

Juha Lukkari

Itsestään liikkuva sähköajoneuvo

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Kesä 2012



Koulutusala Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Juha Lukkari	
Työn nimi Itsestään liikkuva sähköajoneuvo	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Arto Partanen
	Toimeksiantaja Kajaanin ammattikorkeakoulu/ Tiina Kärkkäinen
Aika Kesä 2012	Sivumäärä ja liitteet 25 + 6
<p>Tämä insinööri työ käsittelee itsestään liikkuvan sähköajoneuvon ohjausyksikköä. Työn aihe on saatu Kajaanin ammattikorkeakoululta. Työ liittyy ammattikorkeakoululla olevaan ajoneuvojen tietojärjestelmät-koulutusohjelmaan. Aiheena oli suunnitella ja rakentaa itsestään liikkuvan sähköajoneuvon ohjausyksikkö. Työn tuloksia on tarkoitus käyttää myöhemmissä projekteissa Kajaanin ammattikorkeakoululla, liittyen ajoneuvojen tietojärjestelmät koulutukseen.</p> <p>Itsestään liikkuvia ajoneuvoja käytetään esimerkiksi teollisuudessa, armeijassa ja luonnontieteellisissä tutkimuksissa. Yleensä näitä ajoneuvoja suunnitellaan tilanteisiin ja paikkoihin, jotka ovat ihmisille vaarallisia. Tietokoneohjattuja autoja suunnitellaan myös täysin liikennekäyttöön, tällöin niihin liittyy paljon ongelmia. Ongelmana on esimerkiksi, kuinka tietokoneohjauksessa oleva auto pääsee risteyksestä liikenteeseen, kun aggressiivisemmin ajavat ihmiset eivät anna sille tilaa.</p> <p>Ohjausyksikön tehtävänä on huolehtia ajoneuvon moottoreiden ohjauksesta, ajoneuvon kääntymisestä ja sitä voidaan ohjata RS-232-sarjaliikenteen yli PC:llä. Työssä käsitellään miten ohjausyksikön elektroniikkaa ja ohjelmistoa suunniteltiin. Askelmoottoria käytetään ajoneuvon kääntymisen ohjaamiseen. Askelmoottorin ohjaamiseen käytettävien L297-askelmoottorin ohjauspiirin ja L298-h-siltapiirin toimintaa käsitellään myös.</p> <p>Työn tuloksena saatiin ajoneuvon ohjausyksikkö, joka ohjaa askelmoottoria, ajoneuvon moottoria ja jota voidaan ohjata RS-232-sarjaliikenteen välityksellä. Myöhemmin ohjausyksikköön voidaan liittää jokin anturi konenäöksi, esimerkiksi ultraääni-anturi, jonka avulla ajoneuvosta saadaan tehtyä itsestään ohjautuva.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Tietokoneohjattu ajoneuvo, askelmoottori
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Juha Lukkari	
Title A Self-Guided Vehicle	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Mr Arto Partanen
	Commissioned by Kajaani University of Applied Sciences
Date Summer 2012	Total Number of Pages and Appendices 25 + 6
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by the Kajaani University of Applied Sciences. The objective was to develop an electrical self-guided vehicle. The main goal was to create a central unit that controls the vehicle. The central unit controls the vehicle's steering and motor and communicates with a PC over the RS-232 connection. The results of this thesis are planned to be used in the future projects.</p> <p>The first step was to study how the motor of the vehicle can be controlled. The Next step was to study a solution for the steering of vehicle. Then the circuit board for the central unit was developed using the PADS software. The AVR Studio compiler was used to compile the program for the device. The C-programming language was used to program the circuit board.</p> <p>The end result was a printed circuit board. The circuit board consists of a stepper-motor controller, Atmega128 microcontroller, motor controller and RS-232 controller. The device can be controlled with a PC over the RS-232 connection.</p> <p>In conclusion, the work was a success. The central unit works as it should be working. Machine vision can be added to the device in the future projects.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Self-guided vehicle, stepper-motor
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 ITSESTÄÄN LIIKKUVA SÄHKÖAJONEUVO	2
2.1 Havainnointi	2
2.2 Ajomoottori	3
2.3 Kääntymismoottori	3
2.4 Tietokoneohjattu auto	4
3 TYÖSSÄ KÄYTETYT TYÖKALUT	5
3.1 AVR Studio	5
3.2 Visual Studio 2010	5
3.3 PADS	6
4 TYÖN SUUNNITTELU	7
4.1 Elektroniikan suunnittelu	7
4.1.1 Ajomoottori	8
4.1.2 Kääntymismoottori	9
4.1.3 Piirilevy	14
4.2 Ohjelmiston suunnittelu	16
4.2.1 Moottorinohjaus	17
4.2.2 Askelmoottorinohjaus	17
4.2.3 Vuokaavio	18
5 TESTAUS	19
6 TIETOLIIKENNE	20
7 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JATKOKEHITYS	23
8 YHTEENVETO	24
LÄHTEET	25
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa itsestään liikkuvan sähköajoneuvon ohjausyksikkö, joka tulee Kajaanin ammattikorkeakoulun käyttöön. Ajoneuvon on tarkoitus pystyä myöhemmin seuraamaan esimerkiksi edellä kävelevää ihmistä. Ajoneuvon pohjana on Suzukin valmistama invalidimopo. Aihe on lähtöisin Tiina Kärkkäiseltä, ajoneuvojen tietojärjestelmät-yksiköstä. Kajaanin ammattikorkeakoululla on tietotekniikan insinööriopiskelijoille suuntautumisvaihtoehtona ajoneuvojen tietojärjestelmät, ja lopputyön aihe liittyy läheisesti siihen.

Ajoneuvojen tietojärjestelmät-opinnoissa keskitytään opettamaan älykkäistä järjestelmistä ajoneuvoissa, teollisuuden mittalaitteissa ja niiden tietoliikennejärjestelmistä. Opinnoissa keskitytään suunnittelemaan ja toteuttamaan niiden sovelluksia.

Itsestään ohjautuvia ajoneuvoja on kehitetty 1950-luvulta lähtien monenlaisiin erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten sotilaskäyttöön, teollisuuteen ja syvänmeren tutkimukseen. Nykyään kehitetään järjestelmiä, joilla autot voisivat liikenteessä toimia itsenäisesti. Liikenteeseen suunniteltujen tietokoneohjattujen autojen tarkoituksena on muun muassa ennaltaehkäistä onnettomuuksia, ja tietokoneohjauksen myötä myös ympäristöyställisyys paranee.

Ohjausyksikön tarkoituksena on ohjata ajoneuvon moottoria sekä ajoneuvon kääntymistä. Ohjausyksikköön tulee myöhemmin myös konenäkö, joten kortin tulee myös pystyä kommunikoidaan ulospäin. Työssä siis suunnitellaan ja toteutetaan ajoneuvon ohjauskortin elektroniikka ja ohjelmoidaan sille ohjelmisto.

2 ITSESTÄÄN LIIKKUVA SÄHKÖAJONEUVO

Itsestään liikkuvia ajoneuvoja tai miehittämättömiä ajoneuvoja on kehitetty etenkin Yhdysvalloissa jo 1950-luvulta lähtien. Miehittämättömiä ajoneuvoja käytetään laajasti eri yhteyksissä, mutta niitä on kehitetty erityisesti sotilaskäyttöön. Miehittämättömiä ajoneuvoja on erilaisia, ja ne lajitellaan seuraavasti: maalla (Unmanned Ground Vehicles, UGV), merellä (Unmanned Underwater Vehicles, UUV ja Unmanned Surface Vehicles, USV), ilmassa (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) ja avaruudessa (Unmanned Orbital Vehicles, UOV). Miehittämättömiä ajoneuvoja käytetään sotilaskäytössä, mutta yhä laajemmin myös teollisuudessa (esim. kaivoksissa, varastoissa ja tehtaissa), maatalouden tarpeissa, vaarallisten aineiden käsittelyssä ja erilaisissa luonnontieteellisissä tutkimuksissa, kuten syvänmeren tutkimuksessa. [1.]

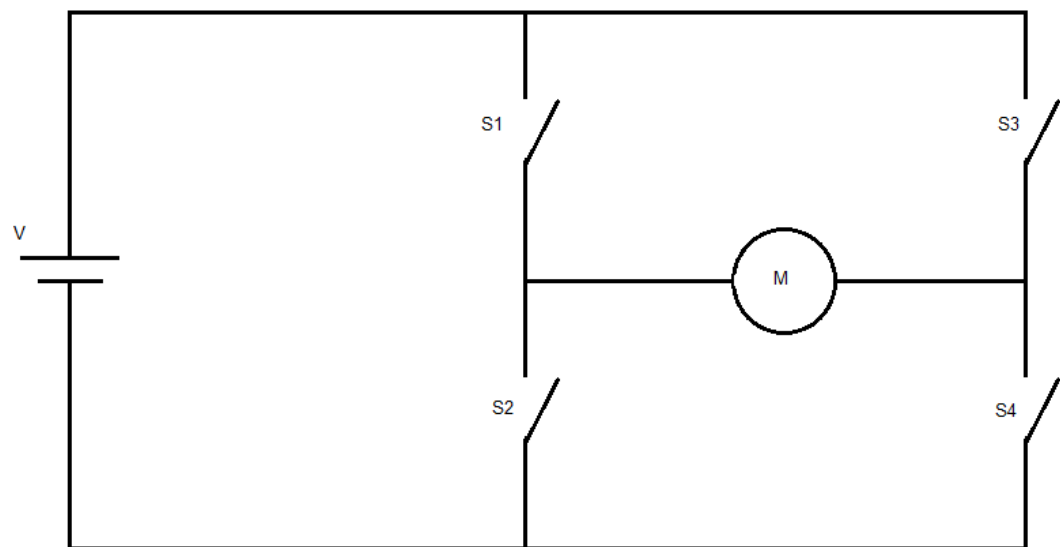
Miehittämättömien ajoneuvojen tulee pystyä aistimaan ympäristöään, jotta annettu tehtävä voidaan suorittaa. Laitteiden täytyy myös olla varustettu riittävällä älyllä, jotta laite pystyy käsittelemään antureilta tulevaa tietoa ja ymmärtämään tehtävän. Laitteen tulisi myös pystyä muuttamaan reittiään, mikäli edessä on este, ja sen tulee myös tarkkailla omaa kuntoaan sekä osata optimoida itseään suorittamaan tehtävä loppuun. Tähän vaaditaan hyvää ohjausjärjestelmää. Miehittämättömien ajoneuvojen tulee kommunikoida niin keskenään kuin myös ihmisten kanssa. Miehittämättömän ajoneuvon autonominen käyttäytyminen jakautuu havainnointiin, navigointiin, suunnitteluun, käyttäytymiseen ja taitoihin sekä oppivuuteen ja mukavuuteen. [1.]

2.1 Havainnointi

Ympäristön havainnointikyky on elintärkeä miehittämättömän ajoneuvon autonomisen liikkuvuuden kannalta. Havainnointitekнологiaan kuuluvat ajoneuvon sensorit, tietokoneet ja ohjelmistot, jotka ovat keskeisiä miehittämättömän ajoneuvon kyvyille liikkua paikasta toiseen ja havainnoida ympäristöään. Ajoneuvon tulee pystyä käsittelemään sensoreilta tulevaa dataa riittävän nopeasti, jotta ajoneuvo voisi ilman liikenopeuden pudotusta muuttaa reittiään, mikäli suunnitellulla reitillä on este. [1.]

