

**TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA**

**Auto- ja kuljetustekniikka**

**Autosähkötekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**CITYCAB TAKA-AKSELIN OHJAUSELECTRONIIKKA**

**Työn tekijä: Antti Niskanen  
Työn valvoja: Sami Ruotsalainen  
Työn ohjaaja: Sami Ruotsalainen**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2007**

**Sami Ruotsalainen  
lehtori**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööri työ tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian auto- ja kuljetustekniikan CityCab-projektin parissa, osana ajoneuvon pitkäaikaista kehitystyötä. Haluan kiittää projektissa mukana olleita hyvän yhteistyöhengen luomisesta ja mukavasta työympäristöstä. Erityiskiitos projektin isäntä Matti Parpolalle ja projektijohtajalle Harri Santamalalle.

Helsingissä 27.11.2007

Antti Niskanen

## INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Antti Niskanen	
Työn nimi: CityCab taka-akselin ohjauselektroniikka	
Päivämäärä: 27.11.2007	Sivumäärä: 43 s. + 12 liitettä
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetusala	Suuntautumisvaihtoehto: Autosähkötekniikka
Työn valvoja: lehtori Sami Ruotsalainen	
Työn ohjaaja: lehtori Sami Ruotsalainen	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulun CityCab-kaupunkitaksi-autoprojektin osana. CityCab on Helsingin ammattikorkeakoulun ja Taideteollisen korkeakoulun yhteinen projekti, jonka tarkoituksena oli kehittää asiakasläheinen ja kuljettajaystävällinen moderni kaupunkitaksi.</p> <p>CityCabissa on monia moderneja teknisiä yksityiskohtia, joita ei ole vastaavissa taksiautoissa. Näistä edistyneimmistä voidaan pitää ilmajousitusta, hiilikuitukoria ja kääntyvä taka-akselia.</p> <p>Tämän insinöörityön tarkoitus oli kehittää taka-akselin ohjausjärjestelmän elektroniikka, jolla on mahdollisuus toimia turvallisesti ja luotettavasti yleisessä tieliikenteessä.</p> <p>Suunnittelu aloitettiin käymällä läpi huolellisesti aiemmat kehitysversiot ja miettimällä CityCab-suunnitteluryhmän jäsenten kanssa, mitä uusia vaatimuksia järjestelmälle asetettiin.</p> <p>Järjestelmä päätettiin rakentaa kokonaan uudelleen ja muuttaa taka-akselin asennon mitaustapaa varmemmaksi. Järjestelmä rakennettiin täysin käsityönä alkaen komponenttien valinnasta päätyen piirilevyn valmistukseen Helsingin ammattikorkeakoulun laitteistolla. Valmis järjestelmän koteloitiin ja asennettiin ajoneuvoon. Ajoneuvon johtosarjat suunniteltiin taka-akselin osalta myös vaatimusten mukaisiksi.</p> <p>Rakentamisen eri vaiheissa järjestelmää testattiin osa-alueittain, jotta välttyttiin hankalilta vikatilanteilta järjestelmän käyttöönottoaiheessa.</p> <p>Valmiin järjestelmän tuli olla toimintakuntoinen kesällä 2007. Tavoite saavutettiin hyvin ja projekti jatkui Mikko Niemelän insinöörityössä, jossa ohjainlaitteeseen kehitettiin ohjelma-koodi.</p>	
Avainsanat: CityCab, taka-akseli, autoelektroniikka, ohjainlaite	



**ABSTRACT**

Name: Antti Niskanen	
Title: CityCab Rear Axle Control Electronics	
Date: 27.11.2007	Number of pages: 43 + 12 appendices
Department: Automotive & transport Engineering	Study Programme: Automotive electronics Engineering
Instructor: Sami Ruotsalainen, lecturer	
Supervisor: Sami Ruotsalainen, lecturer	
<p>The graduate study was made for the Helsinki Polytechnic Stadia CityCab vehicle project. CityCab is a joined venture of Helsinki Polytechnic, Stadia and the Helsinki University of Art and Design, where the aim is to develop a customer oriented and driver friendly modern city taxi.</p> <p>CityCab has many technical minor features which are not commonly found in mass produced vehicles such as air suspension, carbon fibre body and steering rear axle.</p> <p>The aim of the study was to develop new rear axle steering electronics which would perform with safety and reliability in real life road traffic.</p> <p>The development began by carefully studying the previous rear axle models and with discussions for new ideas with CityCab team members.</p> <p>It was decided to build the whole system from the beginning and to improve the way of measuring the rear axle steering angle. The building was made by hand from the beginning until the installing. The circuit board was also designed and realised at the Helsinki Polytechnic electronic laboratory. The wiring of CityCab was done again for the rear axle to improve reliability, too.</p> <p>The new system was constantly tested throughout the process in order to avoid problems once taking the whole system into use.</p> <p>The system was ready in July 2007, as expected and the project was continued by Mikko Niemelä who programmed the microcontroller.</p>	
Keywords: CityCab, rear axle, automotive electronics, controller	

# SISÄLLYS

## ALKULAUSE

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TAKA-AKSELIN OHJAUSJÄRJESTELMÄ</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>TOIMINTAAN VAADITTAVAT SIGNAALIT</b>	<b>2</b>
<b>3.1</b>	<b>Sisääntulevat signaalit</b>	<b>2</b>
3.1.1	<i>Taka-pyörien ohjauskulman mittaus</i>	3
3.1.2	<i>Etupyörien ohjauskulman mittaus</i>	7
3.1.3	<i>Karamoottorien rajakatkaisijat</i>	8
3.1.4	<i>Karamoottorien ottama virta</i>	9
3.1.5	<i>Kuljettajan käyttökytkimet</i>	9
3.1.6	<i>Ajoneuvon nopeus</i>	10
<b>3.2</b>	<b>Uloslähtevät signaalit</b>	<b>11</b>
3.2.1	<i>Ohjauksen toimilaitteet</i>	11
3.2.2	<i>Lukituksen toimilaite</i>	12
3.2.3	<i>Infonäytön ohjaus</i>	13
<b>4</b>	<b>OHJAINLAITE</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Suunnittelu</b>	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>Piirikaavio</b>	<b>15</b>
4.2.1	<i>Jännitelähteet</i>	15
4.2.2	<i>Mikrokontrolleri</i>	16
4.2.3	<i>Operaatiovahvistimet</i>	17
4.2.4	<i>Optoerottimet</i>	19
4.2.5	<i>CAN-tasomuunnin</i>	20
4.2.6	<i>Signaalien suodatukset</i>	21
<b>4.3</b>	<b>Piirilevy</b>	<b>23</b>
4.3.1	<i>Komponenttien sijoittelu</i>	23
4.3.2	<i>Toteutus</i>	24
<b>5</b>	<b>PÄÄTEASTEET</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Suunnittelu</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Piirikaavio</b>	<b>29</b>
5.2.1	<i>MOSFET- transistorit</i>	30
5.2.2	<i>Suojaukset</i>	30

<b>5.3</b>	<b>Piirilevy</b>	<b>31</b>
5.3.1	<i>Suunnittelu</i>	31
5.3.2	<i>Toteutus</i>	33
<b>6</b>	<b>KOTELOINTI</b>	<b>33</b>
6.1	<b>Kotelotyypin valinta</b>	<b>34</b>
6.2	<b>Signaaliliittimet</b>	<b>34</b>
6.3	<b>Virtaliittimet</b>	<b>35</b>
6.4	<b>Ohjainlaitteen kokoaminen</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>JOHDINSARJAT</b>	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>40</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>42</b>

## **LIITTEET**

<b>LIITE 1</b>	<b>Liukupotentiometrin tilauslista</b>
<b>LIITE 2</b>	<b>Ohjainlaitteen kytkentäkaaviot</b>
<b>LIITE 3</b>	<b>Ohjainlaitteen piirilevy</b>
<b>LIITE 4</b>	<b>Pääteasteiden kytkentäkaavio</b>
<b>LIITE 5</b>	<b>Pääteasteiden piirilevy</b>
<b>LIITE 6</b>	<b>Johdinsarjojen liitosten kytkennät</b>

## 1 JOHDANTO

CityCab on Helsingin ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan ja Taideteollisen korkeakoulun yhteinen projekti tulevaisuuden kaupunkitaksista. Projekti aloitettiin 2004 alkuvuodesta tutkimustyöllä, joka selvitti, millaisia vaatimuksia nykyaikaiselle taksiautolle asetetaan hyvän asiakastyytyvyyden ja kuljettajan mukavuuden takaamiseksi. Projektin tavoitteena on ollut kehittää taksi, joka soveltuu ahtaille kaduille, on ympäristöystävällinen, näyttää tyylikkäältä, on asiakasläheinen ja mieluisa työkalu kuljettajalle. Helsingin ammattikorkeakoulu vastasi pääasiassa ajoneuvon tekniikan suunnittelusta, ja Taideteollinen korkeakoulu suunnitteli ajoneuvolle ulkomuodon ja tyylin, jolla se saatiin erottumaan massasta.

CityCabin tekniikan pohjana eli ”emoautona” toimii Toyota Motor Finlandin Helsingin ammattikorkeakoululle luovuttama Toyota Prius -henkilöauto. Auto luovutettiin koululle alkuvuodesta 2005, kun se tuli valituksi vuoden autoksi Euroopassa. Priuksella tehtiin sarja erilaisia tutkimuksia ja purettiin osiksi. Projektin kiireellisin osuus oli kesällä 2006, jolloin CityCabiin rakennettiin runko, hiilikuitukori ja sovitettiin Priuksen voimansiirtotekniikka hallintalaitteiden kiinni.

Ajoneuvon tarkoitus ei ollut pelkästään tuoda mainetta koululle ja kiertää näyttelyissä vaan toimia opiskelijoiden tutkimuskohteena. Syksyllä 2007 aloitetaan CityCabilla käytännön testaus Helsingin taksiliikenteessä.

Tässä insinööriyössä käydään taka-akselin ohjausjärjestelmän eri kehitysversiot läpi ja tutkitaan, miten järjestelmää voidaan kehittää luotettavammaksi ja turvallisesti käyttää normaalissa tieliikenteessä. Tavoitteena on kehittää uusi toimiva järjestelmä, jolla kaikki halutut toiminnot saadaan mukaan laitteistoon. Järjestelmän on tarkoitus palvella käyttäjiänsä mahdollisimman luotettavasti ja helppokäyttöisesti arkipäiväisessä taksiliikenteessä.

Rinnakkaisinsinööriyönä Mikko Niemelä kehitti ohjainlaitteeseen ohjainohjelman, jolla kaikki tarvittavat ja suunnitellut toiminnot saatiin toteutettua halutulla tavalla. Järjestelmän käyttöönotto, testaus ja parametointi käsitellään hänen työssään yksityiskohtaisesti.

## 2 TAKA-AKSELIN OHJAUSJÄRJESTELMÄ

CityCabiin suunniteltiin 4-pyöräohjaus, jotta sillä voitiin tehdä alle 7,6m kääntöhalkaisijaltaan oleva ympyrä. Tämä on Lontoon kaupunkitaksin minimivaatimus auton kääntöympyrän halkaisijaksi ja autosta haluttiin rakentaa lähtökohtaisesti LondonCab taksiautoa vastaava modernimpi versio.

Ensimmäiset suunnitelmat järjestelmän toteutuksesta teki Antti Ruokolainen, joka teki aiheesta myös insinööri työn. Järjestelmän peruskonseptiksi valittiin drive-by-wire sähköisesti toimiva ohjaus, koska kyseessä on hybridikäyttöinen ajoneuvo. Järjestelmän haluttiin olevan ympäristöystävällinen ja kevyt rakenteeltaan. Drive-by-wire -järjestelmä tarkoittaa, että ohjauksessa ei ole minkäänlaista mekaanista yhteyttä kääntyvien pyörien ja hallintalaitteen välillä. Sekä ohjaukskulman mittaus, että pyörien kääntö tapahtuu täysin sähköisesti. Tieto siirretään ohjauksen mittauksesta pyörien kääntöön joko johtimia pitkin tai radioteitse. Antti Ruokolainen valitsi pyörien kääntöön käytettäväksi sähköllä toimivat lineaariset karamoottorit. Ohjainlaitteesta suunniteltiin myös ensimmäinen versio, jota ei kuitenkaan koskaan päästy testaamaan käytännössä. [1.]

Toisen version taka-akselin ohjausjärjestelmästä teki Juha Laakko insinööri työnsä osana. Hän päätti rakentaa ohjainlaitteen uudelleen, jotta siihen saataisiin parempi käytettävyys ja mahdollisuus järjestelmän laajentamiseen tarvittaessa. Järjestelmän peruskonsepti säilyi kuitenkin ennallaan ja alkupe- räisten suunnitelmien mukaisena. [2.]

## 3 TOIMINTAAN VAADITTAVAT SIGNAALIT

Ohjainlaitteeseen vaikuttavat signaalit jaetaan kahteen ryhmään: sisään tuleviin ja uloslähteviin signaaleihin. Sisääntulevilla signaaleilla tarkastellaan kuljettajan toiveita ohjauksen asennosta, akselin ja lukituksen fyysistä asentoa, karamoottorien kuormitusta ja ajoneuvon nopeutta. Uloslähtevät signaalit ohjaavat karamoottoreiden toimintaa, akselin lukitusta ja kuljettajan infonäyttöä.

### 3.1 Sisääntulevat signaalit

Sisääntulevilla signaaleilla tarkoitetaan ohjainlaitteen sisään tulevia digitaalisia tai analogisia jännitesignaaleita. Signaalit muutetaan ohjainlaitteessa biteiksi eli digitaaliseksi tiedoksi ja käsitellään ohjelman määrittelemissä pro-



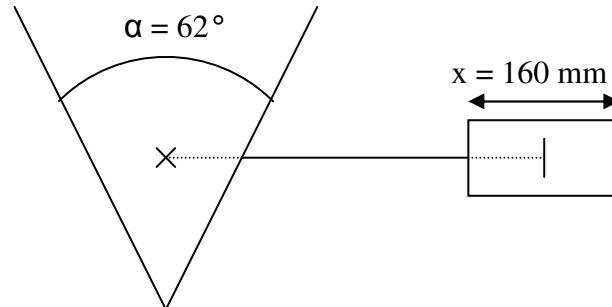
sessissa. Uloslähtevien signaalien ohjaus perustuu sisääntulevien signaalien arvoihin.

### 3.1.1 Taka-pyörien ohjauskulman mittaus

Kevään 2006 aikana Juha Laakon suorittamissa testauksissa ohjausta ei saatu toimimaan halutulla tavalla. Kääntökulman mittaamiseksi käytetty Hallanturitekniikka [2, s. 33 - 34] todettiin liian epävarmaksi ja -tarkaksi, minkä vuoksi siitä päädyttiin luopua.

Tämän työn aluksi mietittiin ensisijaisesti tarkkuutta eli erottelukykä, jolla akselia tulisi pystyä ohjaamaan. Henkilöautoissa yleisesti käytetty pyöränkulmien tarkkuus normaalissa maantieliikenteessä on  $\alpha_{vs} = \pm 0,05^\circ$  [3, s. 684]. Ohjauksen lukituksen vaadittu keskiaseman tarkkuus arvioitiin noin  $x_0 = \pm 0,25\text{mm}$  suuruiseksi liukupalkin liikkeeksi.

Saatujen lähtökohtien perusteella akselistosta tehtiin yksinkertaistettu kuva, josta näkyy pyörän kääntökulma asteina ja raidetankoja ohjaavan lineaarisesti liikkuvan liukupalkin liikematka (kuva 1).



Kuva 1. Pyörän ohjauskulman ja liukupalkin yksinkertaistettu malli

Kuvan tietojen perusteella pystytään määrittämään, että palkin liikettä täytyy pystyä lukemaan noin 1240 pisteen välein eli  $res = 10,3\text{bit}$  tarkkuudella, joka voitiin laskea kaavasta 1. Josta edelleen saadaan kaavan 2 avulla yhden

$$\text{millin resoluutioksi } res_{palk} = 0,129 \frac{\text{mm}}{\text{piste}}.$$

$$res_{bit} = \log \frac{62^\circ}{0,05^\circ} = 1240 \quad (1)$$

$$res_{palk} = \frac{160mm}{1240bit} = 0,129 \frac{mm}{piste} \quad (2)$$

Aiemmin käytetyn Hall-anturitekniikan avulla päästiin resoluutioon

$$res_{palk} = 0,32 \frac{mm}{piste},$$

joka oli alle puolet halutusta tarkkuudesta. Hall-anturit

sijaitsevat moottorin akselilla, jolloin toimilaitteen suuremmalla välityssuhteella olisi saatu parempi resoluutio. Lähtökohtana toimilaitteen valinnalle oli kuitenkin riittävä karan toimintanopeus eli pyörien kääntymisnopeus, minkä seurauksena oli unohtunut riittävä lukutarkkuus. [1.]

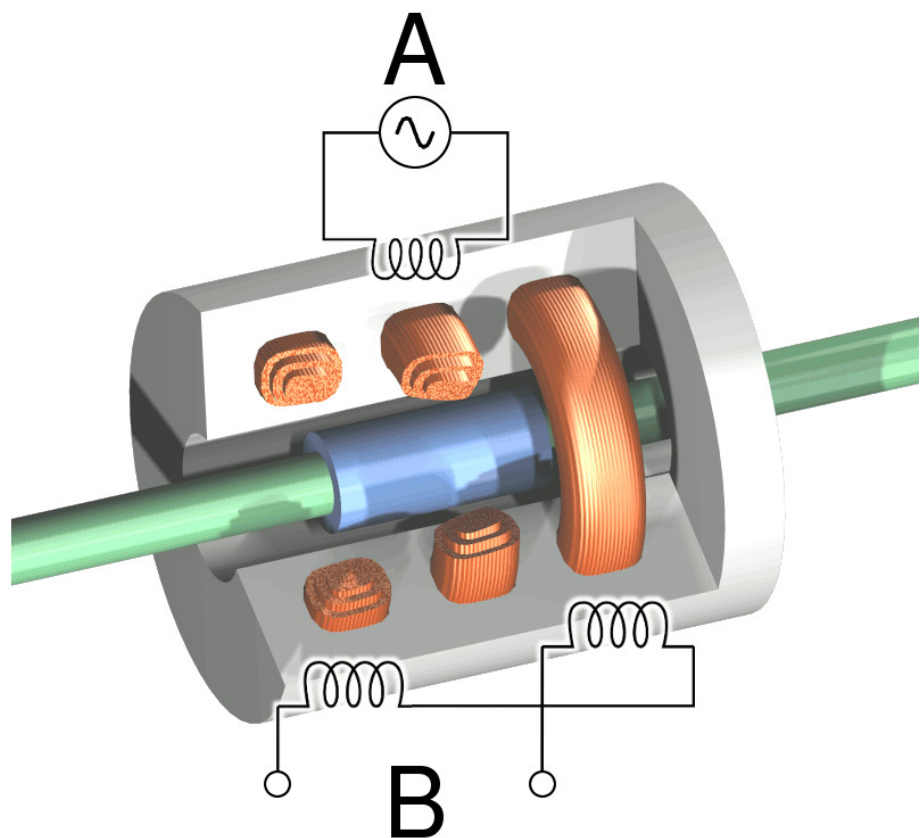
Hall-anturitekniikalla on myös oma varjopuolensa: jos jostain syystä pulsseja jää lukematta esimerkiksi huonosta signaalista johtuen, niin lukituksen vaatima keskikohta ei pysy oikeassa kohdassaan. Tämä olisi voitu välttää ohjelmassa suoritettavalla erillisellä kalibrointiohjelmalla, joka kääntää pyörät laidasta toiseen laitaan ja määrittää saadun mittaustiedon perusteella keskikohtan. Kuitenkin erillisen kalibrointiohjelman käyttö olisi tuonut pyörien käännön käyttöön erittäin pitkiä viiveitä, jolloin se ei olisi enää palvellut tarkoitustaan kovin hyvin. [4, s. 250.]

Jos toimilaitteen valinnassa olisi alusta alkaen mietitty vaadittavaa mittatarkkuutta eikä pelkästään riittävän suurta toimintanopeutta, tätä ongelmaa ei olisi tullut vastaan. SKF:n toimilaitetta on saatavana suuremmalla välityssuhteella, jonka ansiosta myös moottorissa sijaitsevat Hall-anturit olisivat riittäneet luotettavan ja tarkan ohjauksen toteuttamiseen. [5, s. 29.]

Näiden lähtötietojen perusteella päätettiin hankkia lineaarinen anturi, joka mittaa paikkaa reaaliajassa ja luotettavasti. Tarjouspyyntöjä lähetettiin usealle valmistajalle erilaisista anturiratkaisuista. Ensimmäiseksi nousi esille, haluttiinko käyttää LVDT- (Linear Variable Differential Transformer) vai liukupotentiometrianturia.

LVDT-anturin toiminta perustuu kolmeen kelaan ja yhteen rautasydämeen, jota liikutetaan keloihin nähden. Anturin sylinteriputkessa keskimmäiseen eli pääkelaan syötetään puhdasta siniaaltoja  $f = 1-10kHz$  taajuudella. Sylinteriputken molemmissa päissä sijaitsee identtiset kelat eli toisiokelat, joihin indusoituu jännite ferromagneettisydämen avulla. Jännitteet ovat toisilleen vastakkaisessa vaiheessa. Ferromagneetti on sylinteriputken ympärille valet-

tu kappale, joka liikkuu sylinteriputken mukana. Toisiokelan päät ovat kytketty toisiinsa sarjakytkennällä. Ulostulevaa jännitettä mitataan molempien kelojen yli. Ferromagneettisydämen ollessa keskellä ulostuleva jännite on  $U_{out} = 0V$ , koska keloihin indusoituneet jännitteet ovat toisilleen vastakkaisessa vaiheessa eli toinen siniaalto  $\phi = 180^\circ$  jäljessä. Kun sydäntä liikutetaan toiseen suuntaan, alkaa siniaallon amplitudi kasvaa samalla. Ulostuleva jännite on tällöin samassa vaiheessa kuin sisään syötettäväkin. Vastakkaiseen suuntaan siirrettäessä ulostulevan jännitteen amplitudi kasvaa myös, mutta vaihe kääntyy tällöin  $\phi = 180^\circ$ . (Kuva 2.) [6.]



