessa. Kentänheikennyksen aikainen hätäsammutus siis aiheuttaa vastamagnetoinnin katoamisen, jolloin jännite nousee punaisen katkoviivan tasolle (näin siis käy jos ajetaan tarpeeksi nopeasti). Pahimmillaan hätäsammutus nopeassa vauhdissa voi tuhota autosta tärkeitä osia.



Kuva 8. Vastamagnetointi

#### 6.1.4 Voimansiirto

Voimansiirto moottoreilta on toteutettu ainoastaan vetoakseleilla, jotka välittävät vedon suoraan tiehen ilman mitään välityksiä.

#### 6.2 Invertterin johtojen mitoitus

Johtojen mitoitus on aloitettu siitä realiteetista, että akku kykenee antamaan jatkuvasti virtaa noin 600 A ja 1 000 A 10 sekunnin ajan. Akustosta on otettu hetkellisesti jopa 1 100 A ja ylikuormitus on ollut odotettavissa.

Kaapeleiden virrankestoon haluttiin pieni toleranssi ja siksi invertterin syöttöjohdot ovat mitoitettu kestäämään takana 350 A. Kiihdytystilanteessa painoa siirtyy takarenkaille ja edellä mainittu 350 A ei käytännössä ole kaukana todellisuudesta. Etukäyttöjen syöttöjohdot eivät tule todennäköisesti koskaan saavuttamaan 350 A virtaa, tuokin on jo mitoitettu suuremmaksi, kuin mitä akusto pystyy turvallisesti antamaan.

Johtojen datalehdessä (liite 2) ei ole valitettavasti kuvaa 50 mm<sup>2</sup>:n kaapeliin asti, mutta kuvaajasta pystyy lineaarisesti interpoloimalla havaitsemaan, että 40 ja 50 mm<sup>2</sup>:n kaapeleiden väliin tulisi jäämään 25°C:n lämpötilassa 350 A:n kuormitukselle sopiva tila. Edellä mainittujen mitoituskriteereiden perusteella voidaan todeta kuvaajan valossa kaapelin kestävän jopa äärimmäisellä kuormalla kuumenematta liikaa.

Etukäyttöille valittiin 40 mm<sup>2</sup>:n johtimet, jotka kestävät 25°C:n lämpötilassa noin 290 A. Etukäyttöjen johtojen mitoitusta ei haluttu liioitella, sillä johdot ovat hyvin pitkät, noin viisi metriä. Jos ajatellaan poikkipintaa kasvatettavan 10 mm<sup>2</sup>, alkaa kaapelin massalla olla jo merkitystä. Etuinvertterien johtimet saattavat saada 10 sekunnin kiihdytysaiheen aikana hieman liikaa virtaa, mutta ei niin paljoa, että ne käytännössä kuumentaisivat liikaa. Kiihdytyspyrähdysten jälkeen auton suojausjärjestelmä pudottaa akuston maksimivirraksi 600 A, jolloin etukäytöt saavat enää 150 A virtaa ja alkavat hukkaamaan kumuloitunutta lämpökuormaa. (johtimien datalehti, ks. Liite 2)

## **7 Invertterien asentaminen E-RA:aan**

### 7.1 Alkutilanne Vaconien kanssa

Kuvassa 3 (ks. s 7.) näkyy, miltä auton konepellin alla näytti ennen uusia käyttöjä. Kuvassa 9 (ks. seur. s.) näkyy auton takakontti vanhalla konfiguraatiolla. Edellä mainitussa kuvassa näkyy myös vanha huoltoerotinkytkin, joka siirtyi ennen työn aloittamista auton keskitunneliin, jossa on myös akkupaketti sekä etukäyttöjen ja muiden auton keulalla olevien toimilaitteiden johdotus.



Kuva 9. E-RA:n vanha takakontti

## 7.2 Asennuksen mekaaninen suunnittelu

### 7.2.1 Etuinvertterien asennus

Liitteessä 1 on invertterien mitat. Laite on 244 mm leveä, 245 mm pitkä ja 109 mm korkea. Auton painojakaumaa ajatellen tuli invertterit jakaa autoon siten, että painopiste säilyy auton keskellä. Painopiste asetti ehdon käyttöjen jakamisesta kaksi eteen ja kaksi taakse -ajatuksella.

Käyttöjen asemaa autossa pohdittiin tekemällä käytöistä tilamallit. Tilamallin tarkoituksena on valmistaa samankokoinen ja -muotoinen esine, jostain saatavilla olevasta halvasta materiaalista. Tähän tarkoitukseen valittiin routaeristelevy. Invertterien ollessa vielä Saksassa tuotantolinjalla tilamalli oli ainoa vaihtoehto mekaanisen suunnittelun aikana.

Etukäytöt päädyttiin asentamaan lähes samaan paikkaan, missä aiemmatkin käytöt olivat olleet. Samaan paikkaan asentamisessa oli tiettyjä ongelmia, kuten käyttöjen leveys, joka oli noin 10 cm aiempaa suurempi ja pituus, jossa oli noin 10 cm:n lisä aiempaan nähden. Tämän seurauksena piti suurentaa auton keulassa olevien hiilikuitutelelineiden aukkoa. Autoon ei olisi pystynyt asentamaan yhtään leveämpiä käyttöjä hajotamatta kantavia osia. Auton keulan poikki menee autoa jäykistävä palkki juuri



DC-DC -muuntimen alla (ks. kuva 3 s. 7), muunnin on kuvassa keskellä. Käytöt ovat noin 15 asteen kulmassa siten, että niiden takaosa nousee kuljettajaa kohti. Vaarana oli käyttöjen takaosan nouseminen niin korkealle, ettei konepelti menisi enää kiinni. Tilamallin lisäksi tarvittiin myös 3D-malli käytöistä. Visedon toimitettua tilamallin se pystyttiin asentamaan koneen virtuaaliseen malliin Catia-ohjelmistolla, käytön ja konepellin väliin huomattiin jäävän noin 1,5 cm marginaali. Käyttöjen asentaminen suunnitellulla tavalla oli siis mahdollista.

Ajatuksena oli tehdä käyttöjen irrottamisesta helppoa, joten päädyttiin kiinteästi autossa kiinni olleiden hiilikuitutelineiden tapaiseen alumiiniseen irrotettavaan versioon. Alumiinitelineet ovat kiinni käyttöjen pohjassa kolmella M8-pultilla. Ja alumiiniteline on kiinni rungossa kolmella M8-insertillä, jotka on liimattu runkoon Spabondilla. Insertit karhennettiin hiekkapuhaltamalla niiden liimapinta-ala. Hiilikuitu johon insertit liimattiin, hiottiin tasaiseksi ja karhennettiin liimalle sopivaksi. Irrotettavat telineet ja keulan uusi konfiguraatio kuvassa 10:

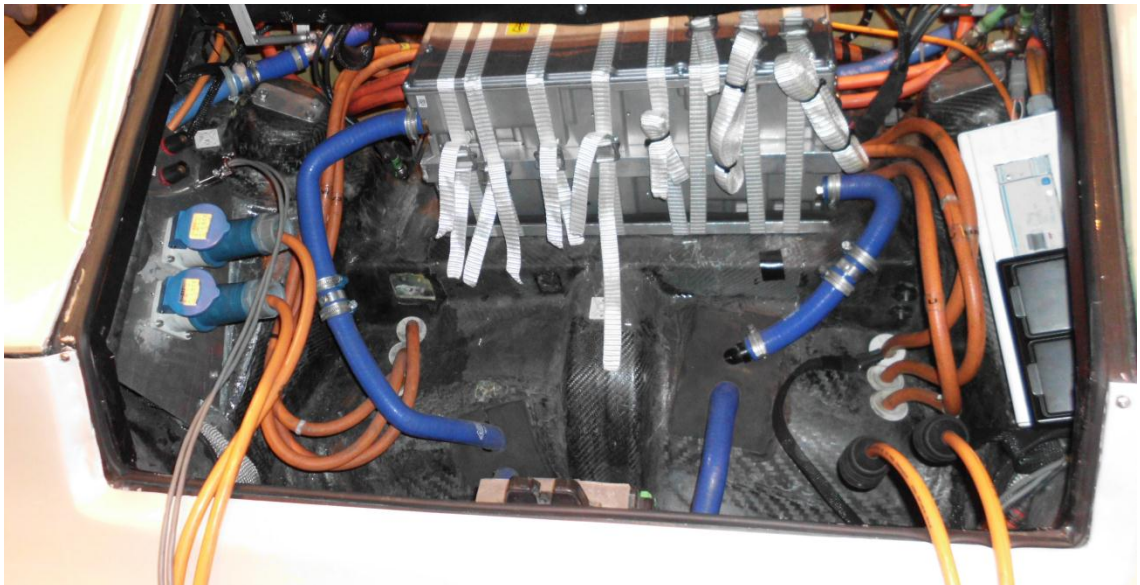


Kuva 10. Uusi keula

Takainverttereiden asennuksessa käytettiin neljän millimetrin paksuista ja 40 millimetriä leveää L-profiilia, jota käyttämällä saatiin myös tehtyä etukäyttöille takaosan kiinnikkeet. Kiinnikkeiden kiinnityskohta on DC-DC -muuntimen ja uusien käyttöjen välissä moottorien syöttöjohtojen alla kuvassa 10. Kiinnike saatiin kiinni invertterien sivuun laitteen takaosaan toiselta puolelta M8-pulteilla. Alumiiniprofiilin pätkät liimattiin Spabondilla kiinni runkoon. Auton konepellin alle oli tulossa paljon muutoksia, sillä myös Vaconin ohjauslaitteiden viemä tila vapautui muille laitteille. Ohjauslaitteiden tilalle asennettiin käyttöjen asennuksen yhteydessä uusi laturi, näin käyttöjen uusimisella saatiin muutakin kuin suorituskyvyllystä hyötyä.