2.2 Ajomoottori

Autonomisesti toimivan ajoneuvon voimanlähteenä voi olla polttomoottori tai sähkömoottori. Polttomoottoria voidaan ohjata aika helposti, kuten myös sähkömoottoria. Tarkoitukseen sopivia sähkömoottoreita on monenlaisia, esimerkiksi tasavirtamoottori ja askelmoottoria. Sähkömoottorit tarvitsevat yleensä myös ohjauskytkennän, jotta niitä voidaan ohjata halutulla tavalla. Yleisimpiä moottorinohjauksia ovat releohjaus ja h-siltakytkentä.



Kuva 1. H-sillan toimintaperiaate.

Kuvan 1 kytkentä kuvaa h-siltakytkennän toimintaperiaatetta. Kun kytkennän kytkimet S1 ja S4 laitetaan kiinni, mutta annetaan kytkinten S2 ja S3 olla auki moottori pyörii oikealle. Kun taas kytkimet S2 ja S3 on kiinni ja kytkimet S1 ja S4 auki, niin moottori pyörii vasemmalle. Oikeassa h-siltakytkennässä kytkimet ovat transistoreja, joita ohjataan esimerkiksi mikrokontrollerilla.

2.3 Kääntymismoottori

Ajoneuvon kääntymiseen tarvitaan tarkasti ohjattavaa moottoria, joten kyseeseen tulee askel- tai servomoottori. Servomoottoria ohjataan suoraan PWM-pulssilla, jonka leveyttä muuttamalla servo kääntyy tietyn verran oikealle tai vasemmalle. Servomoottoria voidaan

käyttää myös esimerkiksi polttomoottori auton kaasun säätelyyn, koska servomoottorin asento on aina tiedossa.

Askelmoottori pyörii askeleittain ja se ottaa noin 200 askelta per kierros, joten askelmoottorilla onnistuu tarkat ohjaukset. Askelmoottoreita käytetään paljon esimerkiksi tulostimissa ja CD-asemissa. Askelmoottorin valinnassa täytyy kuitenkin olla tarkkana, ettei moottorin vääntömomentti ole liian pieni käyttökohteeseen. Jos vääntömomentti on liian pieni ei askelmoottori jaksaa kääntyä ja moottorinohjaus menettää paikka tiedon.

2.4 Tietokoneohjattu auto

Monet autonvalmistajat kehittelevät tietokoneohjattuja autoja, jotka voisivat tulevaisuudessa olla liikenteessä. Itseohjautuvia autoja kehitetään ainakin onnettumuuksien vähentämiseksi. Turvallisuuden parantamiseksi on parempi, että auto osaisi välttää onnettomuuden kuin, että se vain selviytyisi siitä. Autonomisesti toimivan auton hyötyjä on muitakin kuin pelkästään turvallisuus, esimerkiksi se helpottaisi ihmisten ajankäyttöä. Kun auto toimisi itsenäisesti voisivat kaikki kyydissä olijat vaikka lukea kirjoja, rentoutua tai jopa tehdä töitä. Myös ihmiset, jotka ovat menettäneet ajo-oikeutensa ikänsä tai muun vuoksi, pääsisivät liikkumaan vapaammin. Autonomisilla autoilla olisi myös hyötyjä ympäristöystävällisessä mielessä, sillä tietokoneohjattuna autot osaavat säätää kiihdyttelyä ja jarruttelua siten, että polttoainetta kuluisi mahdollisimman vähän. [2.]

Tietokoneohjatuilla autoilla on myös paljon ongelmia. Mitä esimerkiksi tapahtuu, jos poliisi haluaa pysäyttää auton, eikä autoa ohjaava tietokone huomaa poliisia? Myös risteyksistä liikenteeseen liittyminen on ongelma. Mitä jos tietokoneen ohjaama auto on liian ”kohtelias” eikä pääse etenemään risteyksessä, jossa muut autot ovat aggressiivisemmin ajavien ihmisten ohjaamia? Ja minkälaisia vakuutuksia sellainen auto tarvitsee. [3.]

Googlen itsenäisen ajoneuvon tutkimuskeskuksen johtaja Sebastian Thrun, on kertonut, että heidän projektinsa aikana on ajettu jo yli 200 000 mailia maanteillä, autolla joka on ollut tietokoneohjauksessa. [3.]

3 TYÖSSÄ KÄYTETYT TYÖKALUT

3.1 AVR Studio

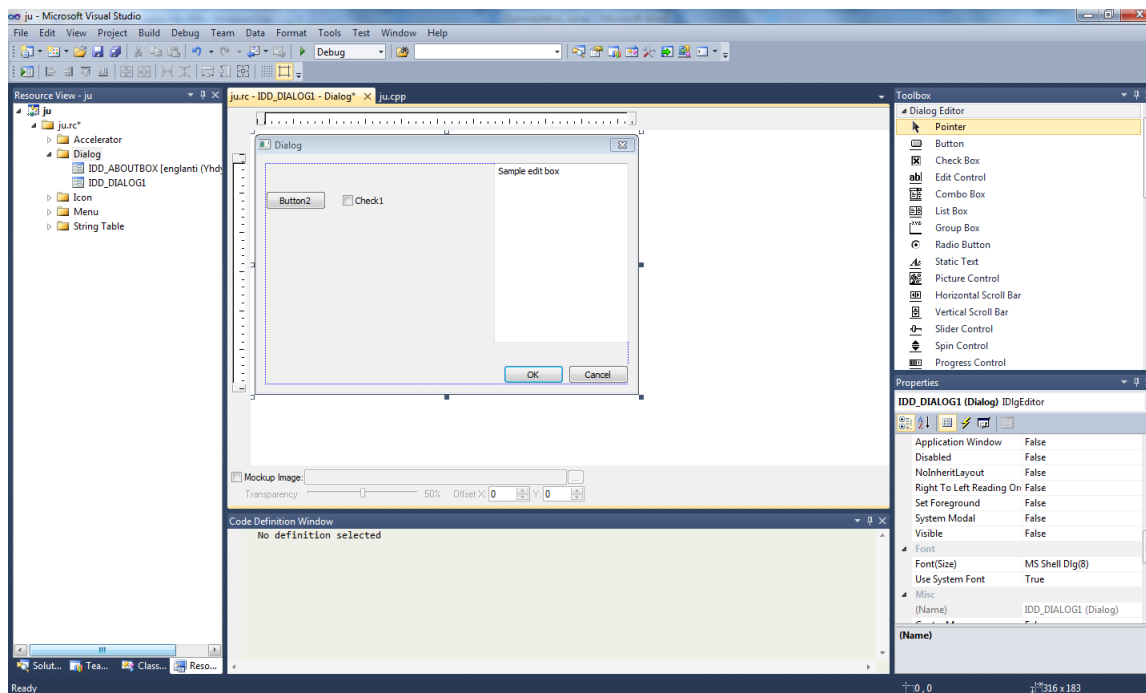
AVR Studio on Atmelin tarjoama ilmainen ohjelmisto, jolla voidaan kirjoittaa ohjelmia mikrokontrollerille sekä debugata niitä. Ohjelma tunnistaa Assembly- ja C/C++-ohjelmointikielet. AVR Studio -ohjelmalla voidaan myös simuloida ohjelman toimintaa. Ohjelman siirtämiseksi mikrokontrolleriin voidaan käyttää esimerkiksi JTAG-emulaattoria. AVR Studiossa on myös mukana AVR GCC -kääntäjä, jonka avulla ohjelmalla voidaan suoraan kirjoittaa ja kääntää C-koodia. [4.]

JTAG-emulaattorin ansiosta ohjelmaa voidaan simuloinnin sijasta debugata suoraan mikrokontrollerilla, jolloin ohjelmaa voidaan ajaa jatkuvasti tai käsky kerrallaan. Tällöin voidaan tarkkailla samalla muuttujien ja eri rekisterien tiloja. [4.]

3.2 Visual Studio 2010

Visual Studio on Microsoftin kehittämä ohjelmistonkehitysympäristö. Ohjelmalla voidaan kehittää sovelluksia esimerkiksi Windowsiin, Windows Phoneen ja Internetiin. Tuettuja ohjelmistokieliä ovat Visual Basic, C++, C# ja J#. Visual Studiolla on helppoa tehdä graafisia käyttöliittymiä.

Kuvassa 2 on esitetty Visual Studion graafisen käyttöliittymän luontia. Ohjelmassa voidaan luoda suoraan ikkuna ja lisätä siihen esimerkiksi nappeja, teksti-ikkunoita ja valintapainikkeita. Tietenkin niiden toiminta täytyy lisätä ohjelmakoodiin.



Kuva 2. Visual Studio.

3.3 PADS

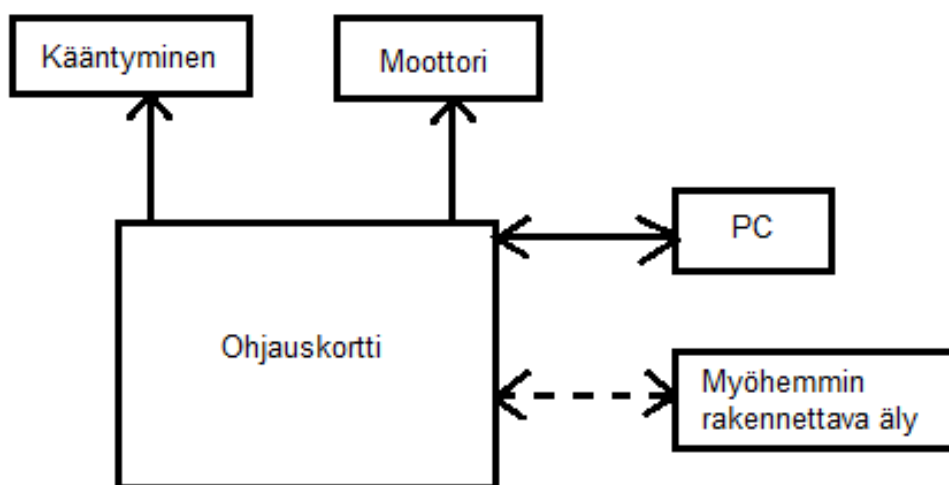
PADS on Mentor Graphicsin tuottama piirilevyn suunniteluohjelmisto. Tässä työssä käytettiin ohjelmistoon kuuluvia PADS Logic- ja PADS Layout -ohjelmia.

PADS Logic on piirikaavioeditori. Ohjelmassa sijoitellaan komponentit ja tehdään niille sähköiset kytkennät. Logic jakaa yhteisen komponenttikirjaston Layoutin kanssa. Komponentit valitaan komponenttikirjastosta ja sijoitellaan näytöllä loogiseen paikkaan. Jos komponenttia ei löydy kirjastosta, voidaan se myös tehdä itse kirjastoon. Kun komponentit on sijoitettu näytölle, tehdään niille sähköiset kytkennät. Tämän jälkeen kytkentä siirretään PADS Layoutiin.