Kuva 2. LVDT-anturin sisäinen rakenne

Anturin sisälle on rakennettu ohjauselektronikka, jolla muodostetaan tarvittava sinimuotoinen syöttöjännite ja luetaan toisiokelojen antama vaihtojännite. Sähköinen toiminta ulospäin on identtinen potentiometri tyyppisen anturin kanssa. Sisään syötetään esimerkiksi  $U_{VCC} = 5V$  tasajännite ja ulos saadaan  $U_{out} = 0 - 5V$  välillä vaihteleva tasajännite, joka kertoo männän sijainnin. (Kuva 3.) [6.]

LVDT-anturin suurin etu on, ettei sen sisällä ole kuluvia osia, joten sen käyttöikä on lähes ikuinen. Myös lukutarkkuus on ääretön, mutta rajoittuu kuitenkin lukijaelektroniikkaan, jolla anturia käytetään. [6.] Suurin haitta tämän anturin käytössä on sen suuri hankintahinta, joka on potentiometrityyppiseen anturiin verrattuna moninkertainen.



Kuva 3. LVDT-anturin sisäinen rakenne

Lineaaripotentiometri on yleisesti käytetty anturiratkaisu ajoneuvoissa. Kaasupolkimen tai kaasuläpän asentoa mitataan hyvin usein tämäntyyppisellä ratkaisulla. Potentiometrin toiminta perustuu lankaa, jonka pituutta eli resistanssia muutetaan mekaanisesti liu'usta. Mittaus voidaan tehdä esimerkiksi sarjavastuksen kanssa, joiden yli syötetään tasajännitettä. Vastuksen ja säätövastuksen eli potentiometrin välistä jännitettä mitataan. [7, s. 156.]

Potentiometrin paras puoli on sen monipuolinen saatavuus ja edullinen hankintahinta. Mittaustarkkuus vaihtelee riippuen käytettävästä iskunpituudesta ja mittauselektroniikasta. Huono puoli on sen kuluvat mekaaniset osat, mutta markkinoilla on olemassa tuotteita joille luvataan jopa  $100 \times 10^6$  käyttökertaa (liite 1).

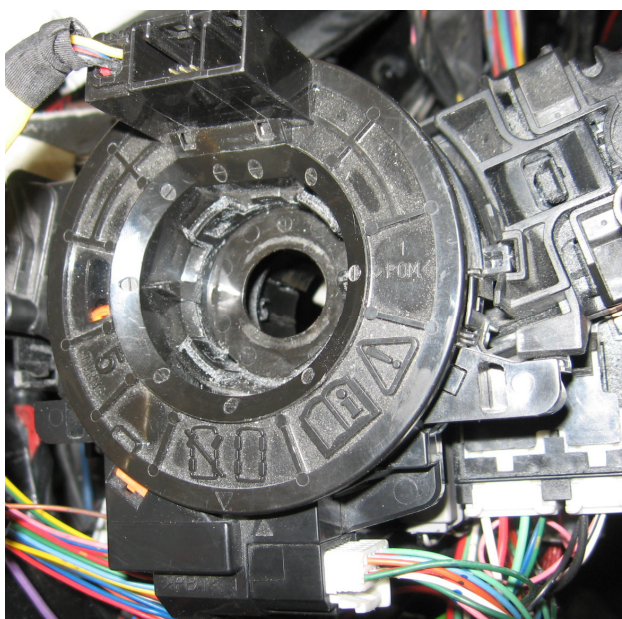
Anturin lopullisen valintapäätökseen vaikutti edullinen hankintahinta ja se, että ajoneuvoa tullaan käyttämään vain lyhyen aikaa testikäytössä, joten pitkäikäisyys ei ollut ehdoton vaatimus. Käyttöön valittiin Aseko Oy:n toimittaman potentiometrityyppinen PA1F-200 -anturi. Anturin kestoiksi luvataan vähintään  $AE_{tot} = 25000km$  iskunpituutta. Iskunpituuden ollessa  $AE = 201mm$  tämä tarkoittaa noin 6,2 miljoonaa männän edestakaista käyttökertaa. Lineaarisuus anturilla on erittäin hyvä  $x_L = \pm 0,05\%$ , ja myös toistettavuus on käyttökohteeseen hyvin soveltuva  $x_{AE} = \pm 0,01mm$ . Lopullinen mittaustarkkuus määräytyy elektroniikasta, jolla anturia tullaan mittaamaan. (Liite 1.)

### 3.1.2 Etupyörien ohjauskulman mittaus

Etuakselin ohjauskulman mittausta lähdettiin miettimään ajoneuvossa jo paikallaan olevien antureiden pohjalta.

Ohjaustieto oli Antti Ruokolaisen tekemän insinööriyön perusteella tarkoitus ollut mitata sähköisen ohjaustehostimen käyttämästä pyörrevirtävääntömomenttianturista. Anturin tuottama signaali on analoginen lineaarinen jännite, joka vaihtelee  $U_{out} = -2 - 2V$  välillä riippuen siitä, kuinka voimakkaasti ohjauspyörää käännetään ja kumpaan suuntaan. Kuitenkaan tällä ratkaisulla ei voida tietää, missä asennossa pyörät ovat, koska ohjauspyörällä vaikuttava väntömomentin tarve riippuu renkaan ja tien välisestä kittasta. Tämän vuoksi alkuperäinen suunnitelma päätettiin hylätä ja lähteä etsimään vaihtoehtoisia ratkaisuja. [1.]

Ohjauskulmien mittaukseen mietittiin myös käytettäväksi samaa anturi ratkaisua kuin takapyörillekin. Tämän menetelmän käyttö kuitenkin päätettiin hylätä, koska anturille ei ollut riittävän hyvää ja luotettavaa sijoituspistettä. Ainoa järkevä paikka olisi ollut ohjaustehostimen sylinterin yläpuolella. Tällöin anturin runko olisi pitänyt kiinnittää ohjaussyliinteriin ja mäntä raidetangon sisempään päähän. Raidetangonpää oli kuitenkin alkuperäisen suojan alla, joten sitä ei haluttu rikkoa. Pakoputki olisi myös tullut hyvin lähelle anturia, jolloin se olisi vaatinut lämpökilven kehittämisen. Etuakselin uudelleen anturointi päätettiin hylätä ja keskittyä CAN-väylän antamiin mahdollisuuksiin.



Kuva 4. Ohjauspyörän asentoanturi

Kanta-auto, josta tekniikka siirrettiin CityCabiin, sisälsi ESP-ajonvakautusjärjestelmän. ESP tarvitsee toimiakseen myös etupyörien kääntökulman. Kääntökulman mittausta varten autossa on kääntökulma-anturi rattiakselissa (kuva 4). Anturissa on sisäänrakennettu ohjainlaite, joka on kytketty ajoneuvon nopeaan CAN-verkkoon. Toyota ei suoranaisesti kerro CAN-väylän viestirakenteistaan ulkopuolisille mitään. Kuitenkin verkko perustuu standardiin, joten sen hyödyntäminen todettiin mahdolliseksi. Tehtäväksi jäi selvittää ohjauksen viestikentän tunnistetiedot ja tietokentän arvot. [8.]

### 3.1.3 Karamoottorien rajakatkaisijat

Rajakatkaisijoita käytetään määrittämään ohjauksen reuna-asentoja ja lukituksen tilaa. SKF:n toimittamat karamoottorit voidaan varustaa lisävarusteenä saatavilla rajakatkaisijoilla. Rajakatkaisijat eli REED-kytkimet tulevat toimilaitteiden karan päälle ulkopuolelle (kuva 5).



Kuva 5. REED-kytkimen sijainti karamoottorin ulkopuolella

REED-kytkimen toiminta perustuu tyhjiöön suljetusta ferromagneettisesta kosketinparista. Kosketinpari kytkeytyy ulkoisen magneettikentän muutoksen avulla. Mittausetäisyys tällaisella anturilla on noin  $l = 4 - 40\text{mm}$ , joten se soveltuu erinomaisesti erilaisten asentojen tunnistamiseen ilman mekaanista kosketusta itse mittauskohteeseen. Kytkimellä on suhteellisen suuri virransietokyky kokoonsa nähden, joten se soveltuu hyvin myös suoraan releiden ohjaukseen. [9.]

REED-kytkimiä otettiin käyttöön yhteen ohjauksen karamoottoriin tunnistamaan suurin mahdollinen kääntymä oikealle tai vasemmalle ja lukituksen kiinni- tai aukiolon tunnistamiseen.

#### *3.1.4 Karamoottorien ottama virta*

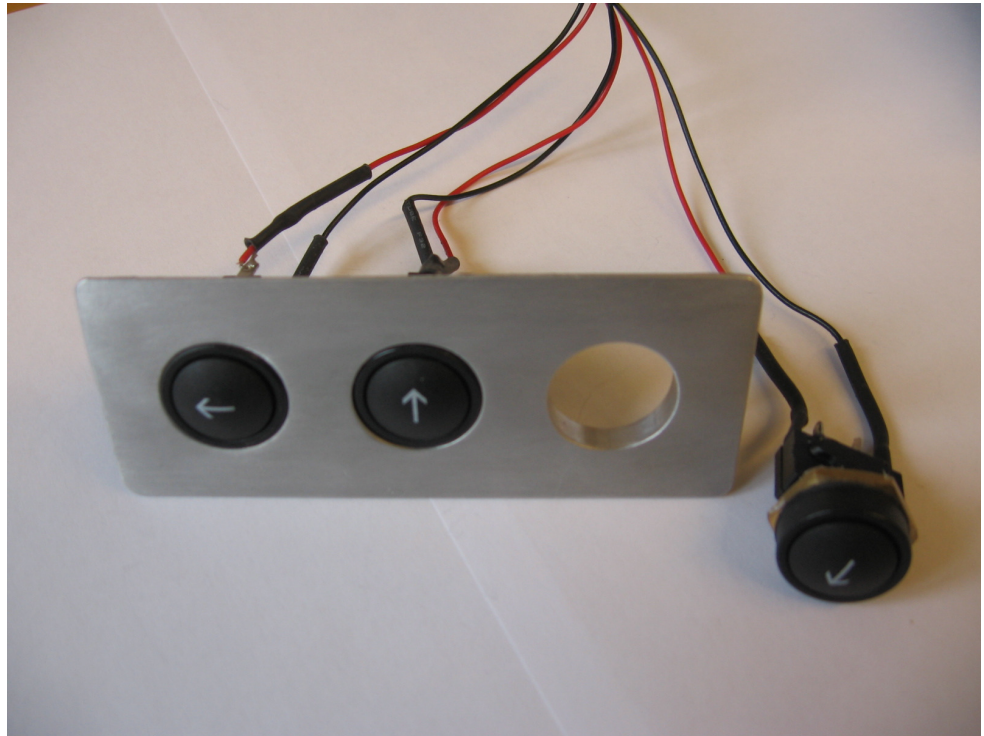
Karamoottorien ottamaa virtaa mitataan, jotta voidaan havaita mahdolliset esteet tai muut toimintahäiriöt. Esteen tullessa pyörän tai kääntökomponenttien eteen, moottorien ottama virran suuruus kasvaa hyvin voimakkaasti. Jos virtaa ei rajoiteta tai katkaista riittävän nopeasti, niin virta toimii pelkästään komponenttien lämmittäjänä, jolloin seuraa välitön sulakkeen palaminen tai pääteasteiden hajoaminen.

Lukituksen karamoottorin virtaa mitataan, jotta mahdollinen toimintahäiriö havaitaan ja kuljettaja saa tästä tiedon. Esimerkiksi tilanteessa, jossa lukituspala ja lukitseva tappi eivät jostain syystä osu kohdalleen vaan osuvat toisiinsa, karamoottori jatkaa kääntämistä, koska rajakytkin ei ole kytkeytynyt. Tämän seurauksena pääteasteet tai sulake tuhoutuvat. Virran mittauksella voidaan havaita virran nopea nousu, jolloin lukitseminen voidaan keskeyttää ja tehdä tarvittavat korjaukset.

Virran mittauksien toimintaperiaatteet selitetään tarkemmin luvussa 3.2.3.

#### *3.1.5 Kuljettajan käyttökytkimet*

Kuljettajan toiveet kääntökulmasta ja ohjauksen toiminnasta saadaan käyttökytkimiltä, jotka sijaitsevat ohjauspyörän oikealla puolella kojetaulussa. Käyttökytkimet ovat tavalliset ON/OFF-jousikuormitetut painikkeet, jotka kytkevät tai katkaisevat johtimet yhteen, kun nappi painetaan pohjaan. Kun nappia ei paineta, jousivoima painaa sen ylös OFF-tilaan eli johtimet eivät kosketa toisiaan. Painikkeita on kolme, joista yhdellä valitaan käytettävä ohjauksen ohjelma ja kahdella muulla haluttu pyörien kääntymissuunta manuaaliohjauksessa. (Kuva 6.)



*Kuva 6. Kuljettajan käyttökytkimet*

### 3.1.6 Ajoneuvon nopeus

Järjestelmään tarvittiin ajoneuvon nopeuden mittaus, jotta voitiin määrittää suurin sallittu ajonopeus, jolla kääntäminen on vielä turvallista ja mahdollinen käynnissä oleva ohjaus lopetetaan ja akseli lukitaan takaisin keskiasemaansa.

CityCabiin asennettu taksiliikennejärjestelmä tarvitsi myös nopeustiedon, joten saman signaalin hyödyntäminen oli mahdollista myös tässä tapauksessa. Ohjainlaitteelta tuleva signaali on pulssiaaltoa, jonka taajuus kasvaa ajoneuvon nopeuden kasvaessa.

Kuitenkin järjestelmään tuli CAN-väylän lukuominaisuus ohjaukskulman mittauksen ansiosta, joten nopeaa CAN-väylää päätettiin hyödyntää myös ajoneuvon määrittämiseen. ESP tarvitsee myös toimiakseen ajonopeuden, joten tästä pääteltiin, että samassa verkossa kulki myös ajonopeustieto. Tehtäväksi jäi selvittää ajonopeuden viestikentän tunniste- ja tietokentän arvot. [8.]

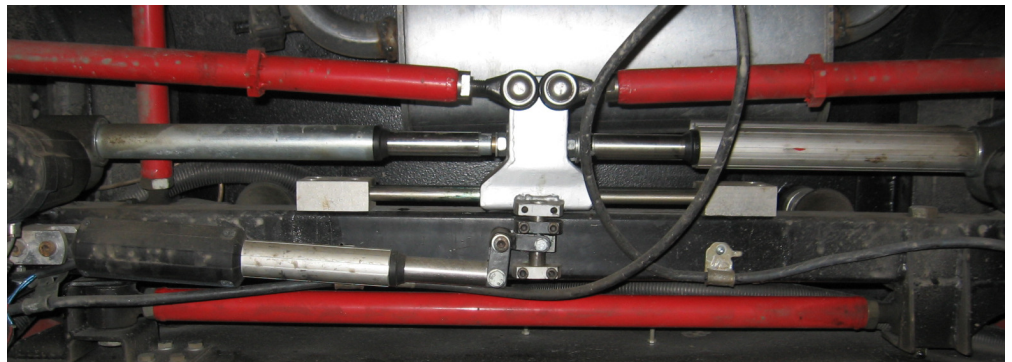


## 3.2 Uloslätevät signaalit

Ulosläteville signaaleilla tarkoitetaan ohjainlaitteelta lähteviä signaaleja, joilla ohjataan eri toimilaitteita ja niiden toimintaa. Pääasiassa signaalit ovat pulssisuhdeohjattuja jännitesignaaleja, joilla sähkövirran ohjaus on helppoa ja energiatehokasta. Infonäytön ohjauksessa käytetään rinnakkaismuotoista tiedonsiirtoa. [4, s. 223; 10, s. 8.]

### 3.2.1 Ohjauksen toimilaitteet

Ohjauksen toimilaitteiksi oli valittu Antti Ruokolaisen tekemän insinööriyön perusteella SKF:n valmistamat karamoottorit (kuva 7). Karamoottorit kuuluvat CAT32B-mallisarjaan ja pystyvät työntämään tai vetämään  $F = 1500N$  kuormaa  $v = 63 - 48 \frac{mm}{s}$  nopeudella. Karamoottorit ovat varustettu tasavirtamoottorilla, joiden käytetään  $U = 12V$  käyttöjännitteellä. Moottoreita voitiin siis ohjata suoraan ajoneuvon akkujännitteellä, mutta tällöin on otettava huomioon akkujännitteen suuruus. Normaalissa käyttötilanteessa, kun ajoneuvon moottori on käynnissä, akkujännite saattaa vaihdella  $U_{bat} = 12 - 14,5V$  alueella riippuen latausgeneraattorin kuormitusasteesta. [5, s. 28; 7, s. 412.]



Kuva 7. Taka-akselin ohjaukseen käytetyt SKF:n toimilaitteet

Lähtökohtaisesti vaatimuksena oli, ettei kuljettaja huomaisi käytössä mitään eroa ja toimilaitteet liikkuisivat samalla nopeudella. Moottorien ohjaukseen vaadittiin siis käytettäväksi jonkinlaista tehonsäätöratkaisua, jotta akkujännitteen muutokset sekä renkaan ja tien välinen kitkan vaihtelu saatiin kompensoitua.

Pulssisuhdemodulaatiolla tarkoitetaan tavallisen kantiaallon pulssinleveyden muuttamista jaksonajan pysyessä vakiona. Pulssileveysmodulaatiolla siis

vaikutetaan jännitteen tehollisarvoon, jolloin virran suuruutta pystytään säätämään portaattomasti ilman tehohäviöitä. [4, s. 223.]

Pulssisuhde ohjatuilla tehopääteasteilla pystyttiin säätämään ohjausta aina samalle nopeudelle eikä kuljettaja huomaa kääntymisnopeudessa mitään eroa.

### 3.2.2 Lukituksen toimilaitte

Taka-akseli täytyi saada lukittua ajon ajaksi, jotta voitiin varmistua siitä, että kuljettajan on turvallista käyttää ajoneuvolla maantienopeuksia. Lukitus on toteutettu lukitustappimenetelmällä, jossa tappi lukitsee akselin käännön mekaanisesti täysin jäykäksi taka-akseliin. Lukituksen ohjauksen toimilaitteeksi valittiin SKF:n CALA-sarjan karamoottori, joka oli jäänyt ylimääräiseksi oven ohjausjärjestelmästä. Toimilaitte ohjaa lukitustappia nivelen välityksellä, minkä ansiosta karamoottori voitiin asentaa ajoneuvoon akselin suuntaisesti tilan säästämiseksi. (Kuva 8.)



Kuva 8. Lukituksen toimilaitte

Toimilaitteen ohjaukseen käytettiin samanlaista ratkaisua kuin ohjauksen karamoottoreillekin. Ainoa ero oli, ettei välttämättä tarvittu käytettäväksi pulssisuhdeohjattua signaalia. Kuitenkin lukituksen toimintaa mietittäessä päätettiin, että lukituksen ohjaukseen täytyi olla ohjainlaitteelta valmius pulssisuhdeohjaukseen.

Lukitustappin liike on noin  $l_{tap} = 15\text{mm}$ , joka vastaa välityksen kautta karan liikettä  $l_{kar} = 20\text{mm}$ . Karan nopeus ajettaessa sitä suoralla akkujännitteellä

on  $v_{kar} = 15 - 23 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$  riippuen kuormitusasteesta, joten tämän vuoksi vaadittiin lukituksen kiinnilaittoon pulssisuhde ohjattu jännite. Toisaalta tehon mittausta eli virranrajoituksen toiminta ei välttämättä ehdi pysäyttää karaa riittä-

vän nopeasti, joten pulssisuhdeohjaus päätettiin ottaa käyttöön tämänkin vuoksi. [11, s. 74.]

### 3.2.3 Infonäytön ohjaus

Kuljettajan mukavuudeksi ajoneuvoon asennettiin myös kuljettajan infonäyttö. Infonäyttö sijaitsee ohjauspyörän yläpuolella suoraan optimaalisella sijaintipaikalla. Näytöstä kuljettaja saa ohjeita ohjauksen käytöstä sekä näkee lukituksen tilan ja takapyörien ohjaukskulman.

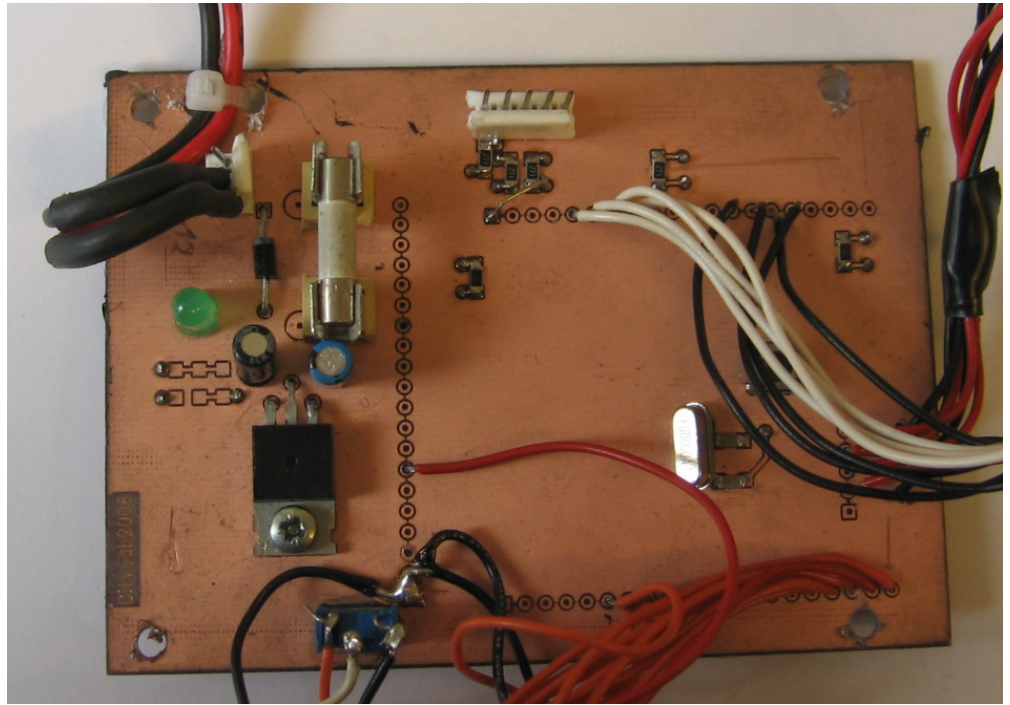
Infonäyttönä toimii Crystalfonz American valmistama CFAG12864B-TMI-V#-LCD-näyttö. Se on tavallinen mustavalkonäyttö, jossa on kuvapisteitä 128 x 64. Näyttö on taustavalaistu valkoisilla LED-valoilla siniselle taustavärille. Pimeässä ajaessa värit ovat silmälle mieluisat eivätkä häikäise kuljettajan ajosuoritetta. Näytön kirkkautta voidaan säätää erillisellä potentiometrikytkennällä. [10.]

