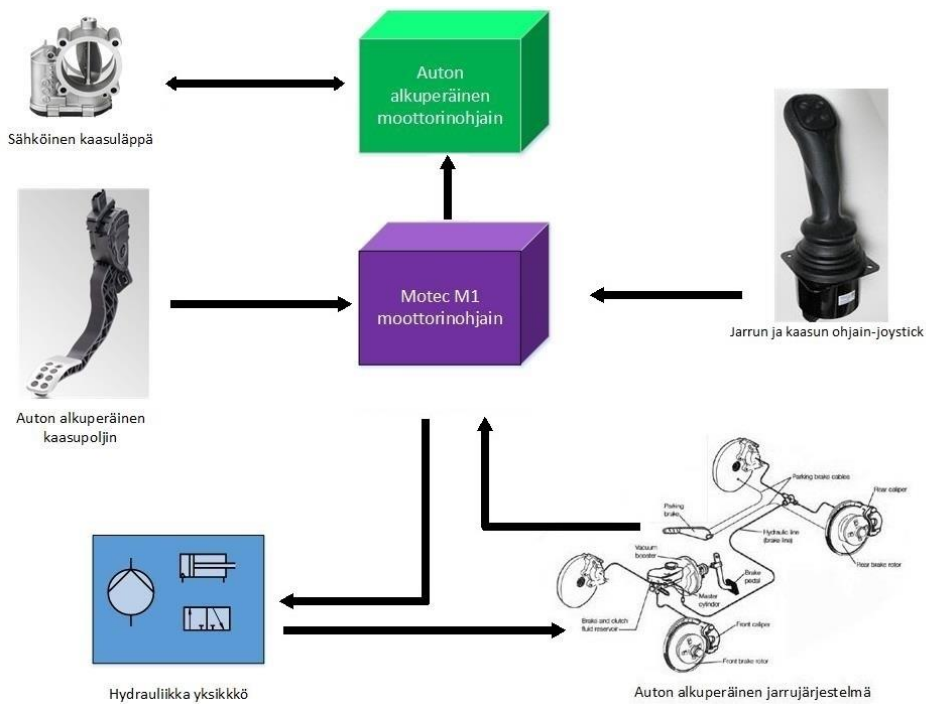


Jukka Kemppainen

MOTEC M1 -KÄSIHALLINTALAITTE



Insinööri (AMK),

tietotekniikka

Kevät 2015



TIIVISTELMÄ

Tekijä(t): Kemppainen Jukka

Työn nimi: Motec M1 -käsihallintalaite

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), tietotekniikka

Asiasanat: käsihallintalaite, moottorinohjainyksikkö, PID

Liikuntarajoitteiselle ihmiselle omalla autolla liikkuminen voi olla ainoa tapa liikkua omaa kotipaikkaansa pidemmälle, joten vammasta riippumatta kaikkien tulisi pystyä ajamaan autoa. Tämä vaatii, että auto varustetaan käsihallintalaitteilla. Yleensä käsihallintalaitteet ovat mekaanisia systeemejä, jotka voivat olla raskaita ja jopa mahdottomia käyttää, jos käsivoimat eivät ole normaalilla tasolla. Sähköisesti ohjattu käsihallintalaite on kevyt ja helppo käyttää, koska käsivoimia tarvitaan vain saman verran kuin pelaisi jotakin tietokonepeliä. Käsihallintalaitteiden käyttämisen keventäminen ja helpottaminen on yksi syy tämän opinnäytetyön tekemiseen.

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa ohjausjärjestelmä ja ohjelma käsihallintalaitteeseen, jonka ohjainlaitteena on Motec M1 -moottorinohjain. Työn tilaajana oli Oulun ammattikorkeakoulu, ja tämän opinnäytetyön piti olla yksi osa suurempaa projektia, jossa suunniteltaisiin käsihallintalaitteet, jotka toimivat hydraulikalla ja joita ohjattaisiin sähköllä. Mekaanisille ja hydraulikan osa-alueille ei löytynyt opinnäytetyön tekijää, joten ohjausjärjestelmä suunniteltiin ja toteutettiin käyttäen hyväksi jo aikaisemmin tekemääni käsihallintalaitetta.

Työssä perehdytään ensin yleisellä tasolla säätötekniikkaan, PID-säätöön ja sen virittämiseen, jälkiasennettaviin moottorinohjainlaitteisiin, sähköiseen kaasuläppään, proportionaaliventtiiliin ja pulssinleveysmodulaatioon. Lisäksi perehdytään Motec M1 -moottorinohjainlaitteen ohjelmisto rakenteeseen ja ohjelmointiin, jossa ohjelmointikielenä käytetään C-kieleen perustuvaa M1PL-kieltä.

Työssä suunniteltiin käsihallintalaite, jota ohjataan Motec M130 -ohjainlaitteella. Auton kaasun ja jarrutoimintoja ohjataan Joystick-tyyppisellä ohjainkahvalla. Ohjainlaitteeseen ohjelmoiduilla PID-säätimillä ohjataan proportionaaliventtiileitä, jotka hydraulikan välityksellä säätävät jarrupiirin painetta. Ohjainlaitteella muodostettiin kaasupolkimen asentotieto auton alkuperäiselle ohjainlaitteelle, joka ohjaa auton kaasuläppää. Työn lopputuloksena saatiin toimiva käsihallintalaitteen ohjausjärjestelmä, jota testattiin ja koekäytettiin Mitsubishi Lancer -henkilöautossa.

ABSTRACT

Author(s): Kemppainen Jukka

Title of the Publication: Motec M1 - Hand control device

Degree Title: Bachelor of Engineering, Information technology

Keywords: Hand control device, engine control unit, PID

Driving your own car can be the only way for a disabled person to go farther than their own yard, so regardless of disability everyone should be able to drive a car. This requires that the car is equipped with a hand control device. Normally hand control devices are mechanically operated and can be heavy and even impossible to use, if your hands do not have enough strength. An electrically controlled hand control device is easy and light to use, just like playing a computer game. One of the reasons for making this bachelor's thesis is to make it easier to use a hand control device.

The purpose of this bachelor's thesis was to design and implement a hand control device control system, which is controlled by Motec M1 -engine control unit. The commissioner of the thesis was Oulu University of Applied Sciences. This thesis was supposed to be a part of a larger project whose purpose was to design a hand control device that operates on hydraulics and is controlled electronically. Unfortunately, nobody was doing their thesis on hydraulics nor mechanics, so the control system was designed and carried out using the hand control device, which I had done in the past.

In this thesis a hand control device which is controlled by Motec M130 -engine control unit was designed. A passenger car throttle and brake functions are controlled by a joystick. The engine control unit is programmed for the PID-controller which controls proportional valves and uses hydraulics to control the pressure in the brakes. Information about the throttle pedal position is formed by Motec-engine control unit and transmitted to the original engine control unit which controls the throttle body. The hand control device was tested and trial run in the Mitsubishi Lancer passenger car.

ALKUSANAT

Haluan kiittää Oulun ammattikorkeakoulun Arto Lehtosta työni mahdollistamisesta. Haluan kiittää myös työni valvojaa Risto Airaksista työn ohjauksesta sekä Eero Soinista kielellisestä ohjauksesta. Lisäksi kiitokset kaikille minua työssä autaneille.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 SÄÄTÖTEKNIikka	2
3 PID-SÄÄDIN.....	4
3.1 P eli suhdeosa.....	4
3.2 I eli integraaliosa	5
3.3 D eli derivointiosa	5
3.4 PID-säätimen viritys.....	5
3.4.1 Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmä.....	6
3.4.2 Ziegler-Nicholsin värähtelymenetelmä	8
4 PULSSINLEVEYSMODULAATIO	10
5 JÄLKIASENNETTAVA MOOTTORINOHJAINLAITE.....	11
6 SÄHKÖINEN KAASULÄPPÄ.....	13
7 PROPORTIONAALIVENTTIILI.....	15
8 KÄSIHALLINTALAITE	16
8.1 Työlle asetetut vaatimukset.....	16
8.2 Ohjausjärjestelmän kuvaus	16
9 MOTEC M1 -MOOTTORINOHJAINLAITE	18
9.1 Yleistä	18
9.2 Motec M1	18
9.3 M1-ohjelmisto	19
9.3.1 M1 System	20
9.3.2 Software Development Kit (SDK)	21
9.3.3 M1 Project	21
9.3.4 Package	21
9.3.5 Firmware	21
9.3.6 Meta-data	22
9.3.7 Stored calibration	22

9.3.8 Logging configuration	22
9.3.9 Security configuration.....	23
9.4 M1-ohjelmointi	23
10 OHJAINKAHVA	27
11 HYDRAULIIKKAYKSIKKÖ	29
12 OHJELMOINTI	30
12.1 Ohjainkahvan liittäminen M1-ohjainlaitteeseen	30
12.2 Kaasupolkimen asentotiedon muodostaminen	31
12.3 Jarrujen ohjauksen toteutus	35
12.4 Jarrujen PID-säätimien viritys.....	36
13 KÄSIHALLINTALAITTEEN TESTAAMINEN.....	39
13.1 Kaasuläpän ohjauksen testaaminen.....	39
13.2 Jarrujen ohjauksen testaaminen.....	40
14 TULOKSET JA KEHITYSKOHTTEET	42
15 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	44

LYHENNELUETTELO

DBW	Drive By Wire
ECU	Engine Control Unit
Hz	Hertz
M1PL	M1 Programming Language
PWM	Pulse Width Modulation
SDK	Software Development Kit
TBW	Throttle By Wire

1 JOHDANTO

Tämän työn tilaajana oli Oulun ammattikorkeakoulu. Sain aiheen ollessani työharjoittelussa Oulun ammattikorkeakoulun autotekniikan osastolla, jossa työtehtävänä oli Motec M1 -sarjan moottorinohjainlaitteen ohjelmointi.

Tämän työn piti olla osa isompaa Oulun ammattikorkeakoulun projektia, jossa henkilöautoon suunnitellaan ja toteutetaan sähköisesti ohjatut käsihallintalaitteet. Käsihallintalaitteeprojektin ajateltiin koostuvan useammasta opinnäytetyöstä, jossa mekaaniselle ja hydrauliiikan osa-alueille olisi ollut omat opinnäytetyön tekijät. Opinnäytetyön tekijöitä mekaaniselle ja hydrauliiikan alueille ei kuitenkaan löytynyt. Tästä syystä ohjausjärjestelmän suunnittelu toteutettiin käyttäen hyväksi jo aiemmin suunnittelemani hydraulista käsihallintalaitetta.

Työn tavoitteena oli suunnitella sähköisesti ohjattu käsihallintalaitteen ohjausjärjestelmä, jossa ohjainlaitteena on Motec M130 -moottorinohjainlaite.

Tämä työ soveltui minulle erinomaisesti. Tarvitsen itse autolla ajaessani käsihallintalaitetta, joten minulla on omakohtaisia kokemuksia käsihallintalaitteista. Tässä työssä pääsin yhdistämään Motec-ohjainlaitteen ohjelmoinnin ja ralliharrastuksessani käyttämäni käsihallintalaitetta.

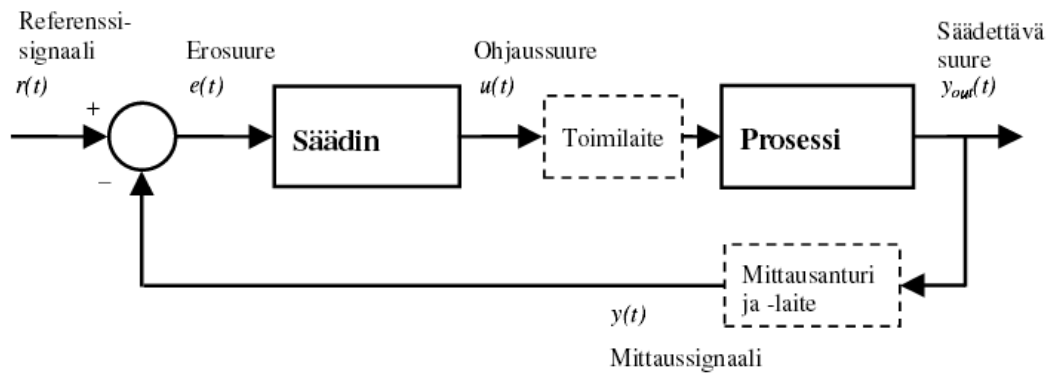
2 SÄÄTÖTEKNIikka

Säätötekniikka liitetään yleensä sähkötekniikkaan, mutta nykyään säätötekniikasta on tullut tärkeä työkalu myös kone- ja prosessi-insinööreille. Elektroniikan ja tietotekniikan kehittyessä säätötekniikkaa käytetään sellaisissa laitteissa ja prosesseissa, joissa se ei ole ollut mahdollista taloudellisesti tai teknisesti. Joka-päiväisessä elämässämme käytämme sellaisia laitteita, joiden toimintaa ohjataan säätötekniikalla. Talon huoneenlämmön säädössä, autojen automaattivaihteiston ohjauksessa, pyykinpesukoneissa ja kahvinkeitimissä käytetään säätötekniikkaa. Teollisuudessa prosessien ja automaation ohjauksessa säätötekniikka on merkittävässä roolissa.[1.]

Säätötekniikasta on kyse silloin, kun laitetta tai prosessia ohjataan siten, että mittausarvoja verrataan ennalta määriteltäviin asetusarvoihin. Ohjaussuureet määräytyvät sen mukaan, miten paljon mittausarvot poikkeavat asetusarvoista. Säätöjärjestelmä eli systeemi voi olla jokin teollisuuden prosessi tai sen osa, esimerkiksi pumppu tai venttiili. Järjestelmänä voidaan pitää koneautomaatiossa hihnakuljetinta tai robottia ja jokapäiväisessä elämässä esimerkiksi taloa, autoa tai jääkaappia.[1.]

Suljettu takaisinkytketty säätöjärjestelmä tarkoittaa sellaista järjestelmää, jossa tieto lähtösuureesta lähetetään takaisin säätölohkolle mittauksen ja eroelimen kautta. Suljettu takaisinkytketty säätöjärjestelmä on esitetty kuvassa 1. Mittausanturi mittaa järjestelmän lähtösuureen muutoksia ja muodostaa anturisuureen, joka muutetaan mittalähtetimestä mittaussuureeksi. Mittaussuure on yleensä jokin standardiviesti. Ohjearvo, jota kutsutaan myös asetusarvoksi, kertoo järjestelmälle säätösuureen arvon ja mikä sen tulisi olla. Säätösuureen hetkellisarvosta käytetään nimitystä oloarvo, kun verrataan sitä säätösuureeseen. Käskyelin muuttaa sille tulevan ohjesuureen vertailusuureeksi. Eroelin vähentää vertailusuureesta mittasuureen, josta muodostuu erosuure, joka välitetään säätölohkolle. Säätölohko muodostaa erosuureesta ohjaussuureen, joka välitetään toimi-

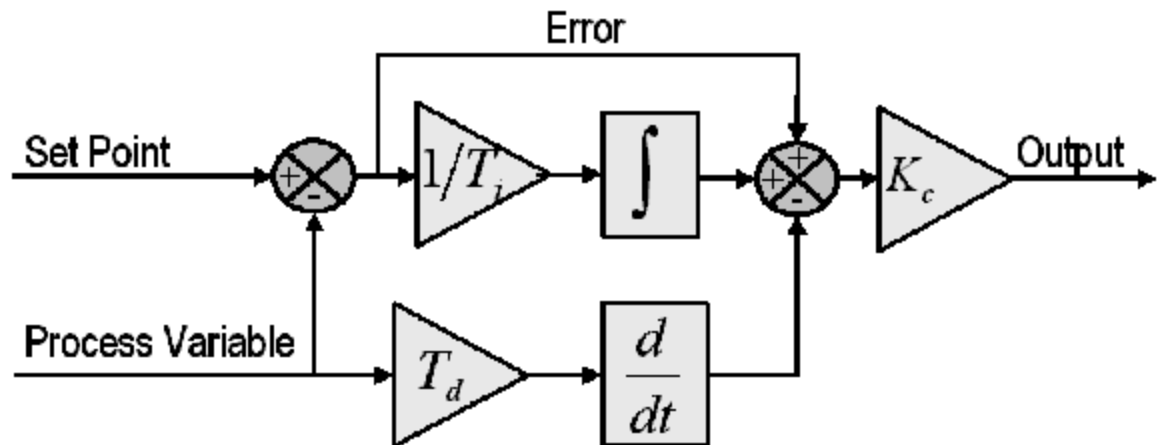
laitteelle. Toimilaite ohjaa välittömästi toimitukseen avulla säädettävää järjestelmää.[1.]



