

Petteri Antila

SÄHKÖISEN KAASULÄPÄN OHJAIN

Tietotekniikan koulutusohjelma

2015

SÄHKÖISEN KAASULÄPÄN OHJAIN

Antila, Petteri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Joulukuukuu 2015
Ohjaaja: Ekholm, Ari
Sivumäärä: 35
Liitteitä: 1

Asiasanat: Drive by wire, Kaasuläppä, Mikro-ohjain, Piirilevysuunnittelu, PID-säätö

Opinnäytetyö käsittelee nykyaikaisten polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen moottorin yhtä osa-aluetta, sähköistä kaasuläppää. Koska moottoriurheilukäytössä yleinen tapa on poistaa sähkötoiminen kaasuläppä ja korvata se mekaanisella vivustolla, nähtiin tarpeelliseksi suunnitella ohjainlaite sähkötoimisille kaasuläpille.

Työssä suoritetaan katselmus sähköisen kaasuläpän ohjainlaitteen suunnittelun haasteisiin ja kuvataan suunnitteluprosessia. Työ sisältää myös prototyypin valmistuksen ja valmiin ohjainlaitteen kuvauksen.

DRIVE BY WIRE CONTROLLER

Antila, Petteri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Information Technology

December 2015

Supervisor: Ekholm, Ari

Number of pages: 35

Appendices: 1

Keywords: Drive by wire, Throttle body, Microcontroller, PCB-design, PID-control

This thesis addresses the electronic throttle body found in modern fuel injected automobiles. When an automobile is prepared for motorsport use, it is common that one does remove the drive by wire throttle system and replaces it with a mechanical linkage. Because of this, a need for a controller for drive by wire throttle was raised.

The thesis focuses on the challenges of implementing a controller for a drive by wire throttle. The thesis also includes the making of the prototype controller, and a look on the completed prototype.

TERMIT JA LYHENTEET

DBW	Drive by wire
PID	Proportional integral derivative
CAN	Controller area network
FET	Field effect transistor
EMI	Electromagnetic Interference
ESD	Electrostatic Discharge
EMC	Electromagnetic Compatibility
Malloc	Memory allocation
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
RTOS	Real Time Operating System
MISRA	Motor Industry Software Reliability Association
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KÄSITTEET	8
2.1	Sulautettu järjestelmä.....	8
2.2	Drive by wire	8
2.3	PID-säätö.....	8
2.4	CAN-väylä	9
3	LAITTEISTON KUVAUS.....	10
3.1	Taustaa	10
3.2	Ohjaimelta vaadittava toiminallisuus.....	11
3.3	Ohjaimen suunnittelun haasteet	13
3.4	Kaasuläppä.....	13
3.5	Kaasupoljin	14
4	ELEKTRONIIKAN SUUNNITTELU.....	15
4.1	Lineaaritehonlähde.....	15
4.2	Hakkuritehonlähde	16
4.3	H-silta.....	17
4.4	Komponenteilta vaadittavat ominaisuudet.....	18
4.5	Koteloinnin valinta.....	18
4.6	Laitteiston kuvaus lyhyesti	19
4.7	Analogisignaalien suodatus	20
4.8	Piirilevyn suunnittelu KiCad-ohjelmistolla	22
4.9	Kytkäkaavio	23
4.9.1	Piirilevyn piirto	24
4.10	EMC yhteensopivuus	25
4.10.1	EMI	26
4.10.2	ESD	26
5	OHJELMISTON SUUNNITTELU.....	27
5.1	Sulautetun järjestelmän ohjelmisto	27
5.1.1	Kaasupolkimen ja läpän suhde.....	28
5.1.2	Kommunikaatio PC:n ja ohjaimen välillä.....	29
5.1.3	Sulautetun järjestelmän ohjelmiston katsaus	30
6	PROTOTYYPIN VALMISTUS	31
6.1	Pastamaski.....	32
6.2	Komponentit	32

6.3	Uunitus.....	32
7	LOPPUTULOS	33
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on nykyaikaisissa polttomoottorikäyttöisissä ajoneuvoissa olevan sähköllä ohjatun kaasuläpän ohjaimen suunnittelu ja prototyypin toteutus.

Jatkuvasti kiristyvät ajoneuvojen päästörajoitukset asettavat uusia haasteita ajoneuvojen moottoreiden ohjausjärjestelmille. Tämä on johtanut ajoneuvovalmistajien käyttämään nykyaikaisissa polttomoottoreissaan entistä monimutkaisempia toteutustapoja moottorin ohjauksessa. Tässä työssä tarkastellaan moottorinohjauksen yhtä osa-aluetta, sähköisen kaasuläpän ohjausta.

Työn aiheena on suunnitella ja toteuttaa kaasuläpän ohjain, joka toimii luotettavasti ajoneuvoympäristössä, jossa lämpötilat ja elektromagneettinen säteily muodostavat haasteita elektroniikan suunnittelulle. Työtä ei myöskään helpottanut tosiasia, että virhe ohjaimen ohjelmistossa voi aiheuttaa ajoneuvon kiihtymisen kuljettajan toiminnasta riippumatta.

Työssä suunniteltu kaasuläpän ohjain on tarkoitettu moottoriurheilukäyttöön, jossa se mahdollistaa helposti muun muassa luistoneston toteutuksen ja varikkonopeusrajoittamisen. Suunnittelussa kiinnitettiin huomiota ominaisuuksien helppoon lisäämiseen ohjelmistopäivityksillä.

Työn toteuttamisen aikana tutustuttiin syvällisesti nykyaikaisiin ajoneuvojen ohjausjärjestelmiin ja niiden haasteisiin. Ihmetystä aiheutti referenssitoteutusten puute. Vastaavasta ohjausjärjestelmästä ei löytynyt yhtäkään avoimen lähdekoodin projektia työn suorittamisen aikaan. Myöskään puolijohdevalmistajilta ei ollut esimerkkejä toteutuksesta.

Työssä käytetyistä elektroniikan komponenteista ja tekniikoista on internetissä ja kirjoissa paljon yksityiskohtaista tietoa. Esimerkiksi DC moottorin ohjausta H-sillalla käsitellään paljon ja PID-ohjauksesta on kirjoitettu varmasti satoja kirjoja. Näin ollen en

halunnut keskittyä saman asian uudelleenkirjoittamiseen, vaan kertoa enemmänkin asiakokonaisuuksista ja niiden implementaatioiden haasteista.

2 KÄSITTEET

2.1 Sulautettu järjestelmä

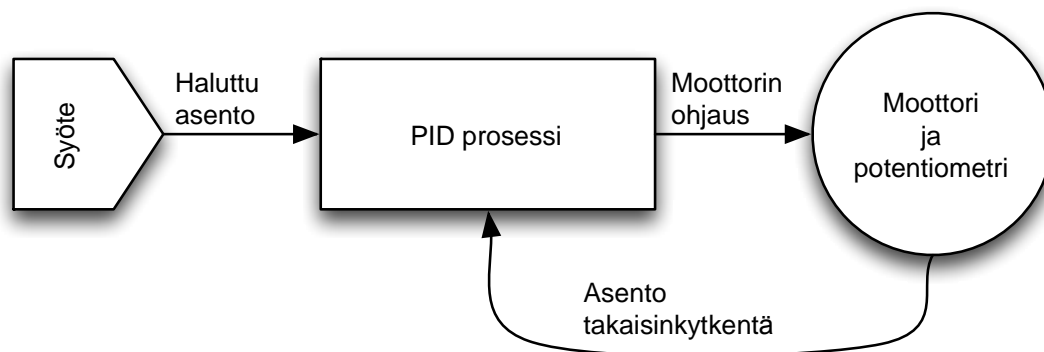
Sulautettu järjestelmä (Embedded System) koostuu mikro-ohjaimesta, joka on samalle piipalalle integroitu mikroprosessori, muistipiirit ohjelmalle ja käsiteltävälle tiedolle, liitännät ulkomaailmaan ja tarvittavat ohjelmistot. Sulautetun järjestelmän päätehtävänä on valvoa ja ohjata sen elektronisen laitteen toimintoja, johon se on integroitu. (Vahtera 2003, 13.)

2.2 Drive by wire

Drive by wire termiä käytetään kuvaamaan jonkin liikkeen tai ohjaamisen tietokoneohjausta. Esimerkiksi lentokoneissa käytetään fly by wire termiä kertomaan, että lentokoneen ohjainsauva ei ole mekaanisesti yhteydessä konetta ohjaaviin siivekkeisiin. Uudemmissa autoissa esiintyy myös brake by wire ja steer by wire järjestelmiä.

2.3 PID-säätö

PID-säädin antaa useissa tapauksissa parhaan säätötuloksen, koska säätimellä voidaan vaikuttaa tehokkaasti järjestelmän nopeuteen, tarkkuuteen, värähtelyominaisuuksiin jne. (Savolainen & Vaitinen 2003, 61). Kaasuläpistä tulee ohjaimelle takaisinkytkentä kaasuläpän potentiometreistä ja näitä signaaleita käytetään PID-säätimen toiminnassa. PID-säätimen lyhenne tulee proportional, integral ja derivative termeistä. Proportional tarkoittaa nykyhetken virhettä mittauksessa, integraalilla tarkoitetaan menneisyyden summautunutta virhettä ja derivaatta on ennustus tulevaisuuden virheistä nykyisellä muutosvauhdilla. Kuvassa 1 on kuvattu kyseisen ohjainlaitteen PID-säätö. Syöte voidaan kuvitella kaasupolkimena.



Kuva 1 PID-Säätö

PID-säätimen toteutus C-koodina on seuraavanlainen. Setpoint on haluttu arvo, input on takaisinkytkennän arvo ja output on säätimestä lähtevä ohjaus signaali.

```

error = Setpoint - input;
Iterm += (I * error);
dInput = (input - lastInput);
output = (P * error) + Iterm - (D * dInput);
  
```

Tarkasteltaessa koodiesimerkin viimeistä riviä voidaan todeta säätimen toimintaperiaate. Muuttuja P on säätimen parametri ja error kuvastaa ensimmäisen rivin mukaisesti säätimen asetusarvon ja takaisinkytkennän arvon erotusta. Näin ollen parametri P kuvaa kuinka suurella muutoksella säädin reagoi staattisesti virheeseen. Itermi on asetusarvon ja takaisinkytkentäarvojen summan integraali. Integraaliin vaikutetaan I asetusarvolla, joka pienentää (tai suurentaa) Itermin nousun kulmakerrointa. Viimeisenä on derivaatta, joka katsoo kuinka suuren muutoksen säädin sai aikaan viime kerralla ja käyttää D asetusarvoa vaikuttamaan derivaatan jyrkkyyteen.

2.4 CAN-väylä

CAN-väylä on standardi, joka kuvaa fyysisen siirtotien (kierretty kuparipari) ja sanoman muodon. (Saha 2005, 7). Sanoman muoto on siis standardoitu, mutta sanoman

sisältöä ei. Autojen valmistajilla on omia CAN-väylän sanomia, mutta ne eivät välttämättä ole yhteensopivia keskenään. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma toteutukselle, koska ko. ohjainlaite ei ole tarkoitettu asennettavaksi ajoneuvon alkuperäisen moottorin ohjaimen kanssa. Tuki tullaan toteuttamaan jälkiasennettavalle moottorinohjaimelle, jossa ei ole omaa sähköisen kaasuläpän ohjainta. Ohjelmistopäivityksillä on mahdollista laajentaa CAN-väylän tukea monille eri valmistajien laitteistoille.

Ajoneuvojen CAN-väylässä kulkevat sanomat ovat yleensä eri laitteiden (ECU, ABS, jne.) väylälle puskemaa informaatiota, josta muut laitteet voivat poimia tarvitsemansa tiedot (Nieminen 2007, 184). Koska laitteiden ei siis tarvitse erikseen pyytää tietoja toisiltaan, helpottaa se huomattavasti kommunikaatiöväylään kytkeytymistä. Esimerkiksi ABS jarrujärjestelmä lähettää BMW merkkisissä autoissa koko ajan kaikkien neljän renkaan nopeustietoa väylälle ja siitä ne on helppo hyödyntää esimerkiksi luis-tonestoa varten.