Näyttöä ohjataan mikrokontrollerilla. Ohjaukseen käytetään 8-bittistä rinnakkaismuotoista tiedonsiirtoa. Ohjainlaitteelta näyttö vaatii yhteensä 14 johdinta ja tämän lisäksi ulkoisen jännitteensyötön.

## 4 OHJAINLAITE

CityCabissa oli suunniteltuna kaksi erilaista ohjainlaitetta jo ennen tätä työtä. Ensimmäisen version ja pohjasuunnittelun ohjainlaitteesta oli tehnyt Antti Ruokolainen. Suunnitelmat oli toteutettu suhteellisen hyvin, mutta laitetta ei koskaan päästy testaamaan käytännössä.

Juha Laakko teki ohjainlaitteesta kehitetyn version, jolla oli tarkoitus testata ohjauksen mekaaninen toimivuus ja saada ajoneuvo tehtyä valmiiksi syksyllä 2006 järjestettyihin autonäyttelyihin. Kuitenkaan toinen kehitysversio ei soveltunut suoraan tieliikenteeseen käytettäväksi. (Kuva 9.)



*Kuva 9. Juha Laakon suunnittelema ohjainlaite*

Tämän työn ohjainlaitteen suunnittelun lähtökohtana pidettiin molempia insinööritöitä. Työssä esitettyjen kehitysideoiden ja CityCab-ryhmän jäsenten uusien ajatusten pohjalta päätettiin kehittää kokonaan uusi versio, jossa yhdistettiin molempia ratkaisumalleja ja kehitettiin uusia ratkaisuja.

#### **4.1 Suunnittelu**

Ohjainlaitteen suunnittelu aloitettiin tutustumalla vanhoihin ratkaisuihin huolellisesti, jotta välttyttäisiin samoilta ongelmilta ja tekemästä samoja virheitä. Pääpaino uuden suunnittelussa oli Juha Laakon tekemässä ohjainlaitteessa, koska siinä oli saatu toimiva järjestelmä toteutettua yksinkertaisilla ratkaisuilla. Tähän järjestelmään päätettiin lisätä Juha Laakon työn pohjalta tehdyt kehitysideat ja muutamia rakenteita Antti Ruokolaisen ohjainlaitteesta.

Suunnitteluohjelmistona käytettiin Mentor Graphicsin tekemää PADS 2005 -ohjelmistoa. Ohjelman toiminta perustuu ensin tehtävään piirikaavioon, jossa virtuaaliset komponentit yhdistetään virtuaalisilla kytkennöillä. Piirikaavion tiedot lähetettiin PADS layout -ohjelmaan, jossa itse fyysisen levyn rakenne ja johdotukset suunniteltiin. [12.]

Piirikaavion suunnittelu aloitettiin listaamalla vaadittavat sisään- ja ulostulo signaalit, jotka ovat listattuna ja eriteltynä luvussa 2. Näiden tietojen pohjalta

lähdettiin etsimään vaadittavia rakenneratkaisuja ja tarvittavia komponentteja.

## 4.2 Piirikaavio

Piirikaavion suunnittelu suoritettiin PADS logic -ohjelmalla. Ennen piirtämisen aloittamista mietittiin läpi käytettävät komponentit ja etsittiin ne ohjelman komponenttikirjastosta. Komponentteja, joita ei löytynyt valmiista kirjastosta, jouduttiin piirtämään itse. Piirtäminen aloitettiin tekemällä kuparialueet joihin komponentin pinnit kytketään ja merkitsemällä kiinnityspisteet PADS layout -ohjelmalla. Tämän jälkeen PADS logic -ohjelmalla muodostettiin vastaava virtuaalikomponentti. [12.]

Kun kaikki komponentit saatiin piirrettyä, aloitettiin niiden sijoittelu piirrosalueelle. Komponentit sijoitettiin suunnilleen samaan muotoon kuin ne tulivat oletetusti olemaan valmiilla piirilevyllä. Tärkeää oli sijoitella elektromagneettista häiriötä tuottavat komponentit mahdollisimman etäälle analogijännitesignaaleista ja analogi-digitaal- eli A/D-muuntimesta. [13, s. 281.]

Komponenttien sijoittelun jälkeen niiden väliset pinnit yhdistettiin johtimilla. Johtimet pyrittiin piirtämään mahdollisimman suoriksi, ettei komponenttien sijoittelu piirilevyllä olisi hankalaa ja välttyttäisiin hyppyjohtimien käytöstä.

### 4.2.1 Jännitelähteet

Ajoneuvossa laturin tuottama ja akun varaama jännite vaihtelee hyvin suuresti. Kytkiessä laitteita, jotka kuluttavat paljon virtaa, jännite voi vaihdella jopa useita voltteja. Ohjainlaitteen virtaliitokseen kytkettiin ensimmäiseksi 1A lasiputkisulake positiiviseen syöttöjännitejohtimeen, jotta oikosulkutilanteessa se olisi ensimmäinen rikkoutuva komponentti. Syöttöjännitteen stabilointiin käytettiin  $1500\mu F$  kondensaattoria ja  $10\Omega$  vastusta, jotka muodostivat alipäästösuotimen.

Jännitetasot täytyi muuntaa ohjainlaitteelle sopiviksi syöttöjännitteiksi. Tähän tarkoitukseen päätettiin käyttää jänniteregulaattoreita. Regulaattoriin tarkoitus on välttää jännitevaihtelut pois syöttöjännitteestä eli leikata tietyn tason ylittävä osa pois. Taso määräytyy valitun komponentin perusteella. Työssä käytetyt regulaattorit olivat vakiojännitelähdetyyppejä eli jännite pysyy vakiona kuorman muuttuessa. [14, s. 249; 7, s. 412.]

Regulaattorin tulojännitteen ( $U_{in}$ ) tuli olla  $2-3V$  suurempi kuin halutun lähtöjännitteen ( $U_{out}$ ). Ohjainlaitteen toimintaan vaadittiin  $U_{VCC} = 5V$  ja  $U_{Vahv} = 8V$  positiiviset syöttöjännitteet. Sopiviksi komponenteiksi valittiin Fairchildin valmistamat LM78xx-mikropiiriregulaattorit. Viimeiset kaksi kirjainta tarkoittivat haluttua ulostulojännitettä. Valitsimme siis käyttöön LM7805- ja LM7808-regulaattorit. Valmistajan suosituksesta sisäänmeno- ja ulostulojännitteet täytyi yhdistää  $C = 100nF$  kondensaattoreilla piirin COMMON-pinniin eli maatasoon. Työssä käytetyn mikrokontrollerin valmistaja suosittelee syöttöjännitelähteiksi kahta erillistä regulaattoria piirin analogi- ja digitaaliosioon, jotta saatiin suoritettua tarkempi A/D-muunnos. Liitteessä 2 on ohjainlaitteen virransyöttöjen kytkentäkaaviot. [15; 13, s. 281.]

#### 4.2.2 Mikrokontrolleri

Suoritinta etsittäessä päädyttiin hakemaan ensisijaisesti piirejä Atmelilta, koska näistä oli aiempia hyviä kokemuksia. Atmel on maailmanlaajuinen erilaisten elektroniikan komponenttien valmistaja. Kyseisellä firmalla on valmiita tuotesarjoja erilaisiin sovelluksiin, jopa ajoneuvoteollisuuteen.

Juha Laakon kehittämä ohjainlaite käytti Atmel ATMEGA128-mikrokontrolleria. Sen valintaan vaikuttivat ilmainen ohjelmien kehitysympäristö ja monipuoliset käyttöominaisuudet. Päätimme etsiä vastaavan piirin, jossa on riittävästi liitännämahdollisuuksia ja suora tuki CAN-väylän viestien käsittelyyn. [2.]

Vaikka tämä insinööryö oli jo kolmas versio ohjainlaitteesta, sen kehitys jatkui edelleen työn jälkeenkin ja uusia vaatimuksia liitännöille tulee helposti. Piirin valinta päätettiin tehdä vaaditun tarpeen yli, jotta laajennettavuus olisi helppo toteuttaa. 8-bittinen AT90CAN128 on mikropiiri, joka perustuu samalle pohjalle kuin 8-bittinen ATMEGA128-piiri. Ulkoisia ohjelmoitavia liitännöitä siinä on 53 kappaletta, jonka riittävyys arvioitiin tähän projektiin sopivaksi. Analogidigitaalimuuntimia piirissä on 8 kappaletta, joista kaikilla päästään 10-bitin tarkkuuteen muunnoksessa. Tämä tarkoittaa siis, että sisääntulevan jännitteen ( $U_{Ain}$ ) vaihdellessa välillä  $0-5V$  sitä voidaan lukea 1024 pisteen välein eli noin  $0,005V$  tarkkuudella. Pulssisuhdemoduloituja signaaleja voidaan muodostaa 7 kappaletta piirin sisäisellä rakenteella. Mikrokontrollerista löytyy myös täysi CAN-väylä tuki 2.0 A- ja B-standardeihin, lähtevälle ja tule-

valle sarjamuotoiselle tiedonsiirrolle. Kontrolleri pystyy keskustelemaan 1,0Mbit CAN-väylässä, jos se varustetaan vähintään 8MHz kellopulssilla. [13, s. 1.]

Suorittimen toiminta ilmaistaan LED-valolla, joka on kytketty etuvastuksen kanssa sarjaan yhteen mikrokontrollerin ulostulonastoista. Kun ohjainlaite on normaalissa toimintatilassaan, valo palaa jatkuvasti. Tällä voitiin todeta piirin toimivuus jokaisessa käyttötilanteessa. LED-valoa voidaan myös hyödyntää On Board -diagnoosissa, eli sillä voidaan tarvittaessa osoittaa erilaisia vikatilanteita esimerkiksi vilkkumisnopeutta muuntelemalla. Liitteessä 2 on ohjainlaitteen mikrokontrollerin kytkentäkaaviot. [3, s. 551.]

#### 4.2.3 Operaatiovahvistimet

Myös renkaan ja tien kitkakertoimen muutokset aiheuttavat virran suuruuden vaihtelua. Tämän vuoksi täytyy pystyä määrittämään, millä käyttöasteella moottorit toimivat suurimmalla mahdollisella teholla ja ettei tätä käyttöastetta ylitettäisi. Lähtökohtaisesti katsottiin, että moottoreita voidaan ohjata nopeudella  $v = 40 \frac{mm}{s}$ , jolloin niistä saadaan suurimmalla mahdollisella käyttöasteella maksimaalinen työntö- tai vetovoima ulos. [5, s. 28.]

Suurimmalla käyttöasteella ohjauksen toimilaitteiden valmistaja ilmoittaa moottorin virrankulutukseksi  $I_m = 18A$ , jonka pohjalta lähdettiin miettimään vaadittuja komponentteja virran mittaukseen. Koska moottoreita oli kaksi, virran yhteenlaskettu arvo oli  $I_{tot} = 36A$ . Virran mittaamiseksi ohjainlaitteen piirille asennettiin matalaresistanssiset vastukset sarjaan moottoreiden kanssa, joiden yli olevaa jännitettä mitattiin operaatiovahvistimilla. [5, s. 28.]

Vastusten yli olevaksi jännitehäviön suurimmaksi arvoksi suunnitteluvaiheessa päätettiin  $U_R = 0,2V$ , jotta hukkatehon suuruus ei nousisi liian isoksi. Jännitehäviön ja virran ollessa suurin sallittu, saatiin tehohäviöksi lasketua vastusten yli  $P = 7W$ . Sähkötekniikan peruskaavoilla voitiin myös laskea, että vastuksen arvon tulisi olla  $R = 0,006\Omega$ . Sopivia vastuksia ei suoraan löytynyt valmistajilta, joten päädyttiin usean samanarvoisen vastuksen rinnankytkentään. [14, s. 22.]

Työssä käytetyllä komponenttitoimittajalla oli tarjolla  $P_R = 5W$  tehovastuksia  $R = 0,01\Omega$  vastusarvolla. Näitä vastuksia kytkettiin kolme rinnakkain, jolloin saatiin yhteiseksi tehonkestoksi  $P_{tot} = 15W$  ja kokonaisresistanssiksi  $R = 0,0033\Omega$ . Tavoiteltu vastusarvo on hieman pienempi, mutta kuitenkin se soveltui käyttöön hyvin. Virran arvon ollessa maksimissaan vastusten yli jäi  $U_R = 120mV$  jännite tehohäviön ollessa  $P = 4,3W$ . [14, s. 24.]

Lukituksen virran arvon määrittämiseen käytettiin samaa menetelmää kuin ohjaukseenkin. Alkuperäinen tarkoitus oli käyttää samaa vastuskytkentää kuin ohjauksellekin, mutta lukituksen karamoottori ottaa maksimissaan vain  $I_m = 3A$  virtaa. Tällä virran arvolla vastuksien yli jäävä jännitehäviö olisi ollut vain  $U_R = 10mV$ , jonka mittaus olisi ollut kohtuuttoman hankalaa. Lukituksen virran mittaukseen päätettiin laittaa oma sarjavastus karamoottorille, jonka yli olevaa jännitettä mitattiin. Lähtökohtaisesti käytettiin samoja oletusarvoja komponenttien mitoittamiseen kuin ohjauksen karamoottoreillekin. Komponenttien toimittajalla oli valikoimassaan  $R = 0,082\Omega$  vastus, joka soveltui käyttöön hyvin. Jännitehäviöksi  $I_m = 3A$  virralla saatiin  $U_R = 250mV$ , jolloin vastusta lämmittävä teho oli  $P = 0,8W$ . [14, s. 24]

Vastusten yli oleva jännite täytyi vahvistaa mikrokontrollerille sopivaksi  $0 - 5V$  alueella olevaksi jännitteeksi, jotta voitiin tehdä mahdollisimman tarkka A/D-muunnos. Vahvistimeksi päätettiin hankkia yksinkertaiset operaatiovahvistimet, joilla signaalin vahvistus onnistuu helposti. Operaatiovahvistimet tarvitsevat yleensä kaksipuolisen jännitteen toimintaansa, jotta ne voisivat vahvistaa myös negatiivisia jännitteitä. Käyttökohteessa kuitenkin ei tarvinnut vahvistaa kuin positiivisia jännitteitä. Operaatiovahvistimia etsittäessä päätettiin, että sen tulisi toimia yksipuolisella jännitteellä ja toimia riittävän pienellä offset-jännitteellä. Tällä tarkoitetaan jännitettä, joka vahvistimen sisäänmenossa pitää olla jotta ulostulo on  $0V$ . [14, s. 335 - 337.]

National Semiconductor on maailman johtava digitaal- ja analogiaelektronikan komponenttien valmistaja. Sen tuotevalikoimasta löysimme TLC272C-operaatiovahvistinpiirin. Kyseisellä operaatiovahvistinpiirillä on myös muita valmistajia. Piirin sisään on rakennettu kaksi eri operaatiovahvistinta, jotka toimivat pelkällä positiivisella käyttöjännitteellä. Käyttöjännite voitiin valita



$U_{vahv} = 3-16V$  väliltä riippuen siitä, kuinka suuri ulostulojännite vaadittiin. Käyttöön tarvittiin maksimissaan  $U_{out} = 5V$  ulostulojännite, joten valittiin käytettäväksi syöttöjännitteeksi  $U_{vahv} = 8V \cdot 5V$  syöttöjännitettä ei voitu käyttää, koska vahvistin ei kyennyt vahvistamaan kuin maksimissaan  $0,5V$  päähän syöttöjännitteestä. Tällöin suurin mahdollinen ulostulojännite olisi ollut  $4,5V$ , jolloin lukutarkkuus olisi kärsinyt turhaan. Piirin sisääntulojen offset-jännite oli maksimissaan  $U_{offset} = 20mV$ , joka oli riittävän pieni mitattaessa vastuksen yli syntyvää jännitehäviötä. [16.]

Operaatiovahvistimet kytkettiin toimimaan ei-invertoivalla takaisinkytkennällä, jotta mitattu positiivinen käyttöjännite saatiin vahvistettua myös positiiviseksi ulostulojännitteeksi. Vahvistinpiirin vahvistusarvo eli ulostulo ja sisäänmeno jännitteen suhdeluku voitiin laskea kaavalla 3:

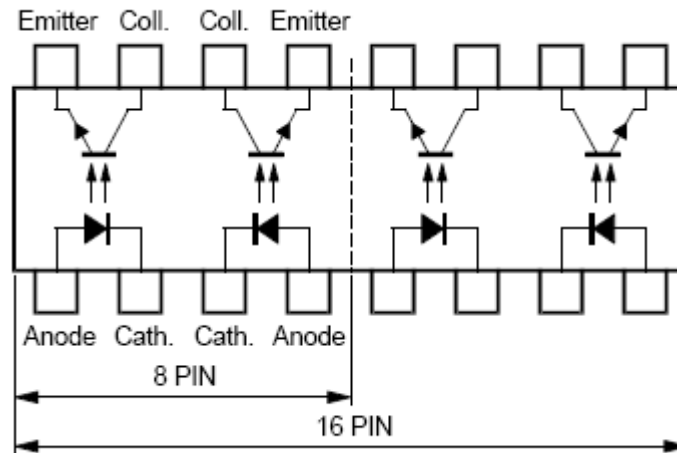
$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} . \quad (3)$$

Tavoiteltu vahvistusarvo oli ohjauksen kytkennälle noin 36, joka saavutettiin sijoittamalla  $R_1$  arvoksi  $10k\Omega$  ja  $R_2$  arvoksi  $350k\Omega$ . Lukituksen jännitehäviön vaadituksi vahvistusarvoksi saatiin laskettua  $a = 21$ . Tämä saavutettiin sijoittamalla  $R_1$  arvoksi  $10k\Omega$  ja  $R_2$  arvoksi  $200k\Omega$ . Liitteessä 2 on kara-moottoreiden virranmittauksen kytkentäkaaviot. [14, s. 343.]

#### 4.2.4 Optoerottimet

Pääteasteiden ohjaukseen käytettävät PWM-signaalit haluttiin erottaa itse pääteasteiden piireiltä omaan maatasoonsa. Pääteasteet toimivat silloin, kun sen signaalijohdin maadoitetaan, joten maatasona haluttiin käyttää H-siltojen omaa maadoitusta. Myös H-silloilta tulevat mahdolliset häiriövirrat signaalijohtimissa haluttiin välttää mikrokontrollerin nastoissa.

Optoerottimen toiminta perustuu LED-valolla toimivaan transistoriin. Kytettäessä LED-valo päälle transistori menee johtavaan tilaan, ja kun valo ei pala, transistori ei johda. Optoerottimen suurin hyöty on siinä, ettei minkäänlaista sähköistä yhteyttä tarvita ohjaavan ja ohjattavan laitteen välillä. (Kuva 10.) Tällä menettelyllä saadaan mahdolliset häiriöt suodatettua tehokkaasti pois.



Kuva 10. Optoerotin sisäinen kytkentä [17]

Käyttöön valittiin Vishayn valmistaman CNY74-4H-optoerotinpiirin. Piiri sisältää yhteensä neljä erillistä optoerotintransistoria. Jokaista transistoria voidaan ohjata omalla syöttöjännitteellä, ja jokainen niistä voi toimia omassa maatasossaan, koska ne eivät ole sisäisesti yhteydessä toisiinsa. Signaalin ohjauspuolelle kytkettiin normaalisti LED-valolle tarvittava etuvastus sopivan virran arvon saavuttamiseksi. Valmistaja ilmoittaa LEDien yli olevaksi jännitteeksi  $U_{LED} = 1,25V$  ja vaadituksi virran arvoksi  $I_{LED} = 10mA$  normaalissa kytkentätilanteessa. Tällöin  $U_{VCC} = 5V$  syöttöjännitteellä etuvastuksen arvoksi saadaan  $R_{etu} = 375\Omega$ . Kuitenkin suurimmaksi virransiedoksi valmistaja ilmoitti  $I_{LED\max} = 60mA$ , jolloin voitiin etuvastukseksi valita  $R_{LED} = 300\Omega$  vastus. Kaikille optoerotin lohkoille voitiin käyttää samaa etuvastusta kytkemällä optoerotinien katodit yhteen ja yhdistämällä etuvastus maadoituksen ja tämän siltakytkennän väliin. Näin voitiin menetellä, koska optoerotin lohkoja ei käytetty samanaikaisesti vaan aktiivisena oli vain yksi kerrallaan. Liitteessä 2 on optoerotinien kytkentäkaaviot. [17.]

#### 4.2.5 CAN-tasomuunnin

Kanta-auton nopeaa CAN-väylää tarvittiin lukea, jotta ohjainlaitteelle saatiin ajonopeustieto ja ohjauspyörän käänkökulma. Väylä perustuu ISO 11898-standardiin. CAN-väylässä on kaksi johdinta joiden jännite-ero on määräävässä tilassa  $0V$  ja ei-määräävässä tilassa  $2V$ . Johtimet ovat kierrettyä parikaapelia, jolloin niihin indusoituu ulkopuolelta samansuuruiset mahdolliset häiriöjännitteet. Tällä menettelyllä häiriöt eivät näy lopullisessa signaalissa,

koska tiedonsiirto perustuu johtimien jännite-eron määrittämiseen. Myöskään kierretty johdinpari ei säteile ulkopuolelle sähkökenttää, vaan johtimet kumoavat toistensa kenttävaikutuksen. CAN-H-johtimen jännitteet ovat ei-määräävässä tilassa  $2,5V$  ja määräävässä tilassa  $3,5V$ . CAN-L-johtimen jännitteet ovat ei-määräävässä tilassa  $2,5V$  ja määräävässä tilassa  $1,5V$ . [8.]

CAN-väylän differentiaalinen jännite täytyi muuttaa mikrokontrollerin käyttämään normaaliin yksijohtoiseen eli ei-differentiaaliseen jännitteeseen, joka vaihtelee mikrokontrollerin maatasen ja syöttöjännitteen välillä. Tätä muunnosta varten tarvittiin erillinen piiri, joka suorittaa muunnoksen automaattisesti ilman ulkoista tahdistusta tai ohjausta. [13, s. 80 - 81.]

Atmelin valikoimasta löysimme ATA6660-CAN-väylämuuntimen. Se on täysin yhteensopiva ISO 11898 -standardin kanssa. Piiri antaa ulos sarjamuotoisen jännitesignaalin, joka voitiin kytkeä suoraan mikrokontrollerin CAN-väylä liityntänoihin. [18.]