Kuva 1. Suljetun takaisinkytketyn säädön periaatekuva.[2]

3 PID-SÄÄDIN

PID-säädin on yleisin teollisuudessa prosessien ohjaukseen käytetty säätöalgoritmi. Sen suosio perustuu vahvaan suorituskykyyn monenlaisissa olosuhteissa ja yksinkertaiseen toiminnallisuuteen, joka mahdollistaa säätimen suoraviivaisen toiminnan. Nimensä mukaisesti PID-säätöalgoritmi koostuu kolmesta perustoimesta; proportional, integral ja derivate (suhde, integroiva ja derivoiva), joita muuttamalla saadaan optimaalinen vaste lähtösuureeseen. Tyypillinen PID-säätimen lohkokaavio on esitetty kuvassa 2.[3.]



Kuva 2. Tyypillinen PID-säätimen lohkokaavio. [3.]

3.1 P eli suhdeosa

Kirjain P tulee sanasta proportionaalinen, joka tarkoittaa suhteellista eli verrannollista. Suhdeosa riippuu vain säätösuureen ja asetuseron erotuksesta, ja tätä erotusta kutsutaan erosuureeksi. Suhdeosa muodostuu erosuureen ja suhdevahvistuksen (K_c) suhteesta. P-osa yksinään ei pysty korjaamaan virhettä vaan sille on tyypillistä, että se jättää pysyvän säätöpoikkeaman. Pysyvä säätöpoikkeama jää sitä pienemmäksi, mitä suuremmaksi vahvistus (K_c) viritetään. Vahvistusta ei voida virittää miten suureksi tahansa, koska se aiheuttaa järjestelmään värähtelyä ja epästabiiliutta (laidasta laitaan heiluntaa).[1.], [3.]

3.2 I eli integraaliosa

Integraaliosa on aikaintegraalista riippuva termi, joka pyrkii poistamaan säätöpoikkeaman äärellisen ajan kuluessa. I-osa jää nollostä poikkeavaksi silloinkin kun erosuure on asettunut nollassi. Integraaliosa ilmoitetaan yleensä integrointi-aikavakion (T_I) avulla, joka määrittelee suurin piirtein sen ajan, jonka kuluessa säätöpoikkeama saadaan poistettua. Aika ei voi kuitenkaan olla liian pieni, koska se johtaa järjestelmän epästabiiliin värähtelyyn aivan kuten liian suuri vahvistus (K_c).[1.], [3.]

3.3 D eli derivointiosa

Derivointiosa reagoi järjestelmän nopeisiin muutoksiin siten, että se pyrkii ottamaan ennakkoa ja ohjaamaan järjestelmää oikeaan suuntaan. D-osa muuttaa säätimeltä lähtevää ohjausta suhteessa erosuureen aikaderivaattaan eli muutosnopeuteen. Derivointiosan kerrointa (T_D) kutsutaan derivointiaikavakioksi, joka ilmaisee karkeasti ajan, jonka kuluessa säätöön tulee lisävahvistusta nopean erosuuremuutoksen tapahduttua; jos erosuuremuutos on nopea, on derivointitermin vaikutus suurimmillaan.[1.], [3.]

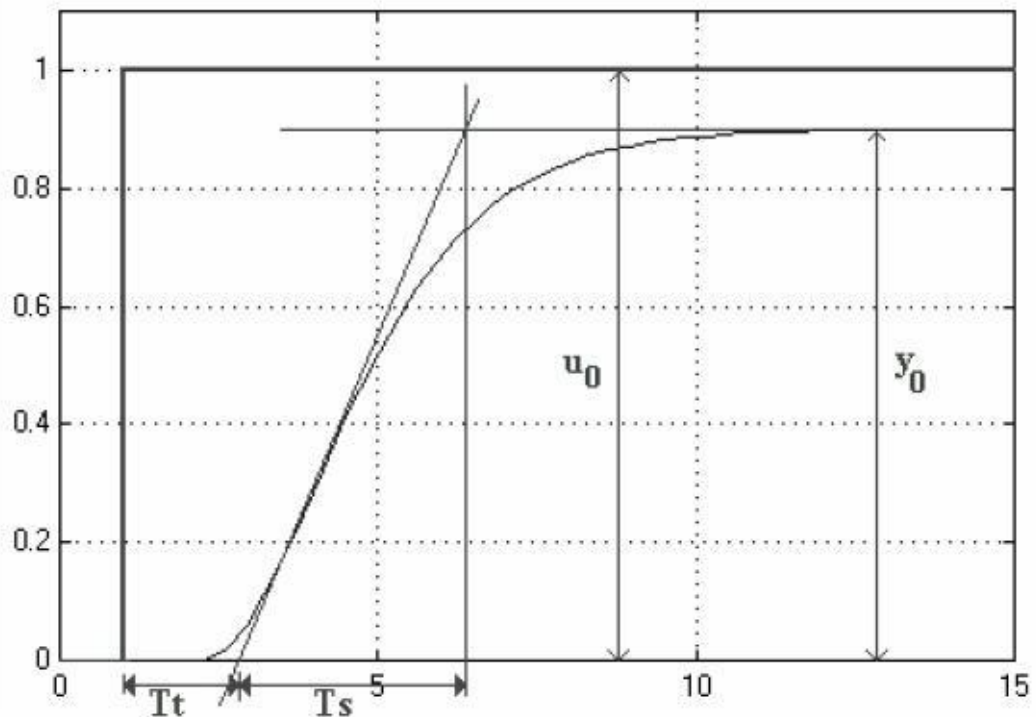
3.4 PID-säätimen viritys

Jotta PID-säädön kaikki ominaisuudet saadaan hyödynnettyä, tulee säätö olla hyvin viritetty. Virittämisellä tarkoitetaan P-, I- ja D-viritysparameترین määrittämistä kohdalleen. Hyvin säädetyssä säätöjärjestelmässä säädettävä suure ei saisi värähdellä ja säätöpoikkeaman eli ohjearvon ja oloarvon tulisi olla mahdollisimman pieni. Viritysparameترین voidaan yrittää hakea kohdalleen kokeilemalla eri suuruisia parametriarvoja. P-säädön osalta kokeilumenetelmä voi toimia, koska siinä on vain yksi viritettävä parametri. PI- ja PID-säädön täydellinen virittäminen on lähes mahdotonta, koska eri parametrijhdistelmiä on niin paljon, että virittä-

minen täydellisyyteen veisi todella kauan aikaa. Säätojärjestelmien virittämiseksi on olemassa monenlaisia systemaattisia menetelmiä. Kaksi yleisintä ovat Ziegler-Nicholsin menetelmät, jotka esitellään seuraavassa.[1.]

3.4.1 Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmä

Tässä menetelmässä tehdään säädettävälle järjestelmälle avoimen piirin askelvastekoe eli järjestelmän ohjaukseen tehdään askelmainen muutos. Askelvastekokeessa määritetään määräävä aikavakio T_s ja viive T_t kuvan 3 mukaisesti. Askelvastekokeessa määritetään myös säädettävän järjestelmän suhteellinen vahvistus $\frac{y_0}{u_0}$. [1.]



Kuva 3. Tyypillinen askelvaste.[4.]

Säätöjen parametrit voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

P-säätö:

$$K_p = \frac{T_s}{T_t} * \frac{y_0}{u_0} \quad (1)$$

PI-säätö:

$$K_p = 0,9 \frac{T_s}{T_t} * \frac{y_0}{u_0} \quad (2)$$

$$T_I = 3T_t \quad (3)$$

PID-säätö:

$$K_p = 1,2 \frac{T_s}{T_t} * \frac{y_0}{u_0} \quad (4)$$

$$T_I = 2T_t \quad (5)$$

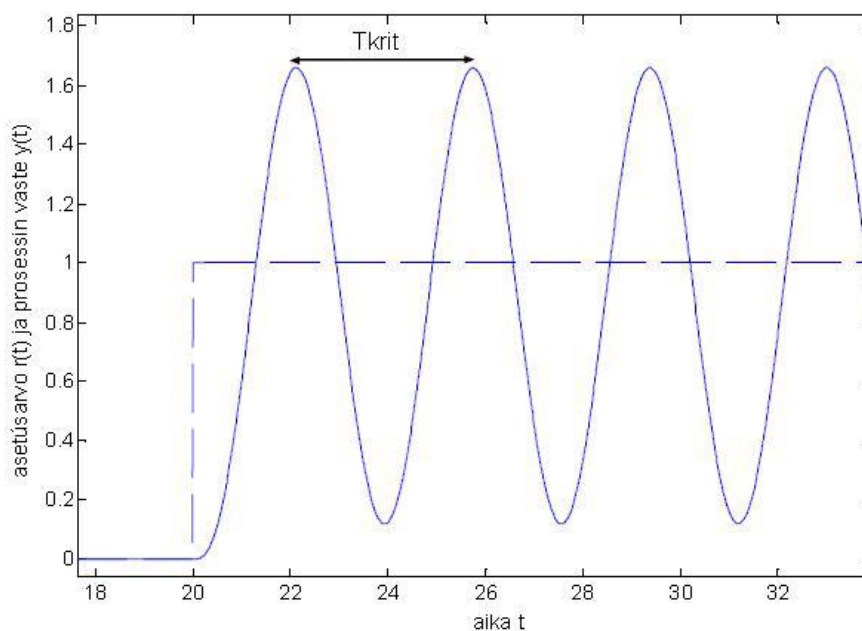
$$T_D = 0,5T_t \quad (6)$$

Parametrien laskennan jälkeen tulee virityksen onnistuminen tarkistaa. Tarkistus tehdään tekemällä ohjearvoon pieniä muutoksia. Viritys on onnistunut, jos säädettävä suure seuraa ohjearvoon tehtyjä muutoksia ilman, että säätöpiiri alkaisi värähdellä liikaa. Hyväksytyksi värähtelyksi katsotaan, jos värähtely vaimenee neljännekseensä yhden jakson aikana. Käytännössä säätöjärjestelmä pitää vielä hienovirittää ja yleensä tähän riittää pelkän vahvistuksen muuttaminen. Jos säädettävässä suureessa esiintyy värähtelyä, niin pienennetään vahvistusta. Jos säädettävä suure ei värähtele ja seuraa hitaasti ohjearvoa, niin vahvistusta kasvatetaan.[1.]

3.4.2 Ziegler-Nicholsin värähtelymenetelmä

Tässä menetelmässä pyritään vahvistusta muuttamalla etsimään kriittistä värähtelyä eli tilannetta, jossa säädettävä suure aloittaa värähtelyn vakioamplitudilla. Suljetussa järjestelmässä säätimen parametrit asetetaan siten, että vain vahvistus on käytössä. Aluksi asetetaan vahvistus mahdollisimman pieneksi, ja sen jälkeen sitä kasvatetaan, kunnes säädettävä suure alkaa värähdellä. Jos värähtely vaimenee, niin vahvistusta kasvatetaan hieman, tai jos värähtely lähtee kasvamaan, niin vahvistusta pienennetään. Vahvistukseen haetaan sellainen arvo, että säädettävä suure värähtelee vakioamplitudilla, kuten kuvassa 4 on esitetty. Vahvistusta K , jolla järjestelmä värähtelee vakioamplitudilla, kutsutaan järjestelmän kriittiseksi vahvistukseksi. Vastaavasti värähtelyn jaksonaikaa T_{krit} kutsutaan kriittiseksi jaksonajaksi.[1.]

Värähtelymenetelmällä laskettujen arvojen tulisi olla lähes samat kuin askelvas-
temenetelmällä lasketut arvot. Aikaisemmin mainitut hienovirityksen periaatteet
pätevät myös värähtelymenetelmässä.[1.]



Kuva 4. Kriittinen värähtely.[4.]

Säätöjen parametrit voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

P-säätö:

$$K_p = 0,5K_{pkrit} \quad (7)$$

PI-säätö:

$$K_p = 0,45K_{pkrit} \quad (8)$$

$$T_I = 0,83T_{krit} \quad (9)$$

PID-säätö:

$$K_p = 0,5K_{pkrit} \quad (10)$$

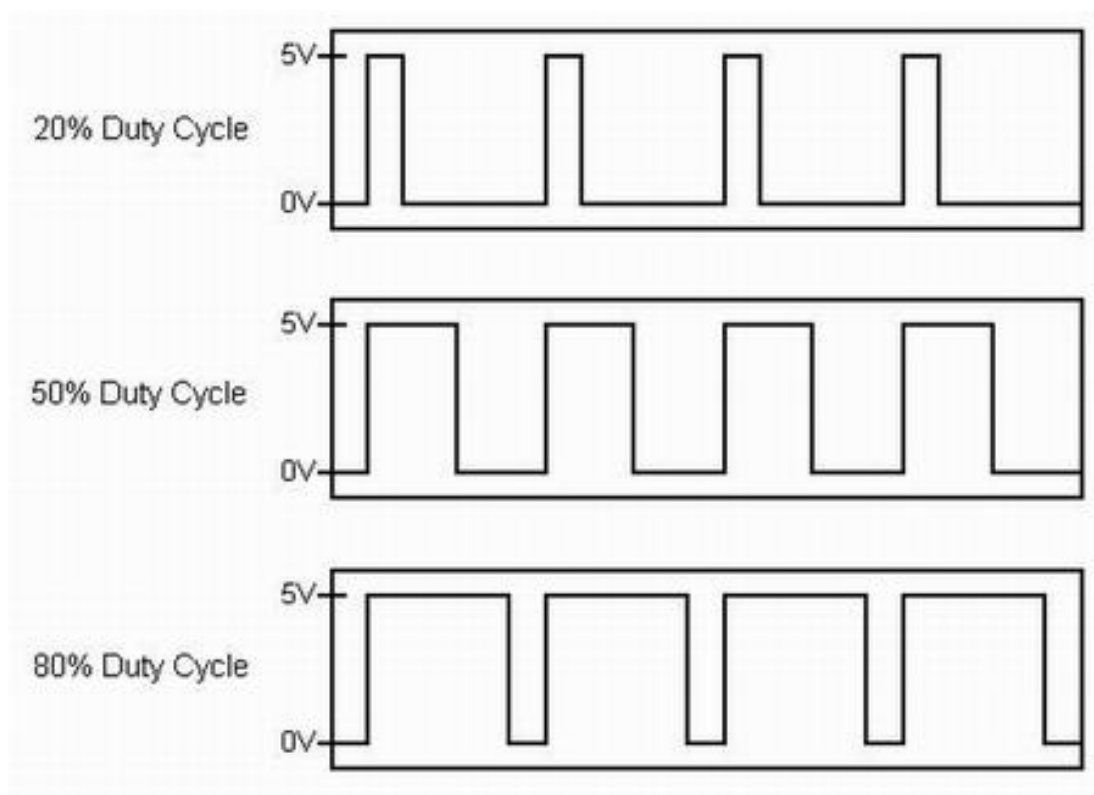
$$T_I = 0,5T_{krit} \quad (11)$$

$$T_D = 0,125T_{krit} \quad (12)$$

4 PULSSINLEVEYSMODULAATIO

Pulssinleveysmodulaatio (Pulse Width Modulation, PWM) on paljon käytetty sähkölaitteiden tehonsyötön säätötapa, jota käytetään hakkurityyppisissä jännitelähteissä ja monenlaisten valaisimien tehon säädössä. Ajoneuvoissa PWM-tekniikkaa käytetään muun muassa sähkömoottoreiden ja ohjausventtiilien säätämisessä.[5.]