3 LAITTEISTON KUVAUS

3.1 Taustaa

Elektroninen kaasuläpän ohjausjärjestelmä on ns. "Drive By Wire" (DBW) järjestelmä, jossa mekaaninen, usein vaijerilla toteutettu yhteys kaasupolkimen ja kaasuläpän välille, on toteutettu sensoreilla ja aktuaattoreilla. DBW järjestelmiä on ollut kehitteillä kauan, mutta vasta 2000-luvun jälkeen niitä on alettu massatuottaa. Drive by wire järjestelmiä on ajoneuvoissa, joissa ajoneuvon valmistaja haluaa vaikuttaa kuljettajan ajoelämykseen dynaamisesti vaikuttamalla kaasupolkimen ja kaasuläpän siirtofunktioon, esimerkiksi ulkoisten muutosten seurauksena. Tällaisia muutoksia voi olla mm. lämpötila, korkeus merenpinnasta ja ajoneuvon nopeus.

Elektroninen kaasuläppä on usein korkeasti integroitu kokonaisuus, joka pitää sisällään moottorin, jousen ja paikoitusanturit. Turvallisuustekijänä kaasuläppään on asennettu jousi, joka sulkee kaasuläpän, jos kaasuläppässä sijaitseva moottori kytkeytyy pois

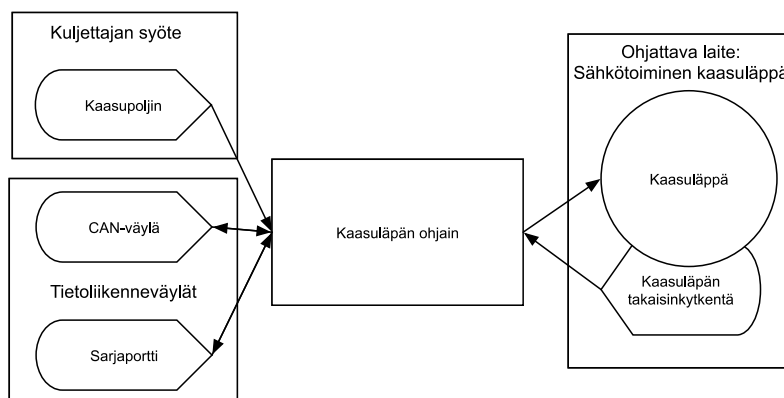
päältä. Joissain kaasuläpissä jousi ei sulje läppää kokonaan, vaan jättää sitä vähän raolleen, jolloin ajoneuvon moottori saa tarvittavan ilmamäärän käydäkseen joutokäyntiä. Jousi myös helpottaa läpän tarkkaa paikoitusta haluttuun kohtaan tarjoamalla moottorille vastavoiman. Vastavoima vähentää läppään kohdistuvien ulkoisten voimien vaikutusta. Läppään vaikuttavia ulkoisia voimia on esimerkiksi värinä ja läppään vaikuttava ilmavirta.



Kuva 2 Sähköinen kaasuläppä

3.2 Ohjaimelta vaadittava toiminnallisuus

Kokonaisuuden suunnittelu lähtee tarpeiden määrittelystä. Tässä työssä on tarpeen saada tasavirta sähkömoottorilla liikuteltava läppä ajettua haluttuun asentoon.



Kuva 3 Kaasuläpän ohjaimen rakenne

Suunnittelun lähtökohtana oli saada ohjattua sähköistä kaasuläppää korvaamalla vaijeri sähköjohdolla. Kuitenkin suunnittelun edetessä ilmeni myös tarpeita lisäominaisuuksille, kuten vakionopeudensäädin, joutokäynnin säädin, luistonesto jne. Nykyiset kaupalliset jälkiasennettavat järjestelmät toteuttavat joko kaikki edellä mainituista ominaisuuksista tai ainakin osan. Kaasuläpän aukeama ei ole välttämättä lineaarisessa suhteessa kaasupolkimen asennon kanssa, vaan sitä voidaan parametrisoida ajomukavuuden tai jonkin muun suuren mukaiseksi. Nykyisissä autoissa kaasupolkimen asento kertoo moottorin ohjaimelle kuinka suurta vääntömomenttia moottorista halutaan. Vääntömomentti taas ei ole suoraan verrannollinen kaasuläpän asentoon, vaan se on suhteellinen moottorin pyörimisnopeuteen, kaasun asentoon ja mahdolliseen moottorissa vallitsevaan ahtopaineeseen.

Työssä toteutettavalla ohjaimella ei ole tarkoitus toteuttaa kaikkia näitä säätömahdollisuuksia, mutta niille on haluttu jättää toteutusmahdollisuus tulevaisuuteen. Tällöin oli ehdottomasti valittava mikro-ohjain, jolla ominaisuudet voidaan toteuttaa ohjelmistopäivityksillä.

Kaasuläpän ohjain on yleensä myös jossain määrin sidoksissa moottorin ohjainlaitteeseen, joka määrittää moottorin muun toiminnan. Moottorinohjain saattaa esimerkiksi pyytää rajoittamaan tehoa moottorin ylikuumentuessa. Tätä toiminallisuutta varten tarvitaan CAN-väylää tukeva mikro-ohjain. Näitä mikro-ohjaimia löytyy kaikilta suurilta valmistajilta. Mikro-ohjaimen valinnassa kuitenkin päädyttiin Atmelin tekemään AVR sarjaan, joka on kyseiseen tarkoitukseen tarpeeksi suorituskykyinen ja se sisältää projektissa tarvittun CAN-väylä toiminallisuuden. Kyseiseen mikro-ohjaimen on myös valmistajalta saatavilla oleva ilmainen C-kääntäjä ja ohjelmointiympäristö. AVR:n valintaa puolustaa myös valmistajan kattavat datalehdet, jotka ovat välttämättömät tehtäessä ajoneuvon turvallisuuden vaikuttavaa laitetta.

3.3 Ohjaimen suunnittelun haasteet

Drive by wire järjestelmässä on kaksi suurta haastetta suunnittelulle. Ensimmäinen haaste on läpän ohjaamisessa. Koska läpän asento ei ole verrannollinen läppää liikuttavaan moottorin jännitteeseen, tulee läpän asennoimiseen käyttää kehittyntä ohjausmetodia.

Ohjelmiston kehitys asettaa myös suuren haasteen. Sulautetun järjestelmän ohjelmiston täytyy olla toimintavarma ja toteuttaa turvallisuusvaatimukset. Huoli mekaanisen yhteyden pois jättämiseen ajoneuvoa kiihdyttävästä osasta on perusteltua. Tarkasteltaessa lähempää mekaanista yhteyttä kaasupolkimeen on siinäkin huomattavissa ongelmia. Esimerkiksi vaijerin jumiutuminen ja kaasuläppäkotelon likaantuminen saattaa aiheuttaa kaasuläpän jumiutumisen. Sähköisessä toteutuksessa voidaan seurata kaasuläpän kuntoa tarkastelemalla kuinka suuren vääntömomentin sähkömoottorin täytyy tuottaa läpän liikuttamiseen. Näin voidaan varoittaa kuljettajaa ennakkoon koneiston kulumisesta. Jos sähköinen kaasuläppä vikaantuu ja jää auki asentoon, huomaa valvova tietokone epäkohdan kaasupolkimen ja kaasuläpän asennon suhteen. Tällöin moottorin ohjain voi esimerkiksi sammuttaa polttoaineen suihkutuksen moottoriin, jolloin ajoneuvo saadaan pysähtymään. Kaasuläpässä ja kaasupolkimessa asentoantureita on kaksi kappaletta, jolloin saavutetaan vikasietoisuus ja toimintavarmuus. Kaasuläpän ohjain seuraa kumpaakin asentoanturia, ja vertaa niitä keskenään. Jos antureiden paikkatiedot poikkeavat, voidaan käyttäjää informoida järjestelmän vikaantumisesta tai sammuttaa järjestelmä.

3.4 Kaasuläppä

Valikoitu kaasuläppä ohjaimen testaamiseen on BMW:n valmistuttama sähköinen kaasuläppä. Kaasuläpän valmistaja on Siemens VDO. Kaasuläpässä on tasavirtamoottori, joka liikuttaa läppää alennusvaihteen välityksellä. Kaasuläpän paikoitukseen soveltuvia moottorityyppejä on kaksi, askelmoottori ja DC-servomoottori. Askelmoottori on todella hyvä valinta, jos on tarpeena pitää paikoitusta stabiilina, mutta se ei ole optimaalinen nopeisiin liikkeisiin. Kyky tehdä nopeita ja tarkkoja kaasuläpän liikkeitä on tärkeämpää, kuin potentiaalinen hyötysuhteen nousu käyttämällä askelmoottoria

pitämään kaasuläppää paikoillaan esimerkiksi matka-ajossa. Servomoottorin ja kaasuläpän välinen välityssuhde on myös tärkeä. Välityssuhde vähentää moottorin työtä vastustavaa staattista kitkaa ja mahdollistaa pienemmän servomoottorin käytön. Verrattuna järjestelmään, jossa ei ole alennusvaihdetta, alennusvaihteellista järjestelmää voidaan ohjata tarkemmin ja se mahdollistaa pienemmän sähkömoottorin käyttämisen. Tämä perustuu pienten sähkömoottoreiden matalaan vääntömomenttiin. Vääntömommentti kaasuläpän liikuttamiseen saadaan vaihteistolla, kuitenkin liikkeen nopeuden kärsiessä.

Koska kaasuläpän ohjaaminen on turvallisuuskriittinen funktio, on laitteistossa pakko olla redundanssia vikojen havaitsemiseksi. Koska itse kaasuläppä kokonaisuutena on ainoa valvoja itsellensä, kahdennettu asentoanturointi kasvattaa mahdollisuutta laitteistovikojen havaitsemiseen. Kaasuläpän asentoantureina työssä käytetyssä kaasuläpässä on kaksi HALL tekniikalla toimivaa lineaarista asentoanturia. HALL anturi on magneettikenttään perustuva anturi ja näin ollen kaasuläpässä ei ole kuluva hiiliharjallista anturia. Anturit toimivat 5V tasajännitteellä. Kaasuläpän asentoanturointi on toteutettu komplementaarisilla signaaleilla. Kun kaasuläppä aukenee, toisen anturin jännitetaso nousee ja toisen laskee. Näiden kahden signaalin summa on antureiden käyttöjännite. Koska signaaleiden summa pitää olla vakio, voidaan yksittäisen potentiometrin rikkoontumisen lisäksi tunnistaa myös virtalähteen regulointivirhe ja erottaa nämä virhetilat toisistaan.

Viimeisimpänä ominaisuutena voidaan mainita kaasuläpän asento energisoimattomana. Kaasuläppä jää virrattomana auki muutaman asteen ja mahdollistaa polttomoottorin käymisen vaikka järjestelmässä havaittaisiin vika ja se sammutettaisiin. Tämä on turvallisuusseikka, sillä ohjaustehostin pysyy päällä, vaikka kaasun ohjaus joudutaan sammuttamaan ajoneuvon liikkeessa.

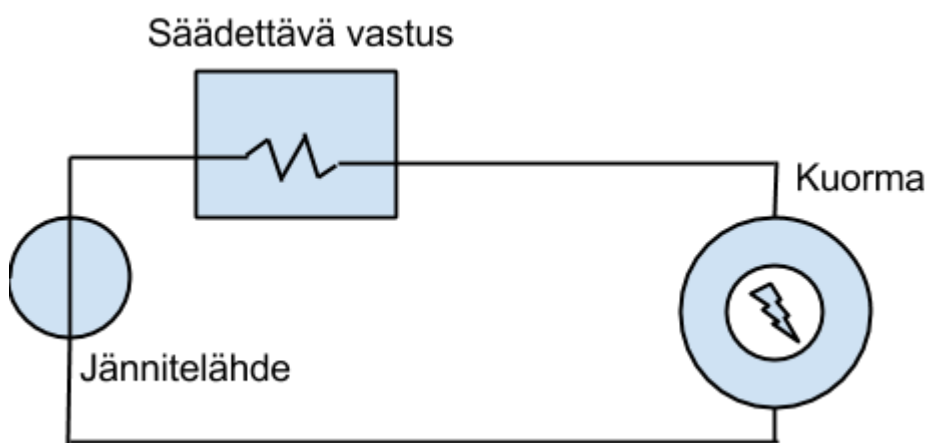
3.5 Kaasupoljin

Kaasupoljin on pelkistettynä vain kahdennettu potentiometri, josta tulee ulostulona kaksi polkimen paikoitustietoa analogisena jännitteenä. Jännitteet ovat vastaavat kuin kaasuläpässä.