Piirin syöttöjännitteenä käytettiin samaa lähdettä, joka ohjasi mikrokontrollerin digitaali-osiota. Syöttöjännite suodatettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti  $C_1 = 100nF$  ja  $C_2 = 47\mu F$  kondensaattoreilla, jotta vältyttiin jännitetasojen vaihteluilta. Tiedonsiirto pinnit RXD ja TXD kytkettiin suoraan mahdollisimman lyhyillä johtimilla mikrokontrolleriin, jotta vältyttiin johtimien muodostaman mahdollisilta elektromagneettisilta häiriöiltä. CAN-väylän CAN-H- ja CAN-L-johtimet kytkettiin mahdollisimman lähelle mikropiirin liityntänoja, jotta differentiaalimuotoinen jännite saatiin tuotua kierretyllä parilla perille asti. Jos olisi käytetty pitkiä suoria johtimia, mahdolliset johtimiin indusoituneet häiriöjännitteet olisivat aiheuttaneet CAN-väylän ennalta arvaamatonta toimintaa. Liitteessä 2 on ohjainlaitteen CAN-tasomuunnin piirin kytkentäkaavio. [18.]

#### 4.2.6 Signaalien suodatukset

Signaalien suodatukseen kiinnitettiin erityistä huomiota, jotta mahdolliset virhetilanteet pystyttiin minimoimaan jo suunnitteluvaiheessa. Myös analogiset signaalit pyrittiin erottamaan hyvin digitaalisista signaaleista. Erityisesti PWM-ohjatun signaalin käyttötajuuuden ollessa  $f_{PWM} = 2,5kHz$  sen eristämiseen kiinnitettiin paljon huomiota, jottei se häiritsisi muun piirin toimintaa.

Syöttöjännitteiden suodatus hoidettiin kondensaattoreilla. Piirikortille tuleva  $U_{bat} = 12V$  syöttöjännite stabiloitiin varaavalla kondensaattorilla, joka tasoitti suurimmat jännitteen vaihtelut. Varaavan kondensaattorin jälkeen syöttöjännitteet suodatettiin pienillä  $100nF$  kondensaattoreilla. Korkeiden taajuuksien suodatuksen jälkeen syöttöjännite tasattiin regulaattoreilla sopiviksi piirin syöttöjännitteiksi. Regulaattorien jälkeen syöttöjännitteet suodatettiin uudelleen  $100nF$  kondensaattoreilla nopeiden taajuuksien varalta. Jokaisen piirin syöttöjännitteenastoihin laitettiin myös  $100nF$  kondensaattorit, jotteivät piirin kupareihin mahdollisesti indusoituneet jännitteet haitanneet logiikkapiirien toimintaa.

Mikrokontrollerin syöttöjännitteet jaettiin kahteen erilliseen osaan. Erillisellä vastuskytkennällä voitiin valita haluttiinko käyttää analogi- ja digitaalipiireille omaa syöttölähdettä vai yhteistä vastuksilla erotettua syöttöjännitettä. Valmistajan suosittelema  $10nH$  kela liitettiin myös piirilevylle valmiiksi jos haluttiin käyttää yhtä syöttöjännitettä mikrokontrollerille. Induktanssin tehtävänä oli muodostaa 2. asteen alipäästösuodin syöttöjännitteen kondensaattorin kanssa. Tällä suodinratkaisulla pystytään suodattamaan korkeita taajuuksia tehokkaammin heti rajataajuudesta alkaen. [13, s. 281.]

Analogiset sisääntulosignaalien jännitearvot täytyi varmistaa diodikytkennöillä, jotta niiden arvot pysyisivät mikrokontrollerin sietämällä tasolla. Tämä toteutettiin kytkemällä diodi päästösuunnassa mikrokontrollerin käyttöjännitteeseen ja toinen diodi estosuunnassa maadoitukseen. Tällä menetelmällä varmistettiin siis jännitteen arvon pysyminen välillä  $-0,7 - 5,7V$ . Analogisignaalien sisääntuloihin lisättiin myös 1. asteen passiiviset alipäästösuotimet eli RC-suotimet. Näillä suotimilla saatiin vahvistuksen reagointinopeutta hidastettua, eli suotimen tarkoituksena oli siis leikata signaalin suuret taajuudet pois. [13, s. 280.]

RC-kytkennän komponenttien arvot mitoitettaisiin määrittämällä moottorin aikavakio  $\tau$ . Moottorin aikavakion laskemiseksi vaadittuja alkuarvoja ei ollut missään saatavilla, joten perus aikavakio määritettiin PWM-signaalin taajuudesta, jolla ohjattiin moottoreita. Aikavakion määrittämiseen voidaan käyttää kaavaa 4.

$$\tau = \frac{1}{2\pi f} \quad (4)$$

Käytimme PWM-signaalin taajuutena  $f_{PWM} = 2,5kHz$ , jolloin sen aikavakioiksi saatiin n.  $\tau = 65\mu s$ . Aikavakion määrittämisen jälkeen päätettiin käyttää komponenttien mitoittamiseen riittävän hitaita aikavakion arvoja, jotta PWM-signaalin tuottamat häiriöt suodattuisivat hyvin. Mitoitukset tehtiin  $1\mu F$  kondensaattoria, jolloin aikavakioiksi saatiin  $\tau = 0,35s$ . Tällä aikavakion arvolla suodatuksen rajataajuudeksi saatiin  $f_{-3dB} \approx 0,5Hz$ , joka oli käyttötarkoitukseen hyvin soveltuva. [19, s. 273 - 274.]

Lukituksen virranmittauksen vahvistinkytkennälle päätettiin käyttää samaa kondensaattoria kuin ohjauksellekin, jolloin aikavakion arvoksi muodostui  $\tau = 0,2s$  ja rajataajuudeksi  $f_{-3dB} \approx 0,8Hz$ . Liitteessä 2 on ohjainlaitteeseen sisääntulevien signaaleiden suodattimien kytkentäkaaviot. [19, s. 273 - 274.]

### 4.3 Piirilevy

Piirikaavion suunnittelun ja toteutuksen jälkeen komponenttien ja kytkentäverkkojen tiedot lähetettiin PADS layout -ohjelmaan. PADS layout -ohjelmalla suunniteltiin fyysinen piirilevy, tehtiin vaaditut johdotukset ja dynaamiset kuparin täyttöalueet. Johdotusten tekoon oli käytettävissä myös PADS router -ohjelmisto, joka laski automaattisesti optimaaliset reititykset halutuilla ehdoilla. Ehtoina voitiin käyttää esimerkiksi lyhintä mahdollista reittiä. Käytännön testeissä kuitenkin todettiin, että ohjelma jättää kytkentöihin liikaa kytkemättömiä yhteyksiä eli hyppylankoja. Suunnittelemamme piirilevy oli kuitenkin hyvin yksinkertainen, joten reititys oli mielekkäämpää tehdä itse. Itse tekemällä voitiin myös miettiä rakennetta insinöörimäisesti ja voitiin tehdä omia haluttuja sääntöjä helposti. [12.]

#### 4.3.1 Komponenttien sijoittelu

Piirilevyn piirto aloitettiin tekemällä piirtoalueelle piirilevyn ääriviivat eli mitoittamalla karkeasti tulevan levyn fyysinen koko. Koko arvioitiin vanhojen ohjainlaite versioiden perusteella. Levyä täytyi hieman kuitenkin kasvattaa,

koska vaadittu virran mittaus tuli viemään paljon pinta-alaa suurien komponenttien vuoksi.

Piirilevyn suunnittelu aloitettiin lajittelemalla komponentit järjestykseen piirilevyn ympärille PADS layout -ohjelman automaattisella toiminnolla. Lajittelun ansiosta pystyttiin helposti hahmottamaan vaadittu tila erilaisille komponenttikokonaisuuksille. Myös elektromagneettisten häiriöiden minimoiminen oli helppo suunnitella komponentteja sijoiteltaessa.

Komponenteista ensimmäisenä sijoitettiin paikalleen tehovastukset. Vastusten koon ja suurien virtojen vuoksi ne haluttiin sijoittaa mahdollisimman kauas mikrokontrollerista ja sen syöttöjännitepiireistä. Seuraavaksi sijoitettiin mikrokontrolleri levyn vastakkaiselle reunalle. Syöttöjännitepiirit ja suodatuskondensaattorit asetettiin levyn yläreunaan omaan osioonsa. Operaatiovahvistinpiiri sijoitettiin syöttöjännitepiirien alapuolelle. Optoerottimet päätettiin asettaa keskelle alareunaan piirilevyä, jotta nopeasti vaihtuvat PWM-signaalit saisivat ympärilleen hyvän maapotentiaalin. CAN-väylätasomuunnin asetettiin levyn oikeaan alakulmaan, jotta väyläjohtimien pituus saatiin minimoitua mikrokontrolleri kotelon sisällä. Suodatinkondensaattorit asetettiin mahdollisimman lyhyillä johtimilla suodatettaviin kohteisiinsa, jolloin voitiin välttyä pitkien johtimien mukanaan tuomista kapasitiivisista häiriöistä.

Kunnes kaikki komponentit saatiin sijoiteltua pakoilleen, alettiin tehdä tilan optimointia, jotta kaikki turha tila tuli hyötykäyttöön. Lopullinen levyn fyysinen koko tuli olemaan  $4550 \times 4000 \text{mils}$  yksikköä eli  $15,6 \times 101,6 \text{mm}$ . Suurin osa levyn pinta-alasta kului kuitenkin virranmittauksen toteutukseen, kuten aiemmin jo todettiin. Liitteessä 3 on piirilevy kuvattuna komponentti- ja pohjapuolelta.

#### 4.3.2 Toteutus

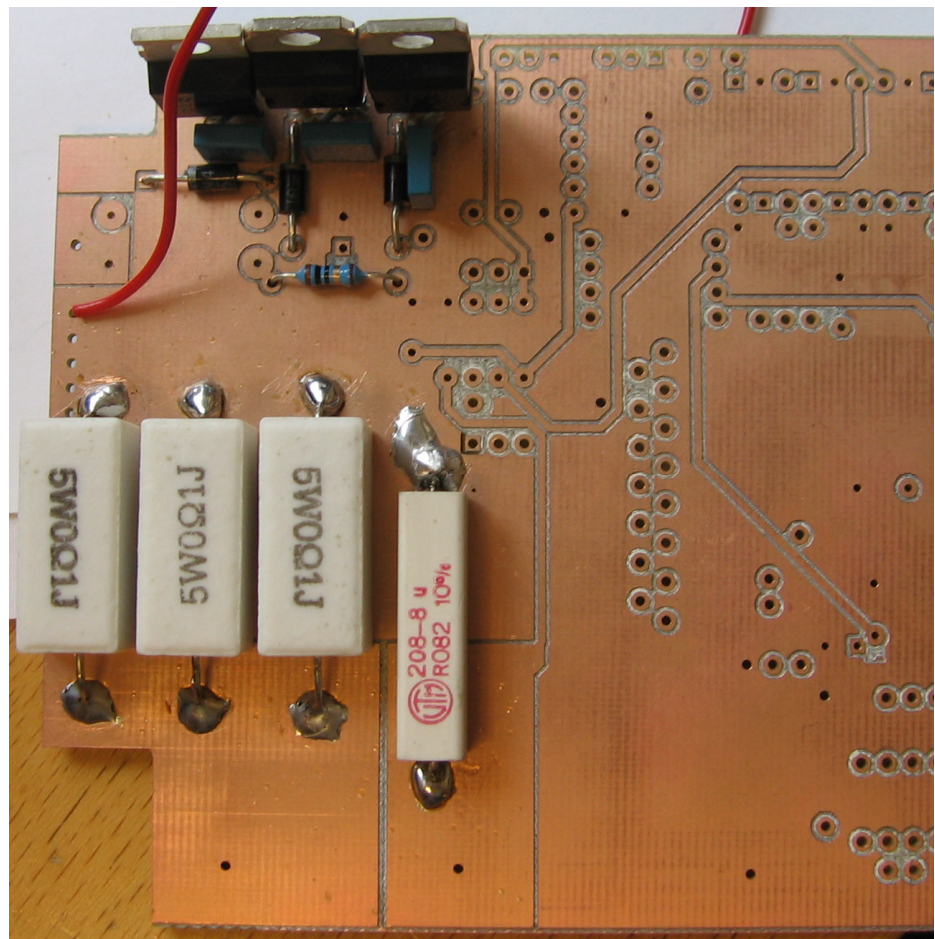
Mikrokontrollerin piirilevyn suunnitteluun käytettiin runsaasti aikaa ja sen rakenne mietittiin huolella, jotta useilta eri kehitysversioilta vältyttiin. Tietokoneella suunniteltiin kuusi erilaista versiota, joissa jokaisessa oli sama pää rakenne. Kuitenkin muutokset olivat suuria, jolloin olisi jouduttu tekemään joka kerta uusi levy. Täältä tilanteelta haluttiin välttyä, koska mikrokontrolleripiirit ovat suhteellisen arvokkaita ja niiden kolvaaminen piirilevyltä toiselle todettiin erittäin työlääksi pinnimäärän vuoksi. Piirit eivät myöskään kestä suurta

lämpötilaa, joka syntyy yleensä helposti piirin irrotusvaiheessa, kun joudutaan lämmittämään kaikkia piirin jalkoja yhtä aikaa.

Kun lopullinen levy oli suunniteltu ja jyrstetty valmiiksi, aloitettiin levyn kokoaminen. Työn valvojan ehdotuksen mukaisesti levy jaettiin eri lohkoihin. Lohkoihin jako tehtiin seitsemään eri kokonaisuuteen seuraavasti järjestyksessä: tehonmittauksen toiminta, digitaaliset käyttöjännitteet, analoginen käyttöjännite, operaatiovahvistimien käyttöjännite, operaatiovahvistimien toiminta, alipäästösuotimien toiminta ja itse mikrokontrollerin toiminta.

Tehonmittauksen vastukset kolvattiin piirilevylle ensimmäiseksi, koska niiden hyvän kontaktin aikaansaamiseksi kuparipintaan tarvittiin korkea kolvauslämpötila ja suuri tilavuus tinaa. Tällä voitiin varmistua, että herkät komponentit eivät rikkoutuneet lämpötilan vaikutuksesta.

Järjestelmään asennettiin seuraavaksi jännitelähteet, tulevan syöttöjännitteen häiriönpoistosuodin ja operaatiovahvistimet (kuva 11).



Kuva 11. Piirilevyn kokoaminen aloitettiin kiinnittämällä regulaattorit ja virranmittausvastukset.

Tämän vaiheen jälkeen testattiin virran mittauksen toimintaa simuloimalla erilaisia virtoja tehovastuksien läpi.

Myös alustava operaatiovahvistimien kalibrointi suoritettiin tässä vaiheessa. Kalibrointi suoritettiin asettamalla suurin haluttu mitattavan virran suuruus eli syötettiin operaatiovahvistimelle tasajännitettä laboratorioteholähteestä. Sääto suoritettiin tarkkuuspotentiometreistä asettamalla ensin offset-jännite nolnaan ja tämän jälkeen säädettiin vahvistus niin, että vahvistimen ulostuloon saatiin noin  $U_{out} = 5V$  jännite. Tämä jännite on suurin mitattavissa oleva arvo mikrokontrollerin ADC-muuntimessa. Jännitteen oikeellisuus tarkastettiin säätämällä laboratorioteholähteestä tasajännitettä koko mittausalueella. Molemmille virranmittaus osioille tehtiin oma kalibrointi.

Kalibroinnin jälkeen jatkettiin piirilevyn kokoamista asentamalla siihen alipäästösuotimet ja mikrokontrollerin tarvitsema kide. Lopuksi levyille asennettiin vielä itse mikrokontrolleri.

Kokoamisen jälkeen levyn juotokset tarkastettiin vielä suurennuslasilla ennen käyttöjännitteen kytkemistä. Heikot juotokset korjattiin ja todettiin levyn olevan visuaalisesti valmis seuraavaan testivaiheeseen. Käyttöjännitteet kytkettiin laboratorioteholähteestä, josta voitiin säätää portaattomasti syötettävän virran maksimiarvoa. Tällä voitiin välttyä mahdollisesta piirin rikkoutumiselta, jos siinä olisi ollut mahdollinen oikosulku.

Virran kytkemisen jälkeen näimme piirin kuluttavan noin  $I = 91mA$  virran, joka oli normaali arvo (kuva 12). Syöttöjännitteiden oikeellisuus mitattiin suoraan mikrokontrollerin käyttöjännitepinneistä ja todettiin niiden olevan kunnossa.





Kuva 12. Mikrokontrollerin koekäynnistys laboratorioteholähteellä

Mikrokontrolleriin kokeiltiin myös ottaa tietokoneen ohjelmointijohdolla yhteys, joka muodostui välittömästi.

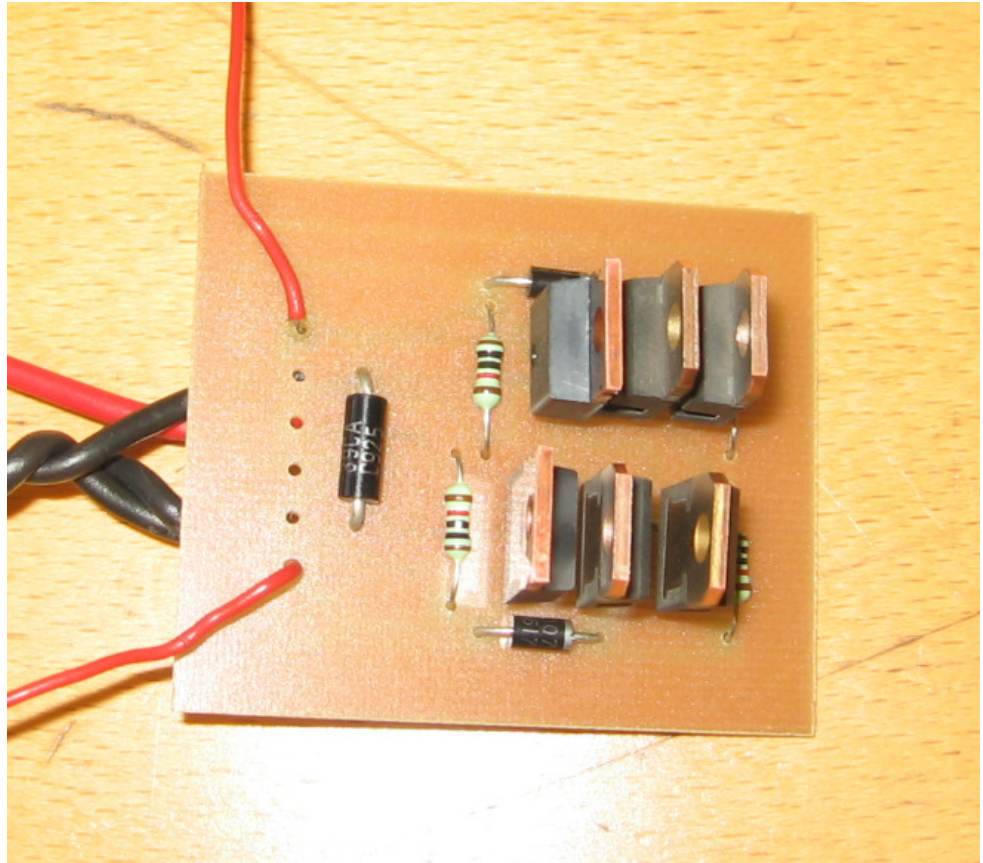
Ensimmäinen ohjausohjelman demo tehtiin ohjainlaitteelle. Sen tarkoituksena oli osoittaa AD-muunnoksen toiminta eli lukea potentiometrin arvoa. Tällä arvolla ohjattiin piirin PWM-generaattorin tuottamaa pulssisuhdetta. PWM-signaalien muoto mitattiin oskilloskoopilla sekä ennen opteroitinta että sen jälkeen. Signaalit olivat odotetunlaiset eli pieni katkaisuviive oli nähtävissä opteroittimen ulostulossa. Tätä seikkaa ei kuitenkaan tässä vaiheessa nähty haitalliseksi, koska lopullinen säätö tehtäisiin takaisinkytkettynä sisääntulosignaalien perusteella eli kiinteitä arvoja ei tulisi käyttämään.

## 5 PÄÄTEASTEET

Pääteasteina toimilaitteiden ohjaukseen käytettiin H-siltakytkentää. H-siltakytkennällä voidaan yhdellä tasavirtakäyttöjännitteellä ohjata tasavirtamoottoria molempiin pyörimissuuntiin. H-silta on hyvin yleisesti käytetty erilaisten tasavirtamoottoreiden ohjauksessa. [19.]

## 5.1 Suunnittelu

Aiemmin Juha Laakon insinööriyössä kehitetty H-silta (kuva 13) todettiin hyvin toimivaksi ratkaisuksi, mutta kotelointi ja jäähdytys haluttiin kehittää uudelleen. Tämän vuoksi päätettiin myös H-siltojen piirilevyt suunnitella uudelleen.



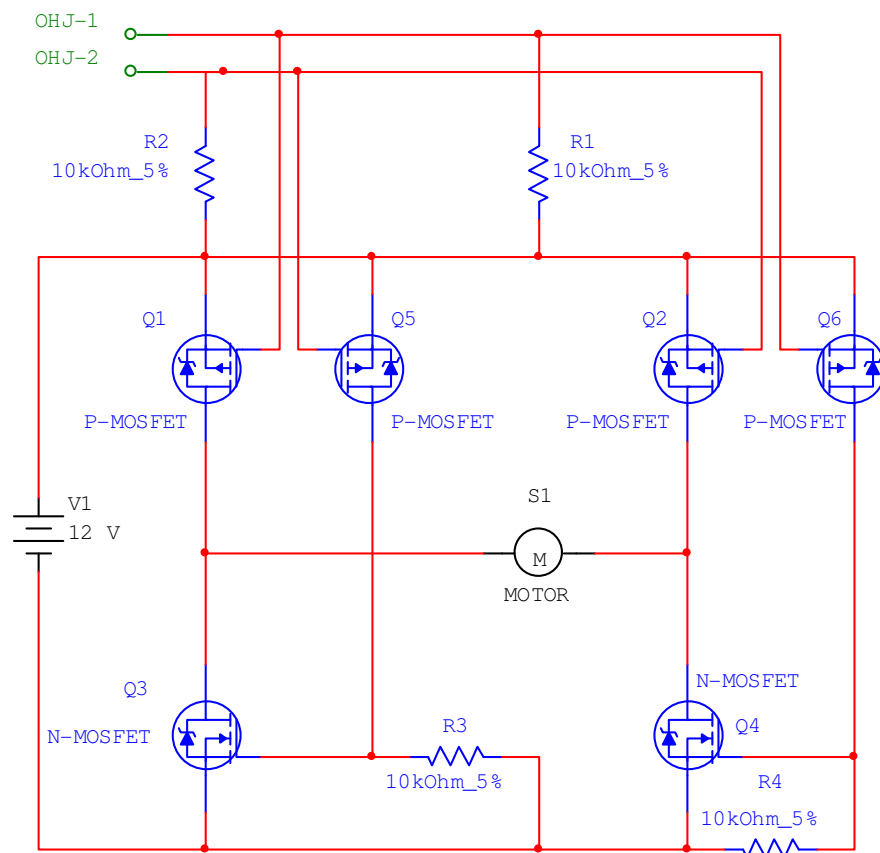
*Kuva 13. Juha Laakon suunnittelema H-silta*

Pääteasteiden suunnittelu aloitettiin valitsemalla sopivat komponentit käyttötarkoitukseen. Toimilaitteita ohjaamiseen vaadittiin nopeasti tilan muutokseen kykenevät tehopääteasteet. Nopea tilan muutos oli tarpeellinen, jotta pääteasteita voitiin ohjata PWM-signaalilla suurella taajuudella. Jokaista toimilaitetta ohjattiin omalla H-sillallaan, jotta toimintavarmuus saatiin pidettyä riittävän suurena. Tehon siirtokyky eli pääteasteiden matala sisäinen resistanssi oli myös avainasemassa, koska tiedettiin että pääteasteiden tuli pystyä sietämään 18A jatkuvaa virtaa. Jos resistanssi olisi ollut liian iso, hukkatehon eli komponentteja lämmittävän tehon suuruus olisi ollut huomattavan suuri.