### 7.2.2 Takainvertterien asennus

Takainverttereiden asennuksessa tuli huomioida jälleen painopiste, mutta takakontin tilaa olisi hyvä säästää muuhunkin kuin koneistoon. Kun takakontista oli huollon aikana purettu kaikki akkuja myöten pois, voitiin aloittaa tilamallien asettelu. Asennustavasta saatiin kompaktein asentamalla käytöt päällekkäin takakonttiin. Päällekkäin asentamalla jäi takaikkunan palkin ja käyttöjen väliin tilaa noin viisi senttimetriä ks. kuva 11:



Kuva 11. Uusi takakontti

Alumiinisesta *L-profiilista* tehtiin takainverttereille kehiöt. Alempi kehiö on kiinni rungossa seitsemällä kappaleella M8-senkkipultteja. Profiiliin on tehty pulteille senkit, jotta pulttien kannat eivät korottaisi käyttöjä yhtään vaan ne lepäisivät profiilin tasossa. Ylemmän käytön pohjaan tehtiin vastaava konfiguraatio, jossa profiilin reuna on käännetty alemman käytön päälle pitämään ylempää tiiviisti käytön päällä ks. kuva 11. Molempien profiilien ja käyttöjen väliin asennettiin neljä millimetriä paksu neopreenimatto. Maton tarkoituksena on vähentää mekaanisia värinöitä ja suojata siten käyttöjä. Kehikon ja käytön väliin jäi joka puolelle kahden millimetrin vara ja matto pitää käytöt erittäin tukevasti paikallaan. Neopreeni valittiin aiemman kokemuksen vuoksi kyseisestä materiaalista. Neopreenimattoa on lisätty myös auton akkukehikoihin ja se on osoittautunut hyväksi muodonsäilytyskyvyiltään.

Takainverttereitä pitää paikallaan kahdeksan Ecostrap-nauhaa. Käytetyn Ecostrapin vetomurtolujuus on 725 kg, eli 7 112 N (ks. liite 3). Nauha on mitoitettu kestäämään 15 g:n kiihtyvyyden. 15 g:n kiihtyvyyttä vastaava voima yhtälöstä 4,

$$F = ma \tag{4}$$

Jossa  $F$  on voima,  $m$  on massa ja  $a$  on kiihtyvyys.

Telineen tulisi siis kestää 4 415 N voima. Laitteet on kiinnitetty toisiinsa ja telineisiinsä nyt nauhoilla, joiden vetomurtolujuus yhteensä on noin 57 kN. Nauhat ylimitoitettiin näin pahasti pilkkuvirheen takia. Ylimitoitus ei ole tässä asiassa vakavaa nauhojen massan ollessa yhteensä kiristyslenkkiensä kanssa noin 200 grammaa.

Invertterien johtosarjat valmistettiin kiinnityksen valmistuttua. Johtosarjoissa käytetään Tycon Ampseal -liittimiä, jollaisia on jo aiemmin käytetty autossa DC-DC -muuntimen viestiliikenteeseen, joten Ampseal oli tuttu ja turvallinen vaihtoehto myös käytöille.

## 8 Invertterien testaus

### 8.1 Koeajot dynamometrillä

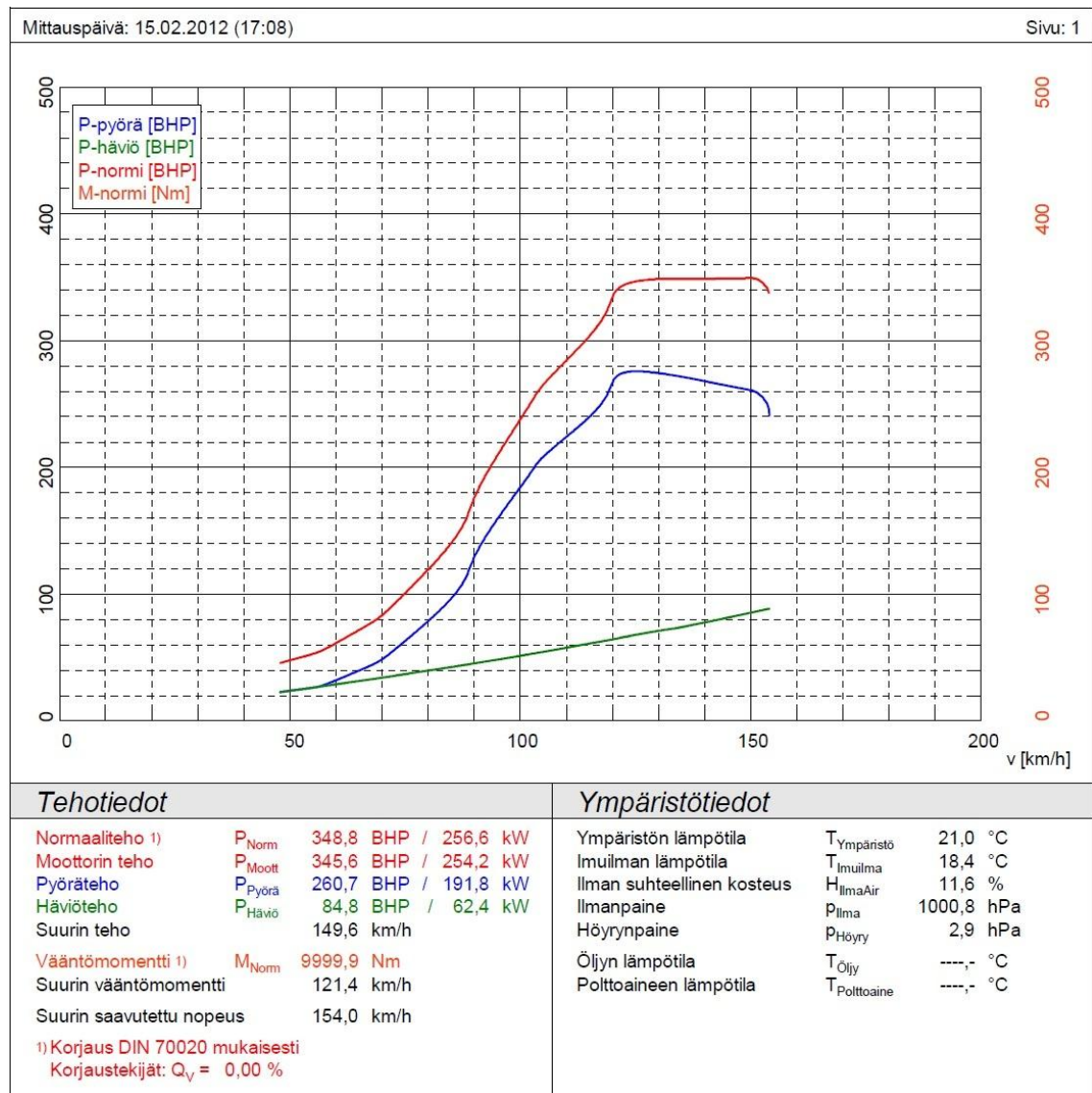
Kun E-RA saatiin kasattua täyshuollon jälkeen, kokeiltiin ensin nosturilla ovatko invertterien vaiheet kytketty oikein uusiin käyttöihin ja havaittiin toisen puolen käyttöjen pyörittävän renkaita väärään suuntaan. Renkaiden pyörittämiseen tarvitaan nosturi, koska se voi turvallisesti nostaa auton ylös pohjan varassa siten, että renkaat ovat ilmassa. Moottoreiden suunnanvaihdon voi tehdä kahdella tavalla, joko vaihtamalla kahden syöttävän vaiheen paikkaa keskenään tai kääntää vaiheet Visedon valmistamalla ohjausohjelmistolla.