4 ELEKTRONIIKAN SUUNITTELU

Kaasuläpän ohjaimen keskeinen suunnittelun pääkysymys on kaasuläpän moottorin tehonlähteen valinta. Seuraavissa kappaleissa on esitetty keskeisiä tekniikoita.

4.1 Linearitehonlähde



Kuva 4 Linearitehonlähde

Tehoelektroniikan suunnittelu servo-ohjaimen on vaativaa. Tehoelektroniikan funktio on muuttaa prosessorin tuottama digitaalinen tieto moottorin pyörittämiseen. Jotta voidaan vaikuttaa kaasuläpän asemaan, tulee kontrolloida servomoottorin tuottamaa vääntömomenttiä. Vääntömomentti on suoraan verrannollinen servomoottorin käyttämään sähkötehoon. Sähkötehon kontrolloimiseen voidaan käyttää kahdenlaisia tehonlähteitä, lineaarisia tai hakkuri-tehonlähteitä. Lineaarisen tehonlähteen suunnittelu on lähtökohdiltaan yksinkertaisempi. Moottorin kanssa voidaan kytkeä sarjaan säädettävä vastus, jolla tehoa voidaan säätää. Teho voidaan laskea suoraan ohmin laista $P=UI$.

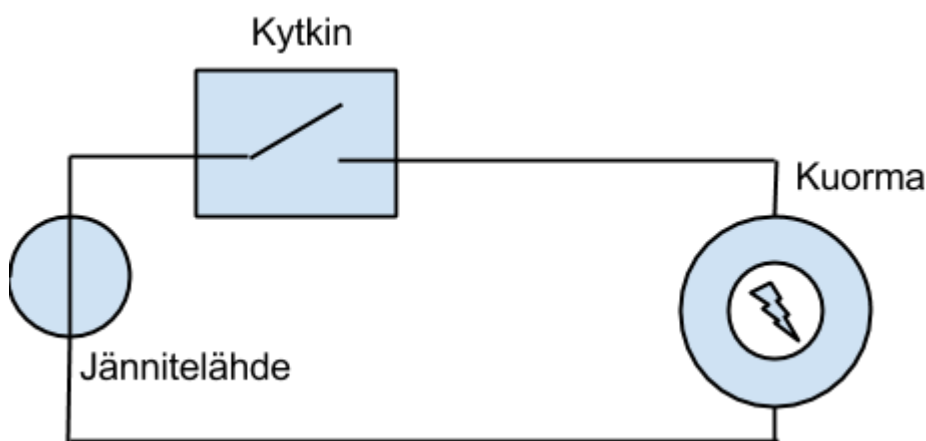
Teho, joka vastuksessa hukataan, voidaan laskea kaavalla $P = I \cdot I \cdot R$, jolloin päästään useisiin kymmeneen wattiin, joten tätä tapaa ei ole mahdollista toteuttaa realistisesti. Hakkuritehonlähde sen sijaan pulssittaa virtaa moottorille, jolla saadaan suuri hyötysuhde aikaiseksi. Hakkuri ei rajoita virtaa ollenkaan eikä joudu muuttamaan hukkatetta lämmöksi, vaan virrankulku on joko 0% tai 100% riippuen ohjaussignaaleista. Ai-

noa tehon häviö muodostuu kytkentä ja katkaisutilanteessa, koska kytkimillä on kytkemisaika. Kytkeytymisajan hetkellä ne eivät ole täysin johtavassa tai johtamattomassa tilassa.

Hakkurivirtalähdettä voi ajatella painonappina, jota käyttäjä painelee tasaisin väliajoin, mutta muuttaa painalluksen pituutta saavuttaakseen suuremman virran laitteelle. Esimerkkinä voidaan käyttää tavallista hehkulamppua, jota ohjataan kytkimellä. Jos kytkimen tilaa vaihdetaan suurella nopeudella, voidaan huomata lampun palavan himmeästi.

4.2 Hakkuritehonlähde

Jos kuorman jännitteen polariteettia ei tarvitse muuttaa, tehonlähde voidaan esittää kytkimenä kytkettynä jännitelähteen ja kuorman välille.



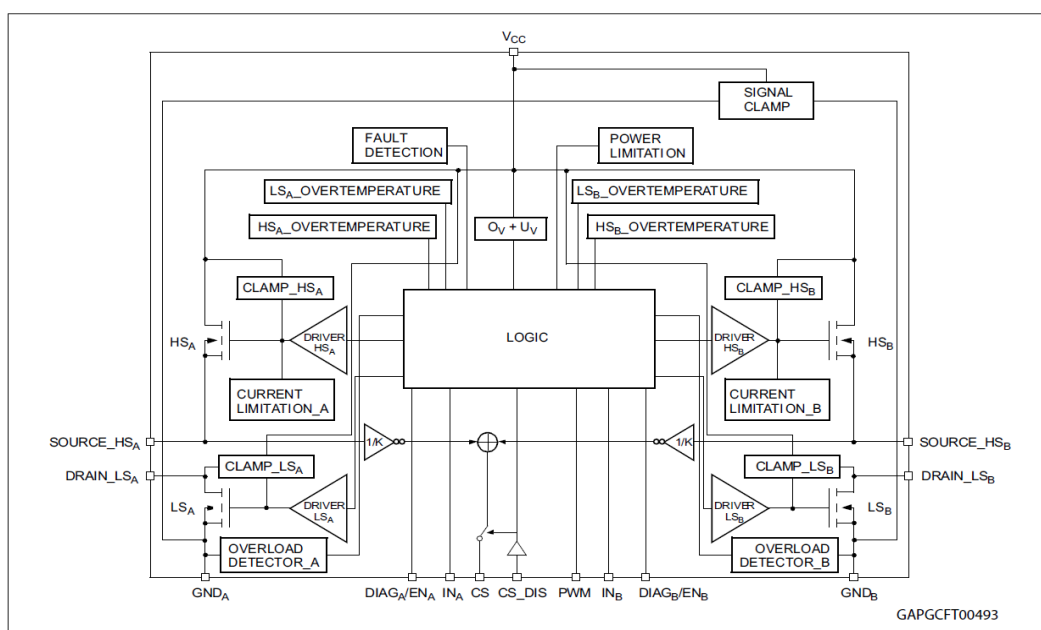
Kuva 5 Hakkuritehonlähde

Jos kuorma on puhtaasti resistiivinen, käyttää kytkentä välittömästi suurimman mahdollisimman tehon Ohmin lain mukaisesti. Kytkin myös kuluttaa tehoa kytkentähetkellä ennen kuin kytkimen sisäinen resistanssi normalisoituu kytkentäresistanssiin. Karkeasti voidaan todeta, mitä suuremmalla taajuudella kytkimen tilaa muutetaan, sitä enemmän se kuluttaa tehoa eli lämpenee. Kytkimenä kyseisessä kytkennässä voidaan periaatteessa käyttää jopa releitä. Rele on laite, joka tarvitsee pienen ohjausvirran. Ohjausvirta energisoi releen sisällä sähkömagneetin, joka kytkee mekaanisen kytkimen

johtavaan tilaan. Käytännössä kuitenkin releitä ei käytetä, koska ne ovat hitaita. Releen sisällä mekaanisuudesta johtuen tapahtuu kipinäntiä aina kytkentähetkellä. Transistorit ovat oikea ratkaisu hakkuritehonlähteeseen, koska niitä voi kytkeä päälle ja pois huomattavasti nopeammin. Transistorit eivät myöskään kulu mekaanisesti käytössä. Elektroniikan suunnittelussa käytetään kahta päätyyppiä transistoreita: bipolaaritransistoria ja kanavatransistoria. Bipolaaritransistori on virtaohjattu ja kanavatransistori on jänniteohjattu. Kumpaakin voidaan käyttää hakkuritehonlähteessä, mutta käytännön suunnittelu on helpompaa jänniteohjatuilla kanavatransistoreilla.

4.3 H-silta

Käytännössä elektroniikkasuunnittelussa ei juurikaan käytetä enää ns. irtokomponentteja, vaan pyritään suosimaan integroituja komponenttikokonaisuuksia. H-silta on komponentti, jossa on integroituna neljä korkean tehonkeston FET-transistoria ja niiden ohjauslogiikka.



Kuva 6 H-sillan toimintakaavio

Kuvassa 6 on ohjaimen valitun H-siltapiirin toimintakaavio, jossa on esitetty ulkomaailmaan johtavat pinnit. Kuvasta voi todeta, että piiri tekee paljon muutakin kuin

vain ohjaa neljää transistoria. Piirissä on integroituna mm. ylikuumenemissuoja ja ylivirtasuojia. Piiri myös hoitaa itse sisäisten transistorien ohjauslogiikan. Prosessorin tarvitsee vain ohjata moottorin pyörimissuuntaa, virran hakkaustaaajuutta ja hakkausaikaa. H-silta antaa prosessorille diagnostiikkatietoa omasta tilastaan. Diagnostiikkatieto esitetään kahdella digitaalipinnillä, joista voidaan päätellä piirin ylikuumeneminen tai ylikuormitus.

4.4 Komponenteilta vaadittavat ominaisuudet

Komponenttien valinta ajoneuvoympäristöön edellyttää muutamia erikoisvaatimuksia. Vaatimuksista tärkein on osien lämpötilaluokka. Lämpötilaluokan tulee olla ns. automotive grade, joka tarkoittaa pääsääntöisesti $-40\text{ °C} - +125\text{ °C}$ lämpötila luokitusta. Tämä tulee kuitenkin tarkastaa joka komponentin kohdalla valmistajan datalehdestä. Vaikka lämpötilat saattavat vaikuttaa suurilta, niin esimerkiksi talvella saattaa pakkanen mennä liki alarajaa. Lämpötilan ylärajaa taasen koetellaan kesähelteellä suljetussa koteloinnissa. Varsinkin, jos elektroniikan sisältämä laite on suorassa auringonpaisteissa.

Automotive-luokituksen osat ovat yleensä huomattavasti kalliimpia kuin osien commercial versiot (tavalliset komponentit). Komponentit ovat usein täysin samoja kuin vähäisemmässä luokituksessa olevat komponentit, mutta komponenttien valmistaja on tehnyt automotive grade osille kattavat testit, joilla varmistetaan toimivuus ääriolosuhteissa.

4.5 Koteloinnin valinta

Koteloinnin valinta on hyvin kriittinen osa-alue ajoneuvokäyttöön tulevan tuotteen suunnittelussa. Kotelo täytyy valita siten, että se täyttää ajoneuvokäyttöön liittyvät raikat. Koska kyseinen laite vastaa ajoneuvon kiihtymisestä, on varmistettava että laite ei vioitu helposti edes asennusvirheestä. Kotelon valinta tulee myös tehdä heti suunnittelun alkuvaiheessa, koska se vaikuttaa oleellisesti elektroniikan suunnitteluun. Suunnitteluun vaikuttavista tekijöistä esimerkkinä on piirilevyn muoto ja piirilevystä tulevan lämmön johtaminen ulkoilmaan ylikuumenemisen estämiseksi.

Koska markkinoilta löytyi kotelovalmistaja, joka antaa koteloillessa IP67/IP69K luokituksen, päädyttiin käyttämään tätä kotelotyyppiä. Pienillä valmistuserillä valmiin koteloratkaisun käyttö tulee edullisemmaksi, kuin täysin erikoistilauksena valmistettuun koteloon.

IP-luokitus määrittää koteloinnin tiiviyyden. IP67:ssä ensimmäinen numero tarkoittaa tiiviyyttä partikkeleita vastaan. Numero kuusi on suurin tiiviyyden luokka eli pölytiivis. Seuraava numero tarkoittaa tiiviyyttä nesteitä vastaan, jossa numero seitsemän on suurin luokitus. Se tarkoittaa tiiviyyttä lyhytaikaista upotusta vastaan. IP69K standardi käsittelee suojauksen pölypartikkeleilta ja tiiviyyden korkeapaineista kuumaa vettä (höyryä) vastaan. (SFS-EN 60529:fi 1992, 300).