Suunnitteluun käytettiin samoja ohjelmistoja kuin ohjainlaitteen toteuttamisessakin. Piirikaavion piirron valmistuttua, kytkentää simuloitiin myös Multisim 7 -ohjelmistolla. Simuloinnin tarkoituksena oli lähinnä hakea suurin mahdollinen taajuus jolla siltaa pystyttiin vielä ohjaamaan, jotta sen toiminta ei muuttunut epävakaaksi.

## 5.2 Piirikaavio

H-sillan toiminta perustuu H-kirjaimista muodostuvaan N- ja P-MOSFET-tehotransistorisiltaan. Transistoreja tarvitaan kytkennässä vähintään neljä kappaletta, mutta yleensä niitä on kuusi. Kahdella N-kanava transistorilla ohjataan maadoitusta ja kahdella P-kanava transistorilla ohjataan moottorin napoja käyttäjännitteeseen. Kaksi P-kanavaista transistoria voidaan laittaa ohjaamaan N-kanavaisten transistorien kytkeytymistä. Tällä kytkennällä saavutetaan se etu, että molempia transistorityyppejä voidaan ohjata yhteisellä signaalilla. P-kanavaiset transistorit vaativat ylösvetovastukset käyttäjännitteeseen ja vastaavasti N-kanavaiset maadoitukseen, jotta ne eivät voi mennä johtavaan tilaan missään olosuhteissa itsestään. (Kuva 14.)



Kuva 14. H-sillan kytkentäkaavio

### 5.2.1 MOSFET- transistorit

P-MOSFETeiksi valittiin jo aiemmin käytössä olleet International Rectifierin valmistamat IRF4905-teho-MOSFETit. Jatkuvaksi virrankestoksi oikeanlaisella jäähdytyksellä valmistaja lupaa virrankestoksi  $I_{MAX} = -52A$   $100^{\circ}C$  lämpötilassa. Resistanssiksi D- ja S-navan välille luvataan  $R_{DS} = 0,02\Omega$  kytkentätilanteessa. Suurin mahdollinen toimintalämpötila komponentille on  $t_{MAX} = 175^{\circ}C$ . [20.]

N-kanava-MOSFETiksi valittiin niin ikään jo aiemmin käytössä hyväksi todetut ST microelectronics:n valmistamat STP50NE10L-teho-MOSFETit. Virrankestoksi valmistaja lupaa  $I_{MAX} = 35A$   $100^{\circ}C$  lämpötilassa. D- ja S-navan välinen resistanssi on  $R_{DS} = 0,025\Omega$  kytkentätilanteessa. Kyseistä MOSFETia käytetään yleisesti autoteollisuudessa esimerkiksi polttonestesuuttimien ohjaukseen. [21.]

Molemmat MOSFET-tyypit otettiin käyttöön TO-220-koteloinnilla, jolloin jäähdytyslevyjen asennus onnistui helpoimmalla mahdollisella tavalla. Jäähdytyksen toteutus on selostettu luvussa 5.3.1, koska sen suunnittelu vaikutti oleellisesti piirilevyn valmistukseen.

### 5.2.2 Suojaukset

Moottorin keloihin indusoitunut jännite täytyi myös ottaa huomioon nopeassa PWM-ohjauksessa. Katkaisutilanteessa indusoitunut jännite pyrkii vastustamaan muutostaan, jolloin sen johtimien välille muodostuu usean sadan voltin suuruinen jännite. Moottorin kanssa rinnakkain asennettiin Fairchild Semiconductorin kaksisuuntainen transienttisupressori P6KE39CA. Kaksisuuntainen tarkoittaa sitä, että komponentin napaisuudella ei ole merkitystä, vaikka suodatettavalla kohteella sellainen olisikin. Käytännössä komponentin sisäinen rakenne perustuu kahteen zener-diodiin, jotka ovat kytketty rinnakkain vastakkaisiin suuntiin. Käyttöön valittu transienttisupressori alkaa toimia yli  $V_{BR} = 34V$  jännitteellä ja leikkaa kaikki siitä yli menevät jännitteet pois. Komponentti pystyy vastaanottamaan jopa  $P_{PPM} = 600W$  tehopiikin, jonka jaksonaika on  $t_p = 1ms$ . [22.]

MOSFETeissa oli sisäänrakennetut zenerdiodit, joiden ansiosta ne eivät tarvitse erillisiä suojadiodeja [20; 21]. Sisääntulevat ohjaussignaalit olivat

galvaanisesti erotettuna ohjainlaitteen levystä optoerottimilla, joten niitä ei tarvinnut erikseen suodattaa pääteasteiden levyllä. Liitteessä 4 on yhden pääteasteosion kytkentäkaavio.

### 5.3 Piirilevy

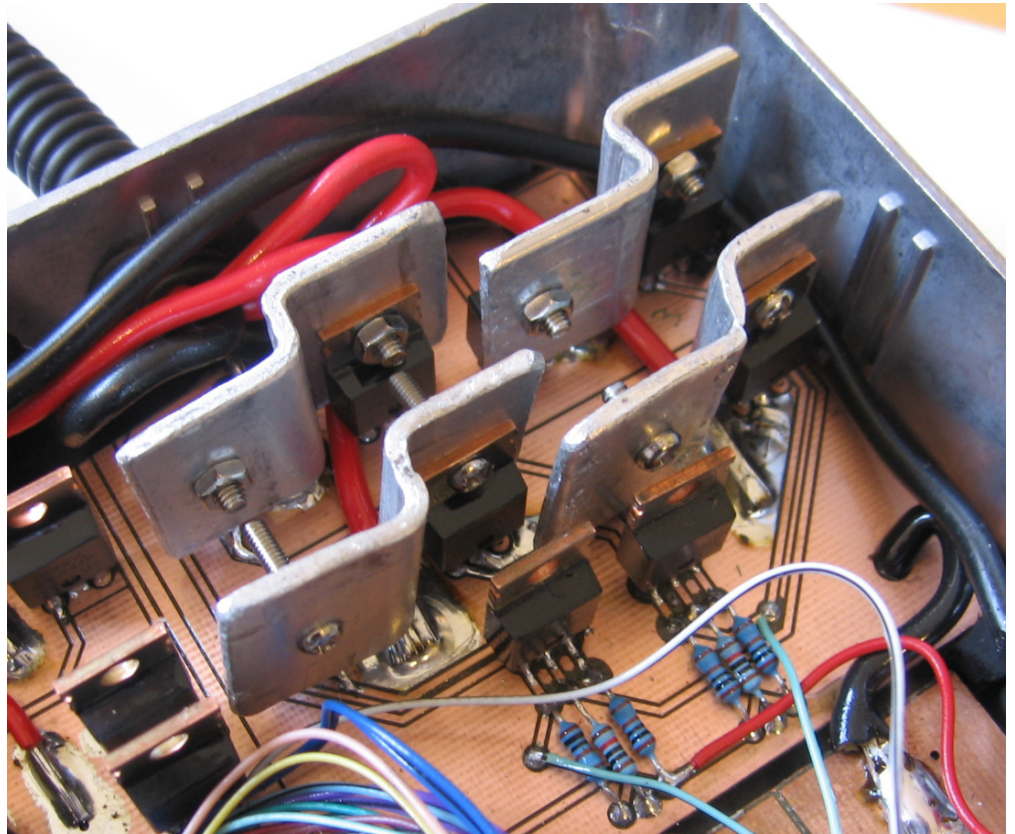
Piirilevyn fyysisessä toteutuksessa käytettiin samoja työkaluja ja välineitä kuin pääteasteiden levyjen toteutuksessa. Piirilevynä käytettiin tavallista blankkoa piirilevyä, jossa kuparipinnoituksen paksuus oli  $35\mu m$ .

#### 5.3.1 Suunnittelu

Pääteasteiden piirilevyn suunnittelun lähtökohtana pidettiin välttää komponenttien sijoittelua ja kaikkien hukka-alueiden hyödyntämistä tehokkaasti. Tällä tavoin varmistuttiin siitä, että voitiin helpommin välttää mahdollisia lämpöongelmia.

MOSFET-transistorin jäähdytyslevy on yleisesti kytketty komponentin DRAIN-nastaan. Tästä johtuen päätettiin moottoreita ohjaavat FET-parit kytkeä yhteiseen jäähdytyslevyyn, jolloin erillistä galvaanista erotusta ei tarvittu komponenttien välille. Jäähdytys olisi myös voitu toteuttaa jokaiselle komponentille erikseen. Tätä ei nähty kuitenkaan tarpeelliseksi, koska FET-parista on käytössä vain toinen samaan aikaan, mikä tarkoittaa sitä, ettei levy lämmitä kuin toinen FET-transistori vuorollaan. [20; 21.]

Vierekkäiset FET-parit aseteltiin toisiinsa nähden  $180^\circ$  kulmaan, jotta jäähdytyslevyjen pinta-alaa saatiin helposti kasvatettua. FET-parien ollessa noin  $5mm$  etäisyydellä toisistaan jäähdytyslevyjen pinta-alaksi saatiin noin  $A_{tot} = 12cm^2$ . FET-transistorit veivät kuitenkin tästä pinta-alasta oman jäähdytyslevynsä koon joka arvioitiin olevan noin  $1cm^2$ , jolloin todelliseksi jäähdytyspinta-alaksi saatiin  $10cm^2$ . Jäähdytyslevyt kiinnitettiin FETien omiin jäähdytyslevyihin  $M3 \times 10$  koneruuveilla ja väliin laitettiin piitahnaa lämmönsiirron parantamiseksi (kuva 15). Lopullinen MOSFETien jäähdytystehon riittävyys testataan testausjaksossa syksyllä 2007, mutta testien sisältöä ei esitellä tässä insinööriyössä.



*Kuva 15. Pääteasteiden jäähdytyslevyt*

Johdinliitännät joilla ohjattiin pääteasteita, eli signaalijohtimet, sijoitettiin pääteasteen levyllä mahdollisimman lähelle mikrokontrollerin levyä. Tällä menetelmällä välttyttiin pitkiltä hyppyjohtoilta. Pitkät hyppyjohtimet olisivat saattaneet aiheuttaa piirin ennalta arvaamatonta toimintaa, niihin indusoituvien jännitteiden takia. Myös johtimien nopea ohjaussignaalin taajuus olisi säteilyt häiriötä ympäristöönsä.

Moottoreille lähtevät virtajohtimet sijoitettiin piirilevyn vastakkaiseen pätyyn eli mahdollisimman kauas mikrokontrollerin levystä. Tällöin voitiin myös kotelon sisälle tulleiden johtimien määrää pienentää huomattavasti. Pääteasteiden maadoitukset kytkettiin omien tehonmittausvastustensa kanssa sarjaan. Pääteasteiden levylle maadoituspisteet sijoitettiin vastaaviin kohtiin kuin mikrokontrollerin levylläkin, jolloin voitiin minimoida myös niiden tarvitsemien hyppyjohtimien pituus. Käyttöjännite pääteasteille tulee suoraan akulta 40A sulakkeen takaa, josta se vietiin myös mikrokontrollerin levylle hyppyjohtolalla.

### 5.3.2 Toteutus

Pääteasteiden piirilevyjen toteutus tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulun piirilevyjyrsimellä. Piirilevystä tehtiin ensin koevedos, jotta voitiin nähdä komponenttien sijoittelu käytännössä.

Ensimmäisen version tarkoitus oli vain toimia ”proto kappaleena”, jolla ohjattiin moottoreita koepenissä. Koepenissä mitattiin myös pääteasteiden levyn oikean toimimisen. Moottoria ohjattiin PWM-signaalilla eri pulssisuhteilla ja mitattiin oskilloskoopilla jännitteitä eri pisteistä. Moottorien käämien yli ollut jännite todettiin olevan hieman epämuodostunut, joka oli täysin odotettua. Kuitenkaan käämien yli ei esiintynyt satunnaisia jännitepiikkejä eli voitiin todeta suojauksen riittävyys myös käytännössä. Pääteasteilla kokeiltiin ohjata myös hehkulamppua eli tavallista resistiivistä kuormaa, jolloin todettiin signaalinen olevan täysin identtinen ohjaussignaalin kanssa. Tällä saatiin helposti varmistus siihen, että suunniteltu pääteasteen malli soveltui hyvin käytötarkoitukseensa.

Lopullinen versio, joka päätettiin ottaa todelliseen ajoneuvo käyttöön, sisälsi yhteensä kolme H-siltaa. Molemmille akselia ohjaaville toimilaitteille oli omat pääteasteet ja yksi H-silta jolla ohjattiin lukon toimilaitetta. H-sillat sijoitettiin lopulliselle levyille siten että akselia ohjaavat H-sillat sijaitsivat levyn keskellä ja yläreunassa. Levyn alareunaan sijoitettiin lukon ohjauksen H-silta, koska tälle jouduttiin tekemään pisin hyppyjohto maadoitukseen. Pitkään hyppyjohtoon ei haluttu suuria virtoja mahdollisten häiriöiden estämiseksi. Liitteessä 5 on kuvattuna suunniteltu pääteasteipiirilevy komponentti- ja pohjapuolelta.

## 6 KOTELOINTI

Koteloinnin oli tarkoitus suojata herkkää ohjainlaitteen ohjauselektroniikkaa ulkoisilta mekaanisilta rasituksilta ja lialta. Valintakriteerinä käytettiin kotelon kokoa ja valmistusmateriaalia. Lähtökohtaisesti kotelosta haluttiin myös IP68-luokan täyttävä rakenne, jotta se soveltuisi ajoneuvokäyttöön hyvin. IP68-luokitus määrittelee, että laitteen tulee olla täysin kosketussuojattu, täysin pölysuojattu ja kestää pysyvän upotuksen. [23.]

## 6.1 Kotelotyypin valinta

Valmistusmateriaaliksi valittiin alumiini sen helpon muokattavuuden takia. Se kestää myös ulkoiset mekaaniset rasitukset erinomaisesti verrattuna esimerkiksi muoviseen koteloon. Alumiini myös estää elektromagneettisten säteilyjen pääsemisen ohjainlaitteen sisälle ja toisaalta sieltä ulospäin. Alumiininen kotelo valittiin käyttöön myös siksi, että koteloa voitiin tarvittaessa hyödyntää pääteasteiden jäähdytykseen.

Komponenttitoimittajalta Partco OY:ltä hankittiin käyttöömme sopiva alumiinikotelo ulkomitoiltaan 55 x 121 x 171 mm. Koteloon voitiin asentaa noin 110 x 160 mm:n piirilevy, joka oli käyttöömme juuri sopiva. Kotelon kansi tiivistettiin erillisellä tiivistenauhalla, jotta saavutettiin mahdollisimman hyvä eristyskyky ulkoista likaa vastaan. (Kuva 16.)



Kuva 16. Ohjainlaitteen kotelo

## 6.2 Signaaliliittimet

Signaalien viemiseksi ohjainlaitteen sisään ja sieltä ulos tarvittiin yhteensä noin 30 signaalijohdinta. Päätimme käyttää eteen ja taakse vedetyille johdotarjoille omia signaaliliitäntöjä. Liittimiksi valittiin esimerkiksi tietokoneen rinnakkaisportissa käytetty liitin tyypiltään D25, koska siinä laajennettavuus ja signaalien suojaus on erittäin hyvä. Liitimessä on 25 signaalijohdinta ja



metallinen ulkokuori, jota käytetään suojavaippana elektromagneettia häiriötä vastaan maadoittamalla se ohjainlaitteen runkoon. Kotelon kylkeen jysyttiin naaraspuoleisille liittimille sopivat reiät ja kiinnitettiin ne koteloon tietokone-liitinruuveilla. Ruuvien sisään oli jysyttetty M2-kierre, jolla D25 urospuolen johdinliitin kiinnitetään tukevasti koteloon.

CAN-väylän liitintään suunniteltiin koteloon oma liitintä, jotta väylän johtimet oli mahdollista viedä kierrettynä parina aina piirilevyille asti. Oma liitintä tarvittiin, koska käytössä olleessa D25-signaalijohtosarjassa ei ole kierrettyä paria johtimien välillä. Liitimeksi suunniteltiin RJ45-verkkokaapeliliitännät, joita on markkinoilla saatavilla hyvin erilaisia eri käyttökohteisiin. Kotelon suunnittelun loppuvaiheessa CAN-väylän lopullinen hyödyntäminen ei ollut vielä ajankohtainen, joten liitännät päätettiin tehdä vasta kun ohjainlaitteen ohjainohjelmaa saataisiin kehitettyä riittävän pitkälle.

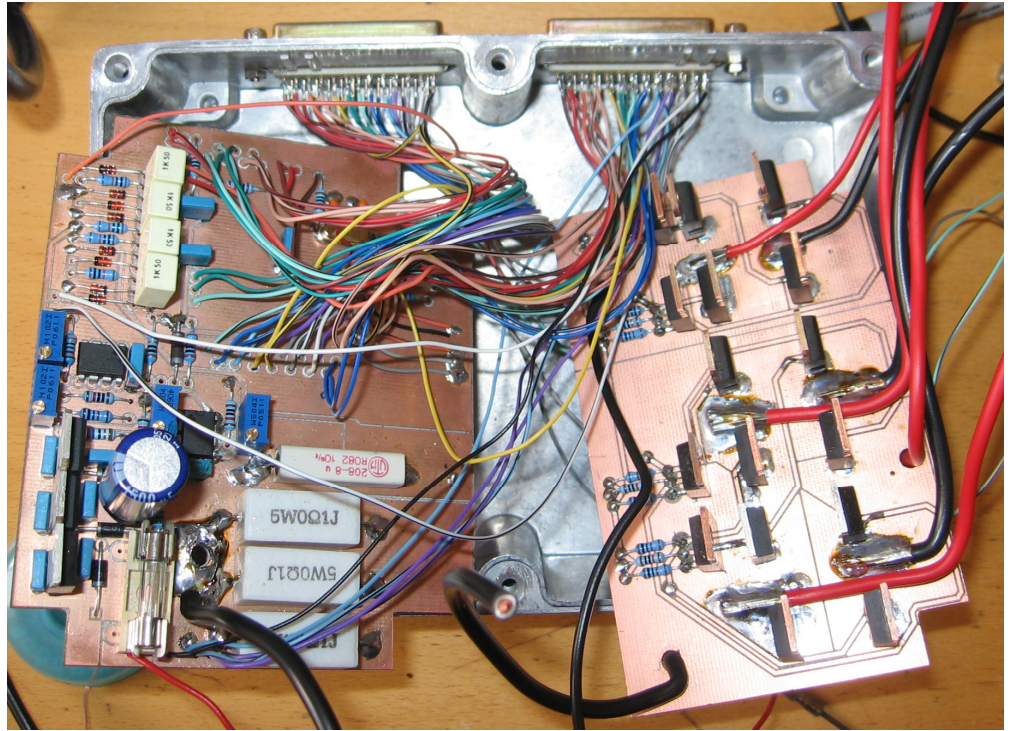
### 6.3 Virtaliittimet

Suuria virtoja sisältävät kaapelit vietiin kotelon sisälle suoraan johtimilla. Johtimia tarvittiin yhteensä kahdeksan kappaletta. Johtimet päätettiin jakaa kahteen nippuun joista toinen sisälsi ohjauksen karamoottorien virtajohdot. Toisessa nipussa vietiin ohjainlaitteen syöttövirta sisälle ja tuotiin lukituksen toimilaitteen ohjausvirta ulos. Johtoniput suojattiin  $d = 17\text{mm}$  haitariputkella ja kutistusukalla. Virtajohtimien päihin asennettiin DEUTCHin valmistamat DTP-liittimet, jotka ovat hyvin yleisesti käytössä ajoneuvoteollisuudessa. Kotelon läpivienneissä käytettiin pyöreitä  $d = 20\text{mm}$  läpivientikumeja.

### 6.4 Ohjainlaitteen kokoaminen

Kun ohjainlaitteen ja pääteasteiden piirilevyt olivat suunniteltu, valmistettu ja kotelointityyppi liitintöineen valittu, tehtiin järjestelmän loppukasaus. Kokoaminen aloitettiin kolvaamalla signaaliliitintöjen 50 hyppyjohdinta kiinni D25-liittimiin ja kiinnittämällä liittimet koteloon. Johtimet kiinnitettiin ohjainlaitteen piirilevyyn oikeille paikoilleen. Pääteasteiden piirilevyille kolvattiin virtaliittimet huolellisesti käyttäen riittävän suurta lämpötilaa kylmäjuotosten välttämiseksi. Lopuksi levyjen väliset hyppyjohtimet eli PWM-signaalijohtimet ja ohjainlaitteen virtajohdin kolvattiin kiinni. Tämä vaihe tehtiin viimeisenä, jotta PWM-signaalijohtimet saatiin mahdollisimman lyhyiksi (kuva 17). Lopuksi levyt kiinnitettiin kumisten jalkojen päälle kotelon pohjalle. Kumiset jalat tulivat

myös levyn yläpuolelle. Jalkojen tarkoitus on pitää piirilevyt paikoillaan, kun kotelo suljetaan ja kansi puristaa kumit hieman kasaan.