Sami Ruotsalainen oli valmistellut auton omaa ohjelmistoa yhteensopivaksi Skai II -käyttöjen kanssa. Ensimmäisten pyörien pyörittysten jälkeen auto oli vielä sellaisessa kunnossa, ettei käytöistä voitu vielä ottaa vääntöä ulos. Aluksi käyttöjä ei voinut edes päivittää, koska ohjelma, jolla päivitetty ohjelmisto ladataan käytöille, ei ollut yhteensopiva E-RA-tiimin kannettavien tietokoneiden kanssa. Yhteensopivuusongelmat liittyivät tietokoneen kellotaajuuteen ja käyttöjen kanssa synkronointi ei onnistunut kunnolla, mutta Visedo sai räätälöityä E-RA -tiimille pikaisesti erillisen päivitysohjelman, jolla ohjelmistot saatiin ajettua käytöille. Uuden ohjelmiston avulla tiimi pääsi tekemään ensimmäistä kunnollista dynamometriaajoa. Valitettavasti auton käyttöjen asentamisen aikaan ohjelmisto ei ollut vielä hiottu loppuun, mutta se oli tiimin tiedossa, ja tiimi osasi odottaa pientä uutuudenkarheutta. Visedo on kevään 2012 aikana saanut ohjelmistonsa hiottua erittäin hyväksi, joten nykyään auton käyttöjen asetusten muuttaminen on jouhevaa.

Ensimmäinen invertteri toimitettiin tiimille illalla 9.1.2012. E-RA-tiimi pääsi kokeilemaan miten invertterit sopivat autoon. Kesti 26.1.2012 asti, jolloin tiimi sai loput käytöt, ja ne asennettiin autoon. Asennuksen jälkeen alkoi noin puolentoista kuukauden pituinen testaus ja viestittely Visedon kanssa.

Käytöt olivat jo 6.2 ensimmäisellä koetuksellaan ja dynamometrillä saavutettiin 270 km/h nopeus. Invertterien testaamisen päästyä vauhtiin koulun autolaboratorion Mahadynamometrillä saatiin kuvan 12 mukaisia tuloksia. Kuvassa dynamometrin asetukset

ovat seuraavat: kaikki pyörät vetävät, vastamomentti 1 N, dynamometrin rullat ovat mekaanisesti yhteydessä toisiinsa takarenkailla sekä eturenkailla ja ei ahdinta.



Kuva 12. Varhaisen dynamometriajon tulos

Käytännössä sähköauto on erittäin haasteellinen kohde käyttäjien kannalta, kun ajatellaan esimerkiksi mäkilähtöjä, rampille ajoa, katukivetykselle nousemista ryömintävauhdista tai lähes pysähdyksistä. Käyttäjien vaatimat momenttiprofiilit poikkeavat huomattavasti perinteisistä puhallin-, rullain- ja muista vastaavista tyypillisistä sovelluksista.

Dynamometrilla tehtiin eri tyyppisiä kiihdytys-, huippunopeus- ja syklisen ajon testejä, joista kerättiin dataa. Tuloksien saamisen jälkeen käytiin vuoropuhelua Visedon kanssa, jonka seurauksena auton ominaisuudet paranivat pala palalta.

Esimerkiksi kiihdytysaikaan voi vaikuttaa moottorin napakulmaa muuttamalla, mutta tämä tulee tehdä siten, ettei kippimomentti ylitä. Skai II -invertterien ohjaus pysyi hyvin tahdissa testien aikana, eikä tahdistakarkaaamista tapahtunut.

Pian testauksen alun jälkeen huomattiin auton virtasäätäjän resonointi, jota ei ole vielä tämän insinööriyön valmistuttua ratkaistu täysin. Virtasäätäjän resonointiin voidaan vaikuttaa muuttamalla invertterin kytkentätaajuutta. Kytkentätaajuuden muuttamisessa tulee pohtia etenkin autokäytössä energiankulutusta, sillä kytkentätaajuuden nostaminen nostaa myös puolijohteiden häviöitä.

## 8.2 Auton EMC-testit

### 8.2.1 EMC:n Perusteet

EMC tulee sanoista Electromagnetic compatibility eli sähkömagneettinen yhteensopi- vuus. Häiriöt voivat kytkeytyä resistiivisesti, kapasitiivisesti, induktiivisesti ja sähkö- magneettisesti kytkeytymällä.

*Resistiivinen* eli johtuva kytkeytyminen syntyy, kun järjestelmässä on useita maadoi- tuspisteitä ja maapotentiaaliero synnyttää silmukassa häiriövirran. *Kapasitiivinen* eli sähköstaattinen purkaus tai kytkeytyminen, jonka kytkeytymisteinä ovat hajaka- pasitanssit, eli sähkökentät, joita aiheuttavat esimerkiksi syöttöjohtojen transientit. Transientteja vastaan usein käytetään: kaapeleiden aseman ja suunnan muuttamista, laitteen metallista suojaa, maatasoa lähelle sijoittamista ja impedanssitason muutta- mista. Kapasitiivista kytkeytymistä johtimien välillä voidaan mallintaa esimerkiksi yhtä- löllä 5,

$$C \approx \frac{\pi \epsilon l}{\ln \frac{d}{\sqrt{r_1 r_2}}} \quad (5)$$

jossa  $l$  on johtimen pituus,  $r$  johtimen säde ja  $d$  johtimien välimatka. yhtälö on liki- määräinen. [5.]

*Induktiivinen* kytkeytyminen, eli magneettikentän kautta kytkeytyminen, joka vaikuttaa lähikenttänä. Induktiivisen kytkeytymisen kytkeytymistienä ovat keskinäisinduktanssit esimerkiksi muuntajien tai moottorien magneettikentät tai syöttöjohtojen virtojen aiheuttavat magneettikentät. Induktiivisen kytkeytymisen estämiseksi käytetään usein parinkiertoa, metallista kotelointia, häiriytyvän laitteen johtojen asennon muuntelua, impedanssitasen pienennystä ja etäisyyden lisäämistä, sillä magneettikenttä heikkenee etäisyyden neliöön. Toisin sanottuna magneettikenttä aiheuttaa häiriöitä normaalitilanteissa ainoastaan toisiaan lähellä olevissa johtimissa ja suurilla virroilla. *Sähkömagneettinen kytkeytyminen* (kaukokenttä) tarkoittaa häiriön kytkeytymistä sähkömagneettisen aaltoliikkeen kautta.

Yleiset suunnittelun nyrkkisäännöt on listattu ABB:n TTT-kirjassa. Seuraavaksi on listattu kirjan oleellisin anti E-RA:n osalta:

- Minimoidaan virtasilukoiden muodostamat pinta-alat (käyttöjännite- ja maadoitusjohdin mahdollisimman lähellä toisiaan). Maadoitusjärjestelmä tulee suunnitella säteittäisesti ja maasilukoita tulee välttää.
- Signaali- ja paluuvirtatie tulee olla mahdollisimman lähellä toisiaan.
- Langallisten komponenttien käytössä huomioidaan johtimien induktanssit esimerkiksi kun käytetään kondensaattoria, tulee sen jalat lyhentää mahdollisimman lyhyiksi, sillä ne lisäävät induktanssia.
- Turvallinen maadoitusjohtimen pituus on alle  $1/20$  suurimman signaalitaajuuden aallonpituudesta. Maadoitusjohdin ei saa ylittää  $1/8$  aallonpituutta. Käytännön syistä maadoitusjohtimien pituus voi olla haastava saada ihanteellisiin mittoihin.
- Suojattujen kaapelien vaipat tulee liittää liittimien runkoon 360 asteisesti.
- Matalilla taajuuksilla yksipistemaadoitus (<1 MHz) ja suurilla (> 10 MHz) taajuuksilla monipistemaadoitus.

Otetaan käyttöön aallonpituuden yhtälö 6:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (6)$$

jossa  $\lambda$  on aallonpituus,  $v$  on aallon tai partikkelin nopeus ja  $f$  on taajuus. Kaavaan 6 sijoittamalla voidaan ratkaista esimerkiksi 100 MHz:n taajuisen signaalin aallonpituudeksi kolme metriä, eli TTT-kirjan ohjeiden mukainen maadoitusjohdin olisi 15 cm ideaalinen ja 37,5 cm maksimi. Edellä laskettu pituus on häilyvä, sillä elektronien kulkunopeus muuttuu väliaineen mukaan. TTT-kirjassa mainittu maadoitusjohtimen mitoitus perustuu antennivaikutukseen. Antennivaikutus on tehokas signaalien neljäsosalla tai sen moninkerroilla, vaikutus kuitenkin heikkenee johtimen pituuden pienentyessä alle kahdeksasosaan ja on jo lähes olematon kahdeskymmenesosalla. [6, s. 157.]