Kuva 7 ModIce ME kotelo

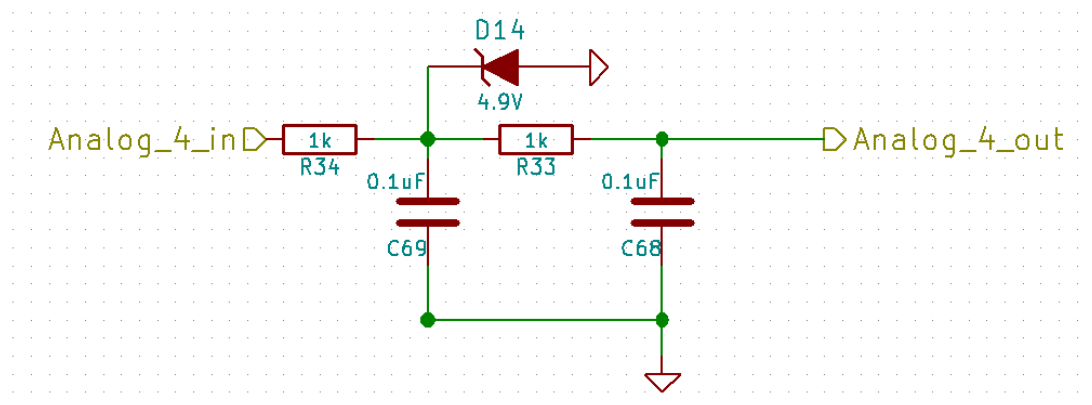
4.6 Laitteiston kuvaus lyhyesti

Laitteisto koostuu AVR mikro-ohjaimesta, sen virtalähteestä ja kaasuläpän moottoria ajavasta H-sillasta. Laitteiston virtalähteen on kestävä jännitepiikkejä ja muita elektromagneettisia häiriöitä, joita esiintyy ajoneuvoympäristössä. Prosessori ottaa vastaan järjestelmän ulkoiset paikoitussignaalit kaasuläpältä ja polkimelta analogisesti. Kaasuläpän moottoria ajavaa H-siltaa prosessori ohjaa digitaalisignaaleilla.

4.7 Analogisignaalien suodatus

Analogisella signaalilla tarkoitetaan johdinta/signaalia, jossa tarkastelun kohteena on jännite. Verrattuna digitaaliseen signaaliin, jolla on vain kaksi tilaa (päällä/pois), voi analogisella signaalilla kuvata periaatteessa lukemattoman määrän eri signaalin tiloja. Mikrokontrolleri sisältää A/D muuntimen (analogisesta digitaaliseksi), jolloin se voi käsitellä analogisia signaaleita.

Proessori lukee kaasuläpältä ja polkimelta asentotiedon analogisesti. Niiden asento on suoraan verrannollinen analogiseen jännitearvoon. Koska auto on elektroniikalle haasteellinen ympäristö, on hyvin todennäköistä, että analogisiin signaaleihin indusoituu häiriöitä. Häiriöiden vuoksi signaaleita on tarpeen suodattaa. Suodatukseksi suunniteltiin ensin kolmannen asteen aktiivista alipäästösuodatinta, mutta käytännön testien perusteella ne todettiin tarpeettomaksi. Prototyypilaitteessa päädyttiin käyttämään tavallisia RC alipäästösuodattimia.

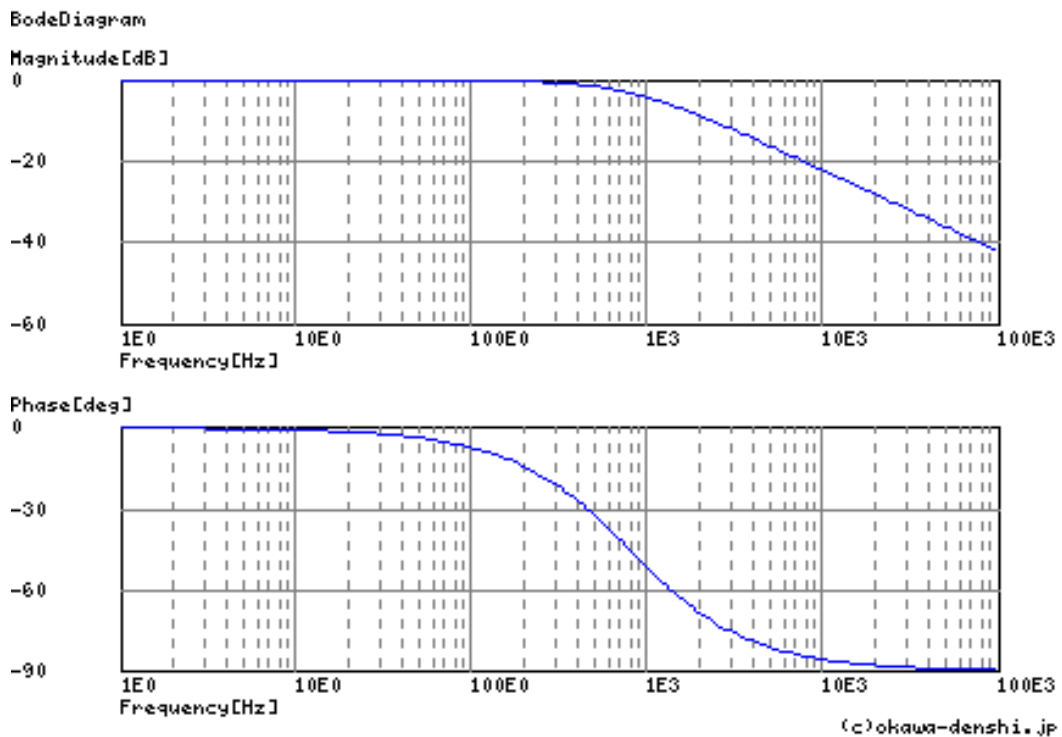


Kuva 8 Analogiatulojen suodatus

Suodattimeen lisättiin myös Zener diodi rajoittamaan jännitettä prosessorin analogituloon. Zener on diodi, joka johtaa myötäsuuntaan normaalisti. Kun jännite nousee Zener jännitteen yli, alkaa diodi johtamaan vastasuuntaan. Koska prosessori ei kykene käsittelemään yli 5V jännitetasoja, valittiin Zener jännitteeksi 4.9V.

Normaalikäyttötilanteessa diodi ei tee itsessään mitään, mutta se estää laitteen vikaantumisen väärin kytkettynä. RC suodatin antaa myös erinomaisen suojan ESD:tä vastaan.

RC suodattimen taajuusvasteen kaava on $\frac{1}{2\pi RC}$ jolloin suodattimen 3db:n piste on 1591 Hz ensimmäisellä suodattimella. Koska jälkimmäisellä suodattimella on efektiivistä resistanssia 2000 ohmia, on sen 3db:n piste 795Hz. Suodattimen resistanssivalinta tehtiin A/D muuntimen (Analog To Digital) valmistajan suosituksia hyväksikäyttäen. Valmistaja suosittelee maksimissaan 2500 ohmin ajoimpedanssia muuntimeen parhaan toiminnan varmistamiseksi. Alipäästösuodattimen viimeinen kondensaattori ennen A/D muunninta kannattaa myös sijoittaa fyysisesti mahdollisimman liki prosessoria, jolloin minimoidaan piirilevyn aiheuttamia häviöitä ja varmistetaan muuntimen paras mahdollinen toiminta.



Kuva 9 Alipäästösuodattimen taajuusvaste

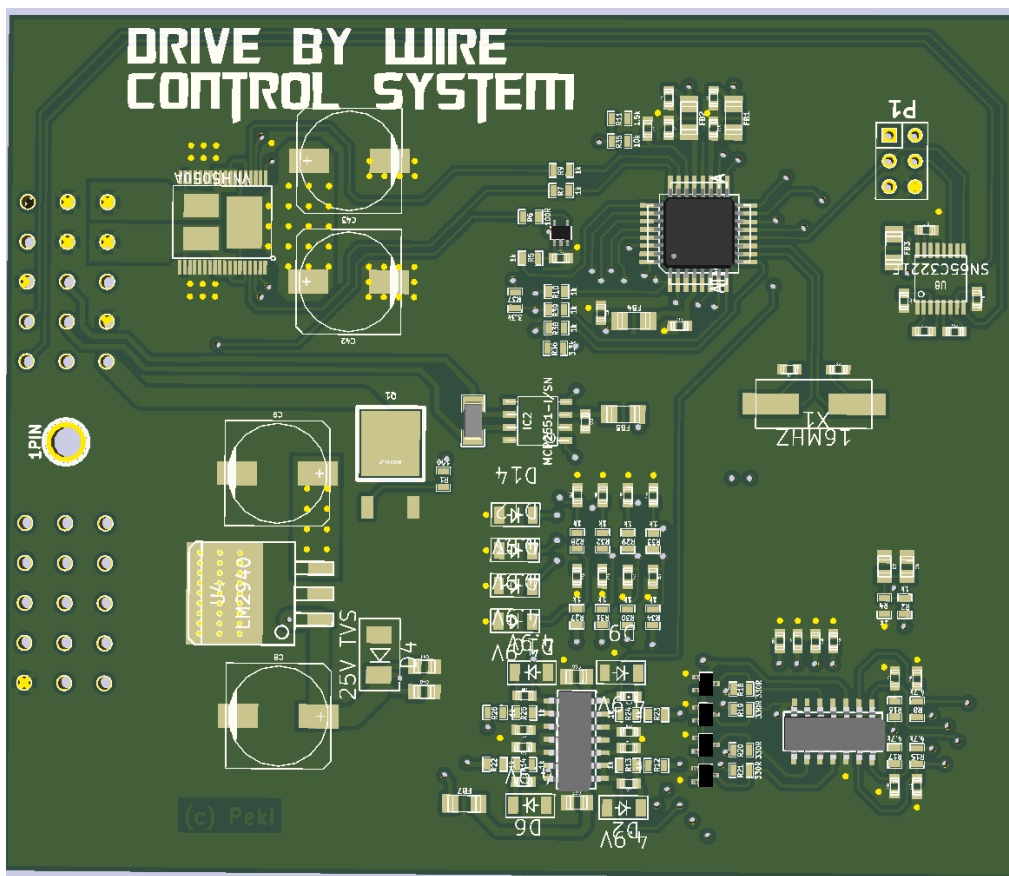
Kuvassa ovat suodattimen vaimennus ja vaihe käyrät laskettuna [www](http://www.okawa-denshi.jp) sivustolla olevalla laskurilla. (OKAWA Electric Design [www](http://www.okawa-denshi.jp)-sivut 2008.)

Suurin yksittäinen häiriön aiheuttaja varsinkin kaasuläpän analogisiin signaaleihin on itse kaasuläpän sähkömoottorista lähtevät häiriöt. DC-moottoria ohjaavaa H-siltää ohjataan 15kHz taajuudella, jolloin sen häiriöt saadaan varmasti suodatettua pois ~800Hz suodattimella.

4.8 Piirilevyn suunnittelu KiCad-ohjelmistolla

Piirilevyjen suunnittelu tapahtuu nykyisin EDA ohjelmistoilla (Electronic Design Automation). Ohjaimen piirilevy päätettiin suunnitella KiCad -ohjelmistolla. KiCad on ilmainen internetistä saatavilla oleva ohjelmisto, joka puolsi sen valintaa. Nykyisin KiCad -projektin suurin myötävaikuttaja on CERN laboratoriot, joka on tunnettu maailman suurimmasta hiukkaskiihdyttimestä.

Kaupallisista ohjelmistoista, kuten harrastajien suosimasta EAGLE-piirilevyn suunnittelu ohjelmistosta, on saatavilla ilmainen kokeiluversio. Ilmaisversiolla ei ole kuitenkaan sallittua tehdä kaupallisia tuotteita, vaan sen käyttö rajoittuu vain kokeilemiseen tai yksilön omaan harrastustoimintaan.