PADS Layout on piirilevyeditori. Layoutilla suunnitellaan itse piirilevy. Sillä sijoitellaan komponentit oikeille paikoilleen piirilevyllä ja reititetään johdinvedot piirilevyllä. Layoutilla voidaan myös lisätä piirilevyllä merkintöjä, esimerkiksi komponenttien nimet. Kun piirilevy on suunniteltu Layoutilla, voidaan tehdä piirilevyn jrsimiseen tarvittavat tiedostot.

4 TYÖN SUUNNITTELU

Työn suunnittelu aloitettiin tutkimalla, mitä ohjainkortin tulee pystyä ohjaamaan. Kuvassa 3 on esitetty lohkokaavio, josta käy ilmi, että ohjaukseen on ohjattava ajoneuvon kääntymistä, ajoneuvon moottoria ja keskusteltava PC:n kanssa. Myöhemmin rakennettava äly voi olla myös PC:llä.



Kuva 3. Lohkokaavio.

Lohkokaavion perusteella alettiin tutkia mahdollisia ratkaisuja moottorinohjaukseen ja ajoneuvon kääntymiseen. Ajoneuvon kääntymiseen ratkaisuksi valikoitui nopeasti askelmoottori, koska sen vääntömomentti on hyvä ja askelmoottorin ollessa paikoillaan sillä on olemassa hyvä pitomomentti. Toinen mahdollisuus olisi ollut servomoottori, mutta ne ovat hieman kalliimpia kuin askelmoottorit.

Tämän jälkeen aloitettiin tutkimaan mitä tietoliikennettä käytetään ohjainkortin ja PC:n välillä. Tietoliikenteeksi valittiin RS-232-sarjaliikenne, koska sitä on käytetty opiskelun aikana.

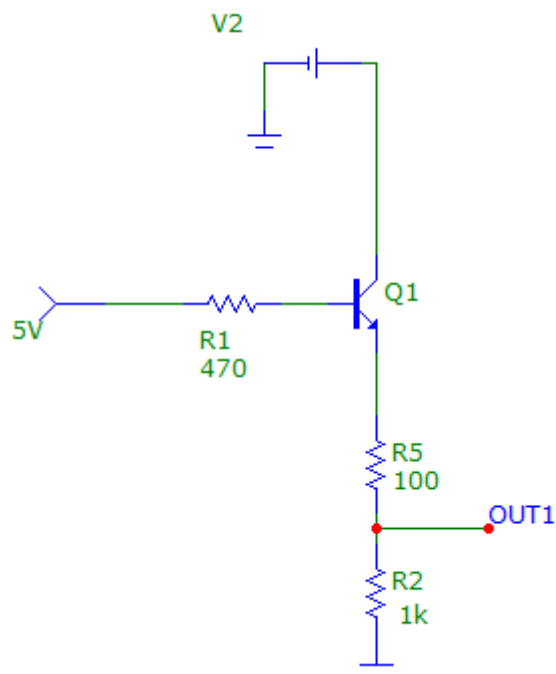
4.1 Elektroniikan suunnittelu

Elektroniikan suunnittelu aloitettiin moottorinohjauksesta. Aluksi täytyi tutkia, pääseekö mopossa käsiksi sen omaan elektroniikkaan, jottei tarvitsisi rakentaa kokonaan uutta moottorinohjausta. Mikrokontrolleriksi valikoitui Atmelin ATMEGA128, koska siinä on

tarvittavat ominaisuudet sekä sen käyttö on tullut tutuksi opiskelun aikana. Ohjauskortille täytyi suunnitella myös sarjaliikennettä varten kytkentä, joka kuitenkin saatiin valmiina koulun laboraatiotyöstä. Sarjaliikenteen ohjaukseen käytetään Maximin MAX232-piiriä. MAX232-piiri muuntaa mikrokontrollerilta tulevan TTL-tasoisien signaalien RS-232-muotoon.

4.1.1 Ajomoottori

Invalidimopon voimanlähteenä olevasta DC-moottorista ei löytynyt mitään tietoja, joten moottorinohjaukseen päätettiin käyttää mopon omaa elektroniikkaa. Toinen vaihtoehto olisi ollut suunnitella moottorinohjaus kokonaan itse, esimerkiksi h-siltakytkentä olisi ollut hyvä ratkaisu tähän tarkoitukseen. Mopon moottoriin pääsee käsiksi mopon ”kaasukahvoista”, jotka on toteutettu jänniteohjauksella. Kaasukahvassa on potentiometri, joka säätää moottorinohjaukseen menevää ohjausjännitettä. Sijoittamalla potentiometrin tilalle yksinkertaisen transistorikytkin päästään ohjaamaan mopon moottoria mikrokontrollerilla. Kuvassa 4 on esitetty transistorikytkin.



Kuva 4. Moottorinohjauksen kytkentä.

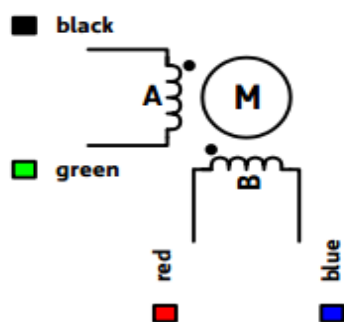
Kuvan 4 kytkentään transistoriksi valikoitui 2N3904, koska niitä oli valmiina koululla ja ne sopivat hyvin tarkoitukseen. Kytkentä toimii seuraavasti: kun transistorin kannalle ohjataan sen kynnsjännite, niin transistori menee johtavaksi ja kytkee jännitteen V2 lävitseen ulostuloon OUT1. Ulostulolle piti tehdä yksinkertainen jännitteenjako, koska mopon moottorinohjaus toimii jännitealueella 0–4 V ja jännitelähteeltä V2 tuleva jännite on noin 7,8 V.

Kun kytkentä oli todettu toimivaksi Micro Cap -ohjelmalla sekä koekytkentäalustalla, aloitettiin piirilevyn suunnittelu PADS Logic -ohjelmalla. Transistorikytkimiä tuli kaksi kappaletta, eteenpäin ja taaksepäin omansa.

4.1.2 Kääntymismoottori

Ajoneuvon kääntymisen suunnittelu aloitettiin tutkimalla erilaisia moottoreita, joita voidaan ohjata tarkasti. Tarkasteltaviksi moottoreiksi valikoitui servo- ja askelmoottori. Molemmat ovat tarkasti ohjattavia ja molemmissa on hyvät vääntö ominaisuudet. Servomoottorin ohjaus on hieman helpompaa kuin askelmoottorin, joka tarvitsee ohjauskytkennän. Lopulta päädyttiin kuitenkin askelmoottoriin lähinnä sen halvemman hinnan takia.

Askelmoottorin ohjauksen suunnittelu alkoi tutkimalla erilaisia askelmoottorin ohjaukseen soveltuvia piirejä. Myös askelmoottorin valinta vaikutti asiaan. Askelmoottoriksi valikoitui Trinamicin QSH 5718-51-28-101, joka on kaksivaiheinen hybridi askelmoottori. Se sopi askelmoottoriksi, koska sen käyttöjännitealue, vääntömomentti ja vaihevirta sopivat tarkoitukseen. Alla kuvassa 5 on kuvattu askelmoottorin johdotus.



Cable type 1	Gauge	Coil	Function
Black	UL1007 AWG22	A	Motor coil A pin 1
Green	UL1007 AWG22	A-	Motor coil A pin 2
Red	UL1007 AWG22	B	Motor coil B pin 1
Blue	UL1007 AWG22	B-	Motor coil B pin 2

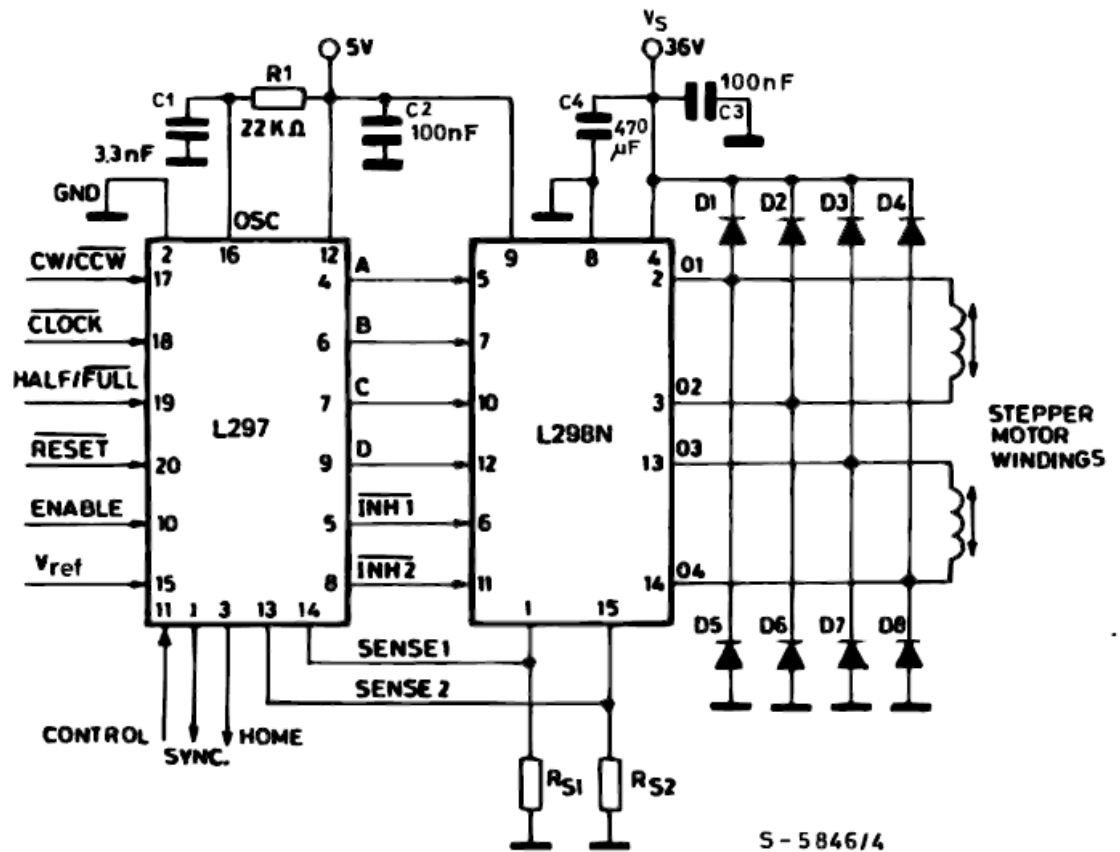
Kuva 5. Askelmoottorin johdotus. [6.]

Taulukkoon 1 on listattu valitun moottorin ominaisuuksia. Punaisella merkityllä alueella ovat käytetyn moottorin arvot. Taulukosta näkyy esimerkiksi, että yksi askel on noin $1,8^\circ$ joten moottori tekee 200 askelta joka kierros.

Taulukko 1. Askelmoottorin ominaisuudet. [6.]