### 8.2.2 EMC vertailu

Marko Häkkinen on tehnyt insinööriyön E-RA:n direktiivien mukaisesta EMC -mittauksesta. Häkkisen työlle tehtiin jatkoksi EMC-mittaukset uusien käyttöjen kanssa, jotta auto saataisiin lopullisesti hyväksytyksi tieliikenteeseen. Auto on käynyt kolmesti säteilymittauksissa, keväällä 2011 Häkkisen suorittamana, syksyllä 2011 tiimin tekemissä mittauksissa ja tähän insinööriyöhön suoritetuissa mittauksissa 2012 keväällä. Tiimin suorittamissa mittauksissa läpäisy jäi valitettavasti vielä yhden kapea-alaisen RF-piikin vuoksi. Häkkinen kirjoittaa seuraavasti:

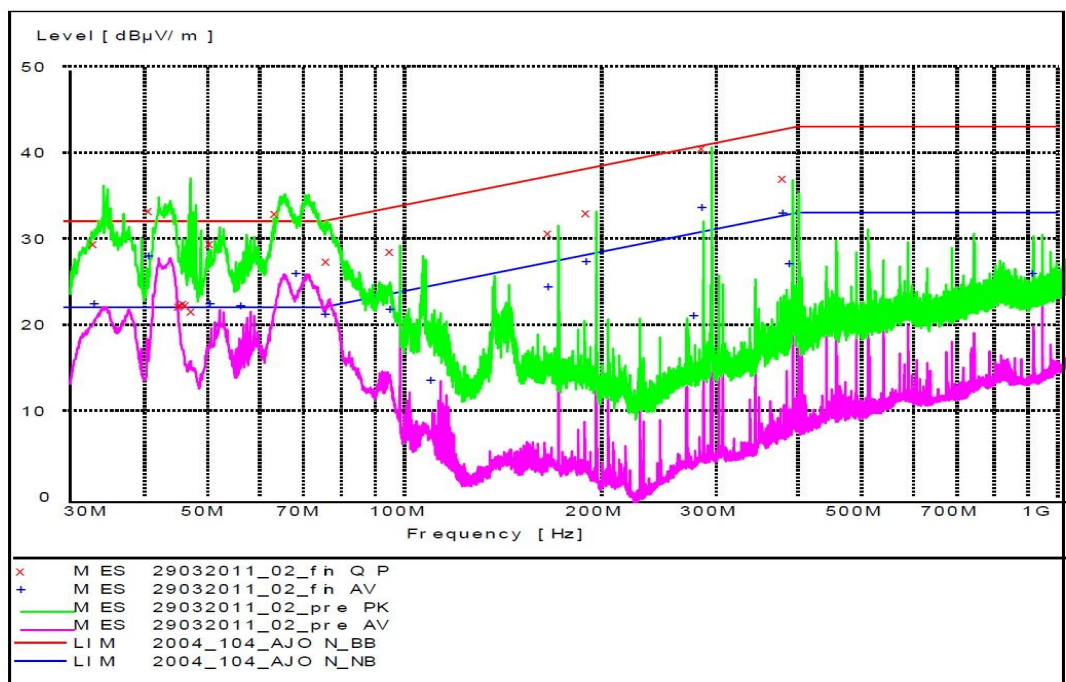
Tutkimukset aloitettiin kytkemällä auton 15 V:n hallintajärjestelmästä laitteita yksitellen toimintaan, ja kentänvoimakkuutta tarkkailtiin mittalaitehuoneesta. Tutkimuksissa huomattiin, että raja-arvon ylittävä säteily ei johtunut auton 15 V:n hallintajärjestelmästä. Tutkimuksia jatkettiin siirtymällä korkeajännitejärjestelmään. Mittauksissa havaittiin, että säteilyn raja-arvot ylittyvät heti, kun moottoreita ohjaavat taajuusmuuttajat kytkeytyivät toimintaan. [7, s. 34]

Tarkemmin rajattuna vian aiheutti invertterin ohjauslaitetta syöttävä 24 V hakkuri. On myös mahdollista, että hakkuri oli vain vian kytkeytymistienä. Auto on pysynyt elektroniikaltaan lähes muuttumattomana (kevät 2011 - kevät 2012), joten voitiin vetää johdot päätös uusien autokäyttöön soveltuvien invertterien olevan ratkaisu säteilyongelmaan. Uudet invertterit käyttävät läpivientiholkkeina pflitsch bluegobeja. Valitettavasti läpivientien tarkat yksityiskohdat ovat luottamuksellisessa datalehdessä, mutta läpivientiholkkien pitäisi vähentää huomattavasti läpi pääseviä häiriöitä.



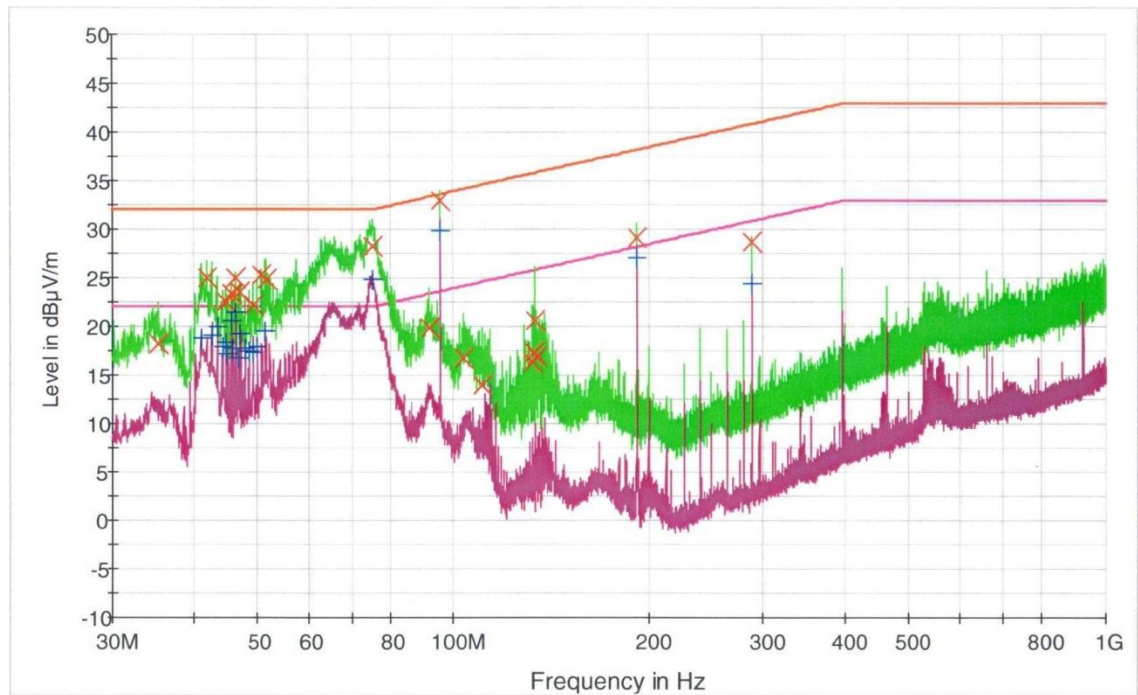
E-RA on jatkuvasti kehittyvä auto, joten Häkkisen insinööriyön aikaan hylättyjen EMC-mittausten jälkeen autoa paranneltiin ja tehtiin vielä yhdet mittaukset ennen käyttäjien vaihtoa. Auto oli parantunut huomattavasti Häkkisen insinööriyön ajoista ja jälleen testien läpäisy oli lähellä. Auto läpäisi odotetusti immunitaetti-testit. Auto tuotti edelleen liikaa EMI-häiriötä kapeakaistaisessa säteilymittauksessa. Kuvassa 13 Häkkisen työssä läpäisemättä jäänyt oikean kyljen kapeakaistainen mittausta ja kuvassa 14 esitetään sama mittausta (2.11.2011), joka ei vielä läpäissyt mittauksia mutta osoitti huimaa parannusta.