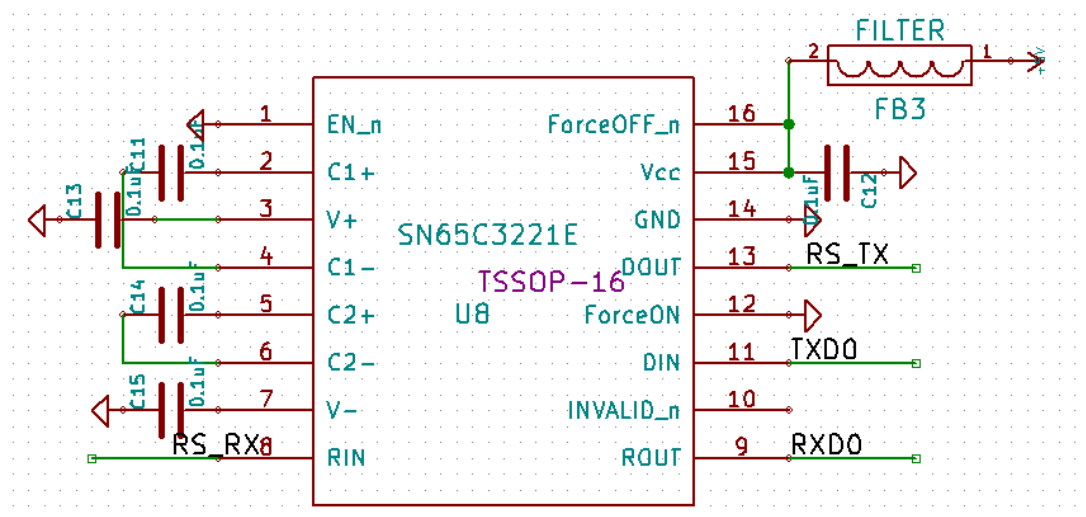


Kuva 10 Ohjaimen piirilevyn 3D malli

Kuvassa on KiCad ohjelmiston 3D mallinnus piirilevystä. Ohjelmistosta puuttuu joi-
tain 3D malleja komponenteista. Jos tarkka 3D mallinnus piirilevystä olisi välttämä-
töntä, voi ohjelmistoon lisätä puuttuvat 3D mallit.

4.9 KytKentäkaavio

Piirilevyn suunnittelu alkaa poikkeuksetta kytkentäkaavion piirtämisestä. KytKentä-
kaavio on kuva, joka kuvaa komponenttien loogiset suhteet toisiinsa nähden. Ohjel-
miston on tärkeää tietää komponenttien väliset suhteet, koska ohjelmisto tarjoaa mm.
automaattisia tarkistuksia jo kytkentäkaavion piirron yhteydessä. Ohjelmisto osaa hah-
mottaa, jos komponentista on jäänyt käyttöjännite kytkemättä tai käyttöjännite on kyt-
ketty oikosulkuun ym.



Kuva 11 KiCad kytkentäkaavio sarjaportin tasomuunnin

Kuvassa 11 on esitetty laitteessa käytetty sarjaportin tasomuunnin kytkentä. Kyt-
kentäkaavioiden ulkonäkö on hyvin samanlainen ohjelmistoista toiseen. Yleensä vain
ohjelmistojen käyttölogiikka vaihtelee. Kun piirilevyn suunnittelu on kytkentäkaavion
piirtovaiheessa, voidaan jo ottaa ensimmäiset askeleet EMI (Electro Magnetic Inter-
ference) suojaamiseen. Säteilevää emissiota voidaan parhaiten rajoittaa sijoittamalla
ferriittejä erillisten komponenttien käyttöjännitteiden syöttöihin. Ferriittien tehtävänä
ei niinkään ole suodattaa virtalähteeltä tulevaa sähköä komponentille, vaan suodattaa

komponenteista tulevat häiriöt, jolloin ne eivät pääse piirilevylle aiheuttamaan säteilyä. Ferriiteistä on myös hyötyä piirin käyttöjännitteen suodattamisessa, jos piirilevy altistuu säteilylle tai ESD-sähköiskulle.



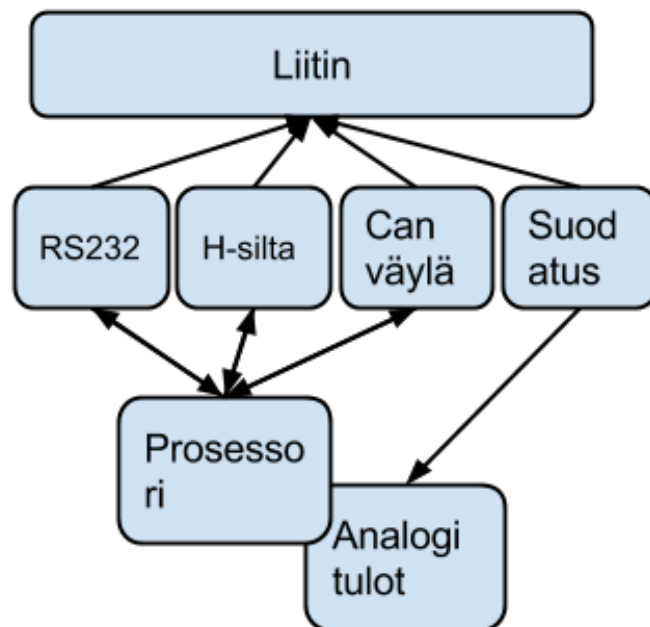
Kuva 12 Ferriitti

Kuvassa 12 on esitetty hyvin suurikokoinen ferriitti. Kuvasta voidaan todeta ferriitin rakenne, joka koostuu metallilangasta kierrettynä ferriittisen sydämen ympärille. Ferriitti aiheuttaa suurilla taajuuksilla häviöitä sähkötehosta eli suodattaa häiriötä (Montrose 2000, 159). Valmistajat ilmoittavat ferriiteistään impedanssin mitattuna sadalla megahertsillä esimerkiksi $600\text{Ohm}/100\text{MHz}$. Tämä tarkoittaa, että ferriitti vastaa 600Ohm vastusta, kun sen läpi syötetään sadan megahertsin signaalia. Ferriiteissä DC resistanssi on yleensä hyvin pieni, satojen milliohmien luokkaa, jolloin tasavirta pääsee kulkemaan ferriitin läpi ongelmitta.

4.9.1 Piirilevyn piirto

Kun kytkentäkaavio on saatu valmiiksi, voidaan aloittaa piirilevyn varsinainen piirtäminen. Yleensä piirto aloitetaan sijoittelemalla yksittäisiä osia osakokonaisuuksiksi.

Kun levyllä on kaikki suunniteltavan laitteen eri osakokonaisuudet, järjestetään ne piirilevyllä sopiviin kohtiin. Osakokonaisuuksien sijoittelussa tulee ottaa huomioon mahdolliset komponenttien aiheuttamat häiriöt toisiinsa nähden ja tarkistaa, että on seurattu komponenttivalmistajien antamia ohjeita. Kyseisessä laitteessa ei ollut kuin yksi kriittisesti sijoitettava komponentti, joka on laitteen H-silta. H-silta on sijoitettava fyysisesti lähelle laitteen liittimiä, jolloin saadaan minimoitua piirilevyllä kulkeva virta. Sijoitus myös parantaa piirin jäähdytystä, koska pieni osa lämmöstä pääsee johtumaan laitteeseen asennettaviin johtimiin. Laitteen muissa osissa sovellettiin komponenttivalmistajien ilmoittamia asennusohjeita, jos sellaisia oli tarjolla.



Kuva 13 Kytentäkaavio

Kuvassa on esitetty eri komponenttien logiset kytkökset toisiinsa. Prosessori liittyy laitteen kaikkiin osakokonaisuuksiin, mutta eri osakokonaisuudet eivät liity toisiinsa.

4.10 EMC yhteensopivuus

EMC (Electromagnetic Compatibility) tarkoittaa niitä olosuhteita, määräyksiä ja menetelmiä, joilla sähköinen järjestelmä voi toimia toisen sähköisen järjestelmän kanssa ilman, että se häiritsee muita tai tulee häiriintymään muista laitteista.

EMC yhteensopivuus pohjautuu EMI (Electro Magnetic Interference) standardiin, joka määrittää häiriöolosuhteet ja rajat. Häiriöiden osalta EMI standardi pohjautuu laitteiden ja järjestelmien ominaisuuksiin. (Hietala 2011, 103.)

4.10.1 EMI

Kaikkien myytävien elektronisten laitteiden on läpäistävä Euroopan laajuiset standardit laitteiden lähettämästä emissiosta. Emissio on laitteen ulos säteilemää radio-signaalia. (Montrose 2000, 2.) Jokainen sähköinen laite säteilee jonkin verran, mutta tavoite on minimoida säteily. Jos laite on vastuussa jostain kriittisestä toimenpiteestä, tulee sen kestää ulkoisia säteilyn lähteitä. Emission mittausta tapahtuu ulkomaailmasta eristetyssä huoneessa, Faradayn häkissä. Mittaamistapahtumassa mitattavaan laitteeseen kytketään sähköt päälle ja tämän jälkeen mitataan laitteen lähettämä häiriö spektrianalysointilaitteella. Jos laitteen spektri jää pienemmäksi kuin suurin sallittu spektrin voimakkuus, on laite hyväksytty. Laitteen kesto ulkoista säteilyä vastaan mitataan samassa kammiossa siten, että Faradayn häkkiin syötetään suuritehoista radiohäiriötä antennin kautta. Radiosignaaleiden vahvuus testitilanteessa on suuri, usein yli 70W. Jos ajattelee tehoa lämpönä, niin 70W riittää hyvin vesilasillisen kiehuttamiseen. Mittaustapahtuma todetaan hyväksytyksi, jos laite pysyy täysin toimintakykyisenä ulkoisista häiriöistä huolimatta. Tässä testissä metallirakenteisesta kotelosta olisi ollut etua, koska häiriösignaali ei voi läpäistä metallia.

4.10.2 ESD

ESD eli Electrostatic Discharge on staattisen sähköpurkauksen testi (Montrose 2000, 2). Laitteen on kestävä staattisen sähköpurkauksen kaikkiin laitteiden kohtiin, joita käyttäjä pääsee koskemaan. Koska kyseisen laitteen valittu kotelo on muovia, on se jo kotelon puolesta hyvin suojattu ESD-iskuista vastaan. Testi suoritetaan laittamalla laite ESD pöydälle toimintakuntoon. Tämän jälkeen mittaus syötetään pöytään ja laitteeseen ESD generaattorilla sähköiskuja. Sähköiskujen voimakkuus on generaattorista säädettävissä. Usein alue on noin 1kV – 16kV. Testaaja nostaa jännitettä niin kauan, että laite hajoaa. Hajoamispisteen löydyttyä laitteelle annetaan ESD-luokitus. Testi on hyvin

vaativa elektroniikkaa kohtaan. ESD testi on kuitenkin mahdollista läpäistä hyvällä suunnittelulla.

5 OHJELMISTON SUUNNITTELU

5.1 Sulautetun järjestelmän ohjelmisto

Suunniteltaessa turvallisuuskriittistä laitetta on ohjelmiston suunnittelussa muutamia rajoitteita. Koska suurin syy ohjelmistojen kaatumiseen on muistin ylivuoto, tehtiin päätös olla käyttämättä dynaamista muistinvarausta eli ns. Malloc operaatiota. Prosessorille ei myöskään haluttu mitään käyttöjärjestelmää lisäämään resurssien, kuten muistin ja prosessori ajan, kulutusta. Käyttöjärjestelmän poisjättöä puolsi myös se, että kriittisten järjestelmien RTOS (Real Time Operating System) järjestelmät ovat todella hintavia lisenssien suhteen. Ohjelmiston kirjoittamisessa käytettiin hyödyksi MISRA C ohjeistusta (Motor Industry Software Reliability Association), joka on ohjesääntö C kielisiin ohjelmiin ajoneuvo ympäristössä. MISRA säännöstö kieltää muun muassa dynaamisen muistinvaraamisen ja funktio-osoittimet.

Dynaamisessa muistinvaraamisessa on vaarana muistin loppuminen. Koska ohjelmisto voi periaatteessa pyytää itselleen koko ajan enemmän muistia, voi se loppua kesken ohjelman suorituksen. Jos ohjelmisto ei vapauta varattua muistia, johtaa se myös muistin loppumiseen. Kolmantena ongelmana on muistin pirstoutuminen. Jos ohjelma pyytää isoja muistialueita käyttöönsä, täytyy sen saada muistista yhtenäinen palanen käyttöönsä. Jos muistista on pirstaleisesti varattu pieniä kaistaleita, ei ohjelmiston ole mahdollista saada muistia varattua. Jos muisti varataan staattisesti, kääntäjä varaa ohjelmalle kaiken sen tarvitseman muistin jo käännön aikana kiinteästi muistiavaruuteen. Näin varmistetaan muistin riittävyys.