Tehon säätö pulssileveysmoduloinnissa tapahtuu kytkemällä jännite syöttökuorman päälle ja pois nopealla tahdilla, joka voi olla 100–20000 kertaa sekunnissa. Kuorman syötettävän virran ja jännitteen arvo muodostuu päälle ja pois jaksojen pituuksien suhteesta, jota kutsutaan pulssisuhteeksi (duty cycle). Esimerkiksi kun syöttö on 10 % päällä ja 90 % pois jakson ajasta, on pulssisuhte silloin 10 %. Kuvassa 5 on esitetty eri pulssisuhteita.[5.]



Kuva 5. PWM-signaaleja eri duty cycleillä.[6.]

5 JÄLKIASENNETTAVA MOOTTORINOHJAINLAITE

Jälkiasennettavalla ECU:lla tarkoitetaan moottorin ohjainlaitetta, jolla korvataan ajoneuvon alkuperäinen moottorinohjainlaite. Yleensä jälkiasennettavaa moottorin ohjainlaitetta käytetään moottoriurheilussa, koska moottorit ovat viritettyjä ja niiden toiminta on haluttu optimoida.[7.], [8.]

Nykypäivän autoissa on alkuperäinen moottorinohjainlaite. Se on suunniteltu toimimaan normaaliolosuhteissa ja sen alkuperäisen moottorin kanssa. Kun moottoria viritetään tai kun sitä käytetään sellaisissa olosuhteissa mihin sitä ei ole suunniteltu, on moottorin ohjaaminen alkuperäisellä moottorin ohjainlaitteella vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tällaisissa tapauksissa vaihdetaan alkuperäisen tilalle jälkiasennettava moottorinohjainlaite. Ohjelmoitava jälkiasennettava moottorinohjainlaite voidaan ohjelmoida ja säätää toimimaan viritetyn moottorin kanssa ja muuttuneissa olosuhteissa.[7.], [8.]

Nykypäivän jälkiasennettavat moottorin ohjainlaitteet eivät vain ohjaa polttoaineen syöttöä ja sytytystä, vaan niillä pystytään ohjaamaan monimutkaisia toimintoja, kuten ahtopaineen ohjausta, tyhjäkäynnin säätöä, vesiruiskutuksen ohjausta sekä luistonestoa. Monissa ohjainlaitteissa on myös ylimääräisiä lähtöjä, joita voidaan käyttää eri laitteiden ohjauksessa, kuten pumppujen, tuulettimien ja jopa servojen. Kehittyneimmät moottorinohjainlaitteet pystyvät ohjaamaan muuttuvaa nokka-akselin ajoitusta, sähköistä kaasuläppää ja suorasuihkutussuuttimia, joten niitä voidaan käyttää uusimmissa moottorimalleissa.[7.], [8.]

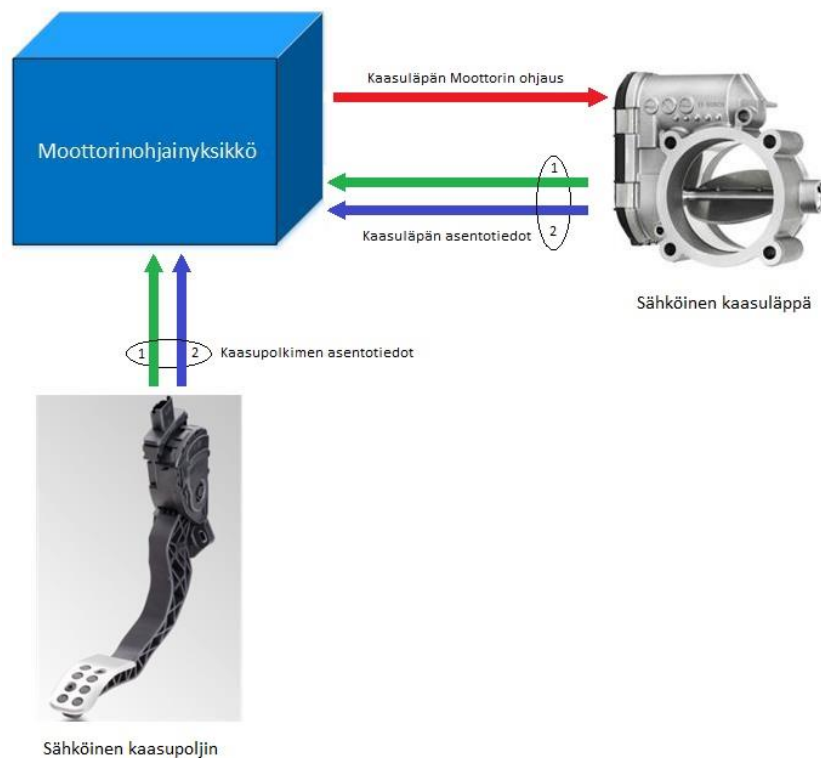
Jälkiasennettavien moottorinohjainlaitteiden hyödyllinen ominaisuus on tiedonkeruu. Tiedonkeruu mahdollistaa moottorin tärkeiden parametrien ja anturitietojen tallentamisen. Tiedonkeruun dataa voidaan käyttää moottorin ja oheislaitteiden säätämiseen ja vian hakuun. Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen jälkiasennettava moottorinohjainlaite.[7.], [8.]



Kuva 6. Tyypillinen jälkiasennettava moottorin ohjainlaite.[8.]

6 SÄHKÖINEN KAASULÄPPÄ

Nykypäivän autoissa mekaaninen yhteys moottorin kaasuläpän ja kaasupolkimen välillä on poistettu. Kaasuläppää ohjataan sähköisesti throttle by wire (TBW) tai drive by wire (DBW) -järjestelmällä. Ensimmäisen kaasuläpän ohjauksen esitelti BMW 80-luvun lopulla. Yleensä tällainen järjestelmä koostuu kaasuläpästä, jossa on sähkömoottori ja kaksi erillistä asentotunnistinta, ohjausyksiköstä ja kaasupolkimesta, jossa on myös kaksi erillistä asentotunnistinta. Kuvassa 7 on esitetty järjestelmän rakenne.[9.], [10]

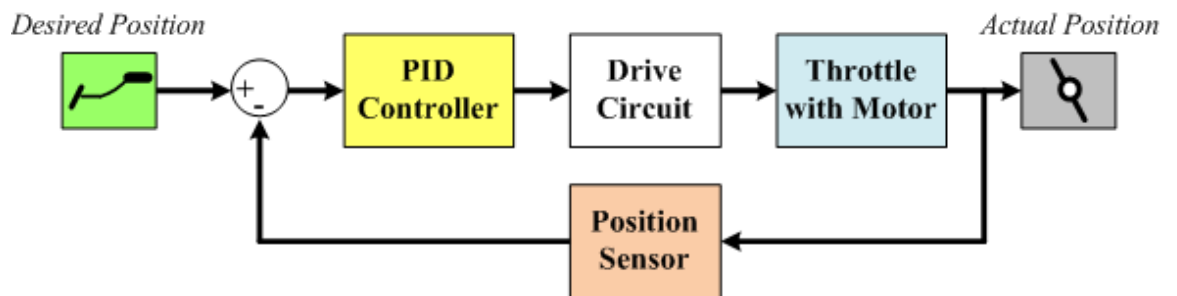


Kuva 7. Tyypillinen sähköisen kaasuläpän ohjauksen rakenne.[11.], [12.]

Sähköisen kaasuläpän etuna on mekaanisten osien poistuminen, joiden vikaantuminen voisi estää kaasuläpän sulkeutumisen. Sähköinen kaasuläpän ohjaus auttaa myös vähentämään päästöjä. Tärkein etu sähköisellä kaasuläpällä on, et-

tä moottorinohjaus voi yhdessä vääntömomentin hallinnan kanssa ohjata vakionopeussäädintä, luistonestoa ja ajonvakautusjärjestelmää.

Tyypillisesti sähköisen kaasuläpän ohjaus on toteutettu suljetun silmukan säätöjärjestelmällä. Moottorinohjain laskee halutun kaasuläpän asennon kaasupolkimen ja muiden säätöön vaikuttavien tekijöiden perusteella. Moottorinohjain ohjaa kaasuläppää ajamalla kaasuläpässä olevaa sähkömoottoria haluttuun suuntaan. Sähkömoottoria ohjataan Pulse Width Modulated (PWM) -signaalilla. Kuvassa 8 on esitetty tyypillinen kaasuläpän säätöpiirin lohkokaavio.[9.]



Kuva 8. Tyypillinen sähköisen kaasuläpän säätöpiiri.[9.]

7 PROPORTIONAALIVENTTIILI

Proportionaaliventtiilit ovat jatkuvatoimisia, ja ne mahdollistavat tarkan paineen ja tilavuusvirran säädön. Jatkuvatoimisuudella tarkoitetaan sitä, että virtausaukon kokoa ja siten tilavuusvirtaa voidaan säätää laitteiston käytön aikana. Jos paineen tai tilavuusvirran tarve muuttuu käytön aikana, venttiili reagoi tähän muutokseen välittömästi.

Proportionaaliventtiileissä sähköinen ohjaussignaali muutetaan proportionaalisesti hydrauliseksi ulostulosignaaliksi. Ohjaussignaali on tyypillisesti pulssi-leveys-moduloitu (PWM) signaali. Proportionaalimagneetti muuttaa ohjauksen mekaaniseksi liikkeeksi ja näin muuttaa virtausaukon kokoa. Magneetin jännite ja teho määräytyy ohjaussignaalin pulssinleveyden (duty cycle) mukaan. Kuvassa 9 on esitetty tässä projektissa käytetty proportionaaliventtiili.[13.]



Kuva 9. Tässä opinnäytetyössä käytetty proportionaaliventtiili.

8 KÄSIHALLINTALAJE

Tämän opinnäytetyön käytännön osuus koostuu käsihallintalaitteen ohjausjärjestelmän suunnittelusta. Käsihallintalaitteen pääosat ovat ohjausjärjestelmä ja hydraulikkayksikkö; tässä keskitytään pääasiassa vain ohjausjärjestelmän suunnitteluun. Hydraulikkayksikkönä on käytetty jo aiemmin toteutettua laitetta, jota modifioitiin uuden ohjausjärjestelmän vaatimuksiin sopiviksi.

8.1 Työlle asetetut vaatimukset

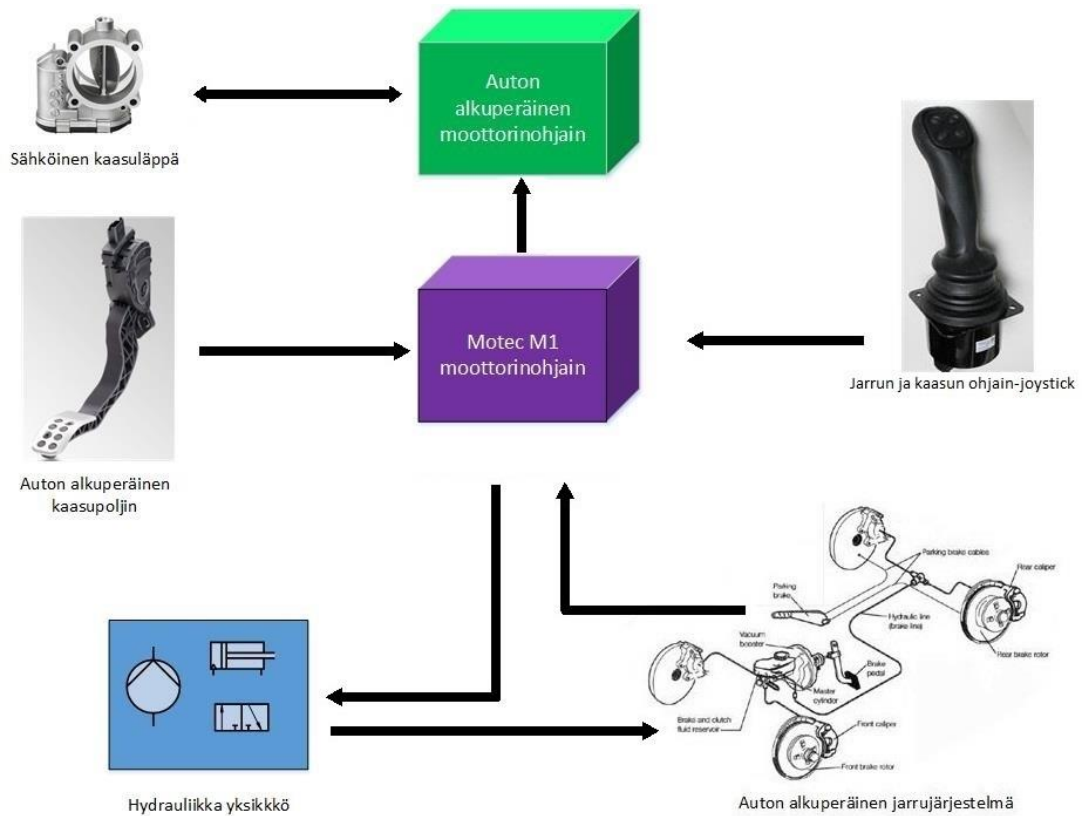
Käsihallintalaitteiden ohjausjärjestelmän suunnittelun tarkoituksena oli suunnitella järjestelmä, joka soveltuisi asennettavaksi mahdollisimman moneen automaattivaihteiseen henkilöautoon. Käsihallintalaitteella ohjataan automaattivaihteisen henkilöauton jarru- ja kaasutoimintoja. Koska käsihallintalaitetta ohjataan sähköisesti, nämä hallintalaitteet soveltuvat vain autoihin, joissa on sähköinen kaasuläppän ohjaus.

8.2 Ohjausjärjestelmän kuvaus

Ohjausjärjestelmän pääosat ovat ohjainkahva, hydraulikkayksikkö ja Motec M1-moottoriohjainyksikkö. Autoon asennetaan myös valintakytkin, jolla valitaan, ajetaanko autoa käsihallintalaitteella vai auton omilla hallintalaitteilla.

Auton kaasun ohjaus suunniteltiin toteutettavaksi siten, että auton alkuperäisen kaasupolkimen ja auton alkuperäisen moottorinohjainlaitteen yhteys poistetaan ja väliin kytketään M1-ohjainlaite. Kaasupolkimelta tuleva yhteys kytketään M1:n sisään-tuloon, ja alkuperäiselle moottorinohjainlaitteelle menevä yhteys kytketään M1:n lähtöön. Kaasun asentotieto kulkee nyt M1:n kautta alkuperäiselle moottorinohjainlaitteelle. Auton kaasuläppää voidaan ohjata alkuperäisellä kaasupolkimella tai käsihallintalaitteella, riippuen siitä, kumpi ohjaustapa on valittuna.