Figure 3: Narrowband emissions, right side



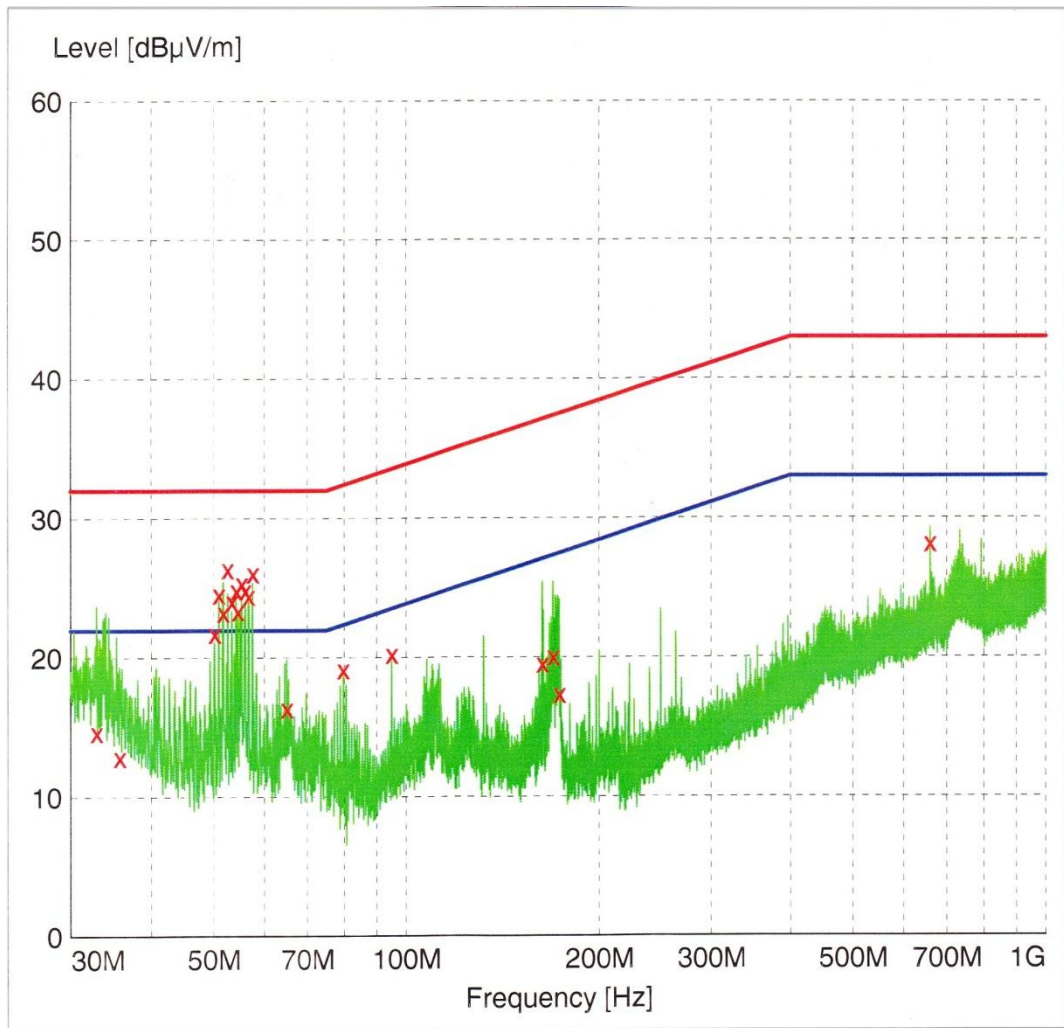
Kuva 13. Häkkisen insinööriyössä läpäisemätön mittausta [7, s. 34]

Kuvassa 14 näkyvä 96 MHz:n taajuudella oleva piikki oli ainoa este auton rekisteröinnille ilman poikkeuslupaa. Vaikka huomattavaa parannusta aiempiin mittauksiin oli saavutettu muun muassa ylimääräisten maadoitusjohtimien poistolla ja johdotusta järjeistämällä. Testauksessa tapahtui odottamaton asia, kun auto läpäisi testit koasettelulla, jossa auto on nostettuna rouaeristelevyjen päälle renkaat ilmassa ja rullaa ilman kuormaa 50 km/h vastaavalla nopeudella. Edellä mainittu testi täytyy kuitenkin läpäistä myös renkaiden ollessa paikallaan käyttäjien modulointi päällä ja tämä ns. *tyhjäkäynti* aiheutti kuvassa 14 (ks. seur. s.) näkyvät 96 MHz:n häiriöt.



Kuva 14. Tiimin tekemä mittaus 31.3.2011

Kuten aiemmin tässä työssä on päätelty, käyttöjen vaihdon piti olla ratkaisu säteilyongelmaan ns. *ohjausboxin* poistumisen myötä. Uudet mittaukset tehtiin 15.5.2012 Nembolla. Mittaukset aloitettiin läpäisemättä jääneestä kapean kaistan mittauksesta, josta saatiin kuva 15 (ks. seur. s.). Kuten kuvasta 15 voidaan nähdä tulos oli huonontunut aiemmista mittauksista huomattavasti. Kuvan tilanteessa moottorit pyörivät ja auto on nostettu routaeristelevyjien päälle. Häiriöt ovat 800 kHz välein 40 - 50 MHz:n alueella. Tasaisesti toistuvasta häiriöstä voidaan päätellä sen olevan todennäköisesti, jonkin toimilaitteen kello.



Kuva 15. Kevään 2012 mittaus.

Häiriön lähdettä pyrittiin selvittämään poistamalla laitteita käytöstä ja uusimalla mittaukset. Koska tällä taajuualueella ei aikaisemmin ollut häiriöitä, kokeiltiin ensin uusien invertterien irrottamista autosta, joka ei vaikuttanut merkittävästi häiriöiden intensiteettiin. Autosta irrotettiin seuraavaksi yksitellen laitteita kuten: ohjaustehostin (keväänä 2012 asennettu), Seemoto (gprs-lähetin) ja DC-DC -muunnin. Laitteiden irrotus vaikutti hieman säteilyn intensiteettiin, mutta voitiin todeta niiden toimivan vain antennina todelliselle häiriölähteelle.

Häiriön alkuperää selvitettiin sulkemalla IWS:än eli intelligent wiring system:in kautta mahdollisesti vikaa aiheuttavia laitteita, mutta jälleen tuloksena oli vain pientä intensiteetin putoamista. Pääteltiin, että ainoa laite, jossa vielä voisi olla kello aiheuttamassa häiriöitä on BMS-järjestelmä. BMS:än ja IWS:n väliseen CAN-väylään asennettiin ferriitirenkaita ja huomattiin heti säteilyn intensiteetin pienenevän. Kuvassa 16 mittalaite, jolla häiriön intensiteettiä tarkkailtiin muutoksia tehtäessä.



Kuva 16. Rhode & Schwarz EMI-Test receiver

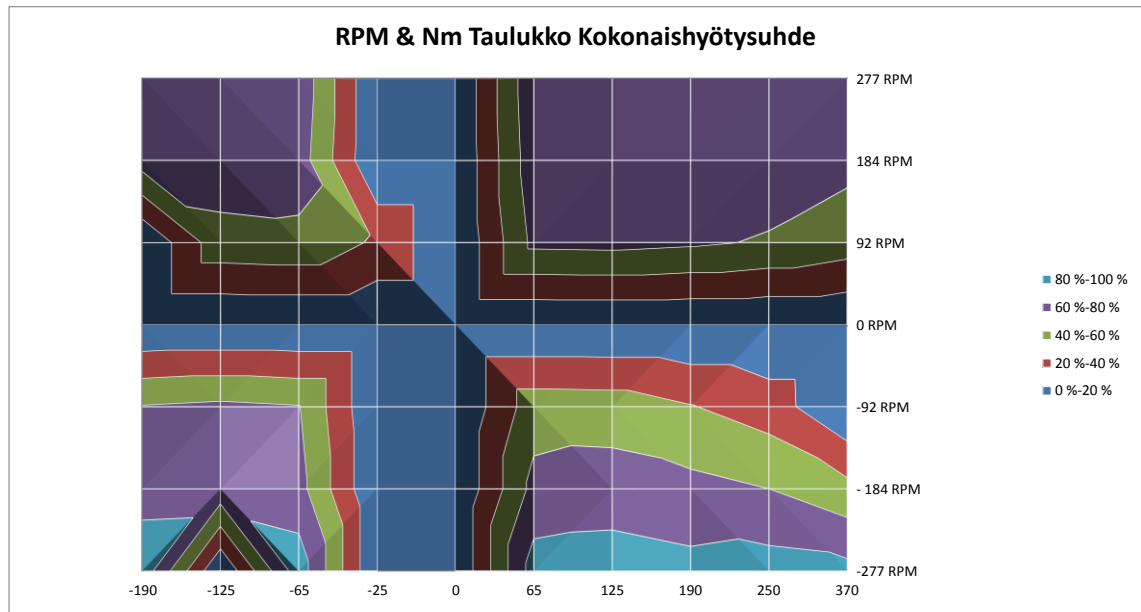
Kun BMS:än ja IWS:än välille lisättiin useita ferriittejä, saatiin kellon aiheuttama häiriö pudotettua lähelle 22 db hyväksymisrajaa mutta, häiriöitä oli edelleen liikaa. Lopputulema vuoden 2012 kevään mittauksista oli niiden hylkäys, joka tuotti suuren pettymyksen E-RA-tiimille. Mittauksista oli kuitenkin hyötyä, sillä nyt häiriön todellinen lähde on löydetty ja auton parantelu uutta mittausta varten voidaan aloittaa uusien innokkaiden opiskelijoiden voimin kesällä.