Funktioosoittimella voidaan muuttaa funktiokutsussa käytettävää funktiota ajon aikana (Kernighan & Ritchie 1978, 114). Ohjelmisto voi kutsua funktiota X, mutta funktio X voidaan määritellä dynaamiseksi, jolloin voidaan tehdä esimerkiksi useampi X funktio

toteutus esimerkiksi vaihtuneita olosuhteita varten. Tämä on C kielen yksi tehokkaimista ominaisuuksista. MISRA säännöstö kieltää funktio-osoittimet, koska niitä ei voida käännön aikana tarkistaa. Samasta syystä dynaaminen muistinvaraus on kielletty.

5.1.1 Kaasupolkimen ja läpän suhde

Ohjelmistoon tehtiin mahdollisuus vaikuttaa kaasupolkimen ja kaasuläpän avautumisen suhteeseen. Käyttäjän on mahdollista tehdä kaasupolkimen liikkeestä käyttäjäystävällisempi käyttäen vaikkapa logaritmista siirtofunktiota kaasuläpän asennoimiseen. Tämä helpottaa varsinkin litratilavuudeltaan pienien, mutta korkeasti viritettyjen moottorien käytöstä, jos niissä on käytössä isokokoinen kaasuläppä.

Toteutustapoja kyseiselle toiminallisuudelle on käytännössä kaksi. Matemaattinen tapa, jolloin ohjain laskee asetettujen arvojen perusteella läpän aseman ja kuluttaa laskutoimitukseen prosessoriaikaa. Toinen tapa on muistiin kirjoitettu taulukko, jossa on valmiiksi lasketut arvot. Koska laskenta-aikaa ei haluttu turhanpäiten kuluttaa, toteutettiin prosessorin EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) muistiin taulukko. Prosessori voi hakea taulukosta nopeasti tarvitsemansa tiedon ilman laskutoimituksia. Mikään ei ole huonommin käytetty resurssi kuin käyttämätön resurssi. Muistia siis kannattaa hyödyntää, jos sitä on saatavilla.

Ohjaimessa on EEPROM muistia 1kB, josta varattiin ns. lookup taulukolle 256 tavua. Muistia on siis jäljellä kolmelle vastaavalle taulukolle. Jos taulukoita täytyy saada enemmän, voi prosessorin ostaa isommalla muistilla tai käyttää ulkoista muistipiiriä. Ulkoisen muistipiirin haittana on sen hitaus verrattuna prosessoriin integroituun muistiin. Jos taulukkoa ei tarvitsisi muuttaa, voitaisiin se tallentaa prosessorin flash muistiin, jota on piirissä 32kB. Tässä muistissa on myös prosessorin ohjelmakoodi. Ohjelmakoodin koko nykyisellään on noin 8kB. Flash muistia ei voi AVR prosessoreissa muuttaa normaalikoodin ajon aikana, vaan prosessorin täytyy mennä ns. bootloader tilaan, josta se voi kirjoittaa omaan flash muistiinsa.

Nykyinen toteutus vastaanottaa taulukon tietokoneella toimivasta konfiguraatio ohjelmasta, joka kirjoittaa ko. taulukon AVR prosessorin EEPROM muistiin sarjaportin välityksellä.

5.1.2 Kommunikaatio PC:n ja ohjaimen välillä

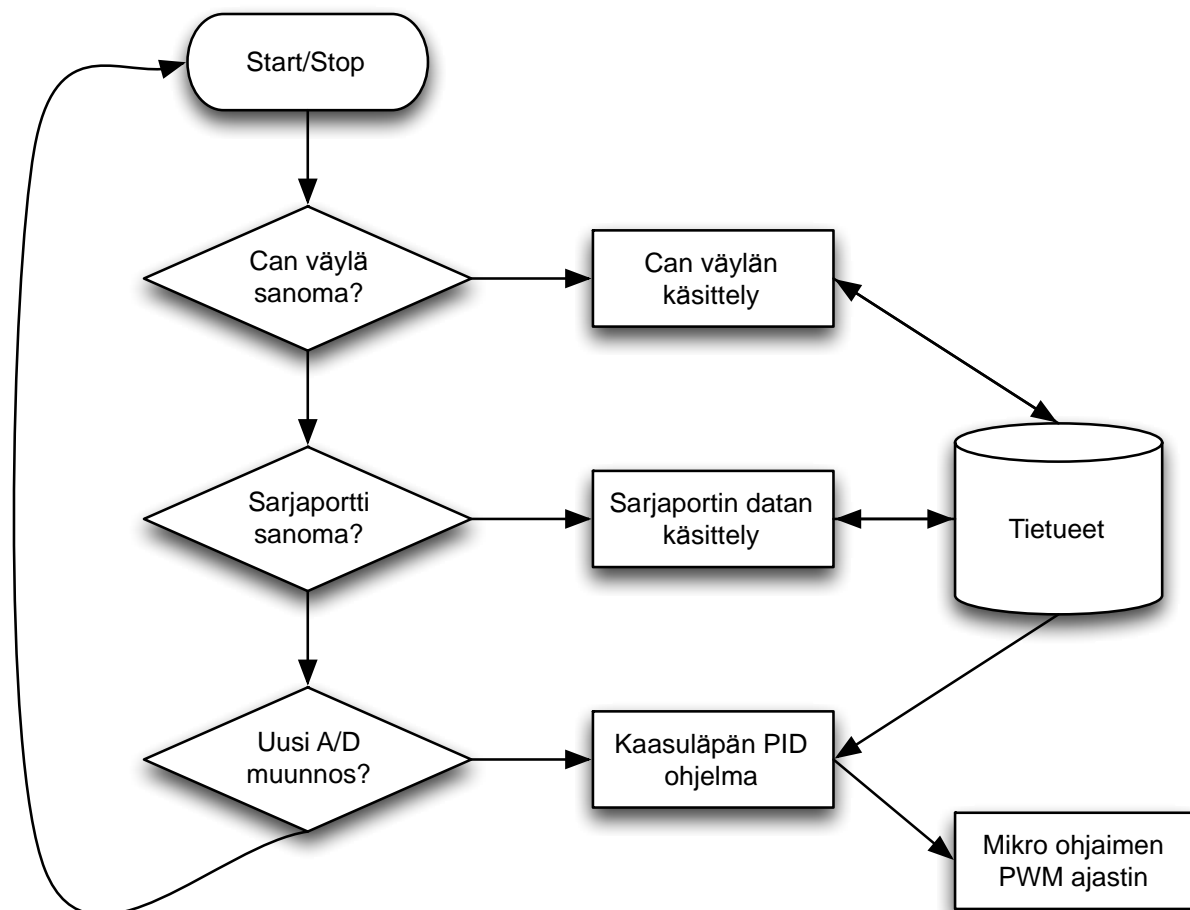
Jotta käyttäjä voisi asentaa laitteen autoonsa, tulee hänen laitteen asennuksen yhteydessä asettaa laitteeseen PID-säädön ja kaasuläpän parametrit. Tätä varten laitteeseen tehtiin sarjaporttiyhteys, jotta tietokoneella voi vaihtaa laitteeseen asetuksia. Sarjaporttiyhteys on nykyään jo vanhentunutta tekniikkaa ja poistumassa PC-tietokoneista. Kuitenkin se on vahvasti tuettuna mikrokontrollereissa yksinkertaisuutensa johdosta. Ohjaimen olisi voitu toteuttaa USB-yhteys tietokoneeseen, mutta valitun kotelon liittimestä olisi ollut haasteellista saada USB signaalointi kuljetettua läpi. Koteloon olisi voitu tehdä reikä USB liittimelle, mutta tämä olisi vaarantanut kotelon IP luokituksen sekä lisännyt tuotantokustannuksia. Näistä syistä johtuen päätettiin käyttää tavallista sarjaporttiyhteyttä. Sarjaportin puute tietokoneissa ei ole ongelma, koska tietokoneisiin on saatavilla USB – sarjaporttimuuntimia edullisesti.

Koska sarjaportti ei ota kantaa sanomarakenteeseen, täytyy sellainen suunnitella itse. Sanomarakenteena päädyttiin käyttämään hyvin yksinkertaista rakennetta, jota mikrokontrollerin on helppo tulkita. Sanomat alkaa joko R tai W ASCII merkillä, jotka merkkäavat lukua tai kirjoitusta. Ohjain vastaa näihin kaiuttamalla takaisin saadun merkin, jos se on valmis operaatioon. Seuraavaksi ohjaimelle annetaan muistiosoite, jonne luetaan tai kirjoitetaan. Tämän jälkeen ko. operaatio alkaa. Jos kyseessä on lukuoperaatio, ohjain tulostaa binääri muodossa koko muistipaikan tiedot. Jos kyseessä on kirjoitusoperaatio, jää ohjain vastaanottamaan binäärimuodossa muistipaikkaan tietoja tietokoneelta. Kun tietokone on lähettänyt kaikki muistipaikkaan kuuluvat tiedot, kuittaa ohjain tietokoneelle vastaanottaneensa tiedot.

Muistipaikat on AVR ohjaimessa koodattu tietueiksi, joista ohjaimessa on muutama kappale. RAM muistissa on tietue, joka sisältää koko ajan muuttuvia arvoja kuten polkimen ja läpän asema, moottorin vääntömomentti ym. EEPROM muistissa on tietue,

joka sisältää mm. PID säätimen asetusarvot ja muut ohjaimen asetukset. Näin tietokoneella voidaan muuttaa ohjaimen asetuksia kirjoittamalla tietueeseen uudet arvot.

5.1.3 Sulautetun järjestelmän ohjelmiston katsaus



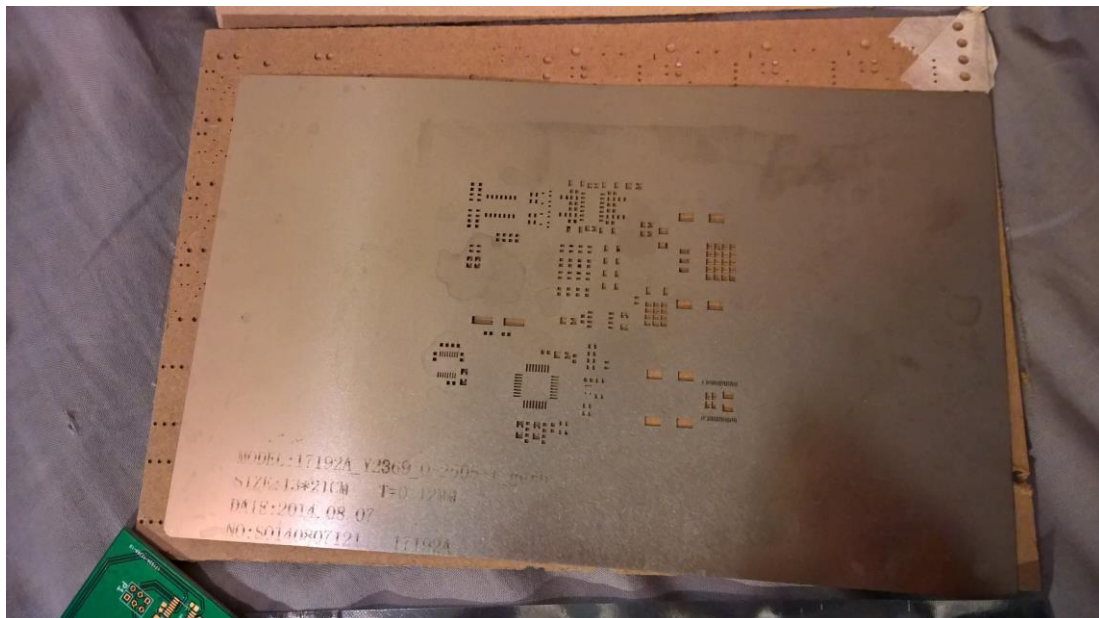
Kuva 14 Sulautetun järjestelmän ohjelmakaavio

Kuvassa 14 on esitetty mikrokontrollerin pääohjelman suoritus kaavio. Kaaviossa ei ole selvyiden vuoksi esitetty keskeytyksiä. Ohjelman suoritus on suoraviivainen. Kommunikaatioväylien ohjelmat ovat ensimmäisenä suorituksessa. Jos CAN-väylältä on tullut ohjaimen tunnistama sanoma, se käsitellään ensimmäiseksi. Mikro-ohjain ei prosessoikaikkia CAN-väylän sanomia, vaan suodattaa omassa CAN-ohjaimessaan itselleen tulevat sanomat. Suodatus tapahtuu prosessorissa rautatasolla, jolloin se ei

kuluta prosessorin resursseja. Sarjaportin data vastaanotetaan prosessorin keskeytyksessä, jossa sarjaportin sanomat lisätään rengaspuskuriin odottamaan pääohjelman käsittelyä. Sanoma käsitellään kuvan mukaisesti pääohjelmassa, jolloin keskeytys saadaan hyvin nopeaksi. A/D muuntimen tulokset saadaan myös keskeytyksenä, jolloin prosessori käy lukemassa muuntimen tuloksen tietueeseen. Onnistuneen luvun päätteeksi prosessori nostaa lipun, joka kertoo pääohjelmalle saaneensa uudet mittaustuloksen. Näin pääohjelma tietää käyttää uutta mittaustulosta kaasuläpän asennoimiseen.