Käsihallintalaitteen jarrujärjestelmässä M1-ohjainlaite sääteää hydrauliiikan avulla jarrupainetta auton alkuperäisessä jarrujärjestelmässä. M1-ohjainlaitteeseen ohjelmoidulla PID-säätimellä ohjataan jarrujärjestelmän painetta. Ohjausjärjestelmä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Ohjausjärjestelmän kuvaus.[11.], [12.], [14.]

9 MOTEC M1 -MOOTTORINOHJAINLAITE

9.1 Yleistä

Motec Pty Ltd on australialainen yritys, joka aloitti 80-luvulla autotallista, jälkiasennettavien moottorinohjauslaitteiden valmistuksen. Nykyään Motec on maailman johtavia moottorinohjaus- ja tiedonkeruulaitteiden valmistajia. Motecin tuotteita on käytössä ympäri maailman lähes kaikissa moottoriurheilusarjoissa; autoissa, moottoripyörissä, veneissä, moottorikelkoissa jne.[15.]

9.2 Motec M1

Motec M1 -sarjan moottorinohjainlaitteet on alun perin kehitetty auton, moottoripyörän tai jonkin muun polttomoottoria käyttävän laitteen ohjaukseen. M1-sarjan ero muihin vastaaviin moottorinohjainlaitteisiin on siinä, että sen laiteohjelmiston voi käyttäjä ohjelmoida itse. Ohjelmoitavuuden ansiosta M1-sarjan laitteita voidaan käyttää lähes minkä tahansa laitteen ohjauksessa, joten niitä voitaisiin sanoa ohjelmointialustaksi tai mikrokontrolleriksi. Tässä opinnäytetyössä käytettiin M130-ohjainlaitetta. Sen ominaisuuksia on lueteltu seuraavassa.

Lähdöt:

- Peak and Hold injector outputs 8 kpl
- Low Side ignition outputs 8 kpl
- Auxiliary low side output 2 kpl
- Auxiliary half bridge output 6 kpl

Tulot:

- Universal digital inputs 7 kpl
- Analogue voltage input 8 kpl
- Analogue temperature input 4 kpl
- Knock input 2 kpl

Data:

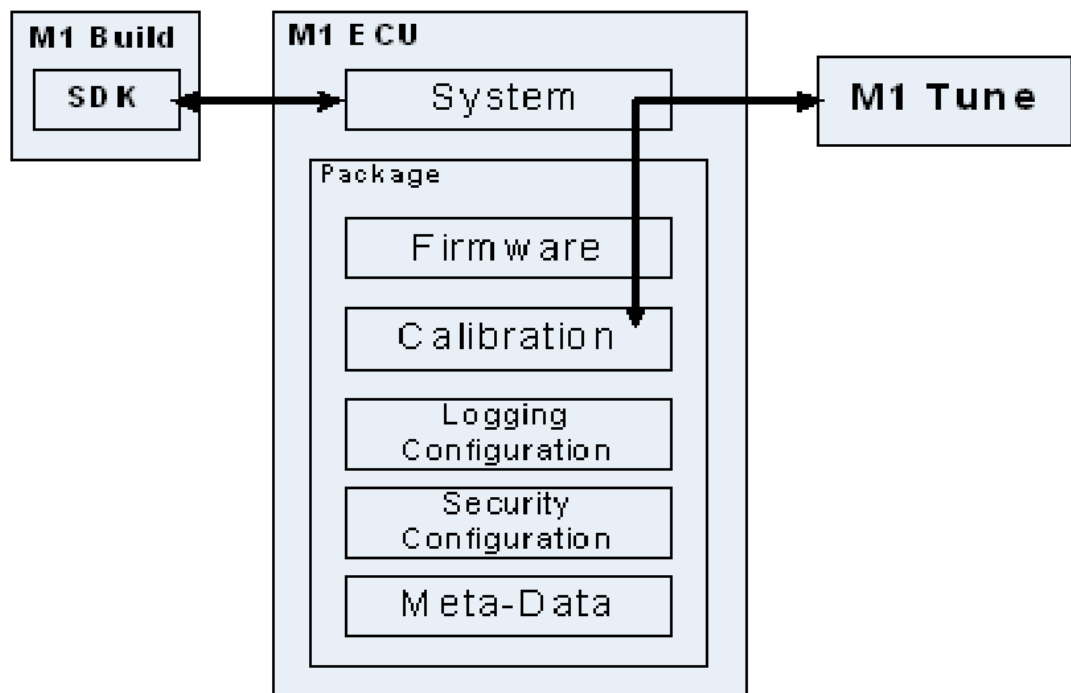
- CAN bus 1 kpl

9.3 M1-ohjelmisto

M1 Build on integroitu kehitysympäristö, joka on räätälöity M1-ohjainlaitteen käyttöön. Korkein taso sisältää toiminnallisen kuvauksen sovelluksesta, koodieditorin ja kääntäjän. M1 Build -projekti käännetään tietokonekoodiksi M1-ohjainlaitteistolle. Käännöksen prosessin aikana muodostetaan meta-data eli liitännäistiedostot laiteohjelmiston sisällöstä. Meta-data määrittää muistialueen ja turvallisuusyksityiskohdat, joita tarvitaan kalibroinnissa. Käännettyä projektia, joka sisältää meta-datan ja laiteohjelmiston, kutsutaan paketiksi (Package). Paketti kalibroidaan ja lähetetään M1-ohjainlaitteelle M1 Tune -ohjelmaa käyttäen.[16.]

M1 Tune on pakettien kalibrointiin suunniteltu ohjelma. Koska paketit sisältävät liitännäistiedot muistialueesta, voidaan M1 Tune -ohjelmalla kalibroida mikä tahansa paketti, joka on rakennettu yhteensopivalla M1 Buildin versiolla.[16.]

M1-ohjainlaitteen ohjelmisto koostuu kahdesta pääosasta: M1 System (systemi) ja M1 Package (paketti). Ohjelmiston lohkokaavio on esitetty kuvassa 11.[16.]



Kuva 11. M1-moottorinohjainlaitteen ohjelmiston lohkokkaavio.[16.]

9.3.1 M1 System

M1 System määrittelee M1 Packagen toimintaympäristön, joka sisältää ytimen, sisääntulojen ja lähtöjen ajurit, tiedostojärjestelmien ja hallinnon tehtävät. Muistin suojauksen tehtävänä on estää laiteohjelmistoa ja muita prosesseja käyttämästä kiellettyä muistialuetta. M1 System ohjaa laiteohjelmiston toimintaa ja tarjoaa yhteyden rajapinnan M1 Tune -ohjelmalle, joka kommunikoi laiteohjelmiston ja muun systeemin kanssa. Ennen kuin ohjainlaitetta voidaan kalibroida tai asettaa sen parametreja, niin M1 System suorittaa turvallisuustarkastuksen ladattavalle paketille. Systeemin viimeinen tehtävä on suorittaa tiedonkeruu, niin kuin se on paketissa määritetty.[16.]

9.3.2 Software Development Kit (SDK)

Software Development Kit (SDK) sisältää järjestelmän toimintojen määrittelyt ja tulojen ja lähtöjen metodit. SDK määrittelee projektiin tarvittavan järjestelmän, että koottu paketti voidaan suorittaa M1-ohjainlaitteessa. M1 Tune varmistaa, että järjestelmä on oikea, kun M1-pakettia ja päivityksiä ladataan M1-ohjainlaitteeseen.[16.]

9.3.3 M1 Project

M1 Project on M1-ohjainlaitteen sovelluksen täydellinen lähdetason määrittely. Se sisältää kaikki objektit, datatyypit, turvallisuusryhmät ja logiikan M1-ohjainlaitteen laiteohjelmistolle. Projektit kirjoitetaan käyttäen kaikkia valmiuksia, jotka SDK mahdollistaa.[16.]

9.3.4 Package

Paketti on M1 Buildilla tehdyn projektin tuotos, joka on käännetty ja valmis ladattavaksi M1-ohjainlaitteeseen. Se sisältää laiteohjelmiston, meta-datan, muuttumattoman kalibroitidatan, tiedonkeruun sekä turvallisuusmääritelmät. Paketit voidaan avata ja kalibroida M1 Tune -ohjelmalla, ja ne sisältävät kaiken tarvittavan informaation, että paketin data voidaan näyttää M1 Tunella.[16.]

9.3.5 Firmware

Laiteohjelmisto on M1 Buildilla tehty projekti, joka on käännetty tietokonekoodiksi. Käännös on yksisuuntainen, ja sitä ei voi palauttaa. Laiteohjelmisto sisältää kahta erityyppistä informaatiota: kalibroititietoa ja datatietoa. Kalibroititiedot,

esimerkiksi anturien kalibrointitiedot, ovat muutettavissa M1 Tunella. Datan laskennan suorittaa laiteohjelmisto, ja vain laiteohjelmisto voi muuttaa sitä.[16.]

9.3.6 Meta-data

Meta-data sisältää tarvittavat tiedot paketin kalibroimiseksi: sijainti, koko, yksiköt ja nimet projektissa määriteltyyn dataan ja kalibrointiobjekteihin. Meta-data sisältää myös määritelmät laiteohjelmiston tuottamalle datalle, kalibroinneille ja turvallisuusryhmille. M1 Tune -ohjelman työpöydän asetukset sisältyvät meta-dataan.[16.]

9.3.7 Stored calibration

Paketin kalibrointi sisältää muuttumattoman kopion kalibrointiarvoista, joita laiteohjelmisto käyttää. Kun laiteohjelmisto suoritetaan, luodaan muuttuva kopio kalibroinnista M1-ohjainlaitteen RAM-muistiin. Kopiota käytetään laiteohjelmiston toimintojen ja kalibroinnin aikana. Muuttumaton kopio päivitetään käyttäjän toimesta M1 Tune -ohjelmalla.[16.]

9.3.8 Logging configuration

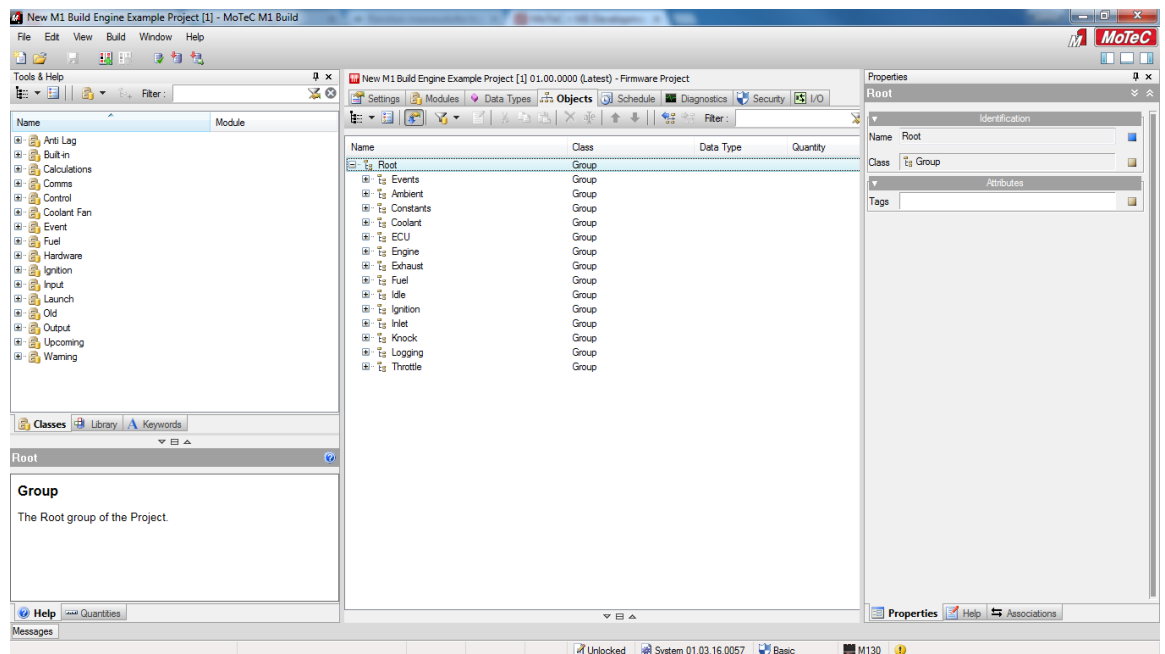
Paketin tiedonkeruuasetukset määrittelevät, mitä tietoja kerätään M1-ohjainlaitteen Flash-muistiin. Ohjainlaitteessa on kahdeksan erillistä tiedonkeruun konfiguraatiota, jotka sisältävät luettelon kerättävistä tiedoista ja näytteenotostaajuudesta.[16.]

9.3.9 Security configuration

Turvallisuusmääritelmässä määritellään käyttöoikeudet pakettien käyttäjille. Määrittelyt tehdään projektin turvallisuusryhmissä.[16.]

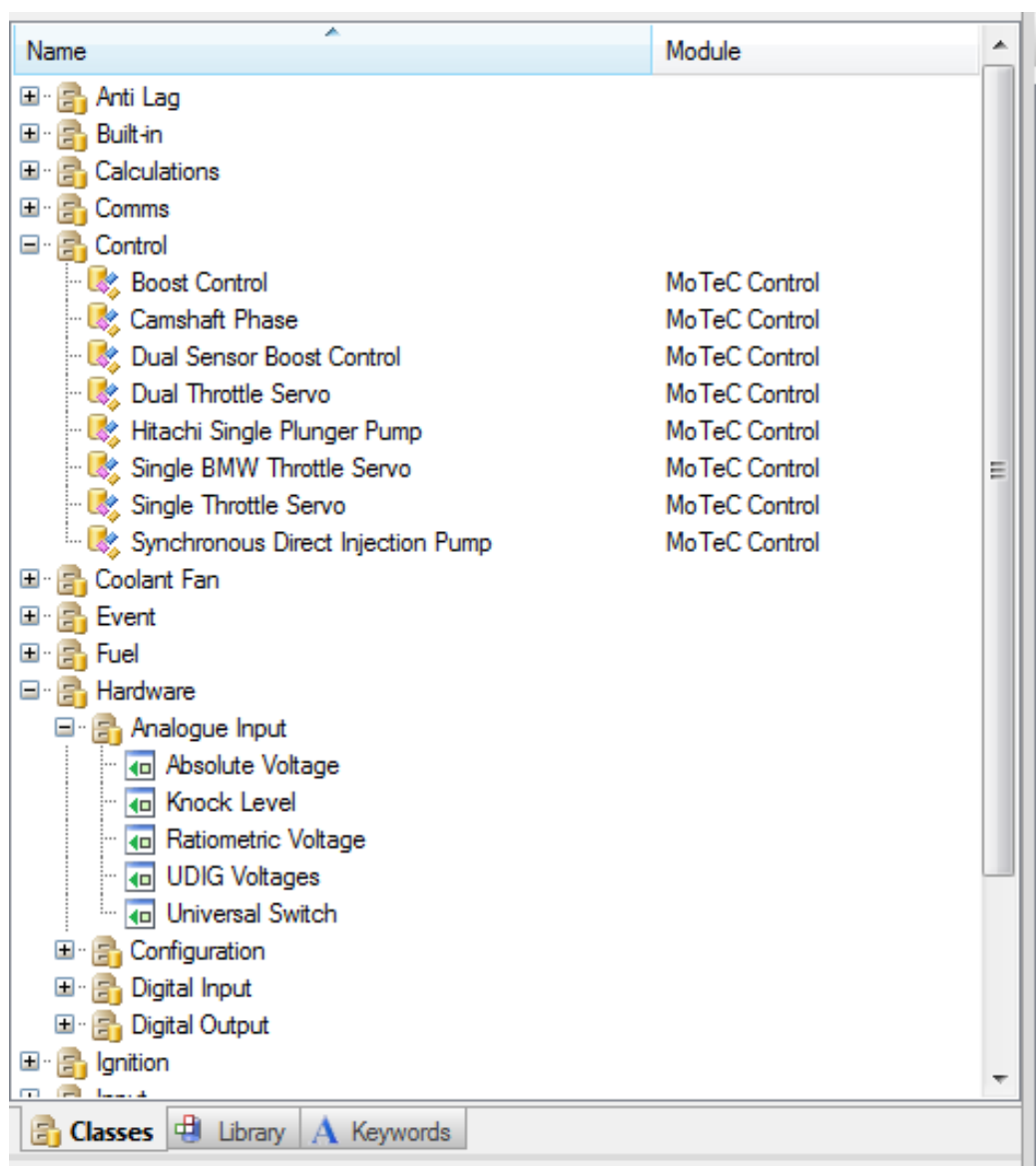
9.4 M1-ohjelmointi

M1 Buildissa käytetään ohjelmointikielenä M1 Programming language (M1PL) -kieltä. M1 Programming language on lähellä C-kieltä, mutta sitä on räätälöity ja yksinkertaistettu paremmin M1 Build -ympäristöön sopivaksi. Tästä johtuen kaikki C-kielen komennot eivät ole käytössä, kuten osoittimet, taulukot sekä while- ja for-silmukat. M1 Buildissa ohjelma koostuu puu-rakenteesta. Ohjelma on jaettu omiin pääryhmiin käyttötarkoituksen perusteella ja ryhmät on nimetty sen mukaisesti. Toiminnan selkeyttämiseksi pääryhmät on vielä jaettu pienempiin ryhmiin. Kuvassa 12 on esitetty M1 Build -ohjelman perusnäkyä.[16.]