Specifications	Parameter	Units	QSH5718			
			-41-28-055	-51-28-101	56-28-126	-76-28-189
Number of Leads		N°	4	4	4	4
Step Angle		°	1.8	1.8	1.8	1.8
Step Angle Accuracy		%	5	5	5	5
Rated Voltage	V_{RATED}	V	2	2.3	2.5	3.2
Rated Phase Current	$I_{RMS RATED}$	A	2.8	2.8	2.8	2.8
Phase Resistance at 20°C	R_{COIL}	Ω	0.7	0.83	0.9	1.13
Phase Inductance (typ.)		mH	1.4	2.2	2.5	3.6
Holding Torque		Nm	0.55	1.01	1.26	1.89
Detent Torque		Nm	0.020	0.035	0.039	0.066
Rotor Inertia		$g\ cm^2$	120	275	300	480
Insulation Class			B	B	B	B
Max. applicable voltage		V	75	75	75	75
Max. radial force (20mm D-cut)		N	75	75	75	75
Max. axial force		N	15	15	15	15
Weight		kg	0.45	0.65	0.7	1
Length		mm	41	51	56	76
Temp. Rise (rated current, 2 phase on)		°C	+80 max	+80 max	+80 max	+80 max
Ambient Temperature		°C	-20 +50	-20 +50	-20 +50	-20 +50

Kun moottori oli valittu, tuli sille suunnitella sopiva ohjauskytkentä. Ohjauskytkennän suunnittelussa suurin hankaluus oli miettiä virran kestävyyttä, koska valittu askelmoottori ottaa virtaa 2,8 A per kela. Askelmoottorin ohjaukseen valikoitui Stmicroelectronicsin L297. L297-piiri tekee askelmoottorin ohjaamiseen tarvittavat signaalit valmiiksi. L297-piirin datalehdessä löytyi valmis kytkentä askelmoottorin ohjaamiseen. Kytkentään tarvittiin vielä saman valmistajan h-siltapiiri L298. L298:n virran kesto (2 A per kanava) ei kuitenkaan vastannut askelmoottorin arvoja. Datalehdessä kuitenkin kerrottiin, että kytkemällä L298-piirin lähdöt rinnakkain ja laittamalla rinnalle toisen L298-piirin saadaan virrankestoksi 3,5 A per kanava, ja se riittää hyvin tarkoitukseen. Kuvassa 6 on esitetty askelmoottorin ohjauskytkentä yhdellä h-siltapiirillä.



Kuva 6. Askelmoottorin ohjauskytkentä. [7.]

Kuvan 6 kytkennässä L297-piirin sisään- ja ulostulot:

CW/CCW: Askelmoottorin pyörimissuunta. Mikrokontrollerilta syötetään tähän 1 (myötäpäivään) tai 0 (vastapäivään).

CLOCK: Askelkello. Mikrokontrollerilta syötetään tähän PWM-pulsseja. Askel tapahtuu, kun pulssi on nolla.

HALF/FULL: Puoli- tai kokoaskel. Mikrokontrollerilta syötyetään tähän nastaan 1 (puoliaskellus) tai 0 (kokoaskellus).

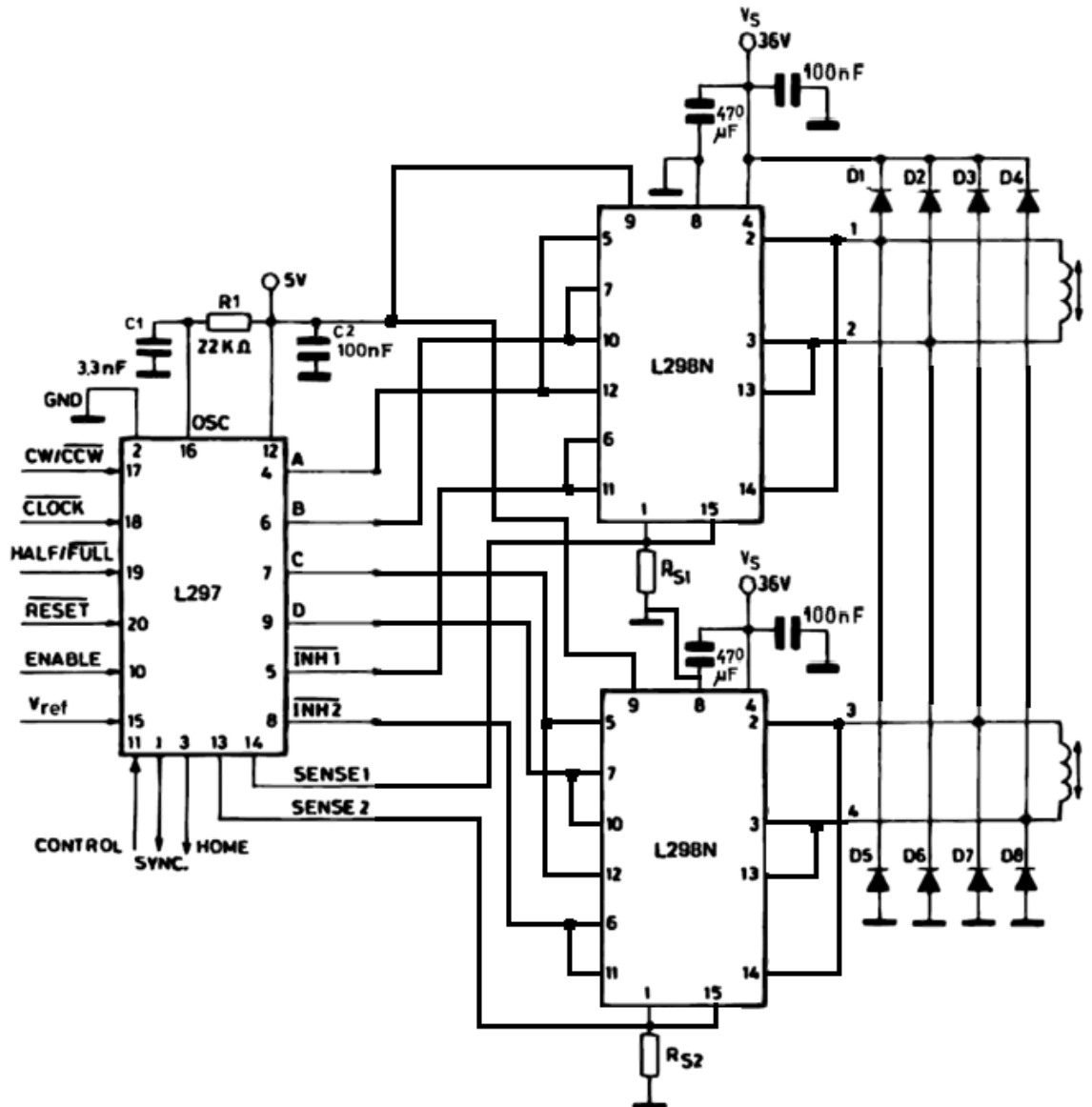
RESET: Reset-sisääntulo, joka asettaa L297-piirin sen alkutilaan (ABCD = 0101).

ENABLE: Enable sisääntulo. Kun 1 niin piiri on aktiivinen ja 0 niin pois päältä.

Vref: Virranrajoituksen referenssijännite.

- CONTROL: Virranrajoituksen kontrolli. Kun 0, niin virranrajoitus pätkii INH1- ja INH2-lähtöjä. Kun 1, niin pätkii lähtöjä ABCD.
- SYNC.: Jos monta L297-piiriä samassa kytkennässä, niin kytkemällä tämän muiden SYNC-nastaan saadaan kaikki piirit synkronisoitua yhteen.
- HOME: Ulostulo, joka kertoo, kun L297-piiri on sen alkutilassa (ABCD = 0101).
- OSC: Oskillaattori -sisääntulo. Tämä tarvitaan vain yhdessä L297-piirissä jos kytkennässä monta L297-piiriä.
- SENSE1 ja 2: Virranrajoituksen sisääntulo. Sisään tulevaa jännitettä verrataan V_{ref} -jännitteeseen.
- INH1 ja 2: Käytetään virranrajoitukseen säätelyyn, kun CONTROL on nollassa. Käytetään myös kuormavirran nopeaan palautumiseen, kun käämijännite palautuu.
- ABCD: Askelmoottorin ohjaussignaalit.

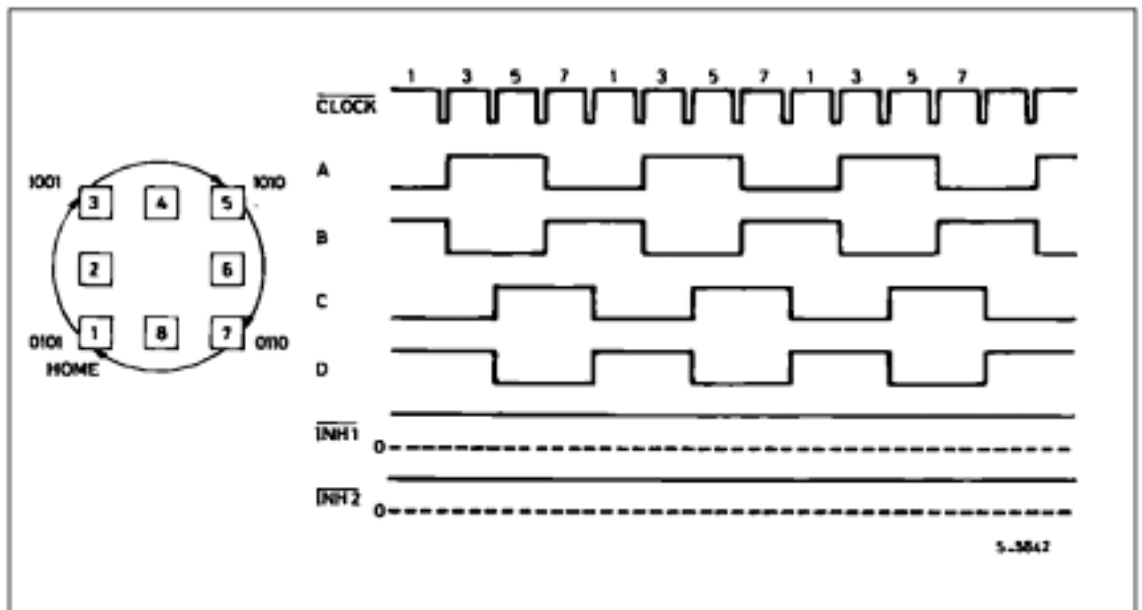
Kuvan 6 kytkentää piti kuitenkin hieman muuttaa, jotta virrankesto saatiin halutuksi. Alla olevassa kuvassa 7 näkyy lopullinen kytkentä, jossa lähdöt on kytketty rinnakkain.



Kuva 7. Askelmoottorin ohjaukskytkentä kahdella h-siltapiirillä.

Kuvan 7 kytkennässä L298-piirin lähdöt on kytketty rinnakkain. Tällä kytkennällä virrankestoksi saadaan 3,5 A per ulostulo. Virranrajoitusta varten olevat vastukset R_s tulee olla tehovastuksia. Vastusarvo on $0,5 \Omega$, ja diodit D1 – D8 ovat nopeita diodeja ($t_{rr} \leq 200\text{ns}$, $V_F \leq 1,2 \text{ V @ } I = 2 \text{ A}$).