6 PROTOTYYPIN VALMISTUS

Kaasuläpän ohjainlaitteen piirilevyn suunnittelun jälkeen lähetettiin piirilevyn valmistustiedostot Kiinassa sijaitsevaan piirilevyjen valmistustehtaaseen. Piirilevyt saapuivat noin kolmen viikon odottelun jälkeen kuriirilla Suomeen. Kyseiseltä tehtaalta sai myös tilattua ruostumattomasta teräksestä valmistetun pastamaskin, jolla voidaan levittää juotospasta piirilevyille. Piirilevyjen kanssa samaan aikaan tilattiin myös komponentit, jotta välttyttäisiin viivytyksiltä.



Kuva 15 Pastamaski

6.1 Pastamaski

Pastamaski on ohut levy, jossa on reiät samoissa paikoissa kuin piirilevyllä komponenttien juotoskohdat. Käytettäessä pastamaskia voidaan kaikki piirilevyn juotoskohdat päällystää tahnamaisella juotospastalla, koska maski päästää pastaa läpi vain oikeisiin kohtiin piirilevyllä. Prosessi pastan levittämiseen on yksinkertainen. Maskin reunalle levitetään pastaa ja kohdistetaan maski piirilevyn kanssa. Tämän jälkeen voidaan pasta levittää spatulalla maskin läpi piirilevyyn.

6.2 Komponentit

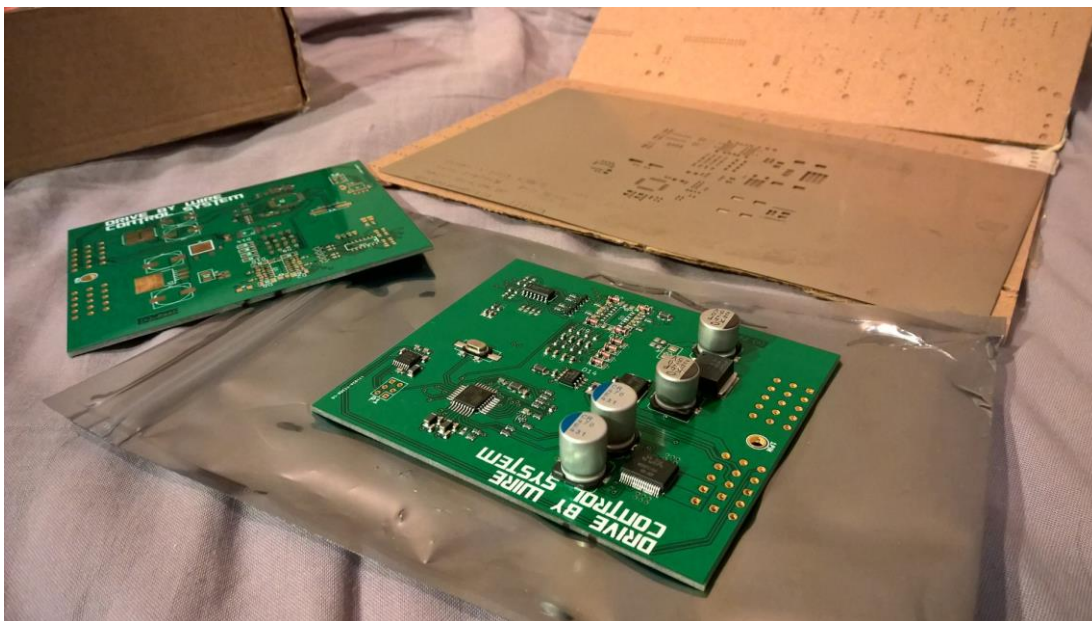
Komponentit nostettiin valmiiksi pastoitettuun piirilevyyn atuloiden avulla. Myös muita apuvälineitä on piirilevyjen kalustamiseen tarjolla, esimerkiksi alipainekynä. Alipainekynä on käytännössä pieni kynä, jonka päässä on yleensä noin kaksi millimetriä halkaisijaltaan oleva injektioneulan pää. Käyttäjällä on jalkapoljin, josta saa käynnistettyä alipaineen neulaan. Näin sillä on helppo ottaa kiinni komponentteihin ja liikutella niitä. Koska piirilevyn komponenttien lukumäärä oli pieni, kokoonpano tässä tapauksessa kävi nopeasti pinsettien avulla.

6.3 Uunitus

Kun piirilevyille on saatu juotospasta ja komponentit, voidaan piirilevy juottaa. Juotos tehtiin uunissa. Uunina käytettiin pientä retkiuunia. Uunissa juottamiseen on olemassa standardit ja lämpötilakäyrät, joita on syytä seurata valmistettaessa elektroniikkaa. Seuraamalla komponenttivalmistajien määrittelemiä lämpötilakäyriä, voidaan varmistua komponenttien parhaasta mahdollisesta toimintavarmuudesta.

Prototyypin valmistuksessa ei katsottu tarpeelliseksi alkaa valvoa lämpötilakäyrän tarkkaa noudattamista, eikä siihen olisi ollut mahdollisuuttakaan uunista johtuen. Juotosprosessi hoidettiin ns. näppituntumalla ja pitämällä kieli suussa oikeassa asennossa. Tinan sulamista tarkkailtiin uunin lasin läpi katsomalla. Kun tina oli täysin sulanut piirilevyn joka puolelta, odotettiin noin kymmenen sekuntia ja sammutettiin

uuni. Tämän jälkeen uunin luukkua raotettiin tehostaen jäähtymistä. Tällä tekniikalla saatiin tehtyä lähes ammattilaistasoiset juotokset prototyypilevyihin.

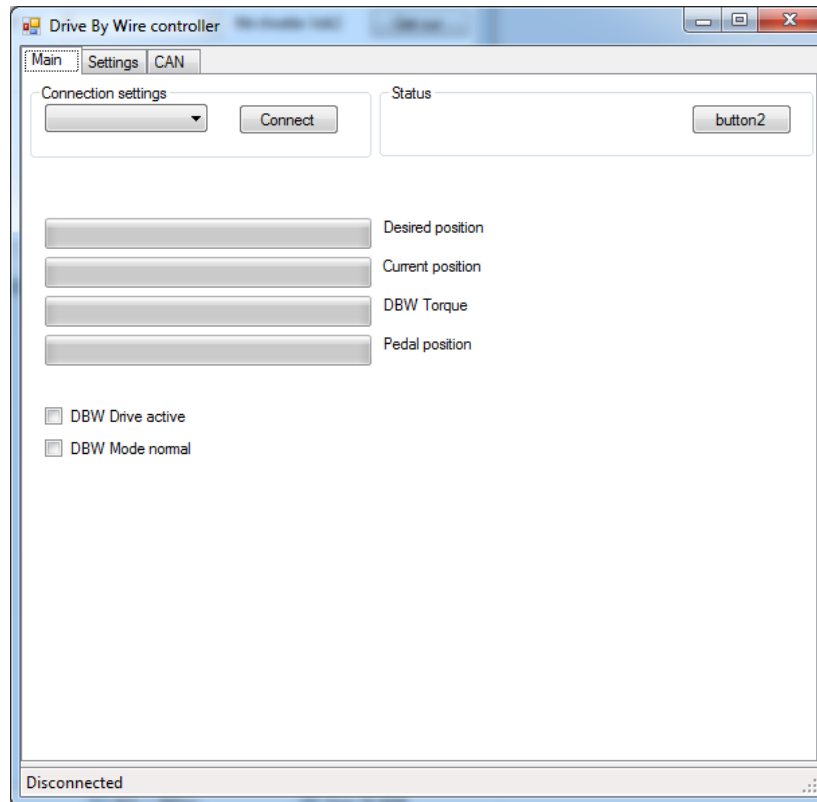


Kuva 16 Valmis prototyyppi

7 LOPPUTULOS

Tehdyn ohjainlaitteen tavoitteena oli saada vaijerilla toimiva voiman välitys muutettua elektroniseksi. Tässä onnistuttiin käytännön testien perusteella erinomaisesti. Laitteen PID ohjaimen säädön parametrien konfiguroinnin jälkeen laitteen toiminta on vaijerilla toteutetun säädön veroinen. Kaasuläpän liikkeen nopeutta rajoittaa ainoastaan kaasuläpän moottorin teho ja se on silminnähtävän responsiivinen ja nopea.

Myös CAN-väylä toteutusta testattiin ja laitteella saatiin luettua kolmannen osapuolen moottorinohjausjärjestelmästä valittuja parametreja kaasuläpän ohjaimen. Ominaisuuksien lisääminen on siis mahdollista ohjelmistopäivityksillä. Laitetta on myös keskitestattu pitämällä jännitteet kytkettynä muutamia vuorokausia. Näissä testeissä laite on pysynyt lähes huoneenlämpöisenä. Tämä kertoo H-sillan hyvästä hyötysuhteesta.



Kuva 17 PC-säätöohjelmisto

PC-tietokoneessa toimivasta säätöohjelmasta on tehty python ja C# kieliset toteutukset, jotka eivät vielä tämän opinnäytetyön julkaisun aikaan ole valmiita. Näillä säätöohjelmilla pystyy kuitenkin asettamaan PID parametrit ja seuraamaan ohjaimen toimintaa.

Laitteisto osoittautui elektroniikkansa osalta todella hyväksi. H-siltapiirin ainoana huonona ominaisuutena voisi mainita sen vaikean juotettavuuden johtuen sen paketoinnista. Piiristä ulkonevat jalat ovat tiheällä 0,5mm jaolla ja piirin pohjassa on juotospinnat. Tämä ongelma koskee kuitenkin vain prototyypivaihetta ja tuotannossa juotosprosessi voidaan optimoida.

Mahdollisena muutoksena voisi prosessorin vaihtaa nopeammaksi. Vaikka prosessorilla ei ole ongelmia nykytoteutuksella ohjata kaasuläppää todella nopeasti, voi ominaisuusmäärän kasvaessa sen laskunopeus olla koetuksella. Valitussa AVR sarjan prosessorissa ei ole DMA-lohkoa ja se on vain 8-bittinen. Koska suurin osa laskutoimituksista on 16-bittisiä, on prosessorin päivittäminen perusteltavaa.

LÄHTEET

Hietalahti, L. 2011. Tehoelektroniikan perusteet. Tampere: Amk-Kustannus Oy.

Kernighan, B. & Ritchie, D. 1978. The C Programming Language. New Jersey: Prentice Hall.

Montrose, M. 2000. Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance: A Handbook for Designers. Second edition. New York: Wiley-IEEE Press.

Nieminen, S. 2007. Auton sähkölaitteet. Helsinki: WSOY.