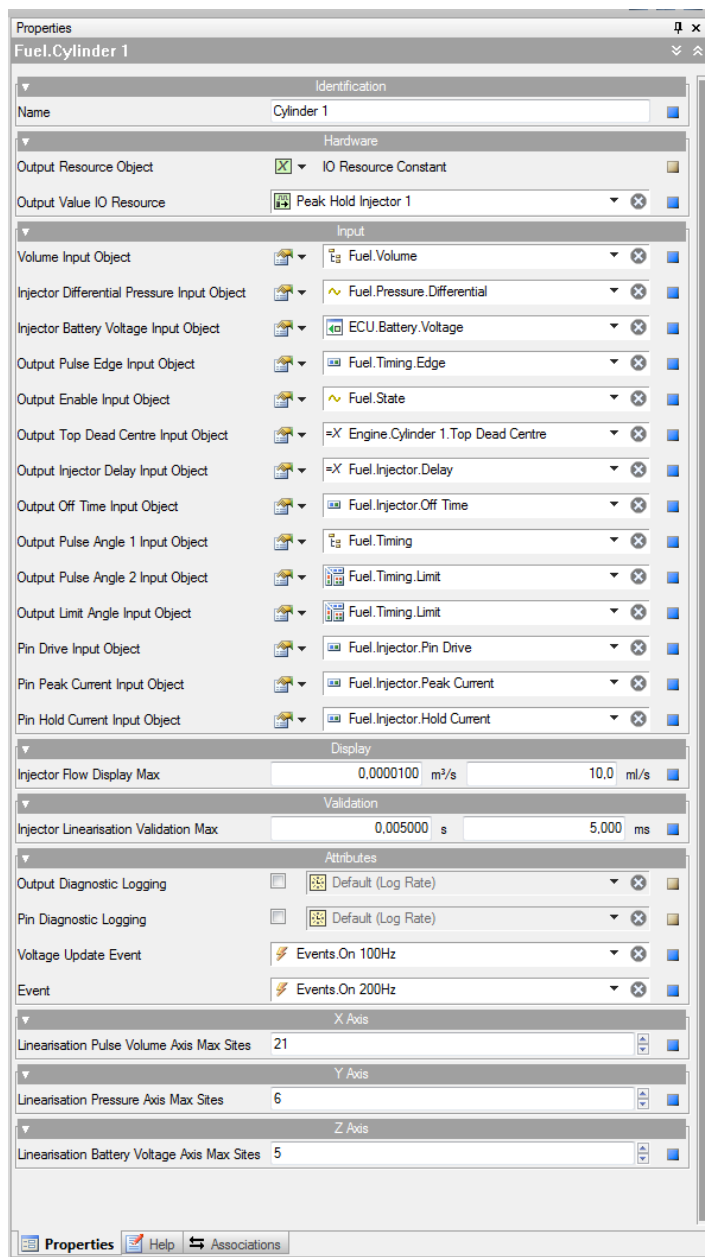


Kuva 12. M1 Build -ohjelman perusnäkyä.

Ryhmiensä sisällä ohjelma muodostuu valmiiksi tehdyistä moduuleista, joita lisäämällä ja yhdistämällä saadaan toimiva kokonaisuus. Moduulit ovat lähinnä polttomoottorin ohjauksessa tarvittavia ohjaimia, mutta myös sisään- ja ulostulot ovat valmiina moduuleina, joista valitaan käyttötarkoitukseen sopiva. Kuvassa 13 on esitettyä moduulivalikko. Properties-valikossa määritellään moduulien nimi, laiteisto, sisääntulot, datan laatu ja yksikkö, kalibrointi- ja moduulien suoritusnopeus. Kuvassa 14 on esitetty Properties-valikko.[16.]



Kuva 13. M1 Build -ohjelman moduulivalikko.



Kuva 14. M1 Build -ohjelman Properties-valikko.

Toimiakseen ryhmät tarvitsevat ohjelmamoduulin, johon kirjoitetaan M1PL-kielellä ohjelma. Ohjelmalla ohjataan moduulit toimimaan halutulla tavalla, ja myös ryhmien välinen ohjaus tehdään ohjelmamoduuleihin. Kuvassa 15 on esitetty ohjelmamoduuli. Ohjelmoinnin jälkeen tarkistetaan, että projekti ei sisällä virheitä. Mikäli virheitä ei löydy, niin projekti käännetään paketiksi. Paketti kalib-

roidaan M1 Tune -ohjelmalla ja lähetetään M1-ohjainlaitteeseen. Kuvassa 16 on esitetty näkymä M1 Tune -ohjelmasta.[16.]

```

Pump                               Fuel Pump Relay
Cylinder 1                          Port Injector
Cylinder 2                          Port Injector
Cylinder 3                          Port Injector
Calculation                          Scheduled Function
Closed Loop Enable Calculation       Scheduled Function
Idle                                 Group
Ignition                             Group

```

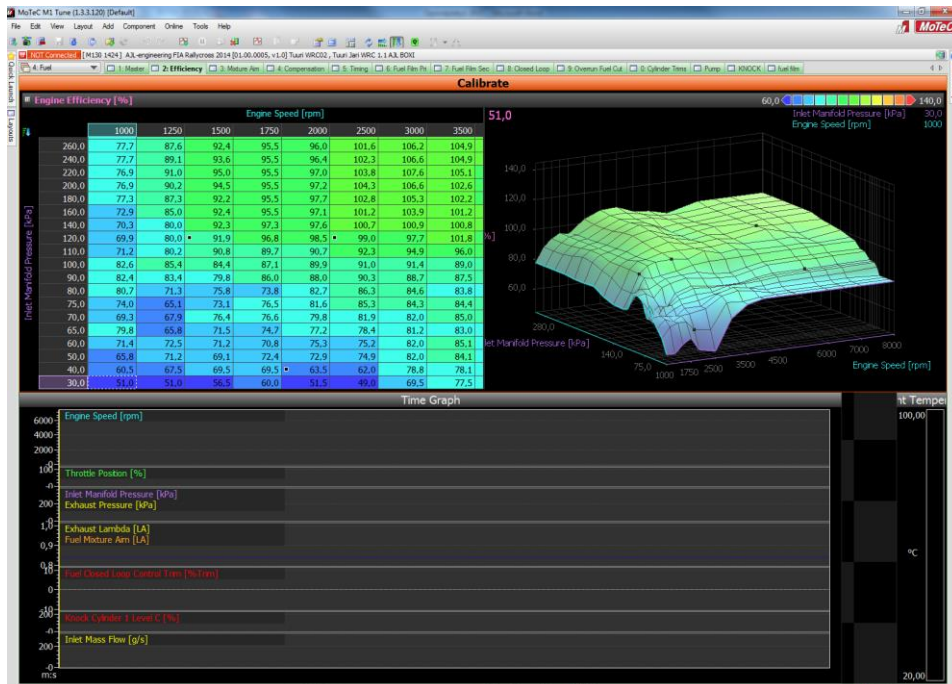
```

1 local cps = Engine.Speed / 720.0; /* Engine Speed in cycles per second */
2 local vol = 0.0;
3 local pw = 0.0;
4 local delivered = 0.0;
5
6 expand (n = 1 to Engine.Cylinders)
7 {
8     if (State eq State.Enabled)
9     {
10        vol += Cylinder $(n).Output.Pulse Volume;
11    }
12    pw = Calculate.Max(pw, Cylinder $(n).Output.Pulse Width 1);
13    delivered += Cylinder $(n).Output.Delivered;
14 }
15
16 Volume.Per Cycle = vol * (1.0 - Output.Cut Average);
17 Flow = Volume.Per Cycle * cps;
18 Injector.Duty Cycle = pw * cps; /* maximum duty cycle of all cylinders */
19 Used = delivered;
20

```

Fuel.Calculation

Kuva 15. M1 Build -ohjelman ohjelmamoduuli.



Kuva 16. Näkymä M1 Tune-ohjelmasta.

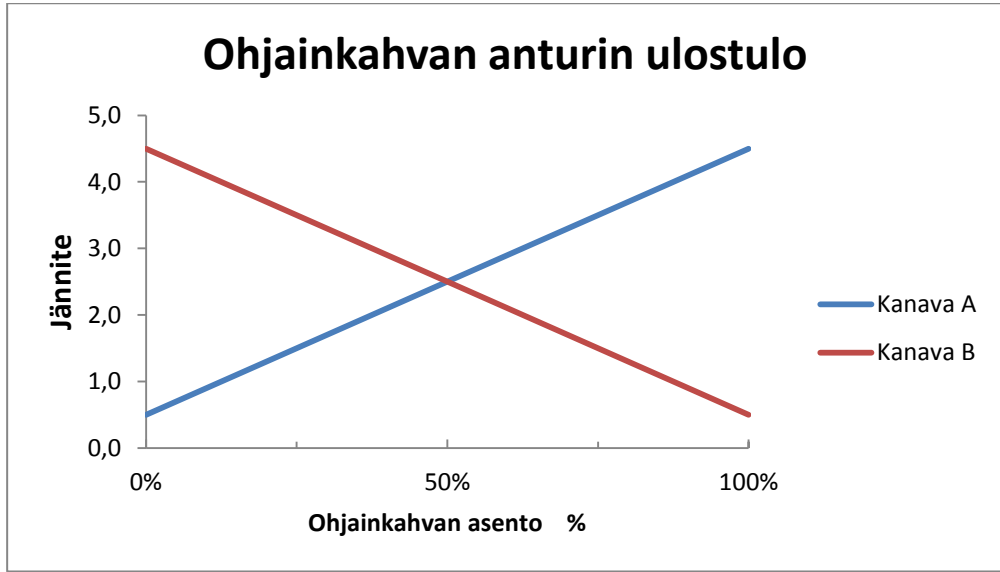
10 OHJAINKAHVA

Ohjainkahva on järjestelmän näkyvin osa, jolla ohjataan auton jarrua ja kaasua sähköisesti. Tässä järjestelmässä käytetään Caldaro 56042745 yksiakselista joystick-tyyppistä ohjainkahvaa, joka on esitetty kuvassa 17. Ohjainkahva asennetaan autoon siten, että se liikkuu eteen- ja taaksepäin. Autoa jarrutetaan liikuttamalla ohjainkahvaa eteenpäin, taaksepäin kahvaa vedettäessä auton nopeus kiihtyy. Kun ohjainkahva on lepotilassa, niin jousivoima palauttaa aina ohjainkahvan liikealueen puoliväliin.



Kuva 17. Ohjainkahva.

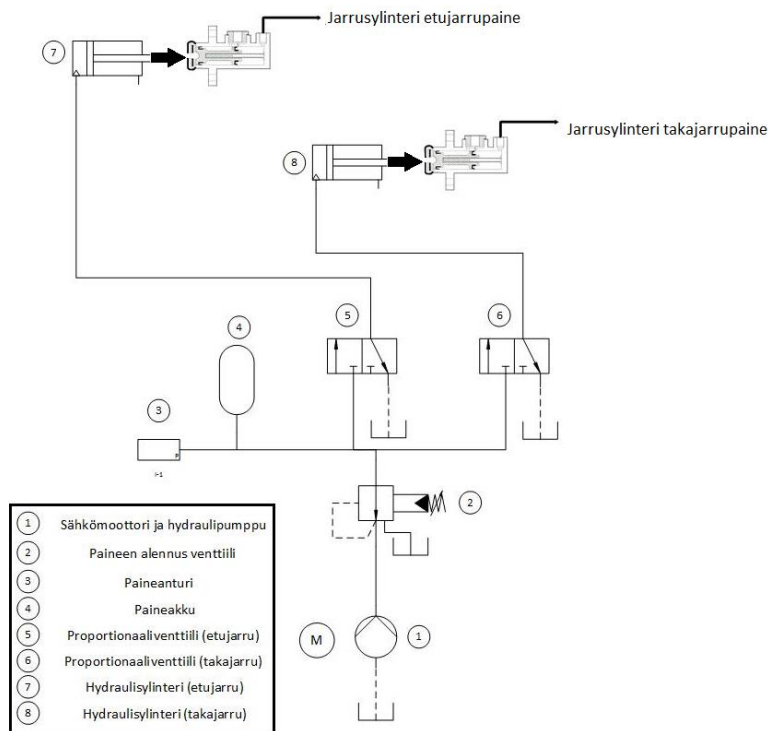
Asentoanturina ohjainkahvassa on kaksikanavainen Calcaro S03A -tyyppinen Hall-anturi. Anturissa on kaksi erillistä ristiin kytkettyä kanavaa A ja B, joiden lähtösignaali on 0,5–4,5 V. Liikealueen alussa lähtösignaali A on 0,5 V ja signaali B on 4,5 V. Liikealueen lopussa signaali A on 4,5 V ja signaali B 0,5 V. Lähtösignaalit on kahdennettu käytännöllisyyden ja turvallisuuden takia. Tällä pyritään estämään häiriötilanteesta aiheutuvat virheohjaukset. Kuvassa 18 on esitetty ohjainkahvan lähtösignaalien arvot liikealueella.



Kuva 18. Ohjainkahvan ulostulosignaali.