## 9 Yhteenveto

Työn tavoitteiksi määriteltiin auton keventäminen, huippunopeuden nosto, kiihtyvyyden parantaminen, ajon miellyttävyys ja EMC-testien läpäisy. Voidaan sanoa työn olleen hyvin onnistunut, sillä useat tavoitteista onnistuivat. Auton käytöt ja niiden tukirakenteet olivat kevyemmät kuin aiemmin. Vähentyneen painon tilalle saatiin uusia toimilaitteita, kiihtyvyys on autoa kokeilleiden mielestä parantunut ja auto reagoi nykyään kaasun nopeammin kuin aiemmin, joten ajo on miellyttävämpää. EMC-testausta ei läpäisty, mutta on todennäköistä, että parannukset valmistuvat viimeistään syksyllä. Mikäli EMC-testejä ei läpäistä syksyllä, umpeutuu aikaisemmin myönnetty poikkeuslupa. Auton käyttöjen huoltamisen toivottiin olevan entistä helpompaa. Takakäytöt ovat aavistuksen helpompi irrottaa, kuin aiemmin mutta pantakiinnitys tekee siitä edelleen turhan työlästä. Etukäyttöjen huoltaminen on lähes yhtä vaikeaa kuin aiemmin.

Autoa voisi jatkokehittää mm. korjaamalla maadoitusjärjestelmää ja selvittämällä miten BMS:än EMI-häiriöt voidaan suodattaa. Mielenkiintoista olisi myös tietoa siitä voisiko E-RA:n ajotietokoneeseen tehdä energiankulutuksen optimointia perustuen testipenkin kaltaisen laitteen mittausdataan. Oletuksena on ajotietokoneen muuttavan kaasupolki-rampitusta optimaalisella tavalla perustuen testipenkin dataan.

Talvella 2010 E-RA-tiimi teki moottorien ja käyttöjen testaamiseksi testipenkin. Penkin aikaan autossa oli vielä vanhat käytöt. Testipenkin ajatuksena oli mitata suorituskykyä siten, että kaksi autosta otettua moottoria väänsivät toisiaan vastaan. Toinen moottori oli vakionopeussäädöllä, ja toinen oli asetettu vääntömomenttisäädölle pyörimään vastuksena vakionopeussäädöllä olevalle koneelle. Kaikki tarpeelliset tiedot moottorin ja invertterin hyötysuhteen virran ja momentin laskemiseksi mitattiin, ja myös nopeus mitattiin. Mittauksista tehtiin *contour* - taulukko, jossa momentti on x-, nopeus y- ja z- akseli on hyötysuhde. Penkin mekaaninen suunnittelu ei onnistunut hyvin ja päästiin vain suhteellisen hitaille nopeuksille, mutta kuvasta 17 (ks. seur. s.) näkee hyvin ajatuksen siitä mitä oli tarkoitus tehdä. Kuvassa 17 on valitettavasti mittausvirheitä, jotka vääristävät kuvaajaa esimerkiksi tasainen alue välillä -25 - 0 Nm.



Kuva 17. RPM ja Nm taulukko kokonaishyötysuhde

Vastaavalla mittauksella uudesta invertteristä voitaisiin ehkä saada tehtyä taloudellista ajoa varten *economy* -moodi, joka pyrkisi nousemaan kuvaajan keskeltä nollanopeudesta mahdollisimman optimaalisella momentilla, jyrkintä reittiä ylös kuvaajaa kiihdytystilanteessa. *Economy* -moodilla voitaisiin mahdollisesti säästää hieman järjestelmän energiankulutuksessa.

## Lähteet

- 1 Pirhonen, Jukka-Pekka. 2011. ePORSCHÉ - MOOTTORIN JA INVERTTERIN VALINTA SÄHKÖMUUNNOSAUTOON. Tampereen AMK. 6/2011, s. 49.
- 2 ABB. 2001. Tekninen opas nro 7. ABB Industry Oy. 1/2011, s. 6.
- 3 Ikonen, Mika. 2004. IGBT:N KYTKENTÄVIIVEIDEN MITTAAMINEN. LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO. 3/2004, s. 6.
- 4 Aura, Lauri & Tonteri, Antti. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. WSOY Porvoo. 1996, s.472-475.
- 5 Peltola, Pekka. 2009. Metropolia AMK, Helsinki. EMC-perusteet-kurssi 2009.
- 6 ABB. 2003. Teknisiä tietoja ja taulukoita –käsikirja. ABB Industry Oy. 2003, s. 143 – 157.
- 7 Häkkinen, Marko. 2011.E-RA-sähköauton EMC-mittaukset direktiivin mukaisesti. Metropolia AMK. 5/2011, s. 34.

# VISEDO

## PowerMASTER 250 Heavy Duty Liquid Cooled Inverter

PRELIMINARY PRODUCT DATA

### HARDWARE

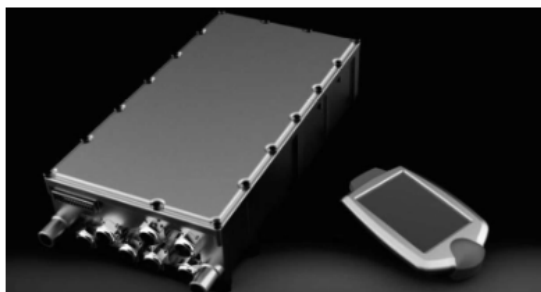
#### FEATURES:

- Extremely compact design – 250 kW unit only 15 kg
- High enclosure class IP67 – sealed from moisture and dust
- Using regular water or water glycol mixture for cooling
- Ambient temperature up to +105°C and down to -40°C
- Robust design withstanding high levels of mechanical vibrations and shocks
- Designed especially for highly cyclical loads typical in heavy mobile work machines
- Flexible control interface – CAN, RS485, encoder, analog, digital inputs/outputs of customers choice
- Visedo PowerPAD™ user keypad with touch screen available.

### SOFTWARE

#### FEATURES:

- Various communication protocols e.g. CANopen, SAE J-1939
- Possibility to create customer specific applications with CoDeSys (IEC61131-3) software tool
- Controls both induction and permanent magnet motors with or without sensor
- High performance vector control
- Speed and Torque reference motor control
- Generator control mode for DC-link voltage control
- Wide selection of protective functions



### GENERAL

The PowerMASTER™ is a heavy-duty inverter series designed especially for electric or hybrid electric drive trains for mobile work machines or marine vessels.

#### Typical applications are:

- Controlling the speed and torque of electrical traction motors
- Converting alternating current (AC) from electrical generator to direct current (DC) for energy storage

### SPECIFICATIONS

#### DC connection

DC link voltage range	0 - 800 V <sub>DC</sub>
DC link nominal voltage	750 V <sub>DC</sub>
Integrated DC-link charger	Charges DC-link in 6 seconds

#### AC connection

AC output voltage	0-560 V <sub>EFF</sub> (U <sub>DC</sub> = 800 V <sub>DC</sub> )
Nominal current	300 A <sub>RMS</sub>
Nominal power	250 kW
Output frequency	0... 1000 Hz
Switching frequency	1.5...8 kHz

#### Mechanical size

Dimensions	244x109x475 WxHxL [mm]
Weight	15 kg

#### Ambient conditions

Storage temperature	-40°...+105°C
Operating temperature	-40°... +105°C (with nominal coolant temp.)
Altitude	max. 2000 m
Relative humidity	100%
Enclosure class	IP 67 with option: IP6K9K
Mechanical vibration	10 G
Mechanical shock	50 G
<b>Cooling</b>	
Cooling type	Liquid cooling
Coolant type	Water or water glycol mixture (max. 50%)
Coolant temperature	-40°...+65 °C
Coolant flow	10 l/min

Copyright © 2011 Visedo Oy.  
All rights reserved



R1211



**PowerMASTER 250 inverter – Preliminary product data**

**Power Connections**

**Cable cross section** ≤70 mm<sup>2</sup> (Cu)  
**Recommended cable type** Radox Elastometer S, screened automotive cable  
[www.hubersuhner.com](http://www.hubersuhner.com)

**Control Connections**

**Connector type inverter (X1)** 35-pin (male) Tyco electronics/AMPSEAL connector (part number: 1-776163-1)

**Connector type cable** Not included in delivery.  
 Type: 35-pin (female) Tyco/AMPSEAL.  
 Part numbers:  
 - case: 776164-1  
 - pins: 770854-3  
 Please refer to Tyco application specification for detailed crimping and assembly instructions:  
[www.tycoelectronics.com](http://www.tycoelectronics.com)

**Control signals general** Flexible control interface: CAN, RS485, encoder, analog, digital inputs /outputs etc. can be configured according to customer need.

**Control signals in interface A** Ready designed interface A consists of:  
 - 2 x SIL2 Stop signals  
 - Power ON signal  
 - 2 x CAN  
 - 2 x RS485  
 - DC 12/24V + and –  
 - 2 x SSI encoder  
 pin order of control interface A displayed in table 1.

**CAN protocols** CANopen  
 SAE J-1939 CAN  
 (Other protocols can be implemented as needed)

**RS485 protocols** Modbus RTU  
 (Other protocols can be implemented as needed)

**Motor Control Characteristics**

**Controllable motor types** Synchronous permanent magnet motors  
 Asynchronous induction motors

**Control principle** Rotor flux oriented current vector control

**Control methods** Torque reference motor control  
 Speed reference motor control

Generator control mode for regulating the DC-link voltage

**Field weakening control** Maximizes the field weakening performance by optimizing the use of inverter current and torque production capability of the motor.