OKAWA Electric Design www-sivut 2008. Viitattu 1.11.2015. <http://sim.okawadenshi.jp/en/CRtool.php>

SFS-EN 60529:fi. SFS-käsikirja 135-1. Koneiden sähkölaitteistot ja -järjestelmät. Osa1: Yleiset turvallisuusstandardit 2010. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

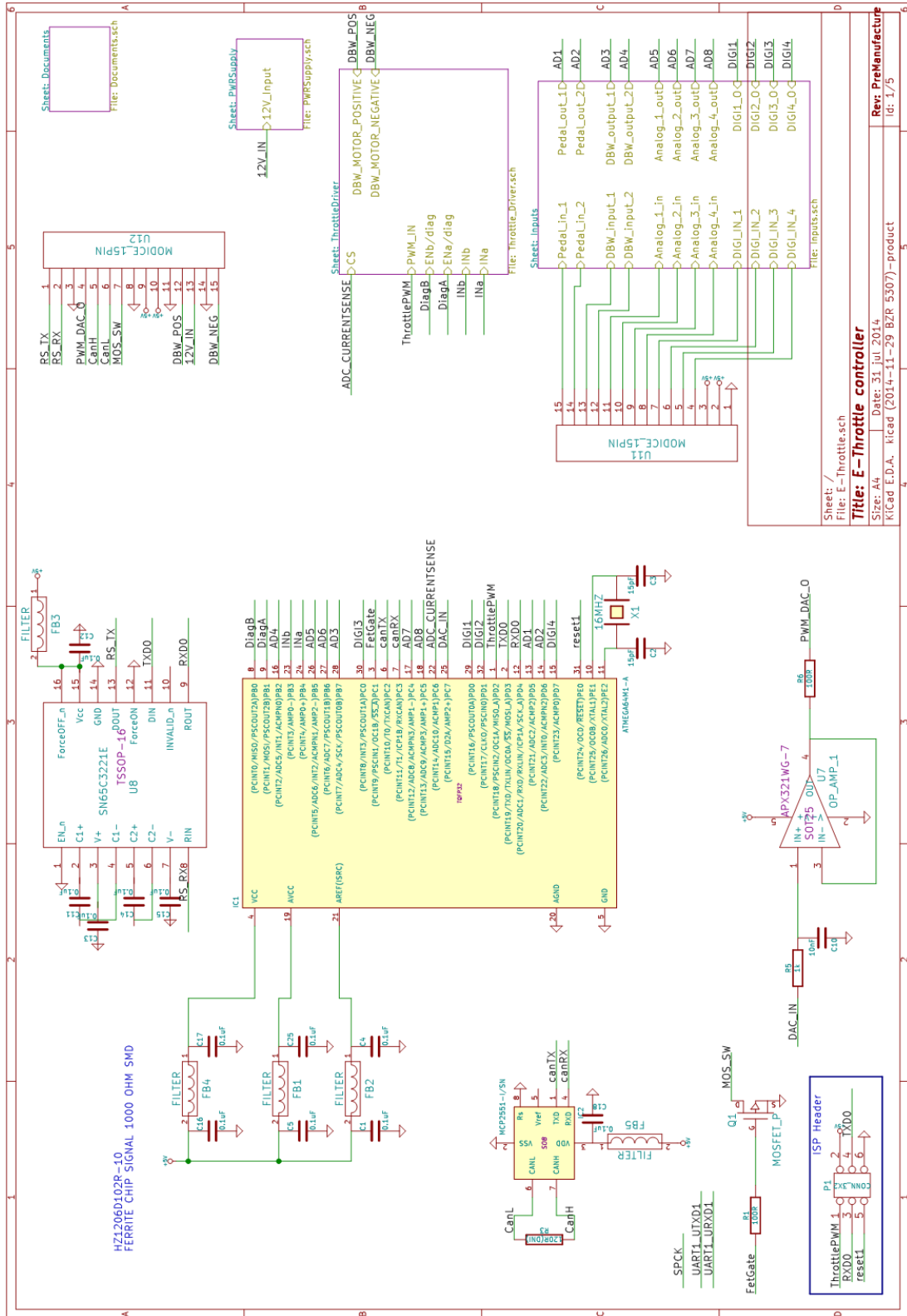
Saha, H. 2005. CAN-väylä, Fluid Finland 4/2005. Viitattu 1.11.2015. <http://www.canopen.fi/artikkelit/CAN.pdf>

Savolainen, J. & Vaitinen R. 2003. Sähkötekniikan perusteita. Saarijärvi: Gummerus.

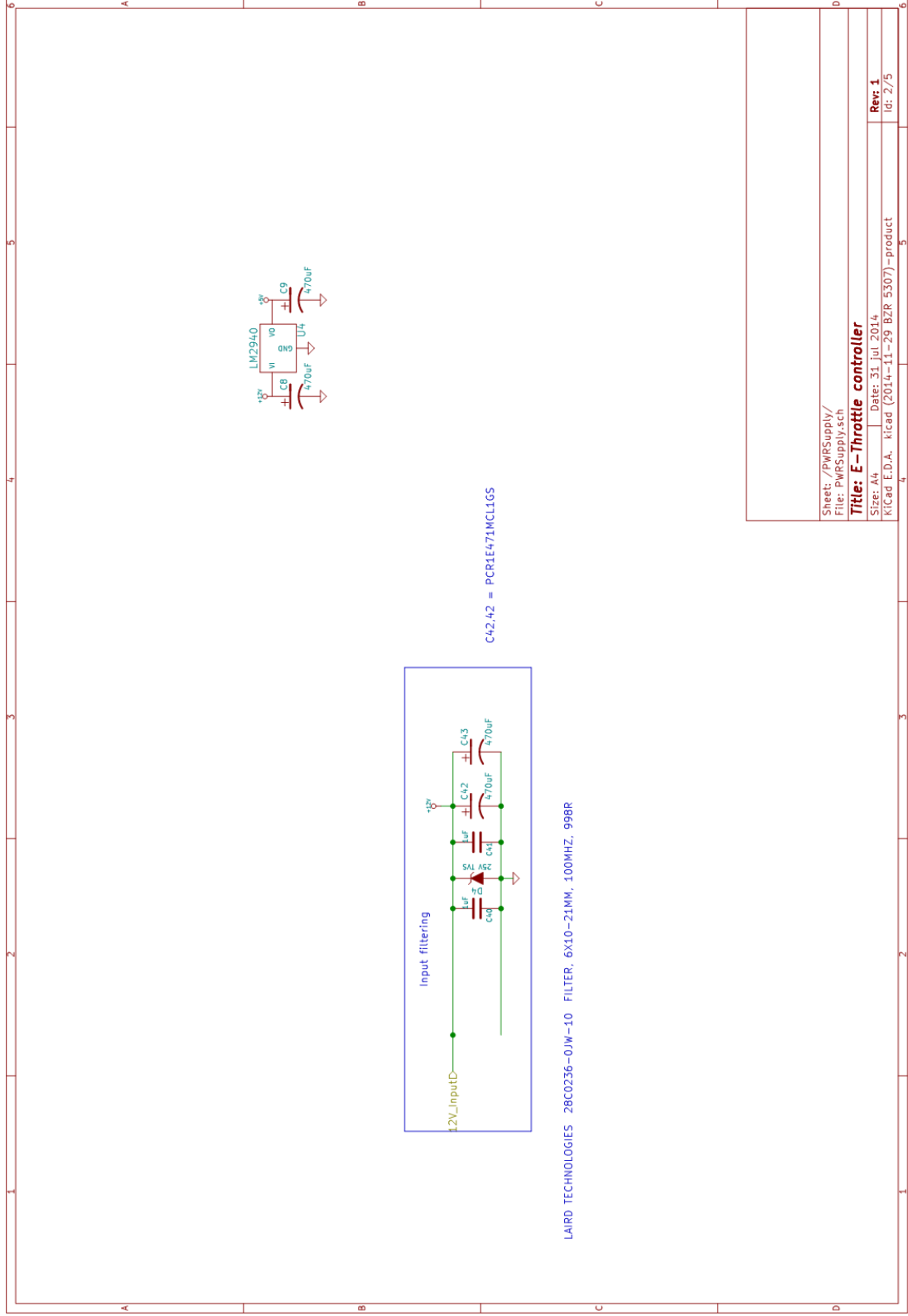
Vaahtera, P. 2003. Mikro-ohjaimen ohjelmointi C-kielellä. Helsinki: WSOY.

LIITE 1

Kytöntäkaavio



Sheet: / Throttle.sch
 File: E-Throttle.sch
Title: E-Throttle controller
 Size: A4 Date: 31. jul. 2014
 Kicad E.D.A. kicad (2014-11-29 BZR 5307)-product
 Rev: PreManufacture
 ID: 1/5



C42.42 = PCR1E471MCL1G5

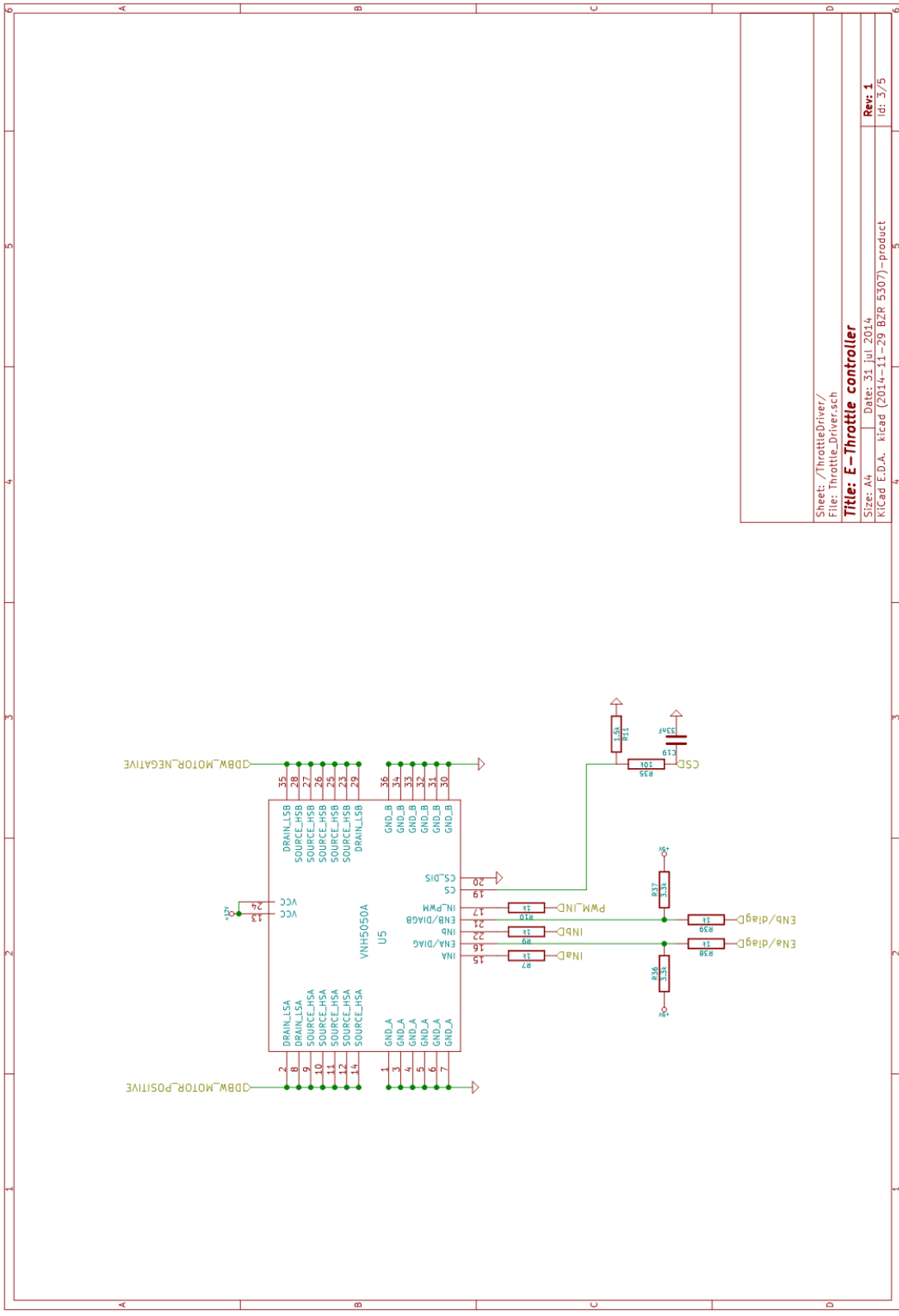
LAIRD TECHNOLOGIES 28C0236-0JW-10 FILTER, 6X10-21MM, 100MHZ, 998R

Sheet: /PWRSupply/
File: PWRSupply.sch

Title: E-Throttle controller

Size: A4 Date: 31 Jul 2014
Kicad E.D.A. - kicad (2014-11-29 BZR 5307) -product

Rev: 1
Id: 2/5



Sheet: /ThrottleDriver/
 File: Throttle_Driver.sch

Title: E-Throttle controller

Size: A4 | Date: 31 Jul 2014
 KiCad E.D.A. - Ricad (2014-11-29 BZR 5307) -product
 Rev: 1 | Id: 3/5