11 HYDRAULIIKKAYKSIKKÖ

Hydrauliikkayksikön toimintaan tarvittava öljynpaine tuotetaan 12 voltin tasavirtamoottorilla ja hammaspyöräöljypumpulla. Järjestelmän maksimipaine on rajoitettu paineenalennusventtiilillä, jolla halutaan suojata järjestelmää liian suurilta paineilta. Öljynpainetta valvotaan paineanturilla, joka on kytketty M1-ohjainlaitteeseen. Öljynpainelinjassa on painevaraaja, joka toimii energiavaraos- tona nopeiden kuormituspiikkien ja lyhyiden öljypumpun toimintahäiriöiden aika- na. Painevaraaja vaimentaa myös paineiskuja ja tasoittaa painetta. Säädetty öljynpaine johdetaan kahdelle proportionaaliventtiilille, joilla ohjataan etu- ja takajarrujen painetta. Proportionaaliventtiilillä säädetään painetta, jolla ohjataan hydrauliikkasylin- terin työntövoimaa. Hydrauliikkasylinteri on yhdistetty auton jarrujärjestelmässä olevaan jarrupääsylinteriin, joka tuottaa halutun paineen jarrujärjestelmään. Jarrujärjestelmän paine mitataan paineanturilla, joka on kytketty M1-ohjainlaitteeseen. Hydrauliikkajärjestelmä on esitetty kuvassa 19.

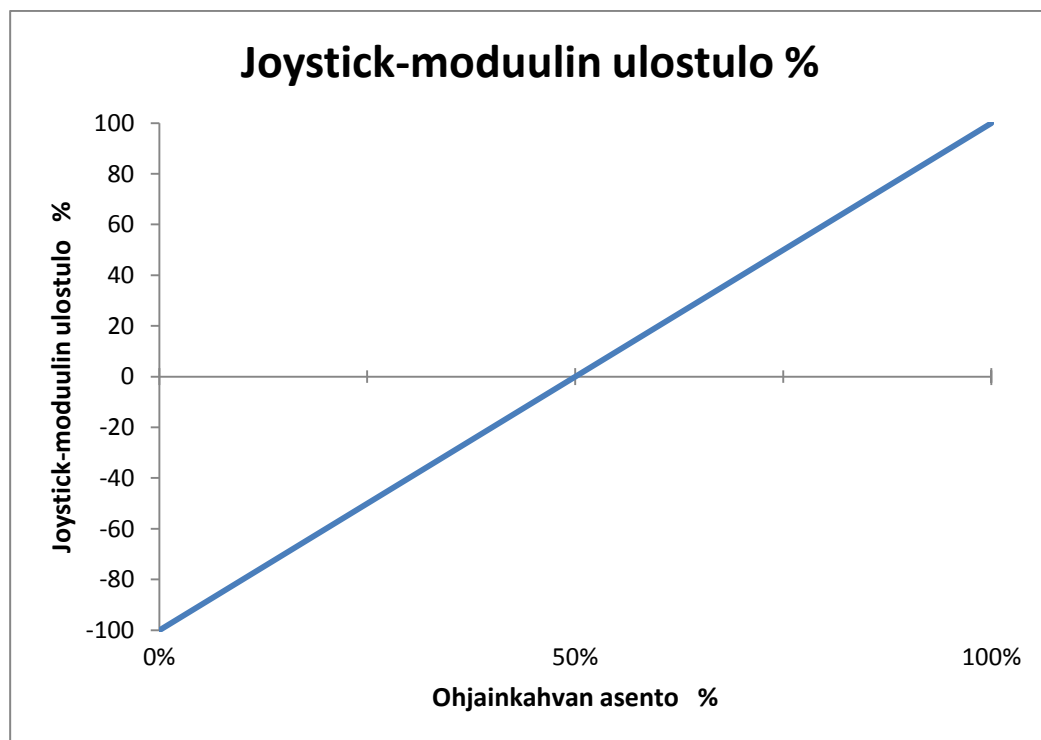


Kuva 19. Hydrauliikkajärjestelmä.

12 OHJELMOINTI

12.1 Ohjainkahvan liittäminen M1-ohjainlaitteeseen

Ohjainkahvan ulostulot kytkettiin M1-ohjainlaitteen sisääntuloihin siten, että kanava A kytkettiin Analogue voltage 1:een ja kanava B Analogue Voltage 2:een. Ohjelmassa ohjainkahvan lukemiseen käytettiin Normalised Tracking -sisääntulomodulia (Joystick). Tämä moduuli on tarkoitettu kaksikanavaisen asema-anturin lukemiseen, joten se sopii ohjainkahvan lukemiseen hyvin. Moduuli tarkkailee molempia kanavia ja tuottaa varoituksen järjestelmään, jos kanavat poikkeavat toisistaan yli 10 prosenttia. Moduuliin määritettiin molempien kanavien jännitearvot, kun ohjainkahvan asento oli välillä 0–100 %. Moduuli kalibroitiin niin, että silloin kun ohjainkahvan asento on välillä 0–100 %, niin moduulin lähtö on -100–0–100 %. Moduulin kalibrointi on esitetty kuvassa 20.

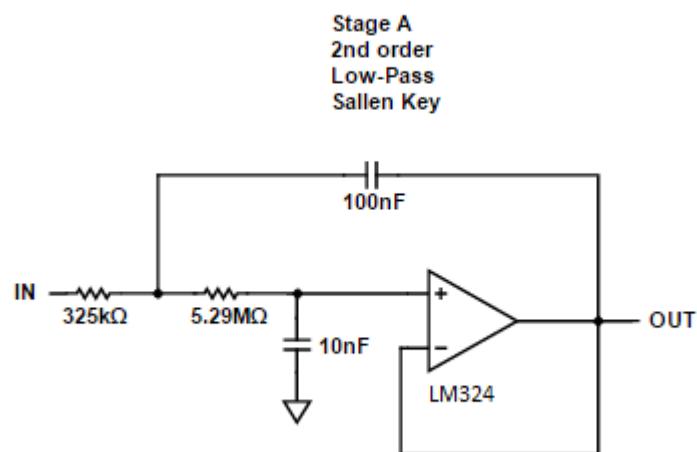


Kuva 20. Joystick-moduulin ulostulo.

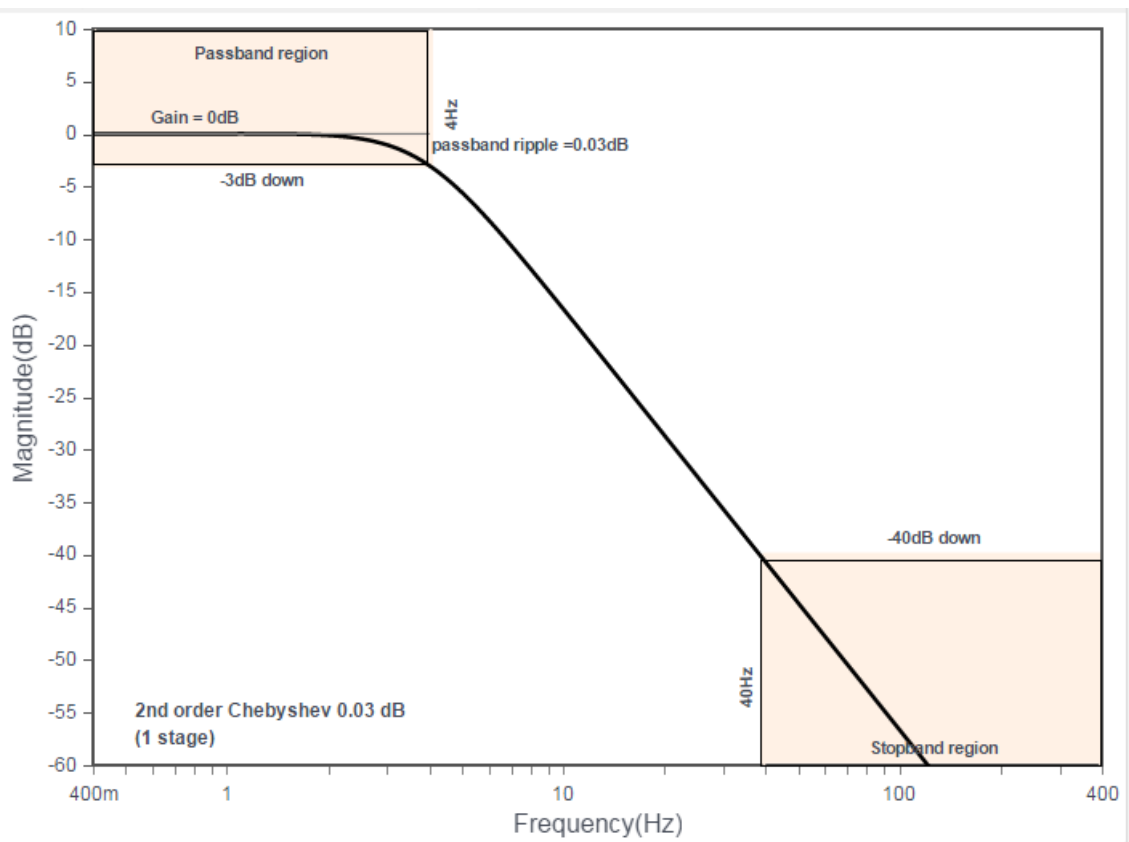
12.2 Kaasupolkimen asentotiedon muodostaminen

Kun auton kaasupolkimen tieto käännettiin M1-ohjainlaitteeseen, niin vastaava signaali täytyi muodostaa auton omalle moottorinohjausjärjestelmälle M1-ohjainlaitteella. Alkuperäinen signaali muodostui kahdesta ristiin kytketystä jännitesignaalista, joiden arvot olivat välillä 0,5–4,5 V. M1-ohjainlaitteessa ei ole analogijänniteulostuloa, jonka vuoksi käytettiin PWM-lähtöä ja signaali suodatettiin aktiivisella alipäästösuodattimella. Näin saatiin muodostettua jännitesignaali.

Aktiivinen alipäästösuodatin suunniteltiin Analog Devicen Analog Filter Wizard -suodattimiensuunnitteluohjelmalla. Suunnitteluohjelman parametrit asetettiin siten, että suodattimen 3 desibelin rajataajuus oli 4 Hz ja vahvistus 0 desibeliä, muut parametrit pidettiin oletusarvoissa. Ohjelmalla suunniteltiin toisen asteen aktiivinen alipäästösuodatin Chebyshev-approksimaatiolla ja Sallen key-kytkennällä. Kytkentä on esitetty kuvassa 21, ja suunnitellun suodattimen taajuusvaste on esitetty kuvassa 22.



Kuva 21. Alipäästösuodattimen kytkentä.

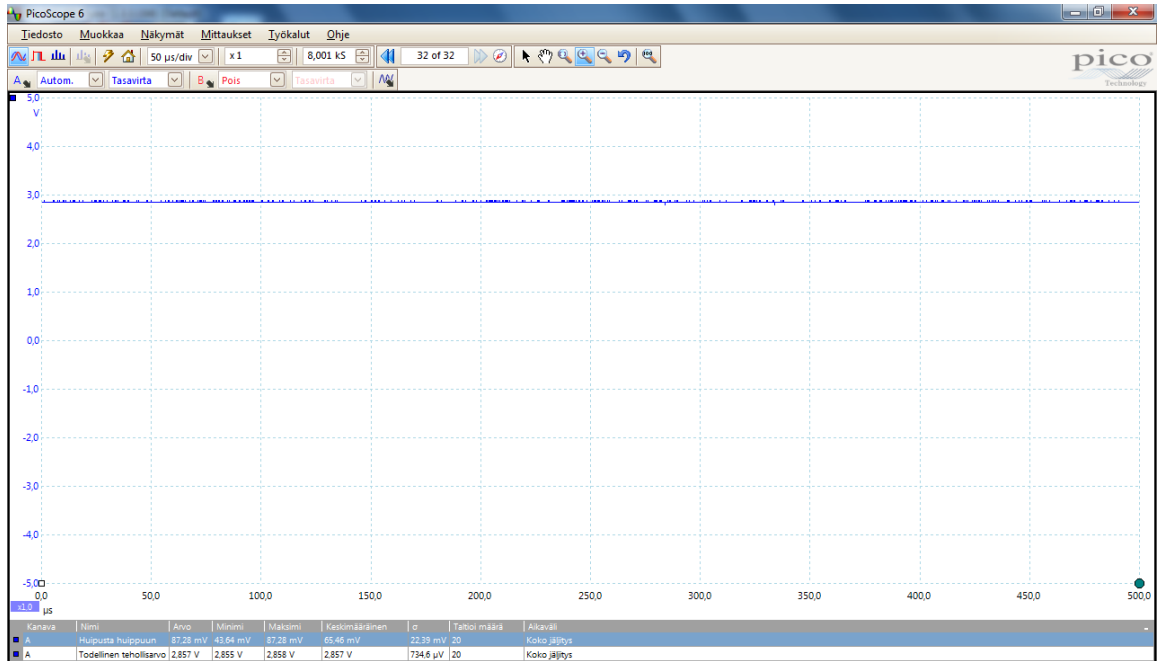


Kuva 22. Alipäästösuodattimen taajuusvaste.

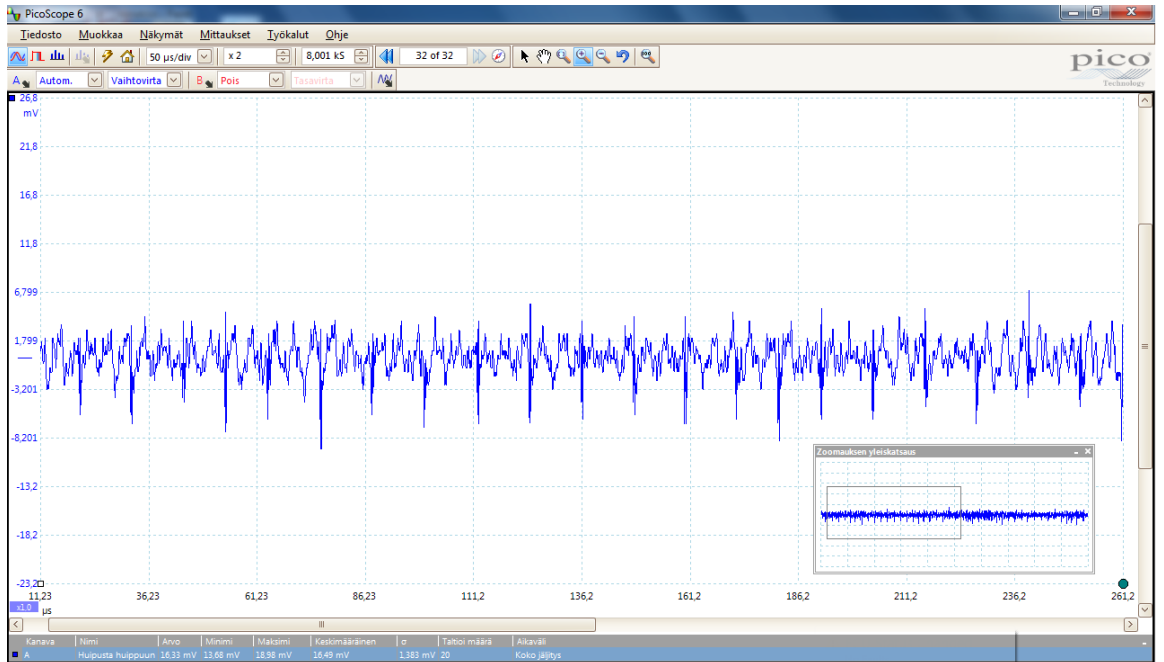
Edellä esitetty kytkentä tehtiin koekytkentäalustalle ja testattiin kytkennän toiminta. M1-ohjainlaitteella syötettiin 8 kHz:n taajuisia PWM-signaalia eri duty cycleillä alipäästösuodattimeen. Uloslähtevä signaali mitattiin oskilloskoopilla. Kytkennän testaamisessa on tärkeää selvittää, että saadaanko lineaarisesti muuttuvaa jännitettä muodostettua 0–5 V välille ja että siinä ei esiinny suuria häiriöjännitteitä.