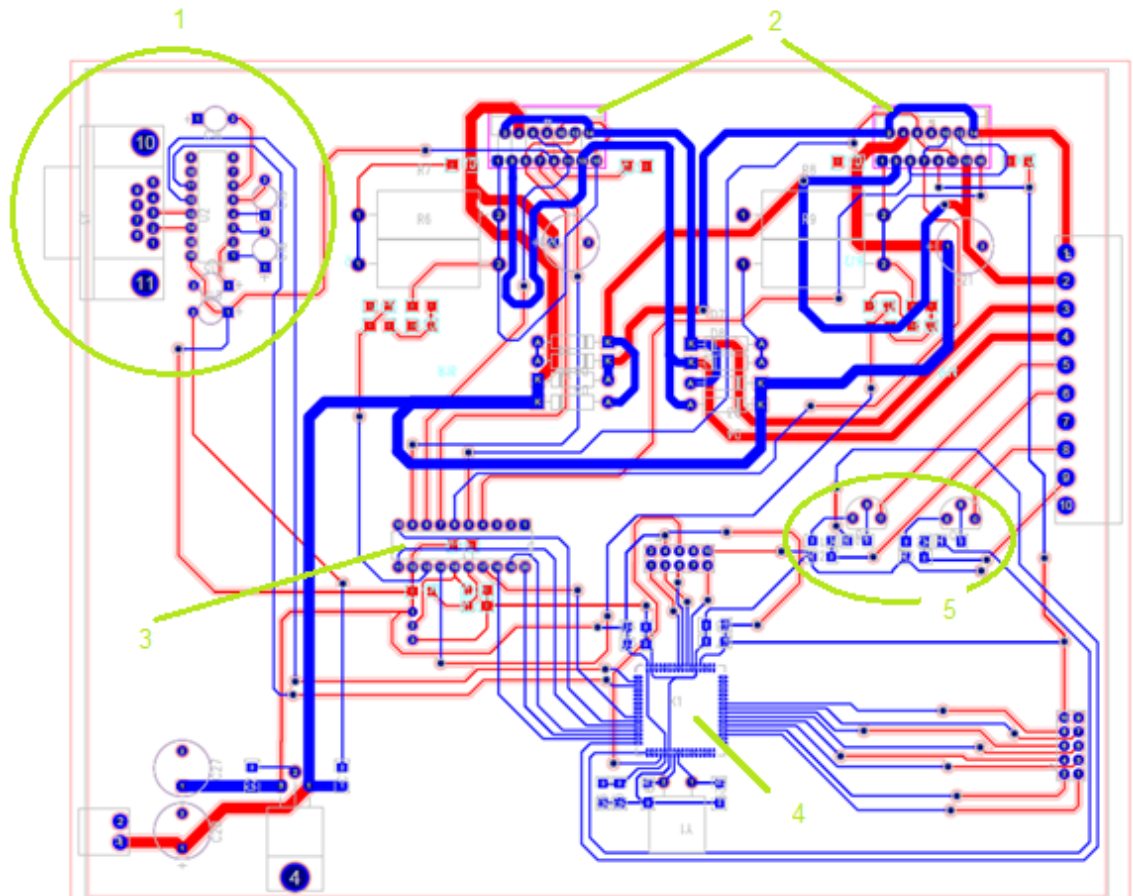
L297-piirille tarvitsee siis syöttää tarvittavat kontrollisignaalit mikrokontrollerilta ja sitten piiri generoi askelmoottorin ohjaukseen tarvittavat signaalit tehoasteelle (L298). Kuvassa 8 on esitetty generoidut signaalit sekä kellopulssi, kun ohjauspiiri on normaalitilassa. Tässä tilassa on käytössä Full step. INH1- ja INH2-lähdöt pysyvät koko ajan ykkösenä. Vasemmassa laidassa näkyvä tilakone kertoo, mitä tiloja piirin lähdöt saavat.



Kuva 8. Askelmoottorin ohjaussignaalit. [8.]

4.1.3 Piirilevy

Piirilevyn suunnitteluun käytettiin PADS Logic ja Layout -ohjelmia. Levyn suunnittelussa tuli huomioida, että levyllä kulkee suuria virtoja ja sen takia johdin leveydet täytyi olla tarpeeksi suuret. Aluksi kytkennät piirrettiin PADS Logic -ohjelmaan, ja kun kytkennät oli tehty Logicilla, lähetettiin kytkentä PADS Layout -ohjelmaan. Layoutilla suunnitellaan itse piirilevy. Kuvassa 9 näkyy PADS Layoutilla suunniteltu piirilevy.

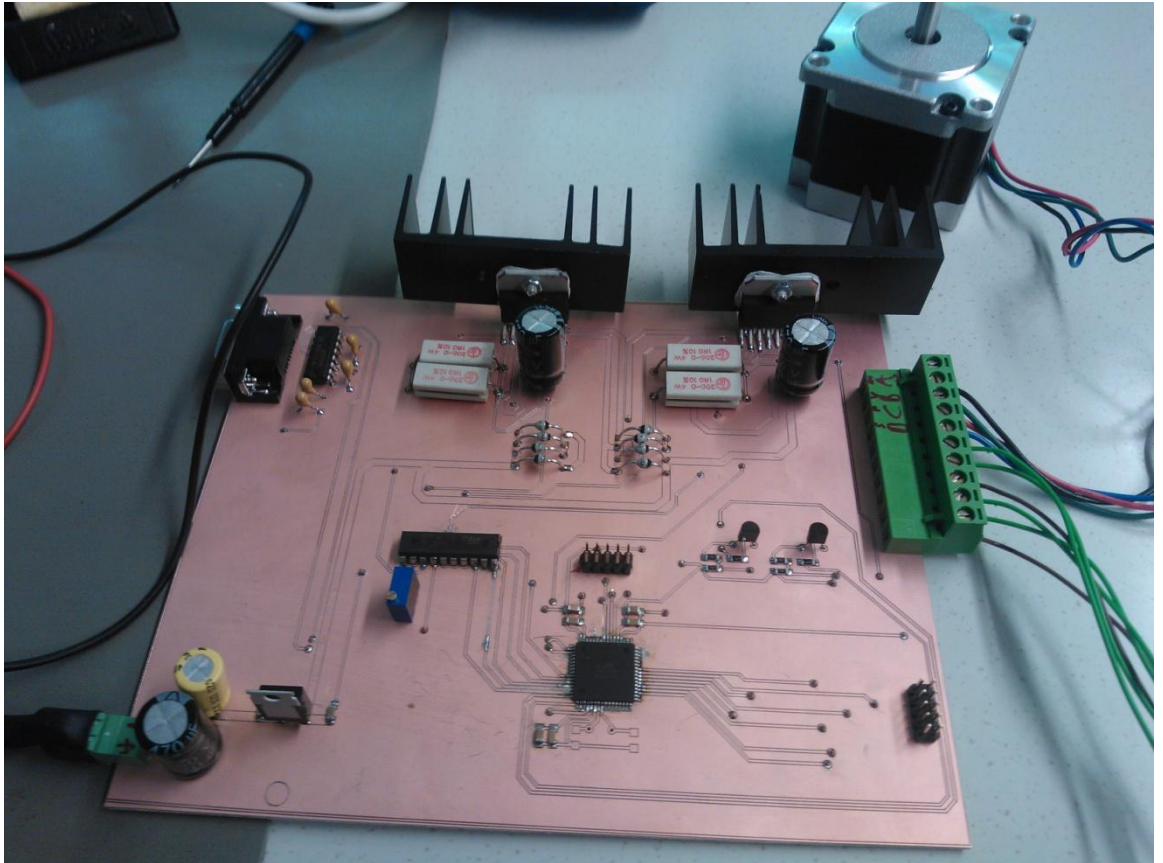


Kuva 9. PADS Layoutilla suunniteltu piirilevy.

Kuvassa 9 on merkitty vihreällä muutamia kohtia piirilevystä. Sinisellä näkyvät johdinvedot ovat piirilevyn yläpuolella ja punaisella näkyvät alapuolella. Piirilevyn alapuoli on kytketty maapotentiaaliin. Alla kerrotaan, mitä vihreällä merkityt numerot tarkoittavat.

- 1- Sarjaliikenteen ohjauskytkentä sekä liitin sarjaliikennekaapelia varten.
- 2- L298-h-siltapiirit.
- 3- L297-askelmoottorin ohjauspiiri.
- 4- ATMEGA128 -mikrokontrolleri.
- 5- Moottorin ohjauskytkennät.

Kun piirilevy oli saatu suunniteltua, jysyttiin se Kajaanin ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratoriossa. Kuvassa 10 näkyy jysyttö piirilevy, johon on jo tässä vaiheessa juotettu kaikki komponentit paikoilleen.



Kuva 10. Valmis piirilevy.

Kuvan 10 piirilevy on samassa asennossa kuin kuvan 8 PADS Layout-kuva, joten kaikki aiemmin kerrotut asiat löytyvät samasta kohtaa kuvaa. L298-h-siltapiireihin asennettiin isot jäähdytyslevyt, koska ne tahtoivat lämmitä aika paljon. H-siltapiirien alapuolella näkyy valkoiset isot tehovastukset, joita käytetään virranrajoitukseen. Oikeassa ylä laidassa kuvassa on myös näkyvässä käytetty askelmoottori.

4.2 Ohjelmiston suunnittelu

Ohjelmiston suunnitteluun käytettiin AVR Studio 4:sta ja AVR GCC-kääntäjää. Koodauskielenä käytettiin C-kieltä. Mikrokontrollerin ohjelmoimiseen ja ohjelman debuggaukseen käytettiin JTAG ICE mkII-debuggeria. Ohjelmaa voidaan ajaa mikrokontrollerille rivi kerrallaan emulaattorin avulla. Käyttöliittymä tehtiin Microsoft Visual Studio -kääntäjällä.

4.2.1 Moottorinohjaus

Moottorinohjaukseen tarvittava koodi on todella yksinkertainen. Kun moottoria ohjataan edellä esitetyllä kytkennällä, niin riittää yksi mikrokontrollerin ulostulo ohjaamaan eteenpäin kulkemista ja toinen tarvitaan peruuttamiseen.

Moottorinohjaus on kytketty mikrokontrollerin porttiin B. Portin B ulostuloon 6 on kytketty moottorinohjaus eteenpäin ja ulostuloon 7 moottorinohjaus peruuttamiseen. Moottorinohjaaminen tapahtuu siten, että laittamalla ulostulon arvoksi 1 moottori lähtee pyörimään ja laittamalla 0 moottori pysähtyy.

4.2.2 Askelmoottorinohjaus

Askelmoottorinohjaus tapahtuu myös aika helposti, kiitos L297-askelmoottorin ohjauspiirin. Kohdassa 4.1.2 on kerrottu, mitä signaaleja mikrokontrollerilta täytyy syöttää L297-piirille. Askelmoottorinohjaamiseksi täytyy luoda PWM-pulssi L297-piirin CLOCK-nastaan. PWM-pulssi tehdään mikrokontrollerilla timerin avulla. Muut L297-piirille syötettävät signaalit ovat 1:a(5 V) tai 0:a(0 V).

5 TESTAUS

Piirilevyn testaaminen aloitettiin mittaamalla yleismittarilla kaikki johdinvedot, tutkien, ettei levyllä ole oikosulkuja. Tämä oli aikaa vievää.