Kuva 17. Ohjainlaitteen kotelon valmistus ja piirilevyjen asennus

## 7 JOHDINSARJAT

Johtosarjoja suunniteltaessa pidettiin lähtökohtana sitä, että johtimien määrä tulisi olla mahdollisimman vähäinen ja erityisesti suuria virtoja sisältävien johtimien pituus tuli olla mahdollisimman lyhyt.

Virtajohdinkaaviota suunniteltaessa mietittiin alustavasti vaadittujen virtajohdinten paksuus. Suurin virta jota ohjainlaite käytti ohjauksen karamootoreiden maksimi kuormalla, oli 18A yhtä moottoria kohden eli yhteensä 36A. Tämän suuruisen virran siirtämiseen eli ohjainlaitteen päävirransyöttöön päätimme käyttää n.  $3\text{mm}^2$  kuparipinta-alaltaan olevia johtimia. AWG (American Wire Gauge) standardin mukaan kaapeli vastasi luokan 12 kaapelia 18 x 25. Tämä tarkoitti, että johtimessa on 18 kappaletta AWG 25 -luokan kuparisäiettä. AWG 25 -luokan yhden kuparisäikeen pinta-ala on noin  $0,163\text{mm}^2$ . Yhteenlasketuksi pinta-alaksi saatiin siis  $3,09\text{mm}^2$ . [24, s. 679.]

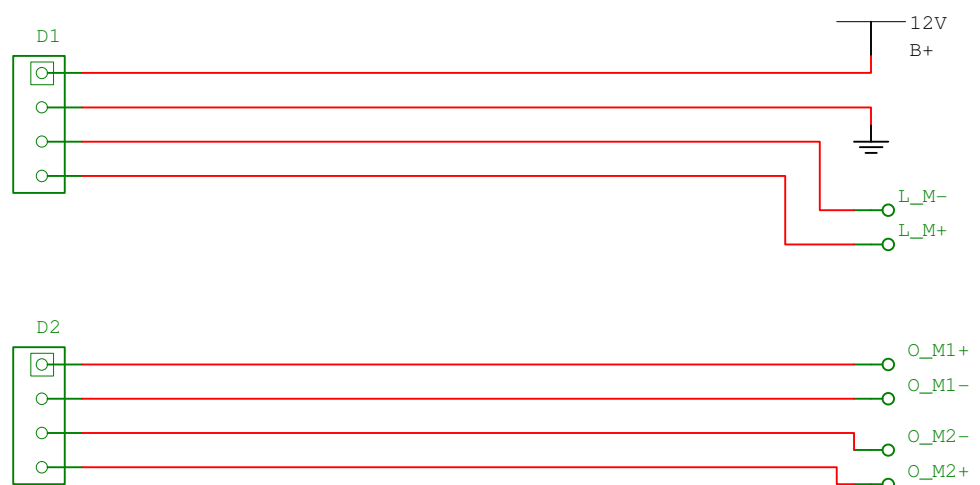
Ohjainlaitteen virransyöttöön eli B+ johtimeen lisättiin myös pääsulakkeeksi 40A AGU -lasiputkisulake. Tällä voitiin varmistua järjestelmän turvallisesta

käytöstä myös, jos ohjainlaitteen toiminnassa syntyisi oikosulkutilanne. Ajoneuvokäytössä myös johtimien kulumisesta syntyvä mahdollinen maavuoto otettiin huomioon ja sulake sijoitettiin mahdollisimman lähelle ajoneuvon akkua, jotta sen antama suoja oli mahdollisimman hyvä.

Lukituksen karamoottorin suurin käyttämä virta oli  $3A$ , joten sen virtajohtimiksi valittiin n.  $1mm^2$  kuparipinta-alaltaan olevat johtimet. Ohjainlaitteen syöttövirtajohtimet ja lukituksen karamoottorin virtajohtimet sijoitettiin saman  $17mm$  haitarisuojaputken sisään. Moottorille menevät johtimet erotettiin omaksi nipuksi pääsulakkeen vieressä ja vedettiin muiden taka-akselille menevien johtimien kanssa saman  $40mm$  haitarisuojaputken sisään.

Ohjauksen karamoottoreiden virransyöttöjohtimiksi valittiin n.  $2mm^2$  kuparipinta-alaltaan olevat johtimet, joka vastasi AWG luokan 14 johdinta  $18 \times 27$ . AWG 27 luokan johtimen pinta-ala oli  $0,102mm^2$ . Tällöin yhteenlasketuksi pinta-alaksi saatiin  $1,94mm^2$ . Moottoreille menevät johtimet suojattiin omalla  $17mm$  haitarisuojaputkella ja vedettiin taka-akselille samassa sarjassa toisten johtimien kanssa. [24, s. 679.]

Virtaliittimiksi valittiin DEUTCHin DTP-sarjan naaraspuolen liitin D1- ja D2-liitokseen. Naaraspuoleisessa liittimessä johtimien jännitteelliset osat oli suojattu ulkopuolisilta kosketuksilta, joten liittimien mahdollisesti auetessa ne eivät päässeet aiheuttamaan tahatonta vahinkoa. Johdinkaaviossa olevien DEUTCH-liittimien 1. pinnit on merkitty neliöllä (kuva 18).



Kuva 18. Virtajohdinkaavio

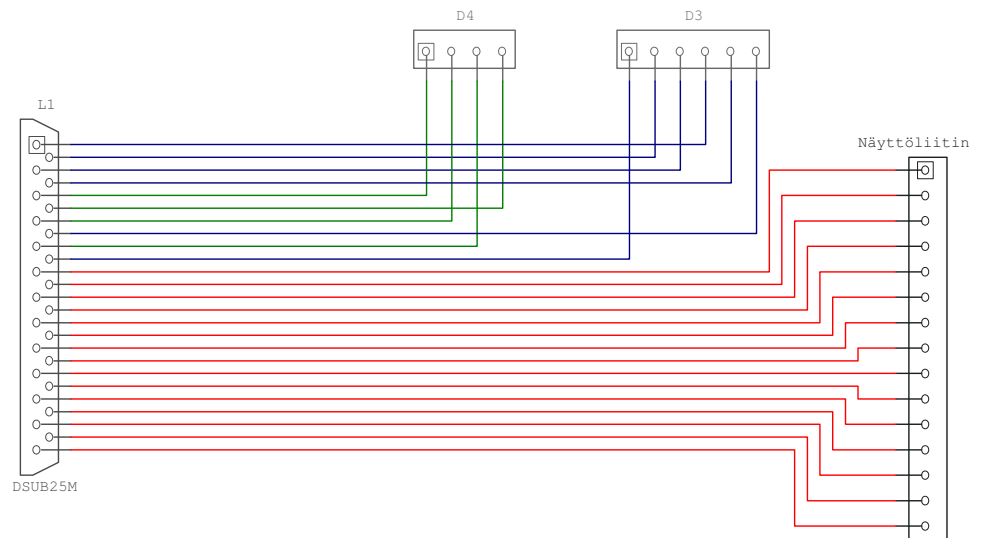
Signaalijohtimet päätettiin jakaa kahteen eri johtosarjaan L1 ja L2. Ohjainlaitteelta täytyi viedä ajoneuvon kojelautaan vähintään 21 johdinta infonäytön ohjaamiseksi ja kuljettajan ohjauspyyntöjen lukemiseksi. Taka-akselille täytyi viedä 17 johdinta anturien lukemiseksi ja ohjainlaitteen ohjelmointiin. Johdinsarjoiksi valittiin valmis 15m pitkä suojattu D25-välijohto jonka päissä oli urospuoleiset liittimet. Johdin asennettiin kulkemaan ajoneuvon vasemmassa kynnyskotelossa, jossa ajoneuvon muutkin johdinsarjat kulkivat. Ylijäänyt pituus ja toisen pään liitin käytettiin taka-akselin signaalijohdinsarjan valmistukseen.

L1-johdinsarja koostui taka-akselin ohjainlaitteeseen kytkettävästä D25-urosliitimestä ja kolmesta erilaisesta liittimestä ajoneuvon kojelaudassa (kuva 19). Kojelaudassa sijaitsevien kuljettajan käyttökytkimien liitoksena D3 käytettiin DEUTCHin DTM 6-pinnistä liitintä. Pinnit 5 ja 6 toimi maadoitukseksi käyttökytkimille. Pinnit 2, 3 ja 4 käytettiin maadoitussignaalin eli kunkin kytkimen painotiedon välitykseen ohjainlaitteelle. Käyttökytkimissä oli kaksitoiminen kytkentä eli toinen osa kytki ja toinen osa katkaisi kun painiketta painettiin. Kytkimen katkaisua hyödynnettiin kuljettajan toiveen varmistamiseksi, jotta voitiin välttyä mahdollisilta kaapeliin tulevasta maavuodoista. Kytkimien katkaisupinnit kytkettiin sarjaan toisiinsa nähden, maadoitettiin toisesta päästä ja toinen pää liitettiin D3-liittimen pinniin 1. Tällöin kun painiketta painettiin jokin pinneistä 2, 3 tai 4 maadottui ja pinnin 1 yhteys maadoitukseen katkesi.

D4-liitin asennettiin L1-signaalijohtosarjaan tulevia laajennuksia ajatellen. Liittimen 1. pinni kytkettiin ohjainlaitteen AD-muuntimen tuloon. Tällä mahdollistettiin että edestä voidaan tarvittaessa lukea analogista välillä 0–5V vaihtelevaa jännitesignaalia. Muut pinnit kytkettiin ohjainlaitteen portteihin, jotka oli mahdollista ohjelmoida haluttuihin käyttötarkoituksiin myöhemmin.

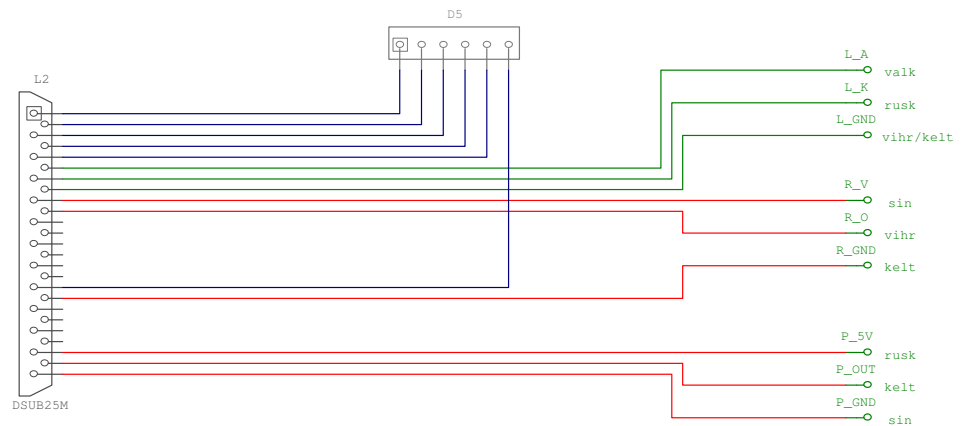
Näyttöliittimenä käytettiin näytön valmistajan toimittamaa 15-pinnistä liitintä, jossa syötettiin sekä käyttöjännite että ohjaussignaali näytölle. Ohjaukseen tarvittiin useita johtimia, koska näyttöä ohjataan rinnakkaisliitännällä. Sarjamuotoiseen tiedonsiirtoon olisi tarvittu erillinen muunnin myös ajoneuvon kojelautaan. Tätä ei haluttu tehdä, koska kaapelien määrä ei ollut ratkai-

sevassa asemassa vaan järjestelmän yksinkertaisuus ja toimintavarmuus olivat etusijalla suunnittelussa.



Kuva 19. L1-johdinkaavio

L2-signaalijohdinsarja päätettiin toteuttaa johtimien lyhyen pituuden takia suorilla johtimilla aina antureille asti. Rajakatkaisijoille sekä lukituksen tilan havaitsemiseksi että ohjauksen rajojen havaitsemiseksi käytettiin molempiin kolme johdinta. Yksi johtimista toimi maadoituksena ja kaksi johdinta kytketään eli rajakatkaisijan tiedon välittämiseksi ohjainlaitteelle. Taka-akselin asentoa mittaavalle liukupotentiometrianturille syötettiin 5V käyttöjännite ja maadoitus sen vastuslangan päihin. Ulostuleva analoginen jännitesignaali tuotiin yhdellä johtimella ohjainlaitteelle. Ohjelmointiliitäntä kytkettiin myös L2-johdinsarjaan. Liitännässä D5 käytettiin naaraspuoleista 6-pinnistä DEUTCHin DTM liitäntää. Liitin sijoitettiin takakontin vasempaan reunaan suojaverhoilujen taakse. PC:n ja liittimen väliin rakennettiin myös erillinen välijohdinsarja joka kävi tietokoneen LPT-porttiin ja D5-liitimeen, jotta laitteiston ohjelmointi onnistuisi hyvin helposti sen ollessa kiinnitettynä ajoneuvoon. (Kuva 20.)



Kuva 20. L2-johdinkaavio

CAN-väylän liitântään suunniteltiin käytettäväksi omaa kierrettyä parikaapelia CAT-5, joita on markkinoilla saatavana tehdasvalmisteisina varustettuna RJ45-liittimillä. CAT-5-kaapelissa on käytetty kierrettyä paria ja kaapelia oli myös saatavilla eriasteisilla suojuuksilla. Liitântä ajoneuvon CAN-väylään suunniteltiin tehtävän korkeajänniteakun ohjainlaitteen liitântään, joka sijaitsi hyvin lähellä taka-akselin ohjainlaitetta. Ulkoisen väylän johtimet olisi näin saatu pidettyä hyvin lyhyinä. Kuitenkaan johtosarjojen asennuksen yhteydessä ei ollut vielä varmaa CAN-väylän lopullisesta hyödyntämisestä, joten päätettiin johtosarjat asentaa vasta tarpeen tullessa. Hyödyntäminen tuli lähinnä kysymykseen vasta, kun ohjainlaitteen ohjelma oli kehitetty riittävän pitkälle.

## 8 YHTEENVETO

Insinööriyön tarkoituksena oli luoda täysin uudistettu ja toimintavarma järjestelmä CityCab-kaupunkitaksiin. Järjestelmän suunnittelu toteutettiin alusta alkaen huolellisesti yhteistyössä ohjainlaitteen ohjelman suunnittelijan Mikko Niemelän kanssa, jotta mahdollisilta ongelmilta pystyttiin välttymään toteutuksen eri vaiheissa.

Taka-akselin asennon mittaustapa muutettiin Hall-pulssimittauksesta potentiometri mittaukseksi, jolloin voitiin varmistua akselin todellisesta tarkasta asennosta jokaisessa käyttötilanteessa.

Toimilaitteiden ohjaamiseksi käytetyt H-sillat rakennettiin uudelleen parantamisen komponenttien jäähdytystä. Ohjainlaite rakennettiin myös uudelleen otta-

en huomioon signaalien suodatukset ja eri syöttöjännitteiden stabiloinnit. Ohjainlaitteeseen tehtiin myös mahdollisuus CAN-väylän liityntään, josta luetaan esimerkiksi ohjauskulma ja ajonopeus.

Ohjainlaitteen rakennusvaiheessa se jaettiin osioihin ja testattiin osio kerrallaan, jotta voitiin todeta sen toimivan halutulla tavalla. Ohjainlaite pääteasteineen koteloitiin yhteiseen koteloon ja sijoitettiin ajoneuvon tavaratilaan. Koteloinnissa otettiin huomioon ajoneuvokäytön asettamat vaatimukset tärinän ja lämpötilojen suhteen.

Johdinsarjat suunniteltiin alusta alkaen uudelleen ja toteutettiin valmiista saatavilla olleista komponenteista. Johdinsarjat jaettiin kolmeen eri sarjaan, joihin kuuluivat kaksi eri signaalijohdinsarjaa ja yksi virtajohdinsarja. Signaalijohtimina käytettiin metallisella suojavaipalla eristettyä kaapelia, joka estää elektromagneettisen säteilyn pääsemisen kaapelin sisään ja päinvastoin. Virtajohtimet ja sulakkeet mitoitettiin vaadittujen toimilaitteiden käyttämien tehojen mukaisesti.

Järjestelmän valmistuttua todettiin, että työ onnistui suhteellisen hyvin. Testaus, ohjausohjelman suunnittelu ja parametointi käsitellään Mikko Niemelän tekemässä insinööriyössä. Mahdollinen jatkokehitys järjestelmään voidaan tehdä, kun ohjausohjelma saadaan valmistettua ja järjestelmää päästään testaamaan käytännössä. Myös CAN-väylää tullaan todennäköisesti hyödyntämään tulevaisuudessa taka-akselin ohjauksessa.

Jatkokehitystä voitaisiin tehdä tehonmittauksen yhdistämisessä mahdollisiin vikatilanteisiin. Tilanne, jossa toisen moottorin virtajohtimessa olisi katkos, toinen moottori voisi käyttää kaiken virran rajoitukseen asti. Jos rajoitus on määritetty maksimiarvoonsa, yksittäinen moottori saa kaksikertaisen virran lävitseen ja luultavasti rikkoontuu, ellei virtaa katkaista riittävän nopeasti. Virran mittausta voitaisiin siis toteuttaa molemmille moottoreille erillisesti, jolloin tältä ongelmalta voitaisiin helposti välttyä. Kuljettajalle voitaisiin myös lisätä erillinen pieni ohjauspyörä kojelautaan, josta voitaisiin manuaalisesti portaattomasti ohjata taka-akselin kääntymistä. Valmiudet tälle kytkennälle olisivat lähes yhtä hyvät kuin CAN-väylän kytkennällekin. Myös ajoneuvon sivuoven avautumaa ja alustan korkeustietoa voitaisiin käyttää sisääntulevina signaaleina, jotta haluttu taka-akselin ohjauskulma olisi mahdollista toteuttaa turvallisesti.

## VIITELUETTELO

- [1] Ruokolainen Antti, *Takapyörien kääntölaitteisto*. Insinööriyö. Helsingin Ammattikorkeakoulu. Jälkimarkkinoinnin koulutusohjelma. Helsinki. 2006.
- [2] Laakko Juha, *CityCabin sähköjärjestelmät*. Insinööriyö. Helsingin Ammattikorkeakoulu. Autosähkötekniikan koulutusohjelma. Helsinki. 2006.
- [3] Haapaniemi, Heikki, *Autoteknillinen taskukirja*. Jyväskylä: Gummerus Oy. 6. painos. 2003.
- [4] Niiranen, Jouko, *Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus*. Helsinki: Oy Yliopistokustannus. 2. korjattu painos. 2000.
- [5] SKF Linear Motion. *Linear actuators CAR & Cat series* [verkkodokumentti] 2006, [viitattu 20.5.2007]. Saatavissa: [http://skf.manager.nu/publications/zip\\_it.asp?filename=CAR\\_CAT\\_6162EN\\_8\\_070817140830.pdf](http://skf.manager.nu/publications/zip_it.asp?filename=CAR_CAT_6162EN_8_070817140830.pdf)
- [6] Macro Sensors. *Technical Bulletin 0103* [verkkodokumentti] 2003, [viitattu 20.5.2007]. Saatavissa: [http://www.macrosensors.com/lvdt\\_macro\\_sensors/lvdt\\_tutorial/lvdt\\_primer.pdf](http://www.macrosensors.com/lvdt_macro_sensors/lvdt_tutorial/lvdt_primer.pdf)
- [7] Juhala, Matti, ym., *Moottorialan sähköoppi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 2005.
- [8] Toyota Prius NHW20 [CR-ROM]. October 2003.
- [9] Hamlin. *Reed switch technical information* [verkkodokumentti] 2007, [viitattu 24.10.2007]. Saatavissa: <http://www.hamlin.com/technical-detail-reed-switch.cfm>
- [10] Crystalfontz America. *CFAG12864B-TMI-V DATASHEET* [verkkodokumentti] December 2006, [viitattu 20.6.2007]. Saatavissa: <http://www.crystalfontz.com/products/12864b/CFAG12864BTMIV.pdf>
- [11] SKF Linear Motion. *Actuator range* [verkkodokumentti] 2007, [viitattu 20.5.2007]. Saatavissa: [http://skf.manager.nu/publications/zip\\_it.asp?filename=Actrange\\_english\\_070829150725.pdf](http://skf.manager.nu/publications/zip_it.asp?filename=Actrange_english_070829150725.pdf)
- [12] Mentor Graphics. *PADS* [verkkodokumentti] 2007, [viitattu 23.10.2007]. Saatavissa: <http://www.mentor.com/products/pcb/pads/>
- [13] Atmel. *AT90CAN128 DATASHEET* [verkkodokumentti] 2007, [viitattu 10.5.2007]. Saatavissa: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc7679.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7679.pdf)
- [14] Silvonen, Kimmo, *Sähkötekniikka ja elektroniikka*. Oy Yliopistokustannus. 2. korjattu painos. 2004.
- [15] Fairchild Semiconductor. *LM78xx/LM78xxa DATASHEET* [verkkodokumentti] May 2006, [viitattu 10.5.2007]. Saatavissa: <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM%2FLM7805.pdf>



- [16] National Semiconductor. *LMC272 DATASHEET* [verkkodokumentti] December 1996, [viitattu 10.5.2007]. Saatavissa: <http://cache.national.com/ds/LM/LMC272.pdf>
- [17] Vishay Semiconductors. *CNY74-4H DATASHEET* [verkkodokumentti] October 2004, [viitattu 10.5.2007]. Saatavissa: <http://www.vishay.com/docs/83526/83526.pdf>
- [18] Atmel. *ATA6660 DATASHEET* [verkkodokumentti] 2006, [viitattu 10.5.2007]. Saatavissa: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc4582.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4582.pdf)
- [19] Silvonen, Kimmo – Tiilikainen, Matti – Helenius, Kari, *Analogiaelektronikka*, Helsingissä: Edita Prima Oy, 2003.
- [19] Dallas Personal Robotics Group. *Brief H-bridge theory of operation* [verkkodokumentti] September 2002, [viitattu 20.3.2007]. Saatavissa: <http://www.dprg.org/tutorials/1998-04a/>
- [20] International Rectifier. *IRF4095* [verkkodokumentti] 2007, [viitattu 20.3.2007]. Saatavissa: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf4905.pdf>
- [21] ST microelectronics. *STP50NE10L* [verkkodokumentti] 1999, [viitattu 20.3.2007]. Saatavissa: <http://www.ortodoxism.ro/datasheets/stmicroelectronics/6037.pdf>
- [22] Fairchild Semiconductor. *P6KE6V8(C)A DATASHEET* [verkkodokumentti] 2002, [viitattu 20.3.2007]. Saatavissa: <http://www.fairchildsemi.com/ds/P6/P6KE39CA.pdf>
- [23] CEI/IEC 34-5, *IP-code*. Genève : IEC , 1991.
- [24] *Teollisuus ELFA*, Horsens: Stibo Graphic. 2005.