Mittauksissa todettiin, että jännite säätty lineaarisesti eri duty cyclen arvoilla. Jännitteen laatu todettiin myös hyväksi, mitattu häiriöjännite oli n.16 mV. Kuvassa 23 on esitetty muodostettu jännite, kun duty cycle oli 10 %, ja kuvassa 24 on esitettynä muodostetun jännitteen häiriöjännite.

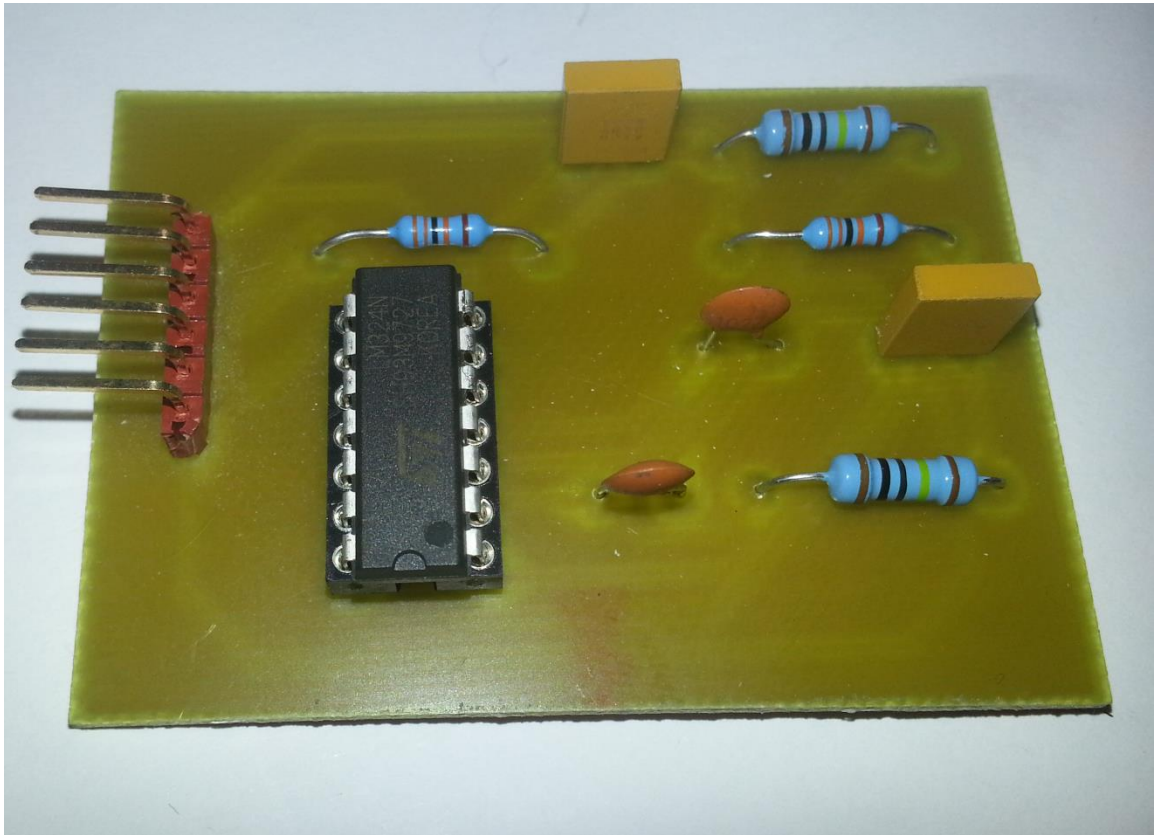
Kaasunasentotieto sisältää siis kaksi erillistä signaalia, joten alipäästösuodattimia tarvittiin kaksi kappaletta. Suodattimien piirilevyt suunniteltiin PADS-piirilevynsuunnitteluohjelmalla. Piirilevy jyrättiin Bungard CCD -piirilevyjyrsimellä. Kuvassa 25 on esitetty valmis piirilevy kasattuna.



Kuva 23. Jännitesignaali 10 % duty cycle.

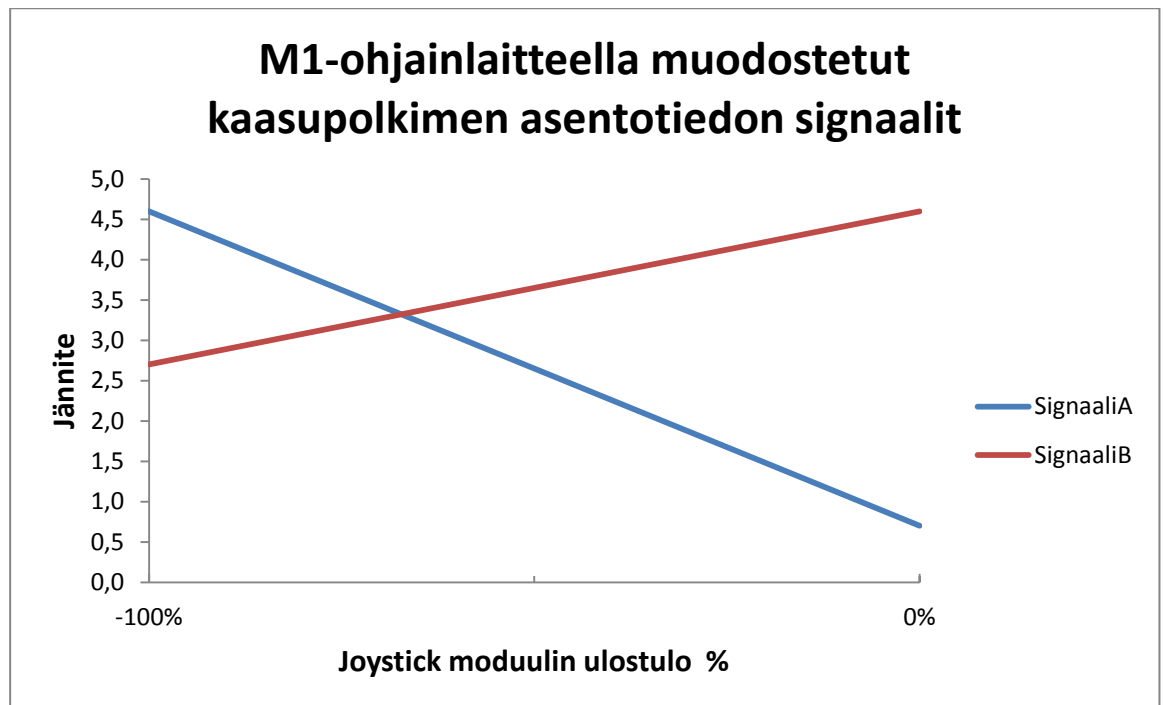


Kuva 24. Häiriöjännite.



Kuva 25. Valmis piirilevy kasattuna.

Ohjelmassa käytettiin kahden PWM-signaalin muodostamiseen kahta Pulse Width Modulation -lähtömoduulia (Throttle signal A ja Throttle signal B). PWM-moduulien sisääntulosignaalksi ohjelmoitiin Joystick-moduulin lähtösignaali. PWM-moduulit ohjelmoitiin siten, että kun Joystick-moduulin arvo on välillä -100–0 %, niin alipäästösuodattimen jälkeen signaali A on 0,7–4,6 V ja signaali B on 4,6–2,7 V. Signaali A kytkettiin lähtöön Half Bridge Output 1, ja signaali B kytkettiin Half Bridge output 2:een. Kuvassa 26 on esitetty muodostetut kaasunpolkimen asentotiedon signaalit.



Kuva 26. Muodostetut kaasupolkimen asentotiedon signaalit.

12.3 Jarrujen ohjauksen toteutus

Jarrujen ohjaukseen käytettiin proportionaaliventtiileitä, joita ohjataan Pulse Width Modulation -lähtömoduuleilla. Etujarrun lähtömoduuli on Front Brake, ja takajarrun lähtömoduuli on Rear Brake. Lähtömoduulien PWM-taajuudeksi määritettiin 100 Hz, joka on tässä työssä käytettävien proportionaaliventtiilien ohjaustaajuus. Front Brake -proportionaaliventtiili kytkettiin ohjainlaitteen Low Side Injector 1 -lähtöön ja Rear Brake -proportionaaliventtiili kytkettiin Low Side Injector 2 -lähtöön.

Jarrujärjestelmän paineantureina käytettiin Bosch 0265005303 -tyyppistä anturia. Jarrujen paineantureita luetaan Sensor-tyyppisellä tulomoduulilla. Etujarrujen tulomoduuli on Front Brake Pressure, ja takajarrujen tulomoduuli on Rear Brake Pressure. Moduulit on kalibroitu paineantureiden datatietojen mukaiseksi. Etujarrujen paineanturi kytkettiin sisääntuloon Analogue Voltage Input 3, ja takajarrujen paineanturi kytkettiin sisääntuloon Analogue Voltage Input 4.

Etu- ja takajarrujärjestelmän paineen säätöä varten ohjelmoitiin molemmille järjestelmille omat suljetut säätöpiirit, jotka käyttävät PID-algoritmia. PID-säätimet saavat takaisinkytkentänä oloarvon jarrupiirien paineantureilta. Ohjearvon PID-säätimet saavat ohjearvotauluista, jotka ovat Front Brake Aim ja Rear Brake Aim. Ohjearvot ovat riippuvaisia ohjainkahvan asennosta. Taulujen arvot asetetaan M1 Tune -ohjelmassa. Oloarvon ja ohjearvon eroarvo ohjelmoitiin kanavaan Error. PID-säätimen toimintaan ja virittämiseen tarvittavat kertoimet ohjelmoitiin parametreiksi, jotka ovat Proportional Gain, Integral Gain ja Derivate Gain. PID-säätimen tarvitsema feed forward -arvo ohjelmoitiin Feed Forward -nimiseen taulukkoon, jonka arvot ovat riippuvaisia ohjearvosta. Säätimen lähtöarvo ohjelmoitiin kanavaan nimeltä Control Value. PID-säätimen P-, I- ja D-termit ohjelmoitiin kanaviin Propotional Part, Integral Part ja Derivate Part. Kaikkien kanavien arvot ovat näkyvissä reaaliaikaisena M1 Tune -ohjelmassa ja tiedonkeruu pystyy tallentamaan ne määritellyllä näytteenottotajuuudella.

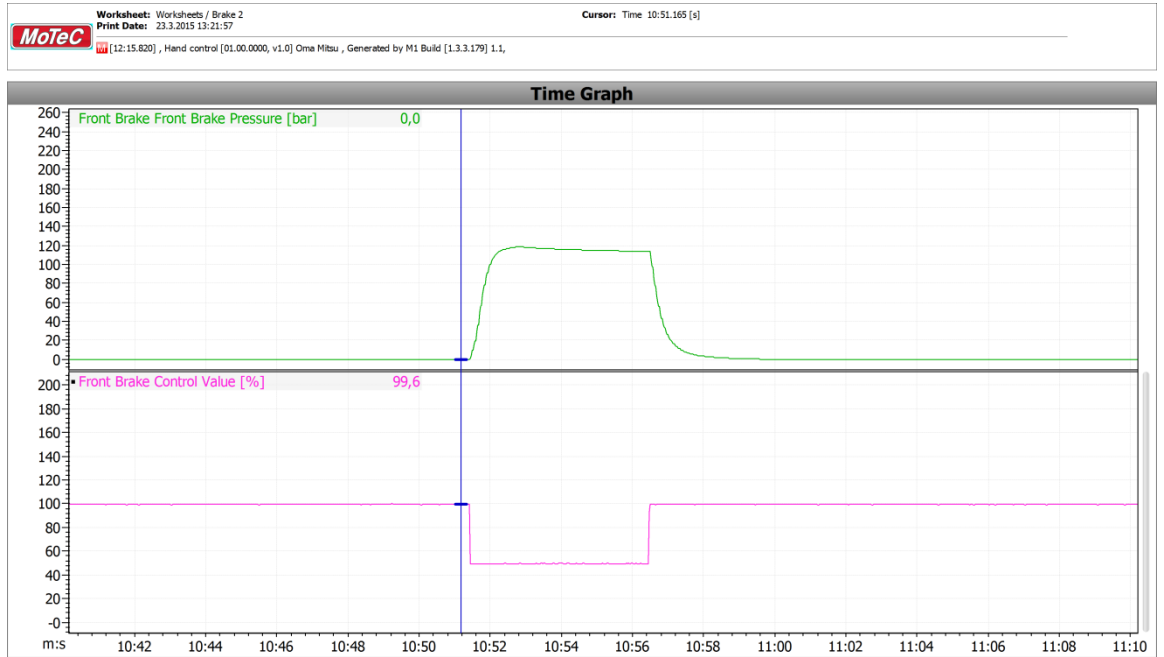
12.4 Jarrujen PID-säätimien viritys

Jarrujen viritys aloitettiin Feed Forward -taulukon määrittelyllä. Feed Forward -arvo tunnetaan myös nimellä linearisointi. Feed Forward on etukäteen selvitetty arvo, kuinka paljon lähtösuureen (Control Value) tulee olla, että järjestelmä saavuttaa jonkin tietyn ohjearvon. Tässä tapauksessa säädettävä suure on paine ja yksikkö bar. Etu- ja takajarrujärjestelmille Feed Forward -arvot selvitettiin ohjearvoille kahden barin välein välillä 0—60 baria. Taulukossa 1 on esitetty etu- ja takajarrujen järjestelmien Feed Forward -arvot.

Taulukko 1. Etu- ja takajarrujen Feed Forward -arvot.

Brake Aim [Δ bar]	Front Brake Feed Forward[%]	Rear Brake Feed Forward [%]
0,0	0,0	0,0
10,0	19,8	17,6
20,0	124,0	20,8
30,0	27,5	24,0
40,0	31,5	26,4
50,0	35,5	30,4
60,0	36,0	33,6

PID-säätimen virittäminen lähdettiin toteuttamaan Ziegler-Nicholsin askelvaste-
menetelmän avulla. Etujarrujen säätöpiirille tehtiin askelvastekoe, joka on esitetty
kuvassa 27. Askelvastekokeen avulla laskettiin etujarrusäätöpiirin suhteellinen
vahvistus, joka oli 1,72. Askelvastekokeesta saatiin selville, että viivettä säätöpii-
rissä ei ole ja järjestelmän määräävä aikavakio oli 0,415 s. Tämän pidemmälle ei
Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmällä PID-säätimen parametreja viritetty,
koska huomattiin, että tässä ohjelmassa käytetty PID-algoritmin rakenne poikkesi
tavanomaisesta algoritmista. Algoritmin poikkeavuus oli integraaliosassa, jonka
parametriarvo tavallisesti määrittelee integrointiajan. M1PL-kielellä kirjoitetussa
PID-algoritmissa ei voida vaikuttaa integrointiaikaan, vaan integrointiosan para-
metri on kerroin, joka määrittää integroinnin vaikutuksen ohjaukseen. Tästä joh-
tuen askelvastemenetelmällä saadut parametriarvot eivät olleet käyttökelpoisia,
joten etu- ja takajarrujen PID-säätimet päätettiin virittää kokeilemalla. Vaikka ai-
emmin mainittiin luvussa 3.4, että täydellinen säätimien virittäminen kokeilemalla
on mahdotonta, niin tässä tapauksessa säätimet saatiin viritettyä riittävän hyvin
kohtuullisen pienellä vaivalla. PID-säätimien parametrit on esitetty taulukossa 2.