**Working point optimization** Maximum torque per ampere working point optimization is used to improve efficiency of the motor.

**User application**

**IEC61131-3 environment** CoDeSys V3  
[www.3s-software.com](http://www.3s-software.com)

**Protections**

**Overcurrent protection** 565 A<sub>peak</sub>  
**Overvoltage protection** 900 V DC  
**Short circuit protection** yes  
**Overspeed protection** Adjustable according to controlled motor  
**Inverter overtemperature** yes  
**Earth-fault** yes

**DIMENSIONS**

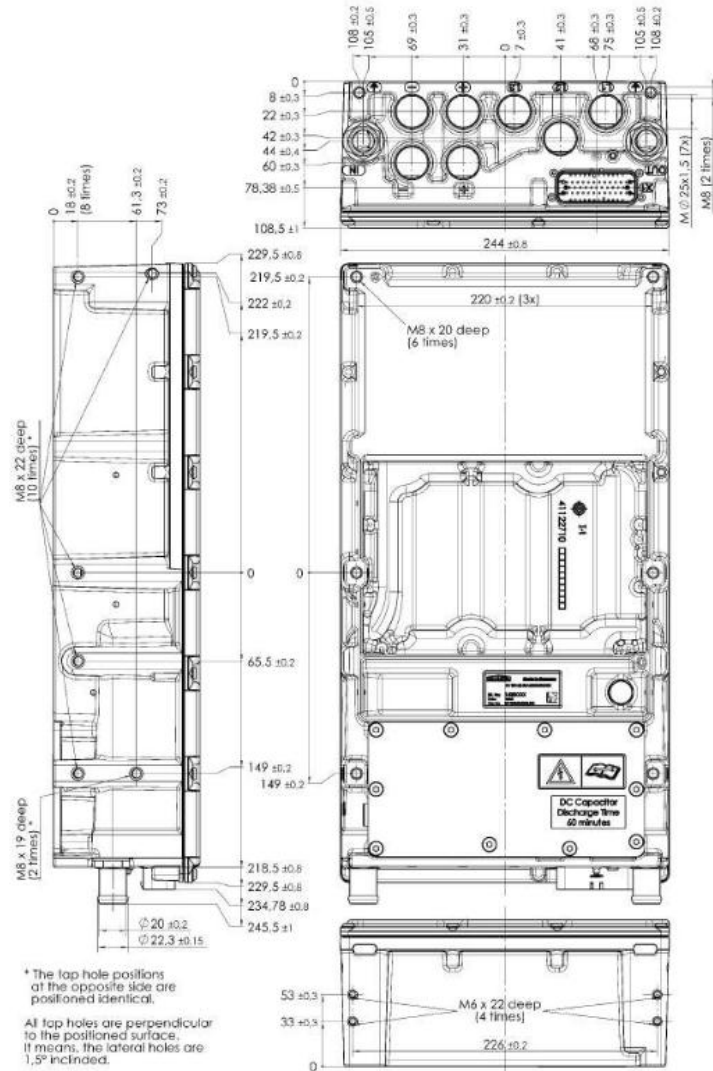


Figure 1. Dimensions

**CONNECTIONS**

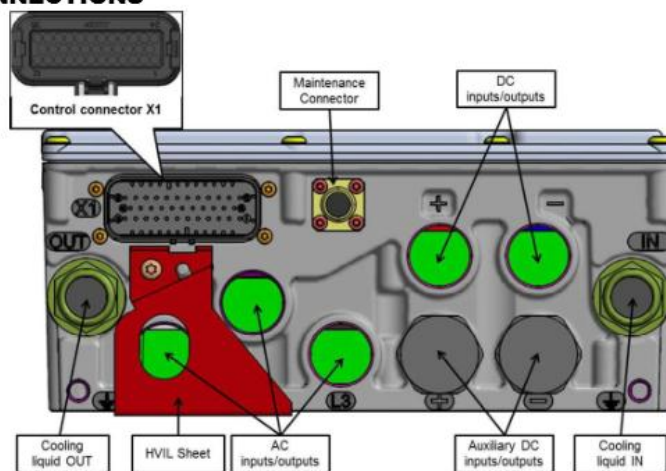


Figure 2. Connector locations

PowerMASTER 250 inverter – Preliminary product data

PIN	Description	Typical Specification
1 VIN P	Supply voltage +12/ 24 V DC	Operating range: 7-33V; Current consumption 1.1A@12V(0.6A@24V); Leakage current 70µA@12V (350µA@24V), Reverse polarity protected
13 VIN N	Supply voltage - DV	
2 POWER ON	Turn Power ON	High Active: 0 = Shutdown, 1= Turn on; Turn ON x 7.40V, Shutdown < 5.80V
24 /STOP 1	Stop Inverter 1	Low Active: 0 = STOP, 1 = RUN; RUN > 3.45V (max 4.65V); STOP < 2.13V (min 1.2V) Pulling one /STOP-signal down stops inverter modulation
3 /STOP 2	Stop Inverter 2	
5 CANA_L	CAN A Low	Terminated CAN-BUS
28 CANA_H	CAN A High	
16 CANB_L	CAN B Low	Unterminated CAN-BUS
4 CANB_H	CAN B High	
29 S5IA_DATA_P		SSI-Interface reserve for encoder
6 S5IA_DATA_N		
30 S5IA_CLK_P		
18 S5IA_CLK_N		
7 +5V	5 V output	+5V/300mA output for encoder
9 HV_LOOP_IN	High Voltage Diagnostic Loop	Direct connection on PCB between pins 9 and 10 for High Voltage in Loop detection.
10 HV_LOOP_OUT		
11 INCR_A_N	Incremental encoder A- pin	RS-485 interface for CoDeSys
12 INCR_A_P	Incremental encoder A+ pin	
14 RS485B_A		RS-485 interface for CoDeSys
25 RS485B_B		
15 GND	Signal ground	
17 GND	Signal ground	
19 GND	Signal ground	
21 GND	Signal ground	
23 GND	Signal ground	
26 INCR_Z_N	Incremental encoder Z- pin	Digital Input: LOW < 1.69V, HIGH > 2.5V
27 INCR_Z_P	Incremental encoder Z+ pin	5V-Digital or 24V-OpenCollector Output: HIGH > 4.5V@R10k, LOW < 0.5V@10mA
8 INCR_B_N	Incremental encoder B- pin	Analog input 0..5V
31 INCR_B_P	Incremental encoder B+ pin	All User IO-pins are configurable and controllable through CoDeSys
20 pt100_1	pt100 input	pt100 must be connected against signal ground measurement range: -45...200 °C
22 pt100_2	pt100 input	
32 pt100_3	pt100 input	
33 pt100_4	pt100 input	
34 pt100_5	Analog input or pt100 input	see above, configurable and controllable through CoDeSys.
35 GND	enclosure ground	

Table 1. Control connector X1 signals in Visedo control interface A (interface can be customized according to requirement)

Visedo Oy, Main office  
Tuotantokatu 2  
53850 Lappeenranta  
Finland  
Tel: +358 (0) 50 340 0935

VISEDO

contactus@visedo.com  
http://www.visedo.com  
Subject to change without notice. Printed in Finland.

R1211



Page 5 of 5

## EEHX, EEHX-SB Cable (150°C Grade)



### Description

High voltage, flexible, electromagnetically shielded automotive cable for applications on EV, HEV, PHEV wiring systems

### Features

- Reliable to high-voltage & current conditions
- Excellent EMI, EMC noise reduction
- Eco-friendly designed materials (non PBrE, PBSt, Pb, Cd, Hg)

### Benefits

- Maximum using temperature (ISO 6722 Class D : 150 °C)
- Flexible and easy to handle for harnessing

### Materials

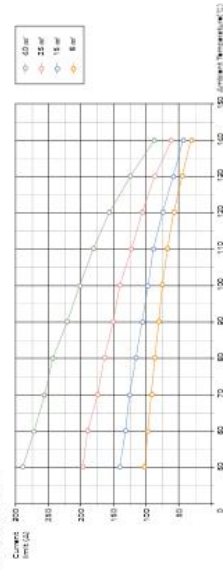
- Conductor : roped-strand tin annealed copper
- Insulation : heat-resistance 150°C halogen-free XLPE
- Shield : braided by tin annealed copper strands
- Sheath : 1.05°C Pb-free PVC (or HF-XLPO : optional)