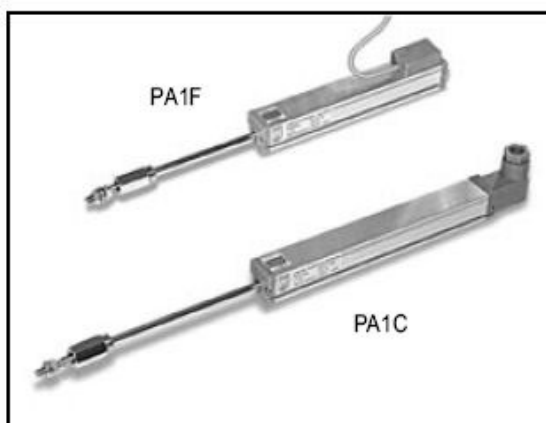


# PA1

## LINEAR MOTION POSITION SENSORS

Mini Series □ 18 Section, STANDARD 10-450mm

### Pulling Rod Type



This mini position transducer is designed for direct absolute measurement and available in stroke length up to 450mm. The mini design is suitable for mounting in instruments or machines with limited space.

An improved technique for making connection to resistance track (Double Trimming Technique) ensures the higher degrees of reliability and linearity, while multi-fingers wipers stabilize output signals, even in the most adverse working conditions.

The fixing feet are adjustable to the desired positions.

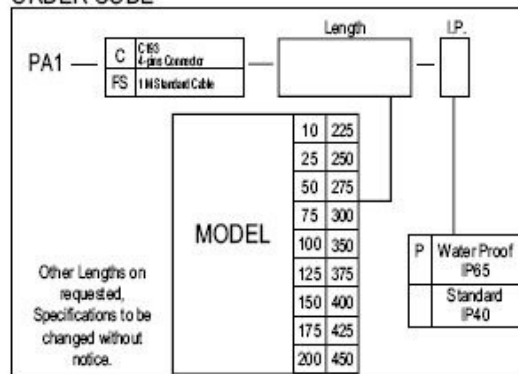
### Unique Features

- Mini design for limited space
- Anodised Aluminium Housing
- Double slide and bearing
- Standard Coupling joints
- Very Long Life
  - >100 x 10<sup>6</sup> Cycles
  - >25 x 10<sup>6</sup> m
- Stroke length : 10-450mm
- Outstanding Linearity up to : ±0.05%
- High Resolution : Infinite
- Excellent Repeatability : ± 0.01mm
- Max operating speed : 5m/s max.
- PA1C - 4-pin C193 connector
- PA1FS - standard 1m cable
- Sealing IP 40 standard (IP 65 optional)
- Fuse Protected optional
- Operating temperature : -30 ~100°C
- Storage Temperature : -50 ~120°C

### Technical Specifications

Sealing - PA1C/PA1F	IP40
Sealing - optional	IP65
Current Resistance	≅ 10mA
Wiper	≅ 1mA
Operating Force	≅ 1.2N (IP40)
	≅ 5N (IP65)
Power Consumption	3W-10W
Output Smoothness	<± 0.1% against input voltage
Input Voltage	60 V Max
Insulation Voltage	500V-1 min Residue < 5 μA
Vibration	IEC 68-2-6:1982 10g
Shock	IEC 68-2-29:1968 40g

### ORDER CODE

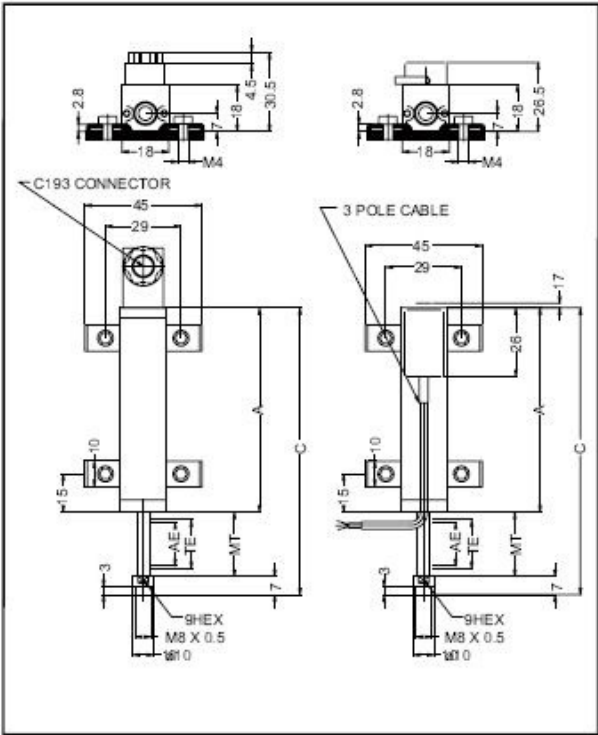




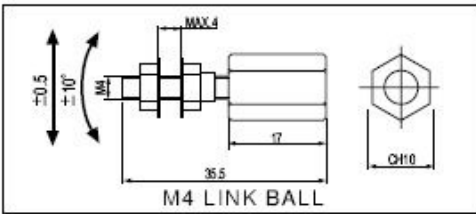
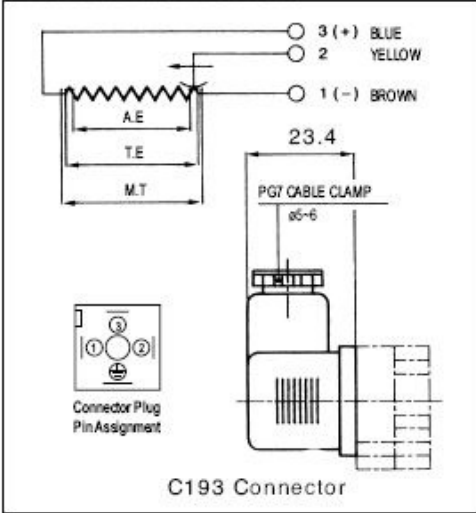
# PA1

## LINEAR MOTION POSITION SENSORS

Mini Series □ 18 Section, STANDARD 10-450mm

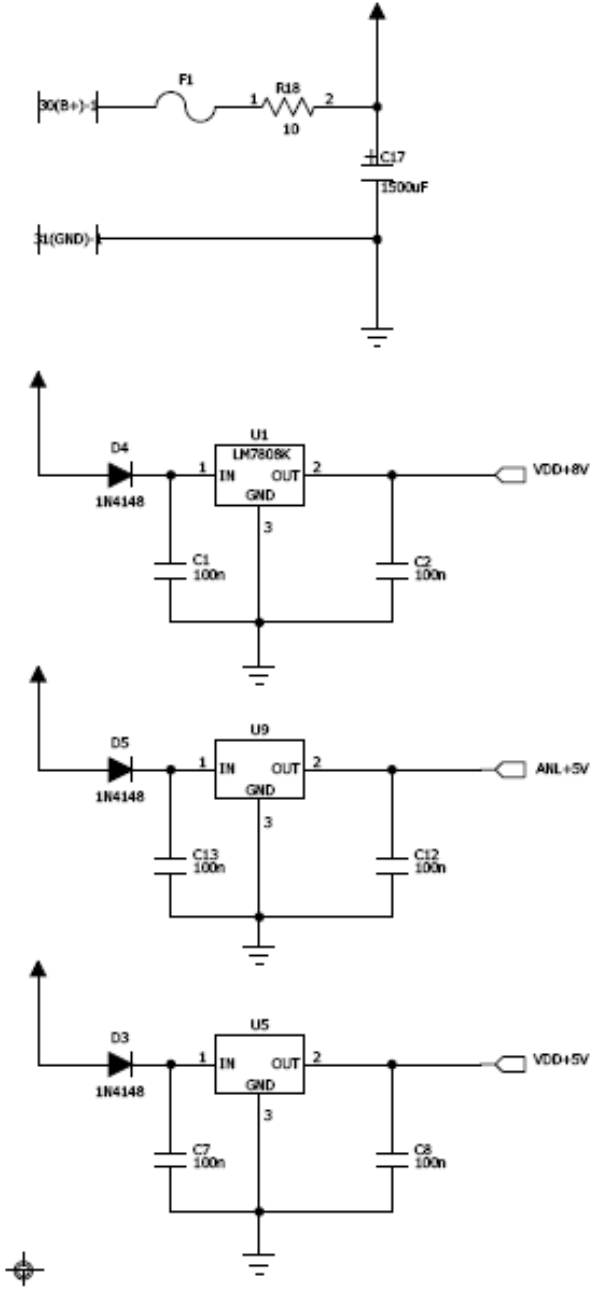


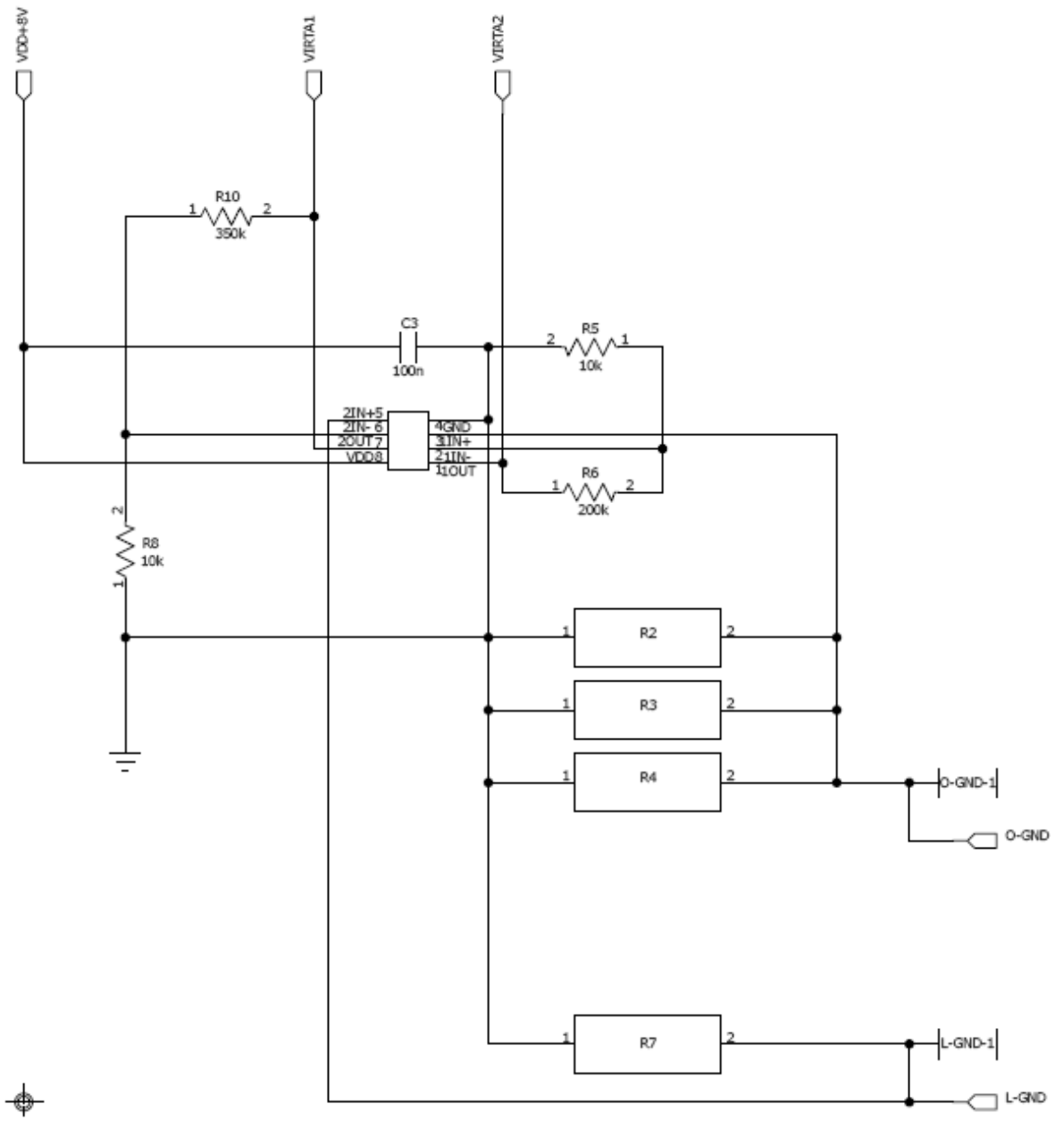
**ELECTRICAL CONNECTIONS**

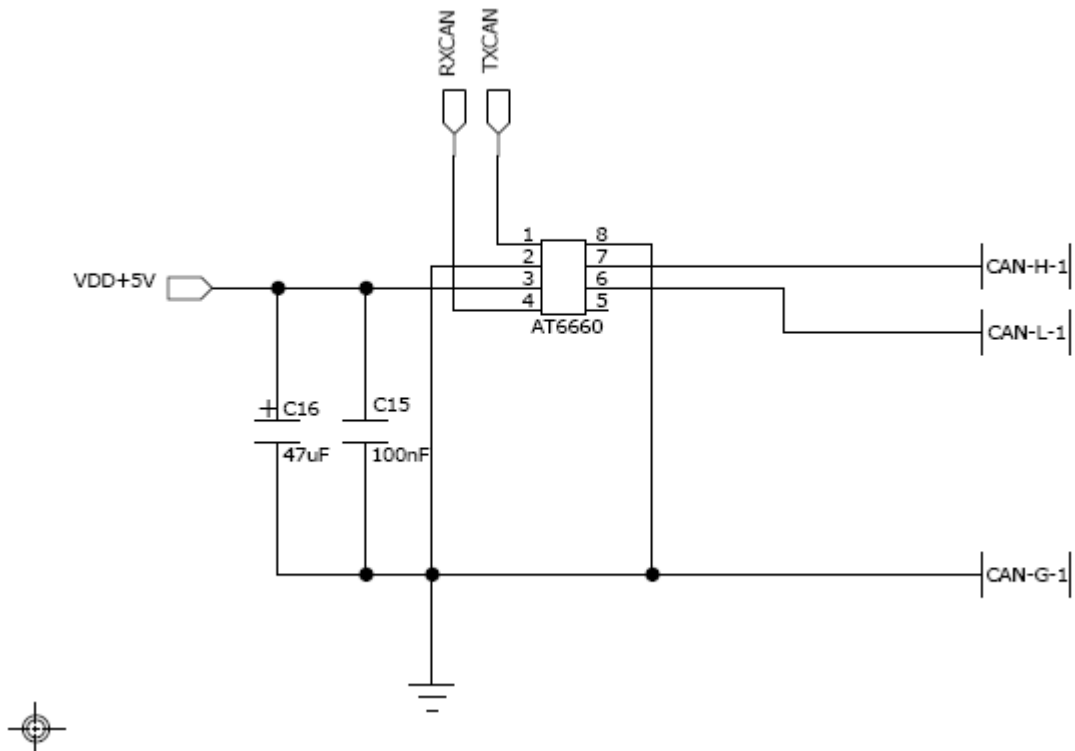
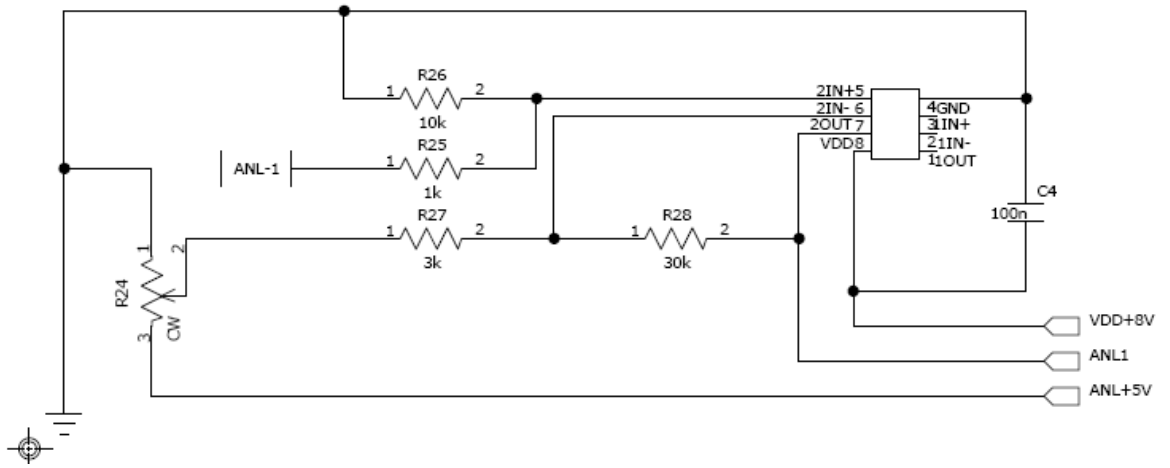


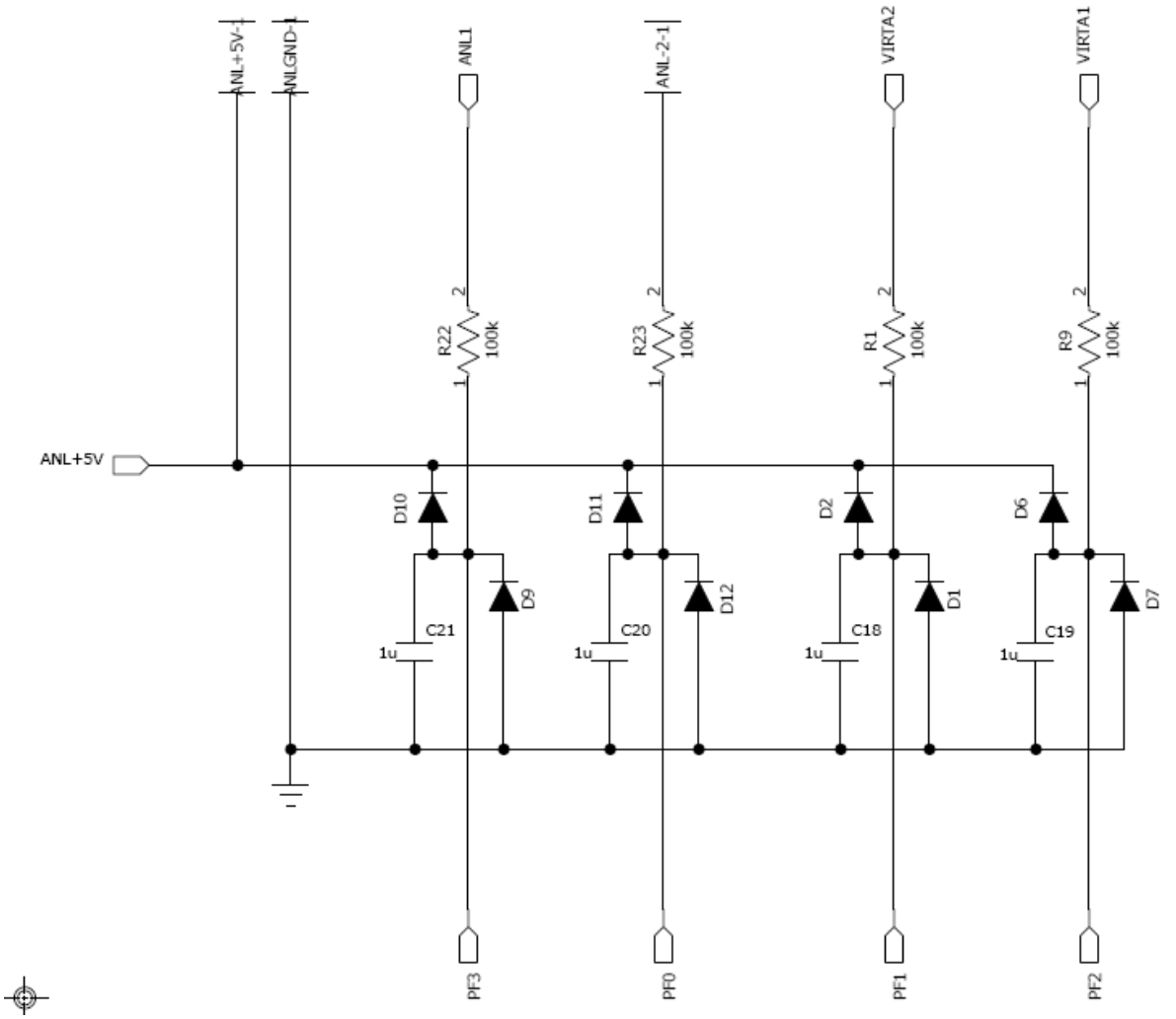
PA1 series		10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	375	400	425	450	
Total Electrical Travel (T,E)	mm	11	26	51	76	101	126	151	177	202	227	252	277	302	353	378	403	428	453	
Active Electrical Travel (A,E)	mm	10	25	50	75	100	125	150	176	201	226	251	276	301	352	347	402	427	452	
Resistance ±20%	kΩ	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Independent Linearity	±%	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
Mechanical Travel (M,T)	mm	15	30	55	80	105	130	155	180	205	230	255	280	305	355	380	405	430	455	
Resolution		infinite																		
Recommended Cursor Current	µA	< 1																		
Temperature Range	°C	-30 to +100																		
Dimensions (A)	mm	39.5	74.5	88.5	124.5	149.5	174.5	199.5	224.5	249.5	274.5	299.5	324.5	349.5	399.5	424.5	449.5	474.5	499.5	
Dimensions (C)	mm	83.2	113.2	163.2	213.2	263.2	313.2	363.2	413.2	463.2	513.2	563.2	613.2	663.2	763.2	813.2	863.2	913.2	963.2	