Kun piirilevy oli todettu oikosuluttomaksi, aloitettiin juottamaan komponentit paikoilleen. Aina kun yksi komponentti juotettiin, mitattiin heti yleismittarilla, ettei tullut oikosulkuja. Kun lopulta kaikki komponentit olivat paikoillaan, eikä piirilevyllä ollut enää yhtään oikosulkuja, kytkettiin piirilevylle sähkö, aluksi jännitelähteen virranrajoitus mahdollisimman matalalla. Sitten nostettiin varovasti virranrajoitusta ja katsottiin, ettei piirilevy syö liikaa virtaa.

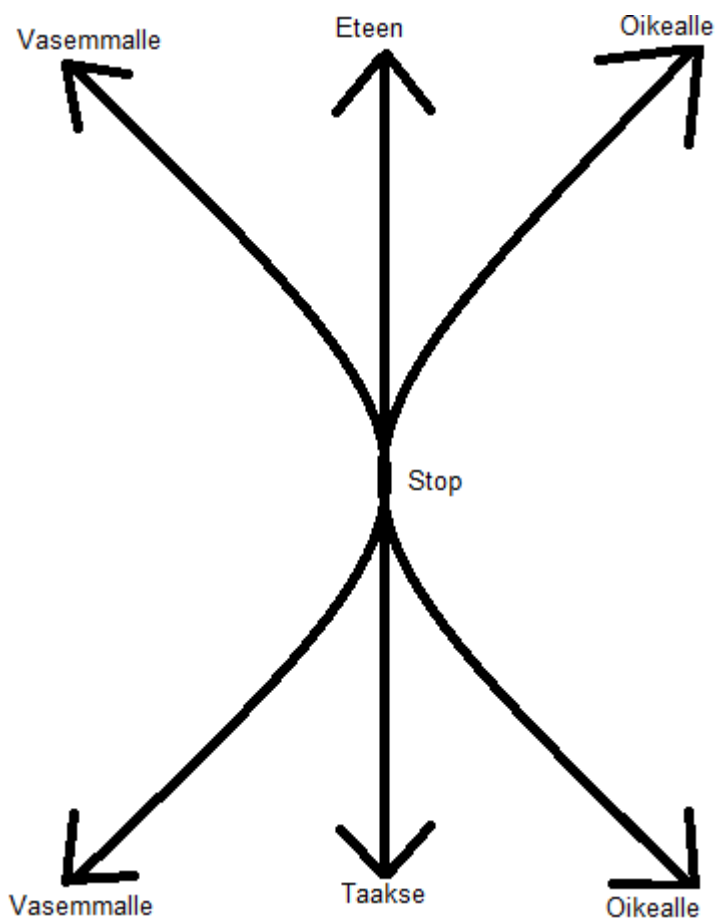
Kun ohjauskortti oli todettu toimivaksi, aloitettiin testiohjelman kirjoittaminen. Aluksi kirjoitettiin moponmoottorin ohjaamiseen tarvittava koodi. Koodilla testattiin, että kortin moottorin ohjaus toimii.

Seuraavaksi aloitettiin askelmoottorin ohjauksen ohjelmoiminen. Aluksi tehtiin hyvin yksinkertainen koodi, jolla askelmoottori oli tarkoitus saada vain pyörimään. Kun koodi oli valmis, tutkittiin ennen askelmoottorin paikoilleen kytkemistä, että kortin ulostuloista tulisi oikeanlaista signaalia. Ulostuloista A ja D tuli ulos oikeanlaista signaalia, kuitenkin ulostuloista B ja C tuli ulos oudon näköistä signaalia. Tämän ongelman tutkimiseen kului paljon aikaa. Lopulta huomattiin, että ulostuloista B ja C tulevat signaalit näyttävät siltä kuin ne olisivat päällekkäin, joten oletettavasti ne olivat jostain kohdasta piirikortilla oikosulussa keskenään. Oikosulku löytyi lopulta L297-piirin alta. Kun oikosulku oli saatu korjattua, mitattiin jälleen oskilloskoopilla ulostulevat signaalit ja ne näyttivät oikeilta.

Kun oli todettu, että askelmoottorille tulee oikeanlaista signaalia, voitiin se kytkeä kiinni kytkentään. Tämän jälkeen alettiin etsiä sopivaa PWM-pulssin nopeutta, jotta askelmoottori pyörisi hyvin.

6 TIETOLIIKENNE

Tässä tarkastellaan mopon ohjauskortin ja PC:n välistä tietoliikennettä. Tiedonsiirto tapahtuu siis RS-232-sarjaliikenteellä. PC:lle on tehty käyttöliittymä, jolla voidaan ohjata mopon ohjauskorttia. PC:n ja ohjauskortin välillä on RS-232-kaapeli, jota pitkin viestit menevät. Sarjaliikenne toimii baudinopeudella 9600, siinä on yksi stop-bitti, mutta ei pariteettibittejä. Kuvassa 12 näkyy, mitä käskyjä laitteelle on lähetettävä, jotta se toimisi oikealla tavalla.



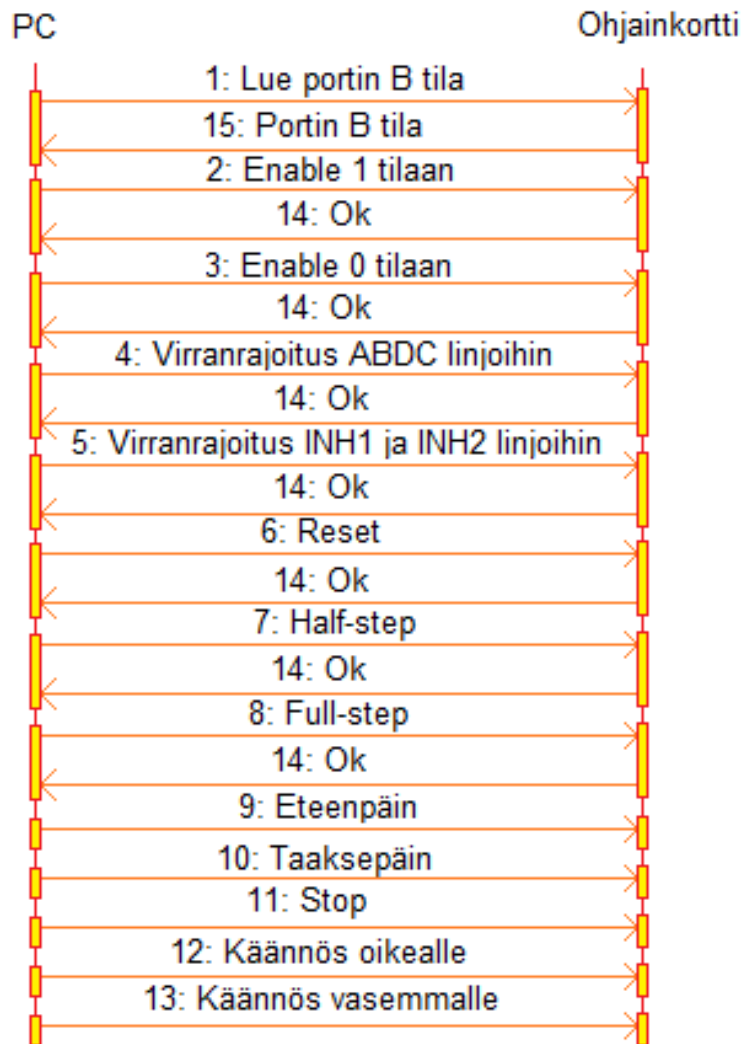
Kuva 12. Laitteen toiminta.

Komennot annetaan tavallisina kirjaimina. Laitteelle voidaan lähettää myös komentoja, joilla askelmoottorin ohjaimen asetuksia voidaan muuttaa. Taulukossa 2 on lueteltu kaikki laitteiden väliset sanomat, kirjaimet, joilla komennot tapahtuvat ja mihin suuntaan viestit menevät.

Taulukko 2. Lähetettävät sanomat.

Kirjain	Toiminta	Suunta PC - HW
m	Lukee portin B tilan	PC --> HW
a	enable 1 tilaan	PC --> HW
z	enable 0 tilaan	PC --> HW
q	virranrajoitus ABCD linjoihin	PC --> HW
w	virranrajoitus INH1 ja INH2 linjoihin	PC --> HW
r	reset	PC --> HW
h	half-step	PC --> HW
f	full-step	PC --> HW
e	eteenpäin	PC --> HW
t	taaksepäin	PC --> HW
s	stop	PC --> HW
o	käännös oikealle	PC --> HW
v	käännös vasemmalle	PC --> HW
	Ok	PC <-- HW
	Portin B tila	PC <-- HW

Kuvassa 13 sekvenssikaavio lähetettävistä sanomista. Kaaviossa näkyvät kaikki sanomat. Kun askelmoottorin ohjaimen asetuksia muutetaan, lähettää mikrokontrolleri aina Ok-viestin takaisin, jotta PC:lle tehty ohjelma tietää, että mikrokontrolleri sai viestin. Kun PC:ltä kysytään portin B tilaa, lähettää mikrokontrolleri portin B tilan PC:lle. Tässä viestissä lähetetään portin B tila hex-muodossa.



Kuva 13. Sekvenssikaavio.

7 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JATKOKEHITYS

Työn tuloksena saatu ajoneuvon ohjauskortti vastasi pääpiirteisesti odotuksia. Askelmoottorinohjaus ja ajoneuvon moottorinohjaus toimivat kuten pitääkin. RS-232-sarjaliikenne toimii, kuten on tarkoituskin. PC:ltä voidaan ohjata askelmoottoria ja ajoneuvon moottoria. PC:ltä voidaan myös muuttaa askelmoottorin ohjaimen asetuksia. Ainut ongelma laitteessa on, että h-siltapiirit ja regulaattori lämpiävät aika paljon.

Työ oli suurimmaksi osaksi elektroniikan suunnittelua ja rakentamista. Työssä oli myös jonkin verran mukana ohjelmointia. Suurin haaste työssä oli askelmoottorin ohjauksen suunnittelu. Piirilevyn suunnittelu oli aikaa vievää, muttei tuottanut mitään suuria hankaluuksia, koska opiskelun aikana on tullut käytettyä melko paljon PADS-piirilevyn suunnitteluohjelmistoa. Työn tekemistä helpotti se, että RS-232-sarjaliikennettä on opeteltu paljon opiskelun aikana. Askelmoottorin ohjauksen suunnittelu olisi voinut olla paljon hankalampaa, jos ohjaus- ja tehoaste olisi pitänyt suunnitella kokonaan erilliskomponenteista. Onneksi kuitenkin L297-askelmoottorin ohjaus piiri generoi askelmoottorin ohjaamiseen tarvittavat signaalit suoraan kellopulsseista ja L298-h-siltapiiri toimii hyvin tehoasteena.

Jatkokehityksenä on tietenkin ohjauskortin asentaminen ajoneuvoon. Ajoneuvon ohjauksen mekaniikan suunnittelu ja rakentaminen ovat myös kehityksen kohteita. Suurinta päänvaivaa tulee varmaankin aiheuttamaan konenäön suunnittelemisen ajoneuvoon sekä tekemään sen ohjelmasta älykkään. Myös tietoliikenteessä on jatkokehityksen varaa.