### Structure and cable selection

Nominal size (mm <sup>2</sup> )	conductor		insulation		shield/braid		sheath	
	No. of strand (mm)	Q.D (mm)	Thickness (mm)	Q.D (mm)	No. of strand (mm)	Thickness (mm)	Q.D (mm)	Thickness (mm)
1.25	37/0.21TA	1.50	0.0130	2.70 ±0.20	24/4/0.12TA	0.50	4.20 ±0.25	
3	65/0.26TA	2.40	0.0095	3.80 ±0.25	24/6/0.12TA	0.50	5.30 ±0.30	
5	65/0.32TA	3.00	0.0072	4.60 ±0.30	24/7/0.14TA	0.80	6.90 ±0.40	
8	72/0.36TA	4.00	0.0043	5.60 ±0.30	24/7/0.14TA	0.80	7.90 ±0.40	
15	19/3/0.32TA	5.30	0.00144	1.10	7.50 ±0.30	24/7/0.16TA	1.00	10.30 ±0.45
25	19/13/0.32TA	6.50	0.00010	1.10	8.70 ±0.35	24/8/0.16TA	1.00	11.50 ±0.45
40	19/25/0.32TA	7.80	0.00062	1.10	9.50 ±0.35	24/8/0.16TA	1.00	12.40 ±0.45
50	19/25/0.32TA	9.10	0.00052	1.40	11.90 ±0.40	24/10/0.16TA	1.50	15.70 ±0.55
50	19/25/0.32TA	10.10	0.00042	1.60	13.30 ±0.45	24/10/0.16TA	1.50	17.10 ±0.60

### Current limit

- EEHX-SB Cable



ECOSTRAP® JA ECOLASH® KERTASIDONTAJÄRJESTELMÄ



Ecostrap ja Ecolash kertosidontajärjestelmät ovat miellyttäviä käyttää vaativassa kuormansidonnassa.

- Kertosidontajärjestelmät soveltuvat kuormansidontaan, niputtamiseen ja yhdistämiseen.
- Käytetään eri teollisuuden aloilla ja satamien konttikuljetuksissa.
- Kertosidontajärjestelmät ovat helppokäyttöisiä ja turvallisia.
- Nauhojen kudottu rakenne takaa kulutuskestävyyden ja pitävän sidonnan.
- Kertosidontanauhat ovat käytön jälkeen helppo hävittää
- Kertosidontajärjestelmiä on useita eri lujuuksia (370 - 7500 kg).
- Järjestelmän testatut soljet maksimoivat sidontalajuuden

ECOSTRAP® NAUHAT

- Nauhan materiaali PES

Tuote	Nauhan leveys mm	Veto- murtolujuus kg	Pakkauskoko m/ltk	Pakkauskoko m/rulla	Tuotekoodi
ECOSTRAP 13mm	13	370	2000	1000	ES13
ECOSTRAP 16mm	16	460	1520	760	ES16
ECOSTRAP 19mm	19	725	960	480	ES19
ECOSTRAP 25mm	25	1000	700	350	ES25



ECOSTRAP® SOLJET

TUOTEKOODI	TUOTE
ESL10	ECOSTRAP SOLKI 10MM 2000KPL/LAATIKKO
ESL13	ECOSTRAP SOLKI 13MM 1000KPL/LAATIKKO
ESL16	ECOSTRAP SOLKI 16MM 1000KPL/LAATIKKO
ESL19	ECOSTRAP SOLKI 19MM 1000KPL/LAATIKKO
ESL25	ECOSTRAP SOLKI 25MM 500KPL/LAATIKKO



## 50 Amp Hour Cell



### Key Features

Based on Altairnano's patented manufacturing process, our products exhibit some of the most exceptional performance in the marketplace today. Replacing graphite with a new high surface area nano lithium-titanate oxide based anode material, Altairnano's products feature unique fast-charge, abuse tolerance, and extreme long life along with cold temperature charging. Some of our key advantages include:

- Large configuration choices
- Greater temperature versatility with ranges of -40° Celsius to 55° Celsius, with excursions up to 65° Celsius
- Increased level of power (3 times more powerful than existing batteries)
- Long cycle life (exceeding 5000 charges)
- Fast charge/discharge rates (within 10 minutes)
- Higher levels of operational abuse tolerance than existing batteries



Nano Lithium-Titanate  
Battery Cell – 50Ah

### CELL SPECIFICATIONS

Recommended operating temperature	-40°C to +65°C
Recommended storage temperature	-50°C to +65°C
Nominal voltage	2.3 V
Nominal capacity, +1C	50 Ah
Internal discharge impedance, (10s, DC)	0.55 m ohms typical
Internal charge impedance, (10s, DC)	0.55 m ohms typical
Internal impedance 1kHz AC	0.40 m ohms typical
Recommended standard charge/discharge	50 A & constant current
Recommended fast charge (require thermal management)	300A max & constant current
Max continuous discharge (require thermal management)	300A max & constant current
Pulse charge/discharge rate (10 sec pulse )	500A max & constant current
Cell weight	1.6 kg
Physical dimensions (W x H x T)	255 mm x 256 mm x 12.5 mm
Typical power (10 sec pulse 50% SOC) , at 25°C	1250 W & 760 W/kg
Typical energy, 1C at 25°C	116 & 72 Wh/kg
Expected calendar life at 25°C	20 years

### CYCLE LIFE

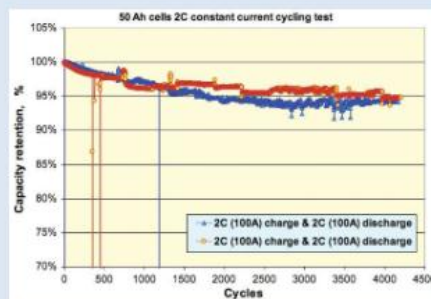
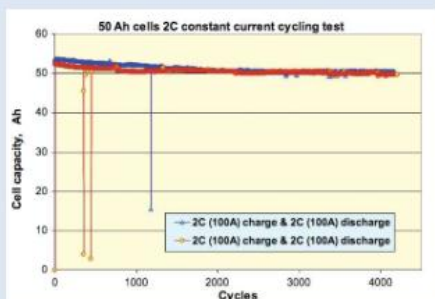
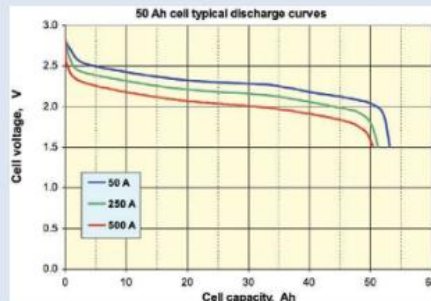
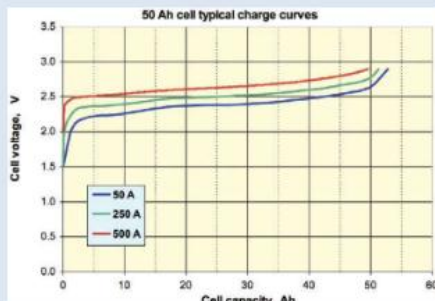
At 2C charge & 2C discharge, 100% DOD, 25°C	>12000 cycles
At 1C charge & 1C discharge, 100% DOD, 55°C	>4000 cycles

### RECOMMENDED CUT OFF / CHARGE CUT OFF VOLTAGE

Recommended cut off voltage in the range -40°C ±30°C	1.5 V
Recommended cut off voltage at +30°C ±55°C	2.0 V
Recommended charge cut off voltage at +20°C ±55°C	2.8 V
Recommended charge cut off voltage at -40°C ±20°C	2.9 V

204 Edison Way, Reno, Nevada 89502  
tel: 775.856.2500 fax: 775.856.1619  
[www.altairnano.com](http://www.altairnano.com)

## 50 Amp Hour Cell



Altairnano Lithium Titanate Battery technology is possibly the safest lithium battery technology available. The cells described in this data sheet have no graphitic anodes which are a weak component in other lithium technologies. However, the electrolyte is flammable. Given the possibility of mechanical or externally caused fire and/or heat damage, the designer of systems using these cells should implement adequate temperature control and physical protection of the cells. Altairnano requires the values on this data sheet not be exceeded in operation or storage. Design of battery systems must follow the instructions and requirements of the companion instruction sheet available from Altairnano dated October 1, 2008 and entitled "Instructions for design and use of Altairnano nLTO battery cells."

Important: All information, including illustrations, is believed to be reliable. Users, however, should independently evaluate the suitability of each product for their particular application. Altairnano makes no warranties as to the accuracy or completeness of the information, and disclaims any liability regarding its use. Altairnano's only obligations are those in the Altairnano Standard Terms and Conditions of Sale for this product, and in no case will Altairnano or its distributors be liable for any incidental, indirect, or consequential damages arising from the sale, resale, use, or misuse of the product. Specifications are subject to change without notice. In addition, Altairnano reserves the right to make changes—without notification to Buyer—to processing or materials that do not affect compliance with any applicable specification.

Altairnano is a registered trademark of Altairnano and its affiliates.

204 Edison Way, Reno, Nevada 89502  
tel: 775.856.2500 fax: 775.856.1619  
www.altairnano.com