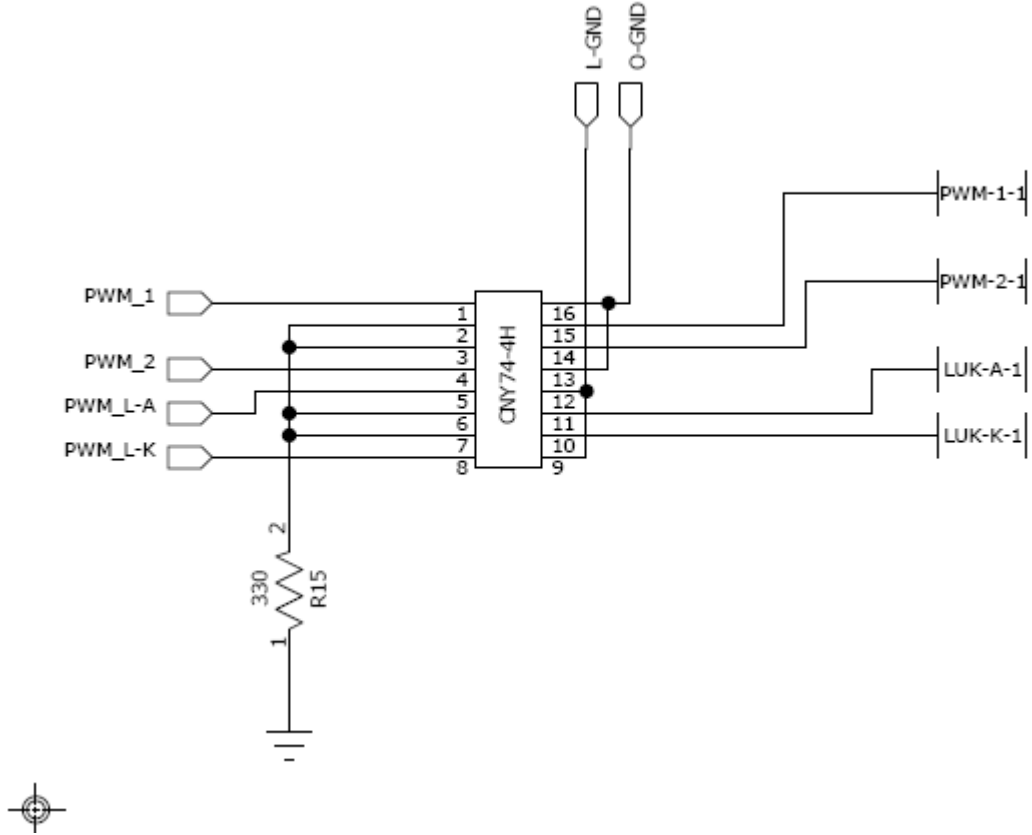
\* Figures for reference only



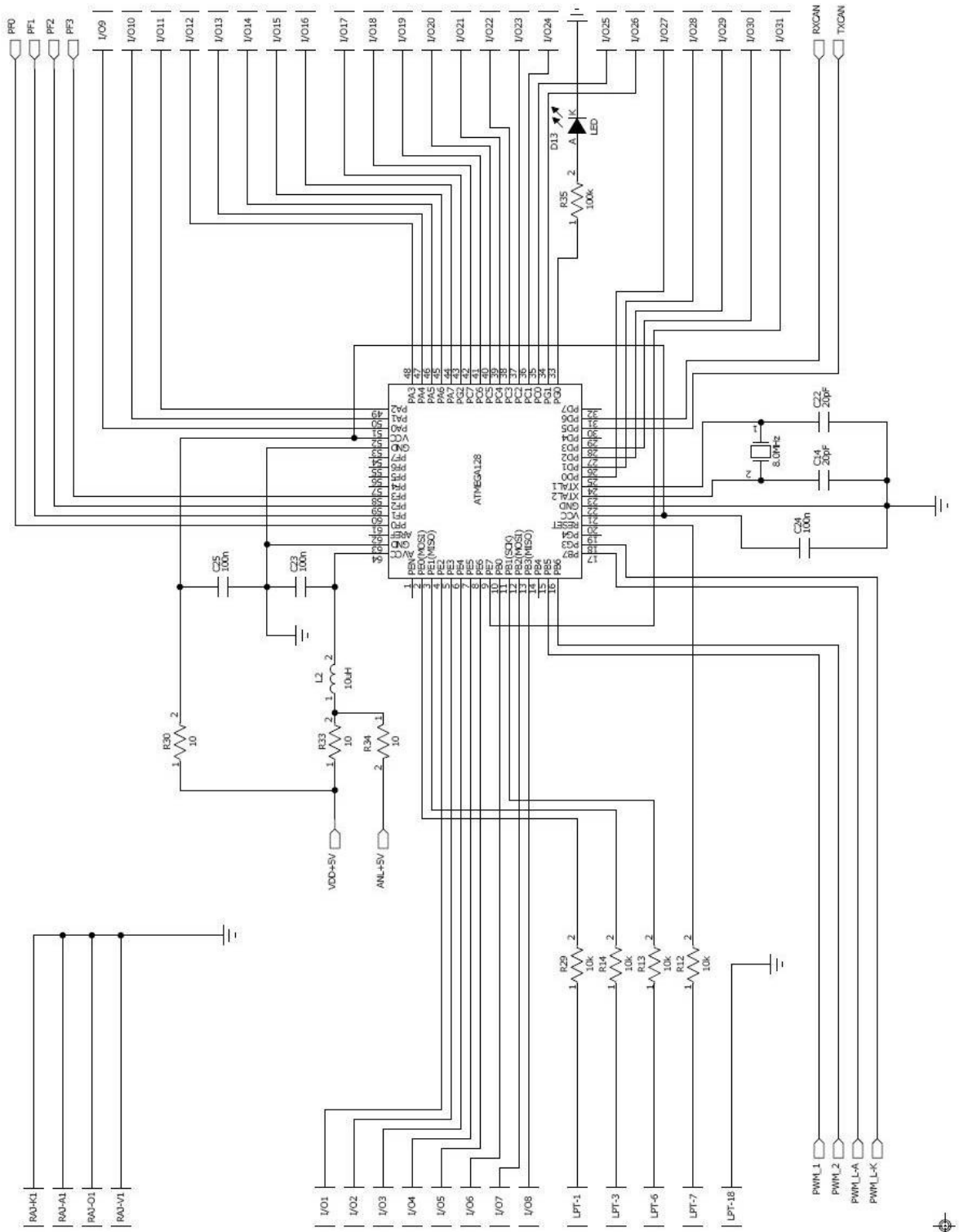


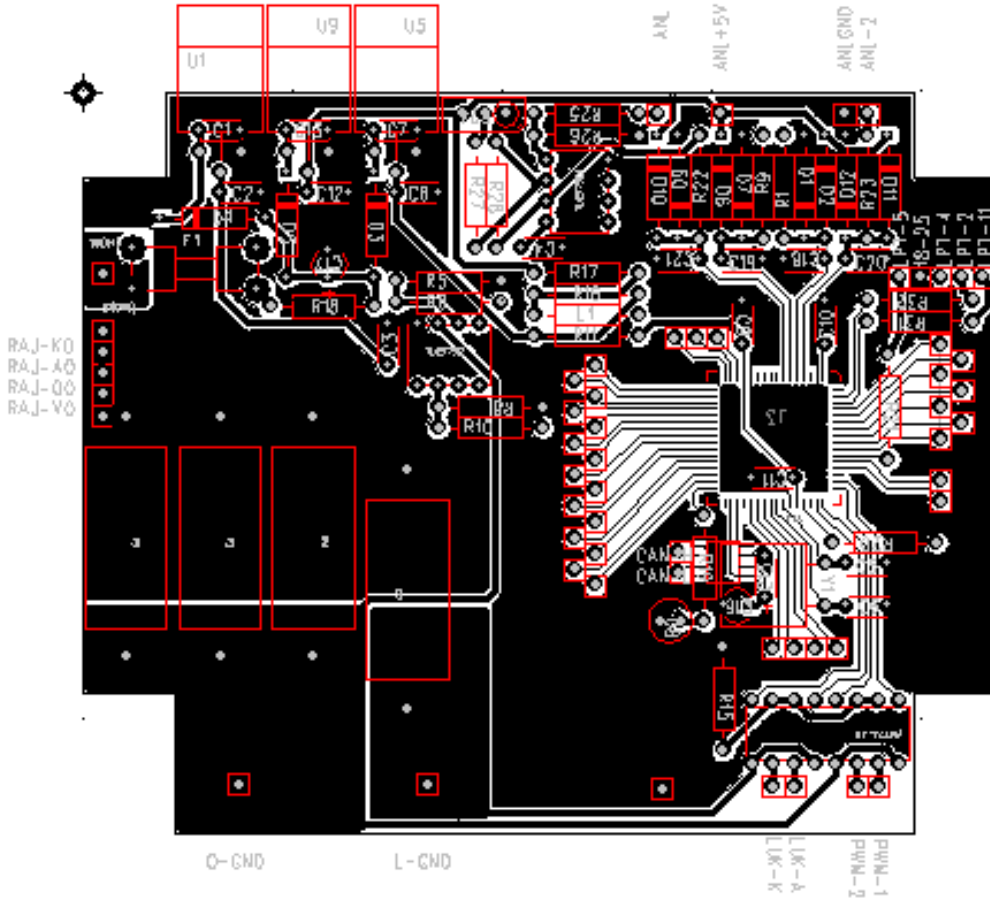
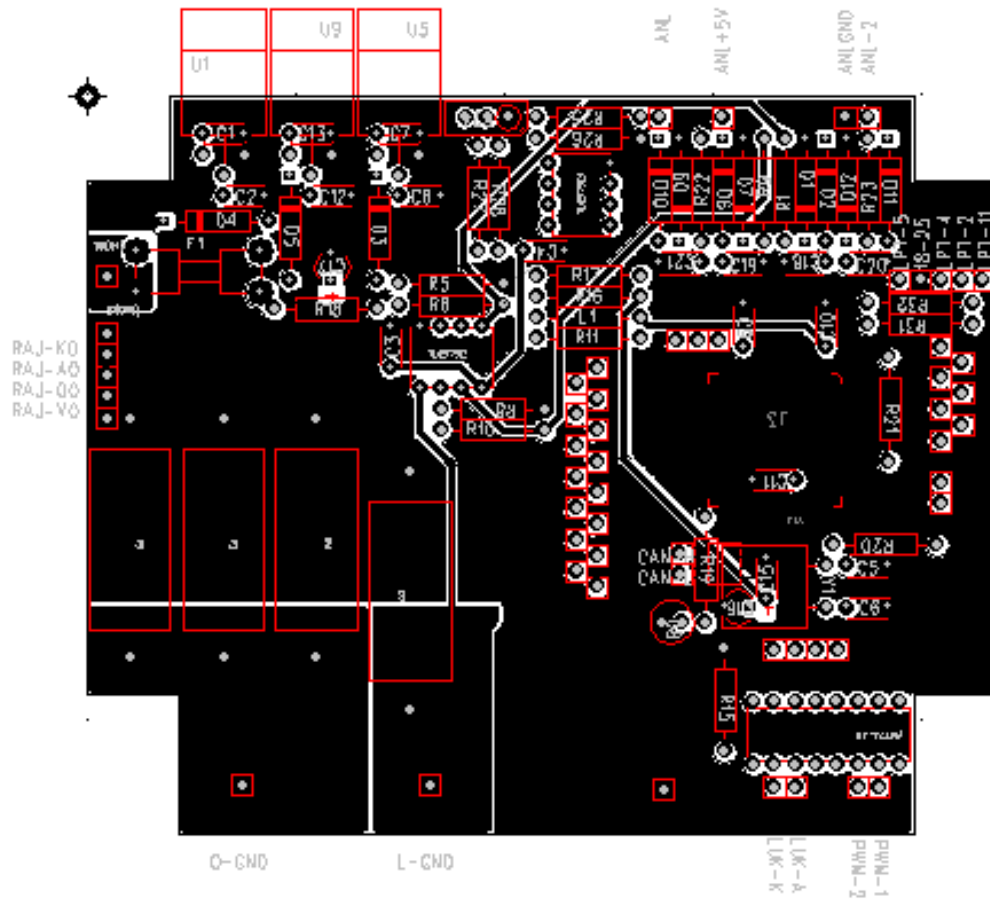


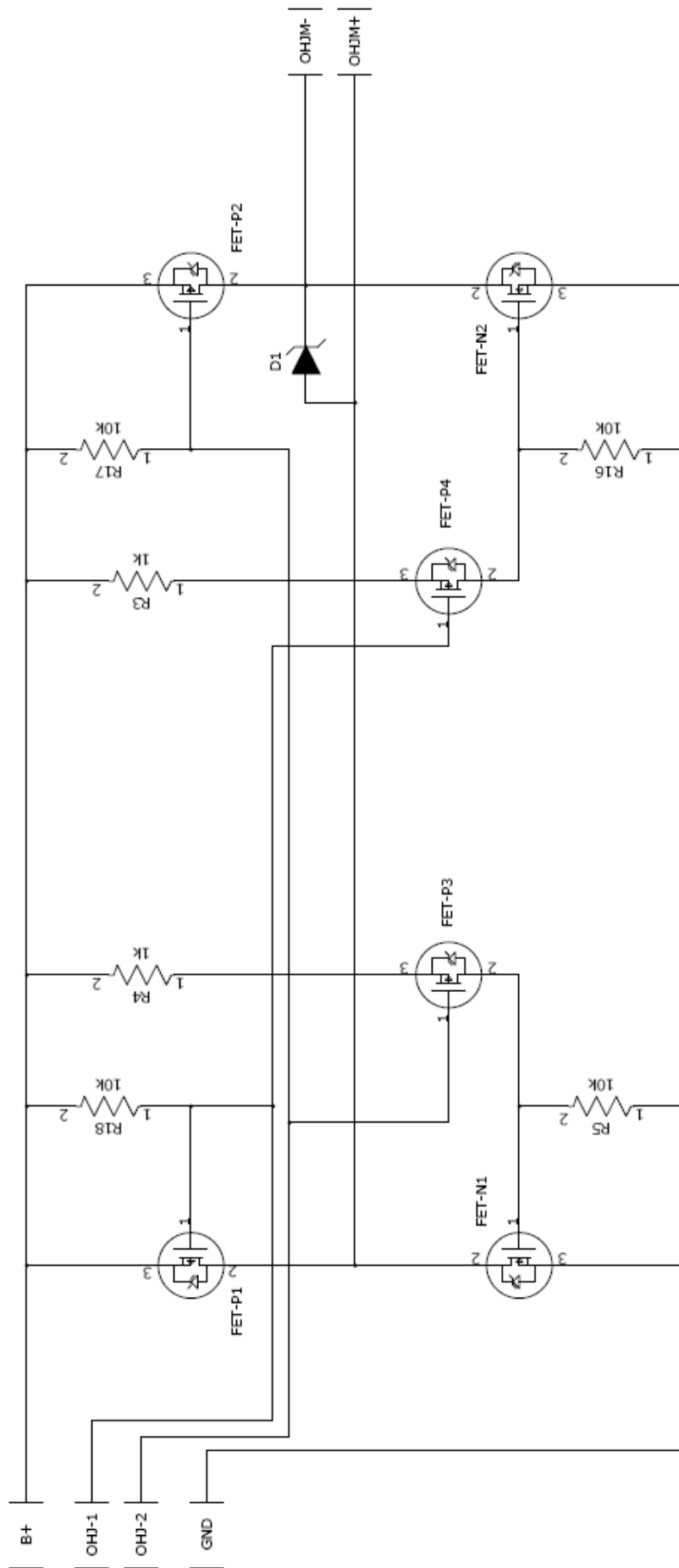


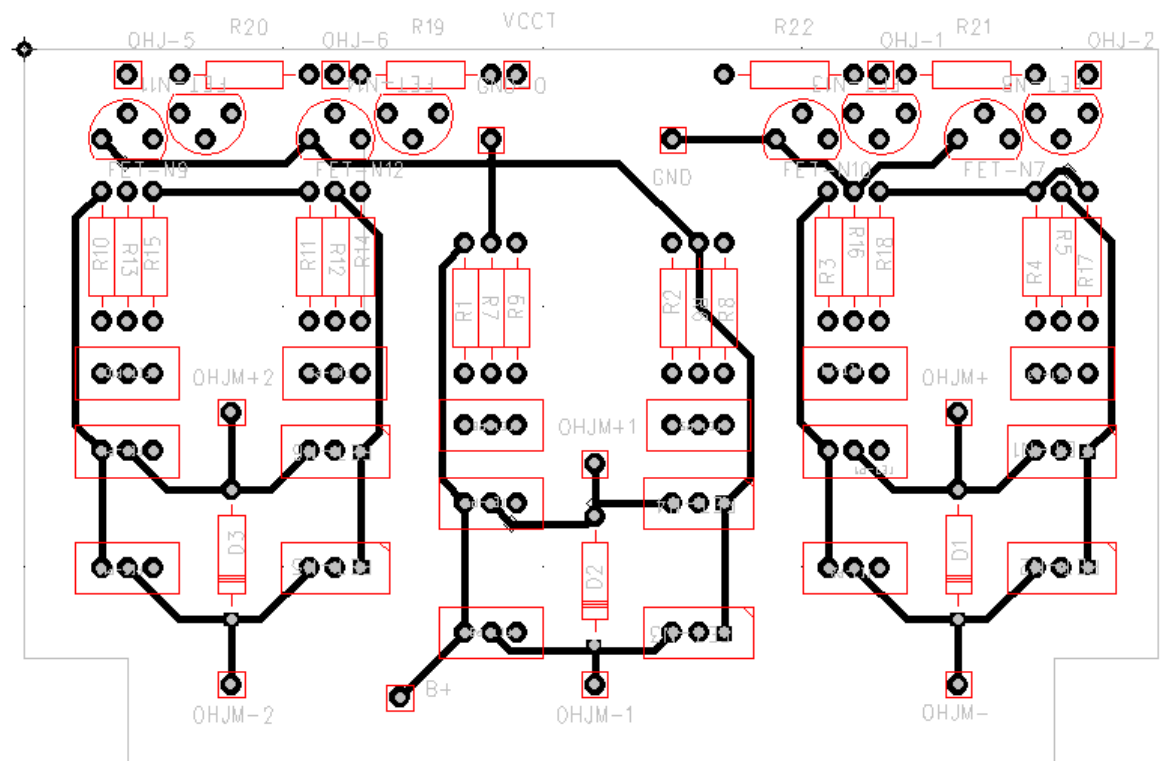
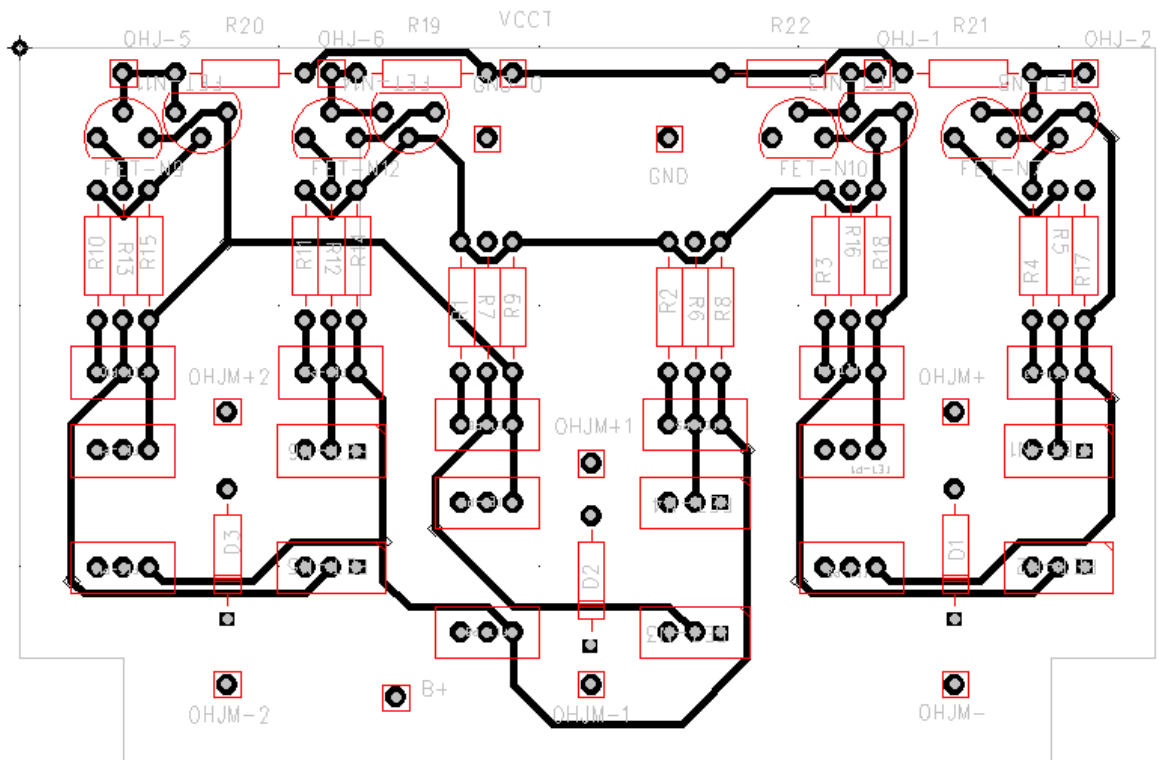












<i>liitin d25</i>	<i>väri</i>	<i>L1_eteen</i>	<i>L2_ohj</i>
1	rusk	pb2_nappi	ohjelm
2	pun	pb3_nappi	ohjelm
3	orans	pf0_anl2	ohjelm
4	vaal.pun	pe6_vara	pd3_raja
5	kelt	pg2_vara	pd1_raja
6	vihr	näyttö	pe4_vara
7	vaal.vihr	näyttö	pe2_vara
8	sin	näyttö	pc0_vara
9	vaal.sin	näyttö	maa
10	viol	näyttö	maa
11	harm	näyttö	maa
12	valk	näyttö	anl_+5v
13	must	maa	anl_gnd
14	rusk.must	pb0_nappi	ohjelm
15	pun.must	5v	ohjelm
16	vaal.pun.must	pe7_vara	pd2_raja
17	orans.must	maa	maa
18	kelt.must	pc6_nappivarm.	pd0_raja
19	vihr.must	näyttö	pe5_vara
20	vaal.vihr.must	näyttö	pe3_vara
21	sin.must	näyttö	pg1_vara
22	vaal.sin.must	näyttö	maa
23	viol.must	näyttö	maa
24	harm.must	näyttö	maa
25	valk.must	näyttö	pf3_anl1
26	kuoreton = runko		

<i>liitin deutsch</i>	<i>taka_D1</i>	<i>taka_D2</i>	<i>etu_D3</i>	<i>etu_D4</i>
1	b+	m1_b+	nappivarm	vara
2	gnd	m1_gnd	nappivas	vara
3	l_gnd	m2_gnd	nappikesk	vara
4	l_b+	m2_b+	nappioik	vara
5			maa	
6			vara	

<i>taka-a:n rajat</i>	<i>vasen</i>	<i>oikea</i>
norm.open_o	sin	vihr
norm.closed_c	viol	rusk
common_w	pun	kelt

<i>taka-a:n asento</i>	<i>anturi</i>	<i>välijohto</i>
1	rusk	rusk
2	kelt	kelt
3	sin	vihr

<i>lukon rajat</i>	<i>kiinni</i>	<i>auki</i>
	rusk	valk
	vihr	kelt