Kuva 27. Etujarrujen askelvastekoe.

Taulukko 2. Etu- ja takajarrujen PID-säätimien viritetyt parametrien arvot.

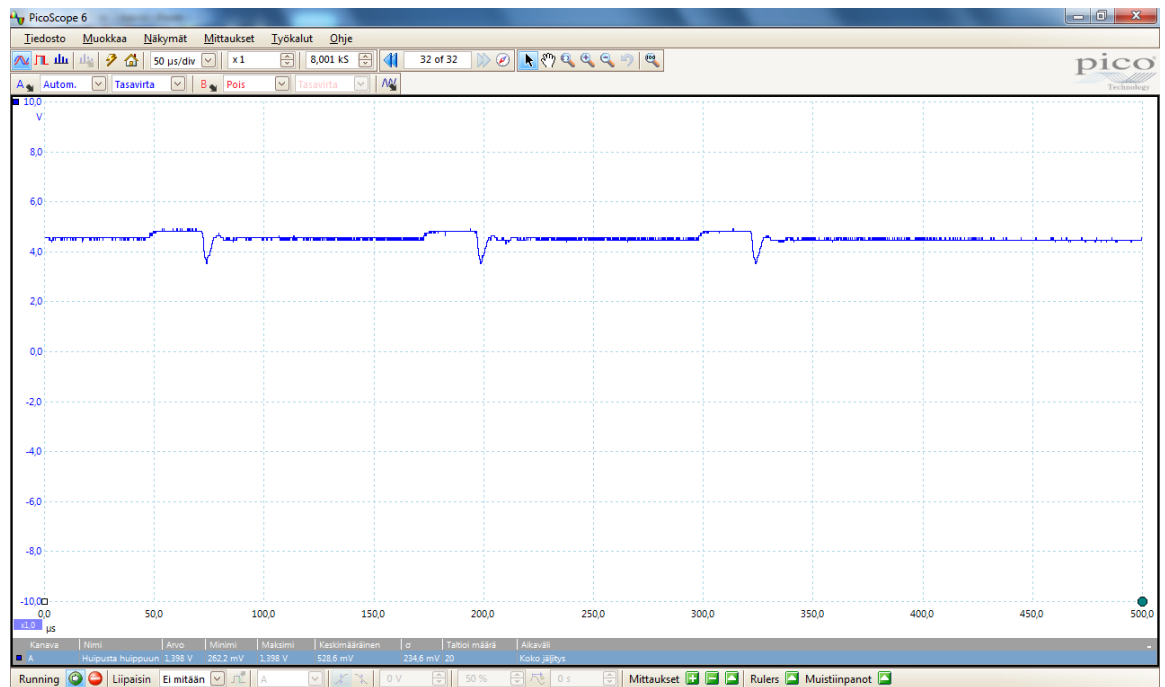
	Front Brake -parametrit	Rear Brake -parametrit
Proportial Gain	2,0	1,0
Integral Gain	1,0	2,0
Derivate Gain	0,1	0,0

13 KÄSIHALLINTALAITTEEN TESTAAMINEN

Käsihallintalaitteen testaaminen suoritettiin Mitsubishi Lancer -autolla, koska aiemmin toteutettu hydraulikkayksikkö oli ollut jo asennettuna kyseiseen autoon. Hydraulikkayksikköön tehtiin ohjausjärjestelmän vaatimat muutokset, jonka jälkeen se asennettiin takaisin autoon. Ohjainkahva ja M1-ohjainlaite asennettiin paikoilleen.

13.1 Kaasuläpän ohjauksen testaaminen

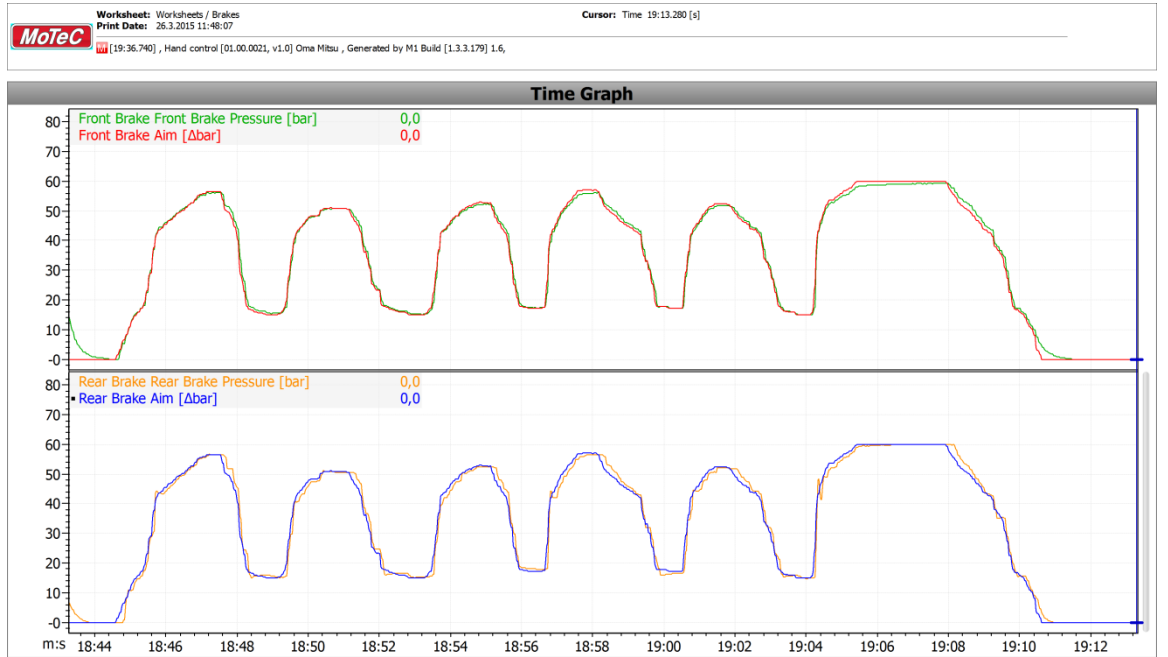
Käsihallintalaitteiden testaaminen aloitettiin kaasuläpän ohjauksen testaamisella. Kaasupolkimen asentotiedon muodostaminen oli jo aiemmin testattu laboratorioolosuhteissa, ja silloin ei havaittu ongelmia. Testauksissa huomattiin, että kun auton moottori ei ole käynnissä, niin kaasupolkimen asentotiedon signaaleissa ei ole häiriöitä. Kun moottori käynnistettiin, signaaleihin muodostui häiriöitä, jotka on esitetty kuvassa 28. Häiriö aiheutti moottorin kierrosluvun vaihtelua, vaikka ohjausarvot pysyivät muuttumattomina. Häiriöitä yritettiin poistaa parantamalla maadoituksia ja laittamalla alasetovastukset signaalihohtimiin. Häiriön poistamisessa ei kuitenkaan täysin onnistuttu. Signaalien häiriötasot saatiin kuitenkin sellaiselle tasolle, että kaasuläpän ohjaus voitiin testata. Todettiin, että kaasuläpän ohjaus toimii suunnitellulla tavalla lukuun ottamatta häiriöistä johtuvaa moottorin kierrosluvun vaihtelua.



Kuva 28. Kaasupolkimen asentotieto. Signaali B.

13.2 Jarrujen ohjauksen testaaminen

Jarrujen ohjauksen testaaminen oli jo aloitettu siinä vaiheessa, kun PID-säätimien parametreja viritettiin kohdalleen. PID-säätimien virittämisen jälkeen testattiin jarrupiirien paineiden käyttäytymistä ja säätöpiirien toimintaa. Toimintaa testattiin ohjaamalla jarruja vaihtelevilla ohjainkahvan liikkeillä ja seuraamalla M1 Tune –ohjelmasta, miten säädetyt jarrupaineet seuraavat asetusarvoa. Todettiin, että säätöpiirien viritys oli onnistunut, koska säätöpiirissä ei esiintynyt värähtelyä ja oloarvo seurasi hyvin asetusarvoa. Kuvassa 29 on esitetty jarrupiirien paineiden käyttäytyminen. Koeajoa suoritettiin suljetulla alueella, jossa testattiin jarrujen toimintaa. Jarrutuntuma oli yllättävänkin hyvä, ja jarruvoimaa pystyi annostelemaan juuri sen verran kuin halusi kevyellä ohjainkahvan liikkeellä. Todettiin jarrujen ohjauksen toimivan suunnitellulla tavalla.



Kuva 29. Jarrupiirien paineiden käyttäytyminen.

14 TULOKSET JA KEHITYSKOHTTEET

Jarrujen ohjauksen kohdalla tulokset olivat rohkaisevia ja niihin oltiin tyytyväisiä. Hydrauliikan avulla ohjattu jarrupaineen säätö toimii juuri niin kuin oli suunniteltu. Erityisesti paineen säädön toimivuuteen oltiin tyytyväisiä. Oloarvo seurasi ohjearvoa kaikissa tilanteissa, säädössä ei ollut viivettä eikä säätö alkanut värähtelemään. Paineen säädön toiminta kertoo myös PID-säätimen toiminnasta, joka saatiin viritettyä hyvin.

Kaasuläpän ohjaukseen ei voida olla aivan niin tyytyväisiä kuin jarrujen osalta. Ohjaussignaaleissa olleiden häiriöiden takia ei voida sanoa, että ohjaus toimi täydellisesti. Lukuun ottamatta häiriön aiheuttamaa moottorinkierrosluvun huojuntaa voidaan kaasuläpän ohjausta pitää toimivana ratkaisuna.

Tärkeimpänä kehityskohteena voidaan pitää kaasuläpän ohjauksen häiriön poistamista. Kaasuläpän ohjaus täytyisi saada toimimaan virheettömästi, että se olisi luotettava ja turvallinen käyttää. Hydrauliikkayksikön kehittämisessä tulisi kiinnittää huomiota yksikön kokoon, koska tässä työssä käytetty prototyyppi on kookas eikä sitä suoraan voida asentaa mihin tahansa henkilöautoon. Olisi myös hyvä miettiä, onko mahdollista tuottaa jarrutukseen vaadittava voima muulla tavalla kuin hydrauliikalla. Hydrauliikan huonona puolena on öljyvuotojen riski ja hydrauliikkapumpun äänekkyys.

Auton ajamisessa tarvittavien hallintalaitteiden ohjaukset voitaisiin lisätä ohjainkahvaan, mikä helpottaisi ajamista. Sellaisia toimintoja voisivat olla esimerkiksi vilkkujen ja vakionopeussäätimen ohjaus, joiden ohjaaminen nykypäivän autoissa tapahtuu CAN-väylän kautta.

15 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa sähköisesti ohjattu käsihallintalaitteen ohjausjärjestelmä, jota ohjataan Motec M130 -moottorinohjainlaitteella.

Työssä suunniteltiin ohjausjärjestelmä, jossa joystick-tyyppisellä ohjainkahvalla ohjataan käsihallintalaitetta. Jarrujärjestelmän painetta ohjataan proportionaali-venttiileillä hydraulikan välityksellä. Jarrujen paineen säädössä käytettiin PID-säätimiä, joiden algoritmit ohjelmoitiin Motec M130 -ohjainlaitteeseen. Kaasuläpän ohjauksessa muodostettiin kaasupolkimen asentotieto auton alkuperäistä moottorinohjainlaitetta varten PWM-signaalista alipäästösuodattimen avulla.

Työn tavoitteet saavutettiin lähes kokonaan. Jarrujen ohjauksessa suunnittelussa kaikki vastaan tulleet ongelmat saatiin ratkaistua ja lopputuloksena olivat todella hyvin toimivat jarrut. Kaasuläpän ohjaus saatiin toimimaan suunnitellulla tavalla, mutta ohjaussignaaleissa esiintynyt häiriö oli oikeastaan ainoa ongelma, jota ei saatu ratkaistua. Häiriön poistaminen onkin järjestelmän tärkeimpiä kehityskohteita.

Tämä työ antaa hyvät edellytykset käsihallintalaitteiden jatkokehitykselle ja auttaa ottamaan huomioon käsihallintalaitteen suunnittelussa sellaisia asioita, joita ei etukäteen osata huomioida.

LÄHTEET

1. Savolainen J, Vaitinen R. Säättötekniikan perusteita. [Helsinki]: Suomen robotiikkayhdistys; 2007.
2. Teknillinen korkeakoulu Automaatio- ja systeemitekniikan laitos - Automaatio- ja systeemitekniikan laboratiotyöt, [WWW-dokumentti] <https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.2230/materiaali/AS-0_2230_tyo_11__tyoohje_2.pdf>(Luettu 6.3.2015)
3. PID Theory Explained – National Instruments, [WWW-dokumentti] <<http://www.ni.com/white-paper/3782/en/>> (Luettu 6.3.2015)
4. Aalto University Wiki - PID-viritys, [WWW-dokumentti] <https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723060/Ryhm%C3%A410pluss_k7.pdf?version=1&modificationDate=1332152441000> (Luettu 6.3.2015)
5. Wikipedia contributors. Pulse-width modulation, [WWW-dokumentti] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation> (Luettu 6.3.2015)
6. Pulse Width Modulation (PWM) Using NI-DAQmx and LabVIEW – National Instruments, [WWW-dokumentti] <<http://www.ni.com/tutorial/2991/en/>>(Luettu 6.3.2015)
7. Choosing the Right Aftermarket ECU Available, [WWW-dokumentti] <<http://www.autos.com/aftermarket-parts/choosing-the-right-aftermarket-ecu>> (Luettu 6.3.2015)
8. Motec > Hundred Series ECUs > Overview, [WWW-dokumentti] <<http://www.motec.com/aboutecu/ecuoverview/>> (Luettu 6.3.2015)

9. Clemson Vehicular Electronics Laboratory - Electronic Throttle Demonstration, [WWW-dokumentti] <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/throttle_control_demo.html> (Luettu 9.3.2015)
10. Electronic Throttle Control (Drive By Wire), [WWW-dokumentti] <<http://www.picoauto.com/applications/electronic-throttle-control.html>> (Luettu 8.3.2015)
11. Bosch Engineering Gmbh. Electronic Throttle Body. 2015 [WWW/PDF-dokumentti] <http://www.bosch-motor-sport.de/media/catalog_resources/Electronic_Throttle_Body_Datasheet_51_en_10726070795pdf.pdf> (Luettu 20.4.2015)
12. Hella – Accelerator PedalSensor, [WWW-dokumentti] <<http://www.hella.com/microsite-electronics/147.html>> (Luettu 20.4.2015)
13. Keinänen T. Koneautomaatio. 2, Logiikat ja ohjausjärjestelmät. 1. p. ed. Porvoo: WSOY; 2001.
14. BrakesSystem.jpg Photo by srainey1 | Photobucket, [WWW-dokumentti] <<http://s106.photobucket.com/user/srainey1/media/5Lug/BrakesSystem.jpg.html>> (Luettu 7.3.2015)
15. MoTeC > Corporate > About Us, [WWW-dokumentti] <<http://www.motec.com/corporate/aboutUK/>> (Luettu 7.3.2015)
16. Motec. M1 Development Manual. 2013, [PDF-dokumentti]