8 YHTEENVETO

Insinööriyössä suunniteltiin ja toteutettiin itsestään liikkuvaan sähköajoneuvoon ohjausyksikkö. Ohjausyksikkö ohjaa ajoneuvon moottoria sekä askelmoottoria. Askelmoottori ohjaa ajoneuvon kääntymistä. Suunnittelu sujui muuten aika helposti, mutta askelmoottorin ohjauksen suunnitteluun kului kuitenkin aikaa melko paljon. Ohjelmiston suunnittelu oli myös suhteellisen yksinkertaista. Ohjelmiston suurin ongelma oli säätää kellopulssi sopivaksi askelmoottorille sekä päättää, kuinka monta kellopulssia laitetaan yhdellä kääntymiskäskyllä. Laitteen piirilevy jyrättiin Kajaanin ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratoriossa. Piirilevylle jääneet oikosulut aiheuttivat ongelmia myöhemmin.

Laitetta ohjataan PC:n avulla käyttäen RS-232-sarjaliikennettä. PC:ltä voidaan muuttaa askelmoottorin ohjaimen asetuksia, ohjata askelmoottoria ja ajoneuvon moottoria. ATMEGA128-mikrokontrolleri ohjaa kortin toimintaa. Askelmoottorin ohjaus koostuu L297-askelmoottorin ohjauspiiristä ja kahdesta rinnakkain kytketystä L298-h-siltapiiristä. L297-piiri tekee askelmoottorin ohjaamiseen tarvittavat signaalit, ja se tarvitsee mikrokontrollerilta vain kellosignaalin sekä asetussignaalit. L298-h-siltapiirit toimivat tehoasteena. Ajoneuvon moottorinohjaus toteutettiin yksinkertaisella transistorikytkimellä.

Laitteen asentaminen paikoilleen itsestään liikkuvan sähköajoneuvon pohjaksi tarkoitettuun mopoon jää myöhemmäksi. Mopon ohjauksen mekaniikan rakentaminen vaatii paljon työtä, samoin myös liiketunnistuksen laittaminen ajoneuvoon on varmasti haastavaa.

Työ onnistui pääosin hyvin, ja se opetti paljon tärkeitä asioita itsenäisesti ohjautuvista ajoneuvoista sekä askelmoottorin ohjaamisesta. Aikataulun noudattaminen onnistui laitteen rakentamisen osalta hyvin, mutta ohjelman säätämiseen kului aikaa hieman enemmän kuin oli tarkoitus. Ohjelman valmistumista viivästyttivät lähinnä PC:n ja ohjainkortin välisen RS-232-sarjaliikenteen ongelmat.

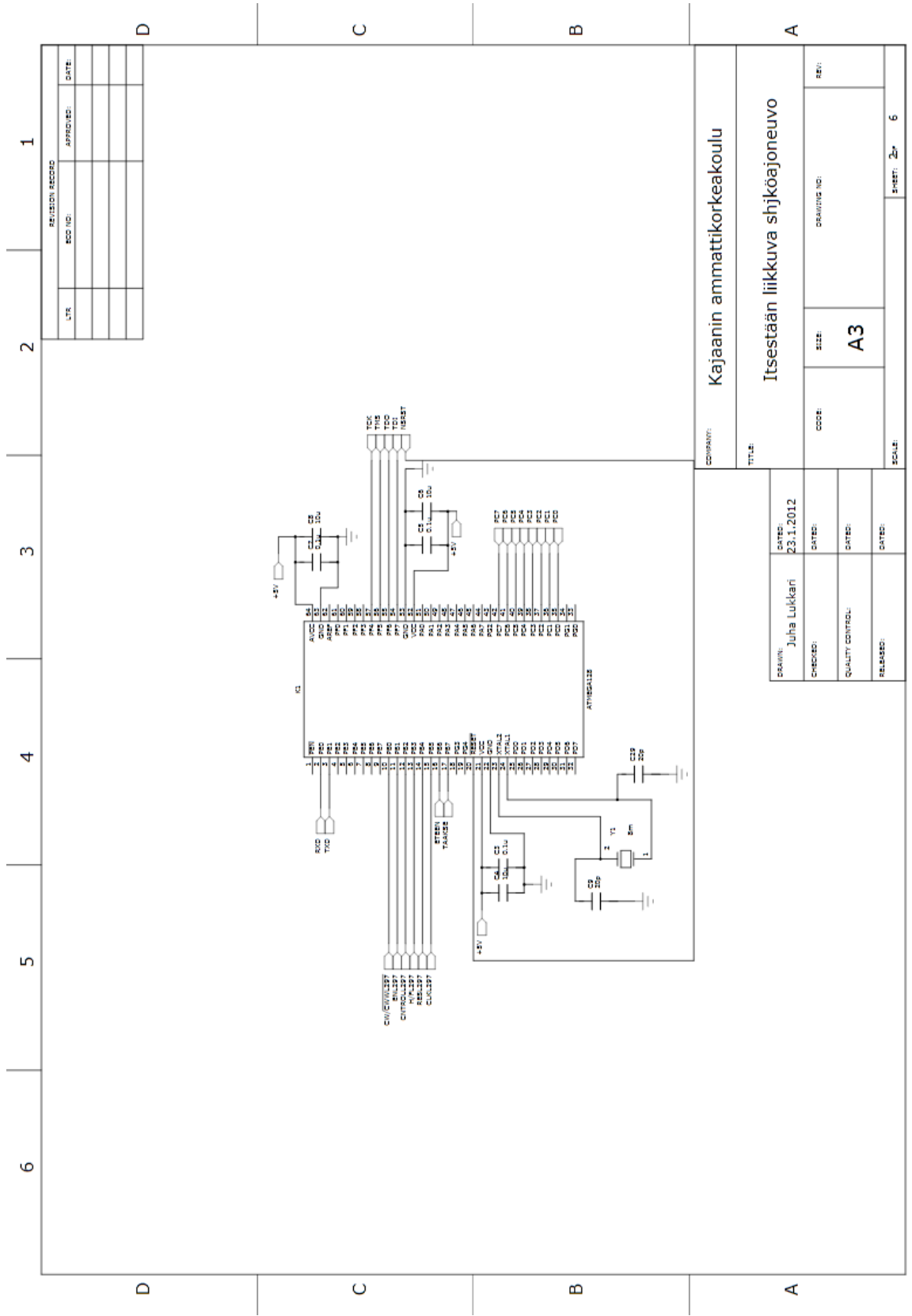
LÄHTEET

- [1] Suonvieri, Tapio. 2005. Miehitämättömät maa-ajoneuvot = Unmanned ground vehicles. Luettu 28.11.2011. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003063676>
- [2] Urmson, Chris. 2006. Self-Driving Cars and the Urban Challenge. Luettu 3.4.2012. <http://www.kajak.fi>, Nelli-portaali, IEEE Xplore
- [3] Markoff, John. 2012. Collision in the Making Between Self-Driving Cars and How the World Works. Luettu 4.4.2012. http://www.nytimes.com/2012/01/24/technology/googles-autonomous-vehicles-draw-skepticism-at-legal-symposium.html?_r=1
- [4] Palosaari, Toni. 2007. GPS-nopeusmittari. Luettu 20.4.2012. <https://publications.theseus.fi/handle/10024/10290>
- [5] Maxim Integrated Products, Inc. 2010. MAX220-MAX249. Luettu 27.3.2012. <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>
- [6] TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG. 2011. QMOT QSH5718 MAN UAL. Luettu 6.1.2012. http://www.trinamic.com/tmc/media/Downloads/QMot_motors/QSH5718/QSH5718_new_manual.pdf
- [7] STMicroelectronics. 2000. L298 DUAL FULL-BRIDGE DRIVER. Luettu 27.3.2012. <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/2/052daje928cw7pc0uqs1ipyryppy.pdf>
- [8] STMicroelectronics. 1995. THE L297 STEPPER MOTOR CONTROLLER. Luettu 4.4.2012. <http://www.technologicalarts.com/myfiles/data/AN470.pdf>

LIITTEET

LIITE 1 PADS Logic -piirikaaviot

6	5	4	3	2	1																																										
D	C	B	A	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">REVISION RECORD</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">LIT.</td> <td style="width: 50%;">DATE</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>		REVISION RECORD		LIT.	DATE																																						
REVISION RECORD																																															
LIT.	DATE																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">COMPANY: Kajaanin ammattikorkeakoulu</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">TITLE: Itsestään liikkuva sätköajoneuvo</td> </tr> <tr> <td style="width: 20%;">DRAWN: Juha Luukkari</td> <td style="width: 10%;">DATE: 23.1.2012</td> <td style="width: 10%;">CODE: A3</td> <td style="width: 10%;">DRAWING NO:</td> <td style="width: 10%;">REV:</td> <td style="width: 10%;"> </td> </tr> <tr> <td>CHECKED: </td> <td>DATE: </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>QUALITY CONTROL: </td> <td>DATE: </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>RELEASED: </td> <td>DATE: </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">SCALE: 1:1</td> <td style="text-align: center;">SHEET: 4/6</td> </tr> </table>						COMPANY: Kajaanin ammattikorkeakoulu						TITLE: Itsestään liikkuva sätköajoneuvo						DRAWN: Juha Luukkari	DATE: 23.1.2012	CODE: A3	DRAWING NO:	REV:		CHECKED:	DATE:					QUALITY CONTROL:	DATE:					RELEASED:	DATE:					SCALE: 1:1					SHEET: 4/6
COMPANY: Kajaanin ammattikorkeakoulu																																															
TITLE: Itsestään liikkuva sätköajoneuvo																																															
DRAWN: Juha Luukkari	DATE: 23.1.2012	CODE: A3	DRAWING NO:	REV:																																											
CHECKED:	DATE:																																														
QUALITY CONTROL:	DATE:																																														
RELEASED:	DATE:																																														
SCALE: 1:1					SHEET: 4/6																																										
D	C	B	A	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">REVISION RECORD</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">LIT.</td> <td style="width: 50%;">DATE</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>		REVISION RECORD		LIT.	DATE																																						
REVISION RECORD																																															
LIT.	DATE																																														



REVISION RECORD		
L.T.R.	ECO NO.	DATE

COMPANY: Kajaanin ammattikorkeakoulu

TITLE: Itsestään liikkuva shjkoajoneuvo

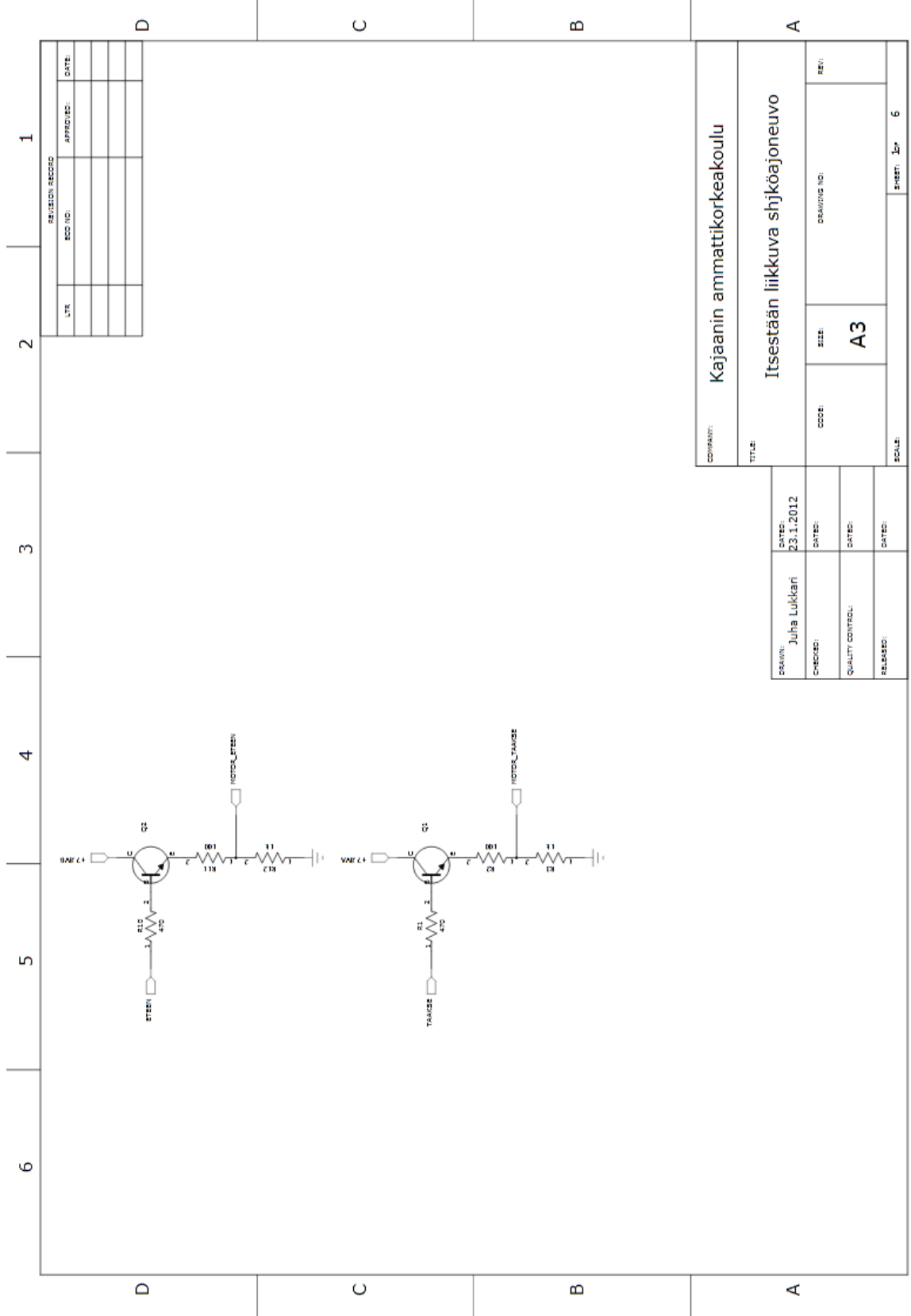
DESIGN:	Juha Lukkari	DATE:	23.1.2012
CHECKED:		DATE:	
QUALITY CONTROL:		DATE:	
RELEASED:		DATE:	

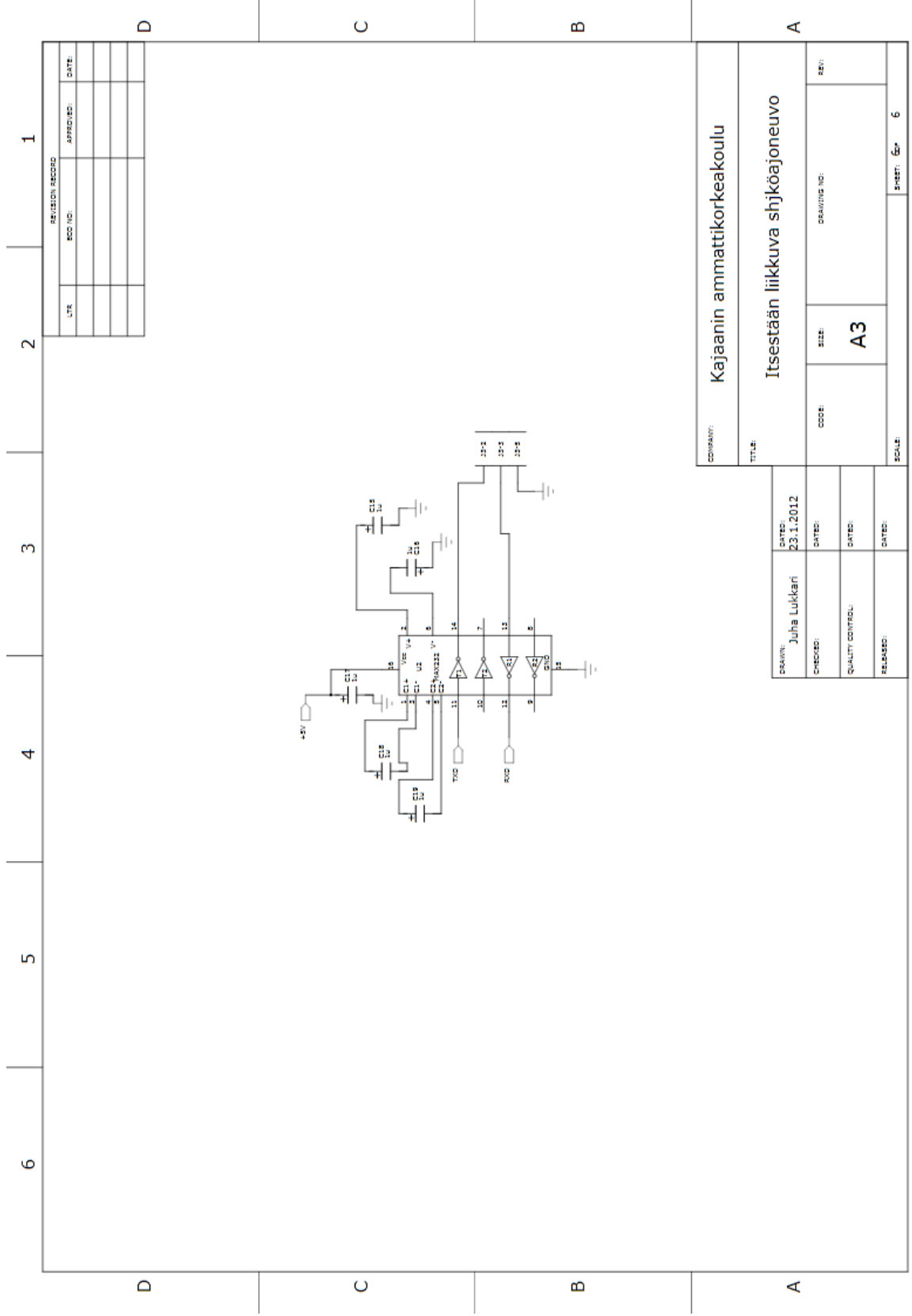
CODE: A3

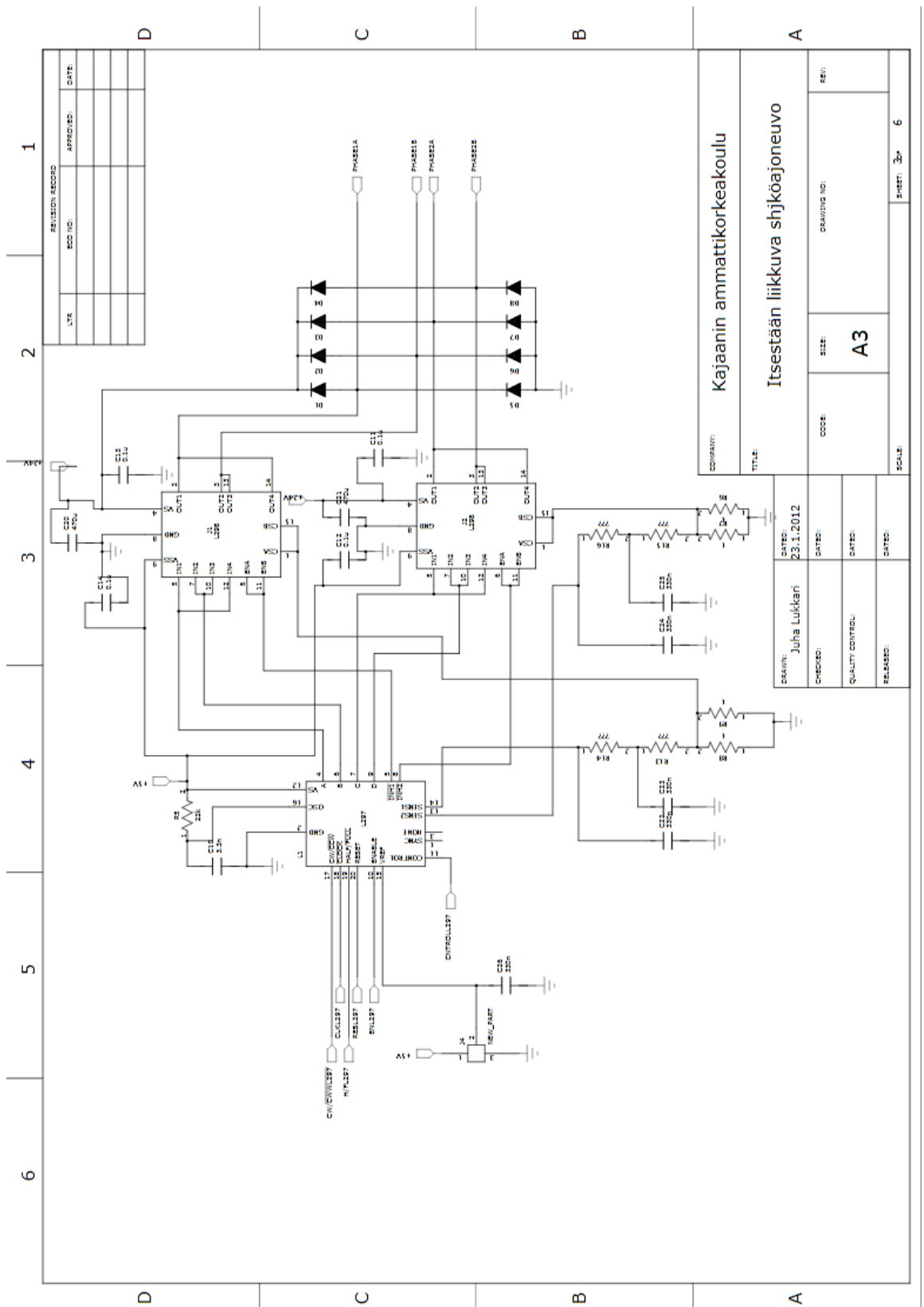
SCALE: 1:1

SHEET: 2-

6







REVISION RECORD		
LYR	ECO NO.	APPROVED:

COMPANY: Kajaanin ammattikorkeakoulu	
TITLE: Itsestään liukuva shjkoajoneuvo	
DESIGNER: Juha Luukkan	DATE: 23.1.2012
CHECKED:	DATE:
QUALITY CONTROL:	DATE:
RELEASED:	DATE:
CODE:	DRAWING NO.:
SIZE: A3	REV.:
SCALE: 3:1	SHEET: 6